

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ ТА МАШИН

До захисту допущено

В. о. Завідувача кафедри

_____ О. В. Шевченко
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2019 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки _____ **6.050503 «Машинобудування»**
(код і назва)

на тему **Розширення технологічних характеристик токарно-
револьверного верстату**

Виконав студент групи

IV курсу, групи МВ-51

_____ Алексик Даніїл Ігорович

_____ (прізвище ім'я по батькові)

_____ (підпис)

Керівник проекту _____ к.т.н., доцент Гаврушкевич А.Ю.

_____ (вчена ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

КОНСУЛЬТАНТИ:

РЕЦЕНЗЕНТ:

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

_____ (підпис)

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

Студент _____
(підпис)

Київ - 2019 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	1	
2	A4	МВ-5101.ДПБ.00.000 ПЗ	Пояснювальна записка	80	
3	A1	МВ-5101.ДПБ 01.000 ЗВ	Загальний вигляд	1	
4	A1	МВ-5101.ДПБ 02.000 КЗ	Розширення технологічних можливостей	1	
5	A1	МВ-5101.ДПБ 03.000 КЗ	Аналітично-інформаційне дослідження	1	
6	A1	МВ-5101.ДПБ 04.000 КЗ	Кінематична схема	1	
7	A0	МВ-5101.ДПБ 05.000 СК	Розгортка ПГР	1	
8	A1	МВ-5101.ДПБ 06.000 КЗ	Програмування в системі HEIDENHAIN	1	
9	A1	МВ-5101.ДПБ 07.000	Робочі креслення	3	

				МВ-5101.ДПБ 00.000.00		
	ПБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Алексик			Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівн.	Гаврушкевич				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. КВМ Гр. МВ-51	
Н/контр.						
Зав.каф.						

Пояснювальна записка до дипломного проекту

на тему:

Розширення технологічних характеристик токарно-револьверного верстату

Київ – 2019 року

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

Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____

Напрямок підготовки _____ **6.050503 «Машинобудування»** _____
(код і назва)

Назва програми професійного

спрямування _____ **«Металорізальні верстати та системи»** _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ **О.В.Шевченко**
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2018 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ
Алексику Даніїлу Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Розширення технологічних характеристик токарно-револьверного верстату _____

керівник проекту _____ **Гаврушкевич А.Ю., к.т.н., доцент**
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від **“22” травня 2019 року № 1326-с**

2. Термін подання студентом проекту: 11 червня 2019 року _____

3. Вихідні дані до проекту: Технічна документація базового верстата моделі 1341. Мета проектування – підвищення технологічних характеристик. Написати програму обробки на верстаті з ЧПК деталі – «Кришка» згідно креслення; Матеріал деталі – Сталь 45; Виробництво – дрібносерійне.

4. Зміст пояснювальної записки: Вступ. Опис та технічні характеристики базового верстата. Шляхи розширення технологічних можливостей верстата. Обґрунтування характеристик верстата за результатами порівняльного аналізу верстатів-аналогів різних виробників. Кінематичні та конструкторські розрахунки ПГР. Обґрунтування компоновки шпиндельного

вузла. Написання програми обробки деталі «Кришка» на верстаті з ЧПК в середовищі «HEIDENHAIN».

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів, презентацій тощо): 1) Загальний вигляд; 2) Розширення технологічних можливостей; 3) Аналітично-інформаційне дослідження; 4) Кінематична схема; 5) Розгортка ПГР; 6) Програмування в системі HEIDENHAIN; 7) Робочі креслення

6. Консультанти розділів проекту

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

7. Дата видачі завдання _____ 12 березня 2019 року _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
	Шляхи розширення технологічних можливостей базового верстату	12.03-26.03	
	Кінематичні розрахунки	27.03-16.04	
	Конструкторські розрахунки	17.04-30.04	
	Розрахунок шпиндельного вузла	01.05-21.05	
	Програма обробки на верстаті з ЧПК	22.05-28.05	
	Оформлення проекту	29.05-11.06	

Студент _____ Алексик Д.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту _____ Гаврушкевич А.Ю.

Анотація

Пояснювальна записка дипломного проекту бакалавра на тему «Розширення технологічних характеристик токарно-револьверного верстату» складається з 80 аркушів формату А4, містить 38 ілюстрацію, 12 таблиць, 9 додатків, у яких наведено специфікації до робочих креслень та технічні характеристики використовуваного обладнання. При написанні роботи використано 17 літературних джерел та веб-ресурсів. Графічна частина роботи складається з 1 аркушу формату А0: «Розгортка приводу головного руху (складальне креслення)»; 5 аркушів формату А1: «Токарно-револьверний верстат моделі 1341 (загальний вигляд)», «Розширення технологічних можливостей», «Аналітично-інформаційне дослідження верстатів-аналогів», «Токарно-револьверний верстат моделі 1341 (схема кінематична принципова)», «Програмування в системі HEIDENHAIN»; 1 аркушу формату А2: «Вал»; 2 аркушів формату А3: «Колесо зубчасте».

Ключові слова: модернізація, шпиндель, шпиндельний вузол, електродвигун постійного струму.

Абревіатури:

ПГР – привід головного руху;

ШВ – шпиндельний вузол;

МО – муфта обгінна;

КШ – коробка швидкостей.

Summary

Explanatory note of the bachelor's diploma project on "Extension of technological characteristics of the lathe-revolving machine" consists of 80 sheets of A4 size, contains 38 illustrations, 12 tables, 9 appendices, which shows the specifications for the working drawings and technical characteristics of the equipment used. At the time of writing, 17 literary sources and web resources were used. The graphic part of the work consists of 1 sheet of format A0: "Scanning of the drive of the main movement (assembly drawing)"; 5 sheets of A1 format: "Turning machine model 1341 (general view)", "Expansion of technological capabilities", "Analytical and informational study of machine tools-analogues", "Turning machine model 1341 (scheme kinematic principle)", "Programming on HEIDENHAIN »; 1 A2 sheet: "Shaft"; 2 sheets of A3 size: "Gear wheel".

Keywords: modernization, spindle, spindle assembly, dc motor.

Abbreviations:

PGR - main drive;

SW - spindle node;

MO - bend coupling;

KSH - gearbox.

Аннотация

Пояснительная записка дипломного проекта бакалавра на тему «Расширение технологических характеристик токарно-револьверного станка» состоит из 80 листов формата А4, содержит 38 иллюстрации, 12 таблиц, 9 приложений, в которых приведены спецификации с рабочими чертежами и технические характеристики используемого оборудования. При написании работы использованы 17 литературных источников и веб-ресурсов. Графическая часть работы состоит из 1 листа формата А0: «Разворот привода главного движения (сборочный чертеж)»; 5 листов формата А1: «Токарно-револьверный станок модели 1341 (общий вид)», «Расширение технологических возможностей», «Аналитико-информационное исследование станков-аналогов», «Токарно-револьверный станок модели 1341 (схема кинематическая принципиальная)», «Программирование в системе HEIDENHAIN»; 1 листа формата А2: «Вал»; 2 листов формата А3: «Колесо зубчатое».

Ключевые слова: модернизация, шпиндель, шпиндельный узел, электродвигатель постоянного тока.

Аббревиатуры:

ПГР - привод главного движения;

ШВ - шпиндельный узел;

МО - муфта обгонная;

КШ - коробка скоростей.

Зміст

Вступ	3
1. Базовий верстат	8
1.1 Опис базового верстата та галузі його використання	8
1.2 Технічні характеристики	10
1.3 Складові	10
2. Обґрунтування модернізації базового верстату моделі 1341	20
2.1 Напрямки розширення технологічних характеристик токарного верстата	20
2.2 Аналітично-інформаційне дослідження верстатів аналогів	21
3. Кінематичний розрахунок ПГР	28
3.1 Обґрунтування та вибір джерела руху	28
3.2 Кінематичний розрахунок ПГР	30
4. Конструкторський розрахунок ПГР	37
4.1 Розрахунок валів	37
4.2 Розрахунок зубчастих коліс	48
4.3 Розрахунок підшипників	51
4.4 Розрахунок напрямних	54
4.5 Розрахунок шпонкових з'єднань	58
5. Розрахунок шпинделя	60
5.1 Обґрунтування вибору компоновки шпиндельного вузла	60
5.2 Розрахунок на точність	61
5.3 Розрахунок на жорсткість	62
6. Написання програми обробки деталі «Кришка» на верстаті з ЧПК в середовищі «HEIDENHAIN»	71

					МВ-5101.ДПБ.00.000 ПЗ				
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дат	Розширення технологічних характеристик токарно-	Літера	Аркуш	Аркушів	
Розроб.		Алексик							
Перевір.		Гаврушкевич					1	80	
						НТУУ «КПІ ім. Сікорського»			
Н. Контр.									
Затверд.									

6.1	Режими різання	71
6.2	Складання програми обробки	74
6.3	Тест програми	76
	Висновки	78
	Перелік посилань	79

					<i>МВ-5101.ДПБ.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

Вступ

Металорізальні верстати є основним видом заводського устаткування, призначеним для виробництва всіх сучасних машин, приладів, інструментів і інших виробів, тому кількість металорізальних верстатів, їх технічний рівень в значній мірі характеризують виробничу потужність країни.

Токарно-револьверні верстати використовуються в серійному виробництві для обробки деталей складної конфігурації з прутків або з штучних заготовок. В залежності від цього токарно-револьверні верстати поділяються на пруткові та патронні. На токарно-револьверних верстатах можна виконувати майже всі основні токарні операції. Використання цих верстатів раціонально в тих випадках, якщо по технологічному процесу обробки деталей потребується послідовність використання різних різальних інструментів. Інструменти в необхідності послідовності закріплюють у відповідних позиціях револьверної головки і різцетримач поперечних супортів. Всі різальні інструменти встановлюються раніше при настроюванні верстата, і в процесі обробки їх по черзі або паралельно вводять в роботу.

По конструкції револьверної головки верстати поділяються на верстати з вертикальною і горизонтальною вісями обертання револьверної головки. Револьверні головки бувають циліндричні і призматичні.

Перевагами токарно-револьверних верстатів порівняно з токарними є можливість скорочення машинного часу в результаті використання багаторізцевих державок і одночасної обробки деталі інструментами револьверної головки, і поперечного супорта, і порівняно малих витрат допоміжного часу в результаті попередньої настройки верстата на обробку декількома інструментами.

Основним завданням верстатобудування є значне зростання випуску верстатів, збільшення типажу, підвищення їх якості і надійності; значне

					<i>MR-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ</i>	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підвищення продуктивності праці і рівня автоматизації в машинобудуванні, задоволення вимог, що безперервно підвищуються, до точності обробки.

Верстатобудування - це крупна галузь машинобудування. Вона в змозі повністю забезпечити потребу всієї нашої промисловості в металорізальному устаткуванні, і від рівня його розвитку залежить успіх всієї промисловості країни.

Машинобудування є основою науково-технічного прогресу в різних галузях народного господарства. Безперервне вдосконалення і розвиток машинобудування зв'язані з прогресом верстатобудування, оскільки металорізальні верстати разом з деякими іншими видами технологічного оснащення забезпечують виготовленнялюбих нових видів обладнання.

Особливий розвиток в останній час одержало числове програмне керування верстатами. Мікропроцесорні пристрої управління перетворюють верстат у верстатний модуль, що об'єднує гнучкість і універсальність з високим рівнем автоматизації. Верстатний модуль здатний забезпечити обробку заготовок широкої номенклатури в автономному режимі. Таким чином, сучасне верстатне обладнання є базою для розвитку гнучкого автоматизованого виробництва.

Вдосконалення сучасних верстатів повинно забезпечувати підвищення швидкостей робочих і допоміжних рухів при відповідному підвищенні потужності приводу головного руху. Виключне значення набирає підвищення надійності верстатів за рахунок насичення їх пристроями контролю і вимірювання, а також введення у верстати систем діагностування.

Сучасні металорізальні верстати забезпечують виключно високу точність оброблених деталей. Відповідальні поверхні найбільш важливих деталей машин і приладів обробляють на верстатах з похибкою в долях мікрометра. Вимоги до точності в машинобудуванні постійно зростають, і це, в свою чергу, ставить нові задачі перед верстатобудуванням.

					MR-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Створення сучасних точних і високопродуктивних металорізальних верстатів зумовлює підвищені вимоги до їх вузлів. В тому числі, до приводів головного руху і подач пред'являються вимоги: по збільшенні жорсткості, підвищені точності обертання валів, шпиндельних вузлів. Верстати мають забезпечувати можливість високопродуктивного виготовлення без ручної подальшої доводки деталей, які задовольняють сучасні безперервно зростаючі вимоги до точності.

В більшості верстатів в якості приводу головного руху використовують коробки передач зі ступінчастим регулюванням частоти обертання, з'єднані з асинхронним двигуном. До приводів головного руху висувають наступні вимоги: забезпечення необхідної потужності різання, збереження постійності потужності різання в коробках швидкостей і крутного моменту, забезпечення заданого діапазону регулювання швидкості, високий ККД, надійність, простота обслуговування і малі габаритні розміри.

Для обробки на металорізальних верстатах деталей машин з різними розмірами і ріжучим інструментом, с різними ріжучими властивостями, при великому числі технологічних операцій для отримання оптимальних режимів різання необхідно змінювати частоти обертання шпинделя в границях від n_{min} до n_{max} .

Між найбільшою і найменшою частотами обертання шпинделя проміжні частоти можуть бути розміщені безступінчасто (плавно) чи ступінчасто (переривчасто). Використання безступінчастого регулювання частоти обертання дає можливість більш просто реалізувати оптимальні режими різання. З використанням безступінчастого регулювання конструкція верстата спрощується. В якості електричного безступінчастого привода застосовують електродвигуни постійного струму.

Ступінчасте регулювання дає можливість встановити обмежене число частот обертання в заданих межах. По цій причині величина регулювання не завжди може бути установлена оптимально. Механізми зі ступінчастим

					MR-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

регулюванням компактні, прості і мають високий ККД в порівнянні з безступінчастим регулюванням.

Основними перевагами приводів з безступінчастим регулюванням швидкості є підвищення продуктивності обробки за рахунок точної наладки оптимальної по режимам різання швидкості, можливість плавної зміни швидкості під час обробки. Для безступінчастого регулювання швидкості використовується двигун постійного струму з тиристорним керуванням.

Основним об'єктом проекту є розширення технологічних можливостей токарно-револьверного верстату моделі 1341 за рахунок використання приводу головного руху з безступінчастим регулюванням та використанням напрямних кочення в приводі поздовжнього руху револьверної головки.

Внаслідок модернізації досягається більш широкий діапазон регулювання: від 40 до 3150 об/хв.

Основними перевагами приводів з безступінчастим регулюванням швидкості є підвищення продуктивності обробки за рахунок точної наладки оптимальної по режимам різання швидкості, можливість плавної зміни швидкості під час обробки. Для безступінчастого регулювання швидкості використовується двигун постійного струму з тиристорним керуванням.

В процесі конструювання проведено:

- опис базового верстата та галузі його використання;
- ...- визначення напрямків розширення технологічних характеристик базового верстату;
- аналітично-інформаційне дослідження верстатів аналогів;
- розрахунок кінематичних та силових характеристик верстата;
- обґрунтування та вибір джерела руху і кінематичний розрахунок ПГР;
- розрахунок елементів ПГР ;
- розрахунок напрямних кочення в приводі поздовжнього руху револьверної головки;

					<i>MR_5101 ЛПБ 00 000 ПЗ</i>	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- програмування на верстаті з ЧПК в системі HEIDENHAIN.

Графічна частина:

- загальний вид базового верстату;
- розширення технологічних характеристик;
- аналітично-інформаційні дослідження;
- кінематична схема верстата;
- розгортка ПГР;
- обробка деталі на верстаті з ЧПК HEIDENHAIN;
- робочі креслення деталей.

					MR-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Базовий верстат

1.1 Опис базового верстата та галузі його використання

Токарно-револьверний верстат моделі 1341 (рис. 1.1) призначений для токарної обробки (точіння, свердління, розвертання, нарізання різьби і т.д) в умовах серійного виробництва.

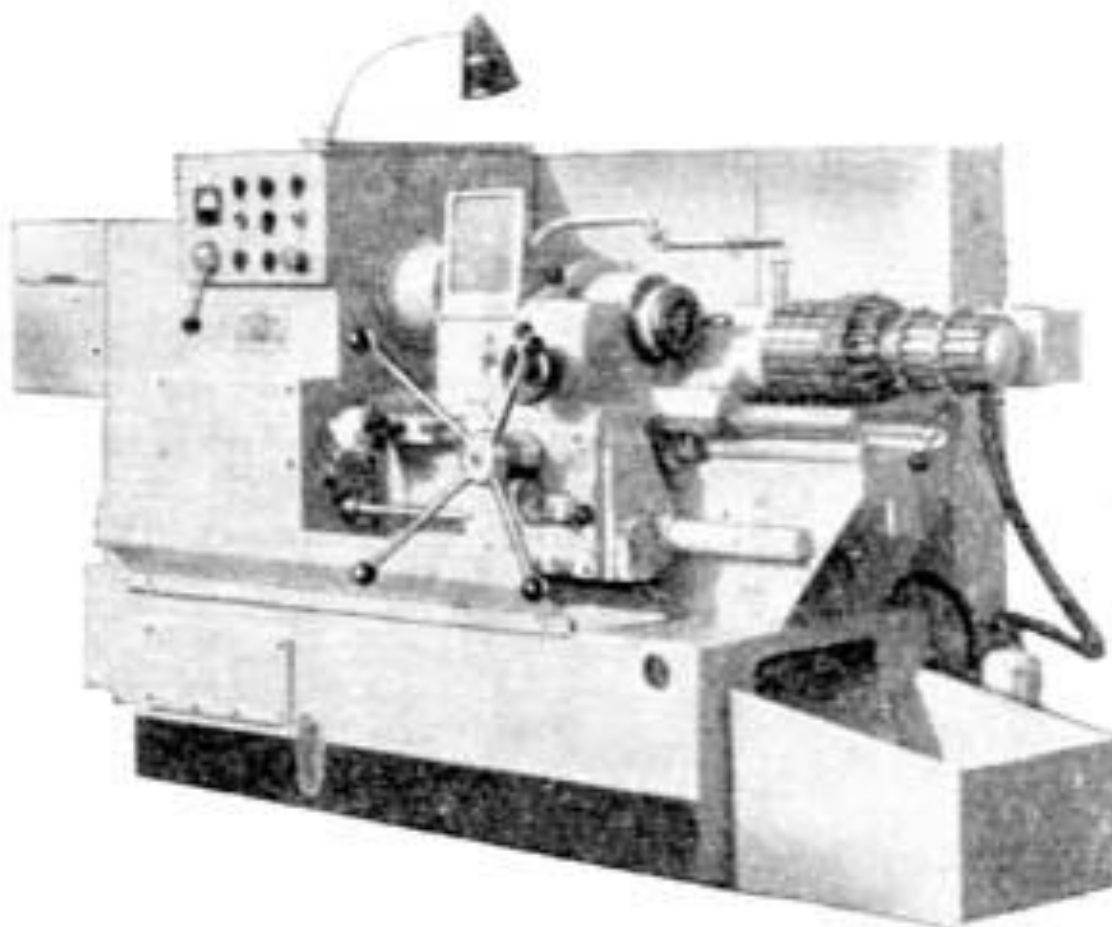


Рисунок 1.1 – Загальний вид токарно-револьверного верстата 1341

Верстат має програмне переключення чисел обертів шпинделя і подач при зміні позиції револьверної головки. Переключення відбувається легко

					MR-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

переналагоджуваним командоапаратом, який керує електромагнітними муфтами коробки швидкостей і подач.

Іншим автоматизуючим елементом в верстаті являється гідравлічний механізм затиску і подачі прутка. На передньому кінці шпинделя встановлюється цанговий або трьохкулачковий патрон, який приводиться в рух гідроциліндром, розташованим на задньому кінці шпинделя(прутковий матеріал затискується в цанговому патроні, який має змінні вкладиші, штучні заготовки – в трьохкулачковому патроні).

Подача пруткового матеріалу здійснюється змінними цангами. Без переналадки можна затискати прутки з відхиленням по діаметру до 2 мм, що дозволяє використовувати некалібрований матеріал, і штучні заготовки – з відхиленням по діаметру до 8 мм.

Привод затискання і подачі матеріалу – гідравлічний, з електронним управлінням. Весь цикл розтиску, подачі і затиску триває від 2 до 3 секунд.

Верстат має автоматичне вимкнення поздовжньої подачі по жорсткому упору, що забезпечує високу точність обробки по довжині. Поперечна подача також обмежується жорстким упором.

Верстат оснащений різьбонарізним пристроєм для нарізання зовнішніх і внутрішніх різьб і копіювальним пристроєм.

До верстата додається комплект цанг подач і затискних вкладишів для круглих, квадратних і шестигранних прутків, комплект різцетримачів, втулок, ключів і т.д.

Переваги верстата: багаторіцева обробка, швидкий ввід в роботу інструментів по закінченню кожного переходу. Завдяки цим перевагам скорочується машинний час в результаті багаторіцевої обробки, допоміжний час з огляду на швидку заміну інструментів і час на промірювання деталей, так як інструмент для кожного проходу має постійне положення. Верстат може бути прутковим і патронним.

					<i>MR-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Технічні характеристики

Технічні характеристики	
Максимальний діаметр оброблюваного прутка	40мм
Найбільший діаметр заготовки яка затискається в патроні	
над станиною:	400мм
над кареткою супорта:	380мм
Число частот обертання шпинделя(об./хв.)	60-2000
Число поперечних подач(мм/об.)	0,03-0,48
Число поздовжніх подач(мм/об.)	0,05-1,6
Найбільша довжина нарізуваної різи	50мм
Габаритні розміри(мм)	3000x1200x1600

1.3 Складові

Станина

Станина верстата - збірна і складається з верхньої та нижньої станини.

У відсіку нижньої станини знаходиться резервуар для масла, а до торця кріпиться насосна установка.

Для збору охолоджуючої рідини в нижній станини передбачено лите корито.

Верхня станина має дві призматичні напрямні, які піддані термічній обробці з наступним шліфуванням.

Коробка швидкостей (рис. 1.2)

Привід обертання шпинделя і подачі револьверного супорта поміщені в загальному корпусі і складають один вузол - коробку швидкостей і подач.

					МВ-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На корпусі коробки закріплений фланцевий електродвигун, на валу якого знаходиться приводная шестерня $z = 29$.

На першому валу коробки швидкостей знаходяться електромагнітні муфти ЕММ4 і ЕММ5.

При включенні муфти ЕММ4 обертання передається другому валу через шестерні $z = 46$ і $z = 62$, а при включенні муфти ЕММ5 - через шестерні $z = 60$ і $z = 48$.

Від другого вала до третього рух передається через шестерні $z = 22$ і $z = 85$ (при включенні муфти ЕММ2) або через шестерні $z = 72$ і $z = 35$ (при включенні муфти ЕММ3). Гальмування шпинделя здійснюється одночасним включенням муфт ЕММ2 і ЕММ3 при вимкнених інших (двигун в даному випадку продовжує обертатися).

Коробка швидкостей має два діапазони чисел оборотів шпинделя, одержуваних за допомогою пересувного двухвенцового зубчастого блоку $z = 23 - z = 41$. Ліве положення рукоятки дає нижній діапазон чисел оборотів, праве - верхній.

Коробка подач (рис. 1.3) має три електромагнітні муфти ЕММ6, ЕММ7 і ЕММ8, які в поєднанні з двома обгінними муфтами 1МО і 2МО забезпечують шість подач, що автоматично перемикаються.

Револьверний супорт и командоапарат.

Револьверний супорт має повздовжню і поперечну подачі револьверної головки. Обидві подачі можуть здійснюватися вручну або механічно.

Револьверна головка 1 (рис. 1.4) встановлена на маточині шестерні 5, закріпленій на валу 7. Вал обертається на двох радіально-упорних шарикопідшипниках 9, закритих ущільнюючими кільцями 6, 8, 10.

					<i>МР-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ</i>	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

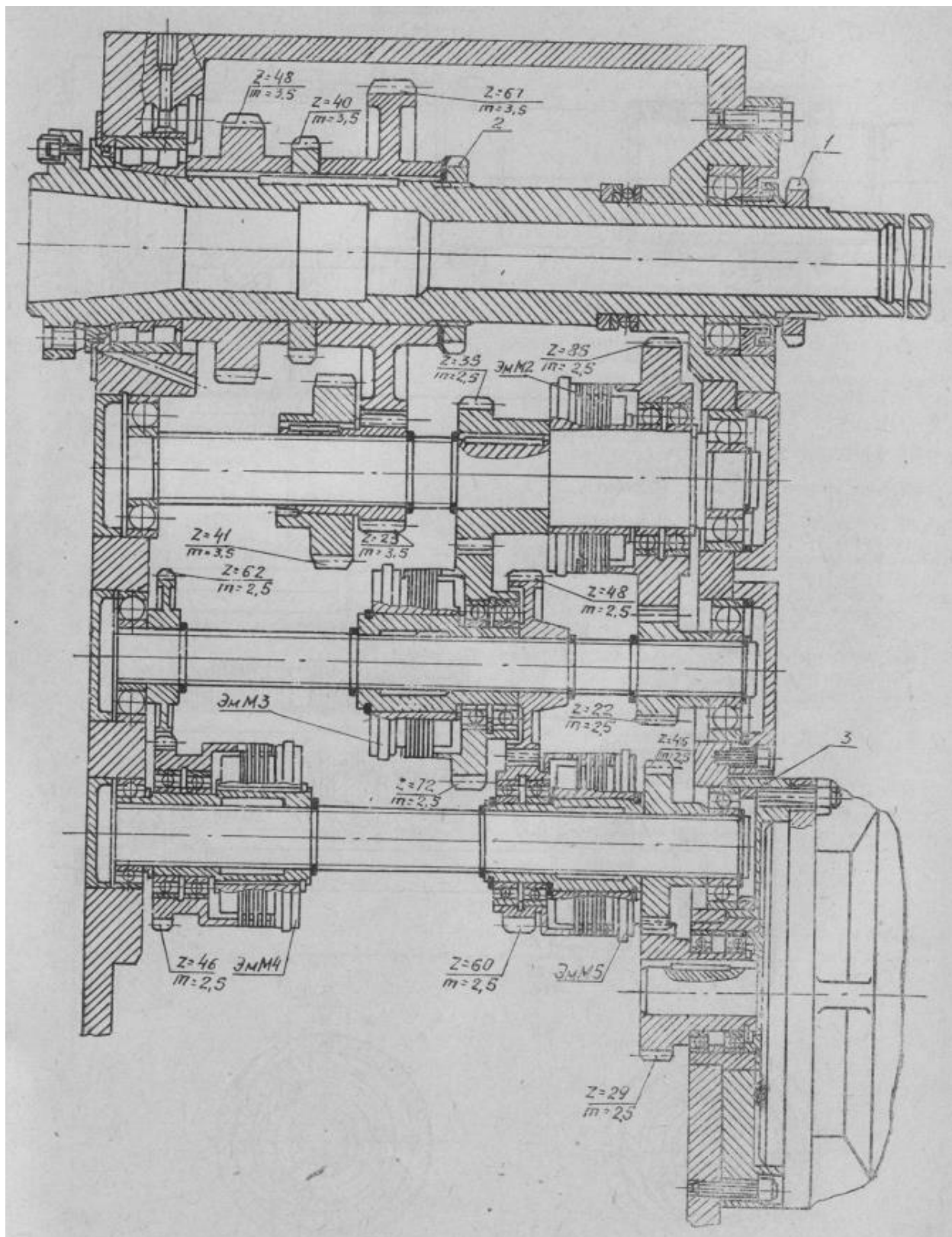


Рисунок 1.2 – Коробка швидкостей

					МВ-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

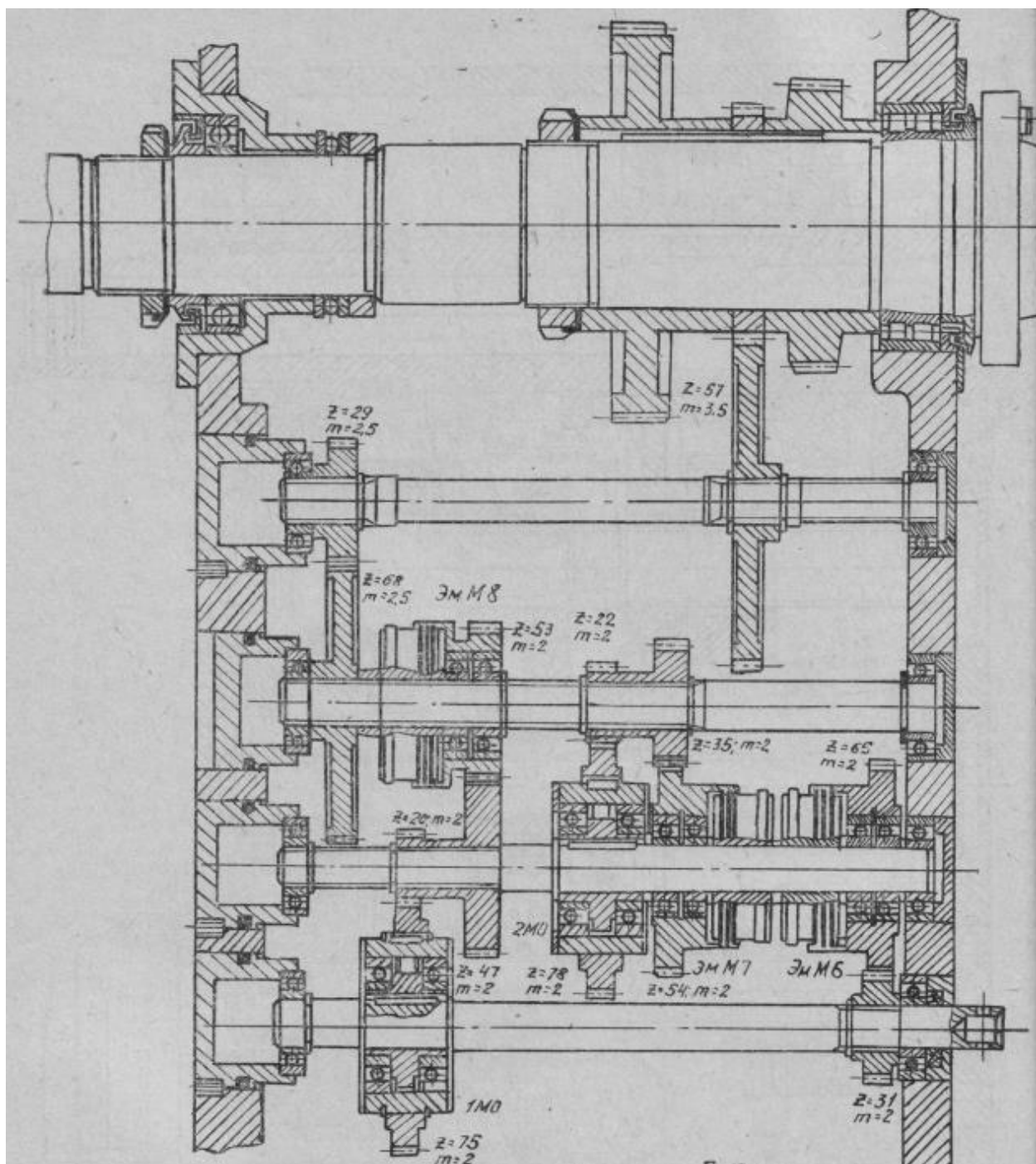


Рисунок 1.3 – Коробка подач

На правому кінці валу 7 закріплений барабан 11 с шістнадцятьма упорами. Корпус упору 13 кріплять на барабані штангами 14 та 15. Для регулювання упорного гвинта 16 потрібно звільнити стопорящий гвинт 14.

					MR-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

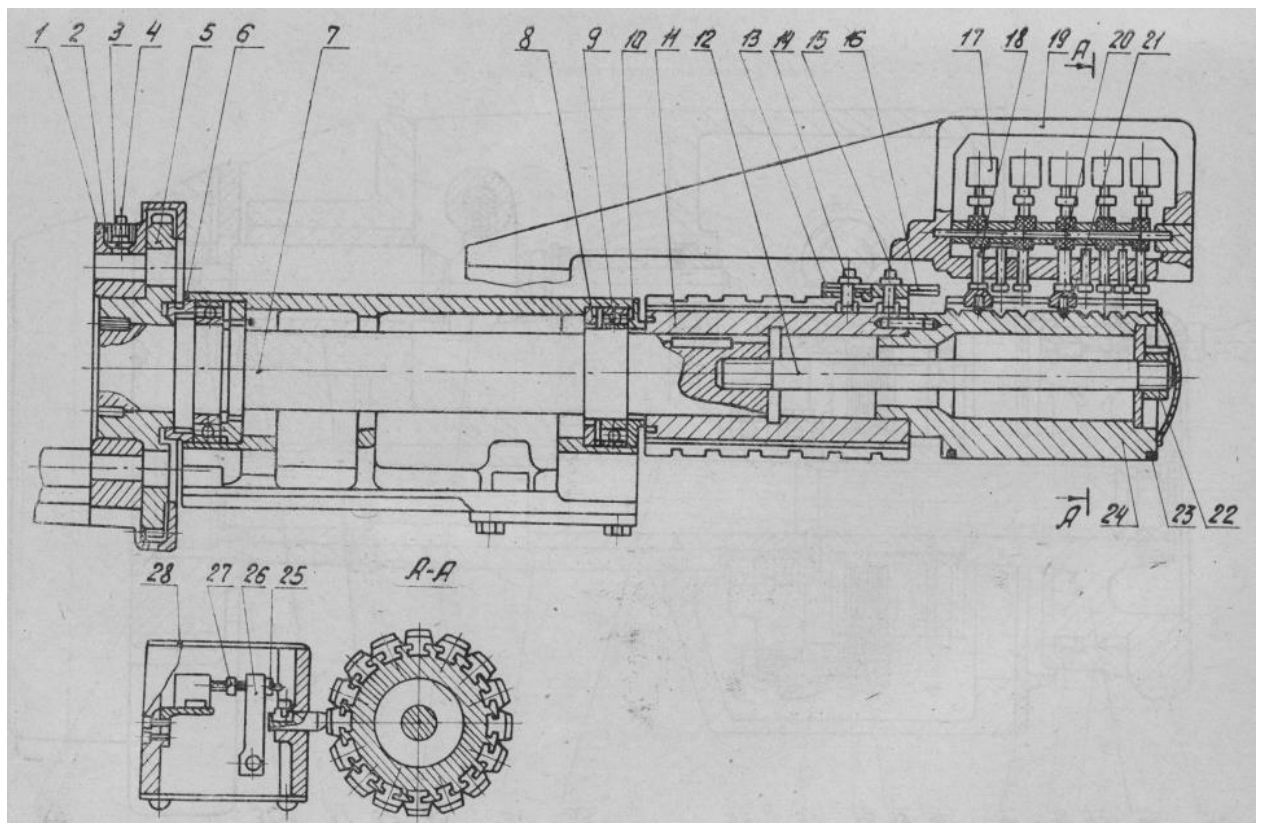


Рисунок 1.4 – Револьверний супорт

Інструментальні державки затискають в отворах револьверної головки сухарями 4 і гвинтами 3, загвинченими в втулки 2. З барабаном упорів 11 зв'язаний барабан командоапарата 24, який має шістнадцять повздовжніх пазів, які відповідають шістнадцяти позиціям револьверної головки. В кожному пазу знаходиться по два пересувних кулачка 21, фіксуючими шариками і пружинами. Кулачки переміщуються між запобіжними кільцями 23. В корпусі 19 командоапарата, закріпленому на салазках револьверного супорта, знаходиться п'ять кінцевих вимикачів 17, що вмикають електромагнітні муфти КШ та коробки подач.

Кожен кінцевий вимикач вмикає одну муфту. Кулачки 21 натискають на товкачі 18, а ті в свою чергу, на важелі 26, які гойдаються на осі 20 і через регульовані гвинти 27 – на кінцеві вимикачі.

					MR-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

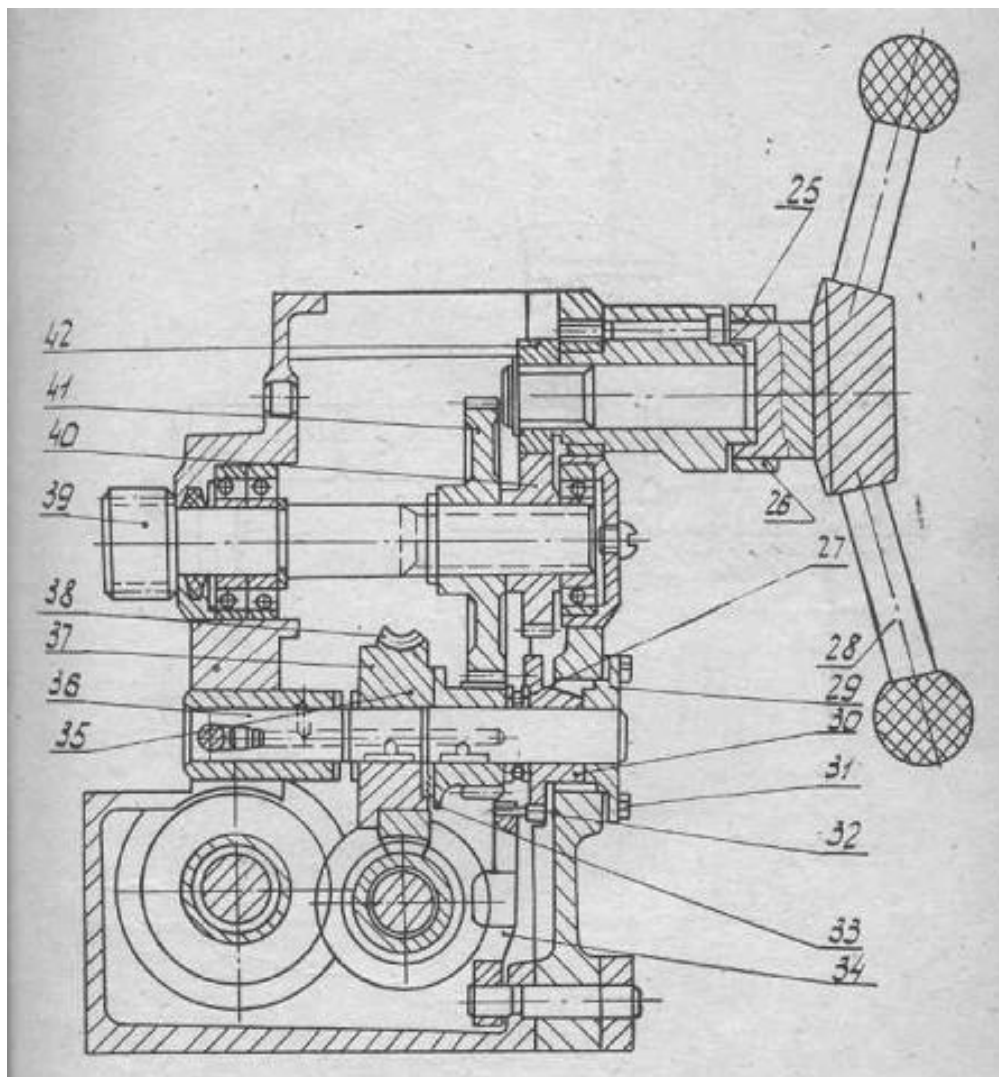


Рисунок 1.6 – Фартух револьверного супорта

На вісі 36 сидить нерухомо закріплений на кришці фартуха кулачок 29 з торцевими гвинтовими виступами. Кулачок 30 також має торцеві гвинтові виступи і може вільно рухатись на вісі 36.

При підйомі важеля 24 (рис. 1.5) в верхнє положення жорстко зв'язаний з ним важіль 34 (рис. 1.6), повертає кулачок 30, при цьому кулачок переміщується вліво зчіплюючи через підшипник 27 пів муфти 33 і 37.

В верхньому (увімкненому) положенні важіль 24 утримується підпружненою кулькою.

Обертання передається через шестерню 41 (рис. 1.6) на рейкову шестерню 39. Відбувається робоча повздовжня подача револьверного супорта. Коли револьверний супорт наближується до жорсткого упору, обертання рейкової шестерні 39 і черв'ячного колеса 38 припиняється. Черв'як 10 (рис. 1.5), продовжуючи обертатись, вигвинчується з нерухомого черв'ячного колеса і переміщується вліво по шліцам валу 9, зтискуючи пружину 13.

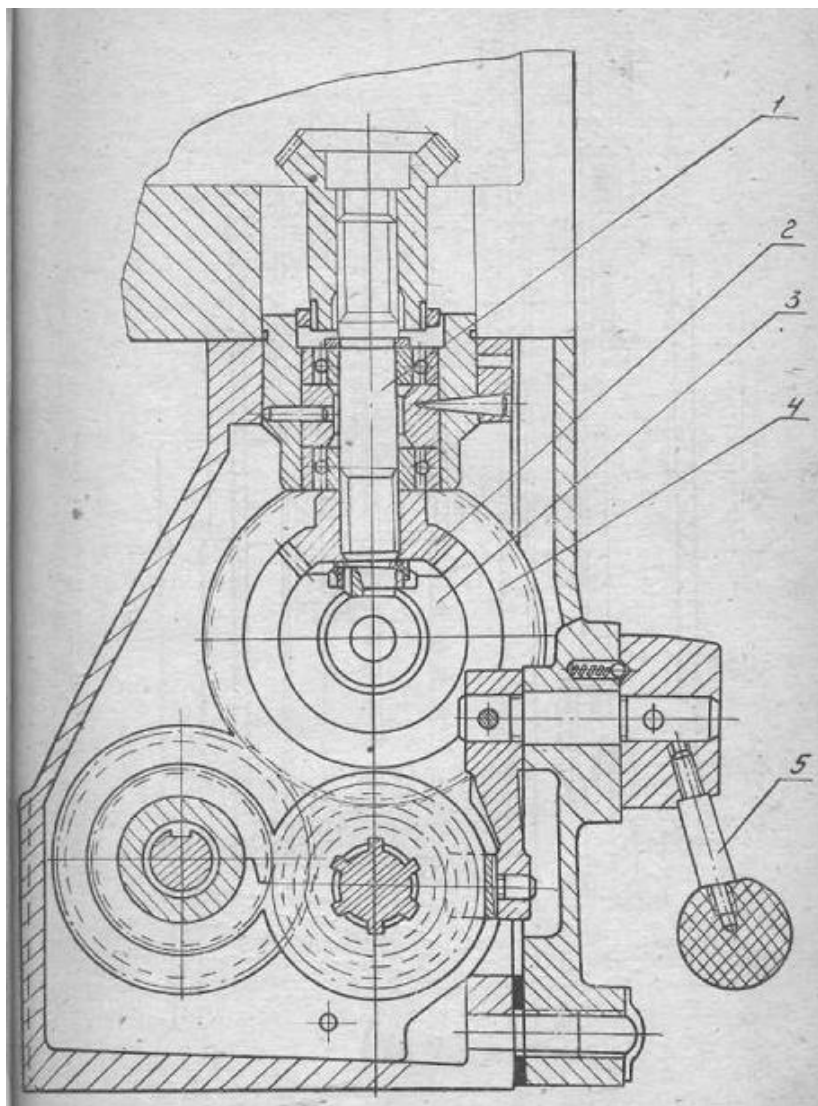


Рисунок 1.7 – Фартух револьверного супорта

Втулка 12 (рис.1.5) переміщуючись вліво через ролик 23 повертає важіль 34, (рис. 1.6), а разом з ним кулачок 30, одночасно відводячи його вправо.

					МР-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Штифти 35 виводять із зачеплення пів муфту 33. При повороті важіль 34 переводє зв'язаний з ним ричаг включення подачі 24 із верхнього фіксованого положення в нижнє. Повздовжня автоматична подача револьверного супорта припиняється.

Для ручного виключення подачі необхідно ричаг 24 відвести вниз.

Привод поперечної (кругової) подачі револьверної головки здійснюється через шестерні 6 (рис. 14), 4; 3 і 2 (рис. 1.7) до вертикального валу 1, а потім до реверсивної конічної передачі (рис. 1.8).

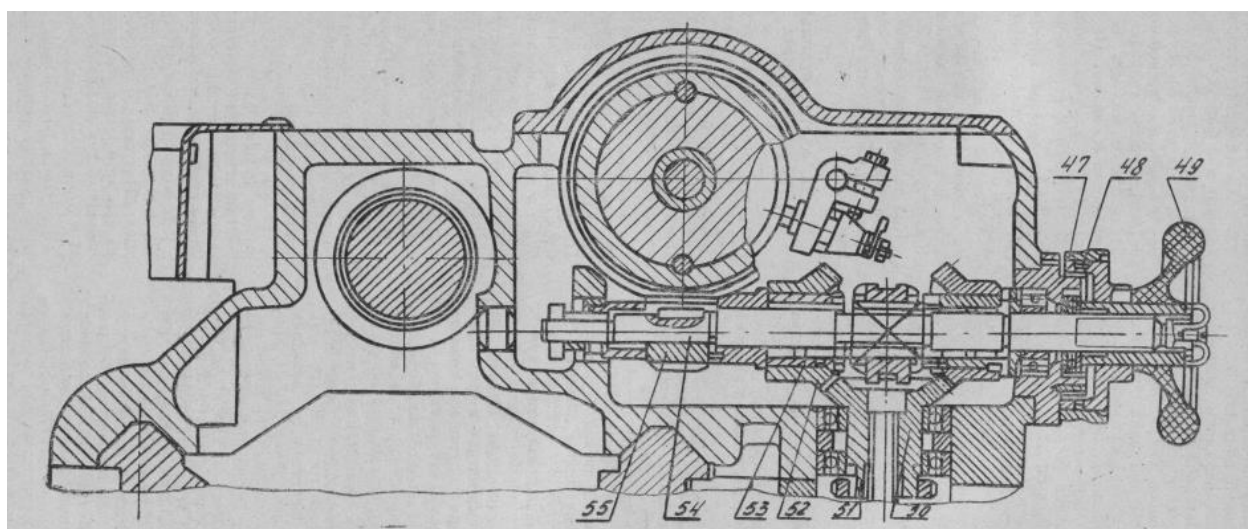


Рисунок 1.8 – Револьверний супорт

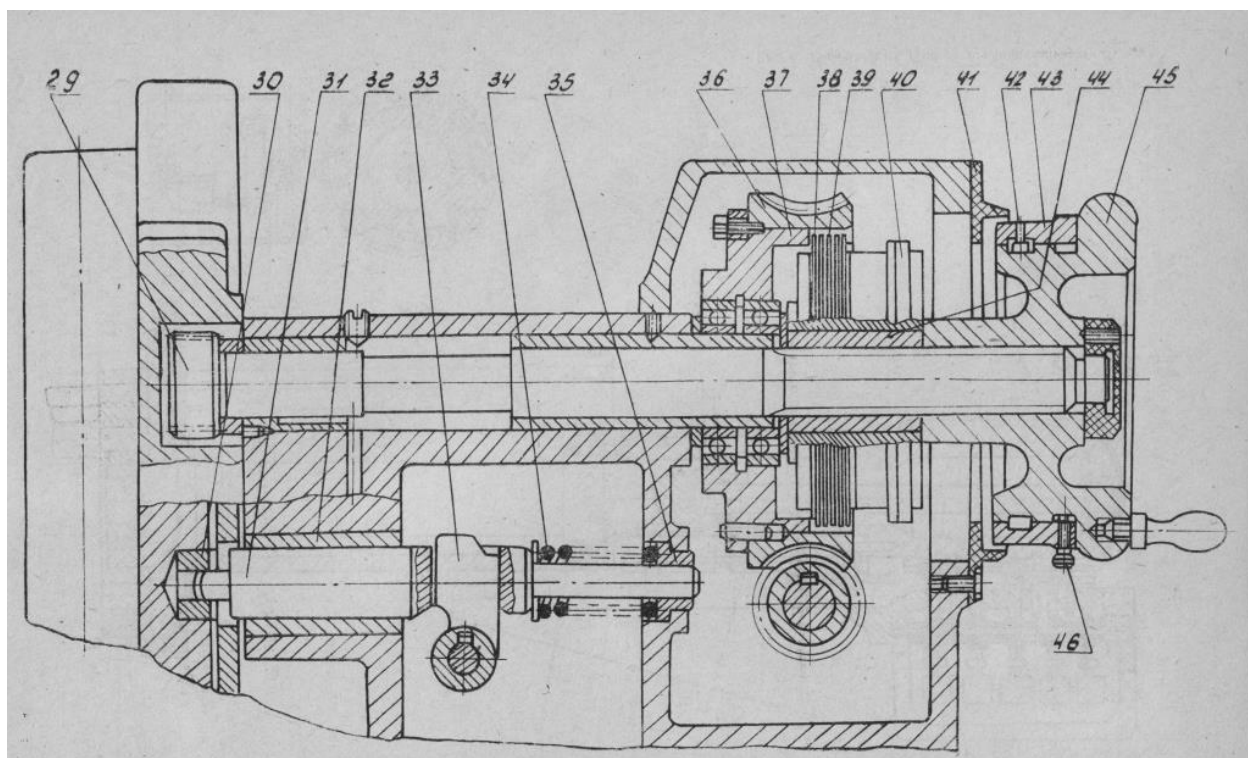


Рисунок 1.9 – Револьверный супорт

2. Обґрунтування модернізації базового верстату моделі 1341

2.1 Напрямки розширення технологічних характеристик токарного верстата

Основними напрямками розширення технологічних характеристик токарного верстата є:

- збільшення номенклатури технологічних операцій, що можуть проводитись на верстаті;
- використання різноманітних матеріалів та видів заготовки;
- використання більш прогресивного інструменту;
- підвищення режимів різання;
- точне налаштування на оптимальні режими різання;
- підвищення якості і точності поверхонь обробки.

Сучасний металорізальний інструмент дозволяє підняти швидкості різання при обробці конструкційних сталей та чавуну, що не може не вплинути на частоти обертання шпинделя верстатів та конструкцію приводу головного руху (ПГР) вцілому. Наприклад, Sandvik Coromant – одна з провідних фірм в світі за виробництвом ріжучого інструменту – пропонує ріжучий інструмент для сталей зі швидкостями різання 220 м/хв і більше. Використання такого інструменту на верстаті 1341 з базовими технічними характеристиками є не доцільним. Бо він розрахований на швидкості різання 80-100 м/хв. Це обумовлює підвищення режимів різання.

Базовий верстат має лише 4 швидкості обертання шпинделя з автоматичним перемиканням та ще 4 при ручному перемиканні рукоятки перебору. А це обумовлює не оптимальне налаштування верстату на потрібні режими різання.

Тому, основними напрямками розширення технологічних характеристик токарно-револьверного верстату в даному дипломі є розширення діапазону

					<i>MR_5101 ЛПБ 00 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

частот обертання шпинделя та застосування безступінчастого регулювання цих частот.

2.2 Аналітично-інформаційне дослідження верстатів аналогів

Аналітично-інформаційне дослідження верстатів різних виробників треба вести за такими технічними характеристиками, як максимальний діаметр заготовки, що можна обробити на даному верстаті, максимальна потужність приводу шпинделя і частота обертання шпинделя.

Виходячи з геометричних параметрів та потужності головного двигуна, найближчими аналогами до базового верстата виявилися наступні верстати.

					<i>МВ-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ</i>	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Токарні верстати фірми Zenitech з ЧПК SIEMENS виробництва Швейцарія (рис. 2.1, табл. 2.1).



Рис. 2.1 – Токарний верстат Zenitech моделі WL360/380 та CL400

Таблиця 2.1 – Основні технічні характеристики

Модель	WL360/380	CL400
Макс. діам. заготовки, мм	400	400
Макс. потужність шпинд., кВт	5,5	5,5
Частота обертання шпинделя, об./хв.	200-3000	100-2000

Токарні верстати фірми DMTG з ЧПК SIEMENS виробництва Китай
(рис. 2.2, табл. 2.2).



Рис. 2.2 – Токарний верстат DMTG моделі SKE 6140Z/750/1000

Таблиця 2.2 – Основні технічні характеристики

Модель	СКЕ 6140Z/750	СКЕ 6140Z/1000
Макс. діам. заготовки, мм	400	400
Макс. потужність шпинд., кВт	5,5	5,5
Частота обертання шпинделя, об./хв.	20-2500	20-2500

Токарні верстати JET (Швейцарія) з ЧПК SIEMENS; Fanuc (рис. 2.3, табл. 2.3).



Рис. 2.3 – Токарний верстат JET моделі JCK-1640S і JCK-1660S

Таблиця 2.3 – Основні технічні характеристики

Модель	JCK-1640S	JCK-1660S
Макс. діам. заготовки, мм	400	400
Макс. потужність шпинд., кВт	5,5	5,5
Частота обертання шпинделя, об./хв.	100-2000	100-2000

Токарний верстат Z-MaT (Китай) з ЧПК GSK, Siemens, Fanuc, Mitsubishi, Syntec (рис. 2.4, табл. 2.4).



Рис. 2.4 – Токарний верстат Z-MaT моделі Flash FTL400

Таблиця 2.4 – Основні технічні характеристики

Модель	Flash FTL400
Макс. діам. заготовки, мм	400
Макс. потужність шпинд., кВт	5,5
Частота обертання шпинделя, об./хв.	2000

Токарно-револьверний верстат моделі 1341 (СРСР) (рис. 2.5, табл. 2.5).

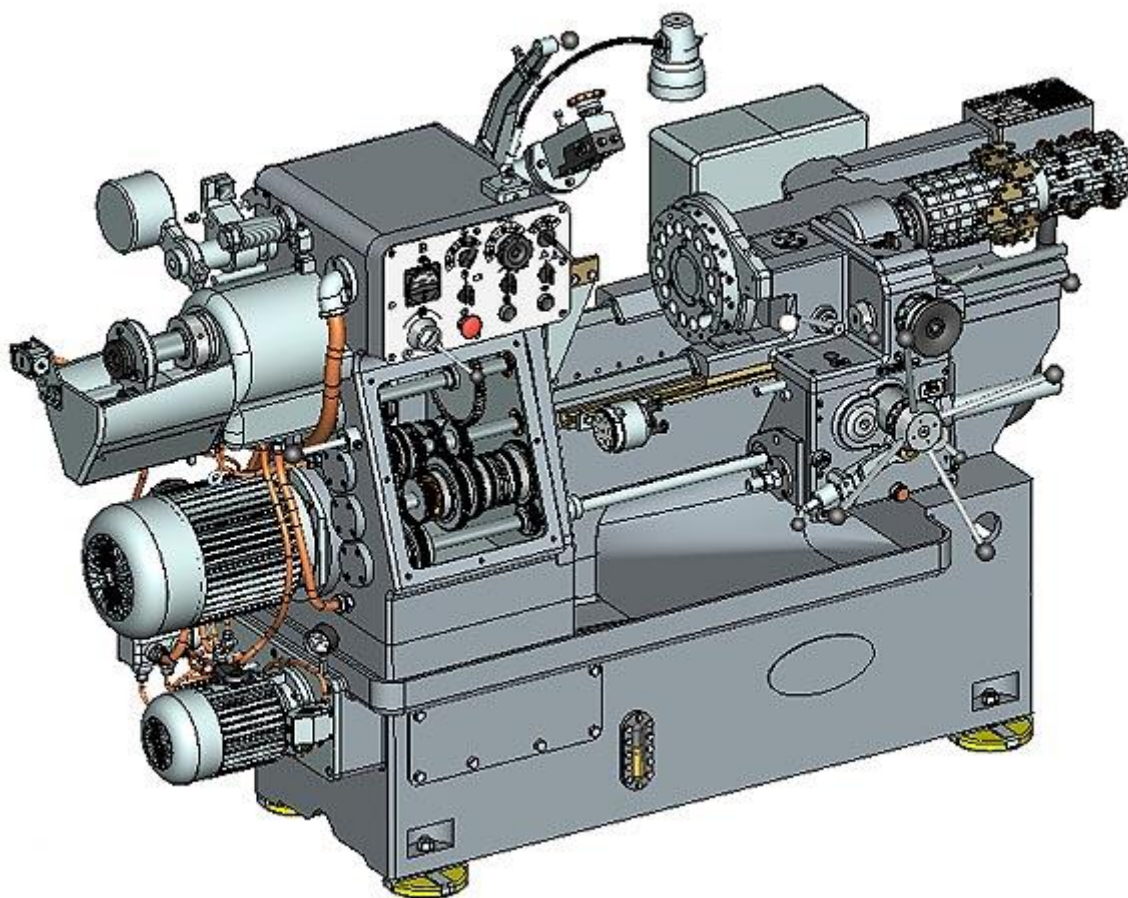


Рис. 2.5 – Токарно-револьверний верстат моделі 1341

Таблиця 2.5 – Основні технічні характеристики

Модель	1341
Макс. діам. заготовки, мм	400
Макс. потужність шпинд., кВт	5,5
Частота обертання шпинделя, об./хв.	60-2000

Висновок

З точки зору розширення технологічних можливостей верстата в бік швидкісної обробки та застосування сучасного ріжучого інструменту доцільним є збільшення частоти обертання шпинделя зі збереженням потужності.

Враховуючи орієнтацію на чистову обробку, для подальших розробок приймаємо наступні значення:

- максимальна частота обертання шпинделя $n_{\max} = 3150$ об/хв;
- мінімальна частота обертання шпинделя $n_{\min} = 31,5$ об/хв;
- потужність двигуна шпинделя $N_{\text{ел}} = 5,5$ кВт

					<i>MR-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ</i>	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Кінематичний розрахунок ПГР

3.1 Обґрунтування та вибір джерела руху

В якості двигунів в приводах верстатів використовуються різноманітні електродвигуни, гідроциліндри, гідродвигуни обертового руху, пневмодвигуни обертового руху. Електродвигуни випускаються регульованими та нерегульованими. Регулювання частоти обертання валу двигуна виконується в двох діапазонах: від мінімальної до номінальної частоти обертання з постійним крутним моментом, від номінальної до максимальної частоти обертання з постійною потужністю.

Для приводів головного руху використовується випадок регулювання частоти обертання від номінальної до максимальної з постійною потужністю в усьому діапазоні.

Основними перевагами безступінчастого регулювання приводів є те, що збільшується продуктивність обробки за рахунок точної настройки на оптимальний режим, можливість плавної зміни швидкості під час обробки, простота автоматизації процесу перемикання швидкостей.

У приводах подачі сучасних верстатів з ЧПУ застосовують високомоментні електродвигуни серії ПБВ із збудженням від постійних магнітів або двигуни постійного струму серії 2ПФ, 4ПФ, ПБС з електромагнітним збудженням. У малих верстатах іноді застосовують малоінерційні двигуни серії ПГ. У всіх випадках доцільно використовувати двигуни з внутрішнім вбудованим тахогенератором.

Правильний вибір електродвигуна, особливо по потужності, правильна його установка мають важливе значення для нормальної роботи верстата. Якщо потужність електродвигуна занижена, то можливості верстата не будуть повністю використані. Завищення потужності веде до систематичного недовантаження електродвигуна і відповідно пониженню ККД.

					<i>MR-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ</i>	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найбільшого розповсюдження в металорізальних верстатах знайшли електромеханічні приводи. Який електропривод в МРВ застосовують:

- асинхронний нерегульований електродвигун в поєднанні зі ступінчастою коробкою передач;
- багатошвидкісний асинхронний електродвигун в поєднанні зі ступінчастою коробкою передач;
- асинхронний нерегульований електродвигун з коробкою передач зі змінними зубчастими колесами;
- асинхронний нерегульований електродвигун в поєднанні з механічним фрикційним варіатором та, в разі необхідності, зі ступінчастою коробкою передач;
- електродвигуни постійного струму з тиристорним керуванням та ступінчастою коробкою передач (для розширення діапазону) для отримання безступінчастого регулювання швидкості.

В нашому випадку використовується двигун постійного струму з тиристорним керуванням 4ПФ112М.

Параметри двигуна:

- потужність двигуна $N_{\text{дв.}} = 5.5 \text{ кВт}$;
- номінальна частота обертання $n_{\text{дв.ном.}} = 5000 \text{ об/хв.}$;
- максимальна частота обертання $n_{\text{дв.макс.}} = 1000 \text{ об/хв.}$

Перевагами двигунів з тиристорним керуванням є можливість значних навантажень, плавний пуск та гальмування, менші енергетичні втрати, стійке регулювання під навантаженням, більш легке обслуговування.

В даному проекті конструюється привод з безступінчастим регулюванням швидкостей. Основними перевагами таких приводів є підвищення продуктивності обробки за рахунок точної наладки

					<i>МР-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

оптимальної по режимам різання швидкості, можливість плавної зміни швидкості під час роботи, простота автоматизації процесу переключення швидкостей.

Для приводів головного руху необхідно забезпечувати постійне значення потужності в усьому діапазоні регулювання швидкостей (від n_{min} до n_{max}).

3.2 Кінематичний розрахунок ПГР

В даному приводі використовуємо вище вибраний двигун 4ПФ112М

1. Діапазон регулювання привода:

$$R_n = \frac{n_{max}}{n_{min}} = \frac{3150}{31.5} = 100$$

2. Так як необхідно забезпечити постійну потужність у всьому діапазоні, то визначаємо діапазон регулювання двигуна з забезпеченням $N=const$:

$$R_{дв.N} = \frac{n_{дв. max}}{n_{дв. nom}} = \frac{5000}{100} = 5$$

3. В нашому випадку $R_{дв.N} < R_n$, тому діапазон двигуна розширюється за допомогою ступінчатої коробки передач. В цьому випадку :

$$R_n = R_{дв.N} \cdot R_{ст.}$$

4. Визначаємо діапазон ступінчатої частини привода :

					MR-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{ст.} = \frac{R_n}{R_{дв.N}} = \frac{100}{5} = 20$$

5. Коробка швидкостей з електромагнітними муфтами та косозубими зубчастими колесами. В цьому випадку:

$$R_{гр.мах} = \frac{i_{мах}}{i_{мін}} = \frac{2.5}{0.25} = 10$$

6. В ступінчастій частині більше однієї групи передач, так як $R_{ст.} > R_{гр.мах}$.
Визначаємо кількість ступінчастих груп:

$$Z_{ст.} = \frac{\log R_n}{\log R_{дв.N}} = \frac{\log 100}{\log 5} = 2.86$$

Приймаємо $Z_{ст.} = 4 = 2 \cdot 2$

7. Електродвигун постійного струму представляється фіктивною кінематичною групою, яка вважається основною. Діапазон регулювання цієї групи:

$$P_{дв.} = \frac{\log R_N}{\log \varphi_{ум.}} + 1 = \frac{\log 5}{\log 1.25} + 1 = 8$$

$$X_{дв.} = 1$$

де $\varphi_{ум}$ - умовний знаменник ряду геометричної прогресії, $\varphi_{ум} = 1.25$

8. Структурна формула:

$$z = 8_1 \cdot 1 \cdot 2_{x_1} \cdot 2_{x_2} \cdot 1$$

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

					<i>MR-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ</i>	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$x_1 = P_{\text{дв.}} - 1 = 8 - 1 = 7$$

$$z = 8_1 \cdot 1 \cdot 2_7 \cdot 2_{x_2} \cdot 1$$

10. Для визначення характеристики другої ступінчатої групи визначаємо:

а) діапазон регулювання першої ступінчатої групи:

$$R_{\text{гр.1}} = \varphi_{\text{ум.}}^{(P_1-1) \cdot x_1} = 1.25^{(2-1) \cdot 7} = 4.77$$

б) діапазон регулювання другої ступінчатої групи :

$$R_{\text{гр.2}} = \frac{R_{\text{ст.}}}{R_{\text{гр.2}}} = \frac{20}{4.77} = 4.19$$

в) характеристика другої ступінчатої групи:

$$x_2 = \frac{\log R_{\text{гр.2}}}{\log \varphi_{\text{ум.}}} = \frac{\log 4.19}{\log 1.25} = 6$$

$$x_2 = 6$$

Остаточна структурна формула має вигляд :

$$z = 8_1 \cdot 1 \cdot 2_7 \cdot 2_6 \cdot 1$$

					MR-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11.Графік чисел обертів :

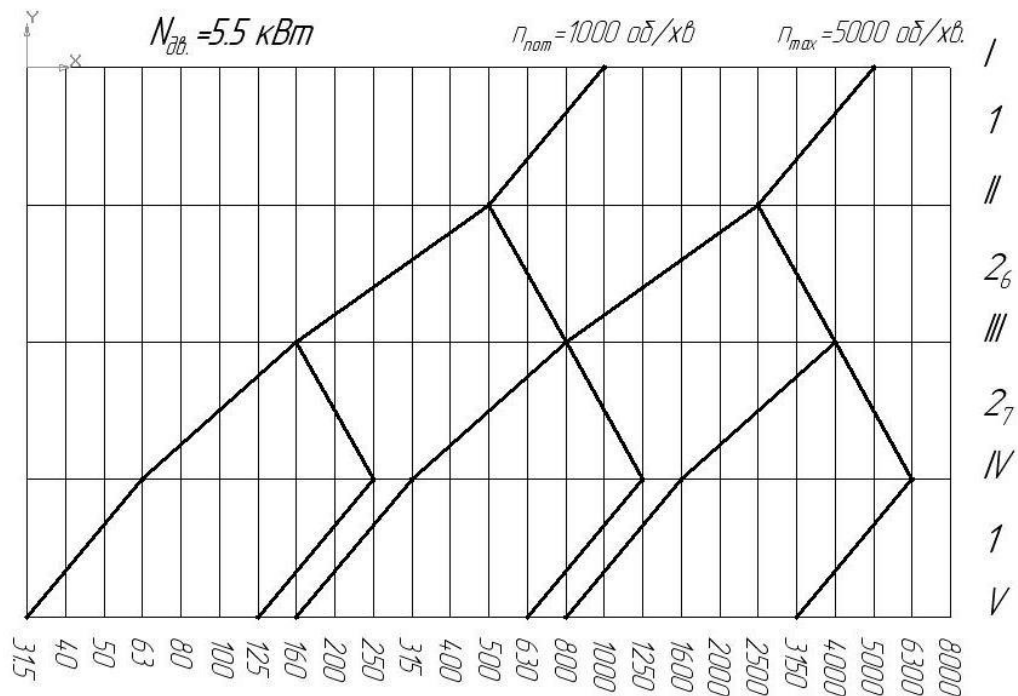


Рисунок 3.1 – Графік чисел обертів

12. Кінематична схема приводу головного руху

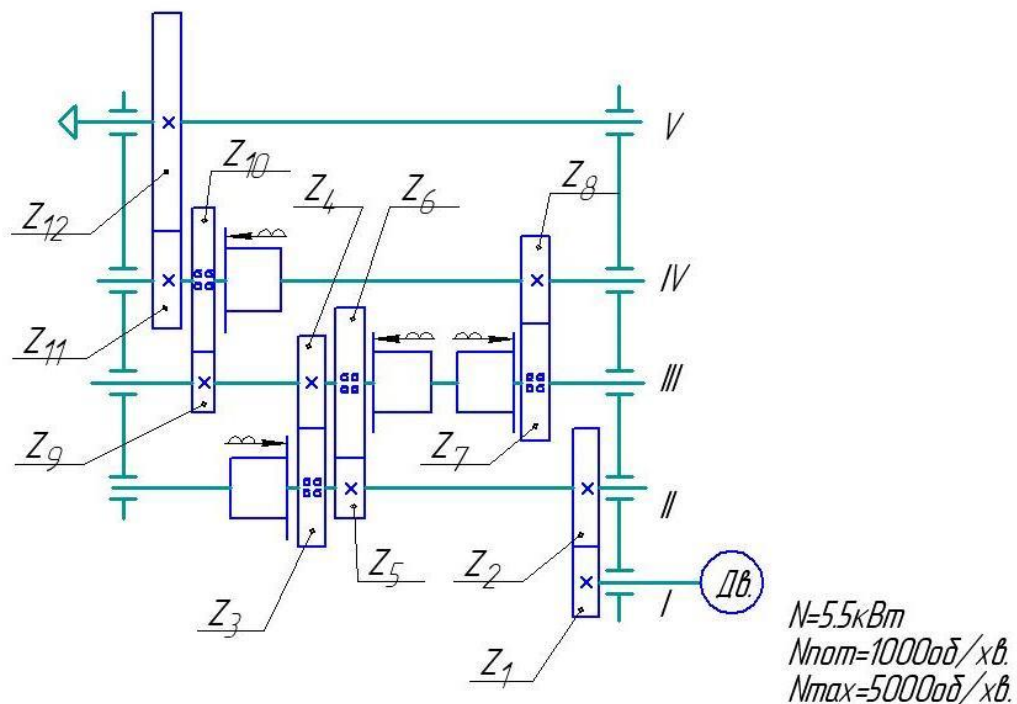


Рисунок 3.2 – Кінематична схема ПГР

13. Знаходимо передаточні відношення та кількість зубців зубчатих коліс:

Передаточне відношення:

Кількість зубців зубчатих коліс:

$$i_1 = \varphi^{-3} = 1,25^{-3}$$

$$z_2 = \frac{z_{\Sigma}}{i_1 + 1} = \frac{75}{0.5 + 1} = 50$$

$$z_1 = z_{\Sigma} - z_2 = 75 - 50 = 25$$

$$i_2 = 1,25^2; z_{\Sigma} = 108$$

$$z_3 = 67; z_4 = 41;$$

$$i_3 = 1,25^{-5}; z_{\Sigma} = 108$$

$$z_5 = 26; z_6 = 82;$$

$$i_4 = 1,25^2; z_{\Sigma} = 107$$

$$z_7 = 66; z_8 = 41;$$

$$i_5 = 1,25^{-4}; z_{\Sigma} = 107$$

$$z_9 = 30; z_{10} = 77;$$

$$i_6 = 1,25^{-3}; z_{\Sigma} = 90$$

$$z_{11} = 30; z_{12} = 60;$$

14. Знаходимо мінімальні діаметри валів:

$$d = (105..125) \cdot \sqrt[4]{\frac{N_e}{n_i \cdot \eta_{ш-i}}},$$

де N_e - ефективна потужність різання;

n_i - частота обертання вала;

$\eta_{ш-i}$ - коефіцієнт корисної дії;

$$d_{ш} = (105..125) \cdot \sqrt[4]{\frac{4}{125 \cdot 0,997^2}} = (44..53) \text{ мм}$$

приймаємо $d_{ш}=80\text{мм}$;

$$d_4 = (105..125) \cdot \sqrt[4]{\frac{4}{250 \cdot 0,997^2 \cdot 0,985}} = (38..45) \text{ мм}$$

приймаємо $d_4=40\text{мм}$;

$$d_3 = (105..125) \cdot \sqrt[4]{\frac{4}{160 \cdot 0,997^6 \cdot 0,985^2}} = (42..50) \text{ мм}$$

приймаємо $d_3=45\text{мм}$;

$$d_2 = (105..125) \cdot \sqrt[4]{\frac{4}{500 \cdot 0,997^8 \cdot 0,985^3}} = (32..38) \text{ мм}$$

					MR-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приймаємо $d_2=36\text{мм}$

15.Потужність холостого ходу:

$$N_{\text{х.х.}} = k \cdot 10^{-6} \cdot d_{\text{сер.}} \cdot \left(\sum n_i + k_{\text{ш}} \cdot \frac{d_{\text{ш}}}{d_{\text{сер}}} \cdot n_{\text{ш}} \right)$$
$$N_{\text{х.х.}} = 4 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{30 \cdot 1 + 35 \cdot 2}{3} \cdot \left(250 + 160 + 500 + 1.5 \cdot \frac{80}{33} \cdot 125 \right) = 0.18 \text{ кВт}$$

де k - коефіцієнт, що характеризує якість виконання приводу, $k = 4$;

$d_{\text{сер.}}$ - середнє арифметичне діаметрів шийок під підшипники на всіх проміжних валах приводу;

$\sum n_i$ - сума частот обертання всіх проміжних валів;

$k_{\text{ш}}$ - коефіцієнт, що характеризує тип опор шпиндельного вузла;

$d_{\text{ш}}$ - середнє арифметичне діаметрів шийок під підшипники на шпинделі;

$n_{\text{ш}}$ - дійсна частота обертання шпинделя.

16.Потрібна потужність двигуна:

$$N_{\text{дв.}} = \frac{N_e \cdot k}{\eta} + N_{\text{х.х.}} = \frac{4 \cdot 1.25}{0.92} + 0.18 = 5.42 \text{ кВт}$$

де k - коефіцієнт запасу, що враховує можливість 25%-го перевантаження двигуна;

η - коефіцієнт корисної дії приводу, $\eta = 0.997^8 \cdot 0.958^4 = 0.92$;

$N_{\text{х.х.}}$ - потужність холостого ходу;

N_e - ефективна потужність різання.

					MB-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Конструкторський розрахунок ПГР

4.1 Розрахунок валів

1. Знаходимо крутний момент на кожному валу:

$$M_{\text{кр.}} = M_5 = \frac{P_z \cdot D}{1000 \cdot 2} = \frac{2141 \cdot 100}{1000 \cdot 2} = 107 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_4 = M_5 \cdot \frac{n_5}{n_4} = 107 \cdot \frac{125}{250} = 53.5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_3 = 53.5 \cdot \frac{250}{160} = 83.6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_2 = 83.6 \cdot \frac{160}{500} = 26.75 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_1 = 26.75 \cdot \frac{500}{1000} = 13.37 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

2. Розраховуємо вали на згин з крученням. Знаходимо максимальне напруження на кожному валу.

Вал 2:

- окружна сила, що діє в зачепленні z_1 - z_2 :
-

$$P_t = \frac{2 \cdot M_2}{d_2} = \frac{2 \cdot 26.75}{100 \cdot 10^{-3}} = 530 \text{ Н}$$

де M_i – момент на i -тому валу, Н·м;

d_i – дільний діаметр зубчастого колеса, м.

- радіальна сила, що діє в зачепленні z_1 - z_2 :

$$P_r = P_t \cdot \tan \alpha = 530 \cdot \tan 20^\circ = 193 \text{ Н}$$

де α – кут зачеплення.

					MR_5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- окружна сила, що діє в зачепленні Z₅-Z₆:

$$P_t = \frac{2 \cdot M_2}{d_5} = \frac{2 \cdot 26.75}{52.962 \cdot 10^{-3}} = 1011 \text{ Н}$$

- радіальна сила, що діє в зачепленні Z₅-Z₆:

$$P_r = P_t \cdot \frac{\tan \alpha}{\cos \beta} = 1011 \cdot \frac{\tan 20^\circ}{\cos 11^\circ} = 375 \text{ Н}$$

де β – кут нахилу зубців.

- осьова сила, що діє в зачепленні Z₅-Z₆:

-

$$P_a = P_t \cdot \tan \beta = 1011 \cdot \tan 11^\circ = 196.5 \text{ Н}$$

Будуємо розрахункову схему навантажень на вал 2.

					<i>MB-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

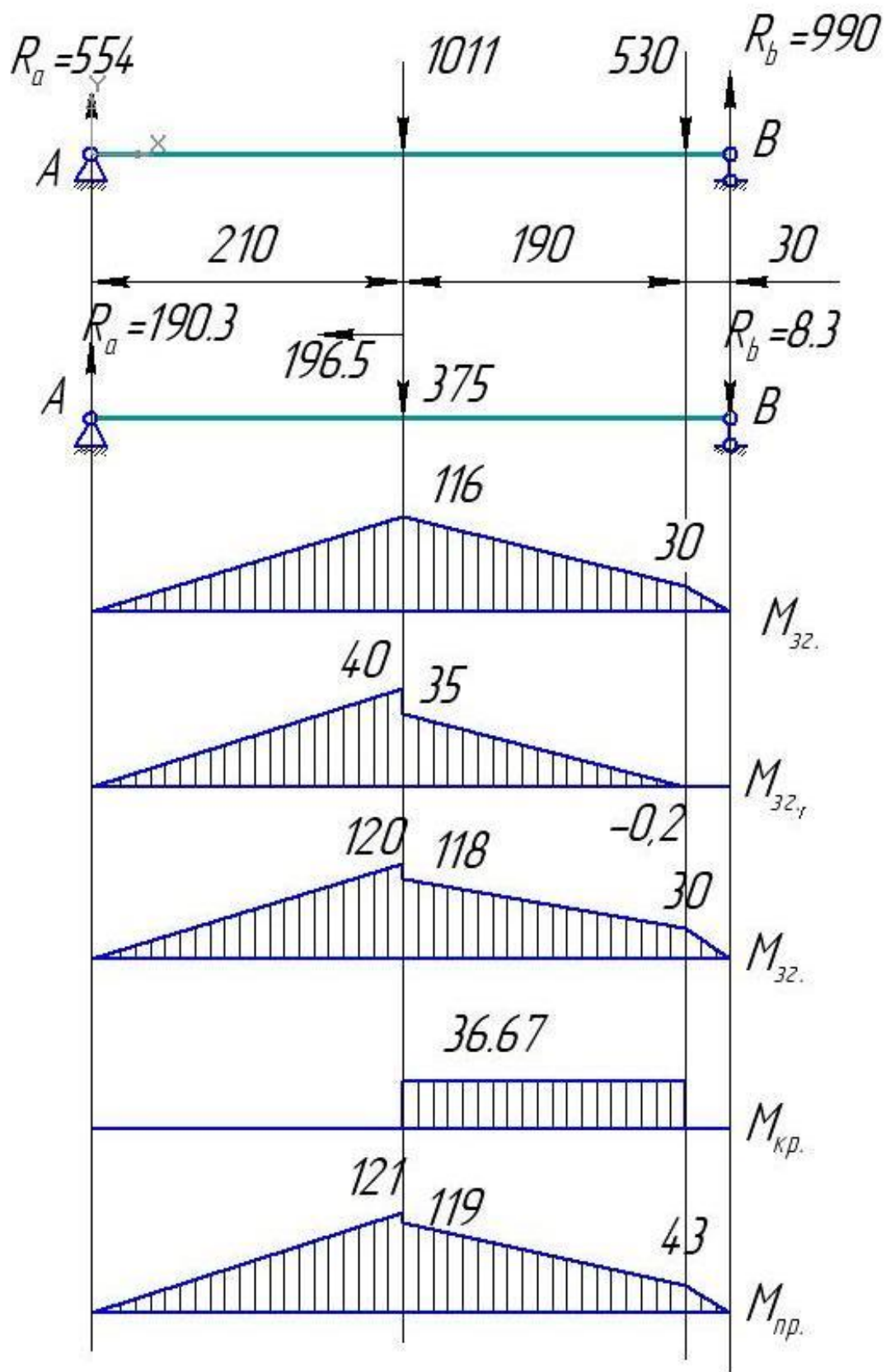


Рисунок 4.1 – Схема навантажень на вал 2

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MB-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ

Арк.

39

Приведений момент визначаємо за формулою:

$$M_{\text{пр.}} = \sqrt{M_{\text{зг.}}^2 + \alpha \cdot M_{\text{кр.}}^2}, \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Вал 3:

- окружна сила, що діє в зачепленні z5-z6: $P_t=1011\text{Н}$
- радіальна сила, що діє в зачепленні z5-z6: $P_r=375\text{Н}$
- осьова сила, що діє в зачепленні z5-z6: $P_a=196,5\text{Н}$
- окружна сила, що діє в зачепленні z7-z8: $P_t=1238\text{Н}$
- радіальна сила, що діє в зачепленні z7-z8: $P_r=463\text{Н}$
- осьова сила, що діє в зачепленні z7-z8: $P_a=294\text{Н}$

Будуємо розрахункову схему навантажень на вал 3.

					<i>MB-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ</i>	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

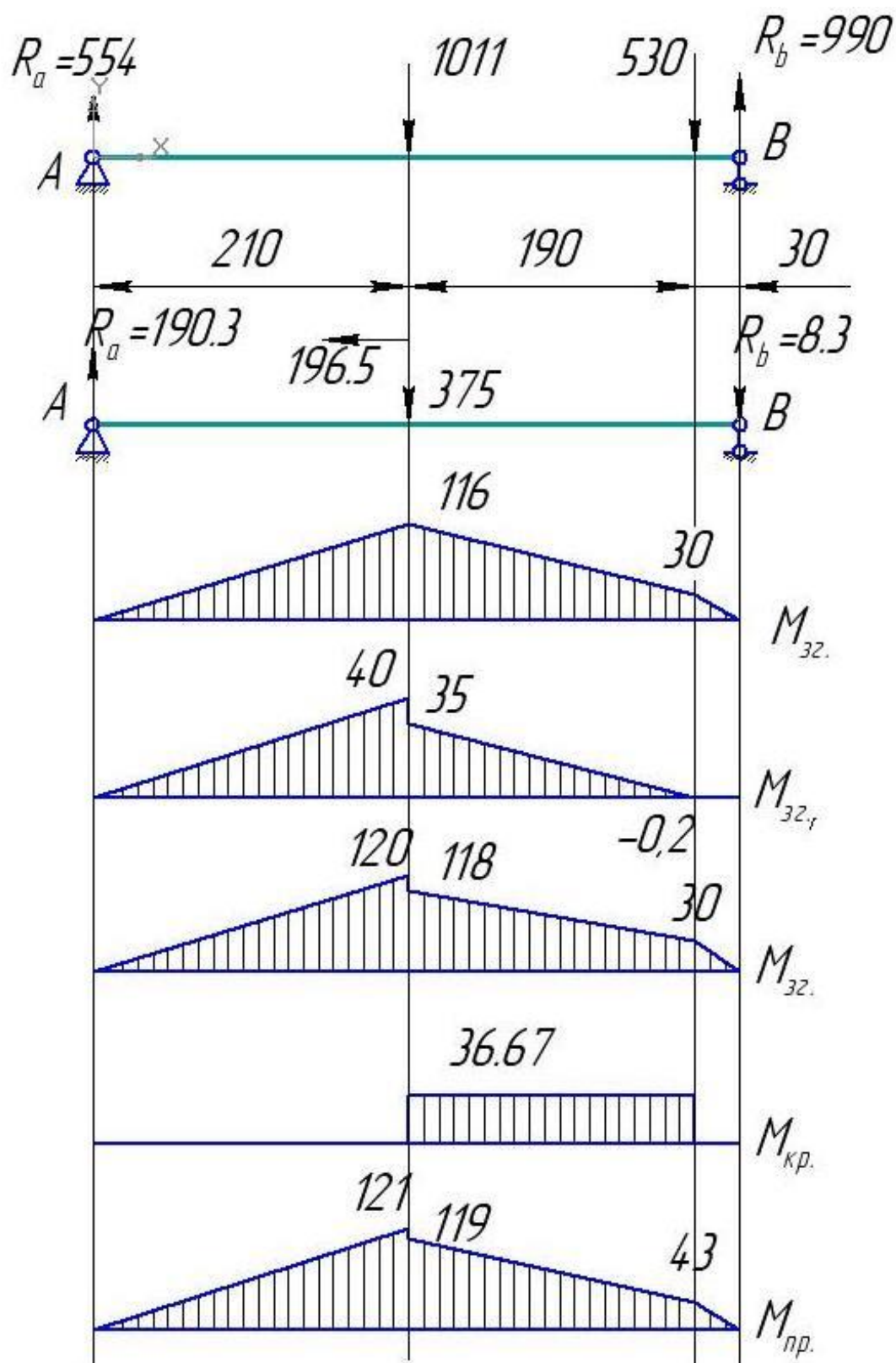


Рисунок 4.2 – Схема навантажень на вал 3

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Вал 4:

- окружна сила, що діє в зачепленні $z_{11}-z_{12}$: $P_t=1180\text{H}$
- радіальна сила, що діє в зачепленні $z_{11}-z_{12}$: $P_r=430\text{H}$
- окружна сила, що діє в зачепленні z_7-z_8 : $P_t=1238\text{H}$
- радіальна сила, що діє в зачепленні z_7-z_8 : $P_r=463\text{H}$
- осьова сила, що діє в зачепленні z_7-z_8 : $P_a=294\text{H}$

Будуємо розрахункову схему навантажень на вал 4.

					<i>MR-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ</i>	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

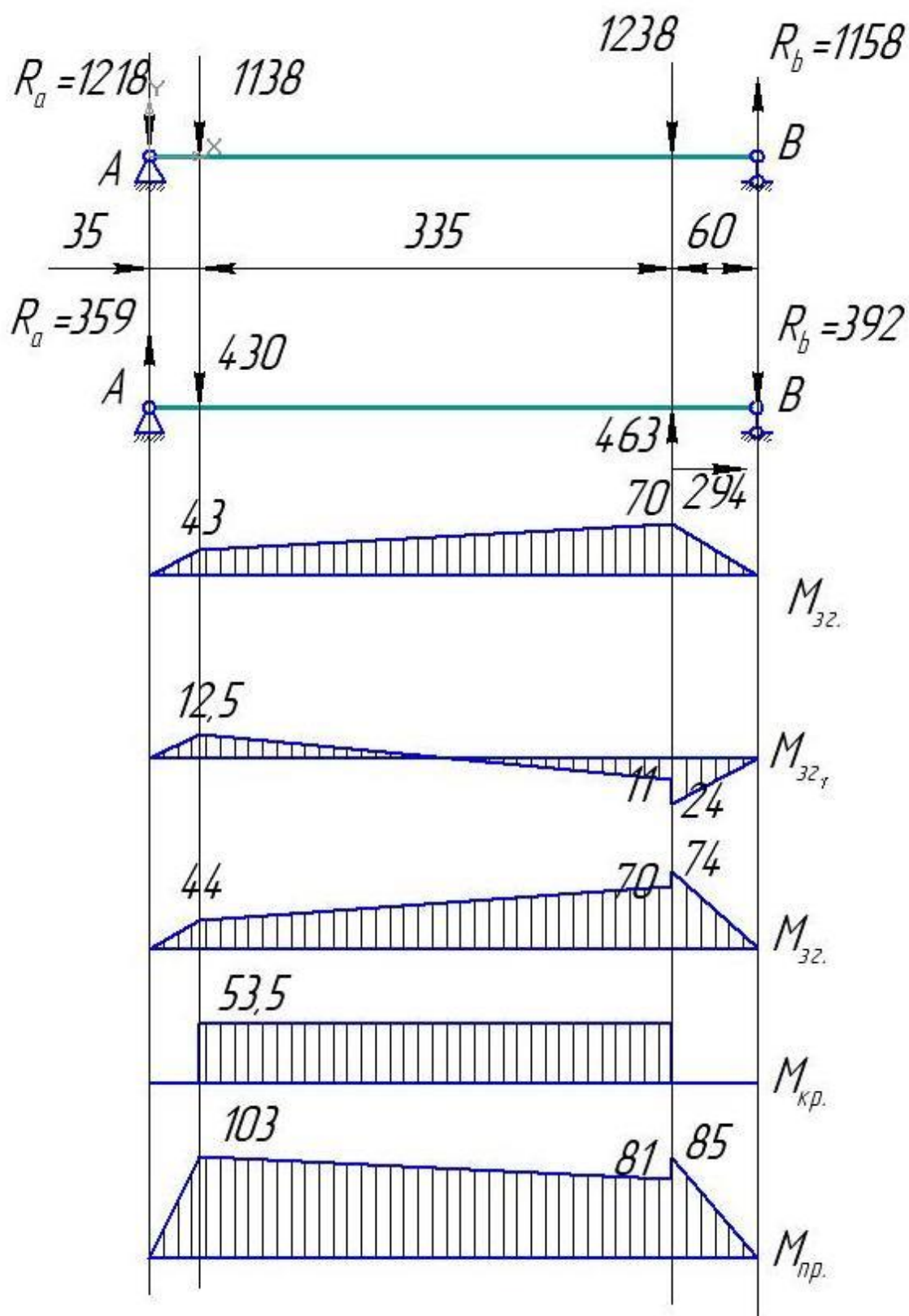


Рисунок 4.3 – Схема навантажень на вал 4

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ

Арк.

43

Вал 5:

- окружна сила, що діє в зачепленні z_{11} - z_{12} : $P_t=1180\text{H}$
- радіальна сила, що діє в зачепленні z_{11} - z_{12} : $P_r=430\text{H}$
- сила різання $P_z=2141\text{H}$
- сила різання $P_y=1285\text{H}$.

Будуємо розрахункову схему навантажень на вал 5.

					<i>MB-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ</i>	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

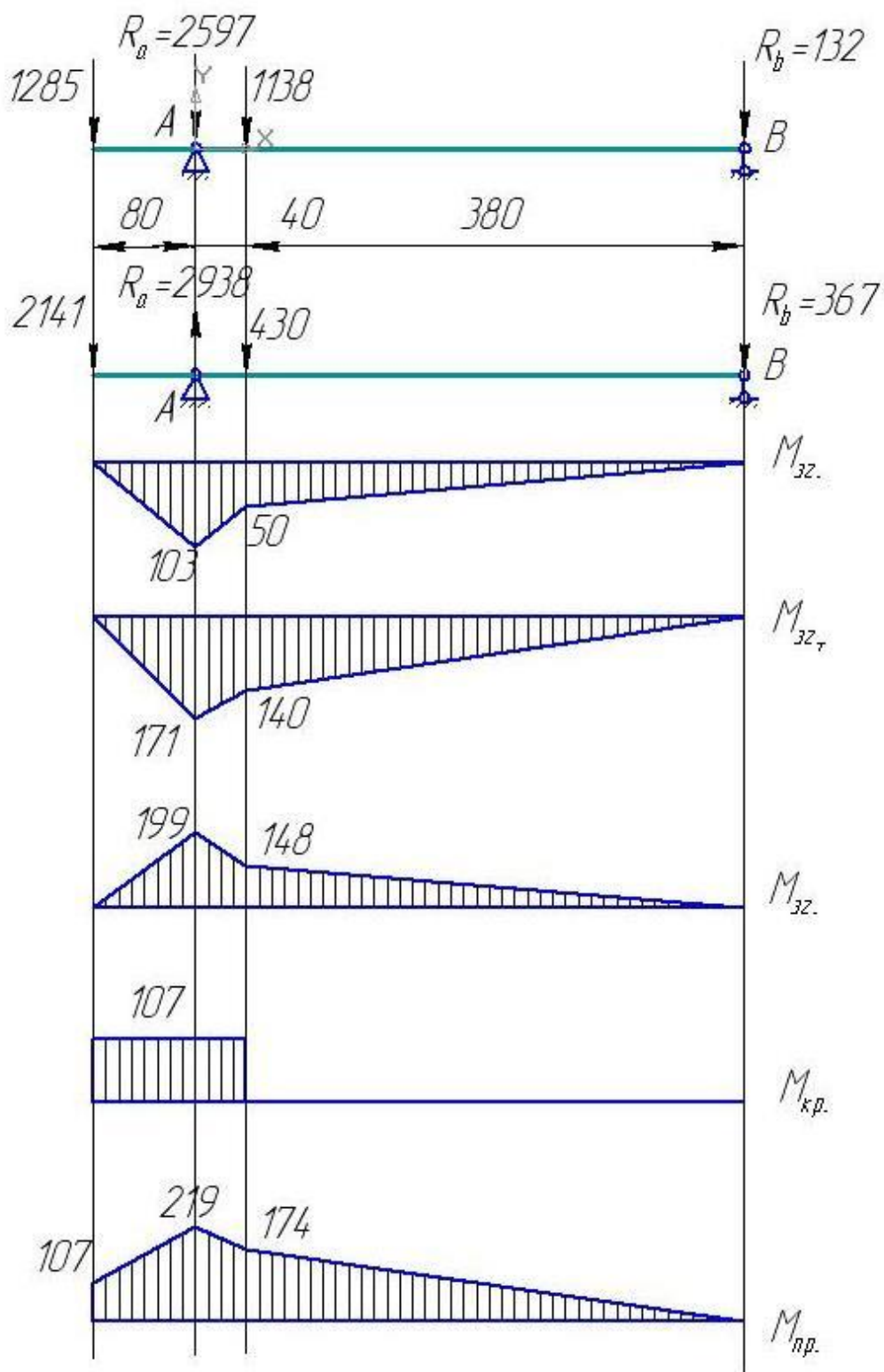


Рисунок 4.4 – Схема навантажень на вал 5

Визначаємо напруження при згині та крученні для кожного валу за формулами:

$$\sigma_{зг.} = \frac{32 \cdot M_{зг.}}{\pi \cdot d^3}, \text{ МПа}$$

$$\tau = \frac{16 \cdot M_{кр.}}{\pi \cdot d^3}, \text{ МПа}$$

звідси:

$$\sigma_2=26,2 \text{ МПа}; \tau_2=2,9 \text{ МПа}$$

$$\sigma_3=16,5 \text{ МПа}; \tau_3=4,7 \text{ МПа}$$

$$\sigma_4=11,8 \text{ МПа}; \tau_4=4,3 \text{ МПа}$$

$$\sigma_5=4,5 \text{ МПа}; \tau_5=1,13 \text{ МПа}$$

Перевірочні розрахунки будемо проводити для найбільш навантаженого валу – валу 2.

а) Перевірочний розрахунок валу на витривалість

Знаходимо коефіцієнти концентрації напруг при згині та крученні за [2]:
 $K_{\sigma D}=1,6$; $K_{\tau D}=1,45$.

Запас міцності для нормальних та дотичних напруг визначається за формулою:

$$n_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma D} \cdot \sigma_a + \psi_{\sigma} \cdot \sigma_m}$$

$$n_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{K_{\tau D} \cdot \tau_a + \psi_{\tau} \cdot \tau_m}$$

де σ_{-1} – границя витривалості матеріалу при згині, МПа

Для сталі 40Х $\sigma_{-1}=450\text{МПа}$

$\sigma_a=\sigma$ – амплітуда напружень, МПа

$\tau_a=\tau$ – амплітуда дотичних напружень, МПа

					<i>MB-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

ψ_σ, ψ_τ – коефіцієнти чутливості матеріалу до знакозмінних навантажень

σ_M, τ_M – середні значення номінальних напружень, МПа

$$\sigma_M = 0; \tau_M = \tau/2 = 2,9/2 = 1,95 \text{ МПа}$$

$$n_\sigma = \frac{450}{1,6 \cdot 26,2} = 10,73$$

$$n_\tau = \frac{250}{1,45 \cdot 2,9 + 0,1 \cdot 1,95} = 48$$

Загальний запас міцності:

$$n = \frac{n_\sigma \cdot n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}} = \frac{10,73 \cdot 48}{\sqrt{10,73^2 + 48^2}} = 10,5 > [n] = 2,5$$

б) Перевірочний розрахунок вала на статичну міцність.

Еквівалентне напруження для небезпечного перерізу вала :

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{\sigma_{\text{max}}^2 + 3\tau_{\text{max}}^2} \leq [\sigma]$$

$$\sigma_{\text{екв}} = 26,7 \text{ МПа}, [\sigma]_{\text{max}} = 0,6\sigma_\tau = 0,6 \cdot 800 = 480 \text{ МПа}$$

$$b \sigma_{\text{екв}} = 27,6 < [\sigma]_{\text{max}} = 480$$

в) Розрахунок вала на жорсткість.

Визначення прогину вала в точці під зубчастим колесом z5:

$$y = \frac{P \cdot a^2 \cdot b^2}{3 \cdot E \cdot I \cdot l} = \frac{1078 \cdot 0,21^2 \cdot 0,22^2}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 0,17 \cdot 10^{-5} \cdot 0,43} = 0,005 \text{ мм} < [y] = 0,0003l = 0,129 \text{ мм}$$

де Q – сила, що діє на вал, Н;

l – відстань між опорами, мм;

E – модуль пружності, Па;

I – осьовий момент інерції перерізу, м⁴

Визначення кутів прогину валу:

					MR_5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\theta_A = \frac{P \cdot a \cdot b \cdot (l + b)}{6 \cdot E \cdot I \cdot l} = \frac{1078 \cdot 0.21 \cdot 0.22 \cdot (0.43 + 0.22)}{6 \cdot 2.1 \cdot 10^{11} \cdot 0.17 \cdot 10^{-5} \cdot 0.43} = 3.5 \cdot 10^{-5} < [\theta] = 0.01 \text{ рад}$$

Кут закручування вала

$$\varphi = \frac{M_{кр.}}{G \cdot I_p} \cdot \frac{180}{\pi} \leq [\varphi]; \quad \varphi = \frac{195 \cdot 180}{8 \cdot 10^{10} \cdot 1.6 \cdot 10^{-7} \cdot \pi} = 0.12 < [\varphi] = 0.5 \text{ град/м}$$

де G – модуль зсуву, Па;

I_p – полярний момент інерції поперечного перерізу вала, м⁴.

Розрахунок вала на критичну швидкість обертання.

$$n_{кр} = \frac{30 \cdot \omega_{кр}}{\pi} = \frac{30}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{y}} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{9.81}{0.005 \cdot 10^{-3}}} = 13380 \text{ хв}^{-1}$$

$$n_{max} = 2500 \text{ хв}^{-1} < 0.7 \cdot n_{кр} = 9360 \text{ хв}^{-1}$$

4.2 Розрахунок зубчастих коліс

Перевірочні розрахунки виконаємо на прикладі найбільш навантаженого зубчатого зачеплення Z7-Z8.

Перевірочний розрахунок на витривалість при згині виконується за формулами:

$$\sigma_F = Y_F \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_\beta \cdot \frac{W_{Ft}}{m} \leq \sigma_{FP}, \text{ МПа}$$

$$W_{Ft} = \frac{P_\tau}{b_\omega} \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta} \cdot K_{Fv}, \text{ Н / мм}$$

$$\sigma_{FP} = \frac{\sigma_{F\lim}}{S_F} \cdot Y_R \cdot Y_S \cdot R_{xF}, \text{ МПа}$$

					MR_5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

де $Y_F=3,7$ – коефіцієнт, що враховує форму зуба;

$Y_\varepsilon=1$ – коефіцієнт, що враховує перекриття зубців;

$Y_\beta=0,9$ – коефіцієнт, що враховує нахил зубців;

W_{Ft} – питома розрахункова окружна сила, Н;

m – модуль зачеплення, мм;

b_w – ширина зубчастого колеса, мм;

$K_{F\alpha}=0,59$ – коефіцієнт, що враховує розподілення навантаження між зубцями;

$K_{F\beta}=1,2$ – коефіцієнт, що враховує розподілення навантаження по ширині вінця;

$K_{Fv}=1,07$ – коефіцієнт, що враховує динамічні навантаження в зачепленні;

$\sigma_{Flim}=600\text{МПа}$ – границя витривалості зубців при згині;

$S_F=1,95$ – коефіцієнт, що враховує нестабільність властивостей матеріалу;

$Y_s=1,05$ – коефіцієнт, що враховує градієнт напружень та чутливість матеріалу до концентраторів напружень;

$Y_R=1$ – коефіцієнт, що враховує шорсткість поверхні;

$K_{xF}=1$ – коефіцієнт, що враховує розміщення зубчастого колеса.

$$W_{Ft} = \frac{1238}{18} \cdot 0,59 \cdot 1,2 \cdot 1,07 = 52,1 \text{ Н / мм}$$

$$\sigma_{FP} = \frac{600}{1,95} \cdot 1 \cdot 1,05 \cdot 1 = 504 \text{ МПа}$$

$$\sigma_F = 3,7 \cdot 1 \cdot 0,9 \frac{52,1}{2} = 87 \text{ МПа} \leq \sigma_{FP}$$

Перевірочний розрахунок на контактну витривалість виконується за формулами:

					MB-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_H = Z_H \cdot Z_M \cdot Z_\varepsilon \cdot \sqrt{\frac{W_{Ht}}{d_1} \cdot \frac{u+1}{u}} \leq \sigma_{HP}, \text{МПа}$$

$$W_{Ht} = \frac{P}{b_w} \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{Hv}, H / \text{мм}$$

$$\sigma_{HP} = \frac{\sigma_{H\lim}}{S_H} \cdot Z_R \cdot Z_v \cdot K_{HL} \cdot K_{xH}, \text{МПа}$$

де $Z_H=1,73$ – коефіцієнт, що враховує форму зуба;

$Z_\varepsilon=0,76$ - коефіцієнт, що враховує сумарну довжину контактних ліній;

$Z_M=275$ – коефіцієнт, що враховує механічні властивості матеріалів;

W_{Ht} – питома розрахункова окружна сила, Н;

b_w – ширина зубчастого колеса, мм;

$K_{H\alpha}=1,03$ – коефіцієнт, що враховує розподілення навантаження між зубцями;

$K_{H\beta}=1,1$ – коефіцієнт, що враховує розподілення навантаження по ширині вінця;

$K_{Hv}=1,07$ – коефіцієнт, що враховує динамічні навантаження в зачепленні;

$\sigma_{H\lim}=960\text{МПа}$ – границя контактної витривалості поверхні зубців;

$S_H=1,1$ – коефіцієнт безпеки;

$Z_v=1,06$ – коефіцієнт, що враховує окружну швидкість;

$Z_R=0,95$ – коефіцієнт, що враховує шорсткість поверхні;

$K_{xH}=1$ – коефіцієнт, що враховує розмір зубчастого колеса;

$K_{HL}=1$ – коефіцієнт довговічності.

$$W_{Ht} = \frac{1238}{18} \cdot 1,03 \cdot 1,1 \cdot 1,07 = 83,4 H / \text{мм}$$

$$\sigma_{HP} = \frac{960}{1,1} \cdot 0,95 \cdot 1,06 \cdot 1 \cdot 1 = 878 \text{МПа}$$

$$\sigma_H = 1,73 \cdot 275 \cdot 0,76 \cdot \sqrt{\frac{83,4}{84,296} \cdot \frac{0,62+1}{0,62}} = 581 \text{МПа} \leq \sigma_{HP}$$

					MR_5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3 Розрахунок підшипників

Розрахунок виконуємо для підшипників проміжних валів коробки швидкостей.

Вал 2.

В якості опор для вала 2 використовуємо шарикові радіальні підшипники 306 ГОСТ 8338-75, динамічна вантажопідйомність яких за каталогом $C_0=15100H$.

Радіальні сили, що діють на опори:

$$F_{rA} = \sqrt{R_{A\theta}^2 + R_{A\varphi}^2} = \sqrt{554^2 + 190,3^2} = 585H$$

$$F_{rB} = \sqrt{R_{B\theta}^2 + R_{B\varphi}^2} = \sqrt{990^2 + 8,3^2} = 990H$$

Осьова сила, що діє на підшипник $F_a=196,5H$

За табл. 6.1. [2] визначаємо коефіцієнти $X=0,56$, $Y=2,3$, $V=1$.

Визначаємо еквівалентне навантаження для більш навантаженої опори:

$$P = (XVF_r + YF_a) \cdot K_\sigma \cdot K_T = (0,56 \cdot 1 \cdot 990 + 2,3 \cdot 196,5) \cdot 1,2 \cdot 1,05 = 1268H$$

де K_σ – коефіцієнт безпеки;

K_T – температурний коефіцієнт.

За табл. 21 додатку [2]

$$\frac{C}{P} = 6,7$$

					<i>MB-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ</i>	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді потрібна динамічна вантажопідйомність $C = 6,7 \cdot P = 6,7 \cdot 1268 = 8500H$, що менше вантажопідйомності за каталогом.

Номінальна довговічність підшипника:

$$L = \left(\frac{C}{P} \right)^3 = \left(\frac{8500}{1283} \right)^3 = 290 \text{ млн. об}$$

Вал 3:

В якості опор для вала 3 використовуємо шарикові радіальні підшипники 307 ГОСТ 8338-75, динамічна вантажопідйомність яких за каталогом $C_0 = 17900H$.

Радіальні сили, що діють на опори:

$$F_{rA} = \sqrt{688^2 + 42^2} = 689H$$

$$F_{rA} = \sqrt{1560^2 + 130^2} = 1565H$$

Осьова сила, що діє на підшипник $F_a = 267H$

За табл. 6.1. [2] визначаємо коефіцієнти $X=0,56$, $Y=2,3$, $V=1$.

Визначаємо еквівалентне навантаження для більш навантаженої опори:

$$P = (0,56 \cdot 1 \cdot 1565 + 2,3 \cdot 267) \cdot 1,2 \cdot 1,05 = 1878H$$

За табл. 21 додатку [2]

$$\frac{C}{P} = 4,56$$

					MR-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді потрібна динамічна вантажопідйомність $C = 4,56 \cdot 1878 = 8563H$, що менше вантажопідйомності за каталогом.

Номінальна довговічність підшипника:

$$L = \left(\frac{C}{P} \right)^3 = \left(\frac{8563}{1878} \right)^3 = 95 \text{ млн.об}$$

Вал 4:

В якості опор для вала 4 використовуємо шарикові радіальні підшипники 307 ГОСТ 8338-75, динамічна вантажопідйомність яких за каталогом $C_0 = 17900H$.

Радіальні сили, що діють на опори:

$$F_{rA} = \sqrt{1218^2 + 359^2} = 1269H$$

$$F_{rA} = \sqrt{1158^2 + 392^2} = 1222H$$

Осьова сила, що діє на підшипник $F_a = 294H$

За табл. 6.1. [2] визначаємо коефіцієнти $X=0,56$, $Y=2,3$, $V=1$.

Визначаємо еквівалентне навантаження для більш навантаженої опори:

$$P = (0,56 \cdot 1 \cdot 1269 + 2,3 \cdot 294) \cdot 1,2 \cdot 1,05 = 1747H$$

За табл. 21 додатку [2]

$$\frac{C}{P} = 5,32$$

					МВ-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді потрібна динамічна вантажопідйомність $C = 5,32 \cdot 1747 = 9295 \text{ Н}$, що менше вантажопідйомності за каталогом.

Номінальна довговічність підшипника:

$$L = \left(\frac{C}{P} \right)^3 = \left(\frac{9295}{1747} \right)^3 = 150 \text{ млн.об}$$

4.4 Розрахунок напрямних

Для виконання розрахунку напрямних будується розрахункова схема (рис. 4.5 та 4.6) навантажень, що діють на напрямні та револьверний супорт.

Моменти зовнішніх сил відносно осей координат:

$$M_x = P_z \cdot y_p + P_y \cdot z_p + G \cdot y_G = 2141 \cdot 0.1 + 1000 \cdot 0.16 + 2000 \cdot 0.04 = 454 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_y = P_z \cdot x_p + P_x \cdot z_p + G \cdot x_G = 2141 \cdot 0.2 + 500 \cdot 0.16 + 2000 \cdot 0.03 = 808 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_z = P_y \cdot x_p + P_x \cdot y_p = 1000 \cdot 0.2 + 500 \cdot 0.16 = 280 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Тягове зусилля Q:

$$Q = \frac{P_x + f \cdot \left(1.41 \cdot P_z + 1.41 \cdot G - 0.41 \frac{M_x}{e} \right)}{1 - 1.41 \cdot f \cdot \tan(\alpha_0 + \varphi_0)}$$

$$Q = \frac{500 + 0.1 \cdot \left(1.41 \cdot 500 + 1.41 \cdot 2000 - 0.41 \cdot \frac{454}{0.24} \right)}{1 - 1.41 \cdot 0.1 \cdot \tan(20 + 5)} = 1000 \text{ Н}$$

$$Q_z = Q \cdot \tan(\alpha_0 + \varphi_0) = 1000 \cdot \tan(20 + 5) = 470 \text{ Н}$$

					MR-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

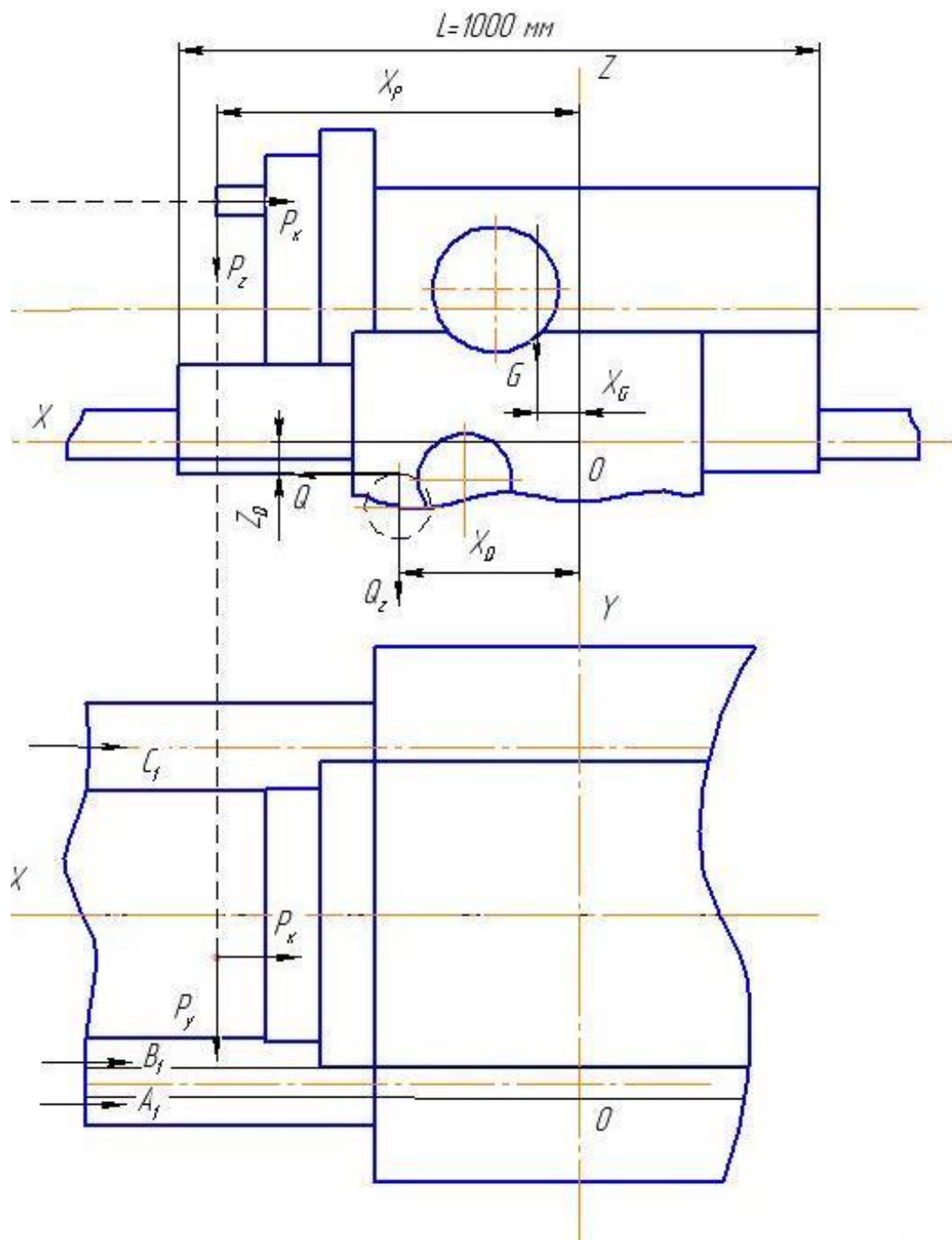


Рисунок 4.5 – Розрахункова схема навантажень

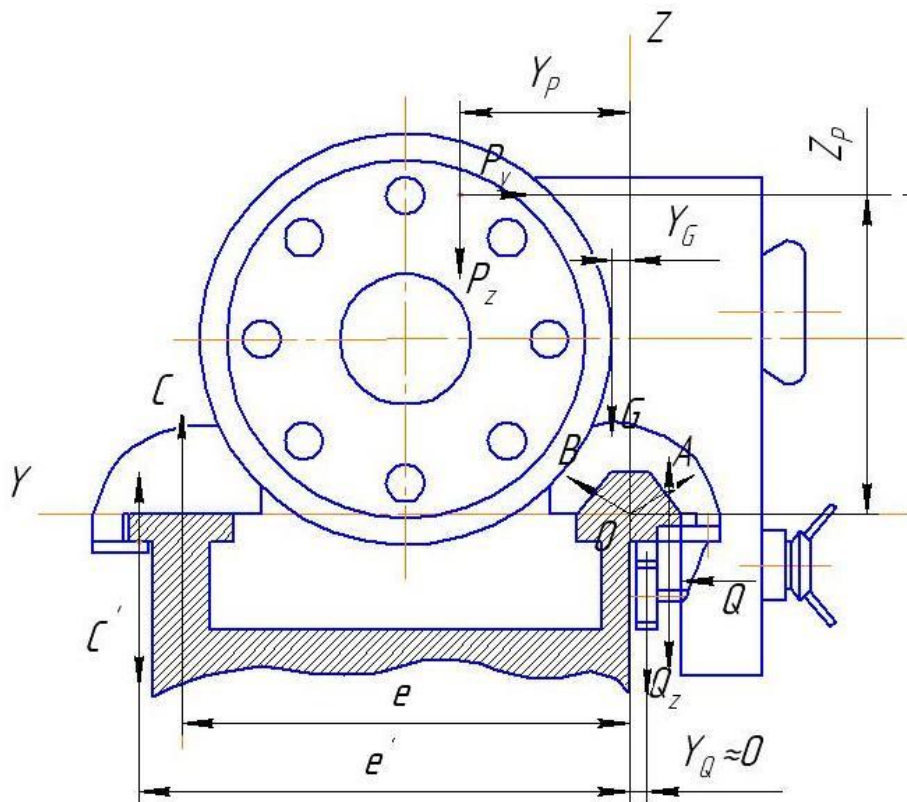


Рисунок 4.6 – Розрахункова схема навантажень

Моменти зовнішніх та тягових зусиль:

$$M'_x = M_x + Q_z \cdot y_Q = 454 + 470 \cdot 0 = 454 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M'_y = M_y + Q_z \cdot x_Q + Q \cdot z_Q = 808 + 470 \cdot 0.1 + 1000 \cdot 0.06 = 915 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M'_z = M_z + Q \cdot y_Q = 280 + 1000 \cdot 0 = 280 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Визначаємо реакції та середні тиски на гранях напрямних:

$$C' = \frac{M'_x}{e} = \frac{280}{0.24} = 1166 \text{ Н}$$

$$A = (P_z + G + Q_z - C) \cdot \sin \beta - P_y \cdot \cos \beta$$

$$A = (2141 + 2000 + 470 - 1176) \cdot \sin 45^\circ - 1000 \cdot \cos 45^\circ = 1711.5 \text{ Н}$$

$$B = (P_z + G + Q_z - C) \cdot \sin \alpha + P_y \cdot \cos \alpha$$

					МВ-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

$$B = (2141 + 2000 + 470 - 1166) \cdot \sin 45^\circ + 1000 \cdot \cos 45^\circ = 3111.5 \text{ Н}$$

$$C = \frac{C'}{\sqrt{2}} = \frac{1166}{\sqrt{2}} = 830 \text{ Н}$$

$$\sigma_A = \frac{A}{a \cdot L} = \frac{1711.5}{20 \cdot 1000} = 0.085 \text{ МПа}$$

$$\sigma_B = \frac{B}{b \cdot L} = \frac{3111.5}{20 \cdot 1000} = 0.16 \text{ МПа}$$

$$\sigma_C = \frac{C}{c \cdot L} = \frac{830}{20 \cdot 1000} = 0.05 \text{ МПа}$$

де a, b, c, d – ширина граней напрямних, мм.

Визначаємо пружні переміщення в напрямних:

- тиск на приведеній горизонтальній грані

$$\sigma'_{AB} = \sigma_B \cdot \cos \alpha - \sigma_A \cdot \cos \beta = 0.16 \cdot \cos 45^\circ - 0.085 \cdot \cos 45^\circ = 0.052 \text{ МПа}$$

- тиск на приведеній вертикальній грані

$$\sigma''_{AB} = \sigma_A \cdot \cos \alpha + \sigma_B \cdot \cos \beta = 0.085 \cdot \cos 45^\circ + 0.16 \cdot \cos 45^\circ = 0.17 \text{ МПа}$$

Кут повороту салазок в поперечній площині:

$$\varphi_x = \frac{k \cdot (\sigma''_{AB} - \sigma_C)}{e} = \frac{1 \cdot (1.7 - 0.5)}{2.4} = 0.5 \text{ мкм/см}$$

де k – коефіцієнт контактної податливості напрямних, мкм·см²/кг.

Пружні переміщення точки О (початку координат) в напрямі осей y і z :

$$\delta_{y0} = k \cdot \sigma'_{AB} = 1 \cdot 0.52 = 0.52 \text{ мкм}$$

$$\delta_{z0} = \frac{k \cdot (\sigma'_{AB} + \sigma_C)}{2} = \frac{1 \cdot (1.7 + 0.5)}{2} = 1.1 \text{ мкм}$$

					MR_5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

4.5 Розрахунок шпонкових з'єднань

Оскільки в даній коробці швидкостей використовується електромагнітні муфти для передачі обертового руху між валами то проводимо розрахунок для шпонок.

Основним перевірочним розрахунком шпоночних з'єднань є розрахунок шпонок на зминання, що здійснюється за умовами міцності на зминання:

$$\sigma_{\sigma i} = \frac{2T_{\sigma i}}{d \cdot l_p \cdot (h - t_1)} \leq [\sigma_{\sigma i}],$$

де $T_{кр}$ – крутний момент на валу, *нм*;

d – діаметр вала, *мм*;

h – висота шпонки, *мм*;

t_1 – глибина паза шестерні, *мм*;

l_p – робоча довжина шпонки, *мм*.

Розраховуємо шпонкове з'єднання для першого вала:

Шпонка 10×8×28 *ГОСТ 8789–68*; $t_1 = 3,3$ мм; $T_{\sigma i} = 103,95$ Нм, $d_1 = 32$ мм

$$\sigma_{\sigma i} = \frac{2T_{\sigma i}}{d_1 \cdot l_{p1} \cdot (h - t_1)} = \frac{2 \cdot 103,95}{0,032 \cdot (0,008 - 0,005) \cdot 0,028} = 49,3$$
 МПа $\leq [\sigma_{\sigma i}] = 150$ МПа

Розраховуємо шпоночне з'єднання для другого вала:

Шпонка 12×8×40 *ГОСТ 8789–68*; $t_1 = 3,3$ мм; $T_{\sigma II} = 187,6$ Нм; $d_{II} = 40$ мм

$$\sigma_{\sigma i} = \frac{2T_{\sigma II}}{d_{II} \cdot l_{p2} \cdot (h - t_1)} = \frac{2 \cdot 187,6}{0,040 \cdot (0,008 - 0,0033) \cdot 0,040} = 49,8$$
 МПа $\leq [\sigma_{\sigma i}] = 150$ МПа

Розраховуємо шпоночне з'єднання для третього вала:

					МР-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Шпонка 16×10×56 $\tilde{A}\hat{I}\tilde{N}\hat{O}$ 8789–68; $t_1 = 4,3\text{ мм}$; $T_{\text{едIII}} = 516,8\text{ Нм}$; $d_{\text{III}} = 53\text{ мм}$

$$\sigma_{\text{сi}} = \frac{2T_{\text{едIII}}}{d_{\text{III}} \cdot l_{\text{p2}} \cdot (h - t_1)} = \frac{2 \cdot 516,8}{0,053 \cdot (0,01 - 0,0043) \cdot 0,056} = 61,1\text{ МПа} \leq [\sigma_{\text{сi}}] = 150\text{ МПа}$$

Розраховуємо шпоночне з'єднання для четвертого вала:

Шпонка 25×14×56 $\tilde{A}\hat{I}\tilde{N}\hat{O}$ 8789–68; $t_1 = 5,4\text{ мм}$; $T_{\text{едIV}} = 2054\text{ Нм}$; $d_{\text{IV}} = 85\text{ мм}$

$$\sigma_{\text{сi}} = \frac{2T_{\text{едIV}}}{d_{\text{IV}} \cdot l_{\text{p2}} \cdot (h - t_1)} = \frac{2 \cdot 2054}{0,085 \cdot (0,014 - 0,0054) \cdot 0,056} = 98,07\text{ МПа} \leq [\sigma_{\text{сi}}] = 150\text{ МПа}$$

Параметри шпонкових з'єднань. Таблиця 4.1

Вал		М _{кр} , Нм	Шпонка			σ _{зм} , МПа	[σ _{зм}], МПа
№пп	d		в×h×l	l _p , мм	t1, мм		
I	32	103,95	10×8×28	28	3,3	49,3	150
II	40	187,6	12×8×40	40	3,3	49,9	150
III	53	516,8	16×10×56	40	4,2	61,1	150
IV	85	2054	25×14×56	55	5,4	98,07	150

З вище приведених розрахунків можна зробити висновок, що отримані результати сил зминання шпонок на валах є меншими за допустимі, а отже шпонки вибрані правильно і задовольняють умови міцності.

5. Розрахунок шпинделя

5.1 Обґрунтування вибору компоновки шпиндельного вузла

Базовий верстат має шпиндель з діаметром у передній опорі $D = 100$ мм, використана компоновка $K_v = 2,0 \cdot 10^5$.

У модернізованому верстаті зберігаємо діаметр шпинделя таким же. Отримуємо коефіцієнт швидкохідності $K_v = D \cdot n_{\max} = 100 \cdot 3150 = 3,15 \cdot 10^5$ мм · хв⁻¹.

Компоновка шпиндельного вузла (ШВ) базового верстата не є придатною. Серед типових компоновок [9] отриманому значенню K_v відповідає компоновка, показана на рис. 5.1.



Рисунок 5.1 – Компоновка ШВ

Виходячи з діаметрів шпинделя обираємо наступні підшипники в якості шпиндельних опор.

У передній опорі замість одного підшипника встановлюю два: кульковий упорно-радіальний дворядний з кутом дотику 60° типу 178820 ГОСТ 20821-75 радіальний дворядний роликовий типу 3182120 ГОСТ 7634-75.

У задній опорі один підшипник, радіальний дворядний роликовий типу 3182117 ГОСТ 7634-75.

					MR_5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2 Розрахунок на точність

Радіальне биття

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

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

де $a_1 = a + l_k$;

Δ_n , Δ_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 № 178820, $\Delta_n = 2$ мкм; у задній опорі класу точності 2 № 12614, $\Delta_3 = 2$ мкм.

$$\Delta_r = \frac{3}{2} \left[\frac{2}{\sqrt{2}} + \frac{80}{415} \left(\frac{2}{\sqrt{2}} + \frac{2}{\sqrt{1}} \right) \right] = 3.11 \text{ мкм}$$

$$\Delta_r = \frac{3}{2} \left[\frac{2}{\sqrt{2}} + \frac{280}{415} \left(\frac{2}{\sqrt{2}} + \frac{2}{\sqrt{1}} \right) \right] = 5.58 \text{ мкм}$$

Осьове биття

$$\Delta_0 \leq [\Delta_0]_{(3)}$$

де Δ_0 - осьове биття підшипника; $[\Delta_0]$ - допуск на биття.

Для вибраних підшипників $\Delta_0 = 2,5$ мкм $[\Delta_0] = 5$ мкм (для токарних верстатів класу точності В).

					<i>MB-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ</i>	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.3 Розрахунок на жорсткість

Радіальна жорсткість

1. Геометричні параметри.

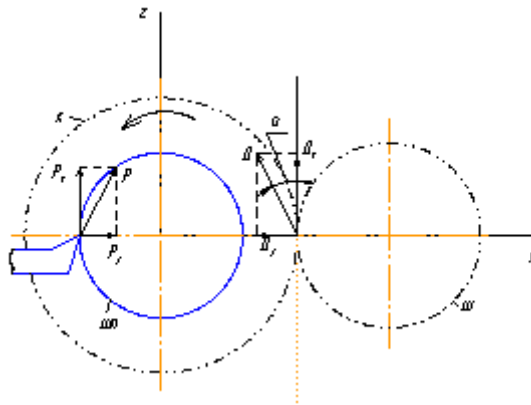
Момент інерції

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

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

2. Визначення напрямку і місця прикладання зовнішніх сил.

Схема вантаження.



де $d=100$ мм - максимальний діаметр деталі.

$$P_y = (0.3 \dots 0.5) P_z = 0.5 \cdot 1800 = 900 \text{ Н}$$

$$P = \sqrt{P_y^2 + P_z^2} = 2012 \text{ Н}$$

$$M = \frac{P_z d}{2} = 100 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

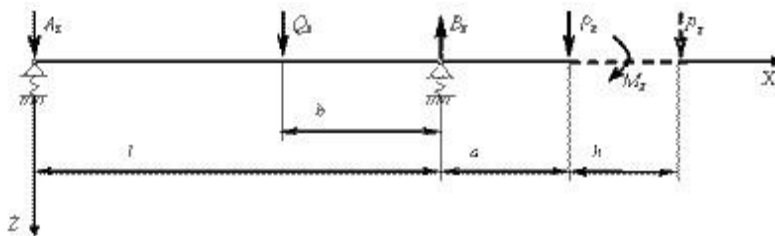
					MR-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

$$Q_z = 1140 \text{ Н}$$

$$Q_y = 416 \text{ Н}$$

3. Складання розрахункової схеми і визначення активних і реактивних сил. Оскільки нас цікавить деформація переднього кінця, то при перенесенні сили P в необхідний перізд на кінці балки з'являється момент M_z , що додатково вигинає її.

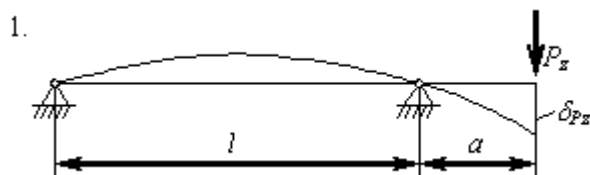
Розрахунок прогину в площині ZOХ



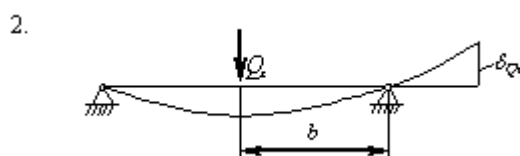
Розрахункова схема шпинделя для площини ZOХ

$$h = 0,30 \text{ мм}$$

$$M_z = P_z h = 1800 \cdot 0.3 = 540 \text{ Н·м}$$



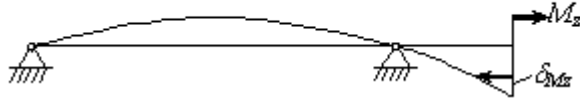
$$\delta_P = \frac{P_z a^2 (l + a)}{3EI} = \frac{1800 \cdot 0.08^2 (0.415 + 0.08)}{3 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 0.5125 \cdot 10^{-6}} = 0.353 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$



					MR-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

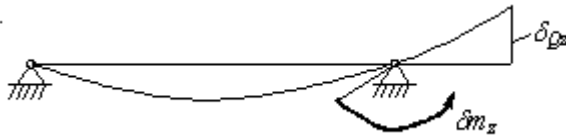
$$\delta_Q = \frac{Q_z a \cdot b(l-b) \left(2 - \frac{b}{l}\right)}{6EI} = \frac{1140 \cdot 0.08 \cdot 0.17(0.415 - 0.17) \left(2 - \frac{0.17}{0.415}\right)}{6 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 0.5125 \cdot 10^{-6}} = 0.086 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

3.



$$\delta_M = \frac{M_z a(2l + 3a)}{6EI} = \frac{540 \cdot 0.08(2 \cdot 0.415 + 3 \cdot 0.08)}{6 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 0.5125 \cdot 10^{-6}} = 1.643 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

4.

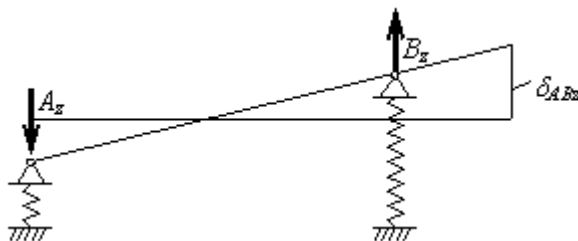


$$m = kP_z \cdot (a + h) = 0.3 \cdot 1800(0.08 + 0.3) = 58.116 \text{ Н·м}$$

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

$$\delta_m = \frac{m \cdot a \cdot l}{3EI} = \frac{58.116 \cdot 0.08 \cdot 0.415}{3 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 0.5125 \cdot 10^{-6}} = 0.445 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

5.



1) Реакції опор

$$B_z = 1306,75 \text{ Н};$$

$$A_z = 563,71 \text{ Н}.$$

					МВ-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

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;

K1 і K2 - коефіцієнти податливості;

$$\delta'_{rAz} = 13 \cdot 10^{-10} \cdot 563,71 = 0,733 \cdot 10^{-6} \text{ м,}$$

$$\delta'_{rBz} = 7,3 \cdot 10^{-10} \cdot 1306,75 = 0,954 \cdot 10^{-6} \text{ м;}$$

$$\delta''_{rFA} = \frac{4 \cdot 0,15 \cdot 10^{-11} \cdot 563,71 \left(1 + \frac{0,04}{0,8}\right)}{3,14 \cdot 0,04 \cdot 0,042} = 0,95 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$\delta''_{rFB} = \frac{4 \cdot 0,15 \cdot 10^{-11} \cdot 1306,75 \left(1 + \frac{0,055}{0,1}\right)}{3,14 \cdot 0,055 \cdot 0,05} = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

					MR-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пружні зсуви:

$$\delta r_{Az} = 0,733 \cdot 10^{-6} + 0,95 \cdot 10^{-6} = 1,683 \cdot 10^{-6} \text{ м},$$

$$\delta r_{Bz} = 0,954 \cdot 10^{-6} + 1,4 \cdot 10^{-6} = 2,354 \cdot 10^{-6} \text{ м};$$

Жорсткість:

$$J_{rAF} = \frac{F_z}{\delta_{rFA}} = \frac{563.71}{1.683 \cdot 10^{-6}} = 334.94 \cdot 10^6 \text{ Н/м (3)}$$

$$J_{rBF} = \frac{F_z}{\delta_{rFB}} = \frac{1306.75}{2.354 \cdot 10^{-6}} = 1110.24 \cdot 10^6 \text{ Н/м(3)}$$

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

$$\delta_{AB} = \frac{\delta_{rB}}{Z_B} + \frac{a}{l} \left(\frac{\delta_{rA}}{Z_A} + \frac{\delta_{rB}}{Z_B} \right) = \frac{2.354 \cdot 10^{-6}}{2} + \frac{0.08}{0.415} \left(\frac{1.683 \cdot 10^{-6}}{1} + \frac{2.354 \cdot 10^{-6}}{2} \right) = 1.9 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

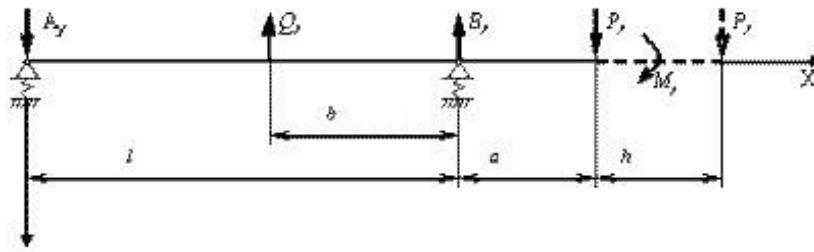
Рівняння прогину кінця шпинделя записується у вигляді

$$\delta r_z = \delta P_z + \delta Q_z + \delta M_z - \delta m_z - \delta_{AB} \quad (3)$$

$$\delta r_z = 0,353 \cdot 10^{-5} + 0,086 \cdot 10^{-5} + 1,643 \cdot 10^{-5} - 0,445 \cdot 10^{-5} - 0,19 \cdot 10^{-5} = 1,447 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

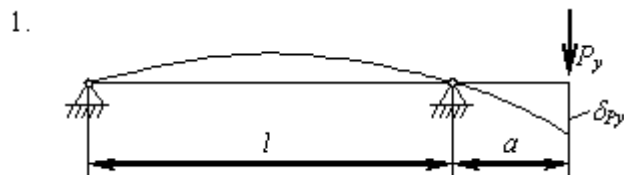
Розрахунок прогину в площині YOX

					<i>MB-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ</i>	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

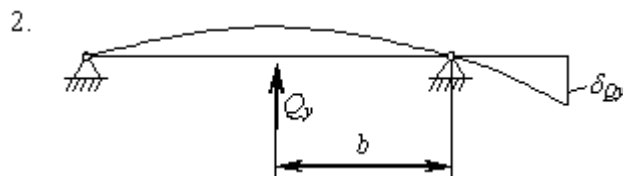


Розрахункова схема шпинделя для площини YOX

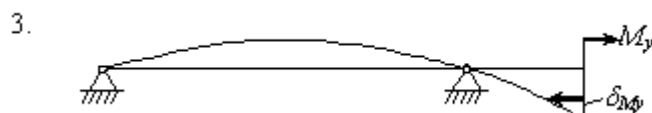
$$M_y = P_y \cdot h = 900 \cdot 0,3 = 270 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$



$$\delta_P = \frac{P_Y a^2 (l + a)}{3EI} = \frac{900 \cdot 0,08^2 (0,415 + 0,08)}{3 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 0,5125 \cdot 10^{-6}} = 0,177 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$



$$\delta_Q = \frac{Q_Y a \cdot b (l - b) \left(2 - \frac{b}{l}\right)}{6EI} = \frac{416 \cdot 0,08 \cdot 0,17 (0,415 - 0,17) \left(2 - \frac{0,17}{0,415}\right)}{6 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 0,5125 \cdot 10^{-6}} = 0,031 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$



$$\delta_M = \frac{M_Y a (2l + 3a)}{6EI} = \frac{270 \cdot 0,08 (2 \cdot 0,415 + 3 \cdot 0,08)}{6 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 0,5125 \cdot 10^{-6}} = 0,82 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

					MR_5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

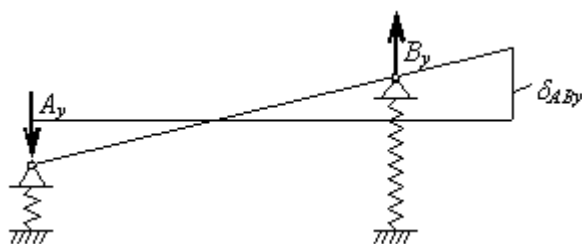
4.



$$m = kP_z \cdot (a + h) = 0.3 \cdot 900(0.08 + 0.3) = 29.06 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\delta_m = \frac{m \cdot a \cdot l}{3EI} = \frac{29.06 \cdot 0.08 \cdot 0.415}{3 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 0.5125 \cdot 10^{-6}} = 0.22 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

5.



1) Реакції опор

$$B_y = 462,56 \text{ Н};$$

$$A_y = 322,79 \text{ Н};$$

2) Жорсткість

$$\delta'_{rAz} = 13 \cdot 10^{-10} \cdot 322,79 = 4,196 \cdot 10^{-7} \text{ м},$$

$$\delta'_{rBz} = 7,3 \cdot 10^{-10} \cdot 462,56 = 3,377 \cdot 10^{-7} \text{ м};$$

$$\delta''_{\gamma FA} = \frac{4 \cdot 0.15 \cdot 10^{-11} \cdot 322.79 \left(1 + \frac{0.04}{0.8}\right)}{3.14 \cdot 0.04 \cdot 0.042} = 0.545 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$\delta''_{\gamma FA} = \frac{4 \cdot 0.15 \cdot 10^{-11} \cdot 462.56 \left(1 + \frac{0.055}{0.1}\right)}{3.14 \cdot 0.055 \cdot 0.05} = 0.498 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

Пружні зсуви:

					МВ-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

$$\delta r_{Az} = 0,4196 \cdot 10^{-6} + 0,545 \cdot 10^{-6} = 0,965 \cdot 10^{-6} \text{ м},$$

$$\delta r_{Bz} = 0,3377 \cdot 10^{-6} + 0,498 \cdot 10^{-6} = 0,8357 \cdot 10^{-6} \text{ м};$$

Жорсткість:

$$J_{rAF} = \frac{F_z}{\delta_{rFA}} = \frac{322.79}{0.965 \cdot 10^{-6}} = 344.5 \cdot 10^6 \text{ Н/м}$$

$$J_{rBF} = \frac{F_z}{\delta_{rFB}} = \frac{462.56}{0.8357 \cdot 10^{-6}} = 1107 \cdot 10^6 \text{ Н/м}$$

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

$$\delta_{AB} = \frac{\delta_{rB}}{Z_B} + \frac{a}{l} \left(\frac{\delta_{rA}}{Z_A} + \frac{\delta_{rB}}{Z_B} \right) = \frac{0.8357 \cdot 10^{-6}}{2} + \frac{0.08}{0.415} \left(\frac{0.965 \cdot 10^{-6}}{1} + \frac{0.8357 \cdot 10^{-6}}{2} \right) = 0.76 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

5. Рівняння прогину кінця шпинделя записується у вигляді:

$$\delta r_y = \delta P_y + \delta Q_y + \delta M_y - \delta m_y - \delta A_{by} \quad (3)$$

$$\delta r_z = 0,177 \cdot 10^{-5} + 0,031 \cdot 10^{-5} + 0,82 \cdot 10^{-5} - 0,22 \cdot 10^{-5} - 0,076 \cdot 10^{-5} = 0,732 \cdot 10^{-5} \text{ м}.$$

Визначаємо сумарний прогин кінця шпинделя і жорсткість

$$\delta_r = \sqrt{\delta_{rZ}^2 + \delta_{rY}^2} = \sqrt{(1.447 \cdot 10^{-5})^2 + (0.732 \cdot 10^{-5})^2} = 16.2 \cdot 10^{-6} \text{ м} \quad (3)$$

$$J_{rAF} = \frac{P}{\delta_r} = \frac{2012}{16.2 \cdot 10^{-6}} = 124.22 \cdot 10^6 \text{ Н/м} \quad (3)$$

Осьова жорсткість

					<i>MB-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

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.

$$P_x = 0,25 \cdot P_z = 450 \text{ Н} - \text{осьова сила};$$

$$S = (1,5 \dots 2) P_x = 675 \text{ Н} - \text{натяг}$$

$$\omega = \frac{S}{d} = \frac{675}{0.055} = 12272$$

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

$$\delta_0 = \frac{P_y}{j_0} = \frac{450}{1 \cdot 10^8} = 4.5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

Аналіз результатів

Величина допустимої похибки

$$D_0 + d_0 = 2,5 \cdot 10^{-6} + 4,5 \cdot 10^{-6} = 7 \text{ мкм} < [D] = 35 \text{ мкм}.$$

					MR-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

6. Написання програми обробки деталі «Кришка» на верстаті з ЧПК в середовищі «HEIDENHAIN»

6.1 Режими різання

Вихідні дані:

Деталь – «Кришка» згідно креслення (рисунок 6.1)

Матеріал деталі – Сталь 45

Квалітет точності – 14

Шорсткість поверні – Ra 12.5 мкм

Виробництво – дрібносерійне

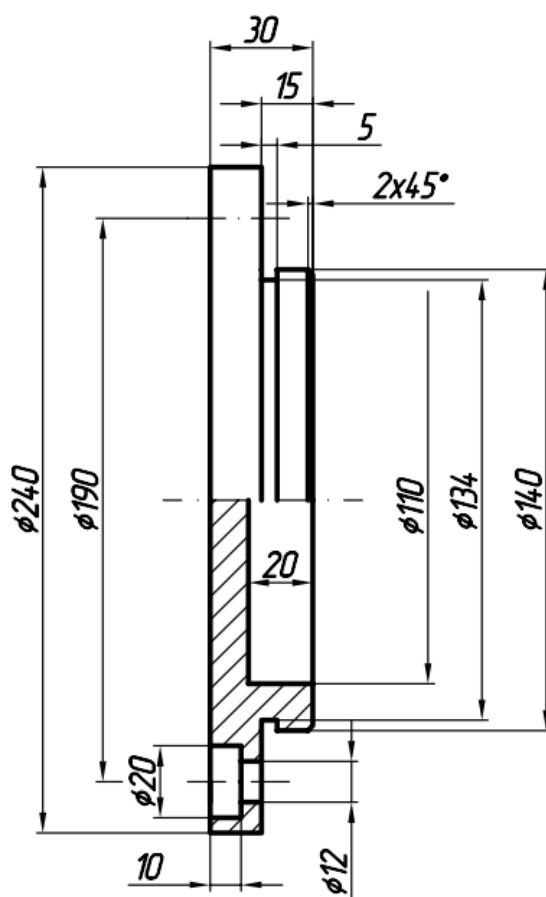


Рисунок 6.1 – Креслення деталі «Кришка»

					MR-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

Вибір варіанта маршруту обробки.

Маршрут обробки визначаємо виходячи з дрібносерійного виробництва, де бажано використати найменшу кількість інструменту.

Дану деталь будемо обробляти на фрезерному верстаті з ЧПК з лівого боку. Правий бік будемо обробляти на токарному верстаті. Для обробки заданої деталі використовуємо п'ять інструментів: фреза торцева діаметром 60 мм, фреза кінцева діаметром 32 мм, свердло центрувальне діаметром 10 мм, свердло діаметром 12 мм, цековка діаметром 20 мм.

Вибір режимів різання [15]:

Таблиця 6.1 – Фрезерування площин [карта 56, 65]

Інструмент	Фреза торцева Ø60 мм
Подача F, мм/зуб (мм/хв)	0,16 (1724)
Швидкість різання V, м/хв	254,0
Частота обертів S, об/хв	1347

Таблиця 6.2 - Фрезерування контурне та отвору [карта 79, 84]

Інструмент	Фреза кінцева Ø32 мм
Подача F, мм/зуб (мм/хв)	0,1 (87)
Швидкість різання V, м/хв	22,0
Частота обертів S, об/хв	218

Таблиця 6.3 - Свердління [карта 46]

Інструмент	Свердло Ø10 мм
Подача F, мм/об (мм/хв)	0,25 (191)
Швидкість різання V, м/хв	24,0
Частота обертів S, об/хв	764

Таблиця 6.4 - Свердління [карта 46]

Інструмент	Свердло Ø8 мм
Подача F, мм/об (мм/хв)	0,29 (166)
Швидкість різання V, м/хв	21,6
Частота обертів S, об/хв	573

Таблиця 6.5 – Цекування [карта 51]

Інструмент	Цековка Ø14 мм
Подача F, мм/об (мм/хв)	0,17 (28)
Швидкість різання V, м/хв	10,3
Частота обертів S, об/хв	164

6.2 Складання програми обробки

Щоб програма була компактнішою та її написання займало менше часу використовуємо стандартні цикли обробки та повторювані частини виносимо в підпрограму, що розташовується в кінці основної програми.

Складена програма виглядає наступним чином:

```
0 BEGIN PGM Kruwka MM
1 BLK FORM 0.1 Z X-124 Y-124 Z-31
2 BLK FORM 0.2 X+124 Y+124 Z+2
3 TOOL CALL 30 Z S1347 F1724
4 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX M3
5 CYCL DEF 230 FREZ.ZA NIESK.PROCH. ~
  Q225=-124 ;1-JA KOORD.NACH.TOCH ~
  Q226=-124 ;2-JA KOORD.NACH.TOCH ~
  Q227=+0 ;KOORD.POWIERCH. ~
  Q218=+244 ;DLINA 1-OJ STORONY ~
  Q219=+244 ;DLINA 2-OJ STORONY ~
  Q240=+5 ;KOLICH.PROCHODOW ~
  Q206=+150 ;PODACHA NA WREZANJE ~
  Q207=+1724 ;FEED RATE FOR MILLNG ~
  Q209=+1724 ;PODACHA MESHDU WREZ. ~
  Q200=+4 ;RASSTO. BEZOPASNOSTI
6 CYCL CALL
7 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX
8 TOOL CALL 16 Z S218 F87
9 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX
10 L X+0 Y+0 R0 FMAX
11 CYCL DEF 257 CIRCULAR STUD ~
  Q223=+240 ;DIAM.GOTOWOJ DETALI ~
  Q222=+345 ;DIAMETR ZAGOTOWKI ~
  Q368=+0 ;ALLOWANCE FOR SIDE ~
  Q207=+87 ;FEED RATE FOR MILLNG ~
  Q351=+1 ;WID FREZEROWANIA ~
  Q201=-32 ;GLUBINA ~
  Q202=+3 ;GLUBINA WREZANJA ~
  Q206=+87 ;PODACHA NA WREZANJE ~
  Q200=+2 ;RASSTO. BEZOPASNOSTI ~
  Q203=+0 ;SURFACE COORDINATE ~
  Q204=+4 ;2-JE BEZOP.RASSTOJ. ~
  Q370=+1 ;TOOL PATH OVERLAP
```

					MR_5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

12 CYCL CALL
 13 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX
 14 TOOL CALL 5 Z S764 F191
 15 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX
 16 CYCL DEF 240 CENTERING ~
 Q200=+2 ;RASSTO. BEZOPASNOSTI ~
 Q343=+0 ;SELECT DIA./DEPTH ~
 Q201=-4 ;GLUBINA ~
 Q344=-8 ;DIAMETER ~
 Q206=+191 ;PODACHA NA WREZANJE ~
 Q211=+0 ;WYDER. WREMENI WNIZU ~
 Q203=+0 ;SURFACE COORDINATE ~
 Q204=+2 ;2-JE BEZOP.RASSTOJ.
 17 CALL LBL 1
 18 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX
 19 TOOL CALL 6 Z S573 F166
 20 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX
 21 CYCL DEF 203 UNIVERS. SWERLENIE ~
 Q200=+2 ;RASSTO. BEZOPASNOSTI ~
 Q201=-22 ;GLUBINA ~
 Q206=+166 ;PODACHA NA WREZANJE ~
 Q202=+5 ;GLUBINA WREZANJA ~
 Q210=+0 ;WYDER. WREMENI WWER. ~
 Q203=+0 ;SURFACE COORDINATE ~
 Q204=+2 ;2-JE BEZOP.RASSTOJ. ~
 Q212=+0 ;SJOM MATERIALA ~
 Q213=+2 ;KOL.OPER.LOMKI STRU. ~
 Q205=+3 ;MIN.GLUBINA WREZANJA ~
 Q211=+1 ;WYDER. WREMENI WNIZU ~
 Q208=+99999 ;PODACHA WYCHODA ~
 Q256=+0.2 ;WYCHOD PRI LOMANII
 22 CALL LBL 1
 23 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX
 24 TOOL CALL 10 Z S164 F28
 25 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX
 26 CYCL DEF 200 SWERLENIJE ~
 Q200=+2 ;RASSTO. BEZOPASNOSTI ~
 Q201=-10 ;GLUBINA ~
 Q206=+28 ;PODACHA NA WREZANJE ~
 Q202=+3 ;GLUBINA WREZANJA ~
 Q210=+0 ;WYDER. WREMENI WWER. ~
 Q203=+0 ;SURFACE COORDINATE ~
 Q204=+2 ;2-JE BEZOP.RASSTOJ. ~

Q211=+1 ;WYDER.WREMENI WNIZU
 27 CALL LBL 1
 28 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX M30
 29 LBL 1
 30 CYCL DEF 220 OBRAZEC KRUG ~
 Q216=+0 ;1-AJA KOORD.CENTRA ~
 Q217=+0 ;2-JA KOORD.CENTRA ~
 Q244=+190 ;DIAMETR OBRAZUJ. ~
 Q245=+0 ;UGOL NACHAL.TOCHKI ~
 Q246=+360 ;UGOL KONECHN. TOCHKI ~
 Q247=+45 ;SCHAG UGLA ~
 Q241=+8 ;CHISLO POWTORENIJ ~
 Q200=+2 ;RASSTO. BEZOPASNOSTI ~
 Q203=+0 ;SURFACE COORDINATE ~
 Q204=+2 ;2-JE BEZOP.RASSTOJ. ~
 Q301=+0 ;DWISH.NA BEZ.WYSOTU ~
 Q365=+0 ;WID PEREMESCHENJA
 31 LBL 0
 32 END PGM Kruwka MM

6.3 Тест програми

Тест програми показав її працездатність (рис. 6.2).

Програма складається з 32 кадрів, де використовується п'ять інструментів.

Час обробки деталі склав вісім годин тридцять одну хвилину і п'ятдесят три секунди.

					MR-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

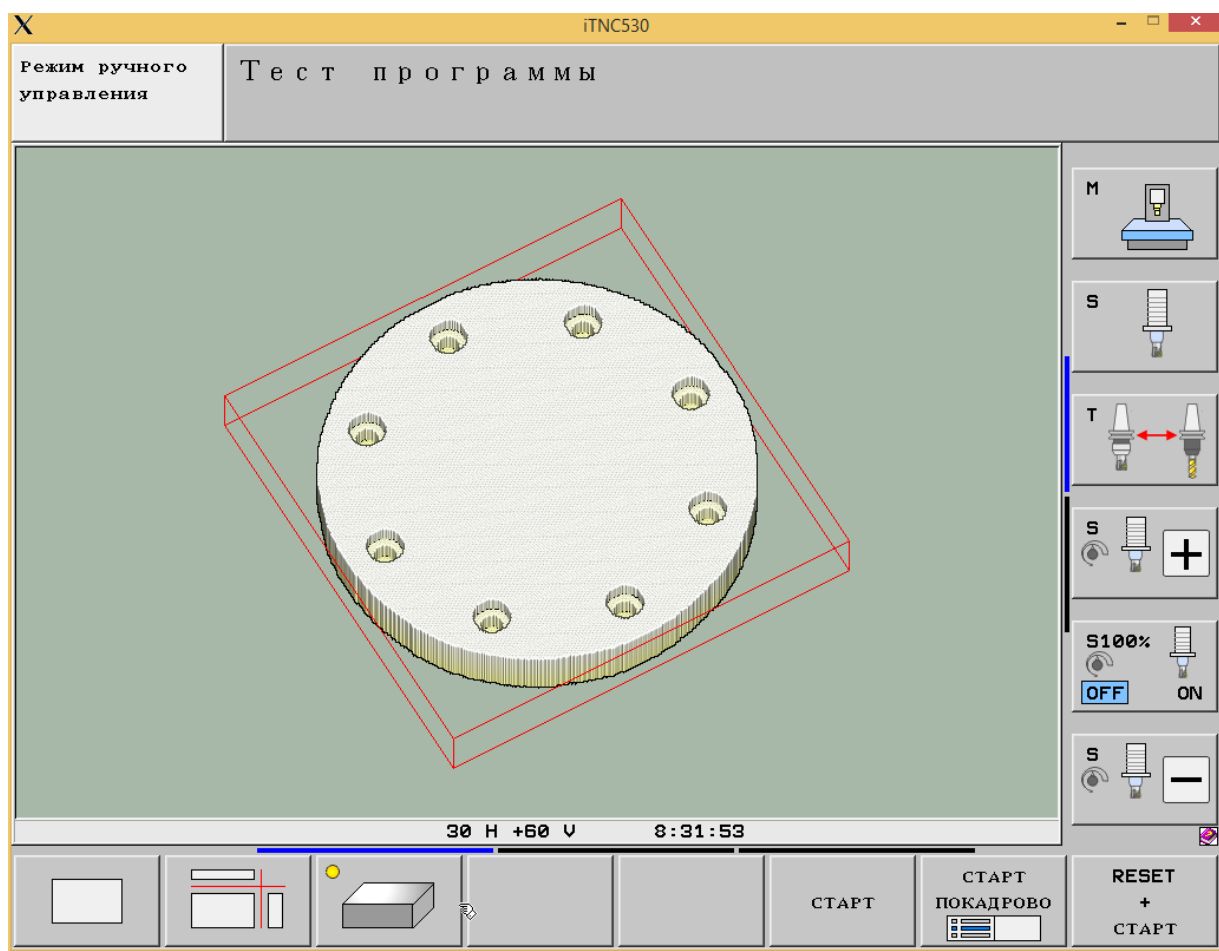


Рисунок 6.2 – Интерфейс тесту програми «Кришка»

Висновки

В дипломному проекті модернізовано токарно-револьверний верстат моделі 1341. А саме:

1. Проведено аналіз конструкції токарно-револьверного верстата моделі 1341.
2. Обґрунтовано модернізацію базового верстату на основі аналітично-інформаційного дослідження. Обрані напрямки розширення технологічних характеристик:
 - використання більш прогресивного інструменту;
 - підвищення режимів різання та точне їх налаштування

Для цього вирішено: розширити діапазон регулювання частот обертання шпинделя, підвищити максимальну частоту обертання шпинделя, запровадити плавне її регулювання.

3. Проведено кінематичний та конструкторський розрахунок ПГР.

ПГР модернізованого верстата складається з електродвигуна постійного струму серії 4ПФ112М та чотирьохступінчастої коробки швидкостей. Проведені розрахунки валів, шестерень, підшипників, шпонкових з'єднань.

4. Обґрунтовано вибір конструкції шпиндельного вузла та проведено його розрахунок.

Стара компоновка ШВ не задовольняє новим швидкісним параметрам обробки. Тому була обрана більш надійна схема. У передній опорі замість одного підшипника встановлено два: кульковий упорно-радіальний дворядний з кутом дотику 60^0 типу 178820 ГОСТ 20821-75 радіальний дворядний роликовий типу 3182120 ГОСТ 7634-75. У задній опорі один підшипник - радіальний дворядний роликовий типу 3182117 ГОСТ 7634-75.

5. Складено програму обробки деталі «Кришка» на верстаті з ЧПК в середовищі «HEIDENHAIN».

					<i>MR-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

Перелік посилань

1. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2 /Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова.-4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985.456с., ил.
2. Барановский Ю.В. Режимы резания металлов. Справочник. Изд. 3-е, переработанное и дополненное. М., «Машиностроение», 1972. – 407 с.
3. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Детали машин. Курсовое проектирование: Учеб.пособие для машиностроит. Спец. Учреждений среднего профессионального образования. – 4-е издание, исправл. –М.: Машиностроение, 2003. – 536 с.
4. Кочергин А. И. Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов. Курсовое проектирование: учебное пособие для вузов. - Минск: Высш. шк.,1991. – 382 с.
5. Пуш В. Э. Конструирование металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1977. – 390 с.
6. Конструирование узлов и деталей машин: Посібник для машинобудівних спец. вузів / П.Ф. Дунаєв, О.П. Леликов – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Вища. школа, 1985 – 416 с.
7. Расчёт и конструирование металлорежущих станков / А.С. Проников – 2-е изд. – М.: Вища школа, 1968 – 431с.
8. Справочник конструктора-машиностроителя: Анурьев В.И. в 3 т. - 8-е вид.,М.: Машиностроение, 2001.
9. Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов: Кочергин А. И.Посібник для вузів М.:Вища щкола 1991. - 382 с.
10. Проектирование металлорежущих станков: Тарзиманов Г.А. 3-е вид., - М.: Машиностроение, 1980. - 288с.
11. Металлорежущие станки: Учебник для машиностроительных втузов: під ред. В.Е. Пуша – М.: Машиностроение, 1985.-256 с.

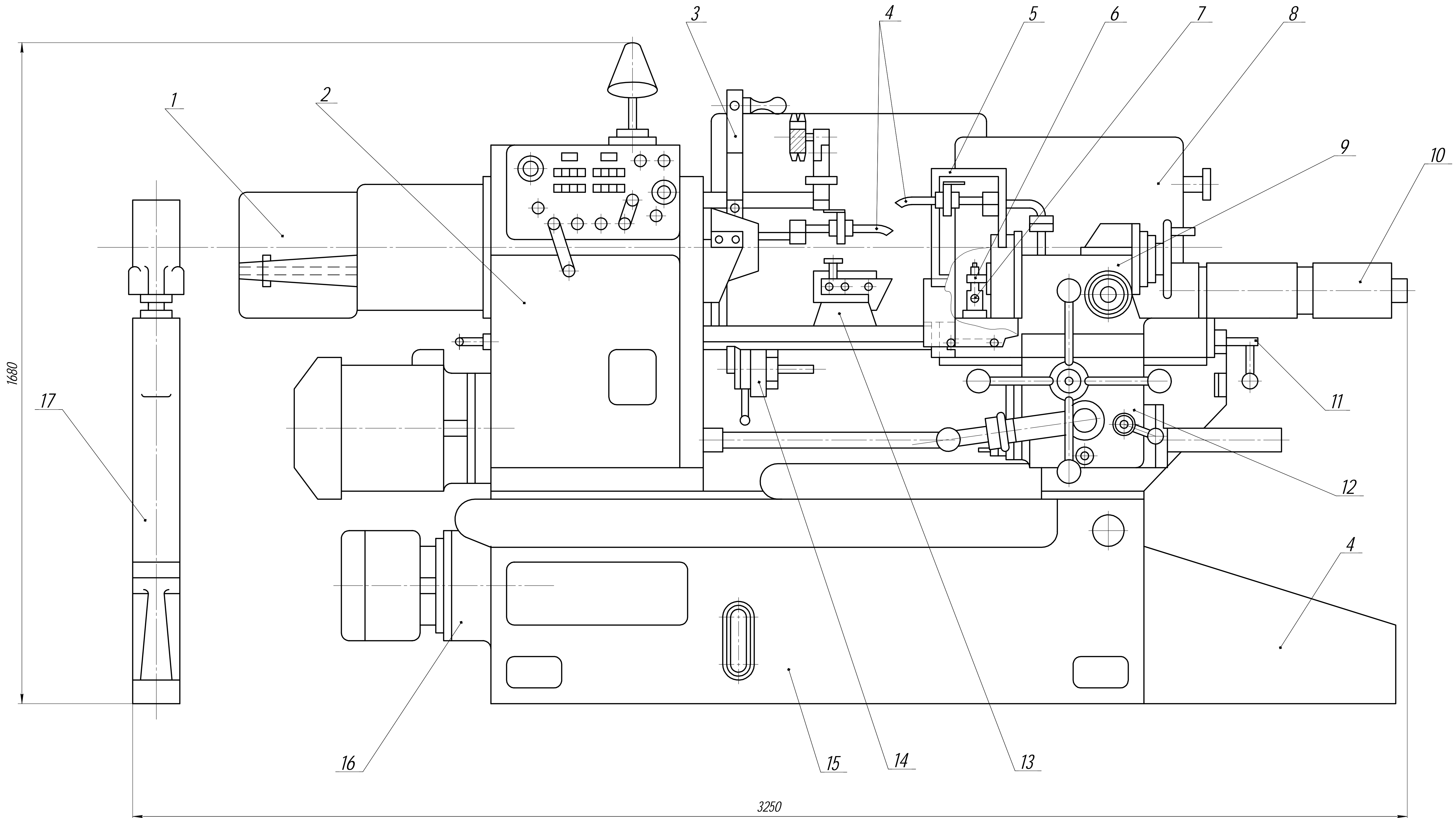
					MB-5101 ЛПБ ОО ООЛ ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

12. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: довідник/ В.І. Баранчиков, Н.Д. А.В. Жаринов, Н.Д. Юдинапід ред.. В.І. Баранчикова. – М.: Машиностроение, 1990. – 400с.
13. Методические указания и контрольные задания по курсу «Металлорежущие станки» / Сост. Ю.Н. Кузнецов, В.М. Гурко, В.И. Романов. – Киев: КПИ, 1987.
14. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту освітньо-кваліфікаційного рівня «СПЕЦІАЛІСТ», навчальне видання / НТУУ «КПІ»; уклад. Степанюк А.Р., Магазій П.М. – Київ: НТУУ «КПІ», 2012. – 83 с.
15. Приспособления для металлорежущих станков: Справочник/ Горошкин А.К.- 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1979. – 303с., ил.
16. Проектирование станочных приспособлений: Учебное пособие для учащихся техникумаов / Белоусов А.П. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Висш. Школа, 1980. – 240 с., ил.
17. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением: Справочник / Под ред. В.И. Гузеева. М.: Машиностроение, 2005. 368 с.

					MB-5101 ЛПБ 00 000 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1A-5101A1A101000.3A

Επί τ. Τράε.	Τράι. ε. αάαα	Αααί. εία. τ.	Εία. τ. αάαα.	Τράι. ε. αάαα	Μάα. τ.	Ράα. τρέατ.
--------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------	-------------



						1A-5101A1A101.000.3A		
Επί. Ενο.	Τ. αίεοι.	Τράι.	Ααα.	Ορέαδρι-δάαίεααδρέε αάααοο ι τάαε 1341 (αααεαίεε αααεα)		Εέο.	Τ αηα	Τ αηοαα
Δαααα	Αααεεε			Α		2200	1:5	
Τάα	Αααααααααα			Εενο		Εενοα 1		
Οέριόδ.				Είτ. η. αάαα Νερόηεαί, 11; ΕΑΙ, 1A-51				
Εέριόδ. Οά.				Είρεδίαα		Οιόταο ΑΙ		

РОЗШИРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ

Точне налаштування на оптимальні режими різання		Можливість безступінчастого налаштування швидкості обертання шпинделя
Використання більш прогресивного інструменту		CoroBore® BR20 Silent Tools™ Антивібраційна система Діапазон розточування Ø 23–150 мм Підвищення продуктивності 50–200% DuoBore™ 821 Чорнова розточка однією, двома, трьома ріжучими пластинами Підвод ЗОР з середини Tool Builder Система швидкого підбору потрібного інструменту
Підвищення режимів різання		Збільшення швидкості різання за рахунок сучасних твердосплавних пластин
Підвищення якості і точності поверхонь обробки		Використання інструментів CoroBore® та спеціальних оправок
Збільшення номенклатури технологічних операцій, що можуть проводитись на верстаті		Використання спеціальних інструментальних дисків
Послідовність технологічних операцій, що можуть проводитись на верстаті		
Використання різноманітних матеріалів та видів заготовки		

Розробник _____ Алексик Д.І.
Керівник _____ Гаврушкевич А.Ю.
Дата _____

АНАЛІТИЧНО-ІНФОРМАЦІЙНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕРСТАТІВ-АНАЛОГІВ



Токарний верстат Zenitech моделі WL360 (Швейцарія)



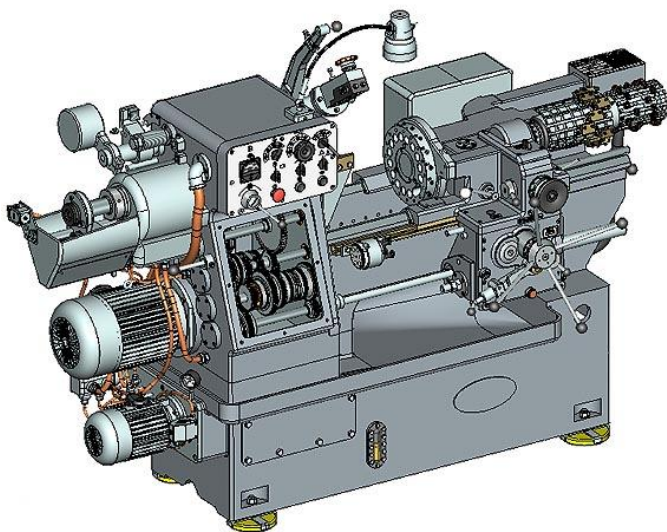
Токарний верстат DMTG моделі CKE 6140Z/750/1000 (Китай)



Токарний верстат JET моделі JCK-1640S (Швейцарія)



Токарний верстат Z-MaT моделі Flash FTL400 (Китай)



Токарно-револьверний верстат моделі 1341

Максимальний діаметр заготовки, що затискається, мм	400
Потужність двигуна головного руху, кВт	5,5

Частоти обертання шпинделя:

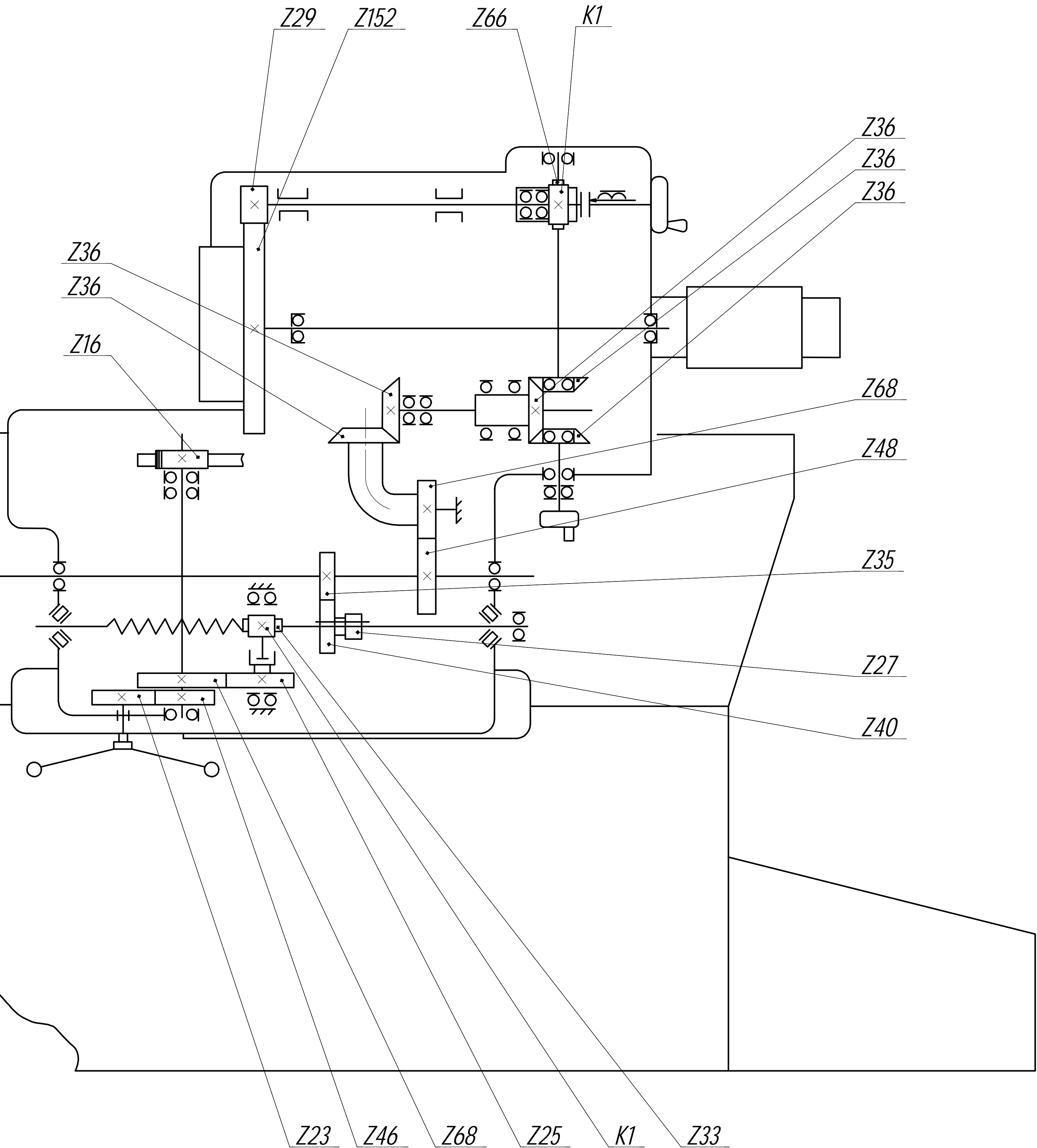
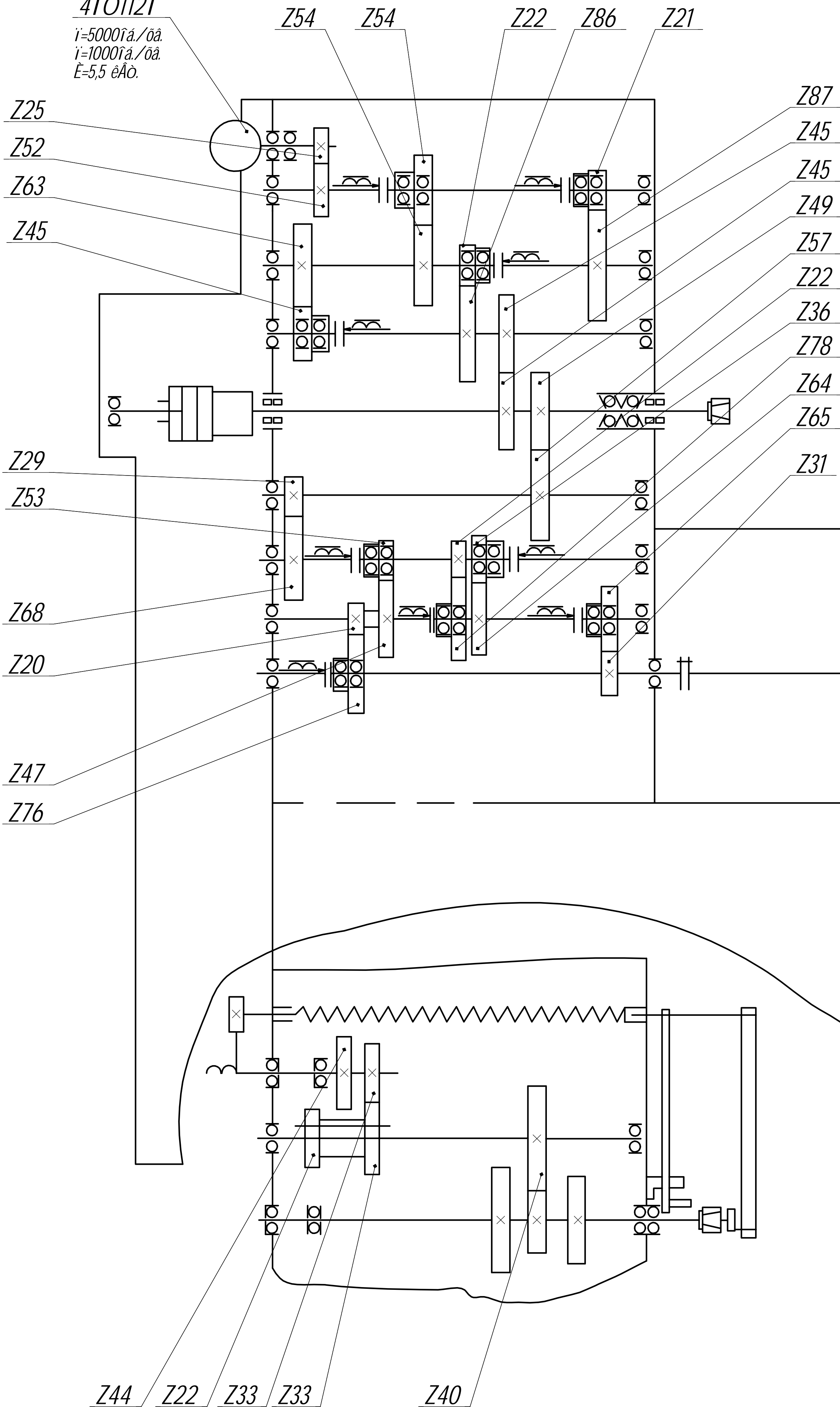
WL360	200-3000
CKE 6140Z	20-2500
JCK-1640S	100-2000
FTL400	100-2000
1341	60-2000
Приймаємо	31,5-3150

Розробник _____ Алексик Д.І.
Керівник _____ Гаврушкевич А.Ю.
Дата _____

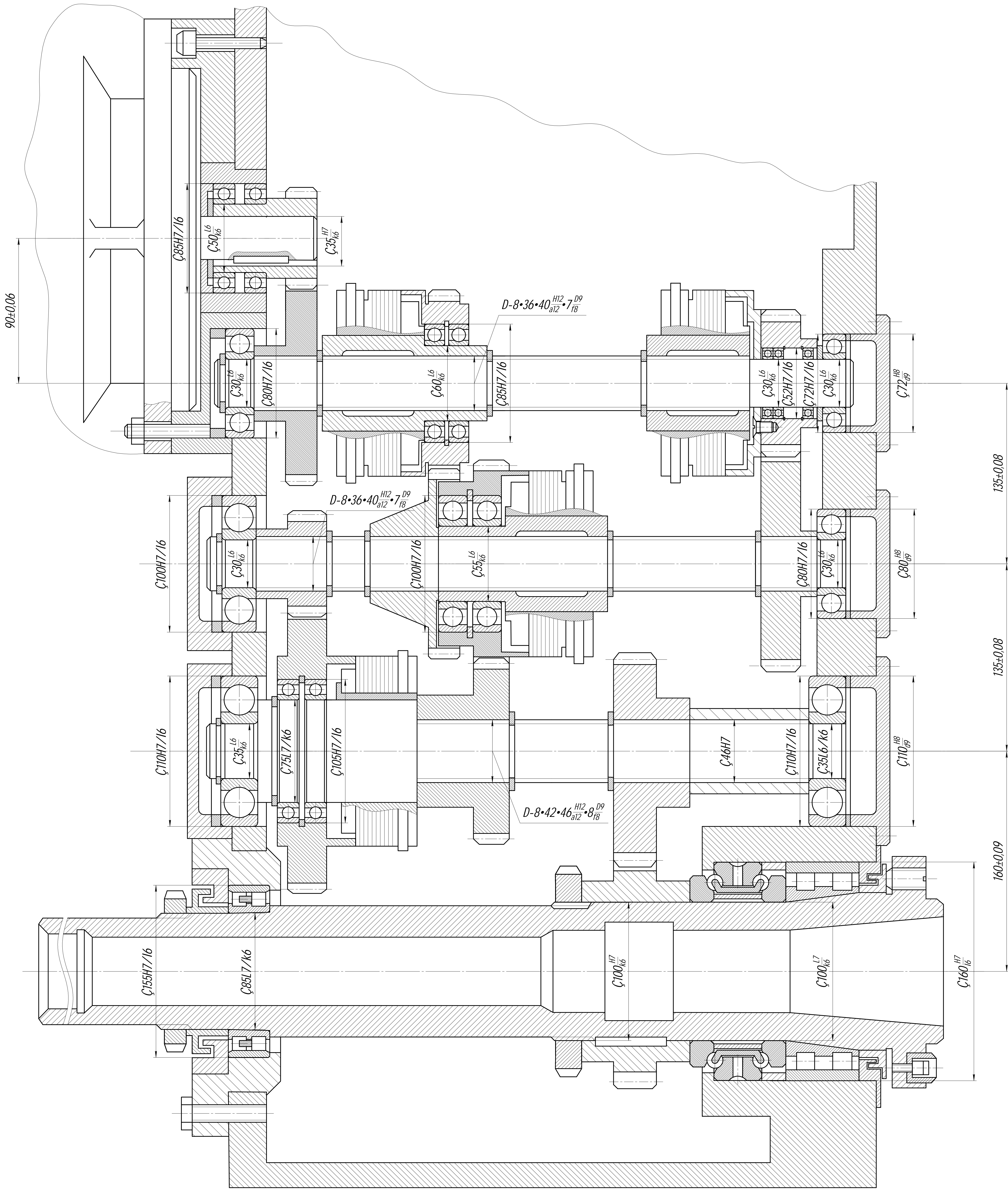
1A-5101.A1A.304.000.E3

4i0112i

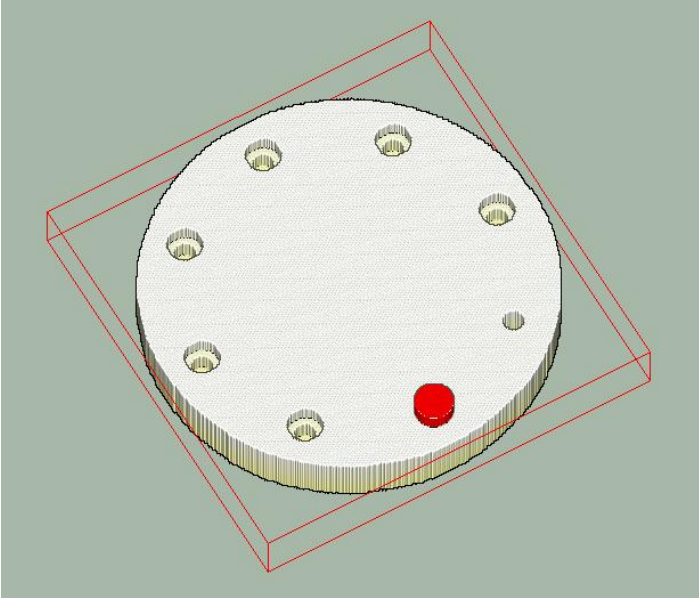
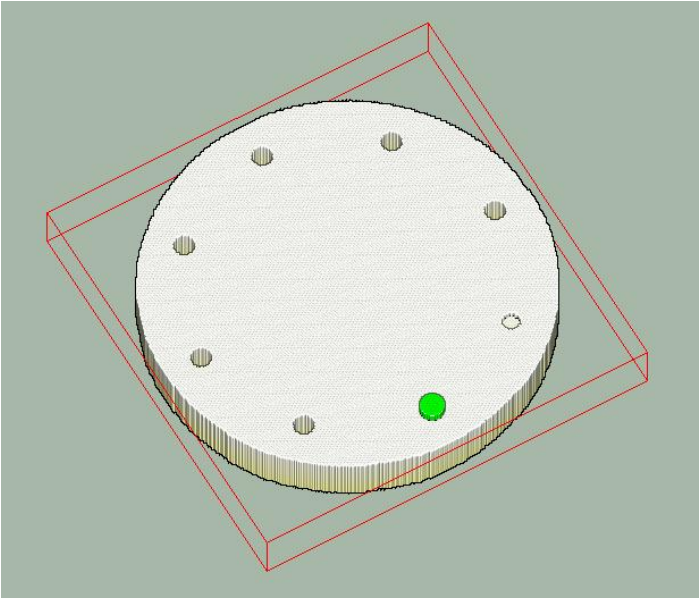
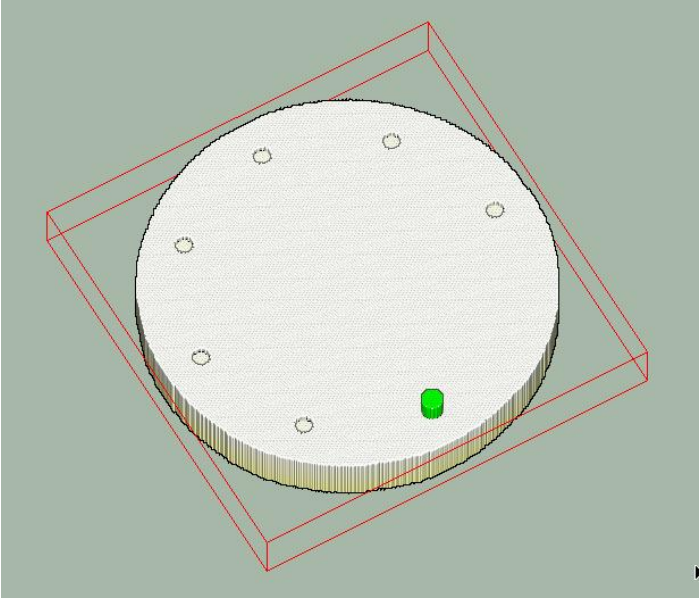
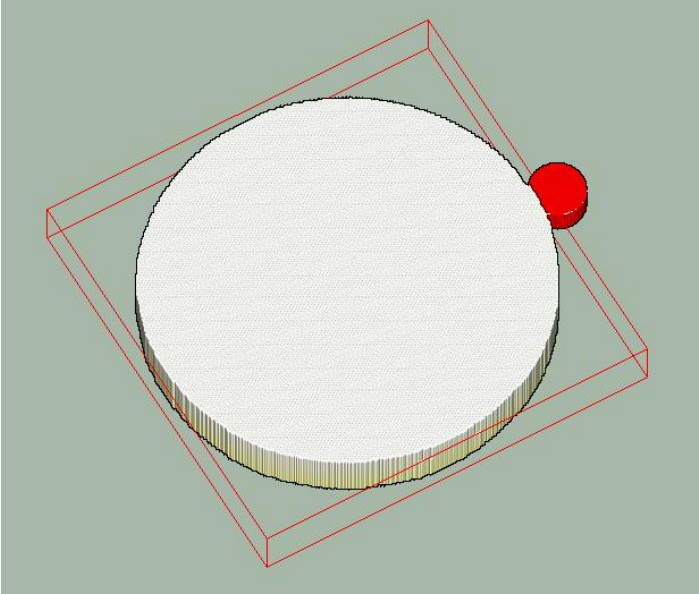
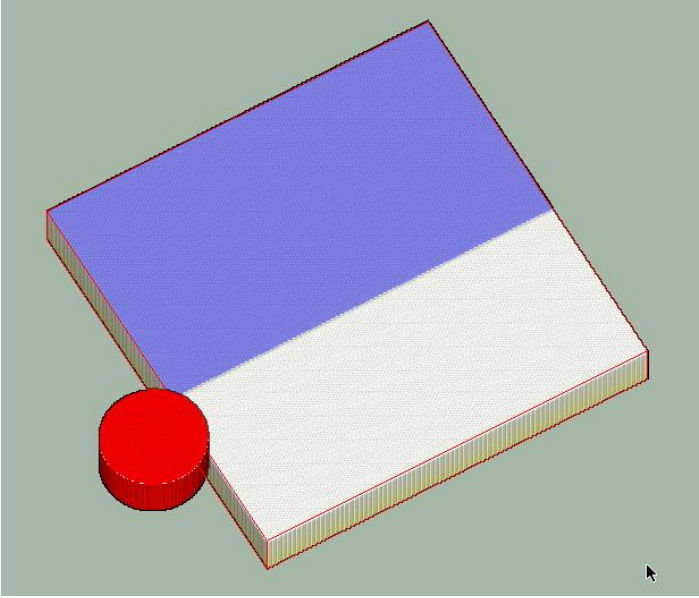
i=5000rā./ōā.
i=1000rā./ōā.
Ē=5,5 ēĀō.



				1A-5101.A1A.304.000.E3											
				0rēāōrī-ōāāīēuāāōrēē āāōnōāō īīāāē ³ 1341 (nōāī ā ēīāīāōēīā īōēīōēīāā)				Eēō.		1 āānā		1 ānōōāā			
Eēī. Eēnō		ī āīēōī.						ī īāī.		āāōā		Ā			
Dāōāā		Āēāēēē													
īōīā		Āāāōōēāāē+													
ōēīīōō.															
ī ēīīōō.								Eēnō		Eēnōā		1			
ōā.										Eī ² ī. āīōy Nēīōnūēīāī, 11; EĀī, 1A-51					

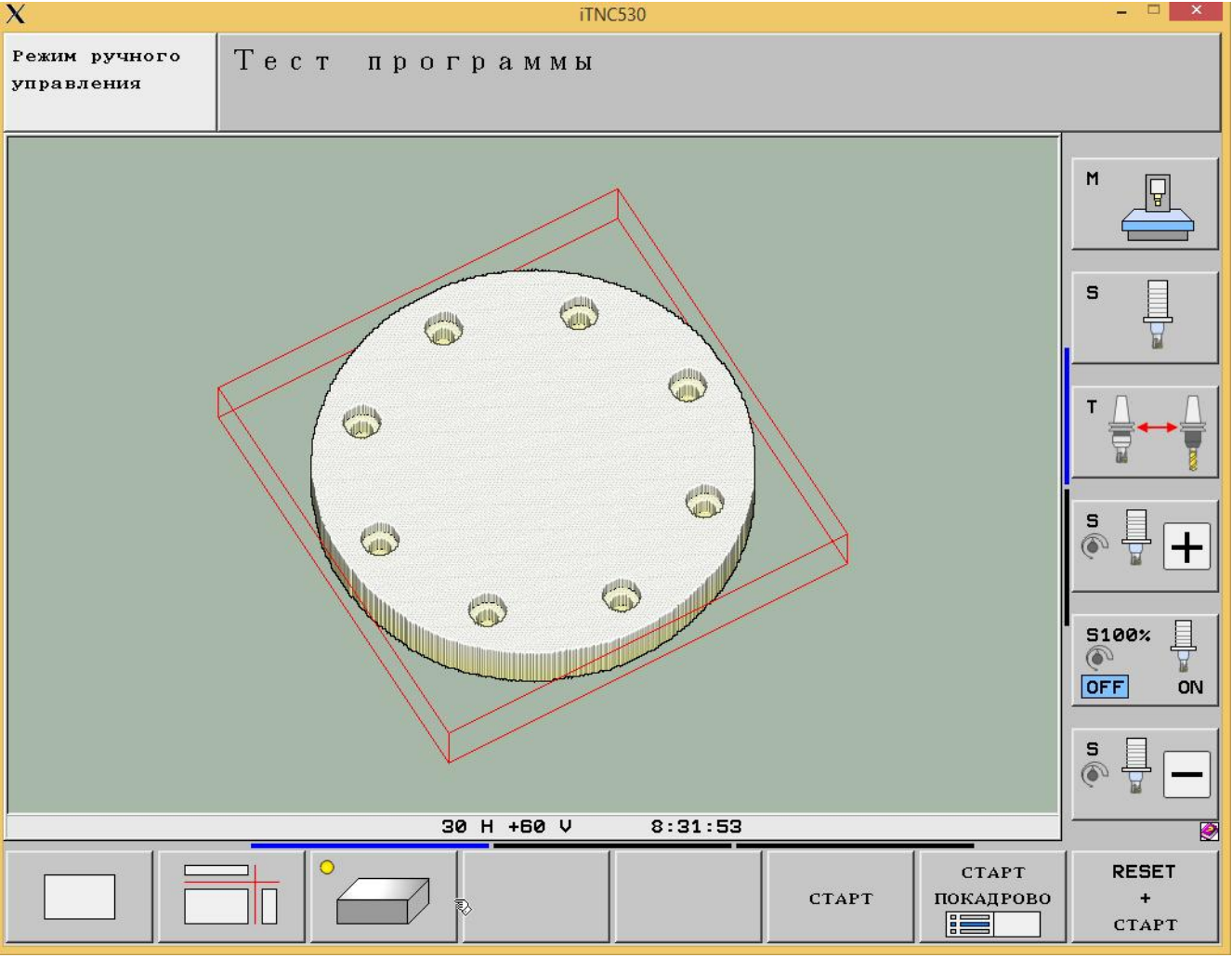


				1A-5101A1A.405.000.NE		
				Dizajnovala ideatiao strelaitar 0000 (nezaadnara ednietariv)		
				Eco	Lama	Tanocaa
				A		1:1
				Eco	Ecnola	1
				E12 q. ardy veydnuetar. 11: EAI, 1A-51		
				E12 q. ardy veydnuetar. 11: EAI, 1A-51		
				E12 q. ardy veydnuetar. 11: EAI, 1A-51		



ПРОГРАМУВАННЯ В СИСТЕМІ HEIDENHAIN

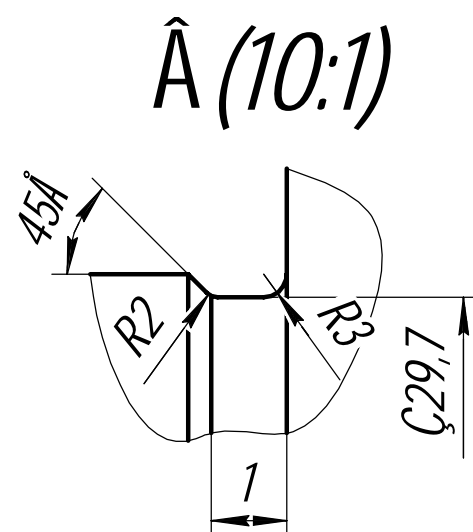
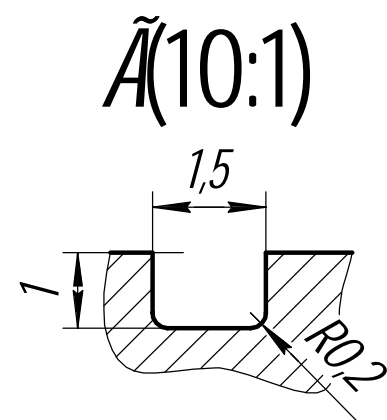
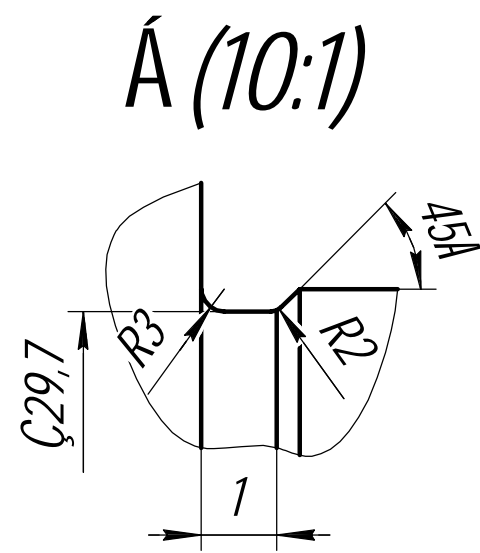
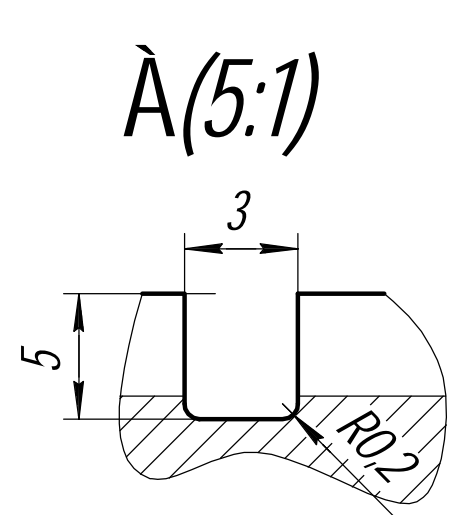
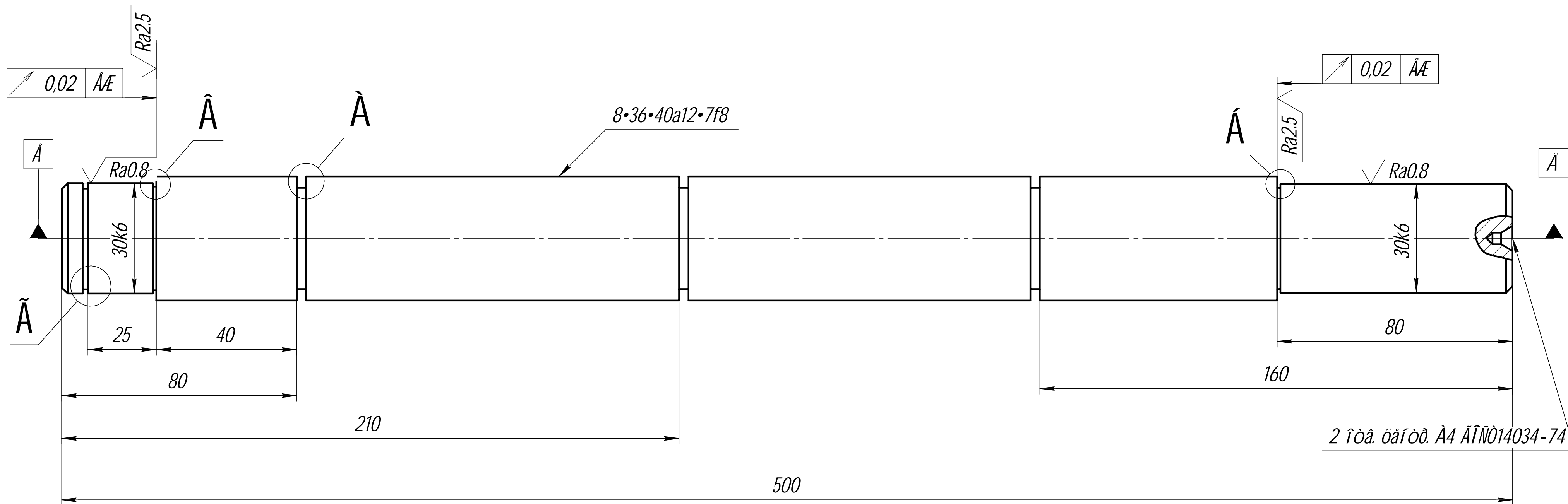
<pre>0 BEGIN PGM Kruwka MM 1 BLK FORM 0.1 Z X-124 Y-124 Z-31 2 BLK FORM 0.2 X+124 Y+124 Z+2 3 TOOL CALL 30 Z S1347 F1724 4 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX M3 5 CYCL DEF 230 FREZ.ZA NIESK.PROCH. ~ Q225=-124 ;1-JA KOORD.NACH.TOCH ~ Q226=-124 ;2-JA KOORD.NACH.TOCH ~ Q227=+0 ;KOORD.POWIERCH. ~ Q218=+244 ;DLINA 1-OJ STORONY ~ Q219=+244 ;DLINA 2-OJ STORONY ~ Q240=+5 ;KOLICH.PROCHODOW ~ Q206=+150 ;PODACHA NA WREZANJE ~ Q207=+1724 ;FEED RATE FOR MILLNG ~ Q209=+1724 ;PODACHA MESHDU WREZ. ~ Q200=+4 ;RASSTO. BEZOPASNOSTI 6 CYCL CALL 7 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX 8 TOOL CALL 16 Z S218 F87 9 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX 10 L X+0 Y+0 R0 FMAX 11 CYCL DEF 257 CIRCULAR STUD ~ Q223=+240 ;DIAM.GOTOWOJ DETALI ~ Q222=+345 ;DIAMETR ZAGOTOWKI ~ Q368=+0 ;ALLOWANCE FOR SIDE ~ Q207=+87 ;FEED RATE FOR MILLNG ~ Q351=+1 ;WID FREZEROWANIA ~ Q201=-32 ;GLUBINA ~ Q202=+3 ;GLUBINA WREZANJA ~ Q206=+87 ;PODACHA NA WREZANJE ~ Q200=+2 ;RASSTO. BEZOPASNOSTI ~ Q203=+0 ;SURFACE COORDINATE ~ Q204=+4 ;2-JE BEZOP.RASSTOJ. ~ Q370=+1 ;TOOL PATH OVERLAP</pre>	<pre>12 CYCL CALL 13 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX 14 TOOL CALL 5 Z S764 F191 15 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX 16 CYCL DEF 240 CENTERING ~ Q200=+2 ;RASSTO. BEZOPASNOSTI ~ Q343=+0 ;SELECT DIA./DEPTH ~ Q201=-4 ;GLUBINA ~ Q344=-8 ;DIAMETER ~ Q206=+191 ;PODACHA NA WREZANJE ~ Q211=+0 ;WYDER.WREMENI WNIZU ~ Q203=+0 ;SURFACE COORDINATE ~ Q204=+2 ;2-JE BEZOP.RASSTOJ. 17 CALL LBL 1 18 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX 19 TOOL CALL 6 Z S573 F166 20 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX 21 CYCL DEF 203 UNIVERS. SWERLENIE ~ Q200=+2 ;RASSTO. BEZOPASNOSTI ~ Q201=-22 ;GLUBINA ~ Q206=+166 ;PODACHA NA WREZANJE ~ Q202=+5 ;GLUBINA WREZANJA ~ Q210=+0 ;WYDER.WREMENI WWER. ~ Q203=+0 ;SURFACE COORDINATE ~ Q204=+2 ;2-JE BEZOP.RASSTOJ. ~ Q212=+0 ;SIJOM MATERIALA ~ Q213=+2 ;KOL.OPER.LOMKI STRU. ~ Q205=+3 ;MIN.GLUBINA WREZANJA ~ Q211=+1 ;WYDER.WREMENI WNIZU ~ Q208=+99999 ;PODACHA WYCHODA ~ Q256=+0.2 ;WYCHOD PRI LOMANII 22 CALL LBL 1 23 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX 24 TOOL CALL 10 Z S164 F28 25 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX</pre>	<pre>26 CYCL DEF 200 SWERLENIE ~ Q200=+2 ;RASSTO. BEZOPASNOSTI ~ Q201=-10 ;GLUBINA ~ Q206=+28 ;PODACHA NA WREZANJE ~ Q202=+3 ;GLUBINA WREZANJA ~ Q210=+0 ;WYDER.WREMENI WWER. ~ Q203=+0 ;SURFACE COORDINATE ~ Q204=+2 ;2-JE BEZOP.RASSTOJ. ~ Q211=+1 ;WYDER.WREMENI WNIZU 27 CALL LBL 1 28 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX M30 29 LBL 1 30 CYCL DEF 220 OBRAZEC KRUG ~ Q216=+0 ;1-AJA KOORD.CENTRA ~ Q217=+0 ;2-JA KOORD.CENTRA ~ Q244=+190 ;DIAMETR OBRAZUJ. ~ Q245=+0 ;UGOL NACHAL.TOCHKI ~ Q246=+360 ;UGOL KONECHN. TOCHKI ~ Q247=+45 ;SCHAG UGLA ~ Q241=+8 ;CHISLO POWTORENIJ ~ Q200=+2 ;RASSTO. BEZOPASNOSTI ~ Q203=+0 ;SURFACE COORDINATE ~ Q204=+2 ;2-JE BEZOP.RASSTOJ. ~ Q301=+0 ;DWISH.NA BEZ.WYSOTU ~ Q365=+0 ;WID PEREMESCHENJA 31 LBL 0 32 END PGM Kruwka MM</pre>
---	--	--



Розробник _____ Алексик Д.І.

Керівник _____ Гаврушкевич А.Ю.

Дата _____



1. HRC 45...50
2. *Ìdîndààèàíy àííónèà ISO 8015.*
3. *Îííîí³ àíííónèè ISO 2768-ì Í.*

						Ì Â-5101.ÄÌÁ.407.001					
						Âàë			Eëò.	Ì ànnà	Ì àñòòàá
Eci.	Eëò	¹ àrëòì.	Ì'ài.	Aaòà	Á						1:1
Ðacòaa.	Aeàènee										
Ìò'ä.	Aaàòòòeààè-										
Ò.èrròð.						Eëò		Eëò'òä		1	
Ì.èrròð.						Ñòàèü 40Õ ÃÌÑÒ 4543-71			É'² η. ¢aröy Ñeröñuerar,		
Òòä.									ÌÌ; ÊÀÌ, ÌÂ-51		

