

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет транспорту та механічної інженерії

(повне найменування факультету)

Кафедра прикладної механіки та мехатроніки

(повна найменування кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»
ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ
ВЕРТИКАЛЬНО-СВЕРДЛИЛЬНОГО ВЕРСТАТА
ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ «КРИШКА»

спеціальність 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Прикладна механіка»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти

Групи: ІМС-21

Никонюк Роман Юрійович

(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Полінкевич Роман Миколайович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу

допущено до захисту

«__» _____ 2024 р.

к.т.н., доцент

Гарант освітньої програми:

Божко Тетяна Євгенівна

(підпис)

Луцьк – 2024 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет транспорту та механічної інженерії

Кафедра прикладної механіки та мехатроніки

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Освітня програма: «Прикладна механіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Редько Р.Г.

« ___ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Никонюку Роману Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Вдосконалення конструкції вертикально-свердлильного верстата для обробки деталі «Кришка»

Керівник роботи: Полінкевич Роман Миколайович, .к.т.н., доцент кафедри ПМіМ

затверджені наказом вищого навчального закладу від « 30 » грудня 2023 р. № 461/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи «01» _____ 06 _____ 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Паспорти верстатів. Відгуки підприємств. Відгуки працівників підприємств. Звіт по переддипломній практиці. Технічна документація по вертикально-свердлильних верстатах, типових техпроцес обробки деталі.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):

Аналіз області використання відомих конструкцій та призначення верстатів-аналогів. Аналіз деталі «Кришка». Розробка технологічного процесу обробки деталі. Кінематичний розрахунок привода головного руху. Розрахунок та вибір елементів приводу головного руху. Охорона праці та навколишнього середовища.

5. Перелік графічного матеріалу:

Карта наладок 1л- ф.А1; Кінематична схема вертикально-свердлильного верстата 1л- ф.А1; Деталь кришка 1л- ф.А2; Заготовка 1л- ф.А2; Вертикально-свердлильний верстат (загальний вигляд) 1л- ф.А1; Коробка швидкостей (згортка) 1л- ф.А1; Коробка швидкостей (розгортка) 1л- ф.А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання «01» 11 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Загальний розділ</i>	<i>25.11.2023р.</i>	
2.	<i>Технічний опис верстата-прототипу</i>	<i>23.12.2023р.</i>	
3.	<i>Кінематичний розрахунок приводу головного руху, що розробляється</i>	<i>13.01.2024р.</i>	
4.	<i>Технологічна частина</i>	<i>10.02.2024р.</i>	
5.	<i>Охорона праці та навколишнього середовища</i>	<i>09.03.2024р.</i>	
6.	<i>Формування додатків</i>	<i>09.04.2024р.</i>	
7.	<i>Оформлення ілюстративного матеріалу</i>	<i>23.04.2024р.</i>	
8.	<i>Нормоконтроль</i>	<i>04.05.2024р.</i>	
9.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	<i>25.05.2024р.</i>	
10.	<i>Представлення кваліфікаційної роботи бакалавра до захисту</i>	<i>01.06.2024р.</i>	
11.			
12.			

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

(Никонюк Р.Ю.)
(прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ (підпис)

(Полінкевич Р.М.)
(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Никонюк Р.Ю. Вдосконалення конструкції вертикально-свердлильного верстата для обробки деталі «Кришка». Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Прикладна механіка» спеціальності 131 Прикладна механіка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2024.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків та пропозицій, списку використаних джерел, додатків.

У випускній роботі виконана модернізація вертикально-свердлильного верстата з ЧПУ 2P135Ф2-1 з детальною розробкою приводу головного руху, розглянуті можливі варіанти структурних сіток і вибраний оптимальний, змінена кінематична схема приводу головного руху, перероблена коробка швидкостей, збільшена потужність на шпинделі верстата, що дає можливість вести обробку на вищих режимах різання, тим самим економлячи час на обробку.

Розроблений технологічний процес обробки деталі на цьому верстаті. Вибрані оптимальні режими різання.

Розглянута безпека і екологічність проектних рішень. Виконано також розділ з охорони праці і навколишнього середовища.

Ключові слова: шпиндель, коробка швидкостей, вертикально-свердлильний верстат, зубчасте колесо, шків, привід, система ЧПУ.

ANNOTATION

Nikonyuk R.Yu. Improvement of the design of the vertical drilling machine for processing the "Cover" part. Manuscript.

Bachelor's qualification work of OP "Applied Mechanics" specialty 131 Applied Mechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2024.

The bachelor's qualification work consists of an introduction, four sections, conclusions and proposals, a list of used sources, appendices.

In the graduation work, the modernization of the CNC vertical drilling machine 2R135F2-1 with detailed development of the main motion drive was carried out, the possible options of structural grids were considered and the optimal one was selected, the kinematic scheme of the main motion drive was changed, the gearbox was redesigned, the power on the spindle of the machine was increased, which makes it possible to perform processing at higher cutting modes, thereby saving processing time.

The technological process of processing the part on this machine has been developed. The optimal cutting modes are selected.

Safety and environmental friendliness of project solutions are considered. The section on labor and environmental protection was also completed.

Key words: spindle, gearbox, vertical drilling machine, gear wheel, pulley, drive, CNC system.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ.....	9
1.1. Призначення проектованого верстата.....	9
1.2. Огляд існуючих конструкцій верстатів-прототипів.....	10
1.3. Призначення коробок швидкостей.....	10
РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	12
2.1. Кінематичний розрахунок.....	12
2.1.1. Побудова структурних сіток.....	12
2.1.2. Побудова графіку частот обертання шпинделя.....	15
2.1.3. Визначення числа зубів зубчастих коліс.....	16
2.1.4. Розрахунок дійсних частот обертання шпинделя.....	19
2.1.5. Вибір електродвигуна.....	19
2.2. Конструкторський розрахунок.....	21
2.2.1. Розрахунок зубчастих коліс.....	21
2.2.2. Згортка коробки швидкостей.....	29
2.2.3. Розрахунок валів.....	30
2.3. Вибір підшипників.....	39
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	40
3.1. Опис конструкції деталі.....	40
3.2. Аналіз властивостей оброблюваних поверхонь.....	42
3.3. Аналіз технологічності конструкції деталі.....	43
3.4. Визначення типу виробництва.....	44
3.5. Вибір заготовки і встановлення її розмірів.....	45
3.6. Розрахунок коефіцієнта використання матеріалу.....	48
3.7. Призначення методів обробки.....	49
3.8. Розробка схем базування.....	50
3.9. Вибір устаткування і формування операцій.....	52
3.10. Розробка маршрутного технологічного процесу.....	53
3.11. Розрахунок припусків.....	54
3.12. Розрахунок режимів різання.....	58
3.13. Визначення норм часу.....	61

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА

НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	63
4.1. Аналіз потенційної небезпеки на ділянці виготовлення деталі для персоналу і механічного цеху для довкілля...	63
4.1.1. Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих виробничих чинників на ділянці механічної обробки кришки.....	63
4.2.2. Аналіз дії механічного цеху на довкілля.....	65
4.2.3. Аналіз виникнення надзвичайних ситуацій.....	66
4.3. Класифікація приміщень і виробництва.....	66
4.4. Забезпечення безпечних і санітарно-гігієнічних умов праці.....	67
4.4.1. Заходи і засоби по техніці безпеки.....	67
4.4.1.1. Автоматизація і механізація ручних операцій.....	67
4.4.1.2. Обгороджування небезпечних зон, захисні, запобіжні і блокуючі пристрої.....	68
4.4.1.3. Забезпечення електробезпеки.....	69
4.4.1.4. Видалення відходів виробництва на ділянці механічної обробки.....	69
4.4.2. Заходи і засоби по промисловій санітарії.....	69
4.4.2.1. Мікроклімат, вентиляція і опалювання.....	69
4.4.2.2. Виробниче освітлення.....	70
4.4.2.3. Захист від шуму і вібрації.....	71
4.4.2.4. Допоміжні санітарно - побутові приміщення.....	73
4.5. Заходи і засоби по захисту довкілля від дії механічного цеху.....	74
4.5.1. Утилізація твердих відходів.....	74
4.5.2. Очищення газів, що відводяться в атмосферу.....	74
4.5.3. Очищення стічних вод.....	74
4.6. Заходи і засоби по забезпеченню безпеки при надзвичайній ситуації.....	75
4.6.1. Забезпечення пожежної безпеки.....	75
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ.....	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	77
ДОДАТКИ	

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Виготовлення більшості деталей турбін, ракет, автомобілів, працюючих в текстильному, сільському господарстві і інших галузях промисловості, неможливе без застосування металообробних верстатів.

Металорізальні верстати є основним видом заводського устаткування, призначеним для виробництва сучасних машин, приладів, інструментів та ін. виробів, тому кількість і якість металорізальних верстатів, їх технічна оснащеність значною мірою характеризує виробничу потужність.

Верстатобудування – це велика галузь машинобудування. Вона здатна повністю забезпечити потребу промисловості в металорізальному устаткуванні і від рівня його розвитку залежить успіх усієї промисловості.

Верстатобудування розглядається як серцевина машинобудування. Досягнення верстатобудування оцінюють не лише по загальному числу верстатів, що випускаються, скільки по їх якості, по продуктивності і мірі автоматизації.

Для металорізального устаткування, що випускається нині, характерне швидке розширення сфери застосування числового програмного управління з використанням мікропроцесорної техніки.

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

1.1. Призначення проектованого верстата

Модернізований верстат призначений для свердління отворів в заготовці діаметром до 35 мм, нарізування різьб, фрезерування. Компонування вузлів допускає обробку деталей у вказаному діапазоні розмірів з різних матеріалів з використанням інструменту з високовуглецевих і швидкорізальних сталей, а так само твердих сплавів. Застосовується в серійному, великосерійному і масовому виробництвах.

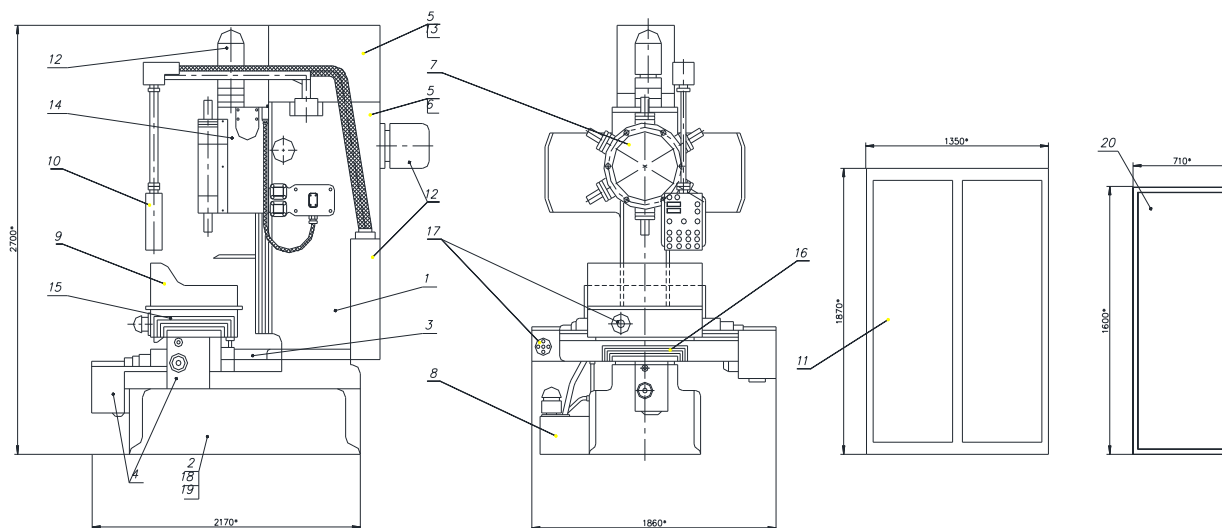


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд верстата

Верстат включає:

- колона – позиція 1;
- стіл хрестовий – позиція 2;
- захист – позиція 3;
- редуктор – позиція 4;
- захисні пристрої – позиція 5;
- коробка швидкостей – позиція 6;
- револьверна голівка – позиція 7;
- станція охолодження – позиція 8;
- обгороджування – позиція 9;

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

- пульт підвісний – позиція 10;
- електрошафа – позиція 11;
- розміщення електроустаткування – позиція 12;
- редуктор подач – позиція 13;
- супорт – позиція 14;
- захист тих, що подовжніх направляють – позиція 15;
- захист тих, що поперечних направляють – позиція 16;
- лубрикатор – позиція 17;
- передача гвинт-гайка кочення подовжнього переміщення столу – 18;
- передача гвинт-гайка кочення поперечного переміщення столу – 19;
- пристрій числового програмного управління – позиція 20.

1.2. Огляд існуючих конструкцій верстатів-прототипів

За верстат-прототип був узятий верстат вертикального свердління з ЧПУ 2P135Ф2-1, який дозволяє обробляти отвори з найбільшим умовним діаметром свердління в сталі до 35 мм. У верстаті-прототипі була замінена, розрахована і сконструйована нова коробка швидкостей з розширеним числом оборотів на виході головного приводу, а так само зроблений перерахунок потужностей і вибір нового двигуна.

1.3. Призначення коробок швидкостей

Залежно від призначення регульованого руху розрізняють коробки швидкостей для застосування швидкості головного руху, коробки подач для зміни швидкості руху подачі або подачі на оборот.

Привід з шестерною коробкою швидкостей є найбільш поширеним. Його перевагою є компактність, зручність в управлінні і надійність в роботі.

Але вони не мають безступінчастого регулювання швидкості, у них порівняно низький ККД на високих частотах обертання при широкому діапазоні регулювання.

Існує багато різних конструкцій коробок швидкостей. Коробки

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

швидкостей розрізняють за способом перемикання швидкостей і компонованню.

За способом перемикання швидкостей, коробки бувають з пересувними (що ковзають) колесами, з кулачковими, фрикційними і електромагнітними муфтами, з комбінованим перемиканням; зі змінними колесами.

Застосування того або іншого способу перемикання в коробках швидкостей залежить від призначення верстата, від частоти перемикання і тривалості робочих ходів.

Недоліки цих коробок швидкостей наступні: неможливість перемикання передач на ходу, необхідність блокування, що запобігає одночасному включенню в роботу блоків зубчастих коліс, спільна робота яких не передбачена; відносно великі роботи по довжині.

По компонованню і місцю розташування коробок швидкостей, коробки подач ділять на вбудовані і виносні. Вбудовані допомагають створювати компактність приводу, що не вимагає додаткових корпусних деталей і робіт за погодженням взаємного розташування рознесених частин. Проте вібрація від зубчастих коліс і додатковий нагрів від швидкохідних передач впливають на шпindelний вузол, знижуючи точність його роботи. Винесені коробки швидкостей мають протилежні переваги та недоліки. Їх застосування підвищує точність верстата, але вони знижують технологічність. Винесені коробки швидкостей сполучають з шпindelним вузлом пасовою передачею, яка виходить іноді занадто громіздкою, або вона є останньою передачею в приводі в усьому діапазоні швидкостей. Щоб уникнути цього при роздільному приводі приймають перебір, розташований паралельно шпindelю. Роздільний привід застосовують у верстатах з підвищеною точністю і у верстатах з малими розмірами.

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

РОЗДІЛ 2

КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

Вихідні дані:

- Вертикально-свердильний верстат;
- Число частот обертання шпинделя $Z=12$;
- Мінімальна частота обертання шпинделя $n=10 \text{ хв}^{-1}$;
- Знаменник ряду частот обертання $\varphi=1,58$;
- Потужність на шпинделі $P=6 \text{ кВт}$.

2.1. Кінематичний розрахунок

Максимальне число оборотів шпинделя: $n_{max}=n_1 \cdot \varphi^{z-1}=10 \cdot 1,58^{11}=1532 \text{ хв}^{-1}$

Діапазон регулювання частот: $R_n = \frac{n_{max}}{n_{min}} = \varphi^{z-1}$; $R_n = \frac{2000}{12,5} = 160$.

Попередні частоти на кожному ступені коробки швидкостей, об/хв (хв^{-1})

$n_1=10$	$n_7=n_1 \cdot \varphi_6=10 \cdot 1,586=155,6$;
$n_2=n_1 \cdot \varphi=10 \cdot 1,58=15,8$;	$n_8=n_1 \cdot \varphi_7=10 \cdot 1,587=245,8$;
$n_3=n_1 \cdot \varphi_2=10 \cdot 1,582=25$;	$n_9=n_1 \cdot \varphi_8=10 \cdot 1,588=388,4$;
$n_4=n_1 \cdot \varphi_3=10 \cdot 1,583=39,4$;	$n_{10}=n_1 \cdot \varphi_9=10 \cdot 1,589=613,6$;
$n_5=n_1 \cdot \varphi_4=10 \cdot 1,584=62,3$;	$n_{11}=n_1 \cdot \varphi_{10}=10 \cdot 1,5810=969,6$;
$n_6=n_1 \cdot \varphi_5=10 \cdot 1,585=98,5$;	$n_{12}=n_1 \cdot \varphi_{11}=10 \cdot 1,5811=1532$;

2.1.1. Побудова структурних сіток

Для коробки швидкостей $Z=12$, розподіл частот обертання по валах здійснюється шляхом розбиття множників на 3 і на 2, що відповідає кількості передач в кожній з кінематичної груп:

$$Z=P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 = 3 \cdot 2 \cdot 2 = 12$$

Визначимо, так звані, характеристики передач в кожній групі (X_i)

$$Z=3X_0 \cdot 2X_1 \cdot 2X_2;$$

$$X_0=1; \quad X_1=P_1 \cdot X_0=3; \quad X_2=P_2 \cdot X_1=6;$$

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

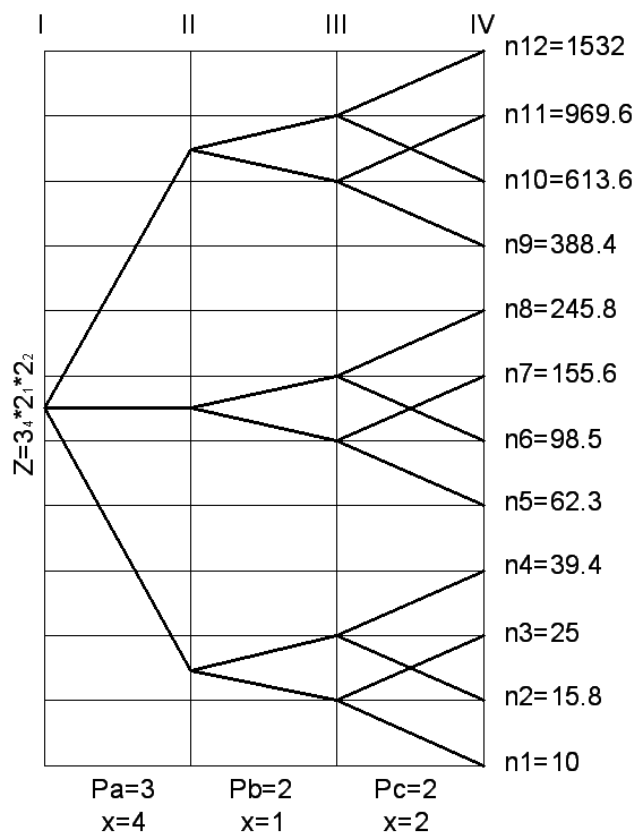
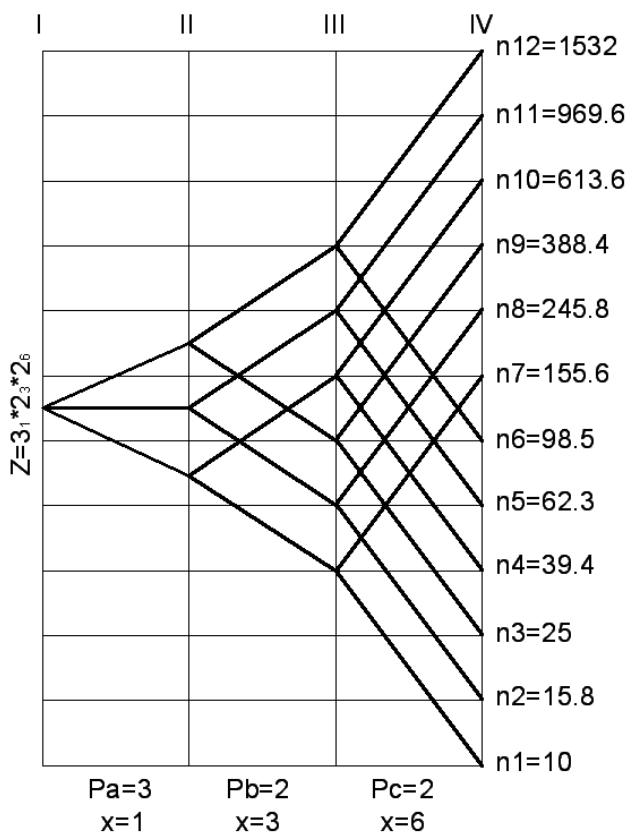
Отже структурна формула коробки швидкостей матиме вигляд: $Z=3_1 \cdot 2_3 \cdot 2_6$;
 Для цієї формули можна скласти розмножувальну структуру з 18 варіантами.

- | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| $Z=3_1 \cdot 2_3 \cdot 2_6$; | $Z=2_1 \cdot 3_2 \cdot 2_6$; | $Z=2_1 \cdot 2_2 \cdot 3_6$; |
| $Z=3_1 \cdot 2_6 \cdot 2_3$; | $Z=2_1 \cdot 3_4 \cdot 2_2$; | $Z=2_1 \cdot 2_6 \cdot 3_2$; |
| $Z=3_4 \cdot 2_1 \cdot 2_2$; | $Z=2_6 \cdot 3_1 \cdot 2_3$; | $Z=2_6 \cdot 2_1 \cdot 3_2$; |
| $Z=3_2 \cdot 2_1 \cdot 2_6$; | $Z=2_3 \cdot 3_1 \cdot 2_6$; | $Z=2_2 \cdot 2_1 \cdot 3_6$; |
| $Z=3_4 \cdot 2_2 \cdot 2_1$; | $Z=2_6 \cdot 3_2 \cdot 2_1$; | $Z=2_3 \cdot 2_6 \cdot 3_1$; |
| $Z=3_2 \cdot 2_6 \cdot 2_1$; | $Z=2_2 \cdot 3_4 \cdot 2_1$; | $Z=2_6 \cdot 2_3 \cdot 3_1$; |

Структурну формулу для $Z=12$ можна скласти і методом перекриття частот обертання шпинделя, наприклад: $Z=3_1 \cdot 3_3 \cdot 2_3$.

Крім того для $Z=12$ можна скласти складену структуру $Z=3_1(2_3+1_3 \cdot 1_3 \cdot 2_3)$

Варіанти структурних сіток



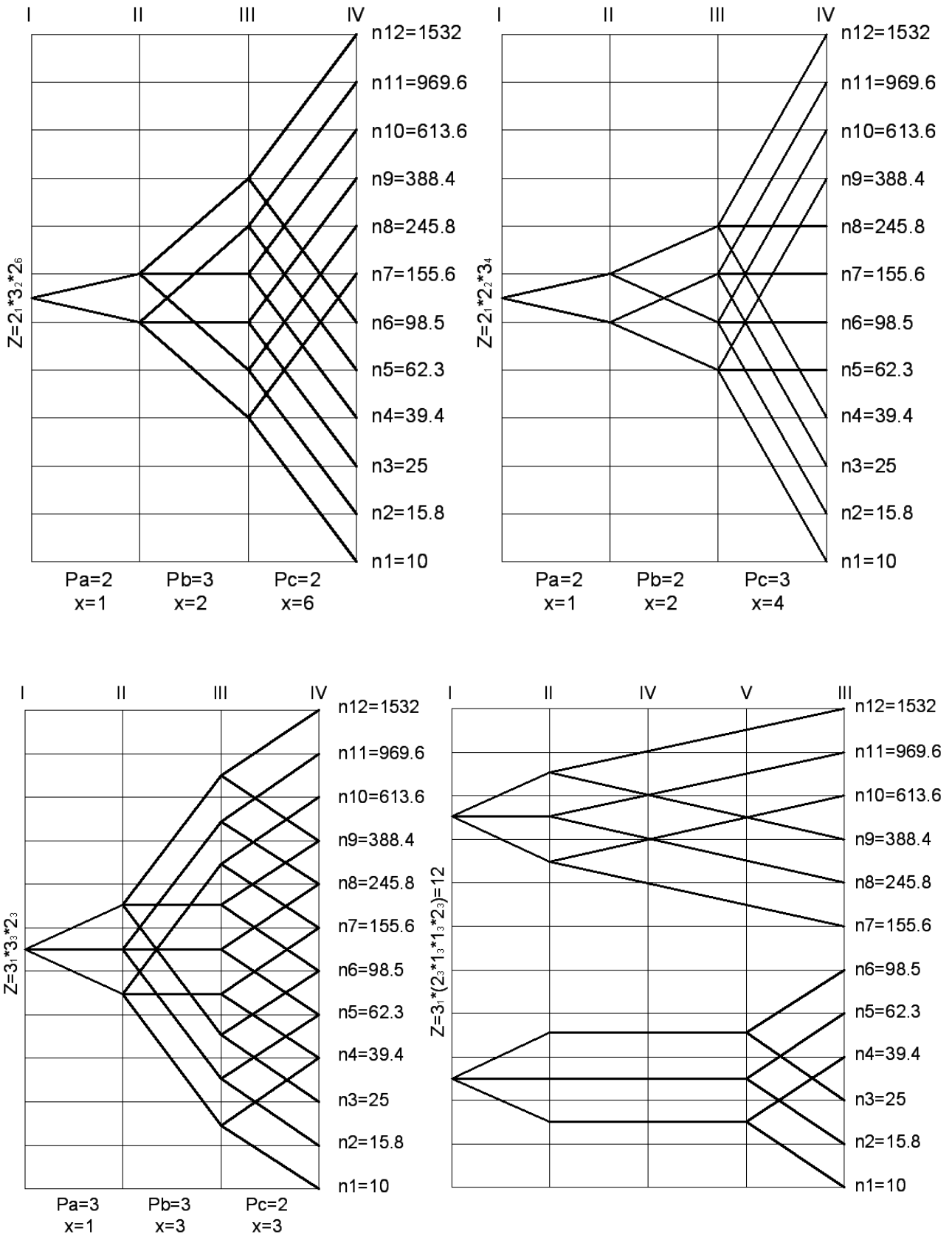


Рисунок 2.1 – Варіанти структурних сіток коробки швидкостей

З усіх варіантів, оптимальними є варіанти з розмножувальними

структурами, як що мають меншу кількість валів і підшипникових вузлів.

З усіх варіантів розмножувальних структур оптимальним є варіант в якому переходячи від ступеня до ступеня характеристики збільшуються.

$$X_0 < X_1 < X_2 < X_3$$

Таким чином оптимальними є варіанти

$$Z = 3_1 \cdot 2_3 \cdot 2_6; \quad Z = 3_1 \cdot 3_3 \cdot 2_3; \quad Z = 3_1 (2_3 \cdot 1_3 \cdot 1_3 \cdot 2_3);$$

З цих трьох варіантів найбільш відповідним є варіант складеної формули коробки швидкостей, оскільки показник геометричного ряду в цьому випадку задовольняє вимогам таким, що ставляться до коробок швидкостей, що буде видно з подальших розрахунків.

2.1.2. Побудова графіку частот обертання шпинделя

Для обмеження габаритів зубчастих коліс і зниження шуму, приймемо наступні передаточні відношення в групах

$$\frac{1}{4} \leq u \leq 2; \quad u_{\min} = \frac{1}{4}; \quad u_{\max} = 2;$$

що відповідає: $u_{\max} = \varphi; \quad \varphi = 1,58$

Формули розмножувальної і перехресної структури, не відповідають цій умові, оскільки найбільше число знаменника міри геометричного ряду в цих структурах більше суми мінімальних і максимальних передавальних відношень.

Для поліпшення кінематичних характеристик приводу частоти обертання приводу приймають: $u_{\min 1} > u_{\min 2} > u_{\min 3} > u_{\min 4}$;

Вибираємо:

$$\begin{aligned} U_1 &= 1/\varphi; & U_4 &= 1/\varphi^2; & U_7 &= 1/\varphi^3; \\ U_2 &= \varphi^0; & U_5 &= \varphi; & U_8 &= 1/\varphi^3; \\ U_3 &= \varphi; & U_6 &= 1/\varphi^2; & U_9 &= \varphi^0; \end{aligned}$$

Будуємо графік частот обертання коробки швидкостей

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

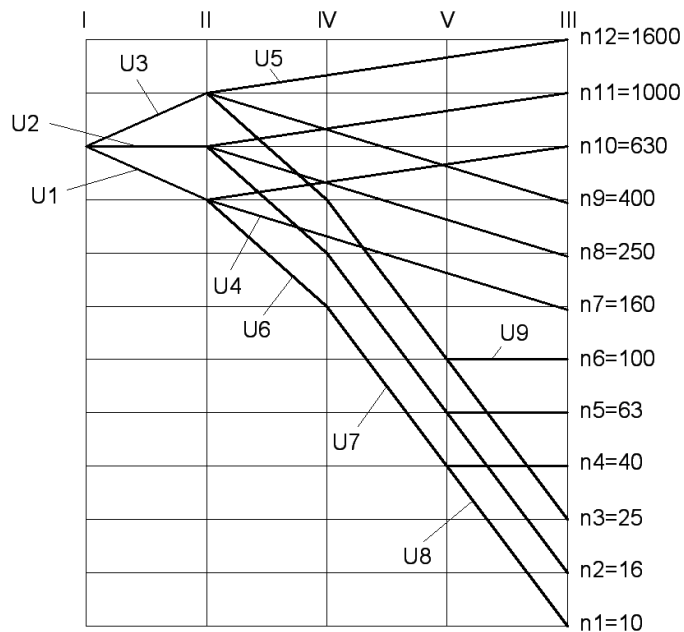


Рисунок 2.2 – Графік частот обертання коробки швидкостей

2.1.3. Визначення числа зубів зубчастих коліс

З графіку частот обертання ми можемо визначити передавальні відношення усіх пар зубчастих коліс. Виходячи з цього визначимо числа зубів в кожній парі зубчастих коліс.

Вважатимемо що в групі різні пари мають однаковий модуль:

$$m_1 = m_2 = m_3;$$

$$\text{ТОДІ: } z_i = \frac{\rho_i}{a+b} \cdot a; \quad z'_i = \frac{\rho_i}{a+b} \cdot b;$$

де: z_i, z'_i – число зубів зв'язаних коліс;

a, b – чисельник і знаменник передавального відношення;

ρ_i – загальне кратне $a+b$ і $c+d$;

$$U_i = \frac{z_i}{z'_i} = \frac{a}{b};$$

1. Вали I - II

$$U_i = \frac{z_i}{z_2} = \frac{1}{1,58} = \frac{5}{8}; \quad U_2 = \frac{z_3}{z_4} = 1; \quad U_3 = \frac{z_5}{z_6} = 1,58 = \frac{8}{5};$$

$$a+b=13$$

$$c+d=2$$

$$e+g=13$$

Приймаємо $\sum Z=26$

$$z_1 = \frac{\sum z}{a+b} \cdot a = \frac{26}{13} \cdot 5 = 10; \quad z_2 = \frac{\sum z}{a+b} \cdot b = \frac{26}{13} \cdot 8 = 16;$$
$$z_3 = \frac{\sum z}{c+d} \cdot c = \frac{26}{2} \cdot 1 = 13; \quad z_4 = \frac{\sum z}{c+d} \cdot d = \frac{26}{2} \cdot 1 = 13;$$
$$z_5 = \frac{\sum z}{e+g} \cdot e = \frac{26}{13} \cdot 8 = 16; \quad z_6 = \frac{\sum z}{e+g} \cdot g = \frac{26}{13} \cdot 5 = 10;$$

Оскільки кількість зубів в передачах мала, то збільшимо їх кількість в чотири рази. Відповідно отримаємо:

$$Z_1=40; Z_2=64; Z_3=52; Z_4=52; Z_5=64; Z_6=40$$

2. Вали II - III

$$U_4 = \frac{z_7}{z_8} = \frac{1}{\varphi^2} = \frac{2}{5}; \quad U_5 = \frac{z_9}{z_{10}} = \varphi = \frac{8}{5};$$
$$a+b=7 \quad c+d=13$$

Приймаємо $\sum Z=91$

$$z_7 = \frac{\sum z}{a+b} \cdot a = \frac{91}{7} \cdot 2 = 26; \quad z_8 = \frac{\sum z}{a+b} \cdot b = \frac{91}{7} \cdot 5 = 65;$$
$$z_9 = \frac{\sum z}{c+d} \cdot c = \frac{91}{13} \cdot 8 = 56; \quad z_{10} = \frac{\sum z}{c+d} \cdot d = \frac{91}{13} \cdot 5 = 35;$$

3. Вали II - IV

$$U_6 = \frac{z_{11}}{z_{12}} = \frac{1}{\varphi^2} = \frac{2}{5};$$
$$a+b=7$$

Приймаємо $\sum Z=14$

$$z_{11} = \frac{\sum z}{a+b} \cdot a = \frac{14}{7} \cdot 2 = 4; \quad z_{12} = \frac{\sum z}{a+b} \cdot b = \frac{14}{7} \cdot 5 = 10;$$

Збільшуємо кількість зубів в сім разів і отримуємо:

$$Z_{11}=28; \quad Z_{12}=70$$

4. Вали IV - V

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

$$U_7 = \frac{z_{13}}{z_{14}} = \frac{1}{\varphi^3} = \frac{1}{4};$$

$$a+b=5$$

Приймаємо $\sum Z=5$

$$z_{13} = \frac{\sum z}{a+b} \cdot a = \frac{5}{5} \cdot 1 = 1; \quad z_{14} = \frac{\sum z}{a+b} \cdot b = \frac{5}{5} \cdot 4 = 4;$$

Збільшуємо кількість зубів у вісімнадцять разів і отримуємо:

$$Z_{13}=18; \quad Z_{14}=72$$

5. Вали V - III

$$U_8 = \frac{z_{15}}{z_{16}} = \frac{1}{\varphi^3} = \frac{1}{4}; \quad U_9 = \frac{z_{17}}{z_{18}} = \varphi^0 = 1;$$

$$a+b=5$$

$$c+d=2$$

Приймаємо $\sum Z=90$

$$z_{15} = \frac{\sum z}{a+b} \cdot a = \frac{90}{5} \cdot 1 = 18; \quad z_{16} = \frac{\sum z}{a+b} \cdot b = \frac{90}{5} \cdot 4 = 72;$$

$$z_{17} = \frac{\sum z}{c+d} \cdot c = \frac{90}{2} \cdot 1 = 45; \quad z_{18} = \frac{\sum z}{c+d} \cdot d = \frac{90}{2} \cdot 1 = 45;$$

Таблиця 2.1 – Зведена таблиця зубчатих коліс

Передавальні відношення	Сума зубів зв'язаних коліс	Число зубів зубчастих коліс		Вали
$U_1=5/8$ $U_2=1$ $U_3=8/5$	$\sum Z=104$	$Z_1=40$ $Z_3=52$ $Z_5=64$	$Z_2=64$ $Z_4=52$ $Z_6=40$	I - II
$U_4=2/5$ $U_5=8/5$	$\sum Z=91$	$Z_7=26$ $Z_9=56$	$Z_8=65$ $Z_{10}=35$	II - III
$U_6=2/5$	$\sum Z=98$	$Z_{11}=28$	$Z_{12}=70$	II - IV
$U_7=1/4$	$\sum Z=90$	$Z_{13}=18$	$Z_{14}=72$	IV - V
$U_8=1/4$ $U_9=1$	$\sum Z=90$	$Z_{15}=18$ $Z_{17}=45$	$Z_{16}=72$ $Z_{18}=45$	V - III

Фактичні передавальні відношення:

$$U_1 = \frac{z_1}{z_2} = \frac{40}{64} = 0,625; \quad U_4 = \frac{z_7}{z_8} = \frac{26}{65} = 0,4; \quad U_7 = \frac{z_{13}}{z_{14}} = \frac{18}{72} = 0,25;$$

$$U_2 = \frac{z_3}{z_4} = \frac{52}{52} = 1; \quad U_5 = \frac{z_9}{z_{10}} = \frac{56}{35} = 1,6; \quad U_8 = \frac{z_{15}}{z_{16}} = \frac{18}{72} = 0,25;$$

$$U_3 = \frac{z_5}{z_6} = \frac{64}{40} = 1,6; \quad U_6 = \frac{z_{11}}{z_{12}} = \frac{28}{70} = 0,4; \quad U_9 = \frac{z_{17}}{z_{18}} = \frac{45}{45} = 1;$$

2.1.4. Розрахунок дійсних частот обертання шпинделя

$$n_1 = 630 \cdot U_1 \cdot U_6 \cdot U_7 \cdot U_8 = 630 \cdot 0,625 \cdot 0,4 \cdot 0,25 \cdot 0,25 = 9,84 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_2 = 630 \cdot U_2 \cdot U_6 \cdot U_7 \cdot U_8 = 630 \cdot 1 \cdot 0,4 \cdot 0,25 \cdot 0,25 = 15,75 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_3 = 630 \cdot U_3 \cdot U_6 \cdot U_7 \cdot U_8 = 630 \cdot 1,6 \cdot 0,4 \cdot 0,25 \cdot 0,25 = 25,2 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_4 = 630 \cdot U_1 \cdot U_6 \cdot U_7 \cdot U_9 = 630 \cdot 0,625 \cdot 0,4 \cdot 0,25 \cdot 1 = 39,37 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_5 = 630 \cdot U_2 \cdot U_6 \cdot U_7 \cdot U_9 = 630 \cdot 1 \cdot 0,4 \cdot 0,25 \cdot 1 = 63 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_6 = 630 \cdot U_3 \cdot U_6 \cdot U_7 \cdot U_9 = 630 \cdot 1,6 \cdot 0,4 \cdot 0,25 \cdot 1 = 100,8 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_7 = 630 \cdot U_1 \cdot U_4 = 630 \cdot 0,625 \cdot 0,4 = 157,5 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_8 = 630 \cdot U_2 \cdot U_4 = 630 \cdot 1 \cdot 0,4 = 252 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_9 = 630 \cdot U_3 \cdot U_4 = 630 \cdot 1,6 \cdot 0,4 = 403,2 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_{10} = 630 \cdot U_1 \cdot U_5 = 630 \cdot 0,625 \cdot 1,6 = 630 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_{11} = 630 \cdot U_2 \cdot U_5 = 630 \cdot 1 \cdot 1,6 = 1008 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_{12} = 630 \cdot U_1 \cdot U_5 = 630 \cdot 1,6 \cdot 1,6 = 1612,8 \text{ хв}^{-1};$$

2.1.5. Вибір електродвигуна

Потужність електродвигуна визначимо по формулі: $P_{ед} = \frac{P_{ун}}{\eta_c}$;

де $P_{ун}$ – максимальна потужність на валу шпинделя, кВт. $P_{ун} = 6$ кВт;

η_c – коефіцієнт корисної дії верстата.

$$\eta_c = \eta_{pn} \cdot \eta_{zn} \cdot \eta_{nid};$$

де η_{pn} – ККД пасової передачі, $\eta_{pn} = 0,96$;

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

η_{zn} – ККД зубчастого зачеплення, $\eta_{zn}=0,98$;

η_{nid} – ККД пари підшипникових вузлів, $\eta_{nid}=0,99$;

$$\eta_c=0,96 \cdot 0,98^4 \cdot 0,99^5=0,84; \quad P_{ед} = \frac{6}{0,84} = 7,14 \text{ кВт};$$

Вибираємо асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором серії 4А основного виконання (що закриті обдуваються) 4В132М4У3, потужністю $P_{ед}=7,5$ кВт і частотою обертання валу $n_d=1455$ хв⁻¹.

Потужності і передавальні моменти на валах.

1. Потужності (кВт).

$$P_1 = P_{ед} \cdot \eta_{pn} \cdot \eta_{nod} = 7,5 \cdot 0,96 \cdot 0,99 = 7,128;$$

$$P_2 = P_1 \cdot \eta_{nod} \cdot \eta_{zn} = 7,13 \cdot 0,99 \cdot 0,98 = 6,916;$$

$$P_3 = P_2 \cdot \eta_{nod} \cdot \eta_{zn} = 6,92 \cdot 0,99 \cdot 0,98 = 6,71;$$

$$P_4 = P_2 \cdot \eta_{nod} \cdot \eta_{zn} = 6,92 \cdot 0,99 \cdot 0,98 = 6,71;$$

$$P_5 = P_4 \cdot \eta_{nod} \cdot \eta_{zn} = 6,71 \cdot 0,99 \cdot 0,98 = 6,51;$$

$$P_3' = P_5 \cdot \eta_{nod} \cdot \eta_{zn} = 6,51 \cdot 0,99 \cdot 0,98 = 6,316.$$

2. Моменти (Нм).

$$M_{K1} = \frac{P_1}{\omega_1} = \frac{7128}{65,94} = 108 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad \omega_1 = \frac{\pi n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 630}{30} = 65,94;$$

$$M_{K2}^{\max} = \frac{P_2}{\omega_2} = \frac{6920}{41,9} = 165 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad \omega_2 = \frac{\pi n_9}{30} = 41,9;$$

$$M_{K2}^{\min} = \frac{P_2}{\omega_2'} = \frac{6920}{104,7} = 66 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad \omega_2' = \frac{\pi n_{11}}{30} = 104,7;$$

$$M_{K3}^{\max} = \frac{P_3}{\omega_3} = \frac{6316}{1,04} = 6034 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad \omega_3 = \frac{\pi n_1}{30} = 1,04;$$

$$M_{K3}^{\min} = \frac{P_3}{\omega_3'} = \frac{6710}{167,5} = 40 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad \omega_3' = \frac{\pi n_{12}}{30} = 167,5;$$

$$M_{K4}^{\max} = \frac{P_4}{\omega_4} = \frac{6710}{16,8} = 401 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad \omega_4 = \frac{\pi n_7}{30} = 16,8;$$

$$M_{K4}^{\min} = \frac{P_4}{\omega_4'} = \frac{6710}{41,9} = 160 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad \omega_4' = \frac{\pi n_9}{30} = 41,9;$$

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

$$M_{K5}^{\max} = \frac{P_5}{\omega_5} = \frac{6510}{4,2} = 1555 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad \omega_5 = \frac{\pi n_4}{30} = 4,2;$$

$$M_{K5}^{\min} = \frac{P_5}{\omega_5'} = \frac{6510}{10,5} = 622 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad \omega_5' = \frac{\pi n_6}{30} = 10,5;$$

2.2. Конструкторський розрахунок

2.2.1. Розрахунок зубчастих коліс

Проведемо проектувальний розрахунок зубчастих коліс на втому по контактній напрузі і на згин.

$$m_{зг} = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{6080}{z \cdot \psi \cdot y[\sigma]_u} \cdot \frac{P}{n} \cdot K \cdot K_{пер} \cdot K_{дин}};$$

де: m – модуль в мм.;

P – потужність в ланцюзі з урахуванням ККД (кВт);

n – частота (об/хв) меншого зубчастого колеса передачі, по якій на шпindelь передається приблизно верхня частота нижньої третини діапазону регулювання;

Z – число зубів шестерні, що розраховується;

U – передавальне відношення числа зубів більшого колеса до меншого ($U > 1$);

ψ – відношення ширини зубчастого колеса до модуля ($\psi = 6 \dots 10$), приймаємо $\psi = 10$;

y – коефіцієнт форми зуба;

$[\sigma]_к$ – допустима контактна напруга (МПа);

$[\sigma]_и$ – допустима напруга вигину (МПа);

K – коефіцієнт довговічності.

$$K = K_p \cdot K_u \cdot \sqrt[3]{\frac{60T \cdot n_{\min}}{n_0}}$$

K_p – коефіцієнт, що характеризує передбачувану зміну потужності (0,63...0,65)

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

T – розрахунковий час роботи передачі, в год.

$$T = \frac{10000}{\text{число передач в групі}}$$

n_0 – базове число матеріалу шестерні, що розраховується;

K_n – коефіцієнт, що характеризує роботу передачі на різних частотах обертання (для проміжних передач 0,95...10) для шестерні передавальної рух шпинделю;

$K_{дин}$ – коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження $K_{пер}=1$;

$K_{дин}$ – коефіцієнт динамічності, заздалегідь $K_{дин}=1$.

Після розрахунку $m_{кон}$ і $m_{зг}$ проводимо перевірочний розрахунок $K_{дин}$

$$K_{дин} = 1 + \frac{0,245 \cdot V^2}{P} \cdot \sqrt{\frac{A(\Delta)}{U}}$$

P – потужність на валу;

V – окружна швидкість шестерні, що розраховується:

$$V = \frac{\pi n}{30} \cdot \frac{d}{2};$$

d – діаметр шестерні, що розраховується;

A – міжцентрова відстань пари зубчастих коліс;

U – передавальне відношення пари зубчастих коліс;

Δ – помилка в кроці шестерні, що розраховується, мкм.

1. Визначення модуля на першій ступені

Розрахунок для передачі $Z_1/Z_2=30/48$

$$m_{к1} = \sqrt[3]{\frac{U_1 + 1}{U_1 \cdot \psi} \left(\frac{2060100}{z_1 [\sigma]_к} \right)^2 \cdot \frac{P_1}{n_{10}} \cdot K \cdot K_{пер} \cdot K_{дин}};$$

де $K = K_p \cdot K_u \cdot \sqrt[3]{\frac{60 \cdot T \cdot n_{\min}}{n_0}};$ $K_p = 0,63;$ $K_u = 1;$

$$T = \frac{10000}{3} = 3333; \quad n_0 = 20 \cdot 10^7 \text{ (для загартованої сталі 45)}$$

$[\sigma]_к=930$ МПа для сталі 45

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

$$K = 0,63 \cdot \sqrt[3]{\frac{60 \cdot 3333 \cdot 630}{20 \cdot 10^7}} = 0,53;$$

$$m_{кон1} = \sqrt[3]{\frac{1,6 + 1 \left(\frac{2060100}{40 \cdot 930} \right)^2 \cdot \frac{7,13}{630} \cdot 0,53 \cdot 1 \cdot 1}{1,6 \cdot 8}} = 1,6;$$

$$m_{з2} = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{6080}{z_1 \cdot \psi \cdot y[\sigma]_u} \cdot \frac{P_1}{n_{10}} \cdot K_{пер} \cdot K_{дин}};$$

$y=0,1$; $[\sigma]_u=370$ МПа для сталі 45

$$m_{з21} = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{6080}{40 \cdot 8 \cdot 0,11 \cdot 370} \cdot \frac{7,13}{630} \cdot 1 \cdot 1} = 1,8 \text{ мм};$$

Попередньо вибираємо модуль $m=3$ мм.

Проведемо перевірку по $K_{дин}$.

$$K_{дин} = 1 + \frac{0,245 \cdot V_1}{F_{u1}} \cdot \sqrt{\frac{A_1(\Delta - 5)}{U}};$$

$$A_1 = \frac{m(z_2 + z_2')}{2} = \frac{3 \cdot (40 + 64)}{2} = 156; \quad \Delta = 17;$$

$$V_1 = \frac{\pi n_{13} \cdot d_2}{30 \cdot 2} = \frac{\pi n_{10} m z_1}{60} = \frac{\pi \cdot 630 \cdot 3 \cdot 40 \cdot 10^{-3}}{60} = 4 \text{ м/с};$$

$$F_{u1} = \frac{P \cdot 10^3}{V} = \frac{7128 \cdot 10^3}{4} = 1802 \text{ Н}; \quad K_{дин} = 1 + \frac{0,245 \cdot 4}{1802} \cdot \sqrt{\frac{156(17 - 5)}{1,6}} = 1,018;$$

При уточненому розрахунку $K_{дин}=1$, отже модуль не міняється.

Остаточно для першого ступеня приймаємо: $m_1=3$ мм; $A=156$ мм.

2. Визначення модуля 2-го ступеня.

Розрахунок ведемо для передачі $Z_7/Z_8=26/65$

$$m_{кон2} = \sqrt[3]{\frac{U_4 + 1 \left(\frac{2060100}{z_4 [\sigma]_K} \right)^2 \cdot \frac{P_2}{n_{10}} \cdot K \cdot K_{пер} \cdot K_{дин}}{U_4 \cdot \psi}};$$

де $K = K_p \cdot K_u \cdot \sqrt[3]{\frac{60 \cdot T \cdot n_{10}}{n_0}};$ $K_p = 0,65;$ $K_u = 0,98;$

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

$$T = \frac{10000}{2} = 5000; \quad n_0 = 20 \cdot 10^7 \text{ (для загартованої сталі 45)}$$

$[\sigma]_к=930$ МПа для сталі 45

$$K = 0,65 \cdot 0,98 \cdot \sqrt[3]{\frac{60 \cdot 5000 \cdot 1000}{20 \cdot 10^7}} = 0,625;$$

$$m_{кон2} = \sqrt[3]{\frac{2,5+1}{2,5 \cdot 8} \left(\frac{2060100}{26 \cdot 930} \right)^2 \cdot \frac{6,916}{630} \cdot 0,625 \cdot 1 \cdot 1} = 2,09;$$

$$m_{з2} = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{6080}{z_4 \cdot \psi \cdot y[\sigma]_и} \cdot \frac{P_2}{n_{10}} \cdot K_{пер} \cdot K_{дин}};$$

$y=0,1$; $[\sigma]_и=370$ МПа для сталі 45

$$m_{з2} = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{6080}{26 \cdot 8 \cdot 0,1 \cdot 370} \cdot \frac{6,916}{630} \cdot 1 \cdot 1} = 2,05 \text{ мм};$$

Попередньо вибираємо модуль $m=4$

Проведемо перевірку по динамічному коефіцієнту $K_{дин}$

$$K_{дин} = 1 + \frac{0,245 \cdot V_4}{F_{и4}} \cdot \sqrt{\frac{A_2 (\Delta - 5)}{U_4}}; \quad \Delta = 17;$$

$$A_2 = \frac{m(z_4 + z_5)}{2} = \frac{4 \cdot (26 + 65)}{2} = 182; \quad \Delta = 17;$$

$$V_4 = \frac{\pi n_{10}}{30} \cdot \frac{d_4}{2} = \frac{\pi n_{10} m z_4}{60} = \frac{\pi \cdot 630 \cdot 4 \cdot 26 \cdot 10^{-3}}{60} = 3,4;$$

$$F_{и4} = \frac{P \cdot 10^3}{V} = \frac{6,92 \cdot 10^3}{3,4} = 2017 \text{ Н};$$

$$K_{дин} = 1 + \frac{0,245 \cdot 3,4}{2017} \cdot \sqrt{\frac{182(17-5)}{2,5}} = 1,012;$$

При уточненому розрахунку $K_{дин}=1$, отже модуль не міняється.

Остаточно для другого ступеня приймаємо $m_2=4$ мм; $A=182$ мм.

3. Визначення модуля третього ступеня

Розрахунок вироблюваний для передачі $Z_{11}/Z_{12}=28/70$

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$m_{конз} = \sqrt[3]{\frac{U_6 + 1}{U_6 \cdot \psi} \left(\frac{2060100}{z_{11} [\sigma]_K} \right)^2 \cdot \frac{P_2}{n_{10}} \cdot K \cdot K_{пер} \cdot K_{дин}};$$

де $K = K_p \cdot K_u \cdot \sqrt[3]{\frac{60 \cdot T \cdot n_{10}}{n_0}};$ $K_p = 0,65;$ $K_u = 0,98;$

$$T = \frac{10000}{1} = 10000; \quad n_0 = 20 \cdot 10^7 \text{ (для загартованої сталі 45)}$$

$[\sigma]_K = 930$ МПа для сталі 45

$$K = 0,65 \cdot 0,98 \cdot \sqrt[3]{\frac{60 \cdot 10000 \cdot 630}{20 \cdot 10^7}} = 0,79;$$

$$m_{конз} = \sqrt[3]{\frac{2,5 + 1}{2,5 \cdot 8} \left(\frac{2060100}{26 \cdot 930} \right)^2 \cdot \frac{6,916}{630} \cdot 0,79 \cdot 1 \cdot 1} = 2,2;$$

$$m_{ззз} = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{6080}{z_{11} \cdot \psi \cdot y [\sigma]_u} \cdot \frac{P_2}{n_{10}} \cdot K_{пер} \cdot K_{дин}};$$

$y = 0,1;$ $[\sigma]_u = 370$ МПа для сталі 45.

$$m_{ззз} = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{6080}{28 \cdot 8 \cdot 0,1 \cdot 370} \cdot \frac{6,916}{630} \cdot 1 \cdot 1} = 2,0;$$

Попередньо вибираємо модуль $m = 3$ мм.

Проведемо перевірку по динамічному коефіцієнту $K_{дин}$.

$$K_{дин} = 1 + \frac{0,245 \cdot V_{11}}{F_{u11}} \cdot \sqrt{\frac{A_3 (\Delta - 5)}{U_{11}}}; \quad \Delta = 21;$$

$$A_3 = \frac{m(z_7 + z_7')}{2} = \frac{3 \cdot (28 + 70)}{2} = 147;$$

$$V_{11} = \frac{\pi n_{11}}{30} \cdot \frac{d_7}{2} = \frac{\pi n_{11} m z_7}{60} = \frac{\pi \cdot 630 \cdot 3 \cdot 28 \cdot 10^{-3}}{60} = 2,8 \text{ м/с};$$

$$F_{u11} = \frac{P \cdot 10^3}{V_{11}} = \frac{6,916 \cdot 10^3}{2,8} = 2497 \text{ Н};$$

$$K_{дин} = 1 + \frac{0,245 \cdot 2,8}{2497} \cdot \sqrt{\frac{147(21 - 5)}{2,5}} = 1,008;$$

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

При уточненому розрахунку $K_{дин}=1$, отже модуль не міняється.

Остаточно для другого ступеня приймаємо: $m_3=3$ мм; $A=147$ мм.

4. Визначення модуля для четвертого ступеня.

Розрахунок виконаний для передачі $Z_{13}/Z_{14}=18/72$.

$$m_{кон4} = \sqrt[3]{\frac{U_7 + 1}{U_7 \cdot \psi} \left(\frac{2060100}{z_{13} [\sigma]_K} \right)^2 \cdot \frac{P_4}{n_8} \cdot K \cdot K_{пер} \cdot K_{дин}};$$

де $K = K_p \cdot K_u \cdot \sqrt[3]{\frac{60 \cdot T \cdot n_6}{n_0}};$ $K_p = 0,65;$ $K_u = 1,1;$

$$T = \frac{10000}{1} = 10000; \quad n_0 = 20 \cdot 10^7 \text{ (для загартованої сталі 45).}$$

$[\sigma]_K=930$ МПа для сталі 45.

$$K = 0,65 \cdot 1,1 \cdot \sqrt[3]{\frac{60 \cdot 10000 \cdot 250}{20 \cdot 10^7}} = 0,65;$$

$$m_{кон4} = \sqrt[3]{\frac{4 + 1}{4 \cdot 8} \left(\frac{2060100}{18 \cdot 930} \right)^2 \cdot \frac{6,71}{250} \cdot 0,65 \cdot 1 \cdot 1} = 3,52;$$

$$m_{зз4} = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{6080}{z_{13} \cdot \psi \cdot y [\sigma]_u} \cdot \frac{P_4}{n_8} \cdot K_{пер} \cdot K_{дин}};$$

$y=0,1;$ $[\sigma]_u=370$ МПа для сталі 45

$$m_{зз4} = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{6080}{18 \cdot 8 \cdot 0,098 \cdot 370} \cdot \frac{6,71}{250} \cdot 1 \cdot 1} = 3,13;$$

Попередньо вибираємо модуль $m=4$.

Проведемо перевірку по динамічному коефіцієнту $K_{дин}$

$$K_{дин} = 1 + \frac{0,245 \cdot V_{13}}{F_{u13}} \cdot \sqrt{\frac{A_4 (\Delta - 5)}{U_7}}; \quad \Delta = 21;$$

$$A_4 = \frac{m(z_{13} + z_{14})}{2} = \frac{4 \cdot (18 + 72)}{2} = 180 \text{ мм};$$

$$V_{13} = \frac{\pi n_8}{30} \cdot \frac{d_8}{2} = \frac{\pi n_8 m z_{13}}{60} = \frac{\pi \cdot 250 \cdot 4 \cdot 18 \cdot 10^{-3}}{60} = 0,94 \text{ м/с};$$

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

$$F_{u13} = \frac{P_4 \cdot 10^3}{V_4} = \frac{6,71 \cdot 10^3}{0,94} = 7123 \text{ Н};$$

$$K_{дин} = 1 + \frac{0,245 \cdot 0,94}{7123} \cdot \sqrt{\frac{180(21-5)}{4}} = 1,001.$$

При уточненому розрахунку $K_{дин}=1$, отже модуль не міняється.

Остаточно для другого ступеня приймаємо: $m_4=4 \text{ мм}; \quad A=180 \text{ мм}.$

5. Визначення модуля для п'ятого ступеня

Розрахунок вироблюваний для передачі $Z_{15}/Z_{16}=18/72$

$$m_{кон5} = \sqrt[3]{\frac{U_8 + 1 \left(\frac{2060100}{z_{15} [\sigma]_K} \right)^2 \cdot \frac{P_5}{n_5} \cdot K \cdot K_{пер} \cdot K_{дин}}{U_8 \cdot \psi}}$$

де $K = K_p \cdot K_u \cdot \sqrt[3]{\frac{60 \cdot T \cdot n_6}{n_0}}; \quad K_p = 0,65; \quad K_u = 1,1;$

де $T = \frac{10000}{2} = 5000; \quad n_0 = 20 \cdot 10^7$ (для загартованої сталі 45)

$[\sigma]_K=930 \text{ МПа}$ для сталі 45

$$K = 0,65 \cdot 1,1 \cdot \sqrt[3]{\frac{60 \cdot 5000 \cdot 63}{20 \cdot 10^7}} = 0,33;$$

$$m_{кон5} = \sqrt[3]{\frac{4+1 \left(\frac{2060100}{18 \cdot 930} \right)^2 \cdot \frac{6,51}{63} \cdot 0,33 \cdot 1 \cdot 1}{4 \cdot 8}} = 4,38;$$

$$m_{325} = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{6080}{z_{15} \cdot \psi \cdot y [\sigma]_u} \cdot \frac{P_5}{n_5} \cdot K_{пер} \cdot K_{дин}};$$

$y=0,1; [\sigma]_u=370 \text{ МПа}$ для сталі 45

$$m_{324} = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{6080}{18 \cdot 8 \cdot 0,1 \cdot 370} \cdot \frac{6,51}{63} \cdot 1 \cdot 1} = 3,37;$$

Попередньо вибираємо модуль $m=4 \text{ мм}.$

Проведемо перевірку по динамічному коефіцієнту $K_{дин}.$

$$K_{дин} = 1 + \frac{0,245 \cdot V_{15}}{F_{u15}} \cdot \sqrt{\frac{A_5 (\Delta - 5)}{U_8}}; \quad \Delta = 21;$$

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$A_5 = \frac{m(z_{15} + z_{16})}{2} = \frac{4 \cdot (18 + 72)}{2} = 180 \text{ мм};$$

$$V_{15} = \frac{\pi n_8 \cdot d_{15}}{30 \cdot 2} = \frac{\pi n_5 m z_{15}}{60} = \frac{\pi \cdot 63 \cdot 4 \cdot 18 \cdot 10^{-3}}{60} = 0,24 \text{ м/с};$$

$$F_{u15} = \frac{P_5 \cdot 10^3}{V_{15}} = \frac{6,51 \cdot 10^3}{0,24} = 27424 \text{ Н};$$

$$K_{\text{дин}} = 1 + \frac{0,245 \cdot 0,24}{27424} \cdot \sqrt{\frac{225(21-5)}{1}} = 1;$$

При уточненому розрахунку $K_{\text{дин}}=1$, отже модуль не міняється.

Остаточно для другого ступеня приймаємо: $m_4=4 \text{ мм}; \quad A=180 \text{ мм}.$

Визначаємо ширину коліс:

$$B_1 = \psi \cdot m_1 = 8 \cdot 3 = 24 \text{ мм}; \quad B_2 = \psi \cdot m_2 = 8 \cdot 4 = 32 \text{ мм}; \quad B_3 = \psi \cdot m_3 = 8 \cdot 3 = 24 \text{ мм};$$

$$B_4 = \psi \cdot m_4 = 8 \cdot 4 = 32 \text{ мм}; \quad B_5 = \psi \cdot m_5 = 8 \cdot 4 = 32 \text{ мм}.$$

Таблиця 2.2 – Остаточні розміри зубчастих коліс

Вали	Міжцентрова відстань і модуль, мм	Числа зубів зубчастих коліс	Діаметри зубчастих коліс	Ширина коліс, мм
I - II	$A_1=156$ $m_1=3$	$Z_1=40$ $Z_2=64$ $Z_3=52$ $Z_4=52$ $Z_5=64$ $Z_6=40$	$d_1=120$ $d_2=192$ $d_3=156$ $d_4=156$ $d_5=192$ $d_6=120$	24
II - III	$A_2=182$ $m_2=4$	$Z_7=26$ $Z_8=65$ $Z_9=56$ $Z_{10}=35$	$d_7=104$ $d_8=260$ $d_9=224$ $d_{10}=140$	32
II - IV	$A_3=147$ $m_3=3$	$Z_{11}=28$ $Z_{12}=70$	$d_9=84$ $d_{10}=210$	24
IV - V	$A_4=180$ $m_4=4$	$Z_{13}=18$ $Z_{14}=72$	$d_{11}=72$ $d_{12}=288$	32
V - III	$A_5=180$ $m_5=4$	$Z_{15}=18$ $Z_{16}=72$ $Z_{17}=45$ $Z_{18}=45$	$d_{15}=72$ $d_{16}=288$ $d_{17}=180$ $d_{18}=180$	32

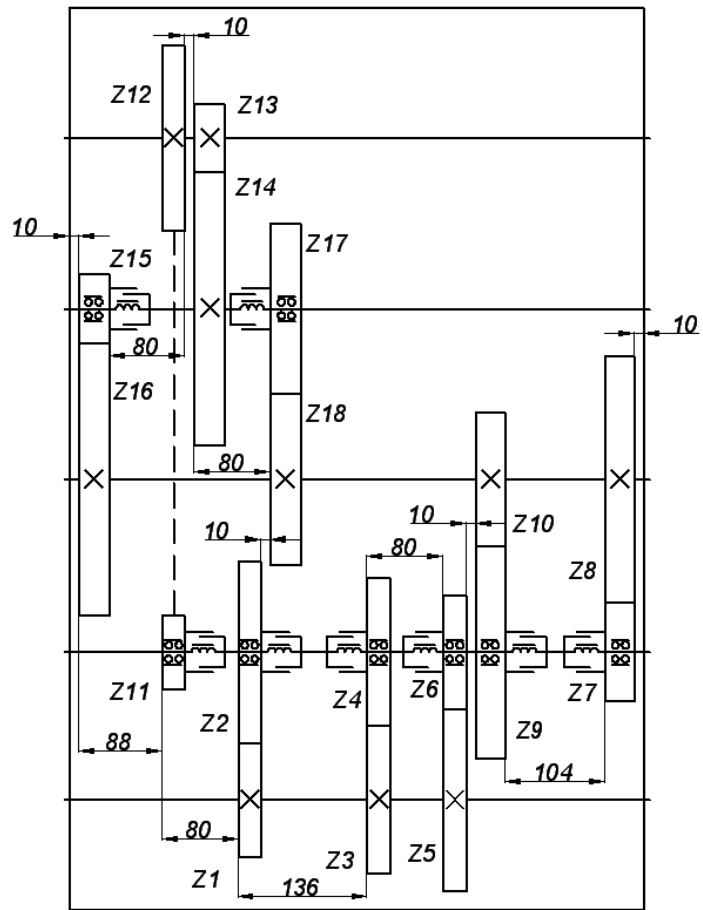


Рисунок 2.3 – Спроектвана коробка швидкостей (розгортка)

2.2.2. Згортка коробки швидкостей

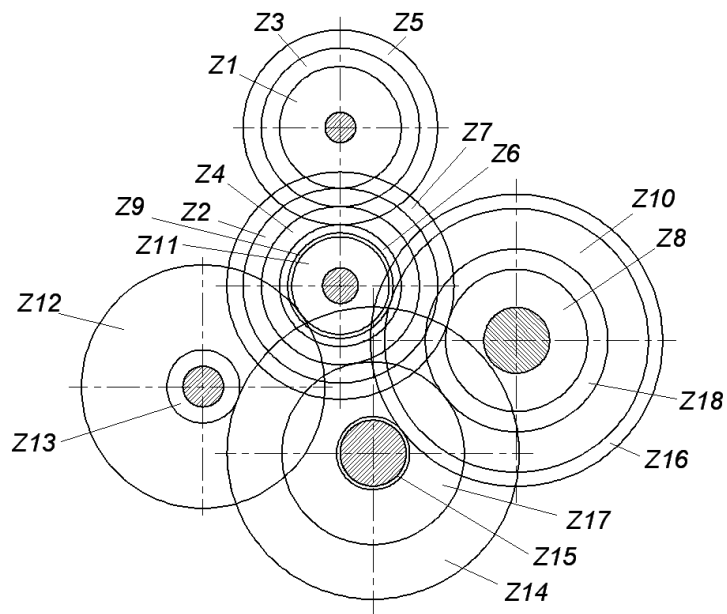


Рисунок 2.4 – Спроектвана коробка швидкостей (згортка)

Габаритні розміри коробки швидкостей: 610×610×600 мм.

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

2.2.3. Розрахунок валів

$$\text{Проектний розрахунок: } d_i = 130 \cdot \sqrt[3]{\frac{P_i}{n_{\min i}}};$$

де P_i – потужність, що передається на i -й вал;

$n_{\min i}$ – мінімальна частота обертання i -го валу.

$$d_1 = 130 \cdot \sqrt[3]{\frac{7,128}{630}} = 29,2 \text{ мм}; \quad d_2 = 130 \cdot \sqrt[3]{\frac{6,916}{400}} = 33,6 \text{ мм};$$

$$d_3 = 130 \cdot \sqrt[3]{\frac{6,71}{63}} = 61,6 \text{ мм}; \quad d_4 = 130 \cdot \sqrt[3]{\frac{6,71}{250}} = 39 \text{ мм};$$

$$d_5 = 130 \cdot \sqrt[3]{63} = 61 \text{ мм};$$

Приймаємо для першого, другого і четвертого валів відповідно:

$$d_1 = 30 \text{ мм}, d_2 = 35 \text{ мм}, d_4 = 39 \text{ мм}.$$

Для валів d_3 і d_5 робимо конструкторський розрахунок.

Розрахунок на міцність 3-го і 5-го валів.

Зробимо розрахунок на міцність п'ятого і третього валів.

V вал. Матеріал валу – сталь 45 у якої $\sigma_b = 610$ МПа, $\sigma_m = 360$ МПа.

Максимальний крутильний момент передаваний валом $M_{K5}^{\max} = 1555 \text{ Н} \cdot \text{м}$;

Окружні сили F_t

$$F_{t1} = \frac{2M_{K5}^{\max}}{d_{13}} = \frac{2 \cdot 1555}{288 \cdot 10^{-3}} = 10799 \text{ Н};$$

$$F_{t2} = \frac{2M_{K5}^{\max}}{d_{15}} = \frac{2 \cdot 1555}{72 \cdot 10^{-3}} = 43194 \text{ Н};$$

Радіальні сили F_r

$F_r = F_t \cdot \tan \alpha$; $\alpha = 20^\circ$ – для евольвентних зубів.

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

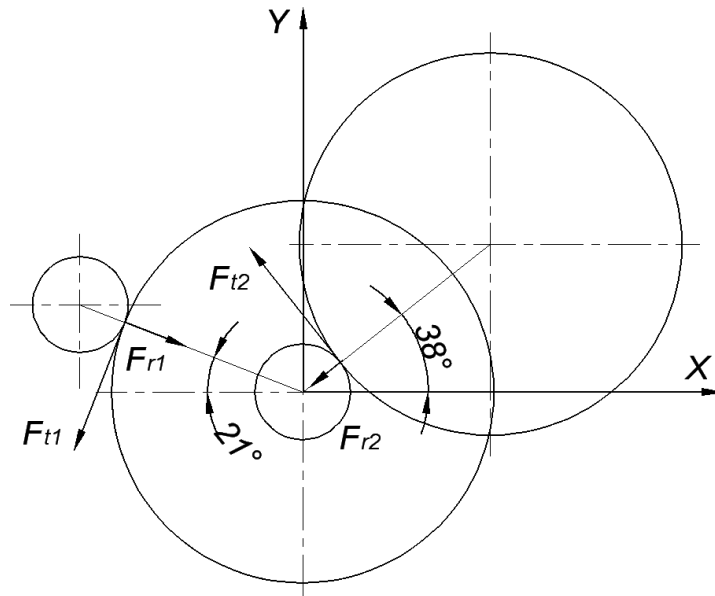


Рисунок 2.5 – Дія сил на 3 і 5 валах

$$F_{r1} = F_{t1} \cdot \tan 20 = 10799 \cdot \tan 20 = 3888 \text{ H};$$

$$F_{r2} = F_{t2} \cdot \tan 20 = 43194 \cdot \tan 20 = 15550 \text{ H};$$

Суми проекцій сил на осі X і Y

$$\begin{aligned} Y: & F_{t2} \cdot \cos 38 - F_{t1} \cdot \cos 21 - F_{r1} \cdot \sin 21 - F_{r2} \cdot \sin 38; \\ & 43194 \cdot \cos 38 - 10799 \cdot \cos 21 - 3888 \cdot \sin 21 - \\ & - 15550 \cdot \sin 38 = 12989 \text{ H}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X: & -F_{t2} \cdot \sin 38 - F_{t1} \cdot \sin 21 - F_{r1} \cdot \cos 21 - F_{r2} \cdot \cos 38; \\ & 43194 \cdot \sin 38 - 10799 \cdot \sin 21 + 3888 \cdot \cos 21 - \\ & - 15550 \cdot \cos 38 = 35217 \text{ H}; \end{aligned}$$

Розглянемо реакцію опор підшипників в горизонтальній і вертикальній площинах

а) горизонтальна площина

$$F_1' = F_{r1} \cdot \sin 21 - F_{t1} \cdot \cos 21 = -8688;$$

$$F_2' = -F_{r2} \cdot \sin 38 - F_{t2} \cdot \cos 38 = -43611;$$

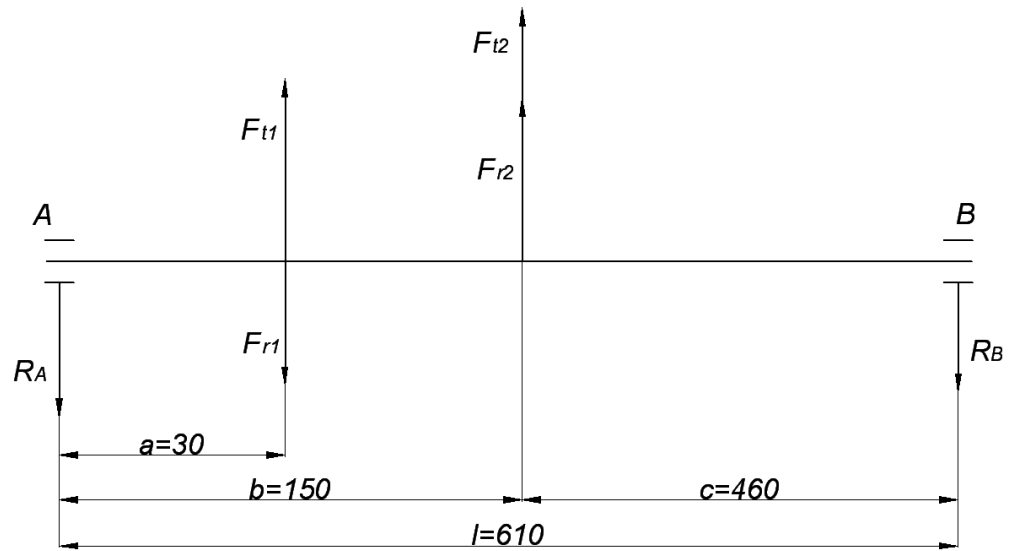


Рисунок 2.6 – Прикладення сил на 3 валу

$$M_B=0: -R'_A l + F'_1 (l - a) + F'_2 (c) = 0;$$

$$R'_A = \frac{F'_1 \cdot (l - a) + F'_2 \cdot b}{l} = \frac{8688 \cdot 580 + 43611 \cdot 460}{610} = 41148 \text{ H};$$

$$R'_B = F'_1 + F'_A = 8688 + 43611 - 41148 = 11151 \text{ H};$$

б) вертикальна площина

$$F_1'' = -F_{t1} \cdot \cos 21 - F_{r1} \cdot \sin 21 = -11475 \text{ H};$$

$$F_2'' = -F_{t2} \cdot \cos 38 - F_{r2} \cdot \sin 38 = 24464 \text{ H};$$

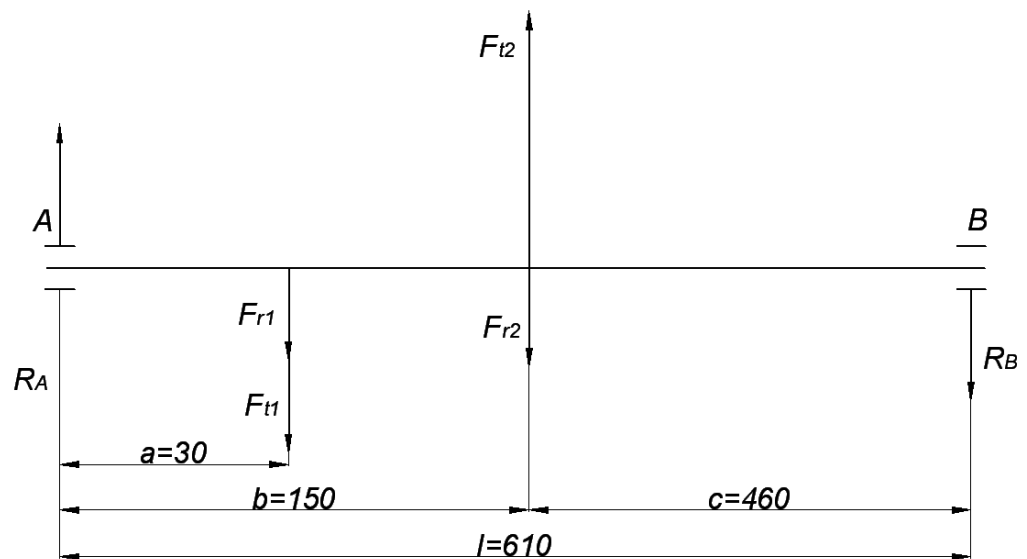


Рисунок 2.7 – Прикладення сил на 5 валу

$$M_B=0: R_A'' \cdot l - F_1'' \cdot (l - a) + F_2'' \cdot (c) = 0;$$

$$R_A'' = \frac{F_1'' \cdot (l - a) + F_2'' \cdot c}{l} = \frac{11475 \cdot 580 + 24464 \cdot 460}{610} = -7538 \text{ H};$$

$$R_B'' = R_A'' - F_1'' + F_2'' = 7538 + 11475 + 24464 = 5451 \text{ H};$$

Згинальні моменти в перерізі I - I і II - II від сил F_1' і F_2'

$$\text{I - I: } M_1' = R_A' \cdot a = 41148 \cdot 0,03 = 1234 \text{ H} \cdot \text{м};$$

$$\text{II - II: } M_2' = R_B' \cdot b = 11151 \cdot 0,46 = 5130 \text{ H} \cdot \text{м};$$

від сил F_1'' і F_2''

$$\text{I - I: } M_1'' = R_A'' \cdot a = -7538 \cdot 0,03 = -226 \text{ H} \cdot \text{м};$$

$$\text{II - II: } M_2'' = R_B'' \cdot b = 5451 \cdot 0,46 = 2508 \text{ H} \cdot \text{м};$$

Епюри згинальних моментів.

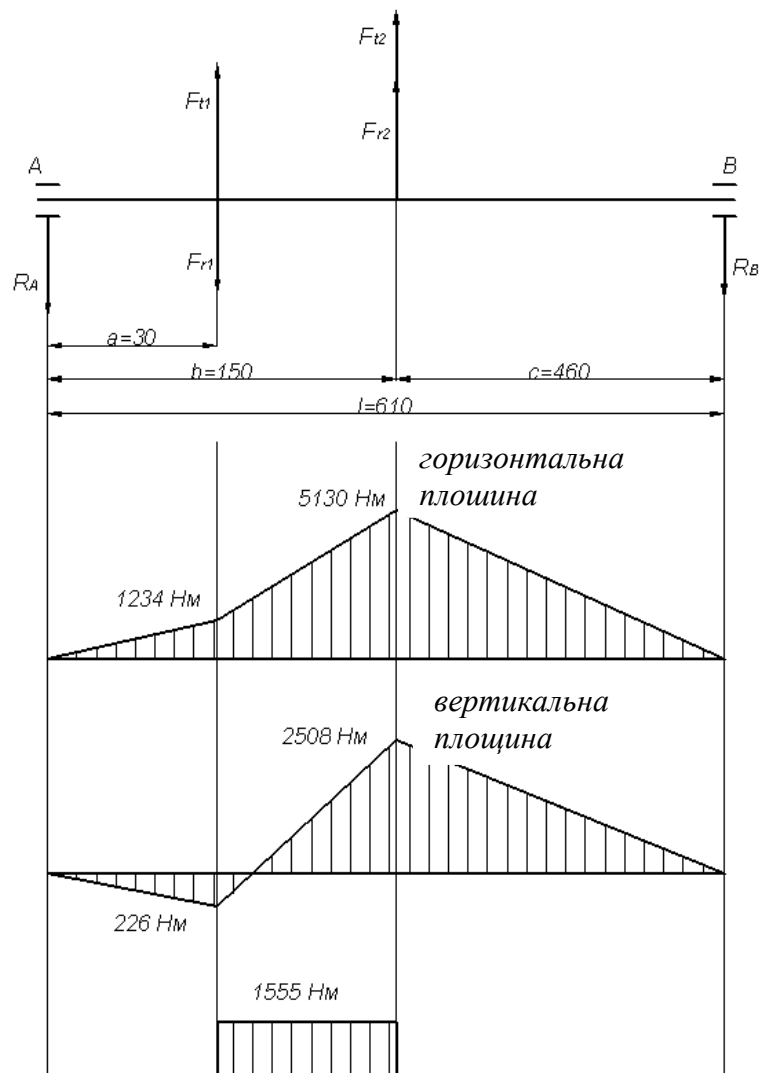


Рисунок 2.8 – Епюри згинальних моментів.

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Повний згинальний момент:

$$I - I: M_1 = \sqrt{(M_1')^2 + (M_2')^2} = \sqrt{1234^2 + 5130^2} = 5276 \text{ H};$$

$$II - II: M_2 = \sqrt{(M_1'')^2 + (M_2'')^2} = \sqrt{226^2 + 2508^2} = 2518 \text{ H};$$

Максимальний момент в перерізі I - I.

Розрахуємо діаметр п'ятого валу по третій теорії міцності

$$M_{екв} = \sqrt{M_1^2 + T^2} = \sqrt{5276^2 + 1555^2} = 5918 \text{ H};$$

$$\text{Діаметр валу: } d = \sqrt[3]{\frac{M_{екв}}{[\sigma]_u}} = \sqrt[3]{\frac{5918 \cdot 10^{-6}}{95}} = 0,0396 \text{ м};$$

З умови міцності $d_5 = d \cdot 1,4 = 39,6 \cdot 1,4 = 56,44 \text{ мм}$

Приймаємо діаметр п'ятого валу $d_5 = 65 \text{ мм}$.

Розрахунок на міцність третього валу.

Матеріал валу – сталь 45, у якої $\sigma_e = 610 \text{ МПа}$, $\sigma_m = 360 \text{ МПа}$.

$$M_{k3}^{\max} = 6034 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$\text{Окружна сила: } F_t = \frac{2M_{k3}^{\max}}{d_{16}} = \frac{2 \cdot 6034}{180 \cdot 10^{-3}} = 33522 \text{ Н};$$

$$\text{Радіальна сила: } F_r = F_t \cdot \tan 20 = 33522 \cdot \tan 20 = 12068 \text{ Н};$$

Визначаємо реакції опор

$$R'_A = \frac{F_t' \cdot b}{l} = \frac{33522 \cdot 380}{610} = 20883 \text{ Н}; \quad R'_B = F_t' - R'_A = 33522 - 20883 = 12639 \text{ Н};$$

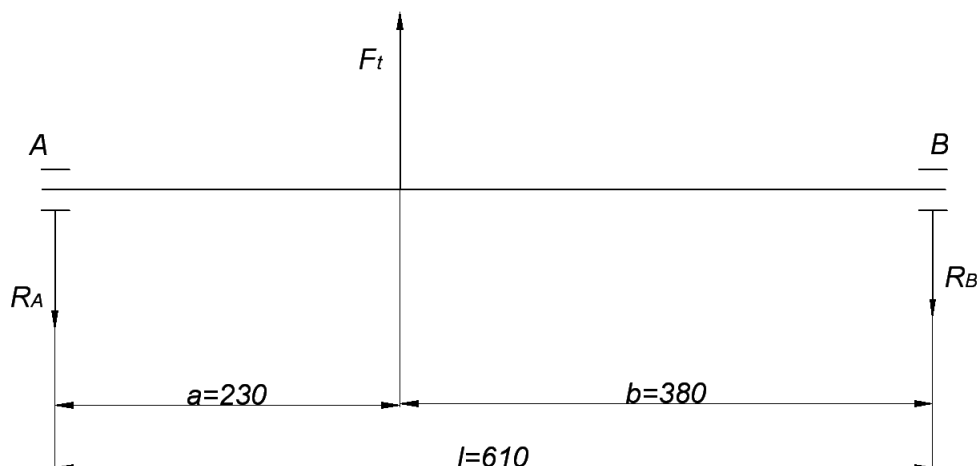


Рисунок 2.9 – Прикладення сил на валу

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$R_A'' = \frac{F_t' \cdot b}{l} = \frac{12068 \cdot 380}{610} = 7518 \text{ H};$$

$$R_B'' = F_r - R_A'' = 12068 - 7518 = 4550 \text{ H};$$

Згинальні моменти $M_{зг}$

у горизонтальній площині $M' = R_A' \cdot a = 20883 \cdot 0,23 = 4803 \text{ H} \cdot \text{м};$

у вертикальній площині $M'' = R_A'' \cdot a = 7518 \cdot 0,23 = 1729 \text{ H} \cdot \text{м};$

Сумарний згинальний момент розрахуємо по третій теорії міцності

$$M'_{зг} = \sqrt{(M')^2 + (M'')^2} = \sqrt{4803^2 + 1729^2} = 5105 \text{ H} \cdot \text{м};$$

$$M_{екв} = \sqrt{M_{зг}^2 + T^2} = \sqrt{5105^2 + 0,75 \cdot 6034^2} = 7305 \text{ H};$$

$$\text{Діаметр третього валу } d = \sqrt[3]{\frac{M_{екв}}{[\sigma]_u}} = \sqrt[3]{\frac{7305 \cdot 10^{-6}}{95}} = 0,043 \text{ м};$$

З умови міцності $d_3 = d \cdot 1,4 = 43 \cdot 1,4 = 63,2 \text{ мм}.$

Приймаємо діаметр третього валу $d_3 = 65 \text{ мм}.$

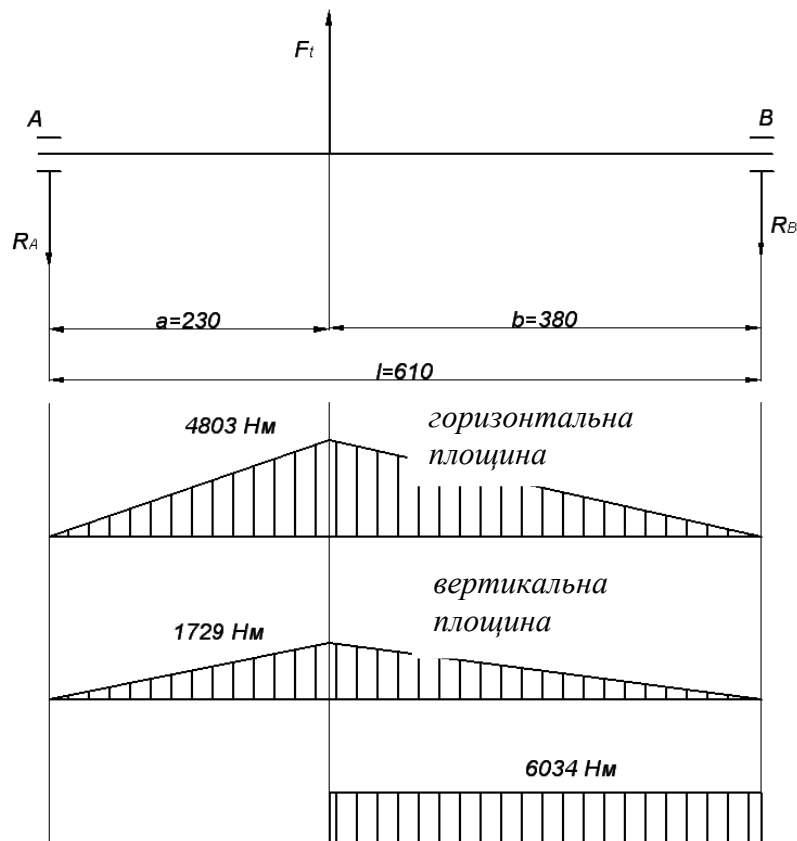


Рисунок 2.10 – Епюри згинальних моментів

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Розрахунок V і III валу на жорсткість

Розрахунок V валу на жорсткість ведемо з урахуванням усіх сил діючих на вал.

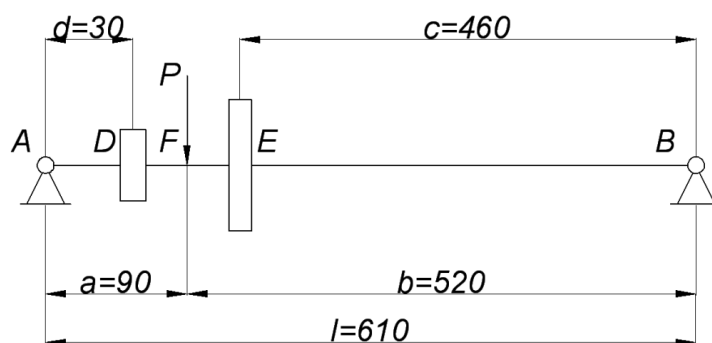


Рисунок 2.11 – Розрахункова схема 5 вала

$$P = F_{t13} + F_{r13} + F_{t15} + F_{r15} = 10799 + 3888 + 43194 + 15550 = 73431 \text{ Н};$$

J – осьовий момент для круглого перерізу

$$J = 0,05 \cdot D^4 = 0,05 \cdot 6^4 = 64,8 \text{ см}^4;$$

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

$$Q_A = \frac{P \cdot a \cdot b \cdot (l + b)}{E \cdot J \cdot l \cdot 590} = \frac{73431 \cdot 9 \cdot 52 \cdot (61 + 52)}{2 \cdot 10^5 \cdot 64,8 \cdot 61 \cdot 590} = 83,3 \cdot 10^{-4} \text{ рад};$$

$$Q_B = \frac{P \cdot a \cdot b \cdot (l + a)}{E \cdot J \cdot l \cdot 590} = \frac{73431 \cdot 9 \cdot 52 \cdot (61 + 9)}{2 \cdot 10^5 \cdot 64,8 \cdot 61 \cdot 590} = 51,6 \cdot 10^{-4} \text{ рад};$$

$$Q_D = \frac{P \cdot b \cdot (l^2 - b^2 - 3d^2)}{E \cdot J \cdot l \cdot 590} = \frac{73431 \cdot 52 \cdot (61^2 - 52^2 - 3 \cdot 3^2)}{2 \cdot 10^5 \cdot 64,8 \cdot 61 \cdot 590} = 81,1 \cdot 10^{-4} \text{ рад};$$

$$Q_F = \frac{P \cdot a \cdot (l^2 - a^2 - 3c^2)}{E \cdot J \cdot l \cdot 590} = \frac{73431 \cdot 9 \cdot (61^2 - 9^2 - 3 \cdot 46^2)}{2 \cdot 10^5 \cdot 64,8 \cdot 61 \cdot 590} = -38,4 \cdot 10^{-4} \text{ рад};$$

$$Q_B = \frac{P \cdot a \cdot b \cdot (b - a)}{E \cdot J \cdot l \cdot 590} = \frac{73431 \cdot 9 \cdot 52 \cdot (52 - 9)}{2 \cdot 10^5 \cdot 64,8 \cdot 61 \cdot 590} = 31,7 \cdot 10^{-4} \text{ рад};$$

$$Y_D = \frac{P \cdot b \cdot d \cdot (l^2 - b^2 - d^2)}{E \cdot J \cdot l \cdot 590} = \frac{73431 \cdot 52 \cdot 3 \cdot (61^2 - 52^2 - 3^2)}{2 \cdot 10^5 \cdot 64,8 \cdot 61 \cdot 590} = 0,0248 \text{ мм};$$

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$Y_E = \frac{P \cdot a \cdot l \cdot (l^2 - b^2 - d^2)}{E \cdot J \cdot l \cdot 590} = \frac{73431 \cdot 9 \cdot 61 \cdot (61^2 - 52^2 - 3^2)}{2 \cdot 10^5 \cdot 64,8 \cdot 61 \cdot 590} = 0,0871 \text{ мм};$$

$$Y_F = \frac{P \cdot a \cdot l \cdot (l^2 - a^2 - c^2)}{E \cdot J \cdot l \cdot 590} = \frac{73431 \cdot 9 \cdot 61 \cdot (61^2 - 9^2 - 3^2)}{2 \cdot 10^5 \cdot 64,8 \cdot 61 \cdot 590} = 0,132 \text{ мм};$$

$$\varphi_F = \frac{P \cdot a^2 \cdot b^2}{E \cdot J \cdot l \cdot 590} = \frac{73431 \cdot 9^2 \cdot 52^2}{2 \cdot 10^5 \cdot 64,8 \cdot 61 \cdot 590} = 0,069 \text{ мм};$$

Взаємний перекис Q визначається як алгебрагічна сума кутів нахилу Q_i .

$$\sum Q_i = Q_A + Q_B + Q_D + Q_E + Q_F = 83,3 + 51,6 + 81,1 - 38,4 + 31,7 = 209,19 \cdot 10^{-4} \text{ рад};$$

Взаємний перекис не повинен перевищувати значення:

$$Q_{\max} \leq \frac{(9 \div 12) F_{t13}}{10^5 \cdot B^2} = \frac{9 \cdot 43194}{10^5 \cdot 32^2} = 1215 \cdot 10^{-4} \text{ рад};$$

де F_{t13} – окружна сила, Н;

B – ширина колеса, мм.

Максимальний прогин:

$$[Y] = (0,0002 \div 0,0003) l = 0,122 \div 0,183 \text{ мм};$$

у місці установки зубчастого колеса

$$[Y] = (0,01 \div 0,03) m = 0,04 \div 0,12 \text{ мм};$$

Оскільки усі значення згину в перерізі валу знаходяться в допустимих межах, то діаметр валу вибраний правильно і перерахунок конструктивних розмірів не потрібно.

Розрахунок III валу на жорсткість ведемо з урахуванням усіх діючих на нього сил.

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

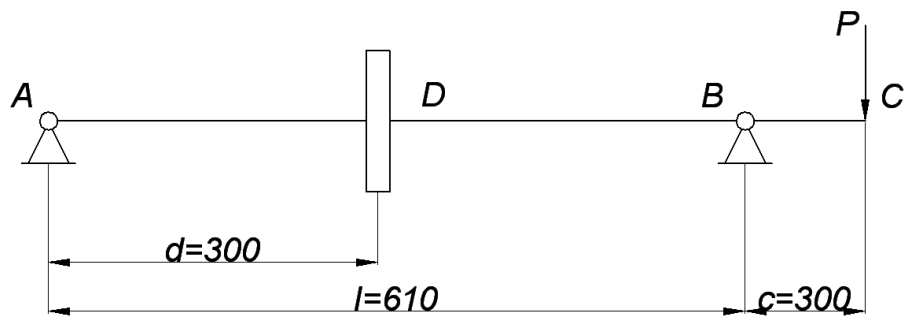


Рисунок 2.12 – Розрахункова схема III валу

Окружна сила діюча на колесо Z_{18} розташована на III валу, $F_t=33522$ Н.
Радіальна $F_{r18}=12068$ Н.

Загальна сила діюча на колесо валу:

$$F_{18} = \sqrt{F_{t18}^2 + F_{r18}^2} = \sqrt{33522^2 + 12068^2} = 35628 \text{ Н};$$

$$P = F_{18} + P_z = 35628 - 14800 = 20828 \text{ Н};$$

$$J = 0,05 \cdot D^4 = 0,05 \cdot 6,5^4 = 89,3 \text{ см}^4;$$

$$Q_A = \frac{P \cdot c \cdot l}{E \cdot J \cdot 590} = \frac{20828 \cdot 10 \cdot 61}{2 \cdot 10^5 \cdot 89,3 \cdot 590} = 12,1 \cdot 10^{-4} \text{ рад};$$

$$Q_B = \frac{P \cdot c \cdot l}{E \cdot J \cdot 590} = \frac{20828 \cdot 10 \cdot 61}{2 \cdot 10^5 \cdot 89,3 \cdot 590} = 12,1 \cdot 10^{-4} \text{ рад};$$

$$Q_C = \frac{P \cdot c \cdot (2 \cdot l + 3 \cdot c)}{E \cdot J \cdot 590} = \frac{20828 \cdot 10 \cdot (2 \cdot 61 + 3 \cdot 10)}{2 \cdot 10^5 \cdot 89,3 \cdot 590} = 30,1 \cdot 10^{-4} \text{ рад};$$

$$Q_D = \frac{P \cdot c \cdot (3 \cdot d^2 - l)}{E \cdot J \cdot 590} = \frac{20828 \cdot 10 \cdot (3 \cdot 30^2 - 61)}{2 \cdot 10^5 \cdot 89,3 \cdot 590} = 522 \cdot 10^{-4} \text{ рад};$$

$$Y_C = \frac{P_z \cdot c^2 \cdot (l + c)}{E \cdot J \cdot l \cdot 295} = \frac{14800 \cdot 10^2 \cdot (61 + 10)}{2 \cdot 10^5 \cdot 89,3 \cdot 295} = 0,01 \text{ мм};$$

З умови дотримання найбільшої і найменшої контактної напруги по ширині зуба взаємний перекіс не повинен перевищувати значення:

$$Q_{\max} \leq \frac{(9 \div 12) F_t}{10^5 \cdot B^2} = \frac{12 \cdot 33522}{10^5 \cdot 32^2} = 1257 \cdot 10^{-4} \text{ рад};$$

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

$$\sum Q_i = Q_A + Q_B + Q_C + Q_D = 12,1 + 12,1 + 30,1 + 522 = 576 \cdot 10^{-4} \text{ рад};$$

Оскільки усі значення згину в перерізі валу знаходяться в допустимих межах, то діаметр валу вибраний правильно і перерахунок конструктивних розмірів не потрібно.

2.3. Вибір підшипників

За розрахунком діаметр першого валу $d_1=30$ мм, тоді діаметри шийок валу під підшипники беремо $d=25$ мм. Вибираємо підшипник 305 середня серія. За розрахунком діаметр другого валу $d_2=35$ мм, тоді діаметр шийок валу під підшипник $d=30$ мм. Вибираємо підшипник 306 середня серія. За розрахунком діаметр третього валу $d_3=65$ мм, тоді діаметр шийок валу під підшипник $d=55$ мм. Вибираємо підшипник 311 середня серія. За розрахунком діаметр четвертого валу $d_4=40$ мм, тоді діаметр шийок валу під підшипник $d=30$ мм. Вибираємо підшипник 306 середня серія. За розрахунком діаметр п'ятого валу $d_5=60$ мм, тоді діаметр шийок валу під підшипник $d=50$ мм. Вибираємо підшипник 310 середня серія.

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3
ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1. Опис конструкції деталі

А) Деталь «Кришка» призначена для осьової фіксації вузла контактних кілець на валу ротора асинхронного регульованого електродвигуна. Встановлюється посадочною поверхнею $\varnothing 150h9$ в розточку втулки контактних кілець і кріпиться до неї чотирма болтами через отвори $\varnothing 10,5H14$. З валом ротора деталь пов'язана за допомогою шпильок, які проходять через чотири отвори $\varnothing 17H14$ і кріпляться до «Кришки» болтами. Через центральний отвір в «Кришці» проходять дроти вивідних кінців ротора. Для оберігання ізоляції від ушкоджень об металеві поверхні «Кришки», в отвір $\varnothing 60H12$ встановлюється гумова запобіжна втулка. Для запобігання зміщенню цієї втулки в осьовому напрямі служить внутрішній буртик $\varnothing 55H12$.

Б) Деталь «Кришка» встановлена жорстко і не піддається дії сил, вона тільки фіксує вузол контактних кілець на валу ротора в осьовому напрямі.

В) «Кришка» – деталь тіла обертання, що відноситься до класу 71 по класифікаторові ЕСКД, з довжиною L до $0,5D$ включно, з циліндричною зовнішньою поверхнею (підклас 1), без закритих уступів, з циліндричною ступінчастою, односторонньою, зовнішньою поверхнею, без зовнішнього різьблення (група 3), з центральним наскрізним, ступінчастим отвором, круглим в поперечному перерізі (підгрупа 5), без кільцевих пазів на торцях, без пазів і шліців на зовнішній поверхні, з отворами поза віссю деталі (вид 2).

Г) Основною конструкторською базою є посадочна поверхня $\varnothing 150h9$, вона визначає положення деталі «Кришка» у вузлі контактних кілець. Допоміжною базою операції є центральний отвір $\varnothing 60H12$.

На першій токарній операції використовуємо чорнову технологічну базу (центральный отвір) для підготовки чистою $\varnothing 165h12$, за неї кріпиться деталь на другій токарній операції і готується чистова база $\varnothing 150h9$ для закріплення на наступних операціях.

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Д) Вимогою взаємного розташування поверхонь в деталі «Кришка» являються вимоги забезпечити позиційний допуск розташування отворів $\varnothing 10,5$ і $\varnothing 17$ відносно базовій посадочній поверхні $\varnothing 150h9$ не більше 0,12 мм.

Позиційний допуск розташування отворів досягається обробкою на свердлувальному верстаті з ЧПУ з установкою за базові поверхні. Деталь встановлюється в спеціальне затискне пристосування з механічним приводом за оброблену зовнішню поверхню $\varnothing 150h9$, усі отвори центруються і свердяться за одну установку.

Е) В оброблюваній деталі «Кришка», поверхні отримувані штампуванням, повинні відповідати класу точності штампування і відповідної шорсткості, а поверхні деталі, що отримуються механічною обробкою повинні відповідати по точності і шорсткості квалітету її точності.

Ж) Хімічні властивості сталі вуглецевими загального призначення Ст.3кп.

Таблиця 3.1 – Хімічні властивості сталі

Марка матеріалу	Масова доля елементів, %				
	Вуглець	Кремній	Марганець	Фосфор	Сірка
		Не більше		Не більше	
Сталь Ст.3кп	0,14-0,22	0,07	0,3-0,6	0,04	0,05

Таблиця 3.2 – Фізичні властивості вуглецевої загального призначення Ст.3кп

Марка матеріалу	Тимчасовий опір розриву Σ_v , МПа	Межа плинності Σ_m , МПа	Відносне подовження a'_5 , %	Ударна в'язкість $KCU, \frac{Дж}{см^2}$
Сталь Ст3кп	360-460	235	27	78

З) Вимоги до твердості поверхні не пред'являються.

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

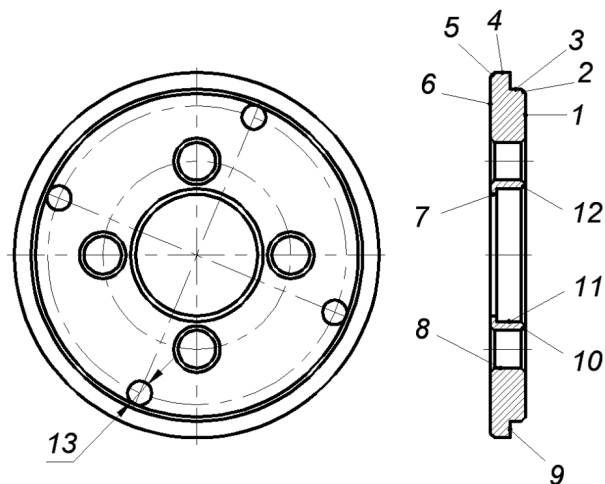


Рисунок 3.1 – Деталь «Кришка» з нумерацією поверхонь

3.2. Аналіз властивостей оброблюваних поверхонь

Таблиця 3.3 – Проведений аналіз властивостей оброблюваних поверхонь

№ пов	Форма поверхні	Розмір, мм	Точність	Шорсткість R_a , мкм	Твердість	Корозійна стійкість
1	Торець деталі правий	$\varnothing 150$ $L=16$	14	12,5	Вимоги до твердості не пред'являються	-
2	Фаска зовнішня	$\varnothing 150$ 2×450	14	12,5		-
3	Зовнішня циліндрична поверхня	$\varnothing 150$	9	3,2		-
4	Зовнішня циліндрична поверхня	$\varnothing 165$	12	12,5		-
5	Фаска зовнішня	$\varnothing 165$ $l \times 450$	14	12,5		-
6	Торець деталі лівий	$\varnothing 150$ $L=16$	14	12,5		-
7	Внутрішня циліндрична поверхня	$\varnothing 55$	12	12,5		-
8	Отвір	$\varnothing 17$	14	12,5		-
9	Торець зовнішньої циліндричної поверхні	$\varnothing 165$ $L=7$	14	6,3		-
10	Фаска внутрішня	$\varnothing 17$ 2×450	14	12,5		-

11	Внутрішня циліндрична поверхня	Ø60	12	12,5		-
12	Фаска внутрішня	Ø60 2×450	14	12,5		-
13	Отвір	Ø10,5	14	12,5		-

3.3. Аналіз технологічності конструкції деталі

Таблиця 3.4 – Проведений аналіз технологічності конструкції деталі

Показники технологічності	Вимоги технологічності	Аналіз технологічності конструкції деталі по кресленню	Заключення про технологічність
1. Оброблювальні поверхні	Мають бути паралельними і перпендикулярними	Усі оброблювані поверхні взаємно паралельні і перпендикулярні	T
2. Оброблювальні отвори	Мають бути наскрізними без внутрішніх канавок	Усі оброблювані отвори наскрізні без внутрішніх канавок	T
3. Відстані між осями отворів	Повинно бути не менше 25 мм, що дозволяє застосувати багатоінструментальну обробку	Відстань між отвору деталі не менше 25 мм, багатоінструментальна обробка можлива	T
4. Довжина різьбових поверхонь	Має бути більше 2-х номінальних діаметрів різьби	Різьбових отворів немає	-
5. Розташування отворів	Має бути доступним для обробки на металорізальних верстатах	Усі отвори деталі доступні для обробки	T
6. Наявність обробки по місцю зборки	Обробка по місцю зборки повинна відповідати в конструкції деталь	У деталі обробка по місцю зборки відсутня	T
7. Відповідність точності і шорсткості	Точні за розміром поверхні повинні мати відповідний параметр шорсткості	Усі поверхні механічно оброблені мають шорсткість, відповідну	T

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

поверхонь		квалітетам точність	
8. Розміри конструкторських баз	Повинні мати розміри за типовими правилами базування (призма, вал, диск)	Конструкторські бази мають розміри за типовими правилами базування	T
9. Уніфікація поверхонь деталі	Шорсткість в <i>Ra</i> , різьблення стандартні, фаски, канавки уніфіковані	Усі вимоги дотримуються	T
10. Конструкція деталі	Має бути такою, щоб для обробки деталі можна було б застосувати високопродуктивні методи обробки	Конструкція деталі дозволяє застосувати високошвидкісні методи обробки	T

Коефіцієнт технологічності:

$K_r = \frac{K_T}{K_o}$, де K_T – кількість технологічних операцій.

K_o – загальна кількість показників.

$K = \frac{9}{9} = 1$ – деталь технологічна.

3.4. Визначення типу виробництва

Таблиця 3.5 – Залежність типу виробництва і річного обсягу випуску (тис.шт/рік) від маси деталі

Маса деталі, кг	Тип виробництва				
	Оденичне	Дрібносерійне	Середньосерійне	Великосерійне	Масове
<1,0	<10	10-2000	1500-100000	75000-200000	>200000
1,0-2,5	<10	10-1000	1000-50000	5000-100000	>100000
2,5-5,0	<10	10-500	500-35000	35000-75000	>75000
5,0-10,0	<10	10-300	300-25000	25000-50000	>50000
>10	<10	10-200	200-10000	10000-25000	>25000

При масі деталі 1,9 кг і річному обсязі випуску 25000 штук в рік – тип

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

виробництва середньосерійний.

Середньосерійне виробництво характеризується обмеженою номенклатурою деталей, що виготовляються партіями і порівняно великим обсягом випуску, що періодично повторюються. Використовуються універсальні верстати, оснащені спеціальними і універсальними пристосуваннями, що дозволяє понизити трудомісткість і собівартість деталей. У серійному виробництві технологічний процес диференційований, тобто, розчленований на окремі самостійні операції, виконуваних на окремих верстатах. Застосовують так само і агрегатні верстати.

3.5. Вибір заготовки і встановлення її розмірів

Виходячи з конструкції деталі, її матеріалу, маси, розмірів і типу виробництва, заготовку для деталі «Кришка» можна отримати такими методами пластичної деформації, як кування, гаряче об'ємне штампування на молотах і пресах в закритих і відкритих штампах і ГKM.

Для середньосерійного типу виробництва доцільно вибрати гаряче об'ємне штампування на кривошипному гарячештамповочному пресі (КГШП) у відкритому штампі, з індукційним нагрівом заготовки. Отримувані у такий спосіб заготовки мають високу точність розмірів, хорошу якість поверхні і невеликі припуски і допуски. Це метод забезпечує значну економію металу, знижує трудомісткість обробки в ковальському цеху і при наступній механічній обробці, підвищує коефіцієнт використання металу і збільшує продуктивність устаткування. Крім того коефіцієнт корисної дії КГШП в чотири рази вищий, ніж у молота, робота носить простіший і ненаголошений характер, можлива повна автоматизація процесу.

Для отримання заготовки необхідно розробити креслення поковки. Розміри поковки визначають по кресленню готової деталі з урахуванням спрощення на наступну механічну обробку, напуску для спрощення нетехнологічних елементів поковки і отримання штампувальних ухилів, а так само допусків на штампування. Потім по кресленню поковки виготовляють

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

штампи з урахуванням коефіцієнта температурного розширення.

Технологічний процес виготовлення поковок починається з різання заготовки на мірні заготовки (для гарячого об'ємного штампування застосовується періодичний прокат). Після цього заготовки нагрівають в камерних або методичних печах до заданої температури. Перед подачею заготовки нагрівають в камерних або методичних печах до заданої температури. Перед подачею до пресу із заготовок видаляють окалину. Потім заготовки піддають штампуванню в штампі. Далі роблять обрізання шару (штампами обрізів на ексцентрикових пресах). При штампуванні поковок з наскрізними отворами, в цих отворах утворюється внутрішній облой-плівка металу, яку також видаляють просіченням. Після обрізання облоя, поковки правлять в спеціальних або чистових штампах на молотах або пресах. Далі поковки піддають термічній обробці і очищенню від окалини. Окалину з поковки видаляють в піскоструминних або дробеметних апаратах, труять в розчинах кислот, у барабанах, що обертаються.

Штампувальне устаткування – кривошипний гарячештамповочний прес (КГШП).

Нагрів заготовки – індукційний.

1. Початкові дані по деталі.

1.1 Матеріал - сталь Ст3кп.

1.2 Маса деталі – $M_{дет}=1,9$ кг

2. Початкові дані для розрахунку

2.1 Маса поковки (розрахункова)

Визначаємо по формулі:

$$M_{н.р.} = M_{дет} \cdot K_p; \text{ де}$$

$M_{н.р.}$ – маса поковки розрахункова;

$M_{дет}$ – маса деталі, $M_{дет}=1,9$ кг;

K_p – розрахунковий коефіцієнт, $K_p=1,5...1,8$ (оскільки деталь «кришка») приймаємо $K_p=1,65$.

2.2 Клас точності поковки – Т₄ (оскільки устаткування КГШП).

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Група сталі – М₁ (оскільки вміст вуглецю в сталі до 0,35%)

2.4 Міра складності – визначається шляхом обчислення відношення маси поковки до маси геометричної фігури, в яку вписується форма поковки. На цій стадії розрахунку ще невідомі розміри поковки, тому замість маси поковки M_0 візьмемо масу деталі M_0 , а замість $M_{оф0}$ – мас геометричної фігури, в яку вписана деталь.

Розміри фігури (циліндр), що описує деталь, мм:

- діаметр – 173,3 (165·1,05);
- висота – 16,8 (16·1,05), де 1,05 – коефіцієнт.

Об'єм фігури, що описує поковку:

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h = \frac{3,14 \cdot 17,33^2}{4} \cdot 1,68 = 396 \text{ см}^3;$$

Маса фігури $M_{\phi} = V_{\phi} \cdot \rho$, що описує поковку, ρ , де ρ – щільність сталі, $\rho = 7,85 \text{ г/см}^3$;

$$M_{\phi} = 396 \cdot 7,85 = 3,1 \text{ кг.}$$

Оскільки відношення $M_0/M_{\phi}(2,0/3,1=0,645) > 0,63$, то міра складності поковки – С1.

2.5 Конфігурація поверхні роз'єму штампі – П (плоска).

2.6 Початковий індекс.

При $M_n = 3,135$, групі сталі М1, мірі складності С1, класі точності поковки Т4, початковий індекс дорівнюватиме 10.

3. Припуски і ковальський напуск

3.1 Основні припуски на розміри:

- діаметр 165 мм – 1,4 мм на сторону ($R_a = 12,5$);
- діаметр 150 мм - 1,6 мм на сторону ($R_a = 6,3$);
- діаметр 55 мм – 1,2 мм на сторону ($R_a = 12,5$);
- товщина 16 мм – 1,1 мм на сторону ($R_a = 12,5$);
- товщина 7 мм – 1,4 мм на сторону ($R_a = 6,3$);

3.2 Додаткові припуски, що враховують:

- зміщення по поверхні роз'єму штампі – 0,3;

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

- відхилення від площини – 0,5.

3.3 Штампувальний нахил:

- на зовнішній поверхні – 50°;

- на внутрішній поверхні – 70°.

4. Розміри поковки і їх допустимі відхилення

4.1 Розміри поковки:

- діаметр $165 + (1,4 + 0,5) \cdot 2 = 168,8$, приймаємо $\varnothing 169$ мм;

- діаметр $150 + (1,6 + 0,5) \cdot 2 = 154,2$, приймаємо $\varnothing 154,5$ мм;

- діаметр $55 - (1,2 + 0,5) \cdot 2 = 51,6$, приймаємо $\varnothing 51$ мм;

- діаметр $165 + (1,4 + 0,5) \cdot 2 = 168,8$, приймаємо $\varnothing 169$ мм;

- товщина $16 + (1,1 + 0,5) \cdot 2 = 19,2$, приймаємо 19,5 мм;

- товщина $7 - (1,4 + 0,5) \cdot 2 = 5,1$, приймаємо $5 + 1,75((19,5-16)/2)=6,75$ мм.

4.2 Радіус закруглення зовнішніх кутів – 2,0 мм.

4.3 Допустимі відхилення розмірів:

$$\varnothing 169_{-0,8}^{+1,4}; \quad \varnothing 154_{-0,7}^{+1,3}; \quad \varnothing 51_{-0,5}^{+1,1}; \quad \varnothing 19,5_{-0,5}^{+0,9}; \quad \varnothing 6,75_{-0,5}^{+0,9}$$

4.4 Невказані допуски радіусів закруглень – 2 мм

4.5 Величина залишкового обля, що допускається, – 0,8 мм.

4.6 Відхилення, що допускається, від площини – 1,0 мм.

4.7 Відхилення, що допускається, від концентричності пробитого отвору відносно зовнішнього контура поковки – 1,5 мм.

4.8 Допустиме зміщення по поверхні роз'єму штампі – 0,6 мм.

4.9 Допустима величина висоти задирки – 3 мм.

3.6. Розрахунок коефіцієнта використання матеріалу

Визначаємо реальну масу заготовки. Для цього знайдемо об'єм заготовки, який дорівнює сумі об'ємів елементарних геометричних фігур, що становлять заготовку.

Цю заготовку умовно можна розлити на три елементарні геометричні фігури (циліндра).

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'єми циліндрів визначаємо по формулі: $V = \frac{\pi d^2}{4} \cdot h$,

де d – діаметр основи циліндра, см.;

h – висота циліндра, см.;

$$V_1 = \frac{3,14 \cdot 16,9^2}{4} \cdot 1,25 = 280,4 \text{ см}^3;$$

$$V_2 = \frac{3,14 \cdot 15,45^2}{4} \cdot 0,7 = 131,23 \text{ см}^3;$$

$$V_3 = \frac{3,14 \cdot 5,1^2}{4} \cdot 1,95 = 39,84 \text{ см}^3;$$

Об'єм заготовки: $V_{заг} = V_1 + V_2 + V_3 = 280,4 + 131,23 - 39,84 = 371,79 \text{ см}^3$.

Коефіцієнт використання матеріалу рівний: $K_{вик} = \frac{M_{дет}}{M_{заг}} = \frac{2,0}{2,92} = 0,68$.

Коефіцієнт використання матеріалу знаходиться в межах нормативного (для серійного виробництва $0,5 \div 0,75$), отже, спосіб отримання заготовки вибраний правильно.

3.7. Призначення методів обробки

Таблиця 3.6 – Характеристика обробки поверхонь

№ пов	Методи обробки	Шорсткіст, R_a	Глибуна поверхневого шару	Квалітет	Поверхня
1	<u>Підрізування</u> однократне	12,5	50	14	Торцева поверхня $\varnothing 150 L=16 \pm 0,2 R_a=12,5$
2	<u>Точіння</u> одноразове	12,5	50	14	Фаска зовнішня $\varnothing 150 \ 2 \times 45^0$ з $R_a=12,5$
3	<u>Точіння:</u> Чорнове Чистове <u>Шліфування</u> одноразове	12,5 6,3 3,2	50 30 15	12 10 9	Зовнішня циліндрична посадочна поверхня $\varnothing 150 \ h9$ з $R_a=3,2$
4	<u>Точіння</u>	12,5	50	12	Зовнішня циліндрична

	одноразове				поверхня Ø165 h12 з $R_a=12,5$
5	<u>Точіння</u> одноразове	12,5	50	14	Фаска Ø165,1×45° з $R_a=12,5$
6	<u>Підрізування</u> одноразове	12,5	50	14	Торцева поверхня Ø165L=16±0,2 $R_a=12,5$
7	<u>Зенкерування</u> Одноразове	12,5	50	12	Внутрішня циліндрична поверхня Ø55 h12 з $R_a=12,5$
8	<u>Свердління</u>	12,5	50	14	Отвір Ø17 h14 з $R_a=12,5$
9	<u>Підрізування</u> одноразове	6,3	40	14	Торець зовнішній циліндричній поверхні Ø165L=7±0,15 $R_a=6,3$
10	<u>Зенкерування</u> одноразове	12,5	50	14	Фаска внутрішня Ø17 2×45° з $R_a=12,5$
11	<u>Зенкерування</u> одноразове	12,5	50	12	Внутрішня циліндрична поверхня Ø60 h12 з $R_a=12,5$
12	<u>Зенкерування</u> одноразове	12,5	50	14	Фаска внутрішня Ø60 2×45° з $R_a=12,5$
13	<u>Свердління</u>	12,5	50	14	Отвір Ø10,5 h14 з $R_a=12,5$

3.8. Розробка схем базування

На першій токарній операції деталь закріплюється за чорнову базу, яка використовується один раз для підготовки чистової бази.

Чорною базою є внутрішня циліндрична поверхня деталі – 7 з упором в торець деталі (трьох кулачковий самоцентруючий патрон).

Внутрішня циліндрична поверхня – 7 позбавляє заготовку 2-х ступенів свободи і є подвійною опорною базою. Торцева поверхня – 1 позбавляє деталь 3-х ступенів свободи і є настановною базою (схема 1).

На токарно-револьверній операції і другій свердлильній операції

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

настановною базою являється торцева поверхня – 6, подвійною опорною – поверхня 4 (схема 2).

На першій свердлильній операції, настановною базою є поверхня 1, подвійною опорною – поверхня 3 (схема 3).

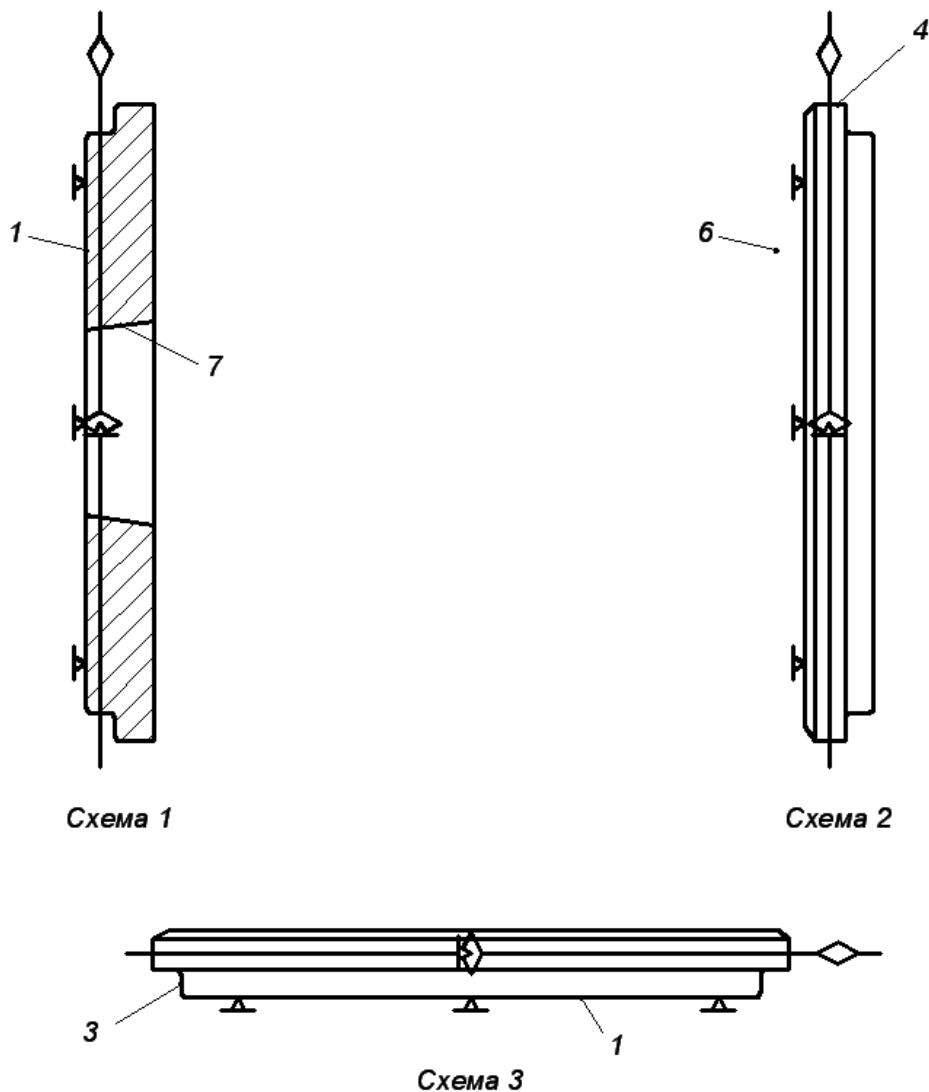


Рисунок 3.2 – Схеми базування деталі

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

3.9. Вибір устаткування і формування операцій

Таблиця 3.7 – Характеристика використовуваного обладнання на операції

Модель (тип) устаткування	Схема базування	Різальний інструмент	Найменування операції і зміст переходу
Токарно-гвинторізний 16К20	№ 1	Різець токарний прохідний відігнутий з пластинкою з твердого сплаву Т15К6	<u>Токарна.</u> Підрізувати торець 6, Точити поверхню 4, Точити фаску 5
Токарно-револьверний 1К36	№ 2	Різець токарний прохідний відігнутий з пластинкою з твердого сплаву Т15К6 Різець токарний прохідний упорний з пластиною з твердого сплаву Т15К6 Різець токарний підрізний відігнутий з пластинкою з твердого сплаву Т15К6 Зенкер ступінчастий спеціальний. Зенкування конічне	<u>Токарно-револьверна.</u> Точити торець 1, Точити торець 9 Точити поверхню 3 заздалегідь. Точити поверхню 3 остаточно Одночасно зенкувати отвори 7 і 11 Зенкувати фаску 12 Точити фаску 2
Вертикально-свердлильний з ЧПУ 2Р135 Ф2-1	№ 3	Свердло спіральне зі швидкорізальної сталі Р6М5, $d=16$. Свердло спіральне з швидкоріжучої сталі Р6М5, $d=17$ мм. Свердло спіральне з швидкоріжучої сталі Р6М5, $d=10,5$ мм. Свердло спіральне з швидкоріжучої сталі Р6М5, $d=21$ мм	<u>Свердлильна з ЧПУ</u> Зацентрувати отвори 8 і 13. Свердлити отвір 8. Свердлити отвір 13 Зенкувати фаски 10
Вертикально-свердлильний 2Н135	№ 2	Свердло спіральне з швидкоріжучої сталі Р6М5, $d=21$ мм	<u>Свердлувальна</u> Зенкувати фаски 10 з іншого боку
Кругло-шліфувальний 3М151	№ 2	Шліфувальний круг ПВД 400×25×203 24А 10-П С2 7К5 35м/с А1 кл; Калібр-скоба	<u>Шліфувальна</u> Шліфувати поверхню 3 одноразово

3.10. Розробка маршрутного технологічного процесу

020 Заготівельна.

025 Контрольна.

035 Транспортна.

040 Токарна.

050 Токарно-револьверна.

060 Свердлильна з ЧПУ.

070 Свердлильна.

080 Круглошліфувальна.

090 Контрольна.

Технологічний процес механічної обробки.

040 Токарна.

Перехід 1. Підрізувати торець 6 одноразово.

Перехід 2. Точити поверхню 4 одноразово, зняти фаску 5 одноразово.

050 Токарно-револьверна.

Перехід 1. Точити торець 1 одноразово.

Перехід 2. Точити торець 9 одноразово.

Перехід 3. Точити поверхню 3 заздалегідь.

Перехід 4. Одночасно зенкувати отвори 7 і 11 одноразово, точити фаску 2 одноразово одночасно.

Перехід 5. Точити поверхню 3 остаточно. Зенкувати фаску 12 одноразово одночасно.

060 Свердлильна з ЧПУ.

Перехід 1. Центрувати отвори 8 і 13.

Перехід 2. Свердлити отвір 8 одноразово.

Перехід 3. Свердлити отвір 13 одноразово.

Перехід 4. Зенкувати фаски 10.

070 Свердлильна.

Зенкувати фаски 10 з іншого боку.

080 Круглошліфувальна.

Шліфувати поверхню 3 одноразово.

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

3.11. Розрахунок припусків

Розрахунково-аналітичний метод визначення проміжних припусків і розмірів деталі, що обробляється на токарно-револьверному верстаті моделі 1К36. Розглянемо обробку зовнішньої поверхні діаметром $d=150\text{e}9$, параметр шорсткості $R_a=6,3$ мкм.

Дані до розрахунку:

а) по початковій заготовці (індекс 0): допуск розміру $T_0=2000$ мкм, $es_0=+1300$ мкм; $ei_0=-700$ мкм, висота нерівностей $R_z=160$ мкм, товщина дефектного шару $h=200$ мкм. Сумарне просторове відхилення $\Delta_{\Sigma 0}$ включає ексцентриситет: $\Delta_{екс}=800$ мкм величина похибки по зміщенню осі поковки:

$$\Delta_{екс}=400, \text{ отримуємо: } \Delta_{\Sigma 0} = \sqrt{\Delta_{екс}^2 + \Delta_{см}^2} = \sqrt{800^2 + 400^2} = 895 \text{ мкм}$$

б) по першому технологічному переходу (індекс 1): допуск розміру $T_1=400$ мкм, $es_1=-400$ мкм, $ei_1= - 400$ мкм, $Rz_1=50$ мкм, $h_1=50$ мкм, сумарне просторове відхилення $\Delta_{\Sigma 1}=0,06 \cdot \Delta_{\Sigma 0}=0,06 \cdot 895=54$ мкм, $\varepsilon_1=80$ мкм;

в) по другому технологічному переходу (індекс 2): $T_2=160$ мкм, $es_2=0$; $ei_2=-160$ мкм, $Rz_2=25$ мкм, глибина поверхневого шару $h_2=30$ мкм, сумарне просторове відхилення $\Delta_{\Sigma 2}=0,04 \cdot \Delta_{\Sigma 0}=0,04 \cdot 895=36$ мкм, остаточна похибка установки при чистовому точінні з урахуванням похибки індикації різцетримача $\varepsilon_2=0,05 \cdot \varepsilon_{інд}=0,05 \cdot 80=54$ мкм; $\varepsilon_{інд}=50$ мкм.

г) по третьому технологічному переходу (індекс 3): $T_3=100$ мкм, $es_3=-85$ мкм, $ei_3= - 185$ мкм, $Rz_3=12,5$ мкм, глибина поверхневого шару $h_3=15$ мкм, сумарне просторове відхилення $\Delta_{\Sigma 3}=0,02 \cdot \Delta_{\Sigma 0}=0,02 \cdot 895=18$ мкм, похибка установки при одноразовому шліфуванні $\varepsilon_2=50$ мкм.

$$\text{Мінімальний припуск: } 2Z_{\min} = 2 \left[(R_z + h)_{i+1} + \sqrt{\Delta \sum_{i+1}^2 + \varepsilon_i^2} \right],$$

де RZ_{i-1} – висота нерівностей профілю на попередньому переході;

h_{i-1} – глибина дефектного шару на попередньому переході;

$\Delta \varepsilon_{i-1}$ – сумарне відхилення розташування поверхні на попередньому переході;

ε_i – похибка установки на виконуваному переході.

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

$$2Z_{\min 1} = 2 \cdot \left(160 + 200 + \sqrt{895^2 + 80^2} \right) = 2 \cdot 1259 = 2518 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\min 2} = 2 \cdot \left(50 + 50 + \sqrt{54^2 + 54^2} \right) = 2 \cdot 176 = 352 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\min 3} = 2 \cdot \left(25 + 30 + \sqrt{895^2 + 80^2} \right) = 2 \cdot 137 = 274 \text{ мкм}.$$

Визначаємо розрахункові розміри:

$$d_{p3} = 149,815 \text{ мм}.$$

$$d_{p2} = d_{p3} + 2Z_{\min 3} = 149,815 + 0,274 = 150,089 \text{ мм}.$$

$$d_{p1} = d_{p2} + 2Z_{\min 2} = 150,089 + 0,352 = 150,441 \text{ мм}.$$

$$d_{p0} = d_{p1} + 2Z_{\min 1} = 150,441 + 2,518 = 152,959 \text{ мм}.$$

Визначаємо найменші граничні розміри по усіх переходах шляхом збільшення розрахункових розмірів, округлюючи їх до того ж знаку десяткового дробу, з яким даний допуск на розмір для кожного переходу, за винятком останнього переходу.

$$d_{\min 0} = 153 \text{ мм}.$$

$$d_{\min 1} = 150,5 \text{ мм}.$$

$$d_{\min 2} = 150,09 \text{ мм}.$$

$$d_{\min 3} = 149,815 \text{ мм}.$$

Визначаємо найбільші граничні розміри шляхом збільшення допуску до заокругленого найменшого граничного розміру.

$$d_{\max 3} = d_{\min 3} + T_3 = 149,815 + 0,1 = 149,915 \text{ мм}.$$

$$d_{\max 2} = d_{\min 2} + T_2 = 150,09 + 0,16 = 150,25 \text{ мм}.$$

$$d_{\max 1} = d_{\min 1} + T_1 = 150,5 + 0,4 = 150,9 \text{ мм}.$$

$$d_{\max 0} = d_{\min 0} + T_0 = 153 + 2 = 155 \text{ мм}.$$

Визначаємо граничні значення припусків $2Z_{\max}^{np}$, як різницю найбільших граничних розмірів і $2Z_{\min}^{np}$, як різниця найменших граничних розмірів попереднього виконаного переходу

$$2Z_{\max 3}^{np} = d_{\max 2} - d_{\max 3} = 150,25 - 149,915 = 0,335 \text{ мм} = 335 \text{ мкм}.$$

$$2Z_{\max 2}^{np} = d_{\max 1} - d_{\max 2} = 150,9 - 149,25 = 0,65 \text{ мм} = 650 \text{ мкм}.$$

$$2Z_{\max 1}^{np} = d_{\max 0} - d_{\max 1} = 155 - 150,9 = 4,1 \text{ мм} = 4100 \text{ мкм}.$$

$$2Z_{\min 3}^{np} = d_{\min 2} - d_{\min 3} = 150,09 - 149,815 = 0,275 \text{ мм} = 275 \text{ мкм}.$$

$$2Z_{\min 2}^{np} = d_{\min 1} - d_{\min 2} = 150,5 - 150,09 = 0,41 \text{ мм} = 410 \text{ мкм}.$$

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

$$2Z_{\min l}^{np} = d_{\min 0} - d_{\min l} = 153 - 150,5 = 2,5 \text{ мм} = 2500 \text{ мкм.}$$

Правильність проведених розрахунків перевіримо по формулі:

$$2Z_{\max i}^{np} - 2Z_{\min i}^{np} = T_{i-1} - T_i.$$

Для одноразового шліфування: $335 - 275 = 60$ $160 - 100 = 60$ відповідає.

Для чистого точіння: $650 - 410 = 240$ $400 - 160 = 240$ відповідає.

Для чорного перерізу: $4100 - 2500 = 1600$ $2000 - 400 = 1600$ відповідає.

Таблиця 3.8 – Характеристика послідовності переходів, припусків

№ переходу	Послідовність обробки поверхні	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск $2Z_{\min}^{np}$, мкм	Розрахунковий розмір d_p , мм	Допуск розміру, Т, мкм	Граничні розміри, мм		Граничні значення, мкм	Прийнятні розміри з відхиленнями	
		R_z	H	Δ	ϵ_y				d_{\min}	d_{\max}			
0	Заготовка	160	200	895	-	-	152,959	2000	153	155	-	-	154⁺¹₋₁
1	Точіння чорнове	50	50	54	70	2518	150,441	400	150,5	150,9	2500	4100	150,9h12(-0,4)
2	Чистове	25	25	36	3,5	352	150,089	160	150,09	150,25	410	650	150,25h10(-0,16)
3	Шліфування однократне	12, 5	15	18	80	274	149,815	100	149,815	149,915	275	335	150e9(-0,225) (-0,185)

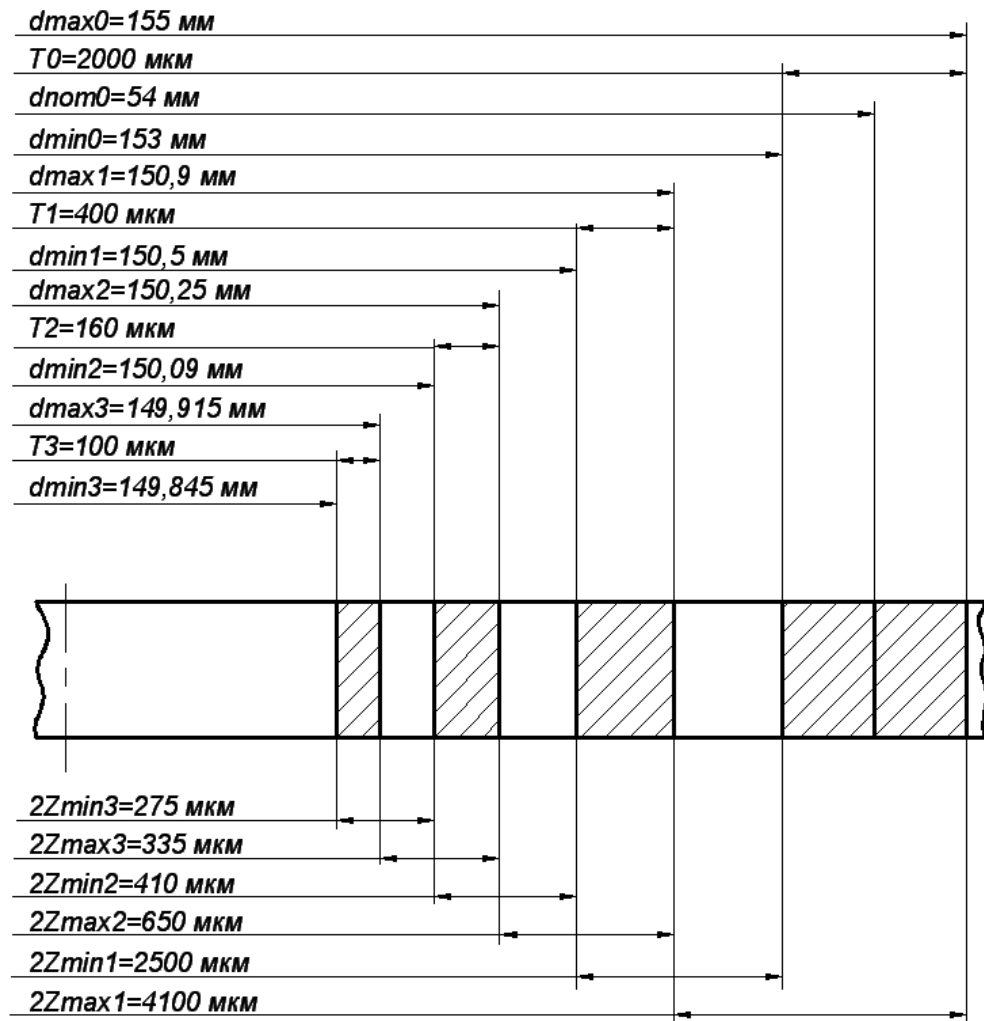


Рисунок 3.3 – Схема розташування припусків і допусків системи валу діаметр 150e9

Таблиця 3.8 – Значення інших припусків на поверхні

Найменування операції і зміст переходу	Шорсткість R_a	Квалітет точності	Допуск, мм	Припуск, мм		Розмір, мм
				Z_{min}	Z_i	
Заготовка Точіння одноразове	20	16	2,2	1,6	20	$\text{Ø}169^{+1,4}_{-0,8}$
	12,5	12	0,4			$\text{Ø}165_{-0,4}$
Заготовка Точити торець одноразово	20	16	1,4	1,4	1,75	$19,5^{+0,9}_{-0,5}$
	12,5	14	0,4			$16 \pm 0,2$
Заготовка Точити торець одноразово	20	16	1,4	0,9	2,0	$5^{+0,9}_{-0,5}$
	6,3	14	0,4			$7 \pm 0,2$

Заготовка	20	16	1,6			$\varnothing 51^{+1,1}_{-0,5}$
Зенкувати отвір одноразово	12,5	12	0,3	1,45	2,0	$\varnothing 55^{+0,3}$
Заготовка	12,5	16	0,3			$\varnothing 55^{+0,3}$
Зенкувати отвір одноразово	12,5	12	0,3	2,35	2,5	$\varnothing 60^{+0,3}$

3.12. Розрахунок режимів різання

Розрахунок режимів різання аналітичним методом зробимо на другу свердлильну операцію.

Початкові дані: зенкувати фаску 2×450 в отворі $\varnothing 17$ мм, довжина обробки $l=2$ мм. Верстат вертикально-свердлильний 2Н135, свердло спіральне $\varnothing 21$ мм, з конічним хвостовиком, зі швидкорізальної сталі Р6М5.

1) Глибина різання $t=(21-17):2= 2$ мм

2) Довжина робочого ходу $L_p=l+l_1$, де

l_1 – величина урізування і перебігання різального інструменту

$l_1 = l'_1 + l''_1$, де

l'_1 – величина різання, $l'_1 = 0,3(D - d) = 0,3(21 - 17) = 1,2$ мм, приймаємо

$l'_1 = 2$ мм.

l''_1 – величина перебігу, $l''_1 = 0$, так як обробка в упор.

Тоді: $l_1 = 2 + 0 = 2$ мм

Звідси $L_p = 2 + 2 = 4$ мм.

3) Визначення подачі

4) Для свердління отвору з точністю 14-го квалітету в жорсткій деталі приймаємо першу груп подач. Для першої групи подач і діаметру свердла 21 мм, приймаємо $S=0,4$ мм/об, оскільки для сталі Ст3кп твердість $HВ < 229$, то вводимо поправочний коефіцієнт 1,3.

Тоді $S = 0,4 \times 1,3 = 0,52$.

По паспорту верстата приймаємо найближчу меншу подачу $S_0 = 0,4$ мм/об.

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

$$5) \text{ Визначення швидкості різання } V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S^y} K_v;$$

де $D=21$, $T=50$, $t=2$, $S=0,4$ – відповідно діаметр інструменту, його стійкість, глибина різання, подача на оберт інструменту.

C_v – коефіцієнт швидкості, $C_v=16,2$

$q=0,4$; $m=0,2$; $x=0,2$; $y=0,5$ – показники степеня.

K_v – поправочний коефіцієнт на швидкість степеня.

$$K_v = K_{MV} K_{IV} K_{IV},$$

де K_{MV} – коефіцієнт враховує вплив фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу.

$$K_{MV} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} = 1 \left(\frac{750}{450} \right)^{-0,9} = 1,76;$$

K_{IV} – коефіцієнт, що враховує вплив інструментального матеріалу $K_{IV}=1$

K_{IV} – коефіцієнт, що враховує вплив глибини оброблюваного отвору.

$K_{IV}=1$

Тоді $K_v = 1,76 \times 1 \times 1 = 1,76$

$$\text{Звідси: } V = \frac{16,2 \cdot 21^{0,4}}{50^{0,2} \cdot 2^{0,2} \cdot 0,4^{0,5}} 1,76 = 61 \text{ м / хв};$$

Визначаємо число обертів шпинделя верстата

$$n = \frac{1000V}{\pi d} = \frac{1000 \cdot 61}{3,14 \cdot 21} = 925 \text{ об / хв};$$

По паспорту верстата вибираємо найближче менше значення $n_d=710$ об/хв.

По прийнятому числу обертів шпинделя уточнюємо швидкість різання

$$V = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 21 \cdot 710}{1000} = 46,8 \text{ м / хв};$$

5) Перевірочні розрахунки

Визначаємо осьову силу різання

$$P_0 = 9,81 C_p t^x S^y K_p = 9,81 \cdot 67 \cdot 2^{1,2} \cdot 0,4^{0,68} \cdot 0,68 = 617 \text{ Н.}$$

Найбільша осьова сила різання, що допускається механізмом подачі верстата $P_{icm}=14800\text{Н}$, оскільки $617\text{Н} < 14800\text{Н}$, то обробка можлива.

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо потужність різання $N_p = \frac{Mn_\delta}{9750}$ кВт.

де M – крутильний момент, Н·м.

$$M = 9,81 \cdot C_M D^q t^x S^y K_p = 9,81 \cdot 0,09 \cdot 21^1 \cdot 2^{0,9} \cdot 0,4^{0,8} \cdot 0,61 = 11,3$$

Отже: $N_p = \frac{11,3 \cdot 710}{9750} = 0,83$ кВт

Перевіряємо потужність різання по потужності двигуна верстата.

Необхідна умова $N_p \leq 1,2N_{\delta\eta}$. $0,83 \text{ кВт} < 3,84 \text{ кВт}$ – обробка можлива.

б) Основний час $T_0 \frac{L_p}{nS} i = \frac{4}{710 \cdot 0,4} \cdot 4 = 0,1$ хв;

На операцію 040 режимів різання визначимо по нормативах.

040 Токарна

Перехід 1

Підрізувати торець одноразово

$$D_p = 169 \text{ мм}, \quad l = \frac{169}{2} = 84,5 \text{ мм.} \quad t = 1,75 \text{ мм}$$

2) Розрахункова довжина обробки $L_p = 84,5 + 1 + 1,75 = 87,3$ мм

3) Подача $S = 0,6$ мм/об.

По паспорту приймаємо $S = 0,6$ мм/об.

4) Швидкість різання

$$V_T = 110 \text{ м/хв}; K_1 = 1; K_2 = 1,55; K_3 = 1,35; V = 110 \times 1,55 \times 1,35 = 230 \text{ м/об.}$$

5) Частота обертання $n = \frac{1000V}{\pi d} = \frac{1000 \cdot 230}{3,14 \cdot 169} = 433$ об/хв.

По паспорту приймаємо $n_{IT} = 400$ об/хв.

б) Фактична швидкість різання $V = \frac{3,14 \cdot 169 \cdot 400}{1000} = 212$ м/хв.

7) Основний час $T_0 = \frac{87,3}{400 \cdot 0,6} = 0,4$ хв.

Перехід 2

Точити зовнішній діаметр одноразово

$$D_p = 169 \text{ мм}; l = 11 \text{ мм}; t = 2 \text{ мм.}$$

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

2) Розрахункова довжина обробки $L_p=11+2+6=19$ мм.

3) Подача $S=0,6$ мм/об.

По паспорту приймаємо $S=0,6$ мм/об.

4) Швидкість різання

$V_T=110$ м/хв; $K_1=1$; $K_2=2$; $K_3=1,05$; $V=110 \times 2 \times 1,05=231$ м/хв.

5) Частота обертання $n = \frac{1000V}{\pi d} = \frac{1000 \cdot 231}{3,14 \cdot 169} = 435$ об/хв.

По паспорту приймаємо $n_{IT}=400$ об/хв.

6) Фактична швидкість різання $V = \frac{3,14 \cdot 169 \cdot 400}{1000} = 212$ м/хв.

7) Основний час $T_0 = \frac{19}{400 \cdot 0,6} = 0,1$ хв.

Перехід 3

Точити фаску однократно.

$D_p=165$ мм; $l=1$ мм; $t=1$ мм

2) Розрахункова довжина обробки $L_p=1+1+2=4$ мм.

3) Подача $S=0,6$ мм/об.

4) Швидкість різання

$V_T=125$ м/хв; $K_1=1$; $K_2=2$; $K_3=1,05$; $V=125 \times 2 \times 1,05=263$ м/хв.

5) Частота обертання $n = \frac{1000V}{\pi d} = \frac{1000 \cdot 263}{3,14 \cdot 165} = 508$ об/хв.

По паспорту приймаємо $n_{IT}=500$ об/хв.

6) Фактична швидкість різання $V = \frac{3,14 \cdot 165 \cdot 500}{1000} = 259$ м/хв.

7) Основний час $T_0 = \frac{4}{500 \cdot 0,6} = 0,01$ хв.

На інші операції режими різання рахуємо аналогічно.

3.13. Визначення норм часу

Технічні норми часу в умовах серійного виробництва встановлюються розрахунково-аналітичним методом. При серійному виробництві додатково визначається підготовчо-завершальний час $T_{п.з.}$ і штучно-калькуляційний $T_{шт.к.}$

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

040 Токарна

1) $T_o=0,51$ хв;

2) Допоміжний час на операцію

2.1) час на виконання прийомів по установці деталі масою до 3 кг в самоцентруючому патроні $t_{e1}=0,35$ хв;

2.2) час, пов'язаний з переходом при роботі різцем, встановленим на розмір при роботі одним інструментом на верстаті II групи, $t_{e2}=0,49 + 0,13 + 0,13 = 0,75$ хв;

2.3) час на зміну числа обертів шпинделя верстата і напряму подачі $t_{e3}=0,08 + 0,07 = 0,15$ хв;

2.4) час на контрольні виміри $t_{e4}=0,2 + 0,3 + 0,12 = 0,62$ хв;

Допоміжний час на операцію:

$$t_e = t_{e1} + t_{e2} + t_{e3} + t_{e4} = 0,35 + 0,75 + 0,15 + 0,62 = 1,87 \text{ хв};$$

3) Оперативний час: $t_{on} = t_o + t_e = 0,51 + 1,87 = 2,38$ хв;

4) Час на обслуговування робочого місця складе 4% від t_{on}

$$t_{обс} = t_{on} \cdot 0,04 = 0,095 \text{ хв};$$

5) Час перерв на відпочинок і особисті потреби 4% від t_{on} :

$$t_{отл} = t_{on} \cdot 0,04 = 0,095 \text{ хв};$$

6) Штучний час $T_{шт} = t_{on} + t_{обс} + t_{отл} = 2,38 + 0,095 + 0,095 = 2,57$ хв;

7) Штучно-калькуляційний час $T_{шт.к.} = T_{шт.} + \frac{T_{нз}}{n}$;

$$\text{де } n = \frac{N \cdot t}{D_y};$$

$N=25000$ шт/рік – річна програма;

$D_y=253$ днів – кількість робочих днів в році;

$t=5$ днів – запас деталей на складі;

$$n = \frac{2500 \cdot 5}{253} = 495 \text{ хв}; \quad T_{шт.к.} = 2,57 + \frac{25}{495} = 2,62 \text{ хв.}$$

Таблиця 3.9 – Результати розрахунків

T_o	t_e	t_{on}	$t_{обс}$	$t_{отл}$	$T_{нз}$	$T_{шт}$	$T_{шт.к.}$
0,51	1,87	2,38	0,095	0,095	25	2,57	2,62

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Основним завданням розділу є проектна розробка питань безпеки праці на умовно проєктованій ділянці, захисту довкілля від шкідливих чинників.

Проектні рішення по безпеці і екологічності прийняті на основі аналізу потенційно небезпечних і шкідливих чинників заданого технологічного процесу, впливу механічного цеху на довкілля, можливості виникнення надзвичайних ситуацій, класифікації приміщень цеху і виробництва з урахуванням вимог стандартів і іншої діючої нормативно-технічної документації.

Вибір і короткий опис об'єкту дослідження

На умовно проєктованій механічній ділянці виготовляється деталь «Кришка». Технологічний процес складається з механічних операцій, при цьому використовуються верстати:

- токарно-гвинторізний 16К20;
- токарно-револьверний 1К36;
- вертикально-свердлильний з ЧПУ 2Р135Ф2-1;
- вертикально-свердлильний 2Н135;
- круглошліфувальний 3М151.

Деталь «Кришка» виготовляється із сталі СТ.3 кп. Маса заготовки 3,135 кг, маса деталі 1,9 кг

Об'єктом дослідження з точки зору екологічності є механічний цех по виробництву вертикально-свердлильних верстатів, а з точки зору безпеки – проєктована ділянка з верстатів для обробки деталі «Кришка».

4.1. Аналіз потенційної небезпеки на ділянці виготовлення деталі для персоналу і механічного цеху для довкілля

4.1.1. Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих виробничих чинників на ділянці механічної обробки кришки

Усі небезпечні і шкідливі виробничі чинники згідно стандартів підрозділяються на наступні групи: фізичні, хімічні, психофізіологічні і

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

біологічні.

Фізичні чинники:

- рухомі машини і механізми (роботи, маніпулятори, електрокари);
- рухливі елементи виробничого устаткування (шпинделі, пристосування, що обертаються і переміщуються);
- відходи у вигляді часток оброблюваного матеріалу;
- підвищена напруга в електричній мережі (380/220В); замикання якого може статися через тіло людини;
- підвищений рівень шуму;
- підвищений рівень вібрації;
- підвищений рівень інфразвуку та ультразвуку;
- гострі кромки, задирки і шорсткості на поверхні інструменту;
- недолік природного освітлення, викликаний роботою в 2 зміни;
- несприятливі параметри мікроклімату, викликані кліматичними умовами.

До хімічно небезпечних і шкідливих виробничих чинників відносяться речовини, приведені в таблиці 4.1:

Таблиця 4.1 – Хімічно небезпечні та шкідливі речовини

№	Речовина	Гранично-допустимі концентрації, мг/м ³	Клас безпеки	Характер впливу
1	Залізо і його з'єднання	4	III	Дратує дихальні шляхи
2	Вуглець і його з'єднання	20	IV	
3	Кремній і його з'єднання	2	III	
4	Марганець і його з'єднання	0,2	II	
5	Хром і його з'єднання	0,02	I	
6	Масло мінеральне	5	III	Роздратування шкірних покривів
7	Сульфозфрезол	2	III	
8	Гас	300	IV	
9	Пил з двоокисом кремнію 2%	20	IV	силікоз

4.2.2. Аналіз дії механічного цеху на довкілля

При роботі механічного цеху відбувається забруднення атмосферного повітря, стічних вод, ґрунтів відходами виробництва. У атмосферне повітря через вентиляцію разом з газами може поступати абразивний пил, металевий, сталевий пил, пил з вмістом двоокису кремнію, аерозоль масла, розчинники. У цеху використовується МОР для охолодження інструменту, вода на промивання деталей і обробку приміщень. При цьому стічні води забруднюються мінеральними маслами, металевим, сталевим пилом, абразивним пилом. В процесі механічної обробки деталі відбувається забруднення МОР металевими частками до 20%; стружкою 12%; пилом з вмістом двоокису кремнію 2%. Нормування вмісту шкідливих речовин в атмосферному повітрі і поверхневих водах приведені в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 – Нормування вмісту шкідливих речовин в атмосферному повітрі і поверхневих водах

№	Речовина	Нормування в атмосферному повітрі населеної місцевості по переліку шкідливих речовин, що забруднюють атмосферне повітря				Нормування у воді по «Охорона поверхні вод від забруднення»		
		УБШВ мг/м ³	ГДК		Клас небезпеки	ОДУ мг/м ³	ГДК мг/л	Клас небезпеки
			max	ср.доб				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Залізо і його з'єднання			0,04			0,3	3
2	Вуглець і його з'єднання			2	2		0,1	2
3	Кремній і його з'єднання						0,5	2
4	Марганець і його з'єднання		0,01	0,001	2		0,1	3
5	Хром і його з'єднання		0,015	0,0015	1		0,05	3
6	Мастило						0,1	3

	мінеральне							
7	Сульфорезол	0,1						
8	Гас	1,2					0,01	4
9	Пил з двоокисом кремнію 2%		0,5	0,15	3			
10	Розчинник ксилол		0,5	0,3	4			

4.2.3. Аналіз виникнення надзвичайних ситуацій

Для проєктованого механічного цеху найбільш можливою ситуацією є виникнення пожежі. Джерелом його може послужити займисті мастила ($t_{0_{всн}}=1800\text{C}^\circ$), використовувані в МОР, від іскри при ударі, самозаймання промислового дрантя в контейнері для відходів, іскріння і замикання електроустаткування і проводки, іскри статичної електрики. Існує можливість загоряння самого устаткування, внаслідок непоправних механізмів і неправильної експлуатації, наприклад короткого замикання, виходу за режими, дозволені паспортними даними, попадання пилу, бруд всередині устаткування. При виникненні пожежі може горіти ізоляція на електроустаткуванні, полімерні матеріали і покриття. При цьому виникають небезпечні чинники дії на людей, такі як: відкритий вогонь, підвищена температура повітря і предметів, токсичні продукти горіння, дим, ушкодження устаткування і комутацій цеху. Причина пожежі на місцях роботи з інструментальними маслами може служити попадання блискавки у будівлю.

4.3. Класифікація приміщень і виробництва

На підставі даних про властивості оброблюваних матеріалів проєктований цех відноситься до категорії В4. Оскільки будівля одноповерхова, площа цеху складає 2980 м², то проєктом рекомендується міра вогнестійкості – ШБ. Характеристика приміщення з точки зору безпеки поразки електричним струмом – особливонебезпечні, оскільки є

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

струмопровідний пи́л, струмопровідні залізобетонні підлоги і можливість одночасного дотику до металевих корпусів верстатів і заземлених конструкцій.

Середовище приміщення – нормальне, вологість 60%, немає виділення пилу, вологи, хімічно небезпечних речовин.

Група і підгрупа виробничого процесу за санітарною характеристикою:

- Ів – для механічної ділянки (процеси, що викликають забруднення тіла і спецодягу маслом і мінеральним (клас небезпеки III), табл. 1, що видаляються із застосуванням спеціальних миючих засобів). Забруднення шкідливими речовинами I і II класу відсутні.

Відповідно до санітарних норм, санітарний клас виробництва IV, як підприємство металообробної промисловості, без ливарних ділянок. Ширина санітарної зони – 100 м.

4.4. Забезпечення безпечних і санітарно-гігієнічних умов праці

4.4.1 Заходи і засоби по техніці безпеки

4.4.1.1 Автоматизація і механізація ручних операцій

У технологічному процесі передбачено використання устаткування з ЧПУ, що виключає повністю ручну працю під час обробки деталі. Установка деталі вагою 2,0 кг на салазки робиться вручну. Конструкція пристосувань не заважає вільному виходу стружки і видаленню її з верстата.

Забезпечення ергономічних вимог.

Виробництво крупно-серійне. Верстати мають наступні габаритні розміри (довжина, ширина, висота) :

- 16K20 – 2795×1198×1500;
- 1K36 – 2522×1166×1324;
- 2P135Ф2-1 – 1860×2170×2700;
- 2H135 – 1030×825×2535;
- 3M151 - 4605×2450×2170.

Приймаємо наступне розташування верстатів:

Від проїзду до бічних сторін 700 мм

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Один відносно одного:

- тильними сторонами 3000 мм

- бічними сторонами 1300 мм

Від стін і колон до фронту верстата:

- тильної сторони 1600 мм

- бічних сторін 1200 мм

Ширина проїздів = 3300 мм, оскільки в цеху застосовуються електровізки ЕТМ з габаритними розмірами 2200×850×1260. Ширина проїздів $2 \times 850 + 1600 = 3300$ мм при двосторонньому русі.

4.4.1.2 Обгороджування небезпечних зон, захисні, запобіжні і блокуючі пристрої

Металорізальні верстати, підйомно-транспортні пристрої і інші механічні засоби в цеху забезпечені захисними і запобіжними пристроями, які в небезпечний момент відключають устаткування. На стійках застосовують теплові і плавкі запобіжники, що відключають устаткування при ушкодженні ізоляції, провалів, зменшуючи вірогідність поразки електричним струмом. Усі механізми, що мають захисні знімні кожуха, обгороджування, забезпечені блокуючими пристроями. При виконанні блокування унеможливлено її помилкового спрацьовування. Верстати оснащені пневмоприводами, а захисні пристрої цих верстатів – запобіжними пристосуваннями – пневмоконтракторами, які відключають верстат до того, як деталь устигає звільнитися від затискного пристрою.

Передбачені також сигналізація звукова і світлова, службовка для видачі на інформаційне табло сигналів про кількісні параметри технологічного процесу обробки деталі.

На металорізальних верстатах застосовуються обгороджування у вигляді кожухів, екранів, сіток. Відведення стружки з цих зон здійснюється за допомогою стружковідводних козирків.

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.4.1.3. Забезпечення електробезпеки

Характеристика електричної мережі - трифазна з напругою 380/220 В, з глухозаземленою нейтраллю, потужністю 2000 кВА. Для ланцюгів місцевого освітлення застосовують ~24В. Для ланцюгів кінцевих вимикачів застосовують напругу - 24В. Для ланцюгів управління застосовують ~110В.

Захист електродвигунів і систем управління від струмів короткого замикання здійснюється за допомогою автоматичних вимикачів АЕ2023. Захист від тривалих перевантажень мережі здійснюється тепловим реле ТРН-10. Усі електричні пристрої і металеві частини обладнання зануляються відповідно до ПУЕ. У разі пробією ізоляції, на металевий корпус устаткування, спрацьовує електрозахист, що відключає пошкоджене устаткування. В якості автоматичних вимикачів застосовують АЕ2023. Для виготовлення шини занулення застосовується сталевий електрод прямокутного перерізу 4×12 мм, площа перерізу 48 мм², до нього приєднані зануляючі дроти корпусів, що приєднуються до контактної майданчика устаткування за допомогою болтів.

4.4.1.4 Видалення відходів виробництва на ділянці механічної обробки

Із зони різання стружка довільно потрапляє на похилий піддон верстата, відходи, що залишилися, скидаються металевим скребком. При застосуванні МОР, остання виносить стружку із зони обробки. Стружка потрапляє на стрічковий транспортер, який вивозить стружку із зони обробки за межі верстата. Збір стружки робиться в контейнери з подвійним дном по видах і марках металу з наступною переробкою у відділенні по збору і переробки стружки (брикетування, пакетування). З цеху стружка віддаляється за допомогою електровізків. Металевий пил, що утворюється в процесі обробки деталі, засмоктується в цеховий циклон.

4.4.2 Заходи і засоби по промисловій санітарії

4.4.2.1 Мікроклімат, вентиляція і опалювання

Категорія праці по тяжкості відноситься до категорії Пб (середній

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тяжкості), оскільки робота пов'язана з кріпленням інструменту і пристосувань вагою до 7,5 кг, виконувана в положенні стоячи і вимагає енерговитрат 232-293 Дж/с. З урахуванням перерахованих параметрів вибираємо оптимальні норми температури, відносній вологості і швидкості руху повітря, приведені в таблиці 4.3:

Таблиця 4.3 – Оптимальні норми температури, відносній вологості і швидкості руху повітря

Період року	Категорія роботи	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря
Холодний	Середня Пб	17÷19	40÷60	0,2
Теплий	Середня Пб	20÷22	40÷60	0,3

Виділення шкідливих речовин мале, їх видалення робиться загальноцеховою вентиляцією: в теплий період року – природною вентиляцією, в холодний період року – припливною вентиляцією, поєднаною з повітряним опалюванням, так само встановлюються теплові завіси біля в'їзних воріт.

У холодний період року для опалювання приміщень цеху застосуємо водяну систему, оскільки вона найбільш ефективна в санітарно-гігієнічному відношенні.

У місцях, де виділяються шкідливі речовини і пил, застосуємо місцеву механічну вентиляцію у вигляді відсмоктувань.

4.4.2.2. Виробниче освітлення

У цеху застосовується природне і штучне освітлення. Природне освітлення здійснюється через бічні вікна. Вибираємо розряд зорової роботи III, оскільки проводяться роботи високої точності і необхідно розрізняти об'єкти, розміри яких 0,3÷0,5 мм, наприклад, риски на вимірювальному інструменті. Підрозряд зорових робіт B, контраст об'єкту з фоном середній і характер фону середній. Штучне освітлення – комбіноване, тобто до загального додається місцеве освітлення, що концентрує світловий потік безпосередньо на робочих

місцях. Загальне освітлення здійснюється за допомогою ламп ДРЛ і ЛДЦ, а місцеве освітлення світильниками МОД. Номінальний коефіцієнт природної освітленості (КЕО) і освітленість робочої поверхні приведені в таблиці 4.4 аналізу зорових робіт.

Таблиця 4.4 – Номінальний коефіцієнт природної освітленості (КЕО) і освітленість робочої поверхні

№	Показники	Величина
1	Характеристика зорової роботи	Висока точність
2	Найменший розмір об'єкт розрізнення, мм	0,3-0,5
3	Розряд зорової роботи	III
4	Підрозряд зорової роботи	B
5	Контраст об'єкту з фоном	Середній
6	Характеристика фону	Середній
7	Освітленість при системі комбінованого освітлення, усього, ЛК	750
8	Освітленість від загального, ЛК	200
9	Показник освітленості	$P=40$
10	Коефіцієнт пульсації	$K_n=3$
11	Поєднане освітлення, при верхньому або комбінованому освітленні, КЕО, %	3

У цеху передбачено евакуаційне освітлення, при відключенні мережі. Незалежно від денного освітлення, по підлозі основних переходів і на сходах сходів освітленість має бути не менше 0,5 лк.

4.4.2.3. Захист від шуму і вібрації

Допустимі рівні звукового тиску і рівня звуку не повинні перевищувати значень приведені в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Допустимі рівні звукового тиску і рівня звуку

Вид приміщення	Середні геометричні частоти октавних смуг, Гц									Рівень звуку і його еквівалент, дБ
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Постійні робочі місця і робочі зони	Рівень звукового тиску, дБ									80
	107	95	87	82	78	75	73	71	69	

Допустимі рівні вібрацій категорії За, що виникають на робочому місці оператора при роботі верстата, не повинні перевищувати значень приведених в таблиці 4.6.

Для захисту від шуму і вібрації в цеху передбачено: верстати встановлені на віброопори, в системі механічної вентиляції встановлені глушники. При роботі з ручними механізмами інструментом, захист рук від дії вібрацій здійснюється рукавицями і рукавичками.

Гранично допустимі рівні інфразвуку на робочих місцях не повинні перевищувати значень приведених в таблиці 4.7.

Таблиця 4.6 – Допустимі рівні вібрацій

№	Показники	Середні геометричні частоти октавних смуг, Гц					
		2	4	8	16	31,5	63
1	Граничні значення віброшвидкості, м/с · 10 ⁻²	1,3	0,45	0,22	0,2	0,2	0,2
2	Граничні значення віброприскорення, м/с ²	0,14	0,1	0,11	0,2	0,4	0,8
3	Логарифмічний рівень віброшвидкості, дБ	108	99	93	92	92	92
4	Логарифмічний рівень віброприскорення, дБ	103	100	101	106	112	118

Таблиця 4.7 – Гранично допустимі рівні інфразвуку на робочих місцях

Призначення приміщень	Середні геометричні частоти октавних смуг, Гц				Загальний рівень звукового тиску, дБ
	2	4	8	16	
	Рівень звукового тиску, дБ				
Роботи з різним ступенем тяжкості і напруженості трудового процесу у виробничих приміщеннях різного ступеня тяжкості	100	95	90	85	100

Допустимі рівні звукового тиску ультразвуку приведені в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Допустимі рівні звукового тиску ультразвуку

Средньгеометричні частоти третьооктавних частот, кГц	Рівень звукового тиску, дБ
12,5	80
16	80
20	100
25	105
31,5÷100,0	110

Для зменшення шуму і вібраційної дії на робітника, верстат встановлений на спеціальні віброопори, які зменшують вібраційну дію на фундамент і на працюючу людину.

4.4.2.4. Допоміжні санітарно - побутові приміщення

У цеху розташовані 2 вбиральні відділення: чоловіче і жіноче. У чоловічому відділенні знаходиться 100 шаф по 2 відділення на одну людину. У жіночій вбиральні 30 шаф по два відділення на одну людину для брудного і чистого одягу. У цеху знаходиться 8 душових сіток для чоловіків і 2 душових

сітки для жінок. Число унітазів в жіночих убиральнях – 2, кранів – 3. У чоловічому відділенні унітазів – 8, кранів – 12.

4.5. Заходи і засоби по захисту довкілля від дії механічного цеху

4.5.1. Утилізація твердих відходів

Велика частка в загальному об'ємі твердих відходів належить металевим відходам. Основні операції первинної обробки металовідходів: сортування, оброблення і механічна обробка. Стружку обробляють на пресах. Відходи металів використовують як вторинну сировину.

4.5.2. Очищення газів, що відводяться в атмосферу

Етапи очищення газів, що відводяться в атмосферу:

- На першому етапі повітря проходить прямооточні циклотрони;
- На другому етапі використовуються масляні фільтри, що самоочищаються, де відбувається тонке очищення повітря від пилу;
- На третьому етапі повітря проходить через абсорбенти, де відбувається поглинання газоподібних домішок.

Для видалення з виробничих приміщень шкідливих газів і пари, потрібна місцева припливно-витяжна вентиляційна система, оскільки не має сенсу оздоровлювати усі приміщення повністю, і можна обмежитися оздоровленням повітряного середовища тільки в місцях знаходження людей.

4.5.3. Очищення стічних вод

Очищення стічних вод робиться поетапно:

- На першому етапі воду проциджують через ґрати і волокноуловителі, для виділення великих, нерозчинних у воді часток, розміром до 25 мкм;
- На другому етапі робиться відстоювання вод, тверді частки випадають в осад. Відстоювання робиться в пісколовках, відстійниках і маслоуловителях;
- На третьому етапі фільтруємо воду з метою очищення від

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

тонкодисперсних твердих домішок. Матеріал, що фільтрує, - кварцевий пісок.

МОР віддаляється від верстатів по трубах на станцію генерації і після переробки повертається в циркуляційну систему. Господарсько-побутові стічні води віддаляються через каналізаційні труби у відстійники, для очищення на очисних спорудах. Після очищення, вода знову поступає у водооборот виробництва.

4.6. Заходи і засоби по забезпеченню безпеки при надзвичайній ситуації

4.6.1 Забезпечення пожежної безпеки

Цех розташовується в окремому корпусі, площею 3240 м². У нім встановлені вогнегасники:

– Хім - пінні ОХП-10, з розрахунку 2 вогнегасники на 400 м² площі цеху, $N1=2 \cdot 3240/400=18$;

– Порошкові ОП-5, з розрахунку 2 вогнегасники на 400 м² площі цеху, $N1=2 \cdot 3240/400=18$;

– Вуглекислотні ВУ-5, з розрахунку 2 вогнегасники на 400 м² площі цеху, $N1=2 \cdot 3240/400=18$;

Так само є по одному вогнегаснику в кожному ізольованому приміщенні.

Пожежна безпека в цеху забезпечена:

– Установкою пожежною автоматичною сигналізацією з датчиком ІДФ-1, працює на принципі розсіювання димом теплового випромінювання;

– Електроустаткування відповідає класу пожежонебезпеки приміщень, усі частини машин поміщені в пиленепроникні ковпаки;

– Для захисту від пожежі в цеху встановлені протипожежні перешкоди;

– Повітровідвідні системи вентиляції очищають від горючих матеріалів не рідше за один раз в два місяці;

– Відходи виробництва і матеріали, що згорають, прибирають з приміщення у кінці кожної зміни;

– Горючо - мастильні матеріали зберігаються в закритій металевій тарі, в спеціальних приміщеннях.

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Темою випускної роботи є «Вдосконалення конструкції вертикально-свердлильного верстата для обробки деталі «Кришка».

У загальній частині роботи приведено призначення проектованого верстата, зроблений огляд існуючих конструкцій верстатів-прототипів, розроблений техпроцес обробки деталі і розраховані режими різання. У технологічній частині збільшений коефіцієнт використання матеріалу. Приведений розрахунок міжопераційних припусків, розрахунок режимів різання, основного часу, який скоротився майже в два рази. Складений техпроцес обробки деталі «Кришка». У конструкторській частині розроблено контрольне пристосування і різальний інструмент. У розділі «Охорона праці» проаналізовані шкідливі чинники, що виникають в процесі обробки деталі, а так само розроблені заходи по зниженню дії шкідливих чинників в механічному цеху.

Випускна робота виконаний на базі останніх досягнень науки, техніки і проектних рішень.

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агрегатно модульне технологічне обладнання нового покоління, його оснащення та інструментальне забезпечення. Під заг. Ред.. Ю.М. Кузнецова. Навч. Посібник для ВНЗ. Кіровоград, 2003. – 507с.
2. Бочков В.М., Сілін Р.І., Гаврильченко О.В. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів: Підручник за ред. Р.І. Сіліна. – Львів: Видавництво «Бескид Бід», 2008. – 448с.
3. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М., Туряб Л.В., Лико Х.В. Практикум з охорони роботи. Навчальний посібник / За ред. В.Ц. Жидецького. - Львів: Афіша, 2000.- 352с.
4. Деталі машин: Навчальний посібник / Г.М. Борозенець, В.М. Павлов., І. В. Семак. – К.: Видавничий дім «Кондор», 2021. – 220 с.
5. Підшипники кочення: Ч.1. Кулькові підшипники [Електронний ресурс] : навч. наоч. посіб. для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад. А.К. Скураговський. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 51 с.
6. Гандзюк М.П., Желібо Е.Л., Халімовський М.О. Основи охорони роботи./ За ред. М.П. Гандзюка.- К.: Каравела, 2004.- 408с.
7. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. - Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.; з іл.
8. Рудь В.Д., Божко Т.Є., Гальчук Т.Н. Методологія підготовки випускної роботи за спеціальністю 131 – Прикладна механіка (освітній рівень – бакалавр; спеціалізація – технологія машинобудування) / Навчальний посібник / Під загальною редакцією професора В.Д. Рудя – Луцьк: Інформаційно-видавничий відділ Луцького НТУ. – 2017. – 500с.
9. Кузнецов Ю.М., Луців І.В., Шевченко О.В., Волошин В.Н. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: Монографія Упорядник Кузнецов Ю.М. – К.: - Тернопіль: Терно-граф, 2011. - 692с.

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

10. Муляр Ю.І. Автоматизація виробництва в машинобудуванні. Частина II: навчальний посібник. / Ю. І. Муляр, С. В. Репінський. – Вінниця: ВНТУ, 2020. – 123 с.

11. Кобзар Є.П., Мельничук Л.С., Громовий О.А. Розрахунки і проектування вузлів та деталей верстатів і систем: Навчальний посібник. - Житомир: ЖІТІ, 2000. - 361 с.

12. Методичні вказівки до виконання курсового проекту на тему: "Режими різання матеріалів" для студентів 07.090202 "Технологія машинобудування" усіх форм навчань. / Гордєєв О.Ф. ЛДТУ, 2005. – 38с.

13. Методичні вказівки до курсового проекту на тему: "Обґрунтування технічних характеристик металорізальних верстатів" для студентів спеціальності "Металорізальні верстати, та системи"(7.090203 форм навчання. / Гордєєв О.Ф. ЛДТУ. 2006. – 36с.

14. Методичні вказівки до виконання курсового проекту на тему: "Розрахунок шпindelьних вузлів. Методика" для студентів спеціальності 07.090202 "Технологія машинобудування" усіх форм навчання / О.Ф. Гордєєв - Луцьк: ЛДТУ, 2005.-32 с.

15. Обладнання і транспорт механообробних цехів. Конспект лекцій для студентів спеціальностей "Технологія машинобудування" (7.090202) та "Металорізальні верстати та системи" (8.090203) усіх форм навчання / Гордєєв О.Ф. Луцьк: ЛНТУ, 2009. - 36с.

16. О.Ф. Гордєєв Методичні вказівки до виконання курсового проекту по металорізальних верстатах. Луцьк. 2011. – 50с.

17. О.Ф. Гордєєв, Р.М. Полінкевич. Конструювання верстатів та машин. Конспект лекцій. Луцьк. 2012. – 28с.

18. О.Ф. Гордєєв, Р.М. Полінкевич. Металообробне обладнання. Методичні вказівки до курсового проекту. Луцьк. 2010.- 47с.

19. М.Н. Педченко, Т.І. Вєрба. Методичні вказівки до виконання атестаційної роботи бакалавра. Київ, 2005. – 20с.

20. Губський А.І., Цивільна оборона. – К.: Міністерство освіти, 1995. – 216 с.

21. Металорізальні верстати. Кінематичний аналіз. Практикум до виконання практичних та лабораторних робіт [Електронний ресурс]: Навч.

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

посібник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка» та 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Металорізальні верстати та системи» / О.В. Шевченко, А.Ю. Беляєва; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 6,5 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 86 с.

22. Данильченко Ю.М., Шевченко О.В., Ковальов В.А., Волошин В.Н. Металообробне обладнання. Кінематичний аналіз металорізальних верстатів: Навч. посіб. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 60 с.

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

ДОДАТКИ

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

Керуюча програма на вертикально-свердильний верстат 2P135Ф2 - 1 для виконання свердильної операції 060.

N001 G81 T001 S08 F10 L01 R+000000 Z+000600 X+000000 Y-004250 LF
 N002 X-004250 Y+000000 LF
 N003 X+000000 Y+004250 LF
 N004 X+004250 Y+000000 LF
 N005 X+006426 Y+002065 LF
 N006 X-002065 Y-006426 LF
 N007 X-006426 Y+002065 LF
 N008 G91 X+002065 Y+002065 LF
 N009 G81 T02 S08 F13 L02 R+000000 Z+002300 X+000000 Y-004250 LF
 N010 X-004250 Y+000000 LF
 N011 X+000000 Y+004250 LF
 N012 G91 X+004250 Y+000000 LF
 N013 G81 T03 S09 F13 L03 R+000000 Z+002100 X+000000 Y-002065 LF
 N014 X-002065 Y-006426 LF
 N015 X-006426 Y+002065 LF
 N016 G91 X+002065 Y+006426 LF
 N017 G81 T04 S09 F16 L04 R+000000 Z+001000 X+000000 Y-004250 LF
 N018 X-004250 Y+000000 LF
 N019 X+000000 Y+004250 LF
 N020 G91 X+004250 Y+000000 LF
 N021 M02

					027Б – 24.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

Координати оброблюваних отворів

№ отвори	Координати	
	X	Y
1	0	-42,5
2	-42,5	0
3	0	42,5
4	42,5	0
5	64,26	-20,65
6	-20,65	-64,26
7	-64,26	20,65
8	20,65	64,26

