

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ МАШИН

До захисту допущено

Завідувач кафедри

Юрій Данильченко

(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2022 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Технології комп'ютерного
конструювання верстатів, роботів та машин»

спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

на тему «Модернізація вузлів токарно-револьверного верстата з ЧПК»

Виконав студент групи

IV курсу, групи МВ-82

Шикалов Данило Костянтинович

(прізвище ім'я по батькові)

(підпис)

Керівник проєкту

Ст. викладач Вакуленко С. В.

(вчена ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

КОНСУЛЬТАНТИ:

Ковтун Андрій Іванович

РЕЦЕНЗЕНТ:

Ст. викладач Бецко Ю.М.

(посада, наукова ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ - 2022 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	3	
2	A4	MB-8215.ДПБ000.000.00	Пояснювальна записка	47	
3	A3	MB8215.ДПБ000.000.00СК	Загальний вигляд верстату 1В340Ф30	1	
4	A3	MB8215.ДПБ210.000.00	Коробка швидкостей	1	
5	A3	MB8215.ДПБ210.000.01	Додаток 1. Графік частот обертання	1	
6	A3	MB8215.ДПБ200.000.00	Шпindelний вузол верстату 1В340Ф30	1	
7	A3	MB8215.ДПБ200.000.01	Розрахунок шпindelного вузла верстату 1В340Ф30	1	
8	A3	MB8215.ДПБ200.000.02	Компоновочна схема шпindelного вузла верстату 1В340Ф30	1	

				MB-8215.ДПБ000.000.00		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Шикалов			Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівн.	Вакуленко				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. КМ Гр. MB-82	
Н/контр.						
Зав.каф.						

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту**

на тему: «Модернізація вузлів токарно-револьверного верстата з ЧПК»

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
ім. Ігоря Сікорського”
Механіко-машинобудівний інститут
Кафедра конструювання машин

Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____

Спеціальність 131 «Прикладна механіка»
(код і назва)

Освітньо-професійна програма «Технології комп'ютерного конструювання верстатів, роботів та машин»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО

(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2022 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

_____ Шикалов Данило Костянтинівич _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту _____ Модернізація вузлів токарно-револьверного верстата з ЧПК _____

керівник проекту _____ Вакуленко Сергій Валентинович, ст. викладач _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від “ ” _____ **2022 року** № _____

2. Термін подання студентом проекту _____ 8 червня 2022 р. _____

3. Вихідні дані до проекту _____ кінематична схема, креслення та опис токарно-револьверного верстата 1В340Ф30 _____

4. Зміст пояснювальної записки 1.Провести теоретичний огляд відомих напрямків підвищення продуктивності токарної обробки при багатосерійному виробництві. Визначити напрямок модернізації токарного верстата мод. 1В340Ф30. 2.Розрахувати кінематичні характеристики ПГР з безступінчастим регулюванням ($n_{\min}=20$ хв⁻¹; $n_{\max}=4000$ хв⁻¹), побудувати структурні сітки привода, визначити числа зубців відповідно до передаточних відношень; перевірити дійсні частоти обертання шпинделя. Виконати розрахунок силових характеристик ПГР верстата, визначити найбільші значення сил, крутячих моментів, що допускаються при різанні та

вибрати параметри двигуна ПГР; визначити основні параметри зубчастих передач та перевірити їх на контактну міцність; провести розрахунок валів коробки швидкостей на міцність; вибрати та перевірити підшипники кочення; провести розрахунок шпонкових та шліцьових з'єднань. 3. Виконати розрахунок шпindelного вузла на підшипниках кочення, визначити схеми вузла та підшипників передньої та задньої опор, провести розрахунок радіальної та осьової жорсткості ШВ та теоретичне визначення оптимальної міжопорної відстані. 4. Виконати моделювання та розрахунок на жорсткість шпindelного вузла в САПР системі Autodesk Inventor. Моделювання валу шпинделя за допомогою САПР модуля «генератор валів». Визначити розрахункову схему навантаження валу та виконати побудову епюр максимальних напружень і деформацій. Провести розрахунок методом скінченних елементів збірки ШВ із визначенням його радіальної жорсткості, виявити можливі напрямки оптимізації конструкції вузла. Провести моделювання та силовий розрахунок приводу головного руху в системі Autodesk Inventor. 5. Охорона праці й навколишнього середовища

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)

1. Загальний вигляд верстата, його кінематична схема із урахуванням проведеної модернізації та графік частот обертання ПГР. 2. Складальне креслення ПГР. 3. Складальне креслення модернізованого ШВ верстата. 4. Плакат із результатами розрахунку на жорсткість вала шпинделя (розрахункова схема, епюри напруги та деформацій). 5. Моделювання та силовий розрахунок приводу головного руху в системі Autodesk Inventor. 6. Результати моделювання та визначення радіальної жорсткості шпindelного вузла в САПР системі Autodesk Inventor

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
ОПП	Ковтун Андрій Іванович асистент		

7. Дата видачі завдання _____ 2022р _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз напрямків розвитку сучасного верстатобудування	23.04.2022	виконано
2	Проектування привода головного руху з безступінчастим регулюванням швидкості.	14.05.2022	виконано
3	Силовий розрахунок найбільш навантажених деталей привода	21.05.2022	виконано
4	Розрахунок шпиндельного вузла на підшипниках кочення	28.05.2022	виконано
5	Виконати моделювання та розрахунок на жорсткість шпиндельного вузла в САПР системі Autodesk Inventor	04.06.2022	виконано

Студент _____
(підпис)

Шикалов Д.К.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту _____ Вакуленко С.В.

ЗМІСТ

Вступ	2
1.Опис верстата моделі 1В340Ф30.....	3
1.1.Призначення верстата	4
1.2 Технічна характеристика верстата	5
1.3.Кінематика верстата	8
1.4.Конструктивні особливості верстата	12
2. Розрахункова частина	16
2.1.Визначення технологічної характеристики верстата	16
2.2.Розрахунок та розробка коробки швидкостей	24
2.3 Визначення діапазонів регулювання.....	27
2.4 Вибір знаменника.....	27
2.5 Побудова схеми передач.....	28
2.6 Визначення дійсних частот обертання шпинделя по рівнянню балансу кінематичному ланцюга побудованої коробки швидкостей.....	29
3. Розрахунок технічних характеристик ПГР	
з безступінчастим регулюванням ($n_{\min} = 45$ об/хв, $n_{\max} = 3150$ об/хв.)....	32
3.1 Визначення силових характеристик верстата.....	32
3.2 Вибір параметрів двигуна ПГР.....	33
3.3 Визначення потужності на валах.....	33
3.4. Визначення крутних моментів на валах при мінімальних обертах валів.	
3.5 Попереднє визначення діаметрів валів.....	34
3.6 Визначення основних параметрів зубчастих передач і перевірка їх на контактну міцність.....	34
4. Статичний розрахунок шпиндельного вузла на підшипниках кочення....	36
4.1 Обґрунтування геометричних конструктивних параметрів.....	37
4.2. Вибір компоновочної схеми шпиндельного вузла (ШВ).....	38

					МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб</i>		Шикалов Д.К.			Модернізація вузлів токарно-револьверного верстата з ЧПК Пояснювальна записка	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Вакуленко С.В.					3	47
<i>Реценз.</i>						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ММІ, КМ, МВ-82		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>								

4.3. Вибір підшипників.....	38
4.4 Розрахунок на точність.....	39
4.5 Розрахунок на жорсткість.....	40
4.6 Визначення властивостей, що демпфірують ШВ.....	46
4.7. Визначення власної частоти обертання.....	46
5. Список літератури	44

					МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ВСТУП

Метою дипломного проекту є вдосконалення експлуатаційних характеристик верстата в порівнянні з базовою моделлю: підвищення точності, якості та продуктивності обробки, розширення технологічних можливостей, поліпшення умов обслуговування, автоматизація окремих рухів та усього циклу обробки на верстаті, зменшення габаритних розмірів та зниження металоємності його вузлів.

Основними вихідними даними для розробки дипломного проекту є: тип базового верстата, його основні параметри та розміри, габаритні розміри та матеріал заготовки, вимоги до точності деталей, що оброблюються, вид та матеріал ріжучого інструмента, продуктивність верстата, характер виробництва, напрямки розробок для поліпшення експлуатаційних характеристик верстата, креслення окремих вузлів базового верстата.

В даному дипломному проекті виконується модернізація коробки швидкостей токарно-револьверного верстата моделі 1В340Ф30.

Токарно-револьверні верстати, що випускаються промисловістю, розподіляються на ряд моделей та класифікуються:

- за розташуванням вісі револьверної головки – вертикальні та горизонтальні;
- за видом заготовок, які обробляються – для робіт з прутками або в патронах.

Верстати, які призначені для робіт з прутками, характеризуються найбільшим діаметром прутка. Ці верстати мають пристрої для подачі та затиску прутка.

Верстати, що працюють з заготовками, які встановлюються в патронах, призначені, для обробки кованих, литих та штампованих заготовок.

					МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ОПИС ВЕРСТАТА МОДЕЛІ 1В340Ф30

1.1. Призначення верстата

Токарно-револьверний верстат моделі 1В340Ф30 підвищеної точності на якій розміщена револьверна головка з верт. віссю та із хрестовим супортом. Верстат використовується для виконання різноманітних токарних робіт при обмотці з дротика деталей з східчастим та криволінійним профілем. А також верстаті можна нарізати різьби мітчиками, плашками та різцями.

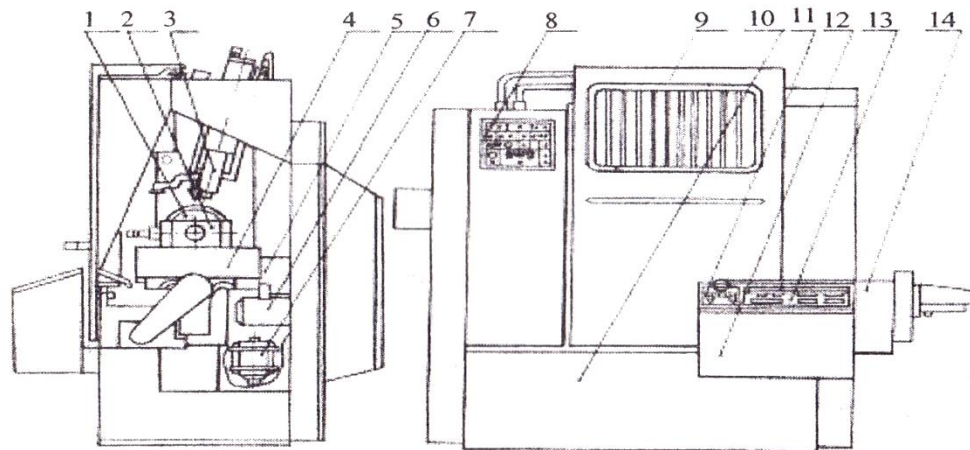


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд верстату 1В340Ф30

Верстат складається з наступних вузлів (рис. 1.1):

1. Шпиндельна бабка;
2. Револьверна головка;
3. Супорт відрізний;
4. Супорт револьверний;
5. Привод поперечної подачі;
6. Насос системи охолодження;
7. Гідростанція;
8. Пульт управління верстата (основний);
9. Щит огорожі;
10. Станина;

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ

Арк.

6

11. Пульт управління (додатковий);
12. Оперативна система керування (ОСК) «Електроніка НЦ-31»;
13. Пульт оператора;
14. Привод повздовжньої подачі супорта.

ОСК дозволяє в ході обробки першої деталі за допомогою засобів ручного управління та елементів автоматичного управління формувати керуючу програму (КП) для виготовлення наступних деталей.

Це значно скорочує час на складання та від лагодження КП, а також спрощує підготовку програми у порівнянні з наявними на верстатах іншими системами ЧПК. На верстаті передбачене нарізання різьби в широкому діапазоні, включаючи багатозаходні. Затискання і подача стрижня відбувається за допомогою гідравлічного механізму.

1.2 Технічна характеристика верстата

Найбільший діаметр прутка, що оброблюється,		
мм		40
Максимальна довжина виробу, що оброблюється,		
мм		200
Кількість позицій револьверної головки		8
Відстань від переднього торцю шпинделя до револьверної головки, мм:		
-найменша		226
-найбільша		530
Найбільше поперечне переміщення револьверної головки, мм		110
Кількість швидкостей шпинделя		12
Частоти обертання шпинделя, хв ⁻¹		45, 63, 90, 125, 180, 250, 355, 500, 710, 1000, 1400, 2000

					МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Частоти зворотнього обертання шпинделя, хв ⁻¹	45, 63, 90, 125, 180, 250
Межі подач револьверного супорта, мм/хв:	
- поздовжніх	1-2500
- поперечних	1-1250
Дискретність переміщення револьверного супорта, мм:	
- поздовжнього	0.010
- поперечного	0.005
Швидкість прискореного ходу револьверного супорта, мм/хв.:	
- поздовжнього	10000
- поперечного	5000
Межі подач відрізного супорта, мм/хв	5-60
Найбільший крутний момент на шпинделі, Н·м	400
Найбільше зусилля подач, Н:	
- поздовжньої	6000
- поперечної	3000
Електродвигун головного руху:	
- тип	4Ф132М6/4У3
- потужність, кВт	7,1/8,5
- частота обертання ротора, хв ⁻¹	960/1440
Двигун подач:	
- тип	PF4FK7712
- номінальна частота обертання ротора, хв ⁻¹	600
- максимальна частота обертання, хв ⁻¹	1500
ПЧПК:	
- тип	«Електроніка НЦ-31»
- число координат, що управляються,	2
ВСЬОГО	2

					МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

12. Кнопка «робота відрізного супорта»;
13. Сигнальна лампа «відсутність живлення у приводах»;
14. Сигнальна лампа «верстат ввімкнений»;
15. Кнопка «зупинка шпинделя»;
16. Кнопка «гальмо шпинделя»;
17. Кнопка «пуск шпинделя»;
18. Тумблер «вибір напрямку обертання шпинделя»;
19. Тумблер «закріплення-розкріплення деталі»;
20. Перемикач « вибір пульта управління»;
21. Перемикач «вибір швидкості обертання»;
22. Кнопка «переривання обертання шпинделя»;
23. Кнопка «аварійний стоп»;
24. Сигнальна лампа «теплове перегрівання приводу»;
25. Сигнальна лампа «збій верстата»;
26. Сигнальна лампа «збій приводів»;
27. Механічний штурвал (маховичок);
28. Сигнальна лампа «обмеження переміщення супорта по осях»;
29. Сигнальна лампа «вихідне положення супорта по осях»;
30. Перемикач «закріплення осей»;
31. Перемикач «охолодження»;
32. Тумблер «перевищення робочої подачі»;
33. Тумблер «підтвердження зупинки».

					МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

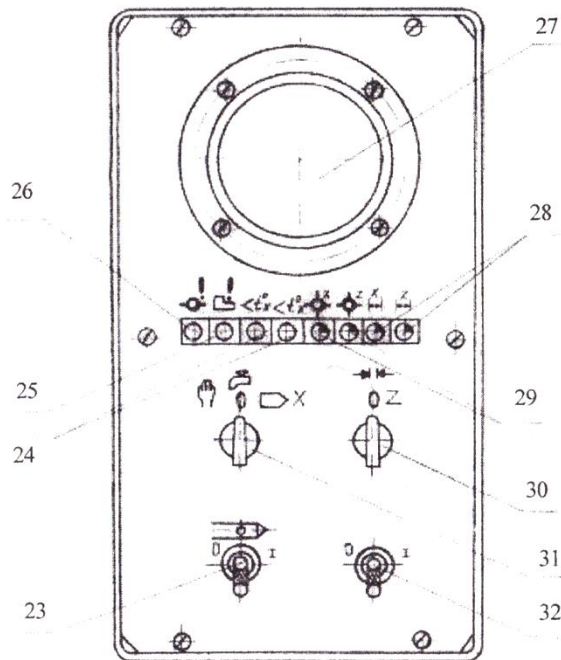


Рисунок. 1.3 - Пульт управління додатковий

1.3 Кінематична схема верстата мод. 1В340Ф30

Головний рух реалізується за допомогою електродвигуна М1, який має 2 швидкості та потужність у 15 кВт з числом обертів 960/1440 через клинопасову передачу на вхідний вал зі шківом D2 коробки швидкостей 1.

Коробка швидкостей має чотири вали із зубчастими колесами, які попарно знаходяться в зачепленні, та електромагнітні муфти. Ступінчаста зміна частоти обертання відбувається за допомогою електромагнітних муфт, які включаються попарно. А вихідний вал коробки швидкостей (на далі також КШ) пов'язаний плоско-зубчастою передачею зі шківом D1, який передає обертання на шпиндель верстата 2. Ступінчаста зміна частоти обертання шпинделя 2 може проводитися на холостому ході та із заподіянням навантаження. Завдяки вмиканню електромагнітних муфт здійснюється гальмування шпинделя коробки швидкостей. Водночас, датчик зворотного зв'язування К1 забезпечує належний контроль частоти обертання шпинделя в процесі різьбо-нарізання.

					МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Обертання шпинделя може відбуватись у режимах шести швидкостей, котрі автоматично визначаються коробкою швидкостей відповідно. Якщо враховувати дві швидкості обертання електродвигуна, то шпиндель верстата має 12 швидкостей.

У роботі верстата застосовується автоматична КШ моделі АКС 2063231. Перемикання ступенів регулювання відбувається з використанням електромагнітних муфт, процес вмикання яких забезпечується попарно. Вихідний вал коробки швидкостей гальмується вмиканням трьох муфт одночасно на вихідному валу, при вимкнених всіх інших муфтах. Електродвигун при цьому відповідає за реверсування шпинделя.

Залежно від виконання: пруткове($n=45-2000$ хв -1), патронне (36-1600 хв -1) або швидкісне виконання(56-2500 хв -1), межі частот обертання можуть змінюватись. А все завдяки встановленню змінних шківів $z1-z2$. $z3-z4$. Одночасне включення муфт М1, М2, М3 здійснює гальмування шпинделя. Електродвигун при цьому забезпечує реверс шпинделя. Змащування коробки швидкостей централізоване.

Рух подач - поздовжні та поперечні переміщення револьверного супорта здійснюються електродвигунами постійного струму з регульованим числом М2 та М3 ($N = 1,5$ кВт, $n= 1000$ хв -1) зі зміною частоти їх обертання від 0 до 1000 хв -1 через зубчасті ремінні передачі та пари гвинт гайка кочення VII та VIII з ходом гвинтів, відповідно, 10 та 5 мм.

Датчики зворотного зв'язку, які розміщені на гвинтах, встановлені для контролю розміщення револьверного супорта.

Поздовжні та поперечні подачі револьверного супорта походять від високомоментних електродвигунів постійного струму

Швидкі ходи та робочі подачі відрізного супорта здійснюються від гідросистеми. Кінцеві вимикачі забезпечують видачу команди у верхньому верхньому положенні супорта, перехід з швидкого підведення на робочу подачу і вимкнення подачі в кінці робочого ходу.

					МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

У поздовжньому напрямку він переміщається гвинтовою передачею з гайкою кочення 7, яка отримує обертання через ремінну передачу від двигуна з регульованою частотою обертання двигуна М2. Частота обертання гвинтової пари кочення контролюється датчиком зворотного зв'язку К3; цим контролюється величина подачі револьверного супорта.

Револьверна головка 5 на револьверному супорті 6 здійснює поперечне переміщення за допомогою гвинтової передачі з гайкою кочення 9, яка отримує обертання від електродвигуна МОЗ з регульованою частотою обертання. При цьому переміщення револьверної головки контролюється датчиком зворотного зв'язку К4. Револьверна головка здійснює поворот за допомогою гідродвигуна М4 шляхом задіяння черв'ячної передачі 4; положення револьверної головки контролюється за допомогою датчика зворотного зв'язку К2. При цьому зв'язок вказаного датчика та осі обертання головки реалізується завдяки зубчастій передачі.

Швидкі ходи (8 м/хв) і робочі подачі (5..600 мм/хв) відрізного супорта здійснюються за допомогою гідравліки.

Гідроциліндром 3 здійснюються підведення та робоча подача відрізного супорта, гідроциліндром 5 - фіксація револьверної головки в робочому положенні.

Револьверна головка верстата 1В340Ф30 повертається навколо вертикальної осі від гідродвигуна М4 (рис. 54 б) через черв'ячну пару $z = 1-62$ і фіксується за допомогою плоскозубчастих коліс $z = 88$. До револьверної головки на її початку ІХ встановлено колесо $z = 60$, котре через зуб $z = 48-60$ обертає вісь Х датчика. Це потрібно для пошуку позиції револьверної головки. Фіксація револьверної головки (попередня) відбувається за допомогою фіксатора 2, котрий керується поршнем циліндра 3 Ц2 з гідророзподільником. При попаданні фіксатора в гніздо фіксаторного диска 1 переміщається гідророзподільник і перекриває доступ оливи до гідродвигуна повороту М4 револьверної головки; одночасно мастило надходить у верхню порожнину циліндра затиску Ц1, і головка фіксується на плоскозубчасте колесо $z = 88$. Компенсація осьового переміщення черв'яка $z = 1$ після попадання фіксатора 2 в гніздо диска 1 відбувається завдяки

					МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

наявності в конструкції тарілчастих пружин Після цього, при остаточній фіксації, відбувається довертання револьверної головки.

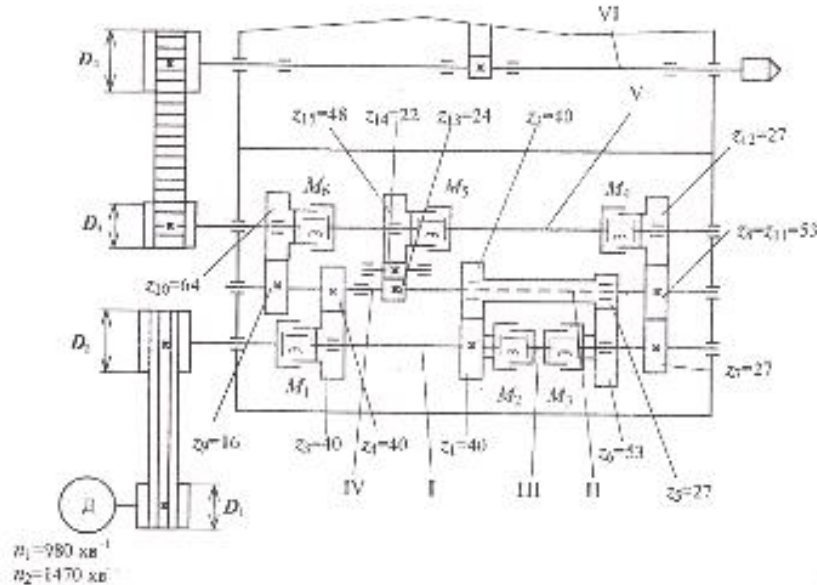


Рисунок 1.4 – Кінематична схема ПГР

1.4 Особливості конструкції

Верстат, який розглядається в даній науковій роботі, монтується на жорстку литу чавунну станину із загартованими призматичними напрямними. Технологічні можливості верстата досить високі. Все завдяки хрестовому супорту із восьмипозиційною револьверною головкою. Точність та жорсткість положення інструменту є можливим завдяки затискачу револьверної головки на високоточні зубчасті напівмуфти. Привід головного руху, що складається з двигуна постійного струму та ремінної передачі на шків шпинделя, що одночасно служить циліндром затиску, дозволяє вести вискоефективну обробку на сучасних режимах.

Велика точність обробки забезпечується застосуванням у приводах подачі високомоментних двигунів постійного струму та кулькових гвинтових пар у комплекті з фотоімпульсними датчиками зворотного зв'язку. Пристрій для розвантаження встановлений для вивантаження з робочої зони готових деталей із пруткового матеріалу. Для підтримки дроту довжиною понад 1000 мм передбачена захисна труба з двома стійками. Для збирання стружки у токарно-револьверний верстат 1В340Ф30 укомплектований транспортер.

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ					14

2. Розрахункова частина

2.1. Визначення технологічної характеристики верстата

Для виконання технічних операцій різного характеру для обробки широкого спектру деталей використовують універсальні верстати, до прикладу, обробка останніх в одиничному та серійному виробництві.

Службове функція верстата, виконувани спеціалізовані операції, матеріал і тип заготовки, інструменти, послідовність і режим обробки, кількість деталей, що обробляються одночасно, і їх якість визначаються їх технічною характеристикою.

Формулюючи характеристики процесу, необхідно починати із переліку деталей, які підлягають обробці, вказавши матеріали, з яких відбувається виготовлення, фізико-механічні властивості та тип заготовки, припуски, параметри обробки та максимальні розміри оброблених поверхонь. Потім встановлюються можливі типи обробки на даному конкретному верстаті. Після цього встановлюються граничні режими обробки та складаються переліки потрібних для використання інструментів.

Для універсальних верстатів у якості оброблюваних матеріалів зазвичай використовується високоміцна легована сталь, для визначення мінімуму швидкості різання, а такі кольорові метали як бронза і латунь - для визначення максимальної швидкості різання.

У роботі різальних інструментів використовують матеріали, що є найбільш ефективними для кожного типу обробки: швидкорізальна сталь, твердосплавні, надтверді матеріали. Схема розкрою визначається згідно із нормативами та беручи до уваги результати проведення відповідних розрахунків. Порогові показники потужності, сили, а також швидкості різання, максимальна і мінімальна обертова частота шпинделя у відповідності до мінімального та максимального діаметру інструментів або деталей, що обробляються, визначаються на основі наступних основних критеріїв: умови роботи верстату; період стійкості інструменту; значення глибини та подачі. Отримані в процесі розробки даного питання параметри були занесені та відображені в таблиці 1.

					МВ-8215.ДП5000.000.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Таблиця 1.1

Матеріал що оброблюється	Тип та розмір оброблюваної поверхні	Інструмент	Режими різання				
			t, мм	S, мм/хв	V, м/хв	n, хв ⁻¹	N _{еф} , кВт
Сталь 40ХН ($\sigma_B = 1600$ МПа)	Обточування зовнішнього циліндра поверхонь $\varnothing 40$	Різець Т15К6 $\varphi = 45$	3	0,8	40,8	32,5	4,0
		Спіральне свердло Р18	1	0,19	14,35	2285	0,8
	30		0,4	25,9	137	5,8	
	Зенкерування $\varnothing 10$ $\varnothing 20$	Зенкер Р18	2	0,18	9,03	288	2,9
			2	1,2	8,12	32,3	4,1
	Розвертання $\varnothing 2$ $\varnothing 20$	Розвертка Р18	0,5	1,2	5,53	881	1,4
			0,5	1,5	4,13	26	1,7
	Відрізка $\varnothing 2$ $\varnothing 40$	Відрізний Різець Т15К6	b=3	0,06	29,4	936	1,4
			b=4	0,13	25,2	134	1,4
	Нарізання різі М4 0,5 М24 3	Метчики та плашки Р18	-	0,5	9,5	755	1,66
			-	3	9,5	126	4,8

									Арк.
									16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ				

продовження табл. 1.

Матеріал що оброблюєтьс я	Тип та розмір оброблюваної поверхні	Інструмент	Режими різання				
			t, мм	S, мм/хв	V, м/хв	n, хв ⁻¹	N _{еф} , кВт
Латунь ЛМцС58-2-2 (НВ70)	Обточування зовнішнього циліндра поверхонь Ø20 Ø40	Різець Т15К6 Р18 φ=90 16×25	3	0,4	119	1895	0,992
			3	1,2	73	58	1,18
	Свердління Ø 2 Ø 20	Спіральне свердло Р18	1	0,09	94	14881	0,62
			30	1,0	68	361	3,3
	Зенкерування Ø 10 Ø 20	Зенкер Р18	2	1,1	31	985	2,1
			2	2,0	23	93	2,1
	Розвертання Ø 2 Ø 20	Розвертка Р18	0,5	3,0	9	1433	-
			0,5	3,8	7	45	-
	Відрізка Ø 10 Ø 40	Відрізний Різець Т15К6, φ=90	b=3	0,79	68	2165	1,7
			b=4	1,0	60	318	2,4
	Нарізання різі М4×0,5 М24×3	Кругла плашка 9ХС	-	0,5	11,5	915	1,2
			-	3	11,5	153	3,7

									Арк.
									17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ				

продовження табл. 1.

Матеріал що оброблюється	Тип та розмір оброблюваної поверхні	Інструмент	Режими різання				
			t, мм	S, мм/хв	V, м/хв	n, хв ⁻¹	N _{еф} , кВт
Сілумін ($\sigma_B = 100..200$ МПа НВ ≤ 65)	Обточування зовнішнього циліндра поверхонь Ø20 Ø40	Різець T15K6 P18 16×25 φ=90	3	0,5	93	1481	1,6
			3	1,4	59	47	2,2
	Свердління Ø 2 Ø 20	Спіральне свердло P18	1	0,11	55	8754	1,0
			30	1,2	55	292	5,3
	Зенкерування Ø 10 Ø 20	Зенкер P18	2,0	0,9	36,5	1162	1,8
			2,0	2,4	22	88	2,6
	Розвертання Ø 2 Ø 20	Розвертка P18	0,5	2,2	9,6	1529	-
			0,5	3,8	6,8	43	-
	Відрізка Ø 10 Ø 40	Відрізний Різець P18	b=3	1,0	60	1910	2,4
			b=4	1,3	53	281	2,8
	Нарізання різі M4×0,5 M24×3	Кругла плашка 9ХС	-	0,5	15,3	1220	0,9
			-	3	15,3	203	2,3

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ

Арк.

18

Продуктивність різання визначають обсягом матеріалу, знятого із заготовлі. Цей показник застосовують для оцінки можливостей верстатів для попередньої обробки або порівняння різних техн. способів розмірної обробки.

Основні шляхи підвищення продуктивності верстатів пов'язані з наступними тенденціями: збільшенням технологічної продуктивності, поєднанням різних операцій у часі, скороченням часу на допоміжні рухи, скороченням всіх видів позациклових втрат.

Технологічна продуктивність збільшується з підвищенням швидкості обробки та зі збільшенням сумарної довжини ріжучих кромek інструменту. Різке підвищення швидкості можливе під час переходу на нові інструментальні матеріали.

Приклад 1 розрахунку:

- Тип виконуваної обробки – чорнове точіння циліндричної поверхні зовнішньої;
- матеріал, що підлягає обробці - сталь 45;
- Ріжучий інструмент – прохідний різець, Т15К6 ;
- діаметр обробки $d = 40$ мм;
- глибина різання $t = 2.5$ мм;
- рекомендована подача $S = 0,2$ мм/об.;
- швидкість різання визначається за формулою :

$$(1) V = \frac{C_v}{T^m * t^x * S^y} * K_v$$

у якій враховується коефіцієнт виду обробки C_v , $C_v = 350$

T – період стійкості різця, хв;

K_v - коефіцієнт, що враховує фактичні умови різання,

$$K_v = K_{MV} * K_{NV} * K_{UV}$$

$$K_{MV}=1 \quad K_{NV}=1 \quad K_{UV}=1$$

$$K_v=1$$

$$x = 0,15; y = 0,45; m = 0.2; T = 60 \text{хв.};$$

									Арк.
									19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ				

$$V = \frac{350}{60^{0,2} \cdot 2.5^{0,15} \cdot 0,2^{0,45}} \cdot 1 = 277 \text{ м/хв}$$

- частота обертання :

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 277}{3.14 \cdot 40} = 2208 \text{ об/хв}$$

- Сила різання при точінні:

$$P_z = 10 \cdot C_{pz} \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p, (1)$$

де C_{pz} - коефіцієнт для врахування виду обробки, $C_{pz} = 300$;

K_p – коефіцієнт для врахування фактичних умов різання,

$$K_p = K_{MP} \cdot K_{\phi P} \cdot K_{\gamma P} \cdot K_{\omega P} \cdot K_{rP}$$

$$K_{MP}=1 \quad K_{\phi P}=0.89 \quad K_{\gamma P}=1.1 \quad K_{\lambda P}=1 \quad K_{rP}=0.87$$

$$K_p = 0,85$$

$$x = 1; \quad y = 0,75; \quad n = -0,15$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 2.5^1 \cdot 0,2^{0,75} \cdot 224.7^{-0,15} \cdot 0.85 = 820 \text{ Н};$$

- ефективна потужність різання:

$$N_e = \frac{P_z \cdot V}{1000 \cdot 60} = \frac{820 \cdot 277}{1000 \cdot 60} = 3.78 \text{ кВт};$$

Приклад 2 розрахунку

- матеріал, що підлягає обробці - сталь 40Х;
- тип обробки – розсвердлювання отвору;
- Ріжучий інструмент – свердло, Р6М5 ;
- діаметр інструменту $d = 20 \text{ мм}$;
- глибина різання $t = 5 \text{ мм}$;
- рекомендована подача $S = 1,2 \text{ мм/об.}$;
- швидкість різання визначається за формулою :

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v, (1)$$

де C_v - коефіцієнт, що враховує вид обробки, $C_v = 10,5$;

T – період стійкості інструмента, хв; $T = 120 \text{ хв}$

K_v - коефіцієнт, що враховує фактичні умови різання,

$$K_V = K_{MV} \cdot K_{tV} \cdot K_{UV} \quad (1)$$

$$K_{MV}=0.86 \quad K_{tV}=1 \quad K_{UV}=1$$

$$K_V=0.86$$

$$q=0.2; \quad x = 0,5; \quad y = 0,75; \quad m = 0.8;$$

$$V = \frac{260 \cdot 20^{0.2}}{120^{0.8} \cdot 5^{0.5} \cdot 1.2^{0.75}} \cdot 0,86 = 3,77 \text{ м/хв}$$

- частота обертання :

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 3.37}{3.14 \cdot 20} = 60 \text{ об/хв}$$

- осьова сила:

$$P_o = 10 C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot D^q \cdot K_p \quad (1)$$

де C_p - коефіцієнт, що враховує вид обробки, $C_p = 67$;

K_p - коефіцієнт, що враховує фактичні умови різання,

$$K_p=0,88$$

$$x = 1,2; \quad y = 0,65;$$

$$P_z = 10 \cdot 67 \cdot 5^{0.8} \cdot 1,2^{65} \cdot 0,88 = 1205 \text{ Н};$$

- крутний момент

$$M_{кр} = 10 C_M \cdot t^x \cdot s^y \cdot D^q \cdot K_p \quad (1)$$

де C_M - коефіцієнт, що враховує вид обробки, $C_M = 0,09$;

K_p - коефіцієнт, що враховує фактичні умови різання,

$$K_p=0,88$$

$$x = 0,7; \quad y = 0,65; \quad q=1;$$

$$M_{кр} = 10 \cdot 0.09 \cdot 5^{0.7} \cdot 1,2^{0.8} \cdot 30^1 \cdot 0,88 = 58,4 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

- ефективна потужність різання:

$$N_e = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750} = \frac{58.4 \cdot 40}{9750} = 0.24 \text{ кВт};$$

Приклад 3 розрахунку:

- вид виконуваної обробки - чистове точіння циліндричної поверхні зовнішньої;

- Оброблюваний матеріал - сталь 40Х;

- Ріжучий інструмент – різець прохідний, Т15К6 ;

					МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

- діаметр обробки $d = 40\text{мм}$;
- глибина різання $t = 0.5\text{мм}$;
- рекомендована подача $S = 0,2\text{мм/об.}$;
- швидкість різання визначається за формулою :

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v, \quad (1)$$

де C_v - коефіцієнт, що враховує вид обробки, $C_v = 350$;

T – період стійкості різця, хв;

K_v - коефіцієнт, що враховує фактичні умови різання,

$$K_v = K_{MV} \cdot K_{PV} \cdot K_{UV} \quad (1)$$

$$K_{MV}=0.85 \quad K_{PV}=1 \quad K_{UV}=1$$

$$K_v=0.85$$

$$x = 0,15; \quad y = 0,45; \quad m = 0.2; \quad T = 60\text{хв.};$$

$$V = \frac{350}{60^{0,2} \cdot 0,5^{0,15} \cdot 0,1^{0,45}} \cdot 0,85 = 390 \text{ м/хв}$$

-частота обертання :

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 390}{3.14 \cdot 40} = 3150 \text{ об/хв}$$

- Сила різання в процесі точіння::

$$P_z = 10 \cdot C_{pz} \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p$$

* де C_{pz} - коефіцієнт для врахування виду обробки, $C_{pz} = 300$;

K_p – коефіцієнт для врахування умов різання (фактичних),

$$K_p = K_{MP} \cdot K_{фip} \cdot K_{yp} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{rp}$$

$$K_{MP}=1, \quad K_{фip}=0.89, \quad K_{\gamma p}=1.1, \quad K_{\lambda p}=1, \quad K_{rp}=0.87$$

$$K_p = 0,85, \quad x = 1; \quad y = 0,75; \quad n = -0,15$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 0,5^1 \cdot 0,2^{0,75} \cdot 390^{-0,15} \cdot 0,85 = 156\text{Н};$$

- ефективна потужність різання:

					МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

До **кінематики** верстата включаються порогові зміни наступні технічних швидкісних характеристик, як:

- частоти обертання шпинделя;
- величина подачі робочого органу;
- швидкість допоміжних рухів.

Силові характеристики агрегатів визначають максимальну силу, крутний момент і потужність.

Характеристики динаміки верстатів формують поведінку останніх під впливом змінних навантажень. До таких навантажень можна віднести:

- ресурс і ступінь стійкості;
- динамічна жорсткість;
- швидкість дії;
- відмінність параметрів системи машини під зовнішніми навантаженнями;
- рівні шуму та вібрацій.

2.2 Розрахунок коробки швидкостей

Найпоширеніший варіант поліпшення револьверного верстата - збільшення обертів шпинделя за одну хвилину. Практика демонструє, що за умов незначних модифікацій кількість обертів шпинделя можна збільшити в 1,5 раза.

Проаналізувавши таблицю 1, можна зробити висновок, що у випадку обробки отворів та при точінні й різанні деталей із заготовок з м'якого матеріалу необхідно вказувати частоту понад 2000 хв^{-1} . Однак, базова конструкція агрегату не може бути використана на таких рівнях швидкості. Крім того, використовується частота, нижча від найменшої частоти обертання, яку забезпечує верстат. Тому при вдосконаленні шпинделя та коробки швидкостей слід розширити використовувані значення з 33,3 до 160, після чого мінімальні оберти складатимуть 40 об/хв, а максимальні - 3150 об/хв.

Серед усіх приводів, що застосовуються на практиці, електромеханічні приводи стали найбільш поширеними у металорізальних верстатах. Електропривод в МРВ застосовується для наступних цілей:

Ступінчасте регулювання:

					МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Асинхронний+нерегульований

- електродвигун зі ступінчастою коробкою передач;
- електродвигун з коробкою передач із змінними зубчастими колесами;

Безступінчасте регулювання:

- Багатошвидкісний асинхронний двигун який поєднаний із ступінчастою трансмісією;
- асинхронний нерегульований електродвигун, поєднаний з механічним фрикційним редуктором, при необхідності ступінчастою коробкою передач;
- Двигун постійного струму з тиристорним управлінням і ступінчастою коробкою передач (розширений діапазон) для безступінчастого регулювання швидкості.

Основні переваги приводів з безступінчастим регулюванням - підвищення продуктивності обробки за рахунок точного налаштування оптимальної швидкості за режимами різання, можливість плавного регулювання швидкості під час роботи, зручність у автоматизації процесу перемикання швидкостей. Для безступінчастої зміни швидкості застосовують іноді фрикційні варіатори, найчастіше регульовані двигуни.

Переваги двигунів з тиристорним керуванням полягають у:

- робота за умови значних навантажень,
 - плавні пуск та гальмування,
 - зменшені енергетичні втрати,
 - стійке керування під навантаженням,
 - легше обслуговування.
- асинхронний електродвигун з частотним регулюванням та ступінчастою коробкою передач (для розширення діапазону) для отримання безступінчастого регулювання швидкості.

					МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Перевагами таких двигунів є:

- економія електроенергії завдяки високим ККД та управлінню перетворювачем частоти,
- універсальне застосування та зниження складських витрат завдяки серійному виконанню зі ступенем захисту IP54 або IP55 та застосування знімних лап,
- розташування клемної коробки зверху, праворуч або ліворуч,
- підвищений термін експлуатації, надійність та термічну перевантажувальну здатність завдяки застосуванню ізоляції класу нагрівально стійкості Р (перегрів обмотки двигуна 80 °С),
- високий перекидальний момент і, як наслідок, стійка робота в широкому діапазоні регулювання,
- знижені акустичні показники.

Залежно від вимог замовника двигуни можуть бути виготовлені за способом охолодження:

- 1С411 – самовентиляція від укріпленого на валу двигуна радіального вентилятора;
- 1С416 – незалежна вентиляція від прибудованого вентилятора.

Діапазон регулювання: 1:10 (5-50 Гц).

Орієнтовно приймаємо електродвигун: 1PH7

- потужність двигуна $N_{дв}=5,5$ кВт; $n_{дв ном}=1000$ об/хв., $n_{дв макс}=5000$ об/хв.;

Вихідні дані для кінематичного розрахунку коробки швидкостей:

- знаменник ряду $\varphi = 1.25$;
- максимальне число обертів шпинделю $n_{max} = 3150$ об/хв;
- мінімальне число обертів шпинделю $n_{min} = 40$ об/хв;

2.3 Визначення діапазонів регулювання.

1. Частота обертання шпинделя: $n_{min}=40$ об/хв, $n_{max} =3150$ об/хв.

2. Діапазон регулювання привода:

					МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{\Pi} = n_{\max} / n_{\min} = 3150/40 = 70.$$

3. Діапазон регулювання двигуна з постійною потужністю:

$$R_{\partial\delta} = \frac{n_{\partial\delta.\max.}}{n_{\partial\delta.\min.}} = 5.$$

4. Так як $R_{\Pi} > R_{\partial\delta}$, то необхідно використовувати ступінчасту коробку швидкостей.

$$\text{Тоді: } R_{\Pi} = R_{\text{дв}} \cdot R_{\text{ст}},$$

где, $R_{\text{ст}}$ – діапазон регулювання ступінчастої структури.

$$R_{\text{ст}} = R_{\Pi} / R_{\text{дв}} = 70/5 = 14.$$

5. Граничний діапазон регулювання однієї групи:

$$R_{\text{гр.макс}} \leq u_{\max} / u_{\min} = 2/0.25 = 8.$$

6. Так як $R_{\text{ст}} = 14 \approx R_{\text{гр.макс}} = 8$, то в проектованій ступінчастій коробці швидкостей використовуватимемо 1 групу передач:

$$R_{\text{ст}} = R_{\text{зр1}}.$$

$$\text{Тоді: } R_{\Pi} = R_{\partial\delta} \cdot R_{\text{зр1}}.$$

7. Кількість швидкостей ступінчастої структури можливо визначити як:

$$z_{\text{ст}} = \frac{\lg R_{\Pi}}{\lg R_{\partial\delta}} = \frac{\lg 70}{\lg 5} = 2.63.$$

$$\text{Приймаємо: } z = 2 * 2.$$

Безступінчасту структуру визначаємо як ступінчасту.

2.4 Вибір знаменника.

Враховуючи універсальне устаткування, видається доцільним ухвалити $\phi = 1.25$.

Після цього ми визначаємо кількість швидкостей, які забезпечуються за допомогою електродвигуна, за формулою:

$$p_{\text{фикт}} = \frac{\log R_{\partial\delta}}{\log \phi} + 1 = \frac{\log 5}{\log 1.25} + 1 = 8.02, \text{ ухвалюємо } z = 8.$$

Рахуємо, що $p_{\text{фикт}} = 8$ - основна група,

$$z_{\text{усл}} = p_{\text{фикт}} [1] * p_{\text{зр1}} [X_1],$$

8. Структурна формула:

$$Z = 8_1 \cdot 2_{x1} * 2_{x2};$$

					МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Для забезпечення перекриття діапазону регулювання характеристику першої ступінчатої групи визначаємо :

$$Z = 8_1 \cdot 2_7 * 2_{x_2};$$

10. Для визначення характеристики другої ступінчатої групи визначаємо:

- діапазон регулювання першої ступінчатої групи:

$$R_{ep_1} = \varphi_{ум}^{(P_1-1) \cdot X_1} = 1.25^{(2-1) \cdot 7} = 4,76;$$

- діапазон регулювання другої ступінчатої групи :

$$R_{ep_2} = \frac{R_{cm}}{R_{ep_1}} = \frac{15.75}{4,76} = 3.3;$$

- характеристика другої ступінчатої групи:

$$X_2 = \frac{\left(\frac{\lg R_{ep_2}}{\lg \varphi_{ум}} \right)}{(P_2 - 1)} = \frac{\lg 3.3}{\lg 1.25} = 5.35;$$

$$X_2 = 6;$$

Остаточно структурна формула має вигляд :

$$Z = 8_1 \cdot 2_7 \cdot 2_6;$$

По ОСТ 2Н11-1-72 обираємо ряд обертів $n(n_1 \dots n_{20})$, який починається з 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150

2.5 Будуємо схему передач.

Далі ми визначаємо кількість зубів коліс за допомогою джерела [1, табл.6].

Не забуваємо врахувати умову: $\frac{1}{4} \leq i \leq 2$.

Кінематична схема коробки наведено на рис. 2.3.

Оберемо числа зубів коліс з першої групи:

Згідно з умовами вмальовання в задану міжосеву відстань:

$$a_{12} = 100 \text{ мм.}$$

					МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$i_1 = \frac{z_1}{z_2} = 0.8, \frac{m_1}{2}(z_1 + z_2) = 100, m = 2.5 \text{ мм}, z_{\Sigma} = 80,$$

$$z_1=40, z_2=40.$$

$$a_{23}=135 \text{ мм.}$$

$$i_2 = \frac{z_3}{z_4} = 1.56, i_2=z_3/z_4=1; \frac{m_1}{2}(z_3 + z_4) = 135, m = 2.5 \text{ мм}, z_{\Sigma} = 108$$

$$z_3=54, z_4=54.$$

$$i_3 = \frac{z_5}{z_6} = 0.262,$$

$$z_5=22, z_6=86.$$

$$a_{34}=135 \text{ мм.}$$

$$z_7=54, z_8=54.$$

$$i_5 = \frac{z_9}{z_{10}} = \varphi^{-6} = 0.262, z_9=22, z_{10}=86.$$

2.6 Визначаємо частоти обертання шпинделя кінематичного ланцюга оновленої коробки швидкостей.

$$n_1 = (1000 \dots 5000) \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{54}{54} \cdot \frac{22}{86} \cdot \frac{22}{86} 0.64 = (1000 \dots 5000) \cdot 0.041 = 41 \dots 209 \text{ об/хв.},$$

$$n_2 = (1000 \dots 5000) \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{54}{54} \cdot \frac{54}{54} \cdot \frac{22}{86} 0.64 = (1000 \dots 5000) \cdot 0.163 = 163 \dots 818 \text{ об/хв.},$$

$$n_3 = (1000 \dots 5000) \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{54}{54} \cdot \frac{54}{54} \cdot \frac{22}{86} 0.64 = (1000 \dots 5000) \cdot 0.163 = 163 \dots 818 \text{ об/хв.},$$

$$n_4 = (1000 \dots 5000) \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{54}{54} \cdot \frac{54}{54} \cdot \frac{54}{54} 0.64 = (1000 \dots 5000) \cdot 0.64 = 640 \dots 3200 \text{ об/хв.},$$

Оскільки у нас використовується безступінчасте регулювання, розрахунок відхилень частот обертання робити не потрібно.

					МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

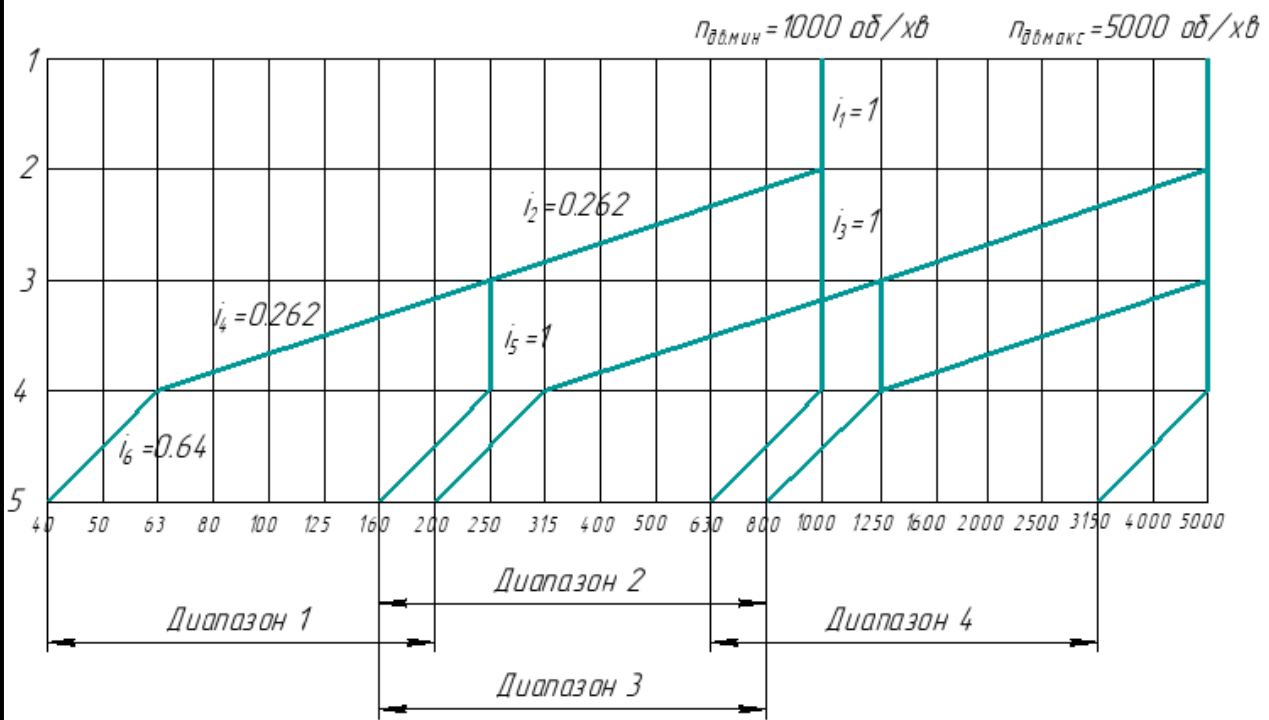


Рисунок 2.2 – Графік частот обертання.

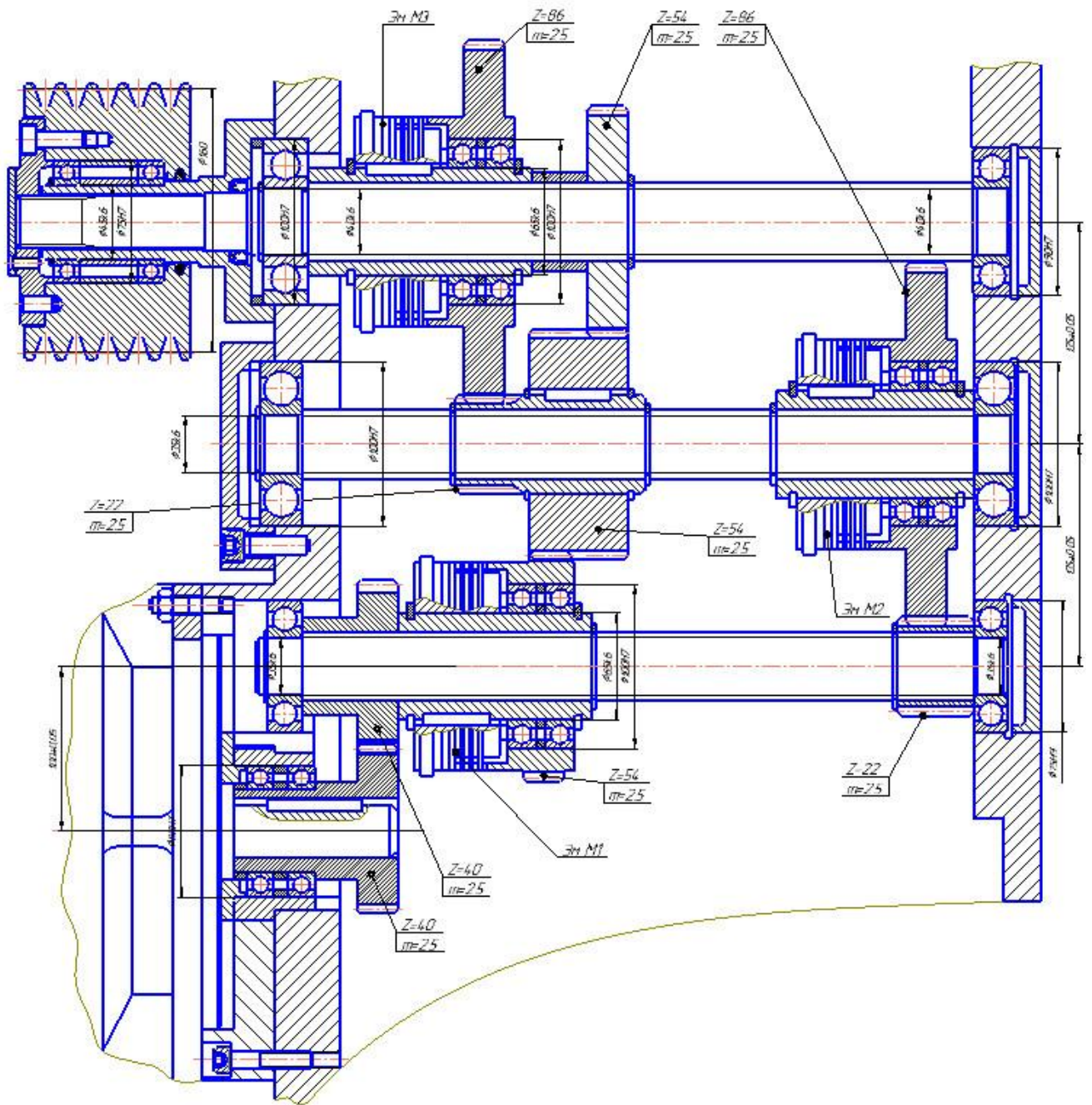


Рисунок 2.4 – Коробка швидкостей

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ

Арк.

31

3. Проводимо розрахунок технічних характеристик приводу головного руху
($n_{\min} = 45$ об/хв, $n_{\max} = 3150$ об/хв.)

3.1 Визначення силових характеристик верстата.

Ефективна потужність різання розрахована раніше:

$$N_e = \frac{P_z \cdot V}{1000 \cdot 60} = \frac{820 \cdot 277}{1000 \cdot 60} = 3.78 \text{ кВт};$$

3.2 Обираємо параметри двигуна ПГР.

Характеристики потужності, сили, що споживається механізмом на холостому ході та його ККД, дозволяють вибрати приводний двигун агрегата.

Потужність, необхідна на валу двигуна, визначається за наступною формулою:

$$N_{об} = \frac{N_{ef}}{k \cdot \eta} + N_x, \text{ кВт}$$

де, $k = 1.2 \dots 1.3$ – коефіцієнт тимчасового перевантаження двигуна,

$\eta = 0.8 \dots 0.95$ – ККД головних роторних двигунів.

Визначаємо потужність холостого ходу.

N_x – потужність холостого ходу привода, кВт,

$$N_x = k_{cm} d_{cp} 10^{-6} (\sum n + k_{un} n_{un} \frac{d_{un}}{d_{cp}}),$$

$$N_x = 3 \cdot 10^{-6} \cdot 45 (500 + 125 + 160 + 3.33 \cdot 125) = 0.16 \text{ кВт},$$

$$C = k_{un} \cdot d_{un} / d_{cp} = 1.5 \cdot 100 / 45 = 3.33,$$

де: $d_{un} = 100$ мм – у передній опорі,

$$d_{cp} = (40 + 45 + 50) / 3 = 45 \text{ мм}.$$

$n_{un} = 125$ хв⁻¹ – частота обертання шпинделя. Ухвалюємо як рівна та частота діапазону частот з нижньої третини.

Визначаємо розрахунковий КПД привода верстата.

$$\eta = \eta_{mn}^5 \cdot \eta_{zn}^4 = 0.997^4 \cdot 0.99^2 \cdot 0.96 = 0.946.$$

де η – підраховує витрату потужності в приводі подачі.

$\eta_{mn} = 0.997$ – ККД пари підшипників,

$\eta_{zn} = 0.99$ – ККД зубчастої пари,

					МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Максимальна потрібна потужність електродвигуна:

$$N_{\text{эд}} = N_{\text{эф макс}} / (K \cdot \eta) + N_{\text{хх}} = 3.78 / (1.2 \cdot 0.946) + 0.16 = 3.49 \text{ кВт.}$$

Ухвалюємо електродвигун 1PH7 з $N=5.5$ кВт, $n=1000/5000$ хв⁻¹.

3.3 Визначаємо потужність на валах.

Визначаємо η_{ui} -умовний КПД від шпинделя до і-тому валу.

$$\eta_{u5} = 1,$$

$$\eta_{u4} = \eta_{nn} \cdot \eta_{zn} = 0.997 \cdot 0.99 = 0.987,$$

$$\eta_{u3} = \eta_{u4} \cdot \eta_{nn} \cdot \eta_{zn} = 0.987 \cdot 0.997 \cdot 0.99 = 0.974,$$

$$\eta_{u2} = \eta_{u3} \cdot \eta_{nn} \cdot \eta_{zn} = 0.974 \cdot 0.997 \cdot 0.99 = 0.961,$$

$$\eta_{u1} = \eta_{u2} \cdot \eta_{nn} \cdot \eta_{zn} = 0.961 \cdot 0.997 \cdot 0.99 = 0.949,$$

$$\text{Тоді: } N_4 = \frac{N_{\text{эф}}}{\eta_{u4}} = \frac{3.49}{0.987} = 3.54 \text{ кВт,}$$

$$N_3 = \frac{N_{\text{эф}}}{\eta_{u3}} = \frac{3.49}{0.974} = 3.59 \text{ кВт,}$$

$$N_2 = \frac{N_{\text{эф}}}{\eta_{u2}} = \frac{3.49}{0.961} = 3.63 \text{ кВт,}$$

$$N_1 = \frac{N_{\text{эф}}}{\eta_{u1}} = \frac{3.49}{0.949} = 3.68 \text{ кВт,}$$

3.4. Визначаємо крутні моменти на валах при min. обертах валів.

$$M_5 = 974000 \frac{N_5}{n_5} = 974000 \frac{3.49}{20} = 170222 \text{ Нмм,}$$

$$M_4 = 974000 \frac{N_4}{n_4} = 974000 \frac{3.54}{31.5} = 109459 \text{ Нмм,}$$

$$M_3 = 974000 \frac{N_3}{n_3} = 974000 \frac{3.59}{125} = 27973 \text{ Нмм,}$$

$$M_2 = 974000 \frac{N_2}{n_2} = 974000 \frac{3.63}{500} = 7071 \text{ Нмм,}$$

$$M_1 = 974000 \frac{N_1}{n_1} = 974000 \frac{3.68}{1000} = 3584 \text{ Нмм,}$$

					МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

3.5 Визначаємо попереднє визначення d валів.

Згідно умови твердості валів по α закручування розраховуємо орієнтовні діаметри валів:

$$d = (120 \dots 150) \sqrt[3]{\frac{N_i}{n_i}},$$

Згідно ДСТУ 6636-73 округляємо вираховане значення діаметру.

$$d_2 = (120 \dots 150) \sqrt[3]{\frac{3.63}{500}} = 23 \dots 29 \text{ мм, приймаємо } d_2 = 35 \text{ мм.}$$

$$d_3 = (120 \dots 150) \sqrt[3]{\frac{3.59}{125}} = 36 \dots 46 \text{ мм, приймаємо } d_3 = 40 \text{ мм,}$$

$$d_4 = (120 \dots 150) \sqrt[3]{\frac{3.54}{125}} = 36 \dots 46 \text{ мм, приймаємо } d_4 = 40 \text{ мм,}$$

$$d_5 = (120 \dots 150) \sqrt[3]{\frac{3.59}{31.5}} = 72 \dots 90 \text{ мм, приймаємо } d_5 = 85 \text{ мм по внутрішньому}$$

діаметру підшипника задньої опори.

3.6 Визначаємо основні параметри зубчастих передач і перевіряємо їх на контактну міцність,

Циліндричний розрахунок зубчастих коліс робимо згідно з курсом «Деталі машин». Самим навантаженим буде колесо $z=22$ третього вала.

Визначимо модуль зачеплення:

1) з умови ізгібної міцності зубців:

$$m_u \geq \sqrt[3]{\frac{19500000 \cdot N \cdot K_{\Pi} \cdot K_D \cdot K_{HP}}{Y_H \cdot Z \cdot \psi_v \cdot [\sigma_u] \cdot n}};$$

$$m_u \geq \sqrt[3]{\frac{19500000 \cdot 1.2 \cdot 3.59 \cdot 1 \cdot 1.05}{0.5 \cdot 22 \cdot 10 \cdot 520 \cdot 125}} = 2.2 \text{ мм.}$$

2) з умови контактної міцності поверхневих шарів зубців:

					МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$m_k \geq \sqrt[3]{\frac{i+1}{\psi_s} \cdot \left(\frac{1070000}{[\sigma_k] \cdot i \cdot z} \right)^2 \cdot \frac{N \cdot K_{\Pi} \cdot K_D \cdot K_{HP}}{n}}$$

$$m_u \geq \sqrt[3]{\frac{0.255+1}{10} \left[\frac{1070000}{1300 \cdot 0.255 \cdot 22} \right]^2 \frac{3.59 \cdot 1.2 \cdot 1.0 \cdot 1.05}{125}} = 2.25 \text{ мм.}$$

ухвалюємо $m_2=2.5$ мм.

Для 4 вала найбільш навантаженим буде колесо $z=33$.

Визначимо модуль зачеплення:

1) з умови ізгібної міцності зубців:

$$m_u \geq \sqrt[3]{\frac{19500000 \cdot 1.2 \cdot 3.54 \cdot 1 \cdot 1.05}{0.5 \cdot 33 \cdot 10 \cdot 520 \cdot 31.5}} = 3.18 \text{ мм.}$$

2) згідно умови міцності (конт.) поверхневих шарів зубців:

$$m_u \geq \sqrt[3]{\frac{0.63+1}{10} \left[\frac{1070000}{1300 \cdot 0.63 \cdot 33} \right]^2 \frac{3.54 \cdot 1.2 \cdot 1.0 \cdot 1.05}{31.5}} = 3.3 \text{ мм.}$$

ухвалюємо $m_1=4$ мм.

Робимо розрахунок діаметру зубчастих коліс коробки швидкостей:

$$d_1=m_1z_1=2.5 \cdot 40=100;$$

$$d_2=m_1z_2=2.5 \cdot 40=100;$$

$$d_3=m_1z_3=2.5 \cdot 54=135;$$

$$d_4=m_1z_4=2.5 \cdot 54=135;$$

$$d_5=m_1z_5=2.5 \cdot 22=55;$$

$$d_6=m_1z_6=2.5 \cdot 86=215;$$

$$d_7=m_1z_7=2.5 \cdot 54=135,$$

$$d_8=m_1z_8=2.5 \cdot 54=135;$$

					МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$d_9 = m_1 z_8 = 2.5 \cdot 22 = 55;$$

$$d_{10} = m_1 z_8 = 2.5 \cdot 86 = 215;$$

4. Статичний розрахунок шпindelного вузла на підшипниках кочення

Виліт передньої консолі: $a = 90$ мм,

Діаметр передньої консолі: $d_2 = 115$ мм,

Діаметр шпindelя між опорами: $d_1 = 100$ мм,

Діаметр отвору шпindelя : $d' = 60$ мм,

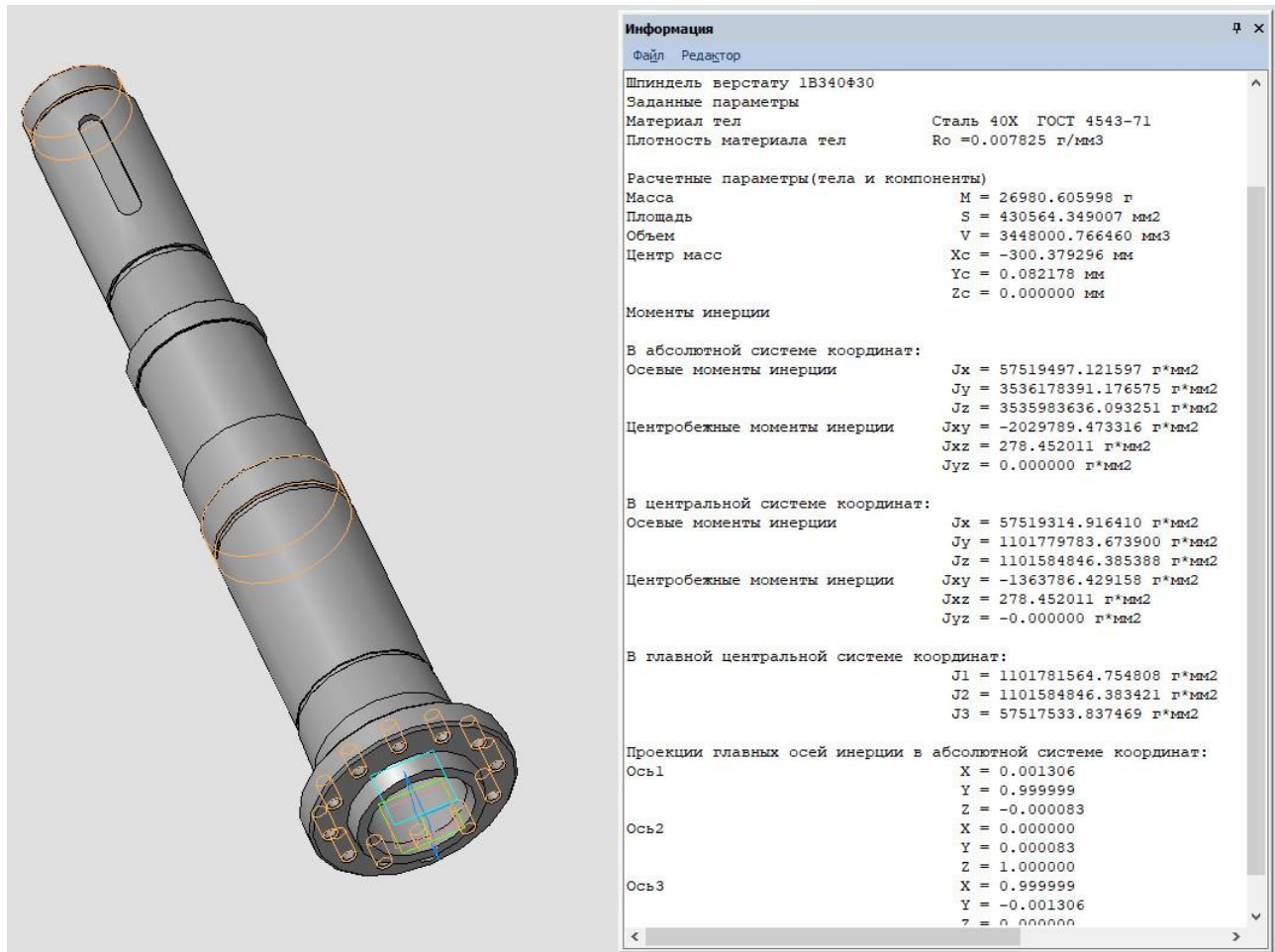


Рисунок 4.1 – Визначення геометричних параметрів шпindelю за допомогою програми Компас-3Д

4.1 Обґрунтування геометричних конструктивних параметрів.

Метою даного дипломного проекту є модернізація коробки швидкостей базового верстату 1В340Ф30 з метою підвищити продуктивність верстата в порівнянні з базовим. Тому приймаємо попередньо геометричні параметри ШУ аналогічні базовому верстату 1В340Ф30 (міжопорну відстань, діаметри розточування у корпусі отворів під підшипники, тип підшипників).

Робимо перевірку діаметру d_1 шийки шпинделя під передньою опорою:

– орієнтовно обирається $(d_1)_{\min}$ відносно потужності, яка передається;

Згідно з базовим верстатом, мінімально потрібний для передачі потужності P розмір(діаметр) шийки шпинделя під передньою опорою буде становити:

— для токарніх верстатів:

$$(d_1)_{\min} = P / (0,15 \dots 0,35) = 5,5 / (0,15 \dots 0,35) = 16 \dots 37 \text{ мм} \leq (d_1) = 110 \text{ мм};$$

D шпинделя між опорами обираємо максимально можливий, найчастіше:

$$d_m = (0,9 \dots 1,0)d_1 = (0,9 \dots 1,0) \cdot 110 = 100 \dots 110 \text{ мм}.$$

Діаметр шпинделя у задній опорі:

$$d_2 = (0,8 \dots 0,9)d_1 = (0,8 \dots 0,9)110 = 88 \dots 100 \text{ мм}.$$

Діаметр переднього кінця шпинделя приймаємо:

$$d_{нк} = (1,0 \dots 1,2)d_1 = (1,0 \dots 1,2)110 = 110 \dots 132 \text{ мм};$$

де d_1 — діаметр шийки шпинделя під передньою опорою.

Приймаємо розміри конусного отвору у шпинделі відповідними стандартам виконання переднього кінця шпинделя.

$$d_{нк} = 106,37 \text{ мм}$$

Виліт a кінця шпинделя (від центру передньої опори), який буде визначатися системою кріплення заготовки чи інструмента, приймаємо орієнтовно мінімально можливим. Використаємо співвідношення:

$$a \leq \left(\frac{1}{5} \dots \frac{1}{3}\right)l = \left(\frac{1}{5} \dots \frac{1}{3}\right)450 = 90 \dots 150 \text{ мм}. \quad \text{Уточнюємо згідно з}$$

конструкцією переднього кінця. $a = 90 \text{ мм}$.

					МВ-8215.ЛПБ000.000.00ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Міжопорна відстань ℓ для верстатів, які модернізують, визначається базовою моделлю. $\ell=450$ мм.

Розрахунковий середній діаметр шпинделя повинен відповідати умові жорсткості міжопорної частини— не нижче $250\dots550$ Н/мкм :

$$d_{сер} \geq \sqrt[4]{(0,05\dots0,1)l^3} = \sqrt[4]{(0,05\dots0,1)450^3} = 54\text{мм},$$

$$d_{сер} = \frac{\sum_{i=1}^k d_i l_i}{l + a}$$

В нашому випадку $d_{сер} = \frac{110 \cdot 270 + 100 \cdot 120 + 85 \cdot 60}{450 + 90} = 86,333\text{мм}$

4.2. Вибір компоновочної схеми шпиндельного вузла (ШВ).

Відповідно заданому швидкісному параметру ухвалюємо схему ШВ:

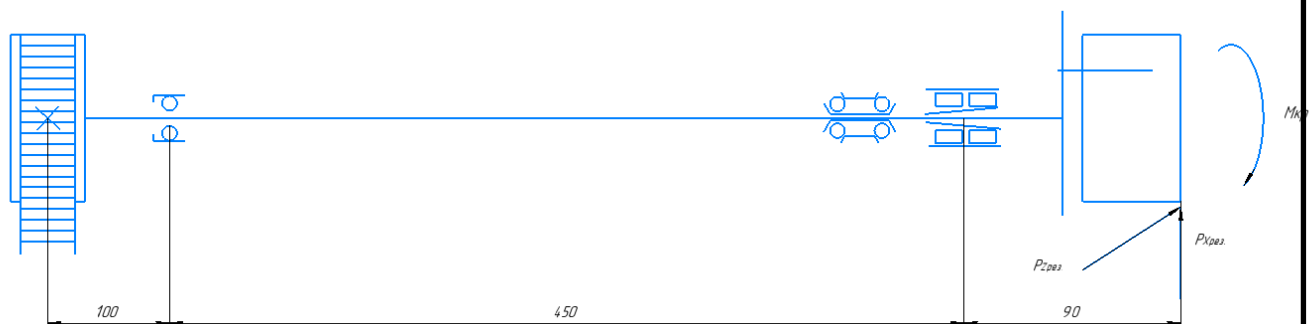


Рис. 4.2 – Схема ШУ.

4.3. Вибір підшипників.

Тип опори шпинделя, який визначає форму сідла клапана, обираємо відповідно до вимог щодо точності та швидкості ходу, котрі визначаються параметром швидкості - добутком dn , хв-1, де d - діаметр нижнього отвору підшипника. , а n - швидкість обертів шпинделя.

Для нашої схеми шпиндельного вузла: $(dn) = 115 \cdot 3150 = 3,6 \cdot 105$ мм · хв-1,

					МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

В якості передньої опори приймаємо подвійний радіальний дворядний роликовий підшипник 4-3182122 ГОСТ 7634-75, клас точності 4, порогова кількість обертів шпинделя $[n_{\max}] = 4600 \text{ хв}^{-1}$, для задньої опори приймаємо подвійний радіальний підшипник кульковий. підшипник 4-217 ГОСТ 8338-75. Клас точності 4, обмеження швидкості шпинделя $[n_{\max}] = 6300 \text{ хв}^{-1}$

Спосіб змащення підбирається згідно з таблицею. 3,5 - $(dn)_{\max} = 3,62 \cdot 10^5$ - шляхом розпилення. Допустимі температури нагріву наведені в таблиці. 3,1 $t = 40 \dots 45 \text{ }^\circ\text{C}$, клас точності В.

Розміри шпинделя:

Міжопорна відстань $l = 450 \text{ мм}$

Виліт $a = 90 \text{ мм}$,

4.4 Розрахунок на точність

Радіальне биття

Радіальне биття підлягає виміру в двох перерізах: переднього кінця шпинделя і на деякій довжині l_k (для нашого верстата $l_k = 200 \text{ мм}$).

$$\Delta_r = \frac{3}{2} \left[\frac{\Delta_n}{\sqrt{z_n}} + \frac{a_1}{l} \left(\frac{\Delta_n}{\sqrt{z_n}} + \frac{\Delta_3}{\sqrt{z_3}} \right) \right] \leq [\Delta_r] \quad (3)$$

де $a_1 = a + l_k$;

D_n , D_3 и z_n , z_3 - відповідно радіальне биття підшипників і їх кількість в передній і задній опорах;

Підшипники роликові конічні: у передній опорі дворядні класу точності 2 - 178822, $D_n = 2 \text{ мкм}$; у задній опорі класу точності 2 - 217, $D_3 = 2 \text{ мкм}$ [9].

$$\Delta_r = \frac{3}{2} \left[\frac{2}{\sqrt{2}} + \frac{90}{450} \left(\frac{2}{\sqrt{2}} + \frac{2}{\sqrt{1}} \right) \right] = 3.15 \text{ мкм}$$

$$\Delta_r = \frac{3}{2} \left[\frac{2}{\sqrt{2}} + \frac{290}{450} \left(\frac{2}{\sqrt{2}} + \frac{2}{\sqrt{1}} \right) \right] = 5.4 \text{ мкм}$$

Осьове биття

$$\Delta_0 \leq [\Delta_0] \quad (3)$$

де D_0 - осьове биття підшипника; $[\Delta_0]$ - допуск на биття.

									Арк.
									39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ				

Для вибраних підшипників $D_o = 3$ мкм [D_o] = 5 мкм (для токарних верстатів класу точності В).

4.5 Розрахунок на жорсткість

Радіальна жорсткість

1. Геометричні параметри.

Момент інерції

$$I = 0.05 \frac{\sum_{i=1}^k L_i D_i \left[1 - \left(\frac{d_i}{D_i} \right)^4 \right]}{\sum_{i=1}^k L_i} = 0.5125 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4 \quad (3)$$

де D_i і L_i - відповідно зовнішній діаметр і довжина окремих рівнів;
 d_i - діаметр отворів шпинделя.

2. Визначення напрямку і місця прикладання зовнішніх сил.

$$P_y = (0.3 \dots 0.5) P_z = 0.5 \cdot 1000 = 500 \text{ Н}$$

$$P = \sqrt{P_y^2 + P_z^2} = 1118 \text{ Н}$$

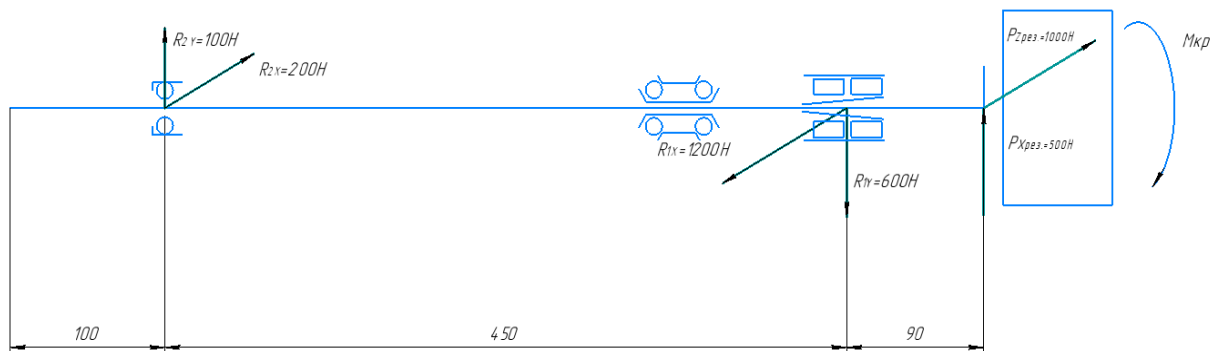
$$M = \frac{P_z d}{2} = 20 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де $d_d = 40$ мм – максимальний діаметр обробки.

3. Складання розрахункової схеми і визначення активних і реактивних сил.

Оскільки нас цікавить деформація переднього кінця, то при перенесенні сили P в необхідний переріз на кінці балки з'являється момент M , що додатково вигинає її.

Розрахунок прогину в площині ZOХ



Розрахункова схема шпинделя для площини ZOХ

						МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			40

$$M_z = P_z h = 1000 \cdot 0.2 = 200 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

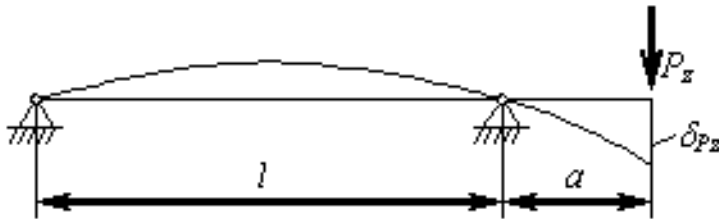
$$E = 2.1 \cdot 10^5 \text{ Н/мм},$$

$$J_2 = \frac{\pi \cdot d_2^4}{64} \left[1 - \left(\frac{d}{d_2} \right)^4 \right] = \frac{\pi \cdot 85^4}{64} \left[1 - \left(\frac{60}{85} \right)^4 \right] = 0.613 \cdot 10^6 \text{ мм}^4 = 0.613 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4,$$

$$J_1 = \frac{\pi \cdot d_1^4}{64} \left[1 - \left(\frac{d}{d_1} \right)^4 \right] = \frac{\pi \cdot 115^4}{64} \left[1 - \left(\frac{80}{115} \right)^4 \right] = 6.57 \cdot 10^6 \text{ мм}^4 = 6.57 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4.$$

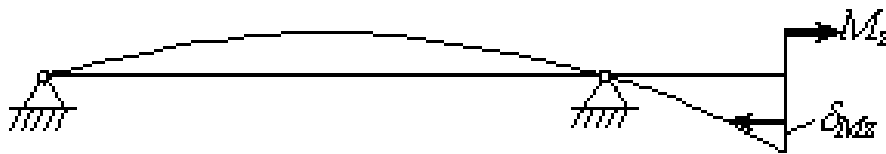
$$\varepsilon_3 = 0.4 \text{ (табл. 3.4),}$$

1.



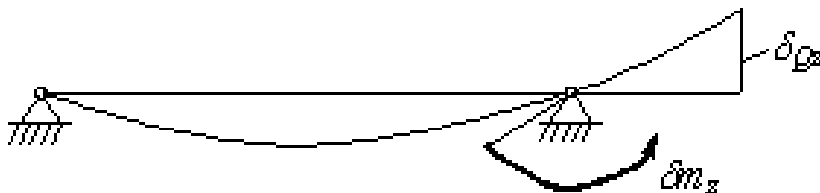
$$\delta_P = \frac{P_z a^2 (l + a)}{3EI} = \frac{1000 \cdot 0.09^2 (0.45 + 0.09)}{3 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 6.57 \cdot 10^{-6}} = 0.11 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

3.



$$\delta_M = \frac{M_z a (2l + 3a)}{6EI} = \frac{20 \cdot 0.09 (2 \cdot 0.45 + 3 \cdot 0.09)}{6 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 6.57 \cdot 10^{-6}} = 0.0267 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

4.



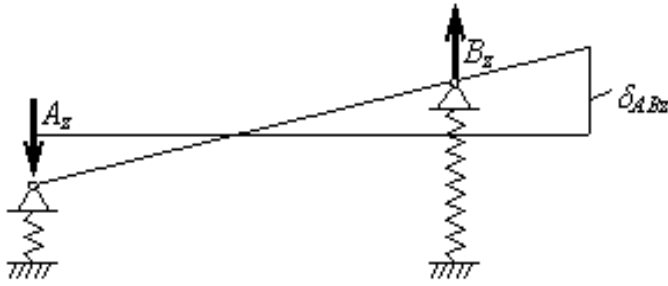
$$m = k P_z \cdot (a + h) = 0.3 \cdot 1000 (0.09 + 0.02) = 33 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де k - коефіцієнт затискання (для роликів дворядних конічних підшипників рівний 0,3);

$$\delta_m = \frac{m \cdot a \cdot l}{3EI} = \frac{33 \cdot 0.09 \cdot 0.45}{3 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 6.57 \cdot 10^{-6}} = 0.0339 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

					МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

5.



1) Реакції опор

$$B_z = 1200 \text{ Н};$$

$$A_z = 200 \text{ Н}.$$

2) Жорсткість

$$J_{rF} = \frac{F_z}{\delta_{rF}}$$

де F - радіальне зусилля, що діє на опору; z - кількість підшипників, що несуть навантаження; δ_{rF} - пружний зсув опори, м;

$$\delta_{rF} = \delta'_{rF} + \delta''_{rF}$$

де δ'_{rF} - пружні зближення тіл кочення і кілець підшипника; δ''_{rF} - контактні деформації на поверхні посадки кілець на шпиндель і в корпус;

$$\delta'_{rF} = K_1 \cdot F^n$$

$$\delta''_{rF} = \frac{4K_2 F \left(1 + \frac{d}{D}\right)}{\pi d B}$$

де n - показник степені ($n = 1,0$ для роликових підшипників); d і D - відповідно внутрішній і зовнішній діаметр підшипника; K_1 і K_2 - коефіцієнти податливості;

$$\delta'_{rAz} = 13 \cdot 10^{-10} \cdot 200 = 0,26 \cdot 10^{-6} \text{ м},$$

$$\delta'_{rBz} = 7,3 \cdot 10^{-10} \cdot 1200 = 0,876 \cdot 10^{-6} \text{ м};$$

$$\delta''_{rFA} = \frac{4 \cdot 0.15 \cdot 10^{-11} \cdot 200 \left(1 + \frac{0.04}{0.8}\right)}{3.14 \cdot 0.04 \cdot 0.022} = 0.45 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$\delta''_{rFB} = \frac{4 \cdot 0.15 \cdot 10^{-11} \cdot 1200 \left(1 + \frac{0.08}{0.115}\right)}{3.14 \cdot 0.08 \cdot 0.044} = 1.1 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

					МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Пружні зсуви:

$$\delta_{rAz} = 0,26 \cdot 10^{-6} + 0,45 \cdot 10^{-6} = 0,71 \cdot 10^{-6} \text{ м,}$$

$$\delta_{rBz} = 0,876 \cdot 10^{-6} + 1,1 \cdot 10^{-6} = 1,976 \cdot 10^{-6} \text{ м;}$$

Жорсткість:

$$J_{rAF} = \frac{F_z}{\delta_{rFA}} = \frac{200}{0,71 \cdot 10^{-6}} = 281.69 \cdot 10^6 \text{ Н/м}$$

$$J_{rBF} = \frac{F_z}{\delta_{rFB}} = \frac{1200}{1,976 \cdot 10^{-6}} = 607.287 \cdot 10^6 \text{ Н/м}$$

3) Прогин δ_{AB} кінця шпинделя визначається по формулі

$$\delta_{AB} = \frac{\delta_{rB}}{Z_B} + \frac{a}{l} \left(\frac{\delta_{rA}}{Z_A} + \frac{\delta_{rB}}{Z_B} \right) = \frac{1,976 \cdot 10^{-6}}{2} + \frac{0,09}{0,45} \left(\frac{0,71 \cdot 10^{-6}}{1} + \frac{1,976 \cdot 10^{-6}}{2} \right) = 1,32 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

5. Рівняння прогину кінця шпинделя записується у вигляді

$$\delta_{rz} = \delta_{pz} + \delta_{Mz} - \delta_{mz} - \delta_{AB}$$

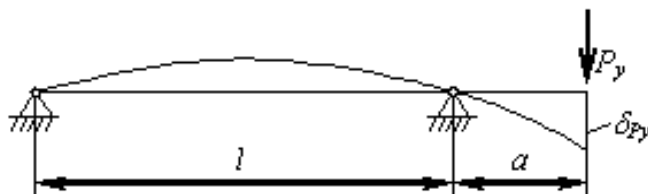
$$\delta_{rz} = 0,11 \cdot 10^{-5} + 0,0267 \cdot 10^{-5} - 0,0339 \cdot 10^{-5} - 1,32 \cdot 10^{-6} = 0,292 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Розрахунок прогину в площині YOX

Розрахункова схема шпинделя для площини YOX

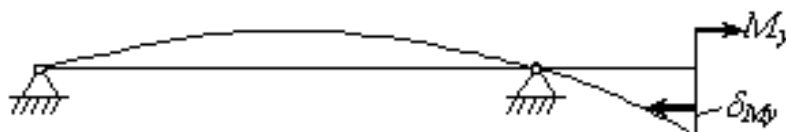
$$M_y = P_y \cdot h = 500 \cdot 0,2 = 100 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

1.



$$\delta_p = \frac{P_y a^2 (l+a)}{3EI} = \frac{500 \cdot 0,09^2 (0,45 + 0,09)}{3 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 6,57 \cdot 10^{-6}} = 0,055 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

3.



					МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$\delta_M = \frac{M_y a(2l + 3a)}{6EI} = \frac{100 \cdot 0.09(2 \cdot 0.45 + 3 \cdot 0.09)}{6 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 6.57 \cdot 10^{-6}} = 0.013 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

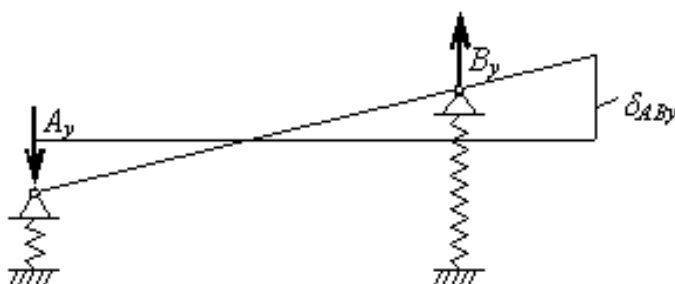
4.



$$m = kP_y \cdot (a + h) = 0.3 \cdot 500(0.09 + 0.2) = 43.5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\delta_m = \frac{m \cdot a \cdot l}{3EI} = \frac{43.5 \cdot 0.09 \cdot 0.45}{3 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 6.57 \cdot 10^{-6}} = 0.044 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

5.



1) Реакції опор

$$B_y = 600 \text{ Н};$$

$$A_y = 200 \text{ Н};$$

2) Жорсткість

$$\delta'_{rAz} = 13 \cdot 10^{-10} \cdot 200 = 2,6 \cdot 10^{-7} \text{ м},$$

$$\delta'_{rBz} = 7,3 \cdot 10^{-10} \cdot 600 = 4,38 \cdot 10^{-7} \text{ м};$$

$$\delta''_{\gamma FA} = \frac{4 \cdot 0.15 \cdot 10^{-11} \cdot 200 \left(1 + \frac{0.06}{0.085}\right)}{3.14 \cdot 0.06 \cdot 0.022} = 0.493 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$\delta''_{\gamma FA} = \frac{4 \cdot 0.15 \cdot 10^{-11} \cdot 600 \left(1 + \frac{0.08}{0.115}\right)}{3.14 \cdot 0.08 \cdot 0.044} = 0.552 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

Пружні зсуви:

$$\delta_{rAz} = 0,493 \cdot 10^{-6} + 0,26 \cdot 10^{-6} = 0,753 \cdot 10^{-6} \text{ м},$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ

Арк.

44

$$\delta_{rBz} = 0,552 \cdot 10^{-6} + 0,438 \cdot 10^{-6} = 0,99 \cdot 10^{-6} \text{ м};$$

Жорсткість:

$$J_{rAF} = \frac{F_z}{\delta_{rFA}} = \frac{200}{0,493 \cdot 10^{-6}} = 405,7 \cdot 10^6 \text{ Н/м}$$

$$J_{rBF} = \frac{F_z}{\delta_{rFB}} = \frac{600}{0,99 \cdot 10^{-6}} = 606 \cdot 10^6 \text{ Н/м}$$

4. Прогин δ_{AB} кінця шпинделя визначається по формулі:

$$\delta_{AB} = \frac{\delta_{rB}}{Z_B} + \frac{a}{l} \left(\frac{\delta_{rA}}{Z_A} + \frac{\delta_{rB}}{Z_B} \right) = \frac{0,99 \cdot 10^{-6}}{2} + \frac{0,09}{0,45} \left(\frac{0,753 \cdot 10^{-6}}{1} + \frac{0,99 \cdot 10^{-6}}{2} \right) = 0,744 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

5. Рівняння прогину кінця шпинделя записується у вигляді:

$$\delta_{ry} = \delta_{Py} + \delta_{My} - \delta_{my} - \delta_{Aby} \quad (3)$$

$$\delta_{rz} = 0,055 \cdot 10^{-5} + 0,013 \cdot 10^{-5} - 0,044 \cdot 10^{-5} - 0,0744 \cdot 10^{-5} = 0,05 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Визначаємо сумарний прогин кінця шпинделя і жорсткість

$$\delta_r = \sqrt{\delta_{rz}^2 + \delta_{ry}^2} = \sqrt{(0,292 \cdot 10^{-5})^2 + (0,05 \cdot 10^{-5})^2} = 2,96 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$J_{rAF} = \frac{P}{\delta_r} = \frac{1118}{2,96 \cdot 10^{-6}} = 377,7 \cdot 10^6 \text{ Н/м.}$$

Осьова жорсткість

Осьова жорсткість практично повністю залежить від жорсткості встановлених в опорах підшипників. Тому даний розрахунок фактично зводиться до визначення жорсткості підшипників, що сприймають навантаження в осьовому напрямі.

$$P_x = 0,25 \cdot P_z = 250 \text{ Н - осьова сила};$$

$$S = (1,5 \dots 2) P_x = 500 \text{ Н - натяг}$$

$$\omega = \frac{S}{d} = \frac{500}{0,08} = 6250$$

По величині ω визначається осьова жорсткість $j_0 = 1 \cdot 10^8 \text{ Н/м}$ і зсув в осьовому напрямі.

$$\delta_0 = \frac{P_y}{j_0} = \frac{250}{1 \cdot 10^8} = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

Аналіз результатів

					МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Величина допустимої похибки

$$D_o + d_o = 2,96 \cdot 10^{-6} + 2,5 \cdot 10^{-6} = 5.46 \text{ мкм} < [D] = 35 \text{ мкм.}$$

4.6 Визначення властивостей, що демпфірують ШВ.

Властивості, що демпфірують, ШВ можна кількісно визначити за допомогою логарифмічного декрименту коливань:

$$\lambda_{ш} = l_n \frac{A_i}{A_{i+1}} \geq [\lambda] = 0.23 \text{ - для токарних верстатів}$$

$$\lambda_{ш} = 0.5 \frac{\varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot l^2}{a\varphi_1 + \varphi_2(a+l)^2} = 0.5 \frac{0.4 \cdot 0.23 \cdot 450^2}{90 \cdot 0.4 + 0.23(90 + 450)^2} = 0.277 \geq [0.23],$$

де, $\varphi_2 = 0.23$ - відносне розсіювання енергії в одному кульку підшипнику,

$\varphi_1 = 0.4$ - теж для роликового двохрядного підшипнику.

4.7. Визначення власної частоти обертання.

Власна частота шпинделю розраховується по формулі:

$$\omega_c = \gamma \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J_1}{m(1 + \lambda)^3 a^2}},$$

де, $\gamma = 2.4$, для відносної відстані між опорами: $\lambda = \frac{l}{a} = \frac{450}{90} = 5$,

m - маса шпинделя, $m = 27 \text{ кг}$,

модуль пружності $E = 2.1 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}$,

момент інерції шпинделю в передньої опорі:

$$J_1 = \frac{\pi \cdot d_1^4}{64} \left[1 - \left(\frac{d}{d_1} \right)^4 \right] = \frac{\pi \cdot 115^4}{64} \left[1 - \left(\frac{80}{115} \right)^4 \right] = 3.85 \cdot 10^7 \text{ мм}^4 = 3.85 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4,$$

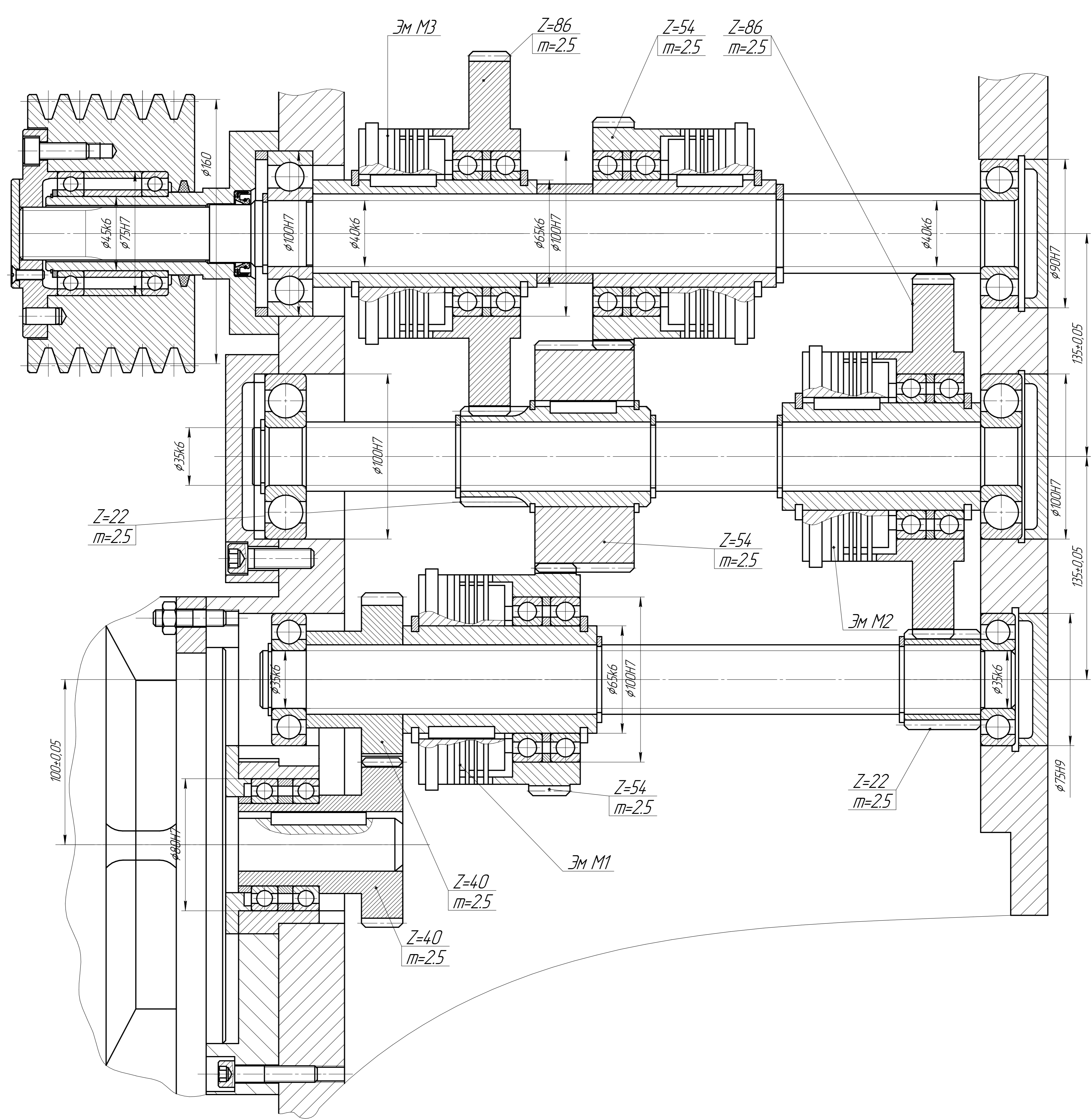
$$\omega_c = 2.4 \cdot \sqrt{\frac{2.1 \cdot 10^{11} \cdot 3.85 \cdot 10^{-5}}{27(1 + 5)^3 \cdot 0.09^2}} = 992.9 \text{ с}^{-1}.$$

					МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

5. СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ГОСТ 14034-74 - Отвори центрові
<http://docs.cntd.ru/document/1200047036>
2. ГОСТ 4543-71 - Прокат із легованої конструкційної сталі
<http://docs.cntd.ru/document/1200005485>
3. ГОСТ 13755-81 – Передачі зубчасті циліндричні евольвентні
<http://docs.cntd.ru/document/gost-13755-81>
ГОСТ 1050-88 – Прокат сортовий калібрований зі спеціальною обробкою поверхні з якісної вуглецевої конструкційної сталі
<http://docs.cntd.ru/document/1200004986>
4. ГОСТ 831-75 – Підшипники кулькові радіально-упорні однорядні
<http://docs.cntd.ru/document/1200012724>
5. ГОСТ 8338-75 – Підшипники кулькові радіальні однорядні
<http://docs.cntd.ru/document/gost-8338-75>
6. ГОСТ 20799-88 – Мастила індустріальні
<http://docs.cntd.ru/document/1200005432>
7. Детали и механизмы металлорежущих станков. / Под ред. Д.Н.Решетова. - М.: Машиностроение, 1972. – Т. 1, 2.
8. Киркач Н.Ф., Баласанян Р.А. Расчет и проектирование деталей машин. – Харьков.: Основа, 1991.
9. Металлорежущие станки. / Под ред. В.Э.Пуша. – М.: Машиностроение, 1985.
10. Металлорежущие станки. Курсовое и дипломное проектирование. Учеб. пособие / М.Л.Орликов, И.Г.Федоренко, В.Н.Шишкин. – К.: ВШ, 1987. – 152 с.
11. Общемашиностроительные нормативы режимов резанья для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Часть I. М.: Машиностроение, 1967. – 412 с.
12. Методические указания и контрольные задания по курсу «Металлорежущие станки». / Сост. Ю.Н.Кузнецов и др. – К.: КПИ, 1987.

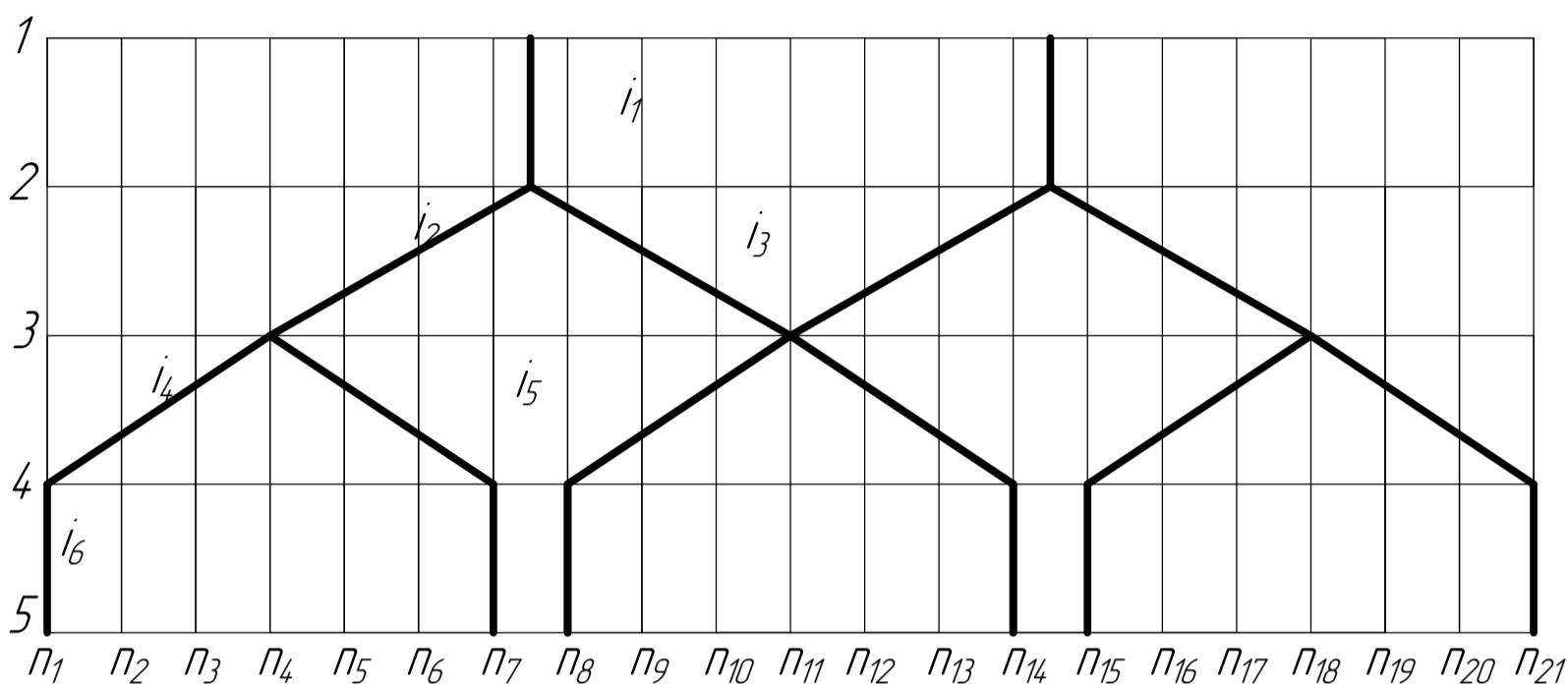
					МВ-8215.ДПБ000.000.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47



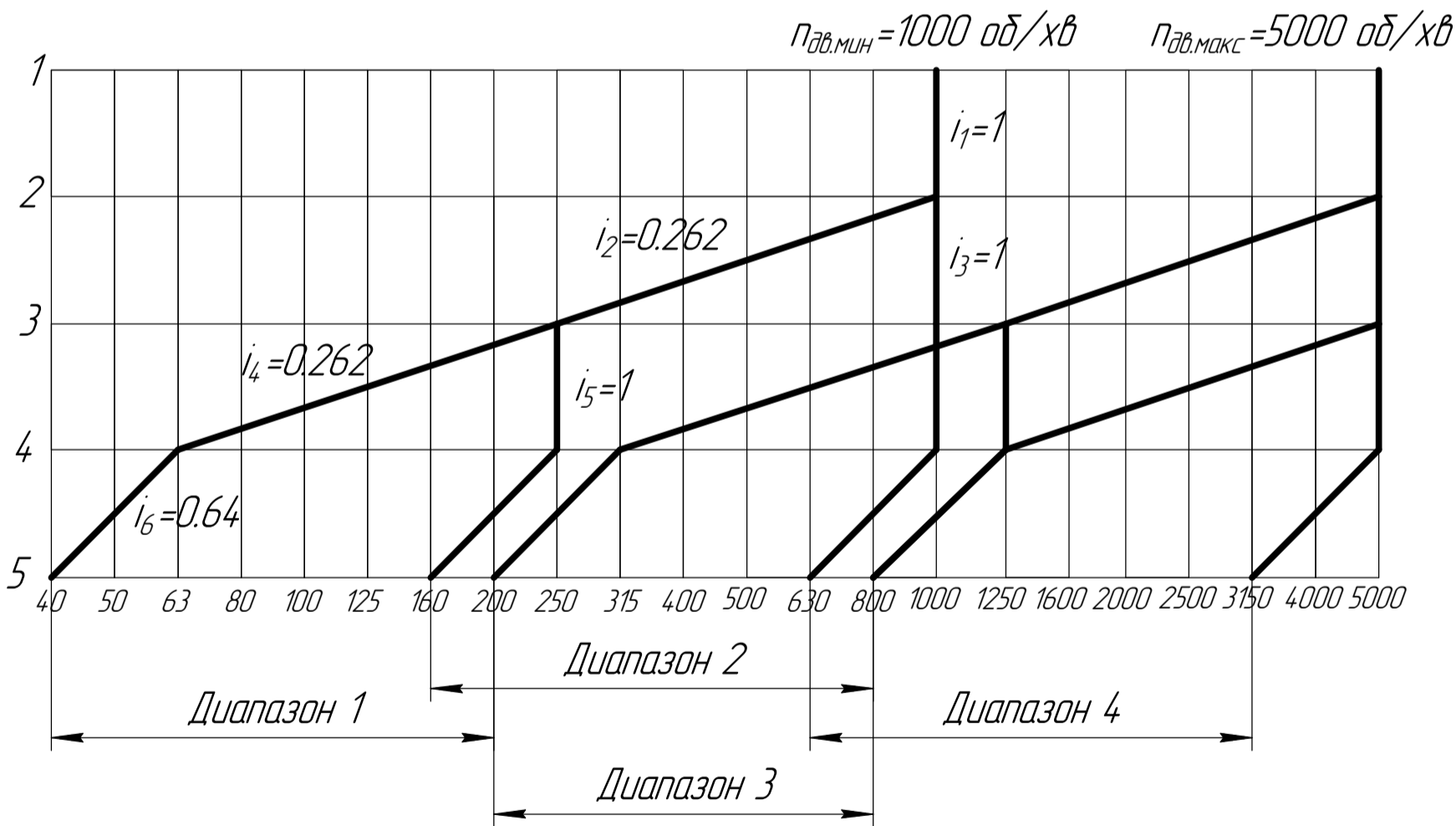
Изм. №	Лист	№ док.	Подп.	Дата
1	1	Шикалов		5.06.22
2	1	Вакуленко		5.06.22
3	1	Протасов С.В.		
4	1	Эль		

MB8215.ДПБ210.000.00				
Коробка швидкостей				
Лист	Масса	Листов	Масштаб	
1		1	1:1	
КПТМ Горняківського НН ММ, КМ, гр. МВ-82				
Формат А1				

Структурна сетка



Сетка чисел оборотів



Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата
Разраб.	Шикалов			15.06.22
Проб.	Вакуненко			15.06.22
Т.контр.				
Н.контр.	Протасов С.В.			
Утв.				

MB8215.ДПБ210.000.01

Додаток 2.
Графік частот обертання

Лист	Масштаб	Масштаб
		1:1
Лист	Листов	1
КПІм.ІгоряСікорського,НН ММІ, КМ, гр. МВ-82		

Перв. примен.

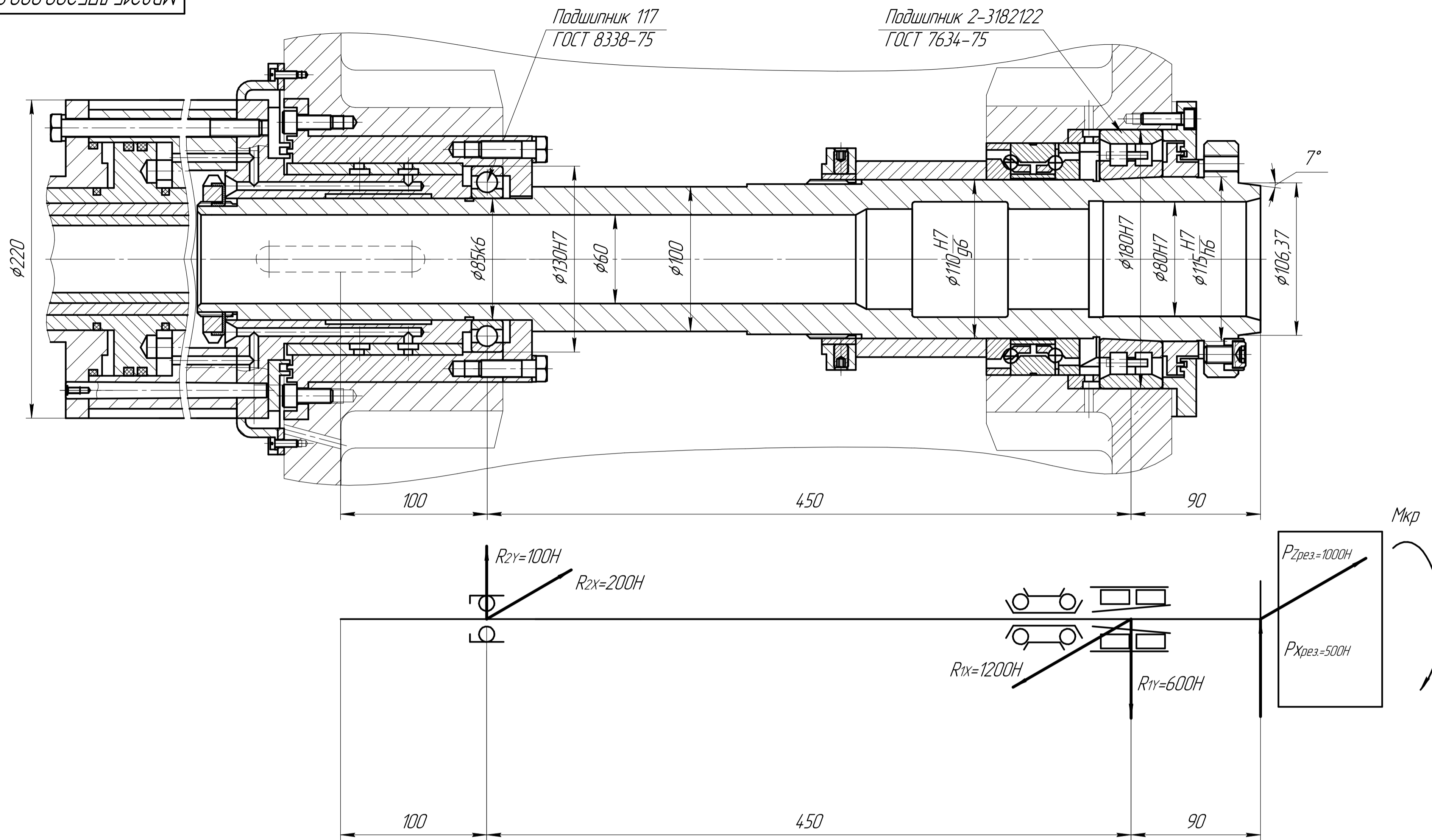
Справ. №

Подп. и дата

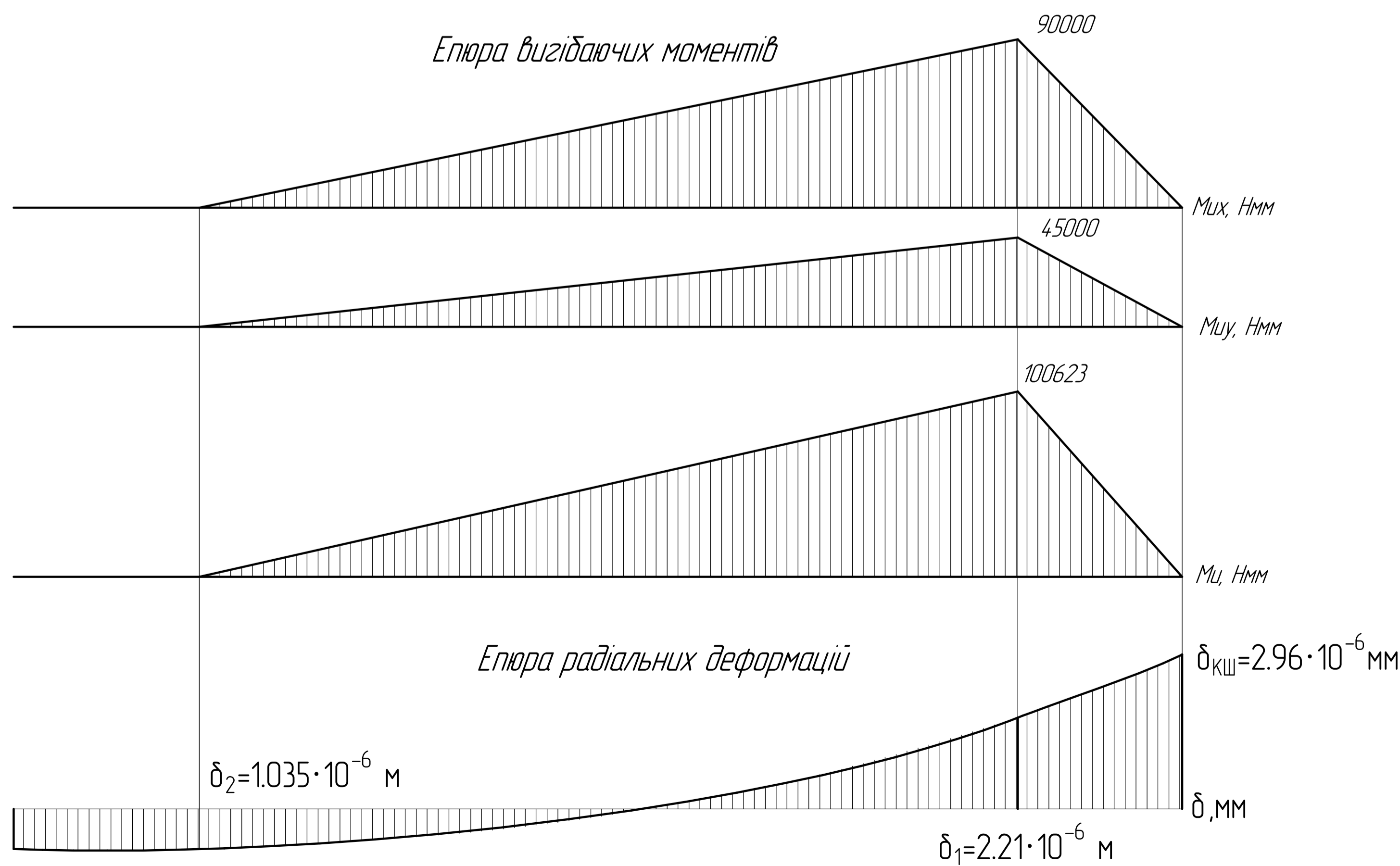
Взам. инв. № Инв. № дубл.

Подп. и дата

Инв. № подл.



Визначення загальних геометрических характеристик шпинделя (за допомогою програми Компас 3-D)

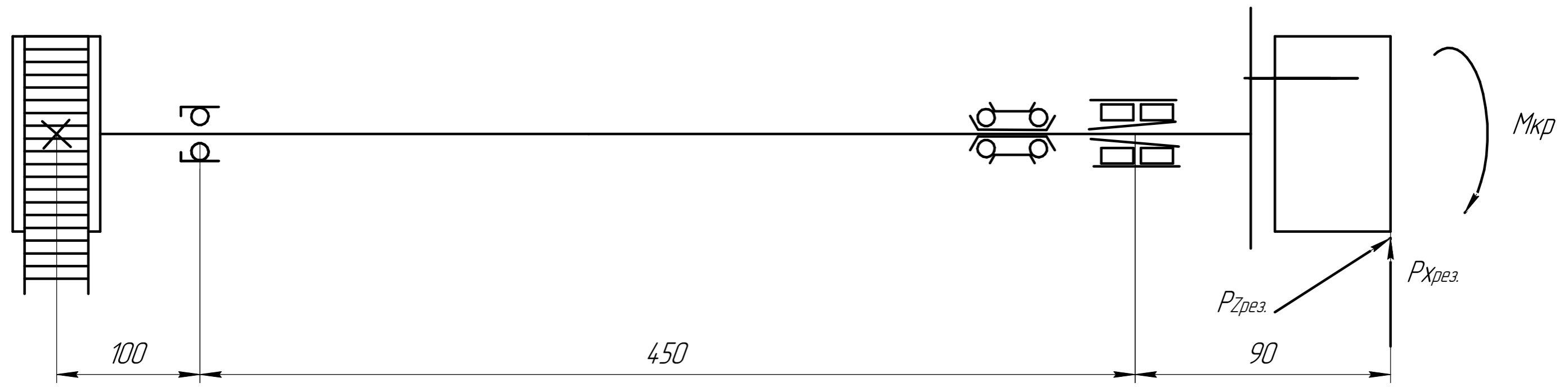


				MB8215.ДПБ200.000.01		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Разраб. шпиндельного узла	
				5.06.22	Лит.	Масса
Разраб.	Шкала			5.06.22		Масштаб
Проб.	Вакленко					1:1
Т.контр.					Лист	Листов 1
Исполн.	Протасов С.В.				КТМ.ГорнякСікорського,НН ММ	
Утв.					КМ, гр. МВ-82	
				Копирабол		
				Формат А1		

КОМПАС-3D 12.0 © 2021 ООО «КОМПАС-САЙТИНГ» Россия. Все права защищены.
 MB8215.ДПБ200.000.01
 Лист № 1 из 1
 Дата: 5.06.22
 Автор: Шкала
 Проверка: Вакленко
 Конструктор: Протасов С.В.
 Утвердил:

КОМПАС-3D v20 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.
 Инв. № подл. Подп. и дата. Инв. № дцкл. Подп. и дата. Взам. инв. № Инв. № дцкл. Подп. и дата.

Справ. №	Перв. примен.
MB8215.ДПБ200.000.02	



					MB8215.ДПБ200.000.02			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Компоновочная схема шпиндельного узла верстата 1В340Ф30	Лит.	Масса	Масштаб
								1:1
						Лист	Листов 1	
						КПІм.ІгоряСікорського,НН ММІ, КМ, гр. МВ-82		
Н.контр.	Протасов С.В.							
Утв.								