

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Конструкторсько-технологічна підготовка виробництва
деталі «Корпус» редуктору РМ-400 з використанням CAD/CAM-
систем

Виконав: здобувач групи ПМ-22
Заярний Д.М.

Керівник випускної роботи:
доцент, к.т.н., Нечаєв В.П.

Кривий Ріг
2026 р.

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ**

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Конструкторсько-технологічна підготовка виробництва
деталі «Корпус» редуктору РМ-400 з використанням САД/САМ-
систем

Виконав здобувач гр. ПМ-22

(підпис)

Денис ЗАЯРНИЙ

Керівник КБР

(підпис)

Василь НЕЧАЄВ

Нормоконтроль

(підпис)

Василь НЕЧАЄВ

Завідувач кафедри

(підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ

Криворізький національний університет
Факультет: механічної інженерії та транспорту
Кафедра: технології машинобудування
Ступінь вищої освіти: бакалавр
Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Затверджую
Зав. кафедри доцент, к.т.н., Рязанцев А.О.

(дата)

(підпис)

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну бакалаврську роботу

Здобувача групи ПМ-22 Заярного Дениса Максимовича

1. Тема: Конструкторсько-технологічна підготовка виробництва деталі «Корпус» редуктору РМ-400 з використанням CAD/CAM-систем

Керівник проєкту: доц., к.т.н. Нечаєв В.П.

Затверджена наказом по КНУ № _____ від « ____ » _____ 2026 р.

2. Термін подання здобувачем закінченої роботи « ____ » _____ 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: 1. Найменування вузла. 2. Креслення деталі «Корпус». 3. Річна програма випуску деталей

4. Зміст пояснювальної записки: 1. Аналіз службового призначення машини, вузла та деталі. 2. Технологічна підготовка виробництва деталі. 3. Проектування технологічного процесу обробки деталі. 4. Проектування технологічного оснащення. 5. Моделювання та програмування операцій механічної обробки. 6. Організаційно-економічна підготовка виробництва.

5. Перелік графічного матеріалу: 1. Корпус. 2. Ескізи операцій. 3. Пристрій верстатний. 4. Верстатно-інструментальне налагодження. 5. Моделювання процесу обробки.

6. Календарний план:

№ з/п	Етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання
1.	Розробка та узгодження технічного завдання	25.02.2026
2.	Технічне завдання та аналіз вихідних даних	01.03.2026
3.	Призначення об'єкту виробництва	03.03.2026
4.	Аналіз технологічності деталі.	10.03.2026
5.	Креслення деталі (А1-А4).	18.03.2026
6.	Вибір та обґрунтування послідовності обробки поверхонь деталі.	24.03.2026
7.	Розробка технологічного маршруту обробки деталі.	05.04.2026
8.	Технологічна підготовка виробництва виробу	12.04.2026
9.	Техніко-економічний аналіз вихідних даних для обробки деталі	19.04.2026
10.	Розрахунок і вибір режимів різання, нормування технологічних операцій	25.04.2026
11.	Конструкторська підготовка виробництва	01.05.2026
12.	Проектування технологічного оснащення	04.05.2026
13.	Креслення верстатного та контрольного пристосування	08.05.2026
14.	Розробка та креслення об'єднаного верстатно-інструментального налагодження (А1-А2)	12.05.2026
15.	Моделювання та програмування операцій механічної обробки	15.05.2026
16.	Креслення змодельованого процесу обробки (А1-А2)	22.05.2026
17.	Організаційно-економічна підготовка виробництва.	27.05.2026
18.	Висновки	01.06.2026
19.	Оформлення РПЗ	07.06.2026
20.	Попередній захист	15.06.2026

Дата видачі завдання: «_____» _____ 2026 р.

Завдання видав керівник КБР _____

/ Нечасів В.П./

Завдання отримав
здобувач освіти _____

/ Заярний Д.М./

Перв. примен.	Справ. №	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
						Документація		
		A4		1	КНУ.КБР.131.26.1-09.ПЗ	Пояснювальна записка	59	
						Креслення		
		A1		2	КНУ.КБР.131.26.1-09.К	Корпус	1	
		A1		3	КНУ.КБР.131.26.1-09.ЕО	Ескізи операцій	2	
		A1		4	КНУ.КБР.131.26.1-09.ПВ	Пристрій верстатний	1	
		A1		5	КНУ.КБР.131.26.1-09.ВІН	Верстатно-інструментальне налагодження	1	
		A3		6	КНУ.КБР.131.26.1-09.МПМО	Моделювання процесу механічної обробки	1	
Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	КНУ.КБР.131.26.1-09.ВМКБР				
				Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Инв. № подл.	Разраб.	Заярний			Відомість матеріалів КБР	Лит.	Лист	Листов
	Пров.	Нечаєв				Н		1
	Н.контр.	Нечаєв				Кафедра ТМ		
	Утв.	Рязанцев				гр. ПМ-22		

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до КРБ містить: 59 стор., 35 рисунків, 14 таблиць, 5 листів графічної частини.

Дана кваліфікаційна бакалаврська робота присвячена конструкторсько-технологічній підготовці виробництва деталі «Корпус» редуктору РМ-400 з використанням сучасних CAD/CAM систем.

Об'єктом дослідження є процес конструкторсько-технологічної підготовки виробництва деталей корпусного типу в умовах машинобудівного підприємства.

Предметом дослідження є методи та засоби автоматизованого проектування технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус» редуктору РМ-400 із застосуванням інтегрованих CAD/CAM систем, зокрема параметричне моделювання геометрії деталі, розробка стратегій механічної обробки та генерація керуючих програм для верстатів з числовим програмним керуванням.

У роботі розглядається комплексний підхід до технологічного проектування, що охоплює розробку конструкторської документації, вибір оптимальних методів обробки, проектування технологічного процесу виготовлення деталі та його автоматизацію засобами CAD/CAM систем. Такий підхід дозволяє розглядати виробничий процес як єдину інтегровану систему – від конструкторського задуму до отримання готової деталі на верстаті з числовим програмним керуванням.

Сучасне машинобудування перебуває в умовах жорсткої конкуренції, скорочення виробничих циклів і підвищення вимог до якості продукції. За таких умов традиційні методи технологічної підготовки виробництва, що ґрунтуються на ручному проектуванні технологічних процесів і розробці керуючих програм для верстатів з ЧПК, стають дедалі менш ефективними. Саме тому впровадження CAD/CAM систем у процес конструкторсько-технологічної підготовки виробництва набуває особливого значення.

Таким чином, розробка конструкторсько-технологічної документації для деталі «Корпус» редуктору РМ-400 із застосуванням CAD/CAM систем відповідає сучасним тенденціям розвитку машинобудівної галузі та має практичну цінність для підприємств, що займаються виготовленням редукторного обладнання.

КОРПУС, РЕДУКТОР РМ-400, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, CAD/CAM СИСТЕМИ, СОБІВАРТІСТЬ, ПРОДУКТИВНІСТЬ.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.Р			
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата				
Розроб.	Заярний				Реферат	Літ.	Арк.	Арк.шіт
Перевір.	Нечаєв							
Реценз.								
Н. контр.	Нечаєв							
Зав. каф.	Рязанцев							
						Каф. ТМ, гр. ПМ-22		

ABSTRACT

The explanatory note to QBW contains: 59 pages, 35 figures, 14 tables, 5 sheets of the graphic part.

This bachelor's qualification thesis is devoted to the design and technological preparation of production of the "Housing" component of the PM-400 gearbox using modern CAD/CAM systems.

The object of the study is the process of design and technological preparation of production of housing-type components in a machine-building enterprise environment.

The subject of the study is methods and tools of computer-aided design of the technological process for manufacturing the "Housing" component of the PM-400 gearbox using integrated CAD/CAM systems, in particular parametric modeling of the part geometry, development of machining strategies, and generation of control programs for numerically controlled machine tools.

The work considers a comprehensive approach to process design, covering the development of design documentation, selection of optimal machining methods, design of the manufacturing process for the component, and its automation using CAD/CAM systems. This approach makes it possible to consider the production process as a single integrated system – from the design concept to obtaining the finished part on a CNC machine tool.

Modern mechanical engineering operates under conditions of intense competition, shortened production cycles, and increased product quality requirements. Under these conditions, traditional methods of technological preparation of production, based on manual process planning and manual development of CNC programs, are becoming increasingly inefficient. Therefore, the implementation of CAD/CAM systems in the process of design and technological preparation of production is of particular importance.

Thus, the development of design and technological documentation for the "Housing" component of the PM-400 gearbox using CAD/CAM systems corresponds to current trends in the development of the mechanical engineering industry and has practical value for enterprises engaged in the manufacture of gearbox equipment.

HOUSING, PM-400 GEARBOX, TECHNOLOGICAL PROCESS, CAD/CAM SYSTEMS, COST, PRODUCTIVITY.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.Р	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Вступ	8
1 Аналіз службового призначення машини, вузла та деталі	9
1.1 Технічне завдання та аналіз вихідних даних	9
1.2 Призначення об'єкту виробництва, як елементу вузла, механізму машини з характеристикою будови, принципів роботи, характеристикою кінематичних та силових ланцюгів та передач машини	10
1.3 Розрахунок лінійних розмірних ланцюгів	12
2 Технологічна підготовка виробництва деталі	19
2.1 Службове призначення деталі. Вибір матеріалу і варіантів замін	19
2.2 Аналіз якості поверхонь деталей	19
2.3 Технічний контроль робочого креслення	20
2.4 Аналіз технологічності деталі	21
2.5 Проектування технологічного процесу обробки деталі та вибір обладнання	21
3 Проектування технологічного процесу обробки деталі	23
3.1 Вибір, техніко – економічне обґрунтування та проектування заготовки	23
3.2 Вибір і обґрунтування баз	24
3.3 Вибір і обґрунтування послідовності обробки поверхонь	25
3.4 Розробка маршруту обробки деталі	26
3.5 Розробка технологічної операції	26
3.6 Вибір та розробка інструментального забезпечення для технологічного процесу на деталь	28
4 Проектування технологічного оснащення	39
4.1 Аналіз вихідних даних. Вибір способу обробки і типу верстату	39
4.2 Розробка схеми базування	39
4.3 Вибір установочних елементів	40
4.4 Визначення сили затиску деталі	40
4.5 Вибір та розрахунок затисних пристроїв	41
4.6 Розрахунок точності пристосування	42
4.6 Принцип дії пристрою	43
5 Моделювання та програмування операцій механічної обробки	45
5.1 Робота з проміжними файлами, вибір системи ЧПК, постпроцесора	45
5.2 Моделювання обробки та перевірка керуючих програм	46
6 Організаційно-економічна підготовка виробництва	50
6.1 Розрахунки ключових техніко-економічних показників	50
6.2 Екологія виробництва та охорона праці при фрезерних операціях	55
Висновки	58
Список використаних джерел	59

					КНУ.КБР.131.26.1-09.3			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Зміст	Літ.	Арк.	Архшів
Розроб.		Заярний						
Перевір.		Нечаєв						
Реценз.								
Н. контр.		Нечаєв						
Зав. каф.		Рязанцев						
						Каф. ТМ, гр. ПМ-22		

ВСТУП

Метало різальний інструмент - інструмент, призначений для зміни форми та розмірів заготовки шляхом видалення частини матеріалу у вигляді стружки, або шламу, тобто різальний інструмент використовується для оброблення матеріалів різанням. Оброблення різанням – вид механічного оброблення, яке полягає в утворенні нових поверхонь шляхом відділення поверхневих шарів матеріалу з утворенням стружки. Способи обробки металів тиском і литтям, як правило, не дають необхідної точності розмірів і чистоти поверхні заготовок (винятки складають спеціальні види лиття і холодне штампування). Тому куванням, штампуванням і литтям в більшості випадків виготовляють заготовки (напівфабрикати), що потребують додаткової обробки. Остаточна обробка виконується різанням, яке полягає в знятті з поверхонь заготовки визначеного шару металу, що залишається спеціально для цього. Шар металу, що знімається з металу, називається припуском на обробку. В результаті видалення припуску заготовка набуває точніших форми, розмірів та заданої шорсткості поверхонь, тобто перетворюється в деталь.

На цей вид оброблення припадає понад 90 % трудомісткості виготовлення більшості деталей. Для його реалізації існує ціла низка різноманітного металорізального обладнання, різного за розмірами, продуктивністю, ступенем автоматизації, яке забезпечує здійснення різних способів обробки різанням практично в усіх типах виробництва.

Обробка різанням є складним і дорогим процесом, який відрізняється значною трудомісткістю і значними втратами металу (при масовому виробництві зі стружкою втрачається 5 – 15 % металу, а при дрібносерійному і одиничному – до 25 %).

Обробка різанням включає дві множини способів її реалізації: лезову та абразивну обробки. Лезова обробка передбачає оброблення поверхонь заготовки одно- та багатолезовими інструментами – різцями, свердлами, фрезами, розвертками, протяжками та ін. Абразивна обробка – це обробка поверхонь абразивними інструментами, виготовленими з природних або штучних абразивних матеріалів, – абразивними кругами, сегментами, брусками, стрічками та вільними абразивами у вигляді порошків, паст тощо.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-09.В</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Вступ</i>		
<i>Розроб.</i>	<i>Заярний</i>						
<i>Перевір.</i>	<i>Нечаєв</i>						
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. контр.</i>	<i>Нечаєв</i>						
<i>Зав. каф.</i>	<i>Рязанцев</i>						
						<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>
							<i>Архів</i>
						<i>Каф. ТМ, гр. ПМ-22</i>	

1 АНАЛІЗ СЛУЖБОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ МАШИНИ, ВУЗЛА ТА ДЕТАЛІ

1.1 Технічне завдання та аналіз вихідних даних

Для виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи було використано креслення деталі «Корпус» разом із річною виробничою програмою, що передбачає виготовлення 1500 виробів. На рисунку 1.1 представлено тривимірну модель даної деталі.

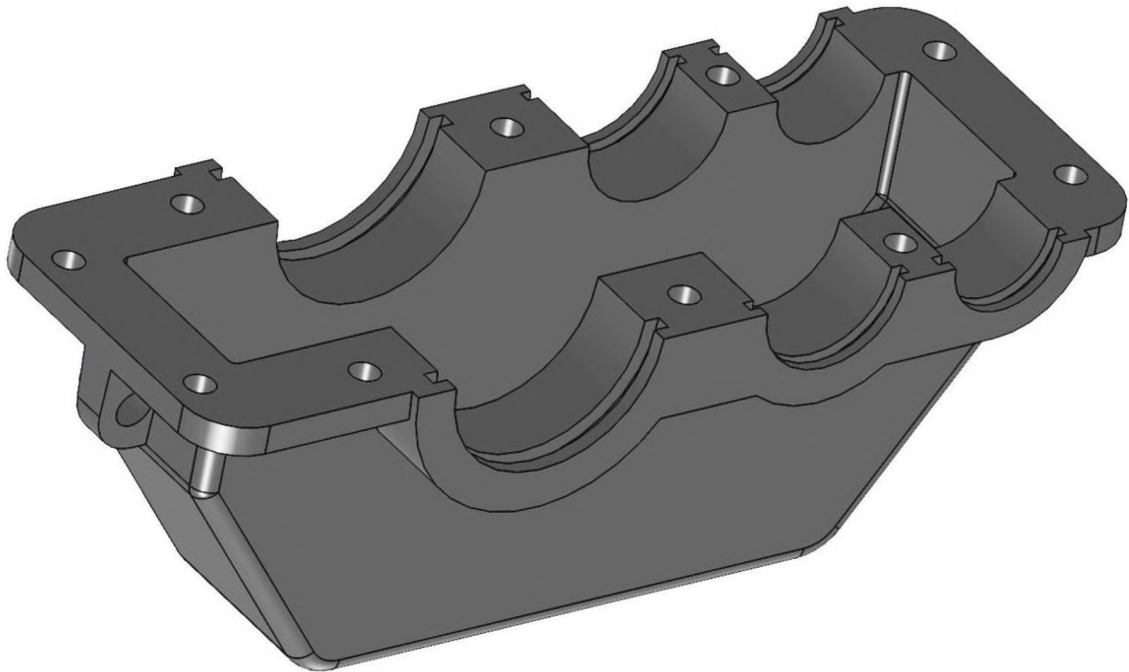


Рисунок 1.1 – Тривимірна модель деталі «Корпус»

Метою кваліфікаційної бакалаврської роботи є розробка конструкторсько-технологічної підготовки виробництва деталі «Корпус» редуктору РМ-400 на основі використання сучасних CAD/CAM систем, спрямована на підвищення ефективності технологічного процесу, забезпечення заданої точності та якості виготовлення деталі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз службового призначення деталі «Корпус» редуктору РМ-400, її конструктивних особливостей та технічних вимог до виготовлення;
- здійснити аналіз технологічності конструкції деталі та обґрунтувати вибір методу отримання заготовки;
- розробити маршрутний технологічний процес виготовлення деталі з вибором технологічного обладнання, різального та вимірювального інструменту;

					КНУ.КБР.131.26.1-09.01.АСПМ		
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата	Аналіз службового призначення машини, вузла та деталі		
Розроб.	Заярний						
Перевір.	Нечаєв						
Реценз.							
Н. контр.	Нечаєв						
Зав. каф.	Рязанцев				Літ.		
					Арк.		
					Архив		
					Каф. ТМ, гр. ПМ-22		

- виконати розрахунок припусків на механічну обробку, режимів різання та норм часу для ключових технологічних операцій;
- розробити тривимірну параметричну модель деталі «Корпус» засобами CAD-системи;
- сформувати керуючі програми для верстатів з ЧПК із використанням САМ-модуля та виконати їх верифікацію шляхом імітаційного моделювання.

1.2 Призначення об'єкту виробництва, як елементу вузла, механізму машини з характеристикою будови, принципів роботи, характеристикою кінематичних та силових ланцюгів та передач машини

Редуктор РМ-400 (рис. 1.1) – це циліндричний двоступінчастий горизонтальний редуктор загальнопромислового призначення, який використовується для зменшення частоти обертання та збільшення крутного моменту у приводах машин і механізмів. Складові частини редуктора наведені в таблиці 1.1, а його технічна характеристика в табл. 1.2.

Основні особливості: двоступенева зубчаста передача; паралельне розташування валів; можливість роботи при постійному і змінному навантаженні; робота в реверсивному режимі; широке застосування (верстати, транспортери, підйомні механізми).

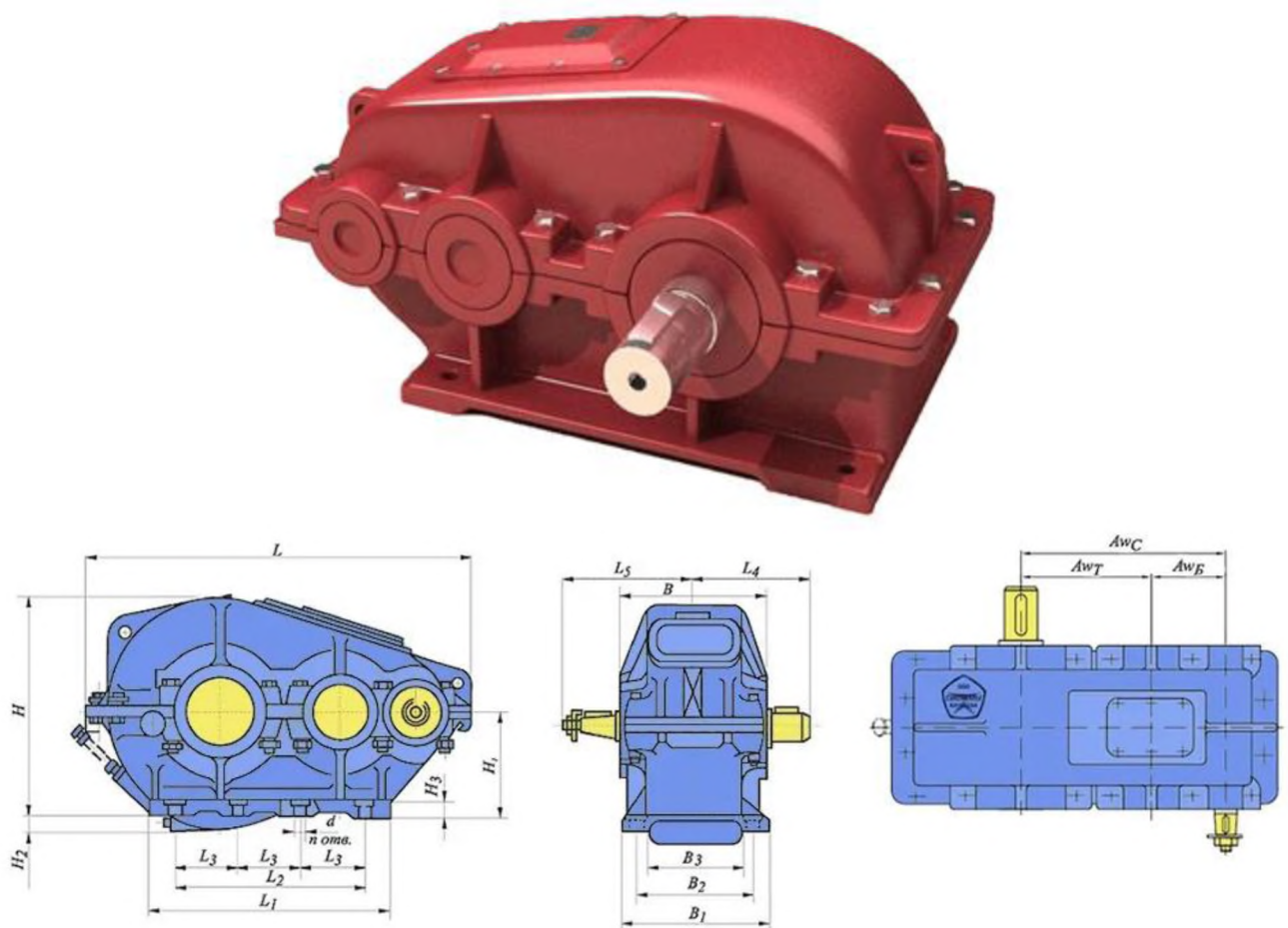


Рисунок 1.2 – Редуктор РМ-400

					КНУ.КБР.131.26.1-09.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Складові частини редуктора РМ-400

№	Складова частина	Опис
1	Корпус (нижня частина)	Основна несуча частина, у якій розміщені вузли редуктора
2	Кришка корпусу	Закриває редуктор, забезпечує доступ до внутрішніх елементів
3	Вхідний (швидкохідний) вал	Передає обертання від двигуна
4	Проміжний вал	Передає рух між ступенями редукції
5	Вихідний (тихохідний) вал	Передає збільшений крутний момент на механізм
6	Зубчасті колеса (шестерні)	Забезпечують передачу руху між валами
7	Підшипники кочення	Забезпечують обертання валів з мінімальним тертям
8	Шпонки	Фіксують зубчасті колеса на валах
9	Ущільнення (сальники)	Запобігають витoku мастила
10	Система змащення (олива)	Зменшує знос і тертя деталей
11	Кріпильні елементи	Болти, гайки для з'єднання частин

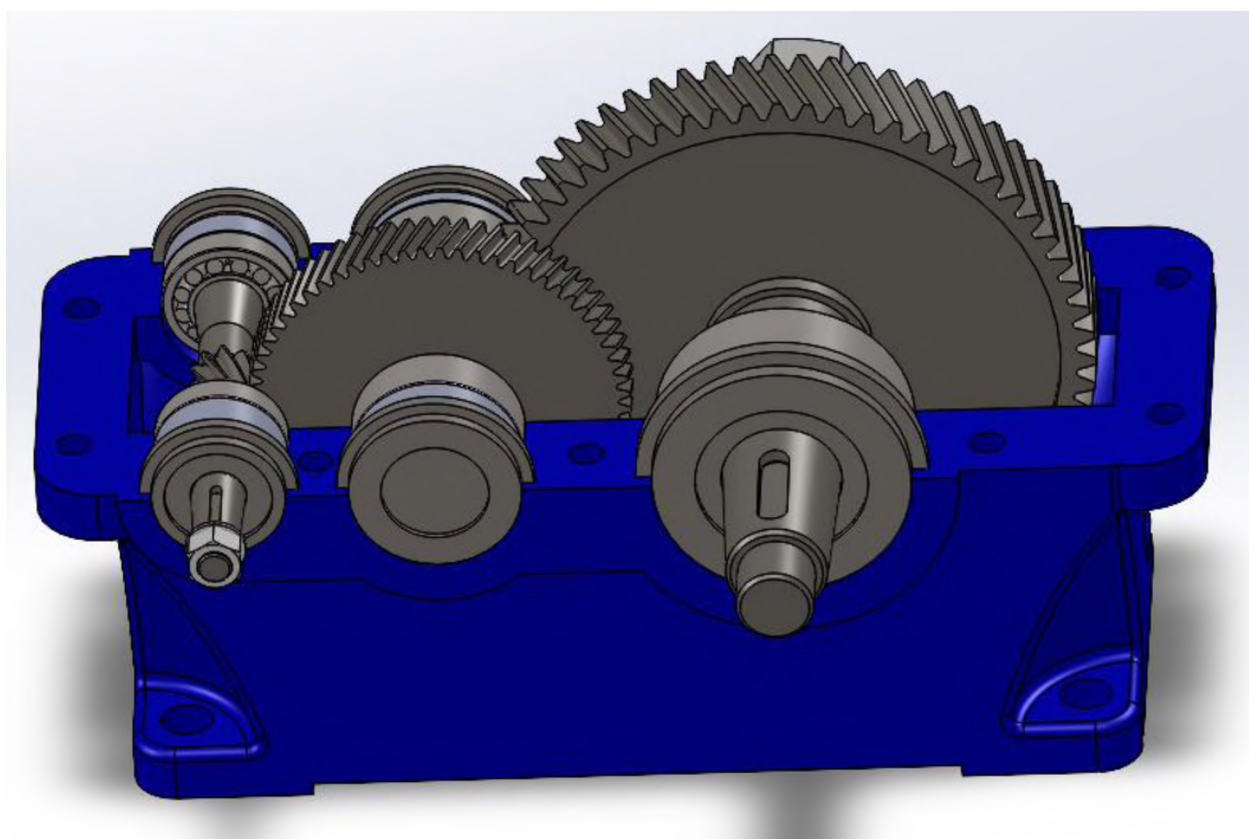


Рисунок 1.3 – Редуктор в зборі

Кришка корпусу є невід'ємною складовою частиною редуктора РМ-400 і виконує важливу роль у забезпеченні його надійної та довготривалої роботи. Вона являє собою верхню знімну частину корпусу, яка разом із нижньою частиною утворює замкнений об'єм для розміщення внутрішніх елементів редуктора.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики редуктора РМ-400

Параметр	Значення
Тип редуктора	Циліндричний
Кількість ступенів	2
Міжосьова відстань	400 мм
Передавальне число	8 – 50
ККД	$\approx 0,98$
Номінальний крутний момент	1000 – 2750 Н·м
Частота обертання вхідного валу	до 1500 об/хв
Допустиме радіальне навантаження	2300 – 3300 Н
Об'єм мастила	$\approx 5,5$ л
Маса	$\sim 200\text{--}210$ кг
Температурний діапазон роботи	$-40\ldots+50$ °С
Режим роботи	Тривалий, з реверсом
Тип навантаження	Постійне / змінне

Основним призначенням кришки корпусу є герметичне закриття редуктора, що дозволяє захистити зубчасті передачі, вали та підшипники від впливу зовнішнього середовища, зокрема пилу, вологи та механічних домішок. Одночасно вона запобігає витіканню мастильного матеріалу, забезпечуючи стабільні умови змащення, що є критично важливим для зменшення тертя та зносу деталей.

Кришка корпусу також виконує конструкційну функцію, беручи участь у формуванні жорсткості та міцності всього вузла. Завдяки точно обробленим стикувальним поверхням вона забезпечує правильне взаємне розташування елементів редуктора, зокрема підшипникових вузлів і валів, що впливає на точність роботи зубчастого зачеплення.

Важливою особливістю кришки є її знімна конструкція, яка значно спрощує процес монтажу, демонтажу та технічного обслуговування редуктора. Це дає змогу проводити огляд, ремонт або заміну внутрішніх деталей без необхідності повного розбирання агрегату. У конструкції кришки можуть передбачатися додаткові елементи, такі як отвори для встановлення ущільнень, вентиляційних пристроїв (сапунів), оглядових вікон або датчиків.

Кришка корпусу виготовляється з чавуну, що забезпечує необхідну міцність, жорсткість і стійкість до вібрацій та навантажень, які виникають під час роботи редуктора. Кріплення кришки до корпусу здійснюється за допомогою болтів або шпильок, що гарантує надійність з'єднання та герметичність.

1.3 Розрахунок лінійних розмірних ланцюгів

1.3.1 Виявлення та розрахунок лінійних розмірних ланцюгів

Для визначення методу складання розрахуємо розмірні ланцюги.

Був виявлений лінійний розмірний ланцюг А [3, 9, 17]. Схема лінійного розмірного ланцюга представлена на рисунку 1.5.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

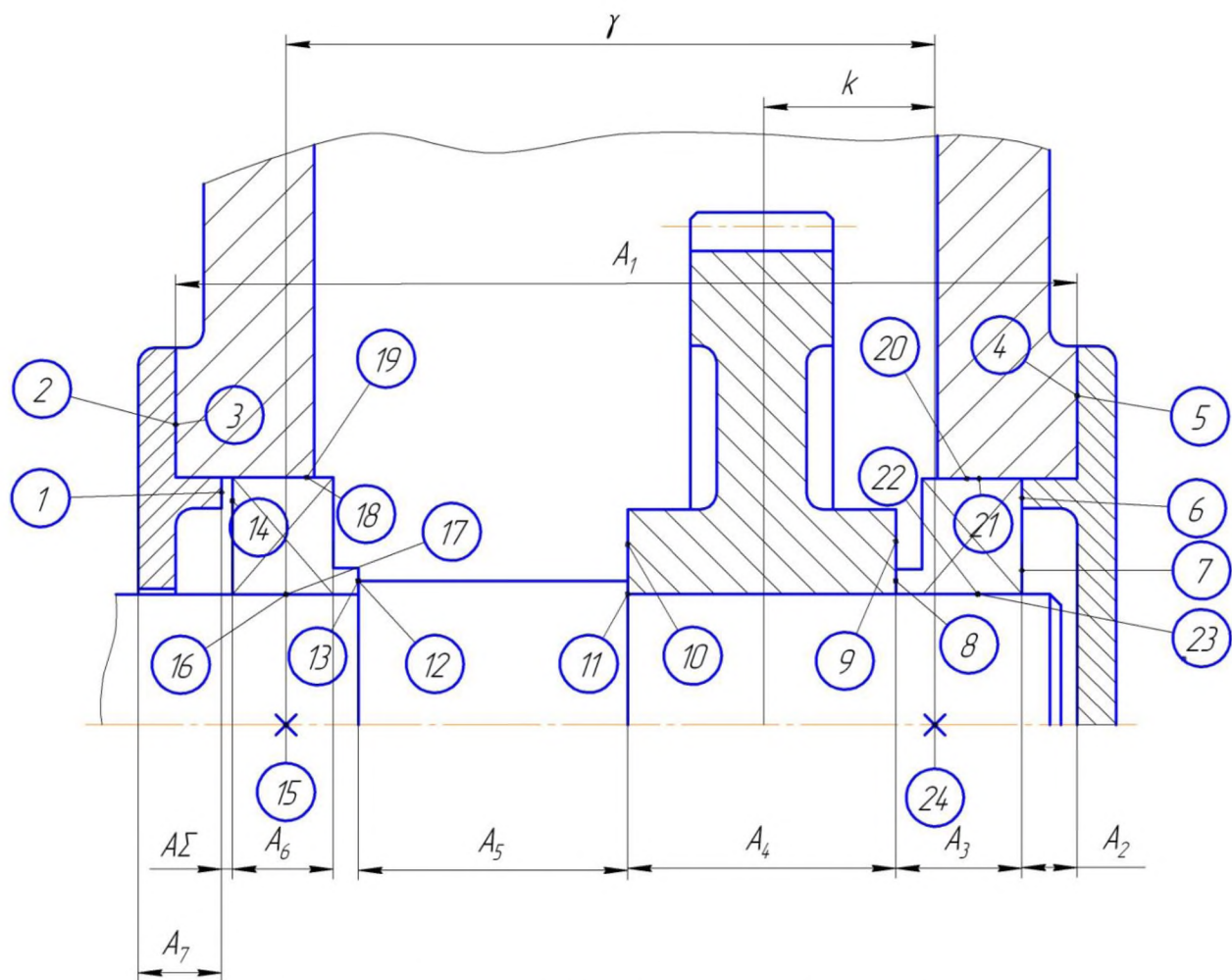


Рисунок 1.4 – Фрагмент складального вузла

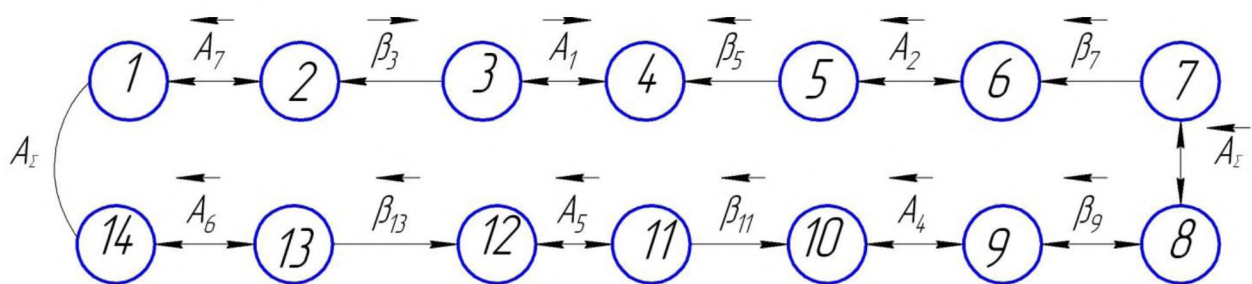


Рисунок 1.5 – Схема лінійного розмірного ланцюга А

Ланцюг А призначений забезпечити зазор між підшипниками і буртіком кришки в межах 1,8 мм.

Ланки розмірного ланцюга:

$A_1^{\rightarrow}$ - відстань між стінками корпусу	440мм.
$A_2^{\leftarrow}, A_7^{\leftarrow}$ - висота буртіка кришки під підшипники	26мм.
$A_3^{\leftarrow}, A_6^{\leftarrow}$ - ширина підшипника	62мм.
$A_4^{\leftarrow}$ - ширина шестерні	129мм.
$A_5^{\leftarrow}$ - ширина ступеня валу	135мм.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\beta_3^{\rightarrow}$ - відхилення від паралельності стінок корпусу

$\beta_5^{\leftarrow}$ - торцеве биття кришки

$\beta_{13}^{\leftarrow}, \beta_7^{\leftarrow}$ - торцеве биття підшипника

$\beta_9^{\leftarrow}$ - торцеве биття колеса

$\beta_{11}^{\leftarrow}$ - торцеве биття шийки валу

$$A_{\varepsilon} = A_1^{\rightarrow} - A_2^{\leftarrow} - A_3^{\leftarrow} - A_4^{\leftarrow} - A_5^{\leftarrow} - A_6^{\leftarrow} - A_7^{\leftarrow} - A_8^{\leftarrow}$$

Таблиця 1.3 – Розрахунок лінійного розмірного ланцюга

Ланка	Номинальний розмір	Одиниця допуску	Квалітет ІТ	Допуск Т	Координати середини ΔC	Розмір з відхиленнями
$A_1^{\rightarrow}$	440	2,89	13	0,97	0	$440 \pm 0,485$
$A_2^{\leftarrow}, A_7^{\leftarrow}$	26	1,31	14	0,52	-0,26	$26_{-0,52}$
$A_3^{\leftarrow}, A_6^{\leftarrow}$	62	-	ст.	0,15	-0,075	$62_{-0,15}$
$[A_4^{\leftarrow}]$	129	2,52	12	0,4	-0,513	$129_{-0,313}^{-0,713}$
$A_5^{\leftarrow}$	135	2,52	13	0,63	0	$135 \pm 0,315$
$\beta_3^{\rightarrow}$				0,5	0,25	
$\beta_5^{\leftarrow}$				0,2	0,1	
$\beta_{13}^{\leftarrow}, \beta_7^{\leftarrow}$				0,025	0,0125	
$\beta_9^{\leftarrow}$				0,16	0,08	
$\beta_{11}^{\leftarrow}$				0,25	0,125	
A_{ε}	0			18	+0,9	

Розрахунок ведемо вірогідним методом.

Розраховуємо пряму задачу так як нам відома вихідна ланка $A_{\varepsilon} = 0^{+1,2}_{-0}$ мм.

$T_{\varepsilon} = 1,2 \Delta_{\varepsilon} = +0,6$.

1. Одиниця допуску визначається з виразу:

$$a_{\varepsilon} = \frac{0,83 T_{\varepsilon} - \sqrt{1,44 \sum T_{\text{ст}}^2 + 0,56 \sum \beta_{\text{ст}}^2}}{1,2 \sqrt{\sum_{i=1}^n i_i^2}} \quad (1.1)$$

де: T_{ε} - допуск вихідної ланки 1,2,

$\sum T_{\text{ст}}$ - допуск стандартних виробів $T = 0,15$,

$\sum \beta_{\text{ст}}$ - радіальне биття стандартних виробів $\beta = 0,025$,

i - одиниця допуску

$$a = \frac{0,83 \cdot 1800 - \sqrt{1,44 \cdot 2 \cdot 150^2 + 2 \cdot 0,56 \cdot 25^2}}{1,2 \sqrt{2,89^2 + 2 \cdot 1,31^2 + 2,52^2 \cdot 2}} = \frac{1494 - 255,9}{5,93} = 208,5$$

Така кількість одиниць допуску знаходиться між ІТ12(160) і ІТ13(250), тому призначаємо ІТ12, інші ІТ13. У відповідності з цим вибираємо з таблиць торцеві биття нормальної точності.

Перевіряємо правильність призначення допусків за виразом:

					КНУ.КБР.131.26.1-09.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{\varepsilon} = \sqrt{1,44 \sum_{i=1}^n T_i^2 + 0,56 \sum_{j=1}^m \beta_j^2}; \quad (1.2)$$

$T_{\varepsilon} = \sqrt{(1,44(0,97^2 + 0,33^2 \cdot 2 + 0,15^2 \cdot 2 + 0,4^2 + 0,63^2) + 0,56(0,5^2 + 0,12^2 + 0,025^2 \cdot 2 + 0,16^2 + 0,25^2))} = 1,65$ що менше вихідної ланки 1,8. Призначаємо IT14 на висоту буртику кришки і знову перевіряємо за виразом (1.2)

$$T_{\varepsilon} = \sqrt{(1,44(0,97^2 + 0,52^2 \cdot 2 + 2,015^2 + 0,4^2 + 0,63^2) + 0,56(0,5^2 + 0,2^2 + 0,025^2 \cdot 2 + 0,16^2 + 0,25^2))} = 1792 \approx 1800$$

$$\text{Похибка складає } \varepsilon = \frac{1800-1792}{1800} \cdot 100\% = 0,4\%$$

Призначаємо граничні відхилення, враховуючи складність обробки розмірів і заповнюємо п.6 таблиці 1.1. Для компенсації похибки від вільно призначених граничних відхилень ланку A_4 обираємо залежною і відзначаємо її чотирикутником.

Знаходимо середину поля допуску залежної ланки оберненого з зменшуючих ланок.

$$\Delta C_{A_5}^{\leftarrow} = \sum_{i=1}^n [\Delta C_i^{\rightarrow} + 0,5\beta_i^{\rightarrow} + 0,05(T_i^{\rightarrow} + \beta_i^{\rightarrow})] - \sum_{j=1}^m [\Delta C_j^{\leftarrow} + 0,5\beta_j^{\leftarrow} + 0,05(T_j^{\leftarrow} + \beta_j^{\leftarrow})] - [\Delta C_{\varepsilon} + 0,05T_{\varepsilon}] - 0,05T_{A_5} \quad (1.3)$$

де: $\Delta C_i^{\rightarrow}; \Delta C_j^{\leftarrow}$ - координати середини поля допуску відповідно збільшуючих і зменшуючих ланок;

$\Delta \beta_i^{\rightarrow}; \Delta \beta_j^{\leftarrow}$ - половина торцевих биттів відповідно збільшуючих і зменшуючих ланок;

ΔC_{ε} - координати середини поля допуску вихідної ланки.

Данні беремо з таблиці 1.3.

$$\Delta C_{A_4}^{\leftarrow} = 0 + 0,25 + 0,05(0,97 + 0,5) - [2(-0,26 + 0,1 + 0,05(0,52 + 0,2)) + 2(-0,075 + 0,0125 + 0,05(0,15 + 0,025)) + (0 + 0,125 + 0,05(0,63 + 0,25))] - (+0,9 + 0,05 \cdot 1,8) - 0,05 \cdot 0,4 = 0,34 + 0,248 + 0,107 - 0,169 - 0,99 - 0,02 = -0,513$$

Визначаємо граничні відхилення A_4 :

$$eS_{A_4} = \Delta C_{A_4} + \frac{T_{A_4}}{2} = -0,513 + \frac{0,4}{2} = -0,313$$

$$ei_{A_4} = \Delta C_{A_4} - \frac{T_{A_4}}{2} = -0,513 - \frac{0,4}{2} = -0,713$$

Перевірку вірності розрахунку проводимо за виразом:

$$\Delta C_{\varepsilon} = \sum_{i=1}^n [\Delta C_i^{\rightarrow} + 0,5\beta_i^{\rightarrow} + 0,05(T_i^{\rightarrow} + \beta_i^{\rightarrow})] - \sum_{j=1}^m [\Delta C_j^{\leftarrow} + 0,5\beta_j^{\leftarrow} + 0,05(T_j^{\leftarrow} + \beta_j^{\leftarrow})] - 0,05T_{\varepsilon} \quad (1.4)$$

$$\Delta C_{\varepsilon} = +0,9$$

Розрахунок проведено вірно.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3.2 Виявлення та розрахунок кутових розмірних ланцюгів

Для нормальної роботи редуктора необхідно забезпечити легке обертання, яке буде здійснено за рахунок:

- відсутності заклинювання у підшипникових вузлах;
- відсутності заклинювання у сполученнях вал-шестерня-колесо.

Заклинювання не буде при правильно обраних посадках і наявності осьових зазорів що компенсують похибки вимірювання, виготовлення, складання та температурної деформації.

Вплив посадок на нормальну роботу вузла перевіряється розрахунком кутових розмірних ланцюгів.

Кутовий ланцюг k повинен забезпечити боковий зазор у зубчатому зачепленні у межах $f_n=0,230$ мм, і граничні відхилення міжосьової відстані у межах $f_a=110$ мкм для колеса точності 8В. Це значення можна визначити тільки розрахувавши ланцюг γ , який визначає зміщення і перекіс валу у підшипникових опорах. Ланцюги зображено на рисунку 1.6. Починаючи з точки 15, яка лежить на осі валу і кінчаючи точкою 24, яка також належить осі валу, але на іншому ступеню.

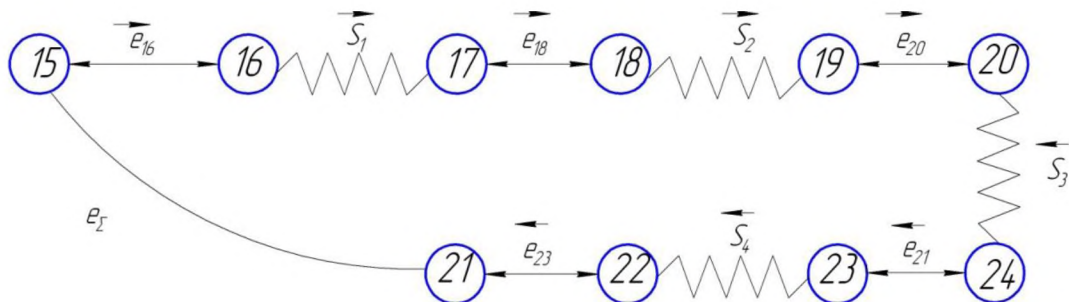


Рисунок 1.6 – Схема розмірного ланцюга γ

Ланки ланцюга:

$S_1^{\rightarrow}; S_3^{\leftarrow}$ - зазор між валом і підшипником

$S_2^{\rightarrow}; S_4^{\leftarrow}$ - зазор між підшипником і корпусом

$e_{16}^{\rightarrow}; e_{23}^{\leftarrow}$ - радіальне биття валу відносно осі

$e_{18}^{\rightarrow}; e_{21}^{\leftarrow}$ - радіальне биття підшипників

$e_{20}^{\rightarrow}$ - відхилення від співвісності отворів у корпусі.

e_{ϵ} - відносне суміщення осі валу у підшипникових опорах.

Значення величин знаходяться у таблиці 1.3.

Допуски зазорів визначаються з виразу:

$$T_{si} = S_{maxi} - S_{mini} \quad (1.5)$$

де: S_{maxi} - максимальний зазор визначається:

$$S_{max} = ES - ei$$

де: ES - верхнє відхилення отвору; ei - нижнє відхилення валу.

Мінімальний зазор визначається з виразу:

$$S_{min} = EI - es$$

де: EI - нижнє відхилення отвору; es - верхнє відхилення валу.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Координати середини поля допуску зазора:

$$em_{si} = \frac{em_D - em_d}{2} \quad (1.6)$$

де: em_D - координати середини поля допуску отвору:

$$em_D = \frac{ES - EI}{2}$$

em_d - координата середини поля допуску вала:

$$em_d = \frac{es + si}{2}$$

Розрахунок приведено у таблиці 1.2.

Допуск на відносне зміщення по вірогідному методу для проектних розрахунків визначається з виразу:

$$T_{e\varepsilon} = \sqrt{0,36 \sum_{i=1}^n T_{si}^2 + 0,56 \sum_{j=1}^m R_j^2} \quad (1.7)$$

$$T_{e\varepsilon} = \sqrt{0,36(0,076^2 + 0) + 0,56(0,015^2 \cdot 2 + 0,019^2 + 0,08^2)} = \\ = \sqrt{0,0041 + 0,0042} = 0,091 \text{ мм}$$

Допустиме зміщення $f_a = 0,110 \text{ мм}$.

$$0,091 < 0,11$$

Таким чином підвищувати точність деталей і підшипників не потрібно.

Визначаємо відносний перекид у колесі, який визначиться з трикутників по схемі (рис. 1.7).

Де: p_ε – сумарний перекид у підшипникових опорах, який не може перевищувати відносне зміщення, таким чином $p_\varepsilon = 0,091 = e_\varepsilon$; L -відстань між крайніми точками опор; l -відстань від колеса до підшипникових опор.

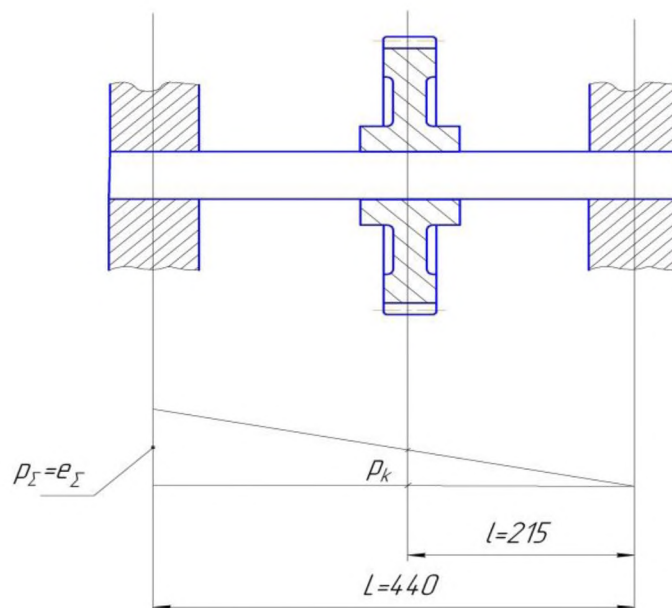


Рисунок 1.7 – Схема розрахунку перекосу колеса

З співвідношення трикутників знаходимо p_k - перекид колеса:

					КНУ.КБР.131.26.1-09.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{e_{\varepsilon}}{L} = \frac{p_k}{l}$$

$$p_k = \frac{e_{\varepsilon} \cdot l}{L} = \frac{0,091 \cdot 215}{440} = 0,044 \text{ мм}$$

Допустимий перекіс одного зубчастого колеса може бути не більше бокового зазору тобто

$$[p_{\varepsilon}] = \frac{0,23}{2} = 0,165 \text{ мм.}$$

Перекіс у нашому колесі значно менший

$$0,044 < 0,165.$$

Таким чином, вибрані посадки і підшипники задовольняють умовам експлуатації і мають 3,75 рази запас на зношування.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛІ

2.1 Службове призначення деталі. Вибір матеріалу і варіантів замін

Деталь «Корпус» є складальною одиницею редуктора РМ400. Редуктор – це механізм, який складається із зубчастих передач і призначений для передачі потужності від двигуна до робочої машини.

Корпус – це базова деталь в якій встановлюються різні деталі та складальні одиниці, точність яких та відносне положення забезпечується як в статичній, так і в процесі роботи машини під навантаженням. Згідно цього корпусні деталі повинні мати необхідну точність, жорсткість та вібростійкість, що забезпечує необхідне відносне положення з'єднаних деталей та вузлів, відсутність вібрацій.

Матеріал деталі – СЧ15 ДСТУ 8833:2019.

Механічні властивості:

Твердість – 170...229 НВ.

Границя міцності – при розтягненні 18 кгс/мм², стріла прогину 8 мм при відстані 600 мм.

Матеріал заміни – СЧ18 ДСТУ 8833:2019.

Механічні властивості:

Твердість – 170...229 НВ.

Границя міцності – при розтягненні 18 кгс/мм², стріла прогину 8 мм при відстані 600 мм.

Хімічний склад чавуна СЧ15 та його заміника наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад у % матеріалу СЧ15 та його заміника ДСТУ 8833:2019

Матеріал	C	Si	Mn	S	P
Чавун СЧ15	3.5 – 3.7	2 – 2.4	0.5 – 0.8	до 0.15	до 0.2
Чавун СЧ18	3.3 – 3.5	1.4 – 2.4	0.7 – 1	до 0.15	до 0.2

Таблиця 2.2 – Закордонні аналоги матеріалу СЧ15

США	Німеччина	Японія	Франція	Англія	Євросоюз	Китай
A48-25B C1.25B No.25	GG15	FC15 FC150	FGL150 Ft15D	150 Gr.150	EN-GJL-150 EN-JL1020	HT150

2.2 Аналіз якості поверхонь деталей

Основні поверхні деталі – площини роз'єму та встановлення 440 x 310 мм та 816 x 300 мм.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-09.02.ТПВД</i>		
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата	<i>Техніко-економічний аналіз вихідних даних проекту</i>		
Розроб.	Заявний						
Перевір.	Нечаєв						
Реценз.							
Н. контр.	Нечаєв						
Зав. каф.	Рязанцев						
					Літ.	Арк.	Арк.шіт
					Каф. ТМ, гр. ПМ-22		

Розточні отвори Ø180H7; Ø150H7 та Ø110H7.

Допоміжні – отвори під штифти Ø10.

Проведемо нумерацію поверхонь деталі, їх аналіз наведена в табл. 2.3

Таблиця 2.3 – Аналіз якості поверхонь деталі

№ пов	Номінальний розмір, мм	IT	T, мм	Ra	Відхилення форми і розташування
1	Торець 250 ₋₁	14	1,0	12,5	II 0,5
2	Торець 250 ₋₁	14	1,0	3,2	
3	Отвір Ø110H7	7	0,035	12,5	
4	Отвір Ø150H7	7	0,04	1,6	
5	Отвір Ø180H7	7	0,046	1,6	
6	Отвір Ø25H14	14	0,240	1,6	
7	Отвір Ø10H11	11	0,09	12,5	
8	Отвір Ø20H14	14	0,21	3,2	
9	Отвір M24	12	0,18	12,5	
10	Отвір Ø35H14	14	0,3	12,5	
11	Отвір Ø35H14	14	0,3	12,5	
12	Отвір M15	12	0,18	12,5	
13	Отвір Ø13H14	14	0,18	12,5	
14	Торець р-ра 304	14	0,52	12,5	
15	Канавка a=5 ^{+0,14}	12	0,12	3,2	
16	2 отв. Ø17	14	0,18	12,5	
17	2 отв. Ø10H8	8	0,022	3,2	
18	10 отв. Ø17	12	0,180	12,5	
19	2 отв. Ø10	12	0,012	1,6	
20	Торець р-ра 304	14	0,52	12,5	

2.3 Технічний контроль робочого креслення

Робоче креслення деталі «Корпус» представлене трьома проекціями та двома видами з місцевими та виносними розрізами деталі. відхилення форми і розміщення поверхонь відносно базових поверхонь дають повну інформацію при складанні маршруту обробки деталі. На кресленні вказано розміри, допуски, шорсткість поверхонь деталі.

Вимоги до відхилення форми і розташування поверхонь показані за старим зразком. Нетехнологічних елементів у деталі немає.

Технічні умови робочого креслення містять повну інформацію про деталь.

Креслення деталі відповідає вимогам ЄСКД. Значення лінійних і діаметральних розмірів, допусків і шорсткості відповідає нормальним рядам стандарту.

Технічні умови робочого креслення містять повну інформацію про деталь.

Висновок: Робоче креслення деталі виконати згідно вимогам державного стандарту.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

2.4 Аналіз технологічності деталі

Деталь «Корпус» є технологічною для виготовлення в умовах серійного або дрібносерійного виробництва. Конструкція деталі має переважно просту геометричну форму з великою кількістю плавних переходів, радіусів та ребер жорсткості, що є характерним для литих корпусних деталей.

Деталь має достатню кількість технологічних баз. Як основні базові поверхні можуть використовуватися площина роз'єму корпусу, нижня опорна поверхня та осі основних розточок. Це забезпечує можливість точного встановлення заготовки під час механічної обробки та дозволяє витримувати вимоги до взаємного розташування поверхонь.

Конструкція корпусу передбачає наявність великої кількості отворів, розточок та різьбових елементів, однак більшість із них є стандартними та доступними для обробки універсальним інструментом. Посадкові отвори під підшипники мають високі вимоги до точності та шорсткості, тому їх обробка повинна виконуватися після базової механічної обробки корпусу та, відповідно до приміток креслення, у зборі з кришкою. Це підвищує співвісність отворів та точність посадки підшипників.

Технологічність деталі дещо ускладнюється значними габаритами, масою близько 54,7 кг, а також необхідністю забезпечення високої точності взаємного розташування осей, площин та посадкових поверхонь. Для окремих поверхонь задано підвищені вимоги до шорсткості – Ra 0,8 та Ra 1,6, що потребує виконання чистових та, можливо, оздоблювальних операцій. Також встановлено жорсткі допуски на непаралельність, перекис осей та овальність розточок.

Загалом конструкцію корпусу можна вважати достатньо технологічною, оскільки вона відповідає вимогам ливарного виробництва, має раціональну форму, достатню жорсткість, зручні базові поверхні та допускає механічну обробку стандартними методами й інструментом.

2.5 Вибір діючого заводського технологічного процесу. Задачі проектування

Деталь «Корпус» на базовому підприємстві виготовлялася в умовах малосерійного виробництва.

Таблиця 2.4 – Заводський технологічний процес

№ оп.	Найменування операції	Зміст операції	Обладнання	Інструмент та оснащення
1	2	3	4	5
001	Ливарна	Виготовлення заготовки корпусу методом лиття у піщані форми	Ливарна дільниця	Ливарна форма
005	Термічна обробка	Нормалізації для зняття внутрішніх напружень	Термічна піч	Термічне оснащення

					КНУ.КБР.131.26.1-09.02.ТПВД		Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата			

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5
010	Багатоцільова	Обробка нижньої опорної площини корпусу як основної технологічної бази	Вертикально-фрезерний верстат	Торцева фреза, прихвати
		Обробка площини роз'єму корпусу		Торцева фреза
		Свердління базових отворів та допоміжних технологічних отворів		Свердла спіральні
		Обробка бічних площин, уступів та ребер жорсткості		Кінцева та торцева фрези
015	Розточувальна	Чорнове розточування основних отворів під підшипники	Горизонтально-розточувальний верстат	Розточувальний різець, оправка
020	Свердлильна	Свердління кріпильних отворів Ø10, Ø16, Ø17 та Ø35	Радіально-свердлильний верстат	Свердла відповідних діаметрів
		Зенкерування та зенкування отворів під різьбу і кріпильні елементи		Зенкер, зенківка 120°
		Нарізання внутрішньої різьби M24		Мітчик M24
025	Розточувальна	Чистове розточування посадкових місць під підшипники та контроль співвісності	Горизонтально-розточувальний верстат	Розточувальна оправка, різці
030	Шліфувальна	Доведення базових площин та посадкових поверхонь до необхідної шорсткості	Плоскошліфувальний верстат	Шліфувальний круг
035	Контрольна	Контроль розмірів, шорсткості, співвісності та взаємного розташування поверхонь	Контрольна дільниця	Штангенциркуль, мікрометр, нутромір, індикатор

Розроблений на базовому підприємстві технологічний процес відповідає типу виробництва базового підприємства. В бакалаврській роботі передбачимо більш економічний метод отримання заготовки, використовуватимемо сучасне обладнання з ЧПК, яке дозволить підвищити продуктивність виготовлення деталі.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

3 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ

3.1 Вибір, техніко – економічне обґрунтування та проектування заготовки

3.1.1 Вибір та техніко-економічне обґрунтування заготовки

Основною задачею під час вибору заготовки є визначення такого способу її отримання, за якого форма заготовки буде максимально наближеною до конфігурації готової деталі, а витрати на її виготовлення залишатимуться мінімальними. Для цього проводиться аналіз можливих методів отримання заготовки та обирається найбільш доцільний варіант відповідно до заданих вихідних даних.

Матеріал деталі – чавун СЧ15 ДСТУ 8833:2019.

Маса деталі – 54,7 кг.

Річна програма – 1000 штук.

Виробництво – середньосерійне.

Складаємо матрицю можливих способів отримання заготовки, дані заносимо до таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Матриця впливу факторів

Методи обробки заготовок	Форма	Точність	Технічні властивості матеріалу	Програма випуску	Виробничі можливості підприємства	Підсумок
Відливка у пісчану форму	+	+	+	–	+	4
По виплав. моделям	–	–	+	–	–	1
Лиття в кокіль	+	+	+	+	+	5

Виконуємо проектування заготовки «Корпус» за прийнятим методом лиття в кокіль.

3.1.2 Проектування заготовок

Заготовка – відливка в кокіль.

Деталь відноситься до відливок третього класу точності.

Клас точності розмірів – 7т.

Клас точності мас – 12.

Ряд припусків – 6.

Допуски розмірів відливок – 1,8 мм.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-09.03.ПТПОД</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Заярний</i>				<i>Проектування технологічного процесу обробки деталі</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Нечаєв</i>						
<i>Реценз.</i>						<i>Каф. ТМ, гр. ПМ-22</i>	
<i>Н. контр.</i>	<i>Нечаєв</i>						
<i>Зав. каф.</i>	<i>Рязанцев</i>						

Граничні відхилення короблення ± 4 мм.

Верхні граничні відхилення мас – 3 мм.

Припуски на механічну обробку призначаємо на одну сторону поверхні

Пов. 1	розмір 250мм	5 мм
Пов. 2	розмір 250мм	5 мм
Пов. 3	Ø110 мм	4,5 мм
Пов. 4	Ø150 мм	4,5 мм
Пов. 5	Ø180 мм	4,5 мм
Пов. 14	торець р-ру 304 мм	4,5 мм
Пов. 20	торець р-ру 304 мм	4,5 мм

Додаткові припуски на одну сторону

Пов. 1	- 3мм
Пов. 2	- 3мм
Пов. 14	- 2 мм
Пов. 20	- 2 мм

Загальні припуски на сторону

Пов. 1	$250 + 5 + 3 = 258$ мм
Пов. 2	$250 + 5 + 3 = 258$ мм
Пов. 3	$110 - 2(4,5 + 2) = 97$ мм
Пов. 4	$150 - 2(4,5 + 2) = 137$ мм
Пов. 5	$180 - 2(4,5 + 2) = 167$ мм
Пов. 14	$304 + 4,5 + 2 = 310,5$ мм
Пов. 20	$304 + 4,5 + 2 = 310,5$ мм

Висновки: Прийнятий метод отримання заготовки – лиття в кокіль.
Креслення заготовки суміщуємо з кресленням деталі.

3.2 Вибір і обґрунтування баз

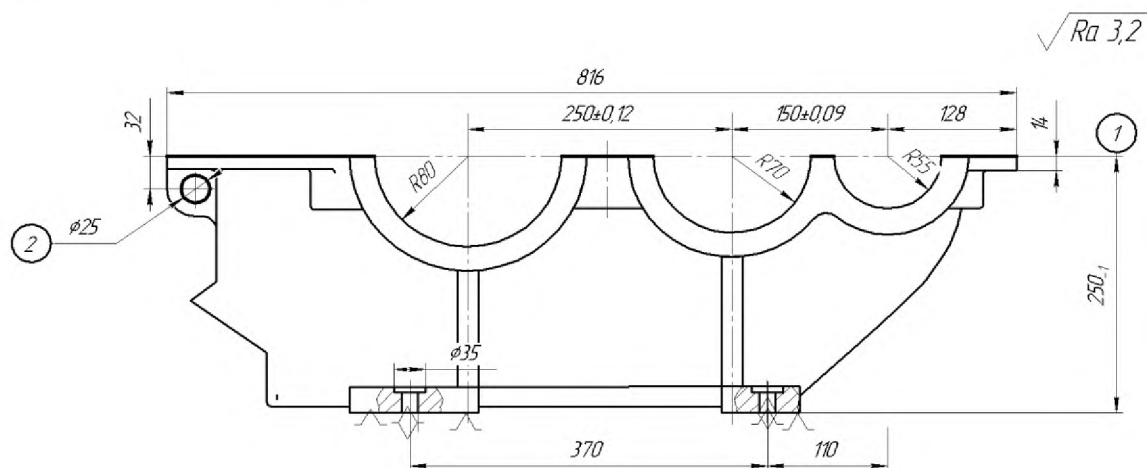


Рисунок 3.1 – Теоретична схема базування

					КНУ.КБР.131.26.1-09.03.ПТПОД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Конструкторська, технологічна та вимірювальна бази – торцева поверхня з розмірами 440 x 304 мм. Принцип єдності баз на фрезерних, свердлильних, розточних операціях відповідає вимогам.

Для фрезерних, свердлильних операцій теоретична схема базування з вказівкою шести опорних точок представлена на рисунку 3.1.

3.3 Вибір і обґрунтування послідовності обробки поверхонь

Для всіх поверхонь деталі визначається кількість і послідовність технологічних переходів із поступовим досягненням необхідної точності та заданої шорсткості. Отримані дані заносяться до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Послідовність обробки поверхонь

№ пов.	Розмір	Найменування переходів	R _a	IT	T мкм
1	2	3	4	5	6
1	250	Фрезерування чорнове Фрезерування чистове	12,5 3,2	14 14	1150 1150
2	250	Фрезерування чорнове Фрезерування чистове	12,5 3,2	14 14	1150 1150
3	Ø 110H7	Розточування чорнове Розточування чистове Розточування тонке	12,5 3,2 1,6	12 9 7	800 87 35
4	Ø 150H7	Розточування чорнове Розточування чистове Розточування тонке	12,5 3,2 1,6	12 9 7	1000 100 40
5	Ø 180H7	Розточування чорнове Розточування чистове Розточування тонке	12,5 3,2 1,6	12 9 7	1150 115 46
6	Ø25	Свердління	12,5	14	500
7	Ø10	Свердління Зенкерування	12,5 3,2	12 11	450 300
8	Ø20	Зенкерування	12,5	14	210
9	M24	Свердління Нарізання різьби	12,5 12,5	12 12	210 190
10	Ø35	Зенкерування	12,5	14	250
11	4 отв. Ø35	Зенкерування	12,5	14	250
12	10 отв. Ø35	Зенкерування	12,5	14	250
13	10 отв. Ø10	Свердли	12,5	12	180
14	P-p 304	Фрезерування чорнове	12,5	12	520
15	P-p 304	Фрезерування чорнове	12,5	12	520
16	2 отв. Ø17	Свердління	12,5	12	180

					КНУ.КБР.131.26.1-09.03.ПТПОД	Арк.
Змн.	Арк.	№ доцм.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6
17	2 отØ10	Свердління Зенкерування Розгортання	12,5 6,3 3,2	12 10 8	150 58 22
18	10 отв.Ø35	Зенкування	12,5	12	180
19	2 отв. Ø10H7	Свердління Розсвердлювання Розгортання	12,5 3,2 1,6	12 9 7	150 47 15
20	6-ть Канавок а=5	Розточування чорнове Розточування чистове Розточування тонке	12,5 3,2 1,6	12 9 7	150 55 6

3.4 Розробка маршруту обробки деталі

На основі приведених даних таблиць 3.1, 3.2 та вибраних металорізальних верстатів вносимо зміни до маршруту обробки деталі, дані вносимо до табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Маршрут обробки деталі

№ опер.	Найменування операції	№ оброблюємої поверхні	№ базуючої поверхні	Тип, модель верстата
005	Багатоцільова з ЧПК Установ А	1, 16, 17, 11	2, 15	Вертикальний обробний центр DMG MORI CMX 600
010	Свердлильна ЧПК Установ А Установ Б	2, 13, 12, 18, 19, 8, 7, 10, 9, 6	1, 17	Вертикальний обробний центр DMG MORI CMX 600
015	Складальна			
020	Багатоцільова з ЧПК Установ А	3, 4, 5, 20, 14, 15	1, 17	Вертикальний обробний центр DMG MORI CMX 600
025	Контрольна			

3.5 Розробка технологічної операції

До кожної технологічної операції призначаємо тип металорізального пристрою та різального інструменту. Дані занести до таблиці 3.4.

На свердлильно-фрезерно-розточувальні операції здійснюємо проектні рішення по впровадженню в технологічний процес деталі «Корпус» переналагоджувальний пристрій.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.03.ПТПОД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.4 – Послідовність виконання технологічних операцій та вибір обладнання

№ опер.	1. Назва операції 2. Верстат 3. Зміст переходів	Верстатний пристрій	Інструмент різальний
1	2	3	4
005	1. Багатоцільова з ЧПК 2. DMG MORI CMX 600 3. Установ А фрезерувати пов.1 свердлити пов.16 свердлити пов.17 зенкерувати пов.17 розгорнути пов.17	Переналагоджувальний пристрій Штангенциркуль ШЦ –III-700 ДСТУ ГОСТ 166:2009	Фреза торцева Свердло спіральне Свердло - розгортка
010	1. Свердлильно-фрезерна ЧПК 2. DMG MORI CMX 600 3. Установ А фрезерувати пов.2 свердлити пов.13 зенкерувати пов.12 зенкерувати пов.18 свердлити пов.19 розсвердлити пов.19 розгорнути пов.19 зенкерувати пов.8 свердлити пов.7 зенкерувати пов.7 зенкерувати пов.10 свердлити пов.9 нарізати різьбу пов.9 свердлити пов.6	Переналагоджувальний пристрій Штангенциркуль ШЦ –III-700 ДСТУ ГОСТ 166:2009	Фреза торцева Свердло спіральне  Свердло – розгортка Мітчик 
020	1. Багатоцільова з ЧПК 2. DMG MORI CMX 600 3. Установ А Пов.3. Розточування чорнове Розточування напівчистиве Розточування чистове Пов. 4 Розточування чорнове Розточування напівчистиве Розточування чистове	Переналагоджувальний пристрій Штангенциркуль ШЦ –III-700 ДСТУ ГОСТ 166:2009	Розточувальні головки Свердло спіральне з циліндричним хвостовиком 

Змн.	Арк.	№ доцм.	Підпис	Дата

КНУ.КБР.131.26.1-09.03.ПТПОД

Арк.

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4
020	Пов. 5 Розточування чорнове Розточування напівчистиве Розточування чистове Пов.20 Розточування чорнове Розточування напівчистиве Розточування чистове Пов.14 Фрезерування чорнове Пов.15 Фрезерування чорнове		Мітчик для нарізання різьби  Свердло проміжне спіральне з циліндричним хвостовиком  Фреза торцева

3.6 Вибір та розробка інструментального забезпечення для технологічного процесу на деталь

3.6.1 Вибір типорозміру різальних інструментів

Вибір металорізального інструменту проводимо за каталогами «Mitsubishi», «Seco Tools» та «Kennametal».

Поверхні 3, 4, 5- розточування отворів $\varnothing 110H7\text{мм}$, $\varnothing 150H7\text{мм}$, $\varnothing 180H7\text{мм}$.

Каталог «SECO» [3], розділ «Головки для чорнової розточки». Обираємо розточні головки з траверсою для чорнового та чистового розточування отворів діаметром $\varnothing 100\text{-}2155\text{ мм}$. Загальний вид розточної головки представлено на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд розточної головки з траверсою

Обираємо траверсу (рисунок 3.3) з діапазоном обробки $\varnothing 100\text{-}300\text{ мм}$ – модель A731020.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.03.ПТПОД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.3 – Загальний вид траверси для розточки

Для чорнового та прецизійного розточування вибираємо рухомі блоки з картриджами моделі A731 400



Рисунок 3.4 – Рухомий блок

У рухомі блоки встановлюють картриджі (рисунок 3.5), які відповідають типу обробки і, як наслідок, типу рухомого блоку. Обираємо картридж SCGCL 16CA-16 з пластинами ромбічної форми.



Рисунок 3.5 – Картриджі для рухомих блоків чорнового розточування: загальний вигляд, шифр SCGCL 16CA-16

Використовується пластина CCMT 160508-F2 з матеріалу TP200. Сплав ТК2000 – універсальний матеріал. Застосовується для широкого спектру токарних та розточних операцій по звичайним та нержавіючим сталям, а також широко застосовується для операції по чавуну

Рекомендовані режими різання для пластини CCMT 160508-F2 зі сплаву TP200: максимальна глибина різання $a_p = 7$ мм; подача на ріжучу кромку $f_z = 0,2 - 0,5$ мм/об.

Для прецизійного розточування використовується пара рухомих блоків урівноважуючого та ріжучого.

Урівноважуючий блок має позначення А 731 600, а ріжучий А 731 500.

Спеціальний картридж для чистового розточування, загальний вигляд якого представлено на рисунку 3.6 обираємо моделі А 725 75.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.03.ПТПОД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.6 – Картридж для чистового розточування: шифр А 725 75

Для картриджу використовують пластину ССМТ 09Т308-Н2, з матеріалу ТК1000.

Рекомендовані режими різання для пластини: максимальна глибина різання $a_p = 2,5$ мм; подача на ріжучу кромку $f_z = 0,05 - 0,025$ мм

Поверхні 1, 2, 14, 15 – фреза торцева.

Для чорнового, напівчистового та чистового фрезерування плоских та торцевих поверхонь.

Обираємо фрезу серії ВАР300 (рисунок 3.7) з діаметром обробки Ø63 мм.



Рисунок 3.7 – Фреза серії ВАР300,400

Обрали фрезу ВАР300-063А08R, яка має наступні параметри виходячи з шифру-позначення інструменту:

Пластина моделі АРМТ1135PDER-Н2 має спеціальну зачисну кромку. Пластини обираємо керметові – марка матеріалу МХ2525.

Режими різання для чистової обробки: швидкість різання 180 (130-220) м/хв; подача на зуб 0,08 (0,05-0,1) мм/зуб.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.03.ПТПОД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

Поверхня 20 – різець канавочний для розточування канавок $a=5\text{ мм}$.

Державка різця: 20CNR0032S20

Пластина 20NR 5.0FG

Сплав: CP500

Режими різання для чорнової обробки: швидкість різання 100 м/хв; подача 0,7 мм/об.

Режими різання для чистової та тонкої обробки: швидкість різання 125-115 м/хв; подача 0,4-0,1 мм/зуб.

Поверхня 9 – M24-7H.

За каталогом SECO вибираємо свердло Perfomax (рис. 3.8).

Свердло SD503, свердло Ø21 мм.

Глибина сверлення $3 \times D$

ISO 9766 хвостовик, -7



- Інформація по пластинам на стр. 149-151.
- По режимам обработки см. стр. 152-159.
- Внутренняя подача СОЖ.

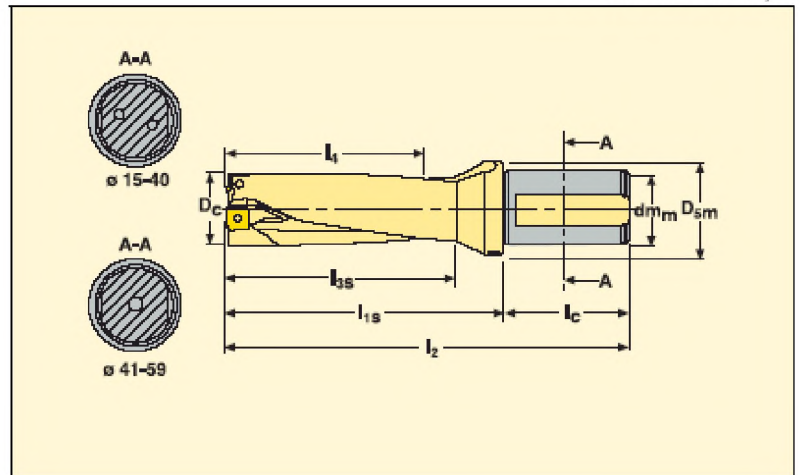


Рисунок 3.8 – Свердло зі змінними твердосплавними пластинами SD503-21-59-25R7

Пластины:

Центральна – SPGX0402-C1; сплав T400D.

Периферійна – SPGX040204, сплав T2000D.

Режими різання: $S = 0,04 \dots 0,11$ мм/об. $V = 170 \dots 230$ м/хв.

Вибір фрези для нарізання різьби здійснюємо за каталогом компанії «SECO» [3].

Фреза для нарізання різьби з пластинами з механічним кріпленням.

Шифр: R396.19.2520.3S-4003 – 2A

Пластина: 13NMS 20UN, покриття CP500

Режими різання: $S = 0,02 \dots 0,1$ мм/об. $V = 20 \dots 65$ м/хв.

Поверхня 8 – розсвердлювання отвору Ø20 мм.

За каталогом SECO вибираємо свердло Perfomax (рис. 3.9).

					КНУ.КБР.131.26.1-09.03.ПТПОД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Глибина сверлення 2,5 x D

ISO 9766 хвостовик, -7



- Інформація по пластинам на стр. 149-151.
- По режимам обработки см. стр. 152-159.
- Внутренняя подача СОЖ.

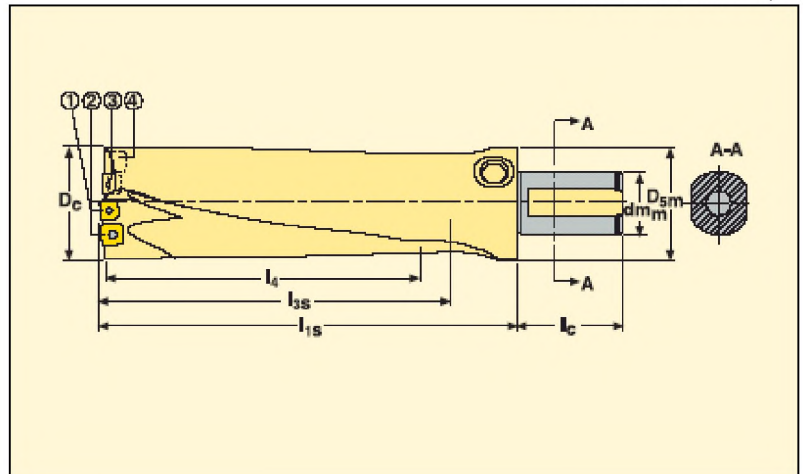


Рисунок 3.9 – Свердло зі змінними твердосплавними пластинами
SD542-20-100-50R7

Пластины:

Центральна 1 – SPGX05T3-C1; сплав T400D.

Перефрїрїйні 2,3,4 – SPGX050405; сплав T2000D, T3000D.

Режими рїзання: $S = 0,12 \dots 0,2$ мм/об. $V = 150 \dots 300$ м/хв.

Поверхні 10, 11, 12, 18 – розсвердлування отвору Ø35 мм.

За каталогом SECO вибираємо свердло Perfomax (рис. 3.10).

Глибина сверлення 2,5 x D

ISO 9766 хвостовик, -7



- Інформація по пластинам на стр. 149-151.
- По режимам обработки см. стр. 152-159.
- Внутренняя подача СОЖ.

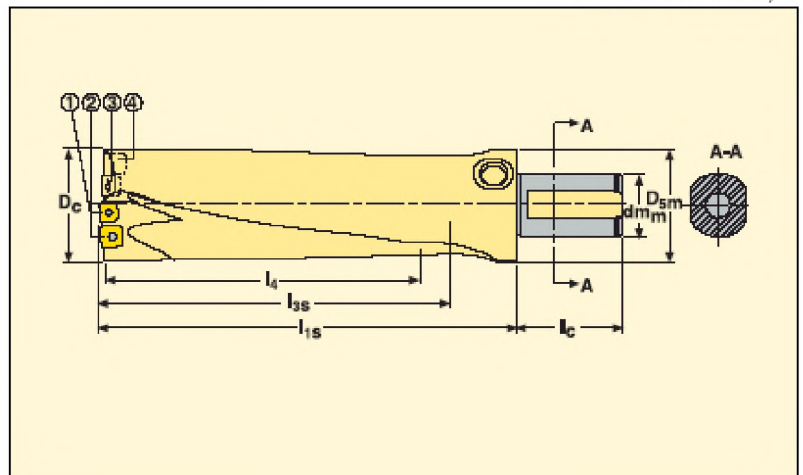


Рисунок 3.10 – Свердло зі змінними твердосплавними пластинами
SD542-35-100-50R7

Пластины:

Центральна 1 – SPGX07T3-C1; сплав T400D.

Перефрїрїйна – SPGX100408; сплав T2000D, T3000D.

Режими рїзання: $S = 0,12 \dots 0,2$ мм/об. $V = 150 \dots 300$ м/хв.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.03.ПТПОД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Поверхня 6 – свердління отвору Ø25 мм.

Свердло Ø25 мм з напайними пластинами SECO SD30-25.00-80-16R5.

Режими різання: $V = 70$ м/хв. $S = 0,2$ мм/об.

Поверхні 7, 13 – свердління отвору Ø10 мм.

Свердло Ø10 мм з напайними пластинами SECO SD30-10.00-50-16R5.

Режими різання: $V = 70$ м/хв. $S = 0,15$ мм/об.

Поверхня 16 – свердління отвору Ø17 мм.

Свердло Ø17 мм з напайними пластинами SECO SD30-17.00-50-16R5.

Режими різання: $V = 70$ м/хв. $S = 0,15$ мм/об.

Поверхня 17 – свердління, розсвердлування, розгортання Ø10H8 мм.

Свердло Ø6 мм з напайними пластинами SECO SD30-06.00-0-16R5.

Режими різання: $V = 70$ м/хв. $S = 0,15$ мм/об.

Свердло Ø9,8 мм з напайними пластинами SECO SD30-9,8.00-0-16R5.

Режими різання: $V = 70$ м/хв. $S = 0,15$ мм/об.

Розгортка Ø10мм зі змінною головкою SECO PM06-05700-12N1.

Головка розгортки – PM50.

Режими різання: $V = 100$ м/хв. $S = 0,15$ мм/об.

Поверхня 19 – свердління, розгортання Ø10H8 мм.

Свердло Ø9,8 мм з напайними пластинами SECO SD30-9,8.00-0-16R5.

Режими різання: $V = 70$ м/хв. $S = 0,15$ мм/об.

Розгортка Ø10мм зі змінною головкою SECO PM06-05700-12N1.

Головка розгортки – PM50.

Режими різання: $V = 100$ м/хв. $S = 0,15$ мм/об.

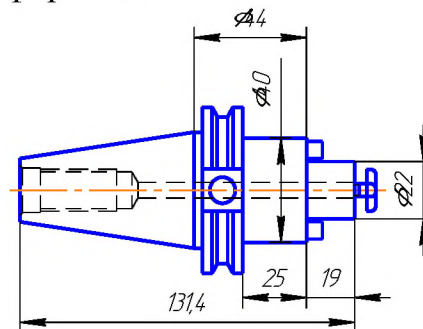
3.6.2 Вибір допоміжних інструментів

Поверхні 1, 2, 14, 15 – допоміжний інструмент для фрези ВАР300-063А08R.

Фреза має приєднувальні розміри, що дозволяють використовувати тримачі-моноблоки без додаткових перехідних пристосувань. Це підвищує жорсткість комплексу напівчистої фрезерної обробки. Обираємо тримачі-моноблоки DIN40 AD (рисунок 3.11 а) з діаметром посадки Ø32 мм – Е4469 522 3260 (рисунок 3.11 б). Позначення тримача несе наступну інформацію:



а



б

Рисунок 3.11 – Тримач-моноблок DIN40 AD:

а – загальний вигляд; б – розміри тримача Е4469 522 4060

					КНУ.КБР.131.26.1-09.03.ПТПОД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

Поверхні 3, 4, 5 – допоміжний інструмент для розточних головок.

Розточні головки для чорнової та прецезійної розточки мають однакові траверси, тому тримачі, адаптери, подовжувачі та оправки також будуть однакові для головки. Для траверси використовуємо тримач Graflex A731 200, який зображено на рисунку 3.12.

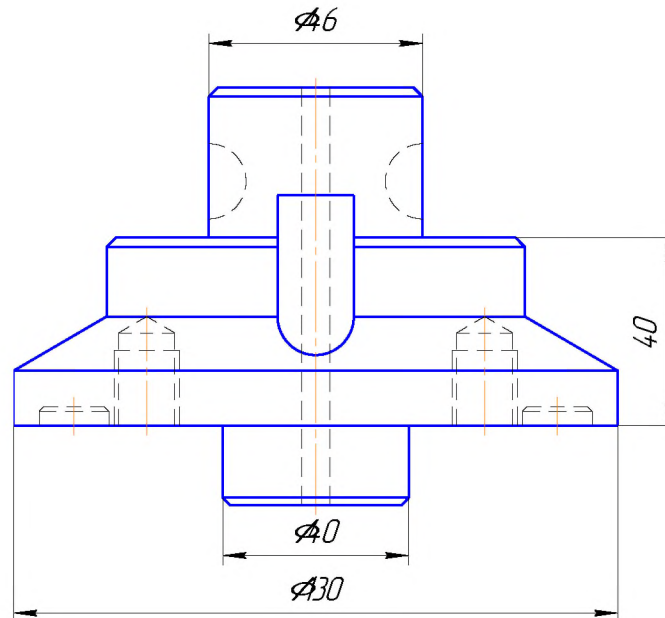
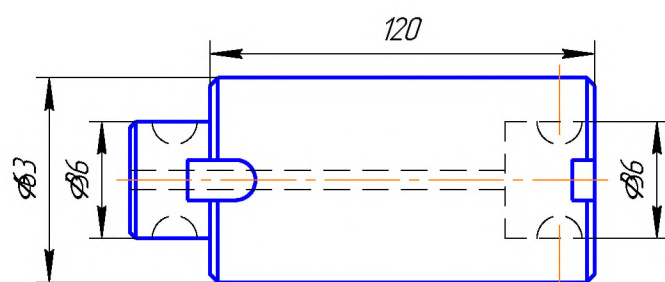


Рисунок 3.12 – тримач Graflex A731 200

Для подальшого з'єднання розточних головок зі шпінделем верстата використовуємо зі збільшувач M403 67 та Graflex-оправку EM4466 401 3660, Між оправкою та збільшувачем використовуємо подовжувач Graflex (рисунку 3.13 а) M402 662, який зображено на рисунку 3.13 б.



а



б

Рисунок 3.13 – Подовжувач Graflex:

а – загальний вигляд; б – розміри подовжувача M402 662

Поверхні 18, 12, 11, 10. – для обробки отвору Ø35 мм.

Тримач для свердла SD503-18-45-50R2

Розміри циліндричного ABS-хвостовика Ø28 мм дозволяють використати оправку Graflex типу EM4466 401 2880 у якості тримача-моноброка.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.03.ПТПОД		Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата			

Поверхні 6,17,19,7,18,16,9– свердла, розгортка з циліндричними хвостовиками

Допоміжний інструмент: патрон цанговий прецизійний для свердла та розгортки з діаметром від 1 мм до 20 мм, D тип 29. Шифр: BSM051 5872 29100.

Таблиця 3.5 – Вибір допоміжного інструмента

Тип, модель верстата	Різальний інструмент	Допоміжний інструмент
1	2	3
Вертикальний обробний центр DMG MORI CMX 600	Пов.3, 4, 5 – розточування отворів Ø110H7мм, 150H7мм, 180H7мм. Траверса з діапазоном обробки Ø100-300 мм – модель A731020. Рухомий блок для чорнової розточки моделі A731 400 Картридж SCGCL 16CA-16 з пластинами ромбічної форми. пластина CCMT 160508-F2 з матеріалу TP200	Тримач Graflex A731 200 Подовжувач Graflex M402 662
	Для прецизійного розточування використовується пара рухомих блоків урівноважуючого та різучого. Урівноважуючий блок має позначення A 731 600, а різучий A 731 500. Картридж для чистового розточування: шифр A 725 75 пластина CCMT 09T308-F2, з матеріалу TK1000	
	Пов. 1, 2, 14, 15 – фреза торцева Фреза ВАР300-063А08R Пластини керметові – марка матеріалу MX2525 Пластина моделі – АРМТ1135PDER-H2	Тримач-моноблок DIN40 AD: E4469 522 4060
	Пов. 20 – різець канавочний для розточування канавок а=5мм. Державка різця: 20CNR0032S20 Пластина 20NR 5.0FG	Прецизійна розточувальна головка А72002 Тримач Graflex А731 200

					КНУ.КБР.131.26.1-09.03.ПТПОД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 3.5

1	2	3
Вертикальний обробний центр DMG MORI CMX 600	Пов.9 – M24-7H, Свердло зі змінними твердосплавними пластинами - SD503-21-59-25R7. Пластини: Центральна: SPGX0402-C1. Сплав T400D. Периферійна: SPGX040204 Сплав T2000D. Фреза для нарізання різьби з пластинами з механічним кріпленням. Шифр: R396.19.2520.3S-4003 – 2A Пластина: 13NMS 20UN, покриття CP500	Тримач для свердла SD503-18-45-50R2
	Пов.8 – розсвердлювання отвору Ø20 мм. Свердло зі змінними твердосплавними пластинами - SD542-20-100-50R7. Пластини: Центральна 1: SPGX05T3-C1 Геометрія – C1. Сплав T400D. Периферійна 2: SPGX050405 Геометрія – P2. Сплав T2000D, T3000D	Патрон цанговий прецизійний для свердла з діаметром від 1мм до 20 мм, D тип 29. Шифр: BSM051 5872 29100
	Пов. 10,11,12,18 – розсвердлювання отвору Ø35 мм. Свердло зі змінними твердосплавними пластинами - SD542-35-100-50R7. Пластини: Центральна : SPGX07T3-C1 Геометрія – C1. Сплав T400D. Периферійна: SPGX100408 Геометрія – P2. Сплав T2000D, T3000D	Патрон цанговий прецизійний для свердла з діаметром від 1мм до 20 мм, D тип 29. Шифр: BSM051 5872 29100

					КНУ.КБР.131.26.1-09.03.ПТПОД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 3.5

1	2	3
Вертикальний обробний центр DMG MORI CMX 600	Пов. 6 – свердління отвору Ø25 мм. Свердло 25 мм з напайними пластинами Шифр свердла: SD30- 25.00-80-16R5	Патрон цанговий прецизійний для свердла з діаметром від 1мм до 20 мм, D тип 29. Шифр: BSM051 5872 29100
	Пов. 7, 13 – свердління отвору Ø10мм Свердло 10 мм з напайними пластинами Шифр свердла: SD30- 10.00-50-16R5	
	Пов. 16 – свердління отвору Ø17мм. Свердло 17 мм з напайними пластинами Шифр свердла: SD30-17.00-50-16R5	
	Пов. 17 – свердління, розсвердлування, розгортання Ø10H8 мм. Свердло 6 мм з напайними пластинами Шифр свердла: SD30-06.00-0-16R5	
	Свердло 9,8 мм з напайними пластинами Шифр свердла: SD30-9,8.00-0-16R5	
	Розгортка 10мм зі змінною головкою вибираємо за каталогами фірми SECO. Шифр розгортки: PM06-05700-12N1 Головка розгортки – PM50	
	Пов. 19 – свердління, розсвердлування, розгортання Ø10H8 мм. Свердло 9,8 мм з напайними пластинами Шифр свердла: SD30-9,8.00-0-16R5 Розгортка 10мм зі змінною головкою Шифр розгортки: PM06-05700-12N1 Головка розгортки – PM50	

3.6.3 Виконуємо розрахунок на міцність інструмента при найбільш навантажених умовах.

В найбільш навантажених умовах працює свердло спіральне Ø17,5 мм.

Визначаємо режим різання:

					КНУ.КБР.131.26.1-09.03.ПТПОД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

1) подачу на оберт знаходимо $S_0 = 0,4 \text{ мм / об}$ приймаємо $0,35 \text{ мм / об}$.

2) знаходимо коефіцієнти для визначення швидкості головного руху різання $V=32 \text{ м/хв}$.

Осьова складова сили різання

$$P_x = 9,81 \cdot C_p \cdot D^{x_p} \cdot S_0^{y_p} \cdot K_{M_p} \quad (3.1)$$

де

$$K_{M_p} = \left(\frac{\sigma_6}{75} \right)^{0,75} = \left(\frac{45}{75} \right)^{0,75} = 0,682$$

$$P_x = 9,81 \cdot 68 \cdot 17,5 \cdot 0,682 = 8116 \text{ Н}$$

Момент сили опору різання (обертовий момент):

$$M_{o.p} = 9,81 \cdot C_M \cdot D^{M^2} \cdot S_0^{y_M} \cdot K_M$$

$$C_M = 0,0345; z = 2,0; y_M = 0,8$$

$$M_{o.p} = 9,81 \cdot 0,0345 \cdot 17,5^2 \cdot 0,4^{0,8} \cdot 0,682 = 34 \text{ Н / м} \quad (3.2)$$

$$K_{M_M} = \left(\frac{\sigma_6}{75} \right)^{0,75} = \left(\frac{45}{75} \right)^{0,75} = 0,682$$

$$[\tau] > \frac{M_{кр}}{F}, \text{ МПа}$$

$$[75] > \frac{34}{176} = 0,193 \text{ МПа.}$$

Умова виконується.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.03.ПТПОД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ

4.1 Аналіз вихідних даних. Вибір способу обробки і типу верстату

Необхідно розробити переналагоджувальний пристрій на фрезерування площини: $L \times B = 816 \times 304$ мм для операції 010.

Верстат – вертикальний обробний центр DMG MORI CMX 600 (табл. 4.1).

Інструмент: фреза торцева Ø63мм компанії «SECO».

Параметри столу верстату:

Кількість пазів – 7.

Паз – 22Н9.

Відстань між пазами – 160 мм.

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики вертикального обробного центру DMG MORI CMX 600 V

Параметр	Значення
Система керування	Siemens 840D SL
Хід по осі X	600 мм
Хід по осі Y	560 мм
Хід по осі Z	510 мм
Максимальні розміри заготовки (Д×Ш×В)	900 × 560 × 630 мм
Максимальна маса заготовки	600 кг
Конструкція	Жорстка С-подібна рама (C-frame)
Точність позиціонування	≈ 6 мкм
Тип обробки	Фрезерування, свердління, розточування
Кількість осей	3 (з можливістю розширення до 5)
Шпиндель (опціонально)	до 15000 об/хв
Потужність шпинделя	до ~20 кВт
Тип магазину інструменту	Автоматичний (до ~30–60 інструментів)
Інтерфейс інструменту	BIG PLUS / SK40
Система вимірювання	Пряма
Автоматизація	Можлива (роботи, палетні системи)

4.2 Розробка схеми базування

Установочна база – торець деталі з параметрами 440x304 мм.

Направляюча база – отвір деталі Ø10H8.

Упорна база – отвір деталі Ø10H8.

Схема базування представлена на рисунку 4.1.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.04.ПІАРІ						
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата	Проектування технологічного оснащення				Літ.	Арк.	Аркцшів
Розроб.	Заярний										
Перевір.	Нечаєв										
Реценз.									Каф. ТМ, гр. ПМ-22		
Н. контр.	Нечаєв										
Зав. каф.	Рязанцев										

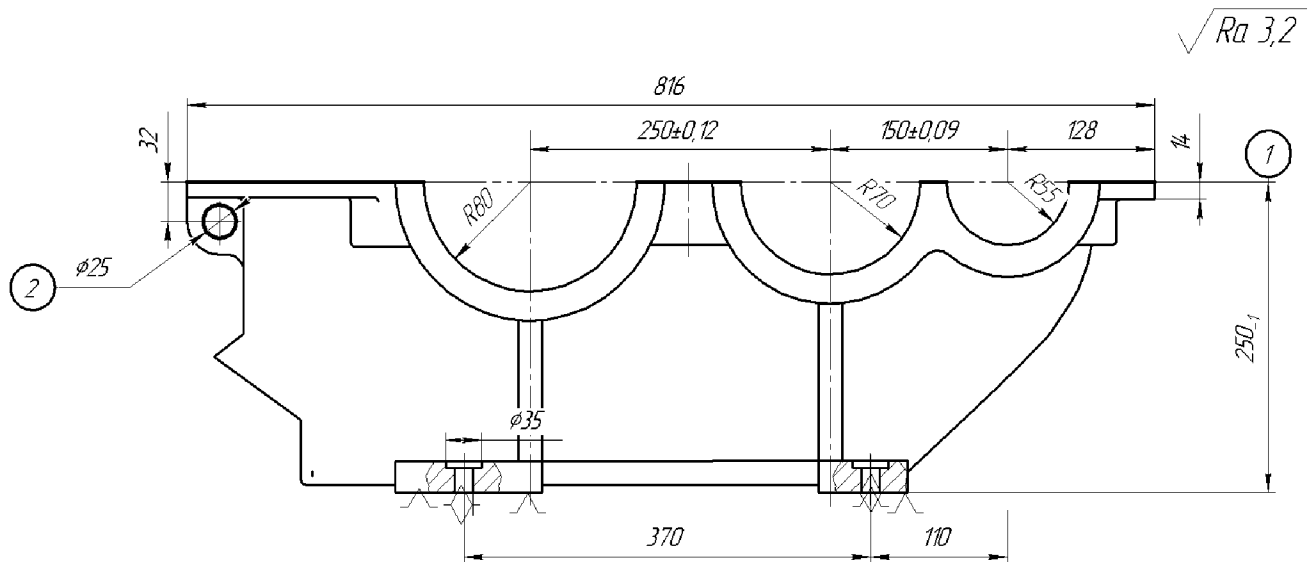


Рисунок 4.1 – Ескіз операції

4.3 Вибір установочних елементів

Обираємо стандартні опорні елементи:

Пальці установочні постійні Ø10 h7 DIN 6321 (Form A).

Зрізаний палець Ø10h7 DIN 6321 (Form C).

Опорні пластини.

Призначаємо : ширина – 160 мм; довжина – 760 мм .

Матеріал – сталь 20X , HRC 55...60.

Виконуємо розрахунок на похибку базування.

$$\varepsilon_0 = \Delta_{\text{exp}} + IT_D + IT_{\text{dn}}$$

$$\varepsilon_0 = 0 + 0,022 + 0,013 = 0,035 \text{ мм}$$

4.4 Визначення сили затиску деталі

Визначаємо силу затиску деталі під час обробки. Величину сил затиску та їх напрямки визначаємо в залежності від сил різання та їх моментів, які діють на оброблювану деталь.

Складаємо рівняння суми моментів від сил затиску, сил тертя, сил різання, що діють на деталь під час обробки торцевої поверхні.

$$\Sigma M_A = 0$$

$$F_{\text{TP4}} \cdot D/2 + F_{\text{TP5}} \cdot D/2 + F_{\text{TP6}} \cdot 2000 + F_{\text{TP3}} \cdot 2000 + F_{\text{TP2}} \cdot 300 + 2F_{\text{TP6,7}} \cdot 200 = k \cdot P_z \cdot D/2 \cdot f$$

$k=2,5$ – коефіцієнт запасу

$$f = 0,12;$$

$$F_{\text{TP}} = W \cdot f;$$

Діаметр фрези 63мм. Сила різання $P_z = 5436 \text{ Н}$.

$$\Sigma M_A = 0$$

$$5wf + 5wf + 2000wf + 2000wf + 300wf + 400wf = k \cdot P_z \cdot D/2 \cdot f$$

$$W = 2,5 \cdot 5436 \cdot 0,12 \cdot 31,5 : 5 \cdot 0,12 + 5 \cdot 0,12 + 30 \cdot 0,12 + 370 \cdot 0,12 + 210 \cdot 0,12 + 210 \cdot 0,12$$

$$W = 81540 : 125,8 = 653 \text{ Н}$$

					КНУ.КБР.131.26.1-09.04.ПІАРІ		Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата			

$$Q = \frac{653(100 + 50)}{100 \cdot 0,05} = 980 \text{ Н}$$

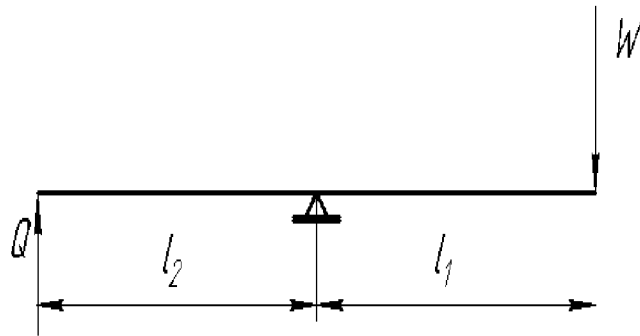


Рисунок 4.3 – Кінематична сила затиску

Вибір базових та допоміжних елементів конструкції верстатного пристрою. Установочні елементи пристрою базуються на самому верстаті.

Базові та допоміжні елементи:

Прихват зворотній та рухомий DIN 6314.

Конструктивні параметри: довжина – 150мм; ширина 35мм; висота – 20 мм.

Шайба плоска ISO 7089.

Шпонка призматична DIN 6885-1.

Гайки шестигранні ISO 4032.

Болти пазові DIN 186 В.

Опори DIN 6318.

Виконуємо перевірку на міцність найбільш відповідальних елементів конструктивної схеми. Перевірку на міцність виконуємо для елементів направляючих, це палець циліндричний та зрізаний. Визначаємо площу поперечного перерізу пальця

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (4.4)$$

$$F = \frac{3,14 \cdot 1^2}{4} = 0,785 \text{ см}^2$$

$P = 5436 \text{ Н}$ – зусилля розтягуюче

$$[G_p] = 25000 \text{ Н/см}^2$$

$$F \geq \frac{P}{[G_p]} \quad 0,785 > \frac{5436}{25000} = 0,217 \text{ – умова виконується.}$$

4.6 Розрахунок точності пристосування

Виконуємо розрахунок на точність пристрою:

$$\varepsilon_{np} = \kappa \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_{pn}^2 + \varepsilon_{no}^2 + \varepsilon_s^2} \quad (4.5)$$

					КНУ.КБР.131.26.1-09.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доцм.	Підпис	Дата		

де ε_{δ} – похибка базування ;
 ε_{pn} – $1/5IT$ похибка розташування пристрою на верстаті;
 ε_{no} – похибка розташування опорних поверхонь деталі відносно посадочних поверхонь пристрою;

ε_z – похибка закріплення;

k – коефіцієнт який враховує закон розподілення складових похибок;

$\varepsilon_{no} = (\frac{1}{3} \cdots \frac{1}{5})$ допуска розміру деталі що обробляється до опорного елемента

$$\varepsilon_{no} = 0,004 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_z = 0,110 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{pn} = 0,2 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{\delta} = 0,035 \text{ мм}$$

$$k = 1,11 \dots 1,20$$

Підставляємо значення у формулу

$$\varepsilon_{np} = 1,11 \sqrt{0,2^2 + 0,004^2 + 0,035^2 + 0,110^2} = 1,11 \sqrt{0,301716} = 0,254 \text{ мм}$$

4.6 Принцип дії пристрою

Загальний вид пристрою показано на рисунку 4.3.

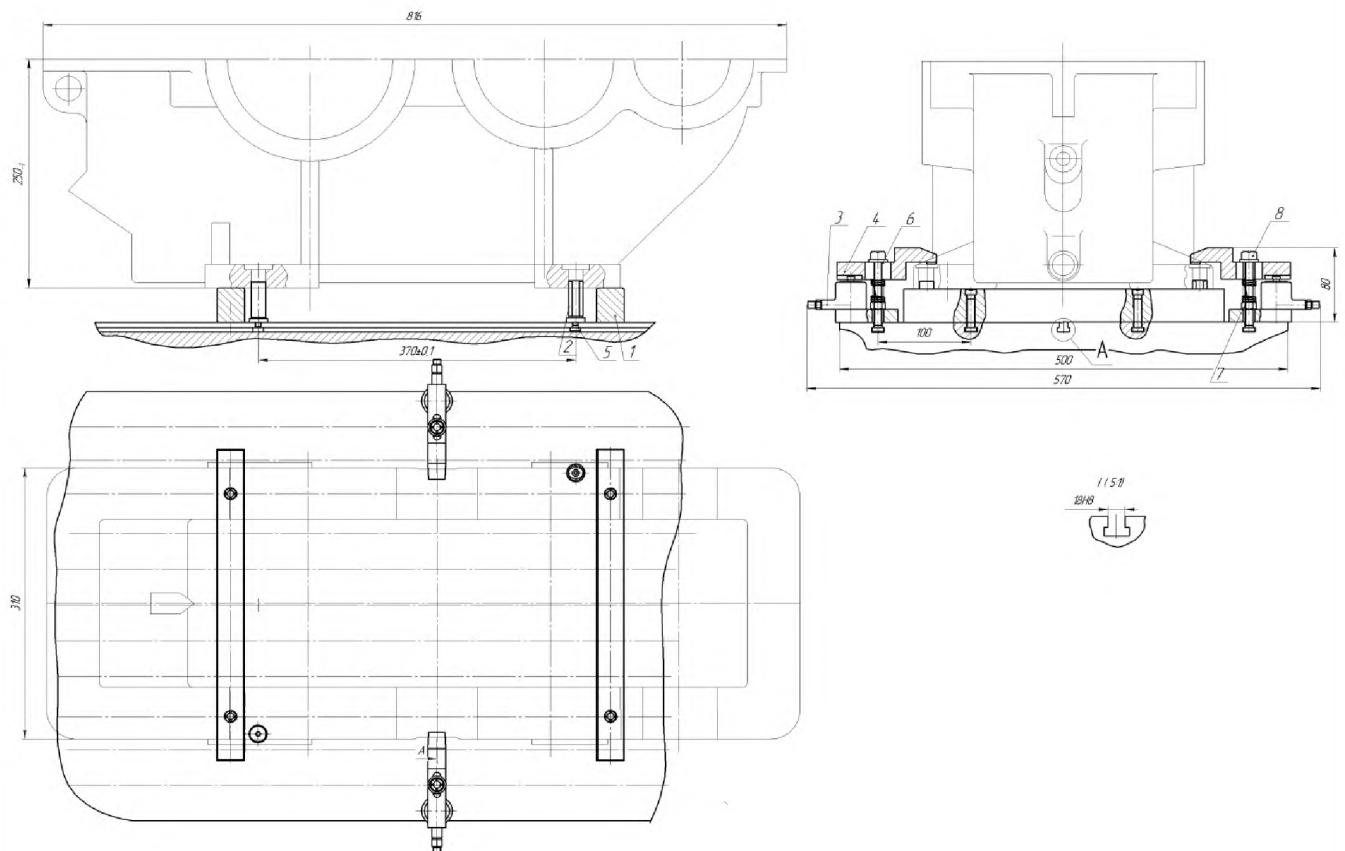


Рисунок 4.3 – Загальна схема пристрою:

1 – пластины; 2 – палець зрізаний; 3 – гідроциліндр; 4 – прихват; 5 – палець циліндричний; 6 – болт; 7 – гайка; 8 – гайка; 9 – болт

					КНУ.КБР.131.26.1-09.04.ПІАРІ		Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата			

Деталь «Корпус» встановлюється на верстат в двох отворах $\varnothing 10H12$ на два пальця $\varnothing 10g7$ позиції 2; 5 та на дві пластини позиція 1.

Закріплення пальців та пластин здійснюється за допомогою болтів пазових.

Закріплення деталі відбувається за допомогою комбінованого затиску.

Сила затиску деталі направлена перпендикулярно опорним елементам верстатного пристрою.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

5 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

5.1 Робота з проміжними файлами, вибір системи ЧПК, постпроцесора

Для виконання обробки було створено керуючу програму та змодельовано повний технологічний процес у програмному середовищі Autodesk FeatureCAM. Обробка деталі проводиться на вертикальному обробному центрі DMG MORI CMX 600. Детальні технічні характеристики цього верстата наведені в розділі 3, а його зовнішній вигляд показано на рисунку 5.1.



Рисунок 5.1 – Вертикальний обробний центр DMG MORI CMX 600

Верстат керується за допомогою системи ЧПК Siemens 840D SL, характеристики якої наведено в табл. 5.1. До основних особливостей системи SINUMERIK 840D sl належать відкрита архітектура, висока масштабованість, підтримка складної багатовісної обробки, інтеграція з цифровими виробничими системами, а також можливість швидкого переналаштування під різні типи вертикальних фрезерних центрів. Система широко використовується на сучасних вертикальних обробних центрах із 3-, 4- та 5-осьовою кінематикою, включаючи верстати зі столами, що обертаються, поворотними головками та комбінованими кінематичними схемами.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-09.05.МПОМО</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док-м.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Заярний</i>				<i>Моделювання та програмування операцій механічної обробки</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Нечаєв</i>						<i>Архів</i>
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. контр.</i>	<i>Нечаєв</i>					<i>Каф. ТМ, гр. ПМ-22</i>	
<i>Зав. каф.</i>	<i>Рязанцев</i>						

Таблиця 5.1 – Технічна характеристика системи ЧПК SINUMERIK 840D sl

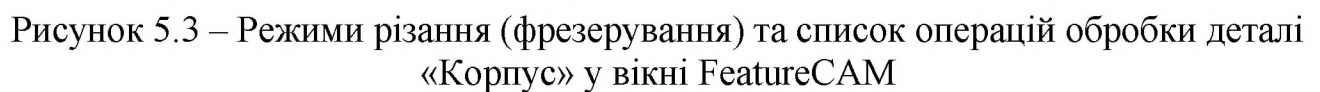
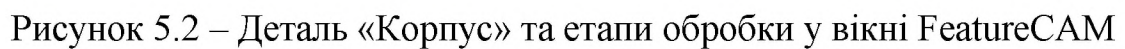
Параметр	Характеристика
Виробник	Siemens
Тип системи	Відкрита модульна система числового програмного керування для високопродуктивних верстатів
Основне призначення	Керування вертикальними обробними центрами, 3-, 4- та 5-осьовими фрезерними верстатами
Кількість керованих осей	До 93 осей та шпинделів
Кількість каналів обробки	До 30 незалежних каналів
Тип архітектури	Drive-based CNC з інтеграцією приводів SINAMICS S120
PLC-контролер	Вбудований SIMATIC S7-300
Інтерфейс оператора	SINUMERIK Operate
Мови програмування	DIN/ISO G-code, ShopMill, ProgramGuide
Підтримка CAD/CAM	Підтримується імпорт програм із CAD/CAM-систем
Типи обробки	Фрезерування, свердління, розточування, різьбонарізання, шліфування, лазерна обробка
Підтримка 5-осьової обробки	Так, включно з одночасною 5-осьовою обробкою
Функції компенсації	Компенсація похибок, люфтів, температурних деформацій та кінематики
Функції вимірювання	Вбудовані цикли вимірювання інструменту та деталі
Симуляція обробки	Є багатоканальна графічна симуляція процесу
Мережеві інтерфейси	Ethernet, PROFINET, OPC UA
Інтеграція в автоматизацію	Повна інтеграція в середовище TIA Portal
Підтримка цифрового виробництва	Є інтеграція з системами моніторингу, збору даних та MES
Переваги	Висока швидкодія, гнучкість, модульність, висока точність, широкі можливості налаштування

5.2 Моделювання обробки та перевірка керуючих програм

Під час розроблення керуючої програми для виготовлення деталі «Корпус» було послідовно змодельовано весь технологічний процес у середовищі FeatureCAM. З урахуванням технічних можливостей верстата DMG MORI CMX 600 та параметрів металорізального інструменту (див. розділ 3) визначено раціональну послідовність виконання технологічних операцій. Крім того, здійснено перевірку прийнятих рішень щодо їхньої правильності, ефективності та доцільності застосування.

На рисунках 5.2-5.8 наведено основні етапи симуляції обробки деталі «Корпус» і результати моделювання, які підтверджують відповідність запропонованого технологічного процесу вимогам щодо точності та продуктивності.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.05.МПОМО	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		



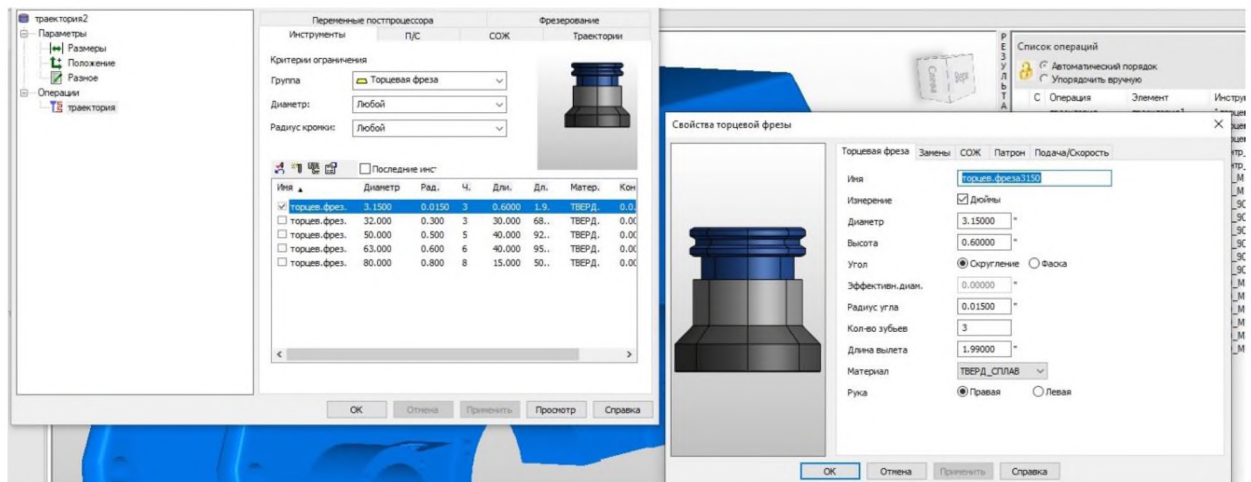


Рисунок 5.4 – Вибір різального інструменту – фреза

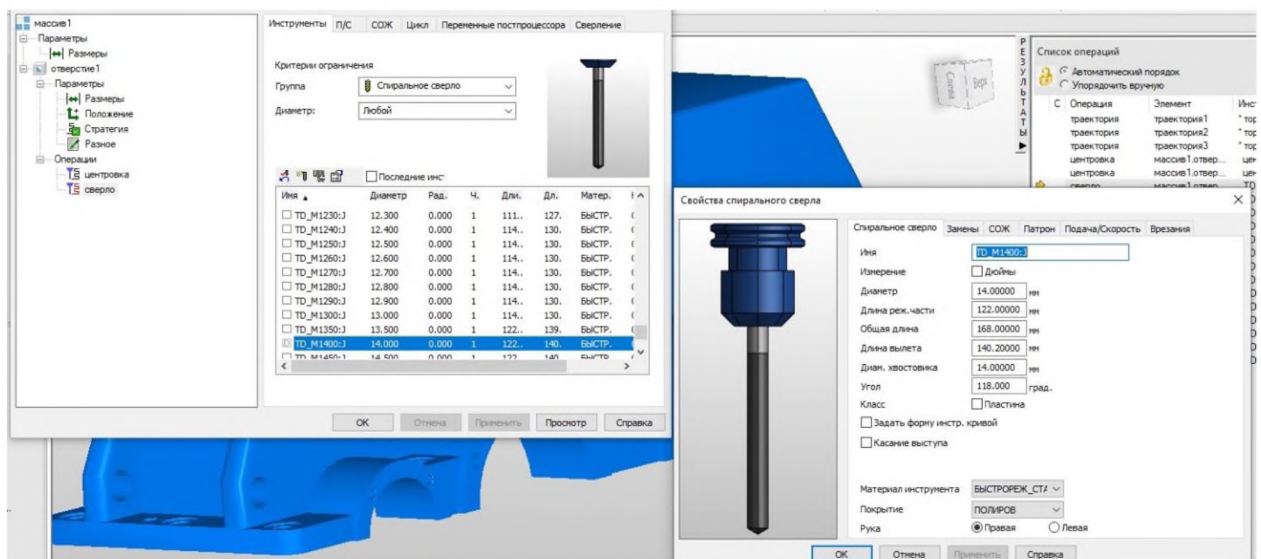


Рисунок 5.5 – Вибір різального інструменту – свердло

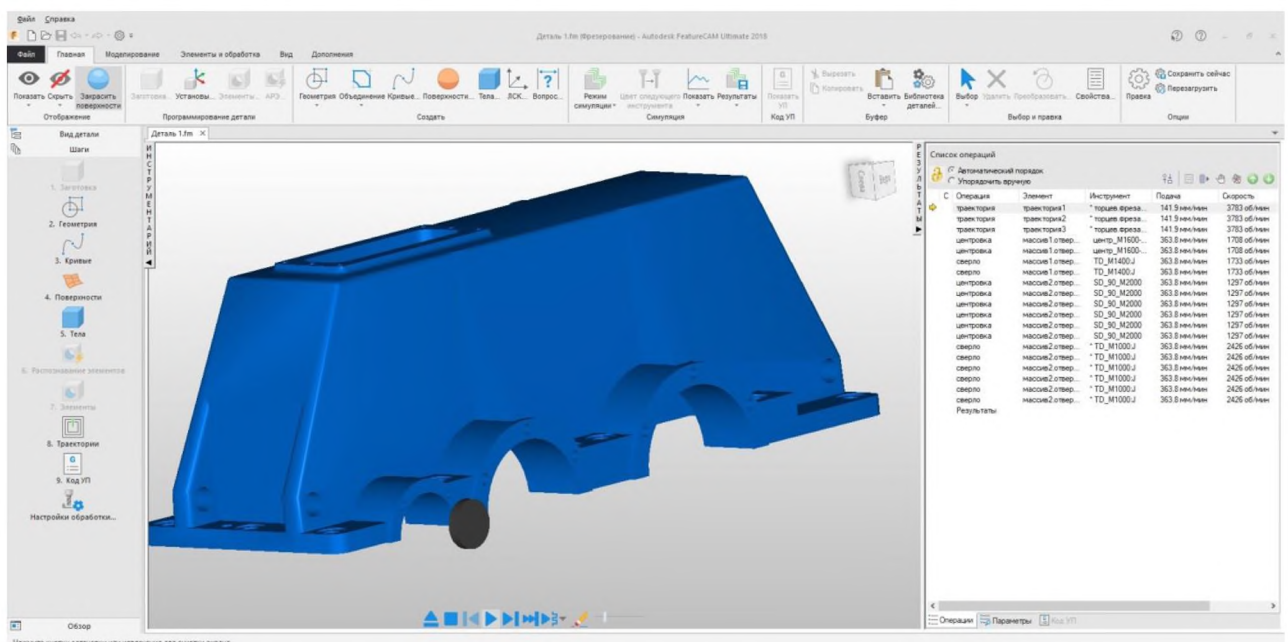


Рисунок 5.6 – Процес обробки деталі – візуалізація фрезерування

					КНУ.КБР.131.26.1-09.05.МПОМО		Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата			

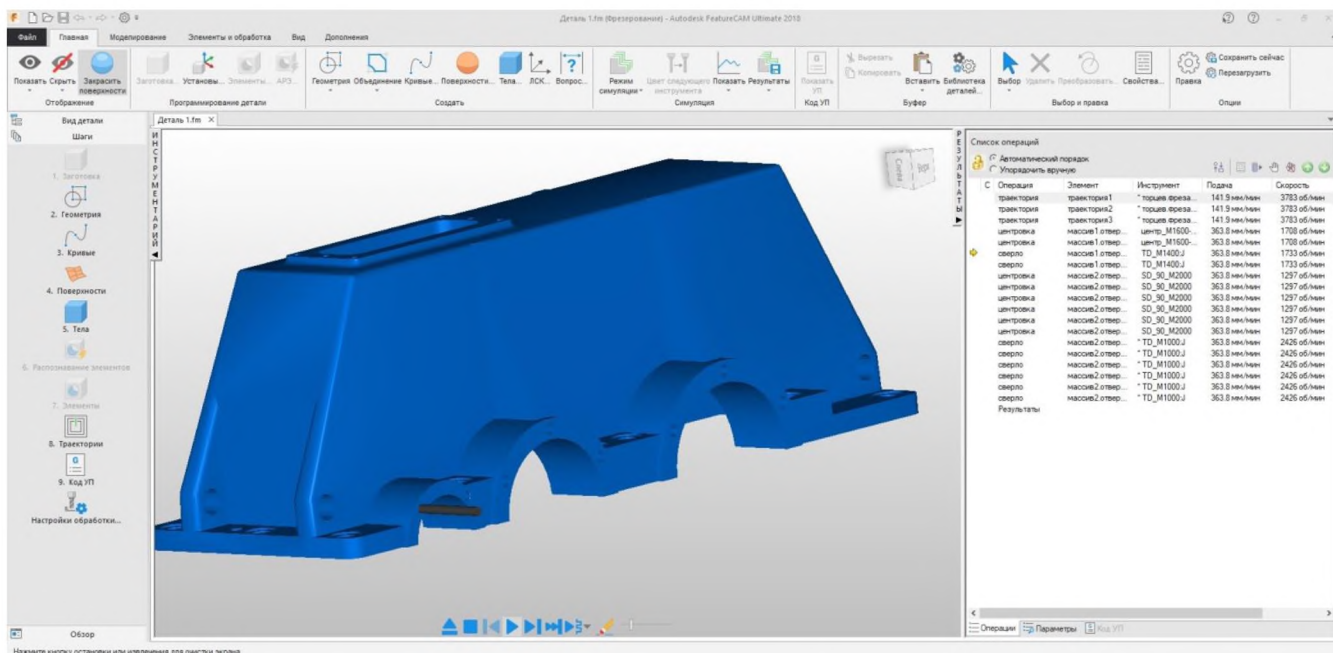


Рисунок 5.7 – Процесс обработки детали – визуализация свердління

```

Код УП

%
O0001 - ( FEATURECAM - FANUC )
( ДЕТАЛЬ 1 )
( УСТАНОВ1 - 18.04.2026 - 00:20:21 )
( ESTIMATED MACHINE TIME = 16:07.8 )
N35 G00 G20 G17 G40 G49 G80 G94
N40 G91 G28 Z0

N45 ( TOOLPATH ТРАЕКТОРИЯ1 )
N50 T1 M6
N55 G00 G54 G90 X4.4094 Y0. S3783 M03
N60 G43 H1 Z0. M08
N65 G02 X11.3386 Y0. I3.4646 J0. F5.6
N70 G01 X12.2047
N75 G02 X23.2283 Y0. I5.5118 J0.
N80 G01 X39.7638
N85 G03 X27.1654 Y0. I-6.2992 J0.
N90 G00 Z0.9843
N95 M5
N100 G91 G28 Z0 M09
N105 G28 X0 Y0
N110 G49 G90
N115 M01

N120 ( SPOTDRILL ОТВЕРСТИЕ1 )
N125 T2 M06
N130 G94
N135 G00 G54 X5.7583 Y2.1158 S1708 M03
N140 G43 H2 Z0.9843 M08
N145 G81 G98 Z-0.5174 R0.1181 F14.3
N150 G80
N155 X9.9898
N160 G81 G98 Z-0.5174 R0.1181 F14.3
N165 G80
N170 M5
N175 G91 G28 Z0 M09
N180 G28 X0 Y0
N185 G49 G90
N190 M01

```

Рисунок 5.8 – Фрагмент КП обработки детали «Корпус»

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Подпис	Дата	КНУ.КБР.131.26.1-09.05.МПОМО				

6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА

6.1 Розрахунки ключових техніко-економічних показників

Виконано техніко-економічний аналіз і розраховано собівартість виготовлення деталі «Корпус» для двох альтернативних варіантів технологічного процесу механічної обробки. Проведено оцінювання доцільності модернізації виробництва, яка передбачає заміну фізично та морально застарілого обладнання (фрезерного верстата мод. 676П і радіально-свердлильного верстата мод. 2Н55) на сучасний вертикальний обробний центр DMG MORI CMX 600.

Отримані результати розрахунків, а також визначений термін окупності інвестиційного проєкту наведено в таблицях 6.1-6.4. Зокрема, у таблиці 6.1 подано вихідні дані для економічного аналізу; таблиця 6.2 містить допоміжні розрахункові показники, використані під час обчислень; у таблиці 6.3 наведено собівартість річної програми випуску деталей і обсяг необхідних капітальних інвестицій; у таблиці 6.4 відображено загальні виробничі витрати, очікуваний річний економічний ефект і термін окупності запропонованого проєкту модернізації.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані розрахунків

Вихідні дані			
Дані	Базовий варіант		Новий варіант
	676П	2Н55	DMG MORI CMX 600
Деталь			
Річний обсяг випуску деталей N, шт.	1500		1500
Кількість запусків партій деталей в рік, шт	20		20
Тривалість випуску деталей Z, рік	3		3
Штучний час обробки деталі $t_{шт}$, хв.	33	23	33
Час наладки верстата, хв.	15	8	20
Розряд:			
	контролера		5
	верстатника		4
	наладчика		3
	наладчика інструменту		
Кількість кадрів програми, шт.			340

					КНУ.КБР.131.26.1-09.06.0ЕПВ		
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата			
Розроб.	Заярний				Організаційно- економічна підготовка виробництва	Літ.	Арк.
Перевір.	Нечаєв						Арк.шіф
Реценз.							
Н. контр.	Нечаєв					Каф. ТМ, гр. ПМ-22	
Зав. каф.	Рязанцев						

Продовження таблиці 6.1

Вартість заготовки $S_{\text{заг}}$, грн.	2255		2255
Вартість комплекту спец. пристосувань $K_{\text{пр}}$, грн	33000	31000	70000
Оптова ціна на прокат одного УСП $\Pi_{\text{усп}}$, грн			
Середній час налагодження за прибором одного інструменту поза верстатом, хв.	0,5	1	1
Середній період стійкості інструменту, $\chi_{\text{в}}$	45	45	120
Середня кількість граней пластинки, шт.	1	1	3
Коефіцієнт, що враховує питому вагу основного часу в штучному $k_{\text{т}}$	0,083	0,083	0,083
Вартість одного кадру ПК, грн.			8,9
Вартість розробки ПК $K_{\text{пк}}$, грн.			3026
Середньочасова зарплатня робітника, грн:			
верстатника $H_{\text{ст}}$	130	120	160
наладчика $H_{\text{нал}}$	130	125	150
наладчика інструмента $H_{\text{ін}}$	120	115	150
контролера $H_{\text{к}}$	115		145
Верстати			
Клас точності верстата	П	Н	А
Маса верстата, т	4,2	4,7	5
Габарити верстата (довжина x ширина), м	3,7 x 3,4	2,665 x 2,5	2,935 x 2,757
Габарити пристрою ЧПК, м			0,5 x 0,5
Тип пристрою ЧПК			SINUMERIK 840D sl
Строк служби верстата до капітального ремонту $T_{\text{рц}}$, років	7	7	15
Встановлена потужність всіх електродвигунів головного руху, кВт	15	10	13
Категорія складності ремонту верстата ЕРС:			
механічної частини $R_{\text{м}}$	15	15,6	26,86
електротехнічної частини $R_{\text{е}}$	9,8	9,2	20,8

Продовження таблиці 6.1

Кількість верстатів, що обслуговує один робочий d, шт	1	1	2
Оптова ціна верстата Ц, грн.	560000	245000	3125000
Коефіцієнт завантаження верстата η_z	0,81	0,65	0,95
Площа верстата за габаритами А, м. кв.	12,6	6,5	8,0
Площа пристрою ЧПК А _у , м. кв.			0,25
Витрати на одну одиницю ЕРС верстата, грн.			
механічної частини Н _м	401	401	272
електротехнічної частини Н _е	86	86	60
Норматив річних витрат на поточне обслуговування та ремонт ПЧПК Q, грн.	0	0	1950
Коеф., що враховує додаткову площу верстата, γ	4,5	4,5	4
Коеф., що враховує клас точності верстата, μ	1,5	1	1,8
Ефективний річний фонд часу роботи верстата Ф _{об} , год	3975	3975	3845
Виробничі та інші площі			
Вартість 1 м. кв. площі механічної Ц _{пл.зд} , грн	500		500
Вартість 1 м. кв. площі, що займають службово-побутові приміщення Ц _{сл. поб} , грн	1000		1000
Площа службово-побутових приміщень, що приходяться на одного робочого А _б , м. кв.	7		7
Витрати на утримання та амортизаційні витрати на 1 м. кв. цеху Н _{пл} , грн.	180	180	180

Таблиця 6.2 – Розрахунок допоміжних показників

Розрахунок допоміжних показників			
Дані	Базовий варіант		Новий варіант
	676П	2Н55	DMG MORI CMX 600
Трудомісткість обробки $T_{шт}$, год	825	575	1250
Час наладки верстата впродовж року T_n , год	5	2,66666667	6,66666667
Час наладки інструмента поза верстатом впродовж року $T_{н.ін}$, год	9,533333	13,288889	20,00
Час контролю деталей впродовж року T_k , год	68,475	47,725	103,75
Кількість верстатників $P_{ст}$, чол. (розрах.) (дійсна)	0,44	0,31	0,34
	1	1	1
Кількість наладчиків верстатів P_n , чол. (розрахункова) (дійсна)	0,0027	0,0014	0,0036
	1	1	1
Кількість наладчиків інструмента поза верстатом $P_{н.ін}$, чол. (розрахункова) (дійсна)	0,005125	0,00714456	0,01075
	1	1	1
Кількість контролерів P_k , чол. (розрах.) (дійсна)	0,037	0,03	0,06
	1		1
Додаткова кількість робочих по обслуговуванню верстатів з ЧПК $P_{дод}$, чол (розрахункова) (дійсна)	0,00	0,00	0,17
	0	0	1
Загальна кількість працівників на річну програму випуску деталей, чол.	7		5
Частка завантаження верстата обробкою деталі в обсязі річного випуску β	0,2578	0,224	0,34

Таблиця 6.3 – Результати розрахунків

Собівартість механічної обробки річного випуску деталей											
$C = I_з + I_н + I_{ін} + I_{пк} + I_{пр} + I_{усп} + I_а + I_{пл} + I_{сл} + I_р + I_у + I_к$											
де $I_з$ – зарплатня верстатника; $I_н$ – зарплатня за наладку верстата; $I_{ін}$ – зарплатня налагоджувальника інструмента поза верстатом; $I_{пк}$ – витрати на підготовку та поновлення керуючої програми; $I_{пр}$ – витрати на ремонт та утримання спеціальних пристосувань; $I_{усп}$ – витрати на прокат універсально-збірних $I_а$ – амортизаційні відрахування на повне відновлення обладнання; $I_{пл}$ – витрати на утримання приміщення, яке займає верстат; $I_{сл}$ – витрати на амортизацію і утримання службово-побутових приміщень; $I_р$ – витрати на ремонт та технічне обслуговування обладнання; $I_у$ – витрати на технічне обслуговування і ремонт ЧПК; $I_к$ – зарплатня контролера											
										C_1 на деталь = 263,10 C_2 на деталь = 191,33	
$I_з$	$I_н$	$I_{ін}$	$I_{пк}$	$I_{пр}$	$I_{усп}$	$I_а$	$I_{пл}$	$I_{сл}$	$I_р$	$I_у$	$I_к$
$C_1 = 292949 + 1546,27 + 2672,22 + 0,00 + 23893,3 + 0 + 3193,46 + 3808,08 + 49000 + 4227,2 + 0 + 13363,00 = 394652,26$											
$C_2 = 166212 + 1572,48 + 234,00 + 1008,67 + 26133,3 + 0 + 32793,75 + 3024,00 + 35000 + 5297,1 + 670,86 + 15043,75 = 286989,94$											
Капітальні вкладення споживача											
$K = K_б + K_{зд} + K_{сл} + K_{нез} + K_{пр} + K_{п.у.}$											
де $K_б$ – балансова вартість верстата, грн; $K_{зд}$ – вартість приміщення, яке займає верстат, грн.; $K_{сл}$ – вартість службово-побутових приміщень, грн.; $K_{нез}$ – обігові кошти в незакінченому виробництві, грн.; $K_{пр}$ – вартість комплексу спеціальних пристосувань, які використовуються на верстатах при обробці деталей, грн.; $K_{п.у.}$ – витрати на створення керуючої програми (КП), грн.											
$K_б$	$K_{зд}$	$K_{сл}$	$K_{нез}$	$K_{пр}$	$K_{п.у.}$						
$K_1 = 219049 + 10578 + 49000 + 258478 + 64000 + 0 = 601105$											
$K_2 = 618750 + 2970 + 28000 + 190404 + 70000 + 3026 = 913149,73$											

Таблиця 6.4 – Показники приведених витрат, річного економічного ефекту та терміну окупності

Приведені витрати			
$З_1 = C_1 + E_n \cdot K_1$			
484818	394652	0,15	601105
$З_2 = C_2 + E_n \cdot K_2$			
423962	286990	0,15	913150

Річний економічний ефект		
$E = З_1 - З_2$		
60856	484818	423962

Строк окупності			
$T_{ок} = (K_2 - K_1) / (C_1 - C_2)$			
2,90	913150	601105	394652 286989,9

					КНУ.КБР.131.26.1-09.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За підсумками проведених розрахунків визначено, що заміна чотирьох застарілих одиниць обладнання на сучасний верстат із числовим програмним керуванням дозволяє суттєво зменшити тривалість обробки деталей. Запропонований варіант модернізації є економічно доцільним, адже термін окупності інвестицій становить 2,90 року, а прогнозований річний економічний ефект сягає 60856 грн.

6.2 Екологія виробництва та охорона праці при фрезерних операціях

Свердлильні операції є одним із найпоширеніших видів механічної обробки матеріалів, що застосовуються для отримання отворів різного діаметра і глибини. Незважаючи на відносну простоту технологічного процесу, вони супроводжуються рядом екологічних та виробничих ризиків, що потребують системного підходу до їх мінімізації відповідно до чинних нормативно-правових актів.

6.2.1 Екологічні аспекти свердлильного виробництва

Під час свердління утворюються тверді відходи у вигляді стружки (спіральної або дробленої), які можуть містити домішки мастильно-охолоджувальних рідин (МОР). Залежно від оброблюваного матеріалу (сталь, алюміній, чавун, пластмаси), стружка має різні фізико-хімічні властивості та екологічну небезпеку. Відповідно до Закон України «Про відходи», такі відходи повинні обліковуватися, сортуватися та передаватися на вторинну переробку або утилізацію.

Особливу небезпеку становлять відпрацьовані МОР, що використовуються для охолодження свердла та зменшення тертя. Вони можуть містити токсичні компоненти, включаючи нафтопродукти, емульгатори та антикорозійні добавки. При неправильному поводженні ці речовини здатні забруднювати ґрунт і водні ресурси. Тому їх утилізація повинна здійснюватися відповідно до екологічних стандартів, з урахуванням рекомендацій ISO (зокрема ISO 14001).

Під час свердління, особливо при високих швидкостях різання, утворюються аерозолі МОР і дрібнодисперсний пил. Це характерно для обробки чавуну, композитів та кольорових металів. Відповідно до Закон України «Про охорону атмосферного повітря», підприємства повинні впроваджувати системи локальної витяжної вентиляції та очищення повітря.

Стічні води, що утворюються при очищенні обладнання та заміні МОР, містять нафтопродукти і металеві домішки. Їх очищення регламентується Водний кодекс України і передбачає використання відстійників, сепараторів та фільтраційних установок.

6.2.2 Технологічні методи зменшення екологічного впливу

Сучасні підходи до свердлильних операцій включають:

- застосування технології мінімального змащування (MQL);
- використання сухого свердління для окремих матеріалів;
- регенерацію та очищення МОР;

					КНУ.КБР.131.26.1-09.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- автоматизацію подачі рідини для зменшення її витрат;
- впровадження замкнених циклів водопостачання.

Такі заходи дозволяють суттєво зменшити обсяг відходів та негативний вплив на довкілля.

6.2.3 Охорона праці при свердлильних операціях

Свердлильні роботи характеризуються наявністю ряду небезпечних факторів:

- обертовий інструмент (свердло);
- можливість заклинювання заготовки;
- утворення гострої стружки;
- шум і вібрація;
- вплив шкідливих аерозолів.

Згідно з Закон України «Про охорону праці», роботодавець зобов'язаний забезпечити безпечні умови праці шляхом усунення або мінімізації цих факторів.

6.2.3.1 Технічні заходи безпеки

Свердлильні верстати повинні бути оснащені:

- захисними кожухами та екранами;
- пристроями надійного закріплення заготовок (тиски, пристосування);
- обмежувачами глибини свердління;
- аварійними кнопками зупинки.

Особливо важливо виключити можливість обертання заготовки разом зі свердлом, що є однією з найпоширеніших причин травматизму.

6.2.3.2 Організаційні заходи

Працівники повинні проходити навчання та інструктажі відповідно до вимог Держпраці України. Забороняється працювати без засобів індивідуального захисту або з несправним обладнанням.

Робоче місце повинно утримуватися в чистоті, а стружка — регулярно видалятися спеціальними інструментами (гачками, щітками), а не руками.

6.2.3.3 Санітарно-гігієнічні умови

Під час свердління важливе значення мають:

- ефективна вентиляція;
- достатнє освітлення;
- підтримання оптимального мікроклімату.

Рівень шуму може досягати 80–90 дБ, що потребує застосування засобів захисту слуху. Аерозолі МОР можуть викликати захворювання органів дихання, тому необхідне використання респіраторів.

6.2.3.4 Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

Працівники повинні використовувати:

- захисні окуляри (для запобігання потраплянню стружки);
- рукавиці (з урахуванням безпеки при роботі з обертовими частинами);

					КНУ.КБР.131.26.1-09.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- спецодяг;
- респіратори;
- навушники або беруші.

6.2.3.5 Пожежна та техногенна безпека

Свердлильні операції також можуть створювати пожежну небезпеку, особливо при обробці легкозаймистих матеріалів (наприклад, магнієвих сплавів). Вимоги регламентуються Кодекс цивільного захисту України.

Необхідно забезпечити:

- наявність первинних засобів пожежогасіння;
- контроль за накопиченням стружки;
- дотримання правил зберігання МОР;
- регулярні інструктажі.

6.2.3.6 Ергономічні аспекти

Свердлильні операції часто виконуються у стоячому положенні, що створює додаткове навантаження на опорно-руховий апарат. Тому важливо:

- оптимізувати висоту робочого столу;
- забезпечити зручне розташування органів керування;
- впроваджувати перерви для відпочинку.

Психофізіологічні фактори включають монотонність і необхідність постійного контролю процесу, що може призводити до втоми та зниження уваги.

Висновки

Отже, свердлильні операції, незважаючи на їх технологічну простоту, мають суттєвий вплив на довкілля та здоров'я працівників. Рациональне використання ресурсів, впровадження екологічно чистих технологій, дотримання вимог нормативних документів і забезпечення належного рівня охорони праці дозволяють мінімізувати ризики та підвищити ефективність виробництва.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У бакалаврській кваліфікаційній роботі було виконано комплексне вирішення задачі конструкторсько-технологічної підготовки виробництва деталі «Корпус» редуктора РМ-400 із застосуванням сучасних CAD/CAM-систем.

У першому розділі проведено аналіз вихідних даних, визначено призначення об'єкта виробництва та його місце у складі редуктора. Встановлено, що корпус є базовою деталлю, яка забезпечує точне взаємне розташування вузлів редуктора. Виконаний розрахунок розмірних ланцюгів дозволив обґрунтувати допуски та забезпечити необхідну точність складання.

У другому розділі визначено службове призначення деталі, проаналізовано вимоги до якості поверхонь та точності обробки. Встановлено основні параметри шорсткості та точності, необхідні для забезпечення працездатності редуктора. На основі проведеного аналізу обрано типовий технологічний процес виготовлення корпусних деталей.

У третьому розділі здійснено вибір способу отримання заготовки. Обґрунтовано доцільність використання лиття в кокіль, що забезпечує високу точність, покращені механічні властивості та зменшення припусків на обробку. Проведено вибір технологічних баз та розроблено маршрут механічної обробки з використанням багатоцільових операцій (фрезерування, свердління), що дозволяє скоротити кількість установок і підвищити продуктивність.

У четвертому розділі спроектовано технологічне оснащення для виконання фрезерної операції. Запропоноване пристосування забезпечує надійне базування і закріплення деталі, підвищує точність обробки та скорочує допоміжний час.

У п'ятому розділі виконано моделювання та програмування операцій механічної обробки із застосуванням CAD/CAM-системи Autodesk FeatureCAM. Розроблено керуючі програми для фрезерних і свердильних операцій на верстаті DMG MORI CMX 600, що дозволяє автоматизувати процес підготовки виробництва та знизити ймовірність помилок.

У шостому розділі проведено розрахунок техніко-економічних показників, який підтвердив ефективність впровадження розробленого технологічного процесу. Встановлено, що строк окупності становить 2,9 роки, а економічний ефект – 60856 грн, що свідчить про доцільність запропонованих рішень. Також розглянуто питання екології виробництва та охорони праці, зокрема при виконанні фрезерних операцій, що забезпечує безпечні умови праці та відповідність нормативним вимогам.

Таким чином, у роботі досягнуто поставленої мети – розроблено ефективний технологічний процес виготовлення деталі «Корпус» редуктора РМ-400 із використанням сучасних CAD/CAM-технологій, що забезпечує підвищення точності, продуктивності та економічної ефективності виробництва.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-09.В</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Висновки</i>		
<i>Розроб.</i>	<i>Заярний</i>						
<i>Перевір.</i>	<i>Нечаєв</i>						
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. контр.</i>	<i>Нечаєв</i>						
<i>Зав. каф.</i>	<i>Рязанцев</i>				<i>Каф. ТМ, гр. ПМ-22</i>		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної випускної роботи бакалавра для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньо-професійної програми Прикладна механіка усіх форм навчання. Укладачі: Кіяновський М.В., Нечаєв В.П., Пікільняк А.В., Цивінда Н.І., Бондар О.В., Рязанцев А.О., Кравцова Д.Ю. 2022. Кривий Ріг, КНУ.
2. Технологія машинобудування Горбатюк Е.О. Мазур М.П., Зенкін А.С., Каразей В.Д. Навчальний посібник. Львів., Новий світ-2008,-360 с.
3. Каталог металорізального інструменту компанії «SECO Tools», Швеція 2020 р.
4. Каталог металорізального інструменту компанії «Mitsubishi», Японія, 2019 р.
5. ДСТУ 3.1001:2014 Єдина система технологічної документації. Загальні положення.
6. «Загальний каталог інструменту» – TaeguTec. 2012р.
7. Каталог – Шліфувальні круги фірми Tyrolit_Praezisionskatalog. 2024р.
8. Каталог допоміжного інструменту фірми Seco, 2019р.
9. ДСТУ 2391-94 Система технологічної документації. Терміни та визначення
10. ДСТУ 3.1127:2014. Єдина система технологічної документації. Загальні правила виконання текстових технологічних документів.
11. ДСТУ 3.1128:2014. Єдина система технологічної документації. Загальні правила виконання графічних технологічних документів.
12. ДСТУ ISO 2768-1-2001. Основні допуски. Частина 1. Допуски на лінійні та кутові розміри без спеціального позначення допусків (ISO 2768–1:1989, IDT). [Чинний від 2003-01-01] – К. :Держстандарт України, 2002. – 10 с.
13. ДСТУ ISO 2768-2-2001. Основні допуски. Частина 2. Допуски геометричні для елементів без спеціального позначення допусків (ISO 2768–2:1989, IDT). [Чинний від 2003-01-01] – К. :Держстандарт України, 2001. – 15 с.
14. ДСТУ ISO 286-1-2002. Допуски і посадки за системою ISO. Частина 1. Основи допусків, відхилень та посадок (ISO 286–1:1988, IDT). [Чинний від 2003-10-01] – К. :Держспоживстандарт України, 2003. – 37 с.
15. ДСТУ 3321-96 Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять.

					КНУ.КБР.131.26.1-09.СВД					
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата						
Розроб.		Заярний			Список використаних джерел			Літ.	Арк.	Архцив
Перевір.		Нечаєв								
Реценз.										
Н. контр.		Нечаєв								
Зав. каф.		Рязанцев								
					Каф. ТМ, гр. ПМ-22					

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

**АЛЬБОМ КРЕСЛЕНЬ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-
ЗАСВІДЧУЮЧИХ АРКУШІВ**

КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Конструкторсько-технологічна підготовка виробництва
деталі «Корпус» редуктору РМ-400 з використанням САД/САМ-
систем

Виконав здобувач гр. ПМ-22

(підпис)

Денис ЗАЯРНИЙ

Керівник КБР

(підпис)

Василь НЕЧАЄВ

Нормоконтроль

(підпис)

Василь НЕЧАЄВ

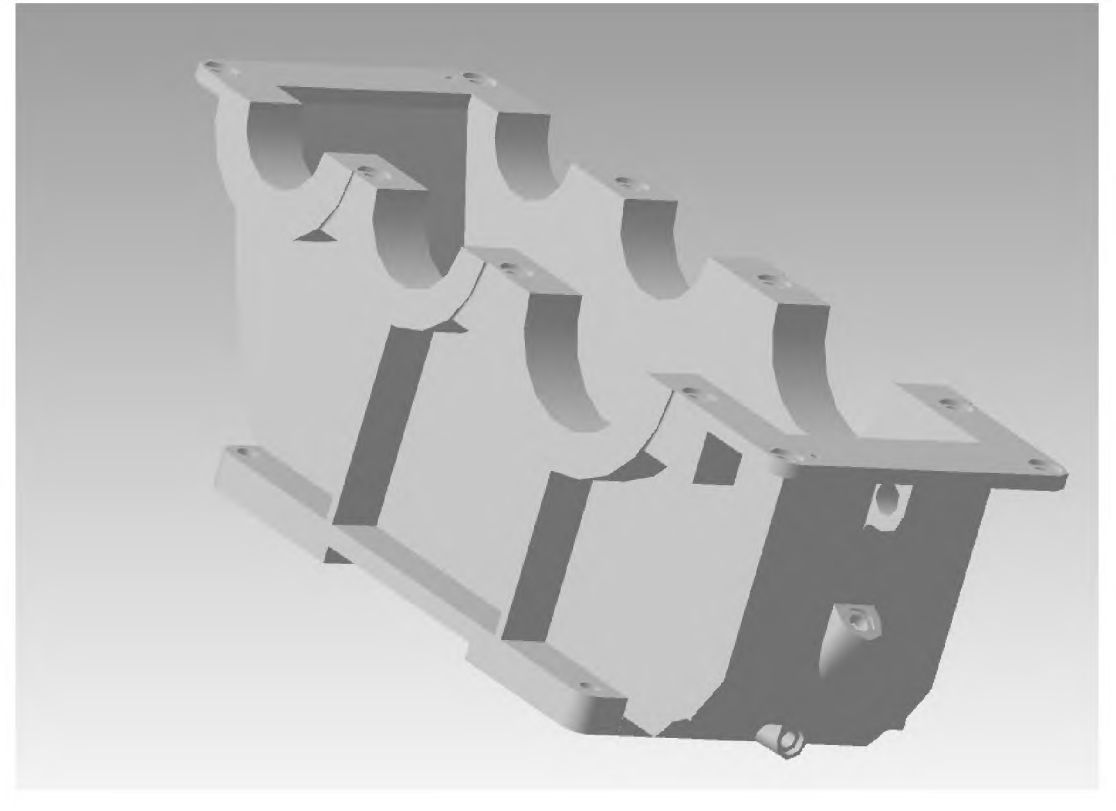
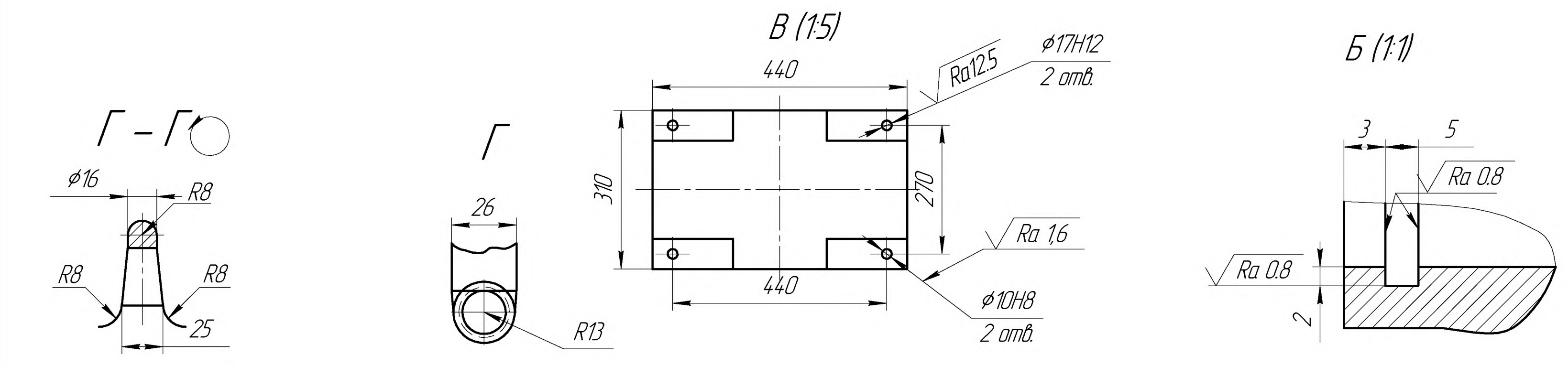
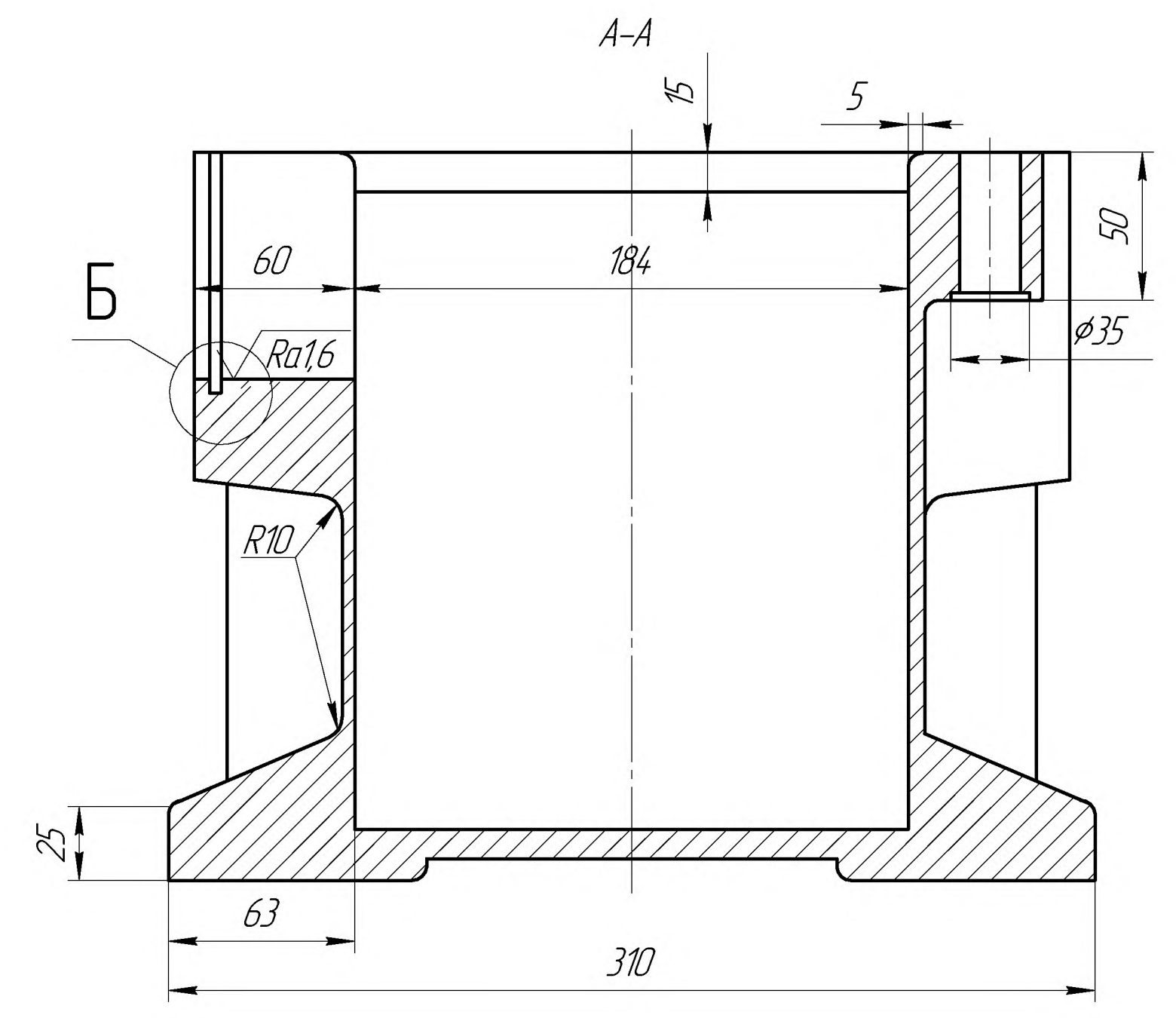
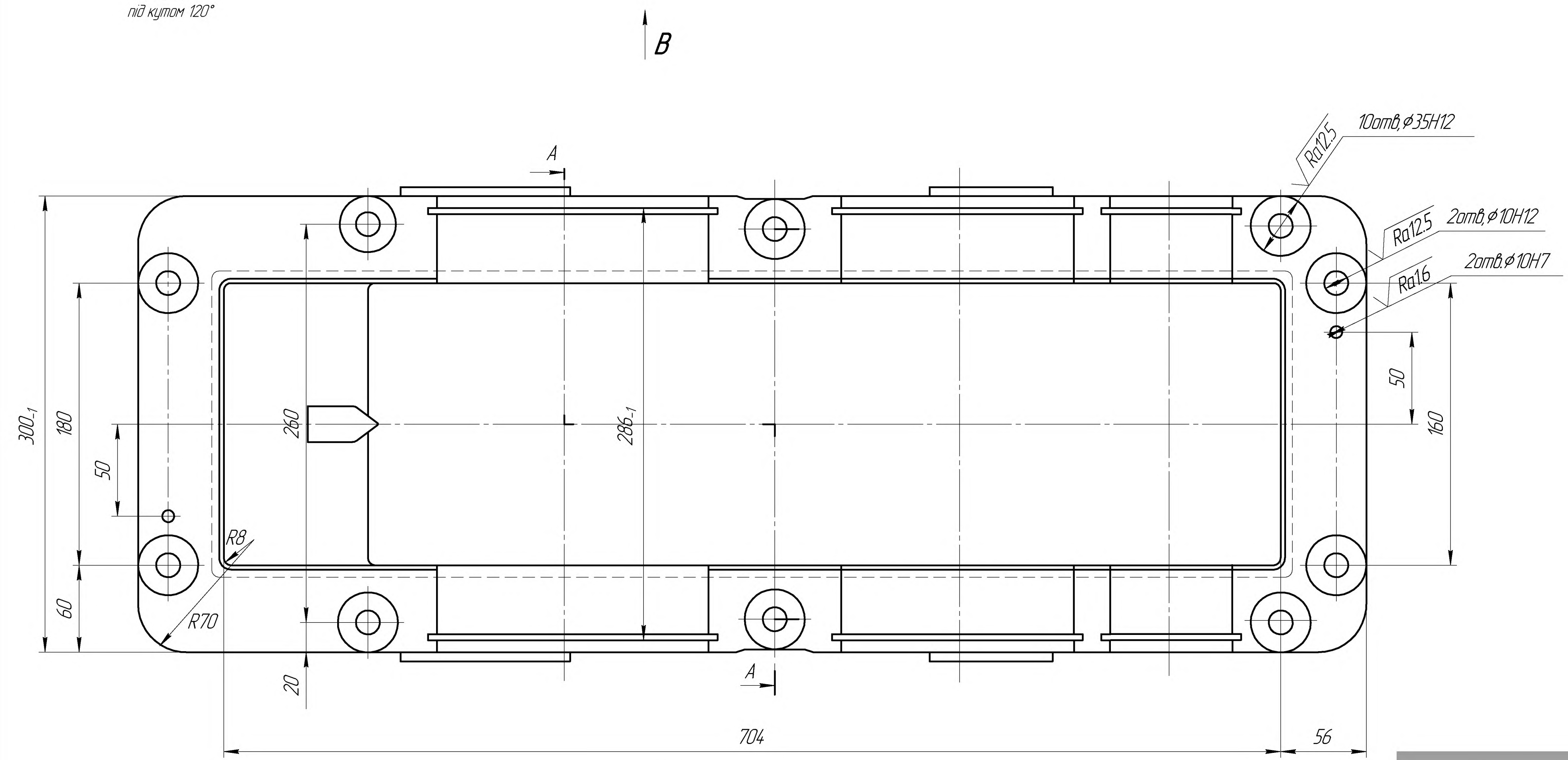
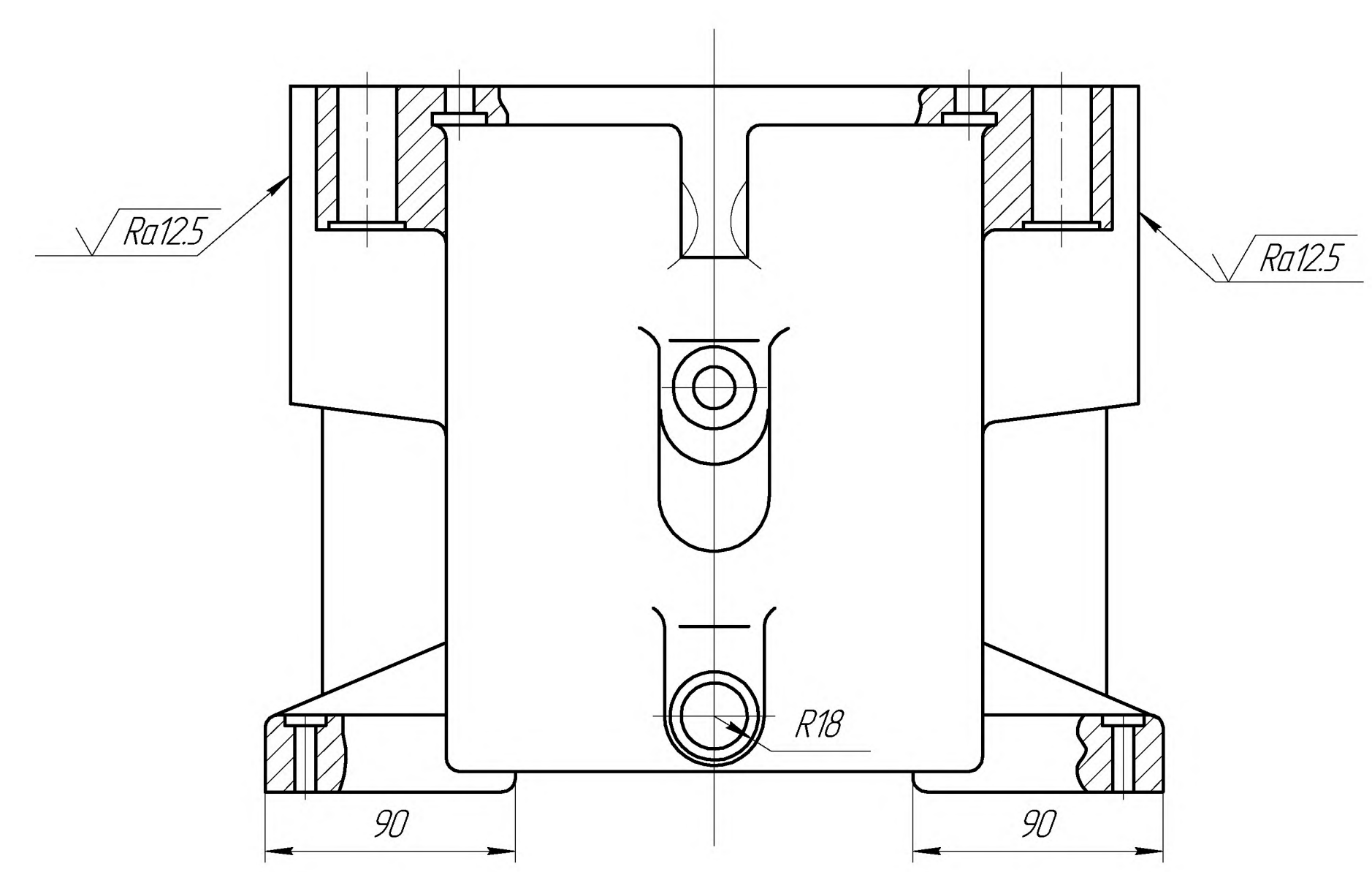
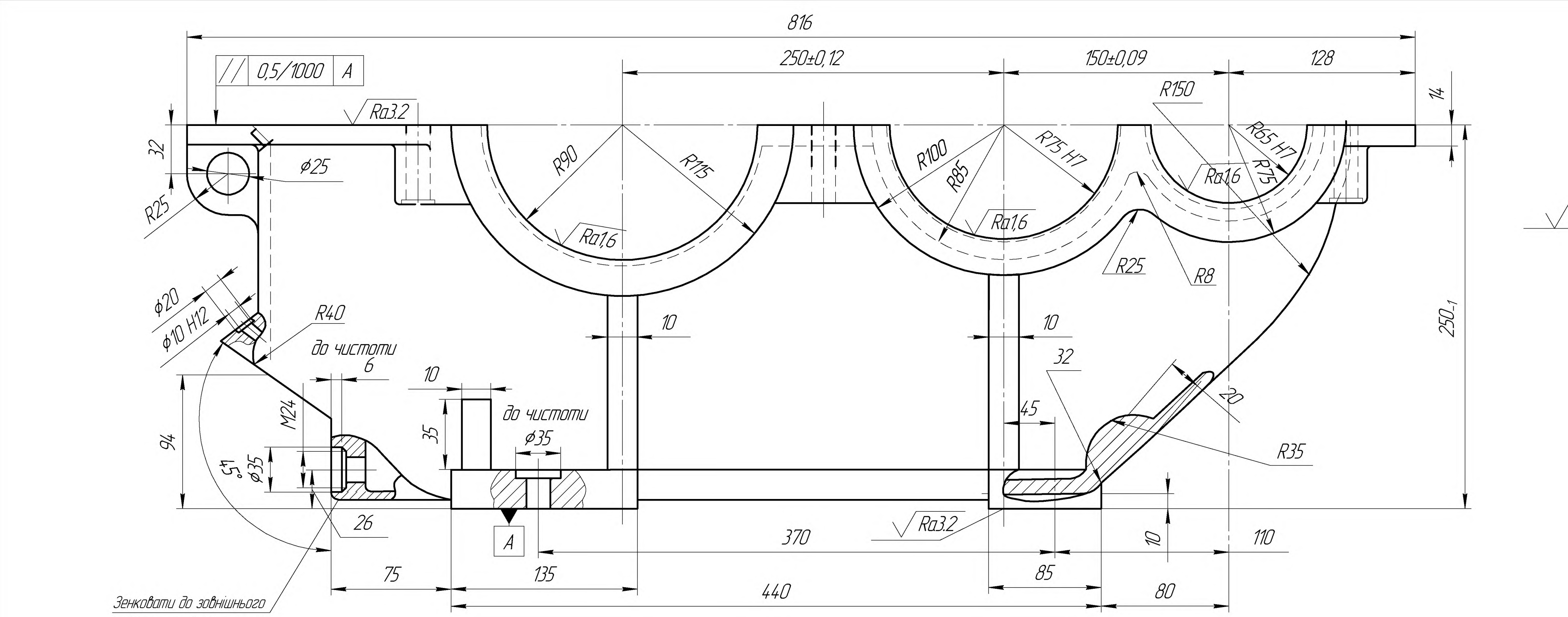
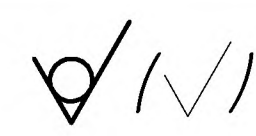
Завідувач кафедри

(підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ

Кривий Ріг
2026 р.

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ. №						Креслення		
	A1		1	КНУ.КБР.131.26.1-09.К	Корпус	1		
	A1		2	КНУ.КБР.131.26.1-09.ЕО	Ескізи операцій	2		
	A1		3	КНУ.КБР.131.26.1-09.ПВ	Пристрій верстатний	1		
	A1		4	КНУ.КБР.131.26.1-09.ВІН	Верстатно-інструментальне налагодження	1		
	A3		5	КНУ.КБР.131.26.1-09.МПМО	Моделювання процесу механічної обробки	1		
Подп. и дата								
Взам. инв. №								
Подп. и дата								
Инв. № подл.								
					КНУ.КБР.131.26.1-09.ВКІЗА			
Изм. Лист		№ докум.		Подп.	Дата			
Разраб. Зоярний						Відомість креслень та інформаційно-засвідчуючих аркушів КБР		
Пров. Нечаєв								
Н.контр. Нечаєв								
Утв. Рязанцев								
						Лит. Лист Листов		
						Н 1		
						Кафедра ТМ		
						гр. ПМ-22		
						Формат А4		

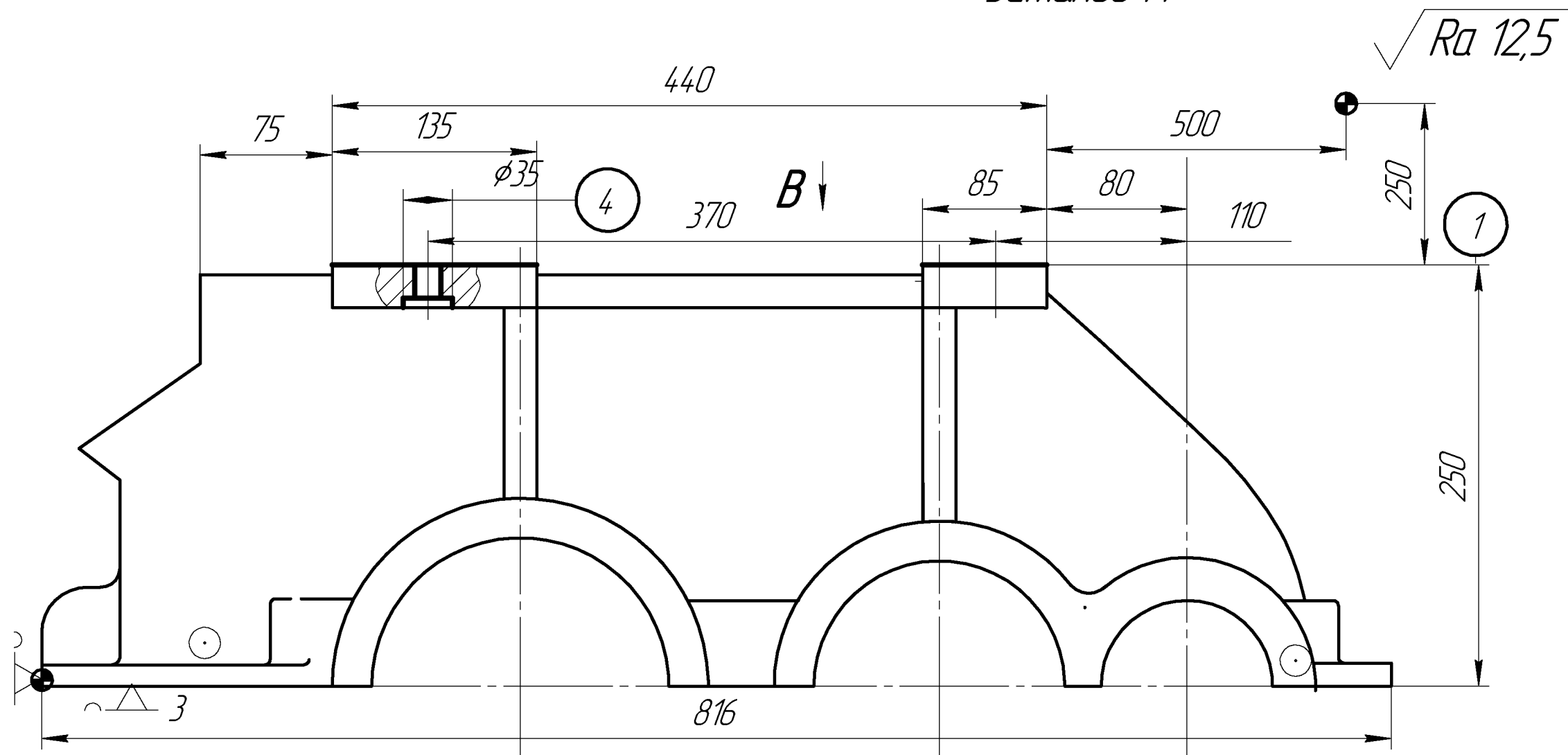


- Невказані радіуси в лиття 2-3 мм.
- Відхилення поверхні роз'єму від контрольної площини не більше 0,1 мм, у разі перевірки на фарбу не менше однієї плями на кожний см².
- Разточки під підшипники та пази закладних кришок обробляти у складанні з кришкою креслення 40-02Н.
- Постановка будь-яких прокладок у площину роз'єму під час розточування забороняється.
- Обвальність і конусність розточування під підшипники не більше допуску на діаметр.
- Непаралельність осей не більше 0,125 мм, перекіс осей не більше 0,125 мм, перекіс осей не більше 0,075 мм при вимірі на ширині корпусу 300 мм.
- Відхилення осей розточене під підшипники від площини роз'єму не більше 0,3.
- Після обробки корпус пропустити стисненим повітрям або протирати.
- Раковини в вуху не допускаються.
- Допускаються у полученні папки зі стінкою та дітям уступ по стінці та редру висотою не більше 1,5 мм і шириною не більше радіусу сполучення.

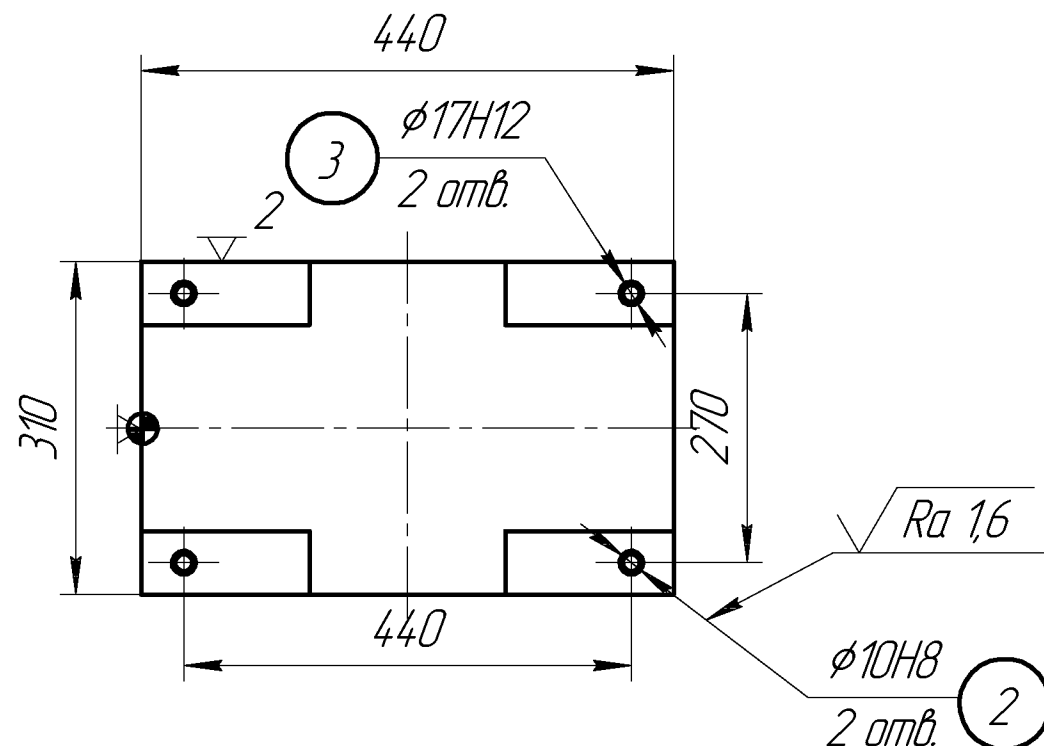
КНУ.КБР.13126.1-09.К				Корпус		
Зм.	Арх.	№ док.	Підпис	Дата	Лист	Маса
Разробит	Зварити	Начеб			Н	54,7
Керівник	Начеб				Архив	Масштаб
Начеб	Начеб				Архив	Масштаб
Затв.	Резонанс				Кабедра ТМ	гр. ПМ-22
СЧ15 ДСТУ 8833:2019						

005 Багатоцільова з ЧПК
DMG MORI CMX 600

Установ А



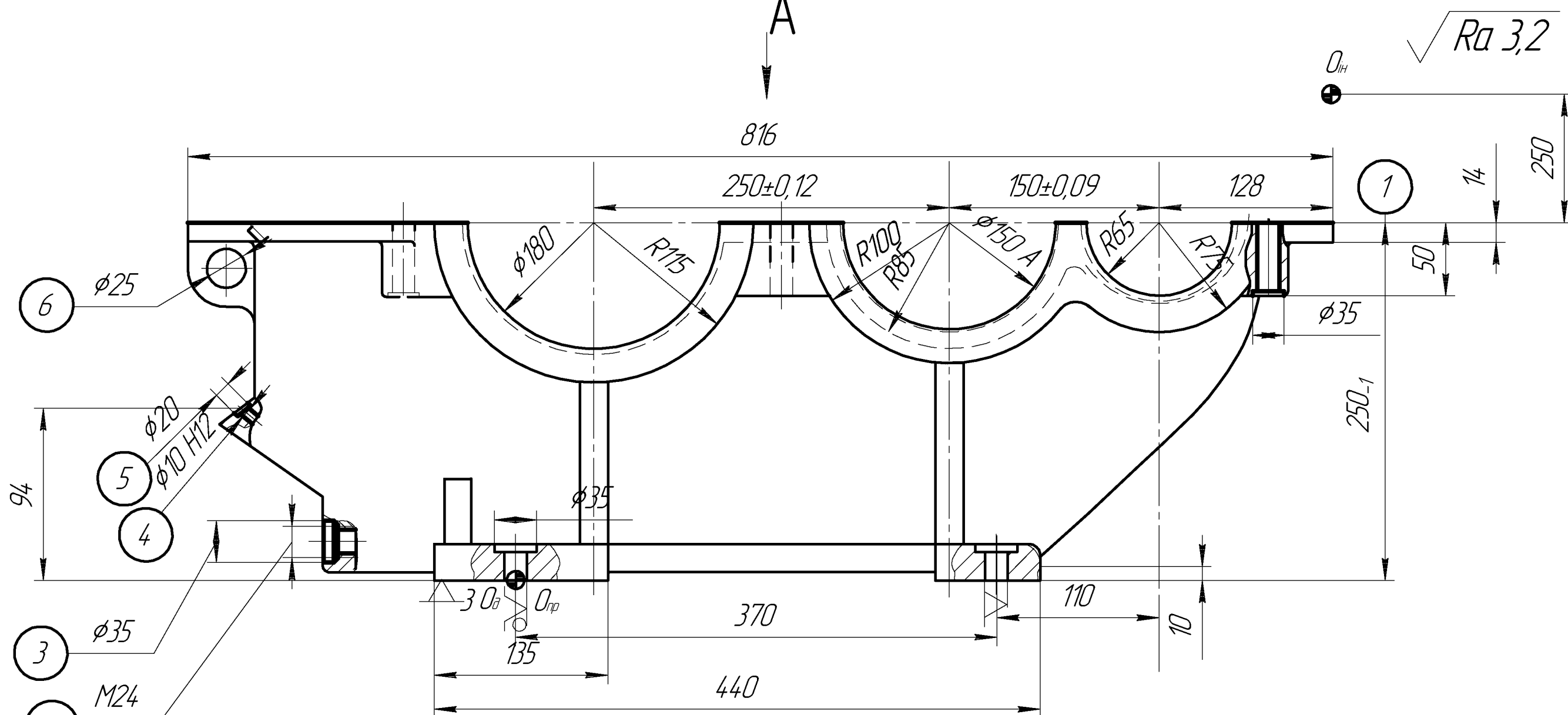
В (1:5)



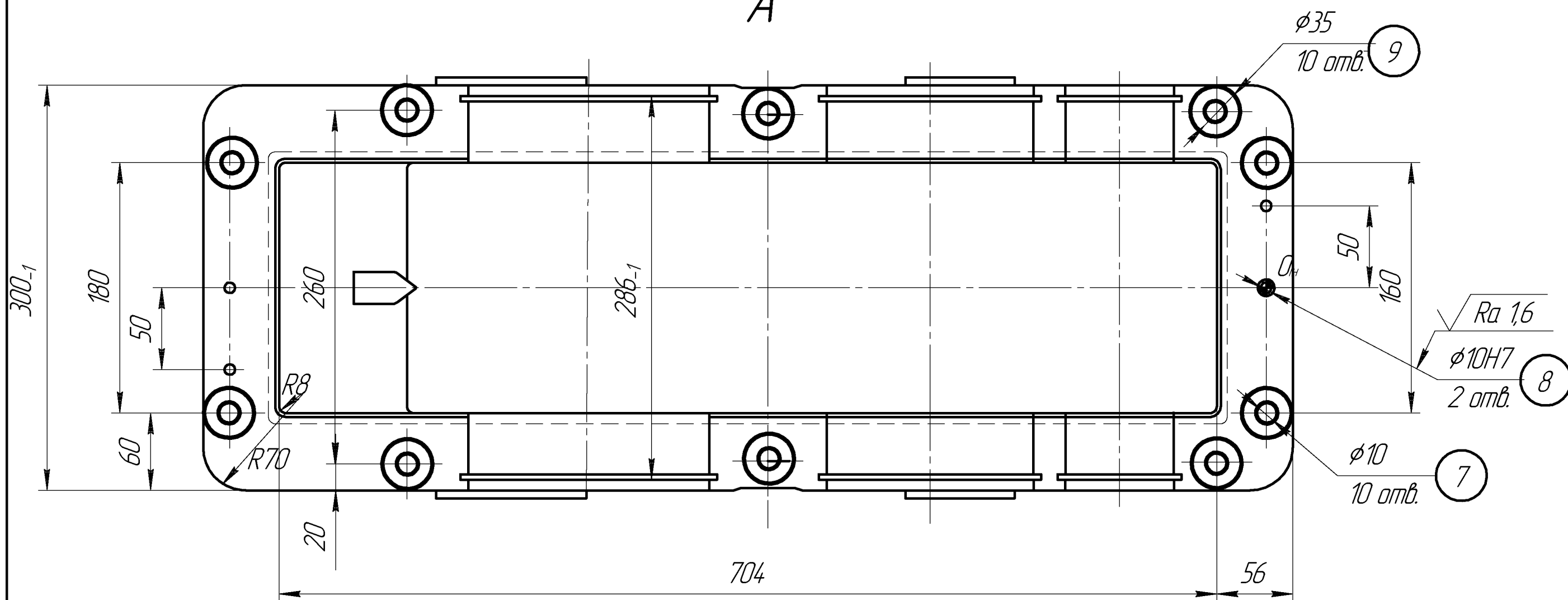
Найменування та шифр ріжучих інструментів	Найменування та шифр допоміжних інструментів	Верстатні пристрої
Свердло SD30-10.00-50-16R5 Свердло SD30-9.8.00-0-16R5 Свердло SD542-35-100-50R7 Пластина-SPGX07T3-C1, SPGX100408 Разгартка PM06-05700-12N1 Головка разгартки - PM50 Фреза торцева BAP300-063A08R	Патрон цанговий прецезійний для осьових інструментів BSM051 5872 29100 Тримач для свердл SD503-30-45-50R2 Тримач-монтажник DIN40 ADE4469 522 4060	Пристрій переналагоджувальний

010 Багатоцільова з ЧПК
DMG MORI CMX 600

А



А

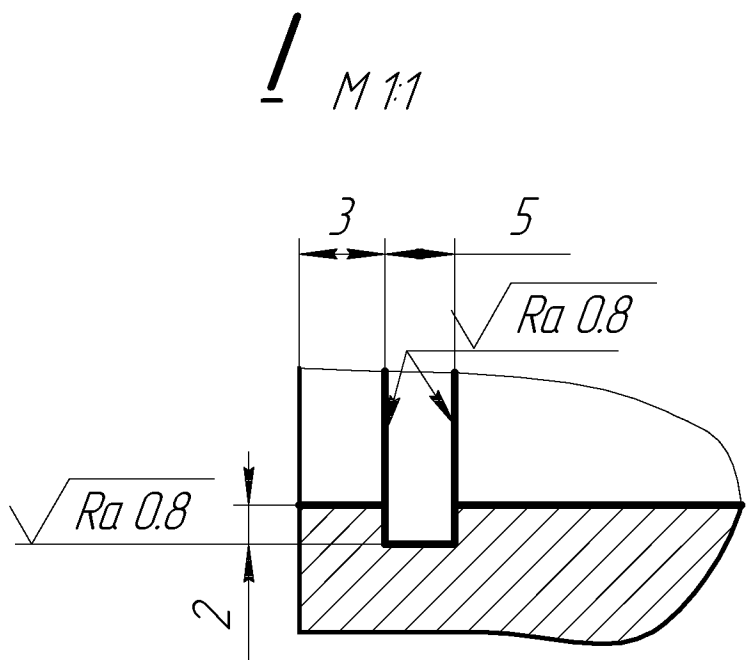
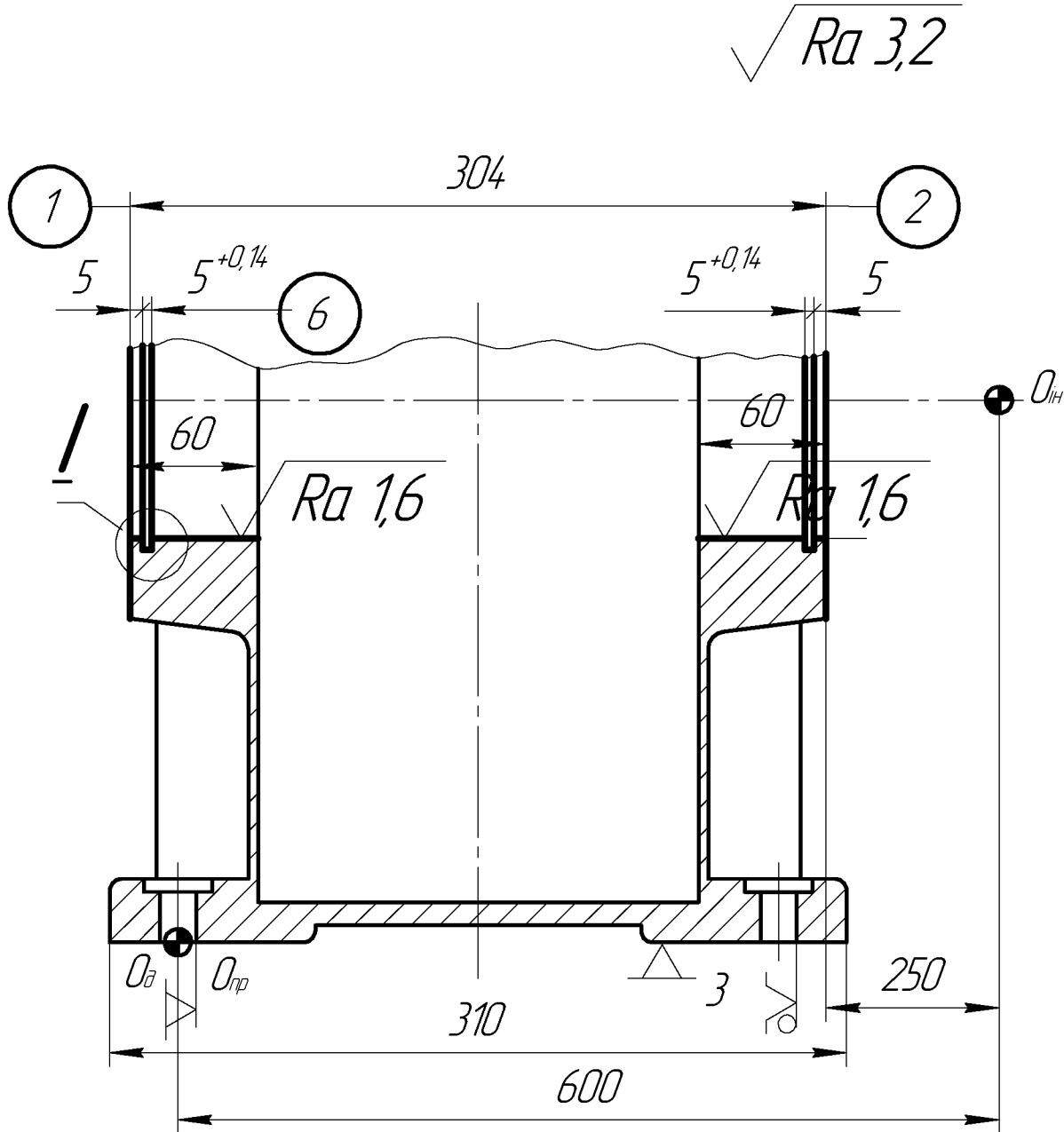
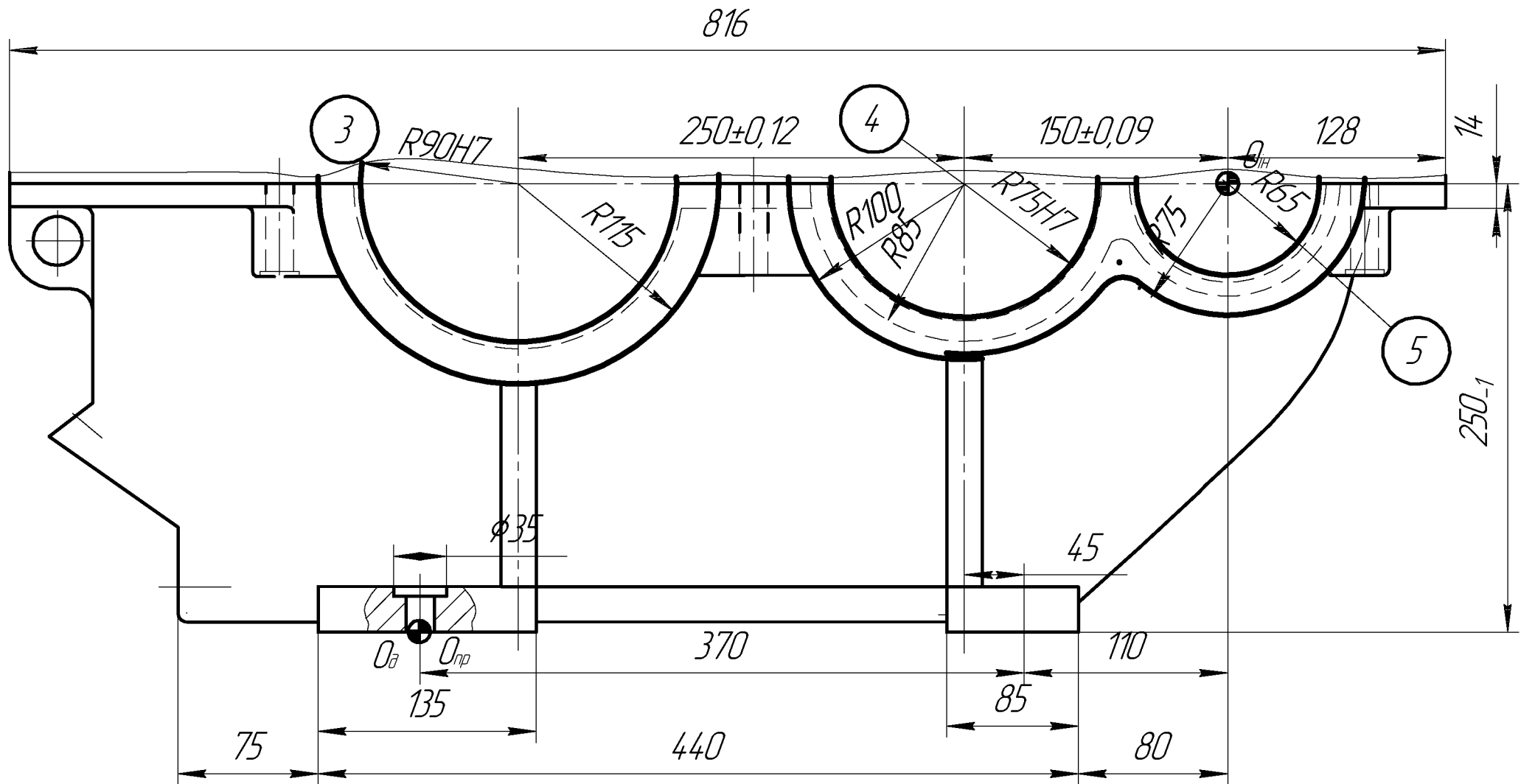


Найменування та шифр ріжучих інструментів	Найменування та шифр допоміжних інструментів	Верстатний пристрій
Фреза торцева BAP300-063A08R	Тримач-монтажок DIN40 ADE4469 522 4060	Пристрій переналагоджувальний
Свердло Ø10мм з напайними пластинками. Шифр: SD30-10.00 -50-16R5	Патрон цанговий прецезійний для свердл Ø1мм до Ø20мм. Шифр: BSM051 5872 29100	
Свердло Ø6мм з напайними пластинками. Шифр: SD30-06.00 -0-16R5	Патрон цанговий прецезійний для свердл Ø1мм до Ø20мм. Шифр: BSM051 5872 29100	
Свердло Ø9,8мм з напайними пластинками. Шифр: SD30-9,8.00 -0-16R5		
Разгортка Ø10мм зізмінною головкою Шифр: PM06-05700-12N1 Головка разгортки- PM-50	Тримач для свердл: BSM0616100 40200	
Свердло Ø35мм зі змінними твердосплавними пластинками- SD542-35-100-50R7. Пластины: Центральна-SPGX07T3-C1 Периферійна: SPGX100408		

КНУКБР.131.26.1-09.ЕО				Ескізи операцій		
Зм. Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Лист	Маса	Масштаб
Розробив	Згодив			Н		
Керівник	Началь			Архив	Архив	1
Н.контр.	Началь			Кафедра ТМ		
Затв.	Розробив			гр. ПМ-22		

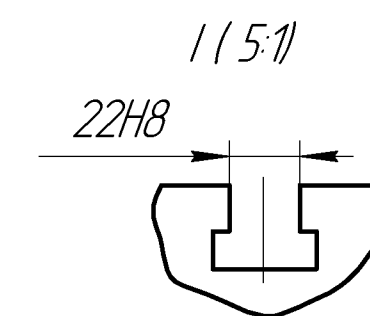
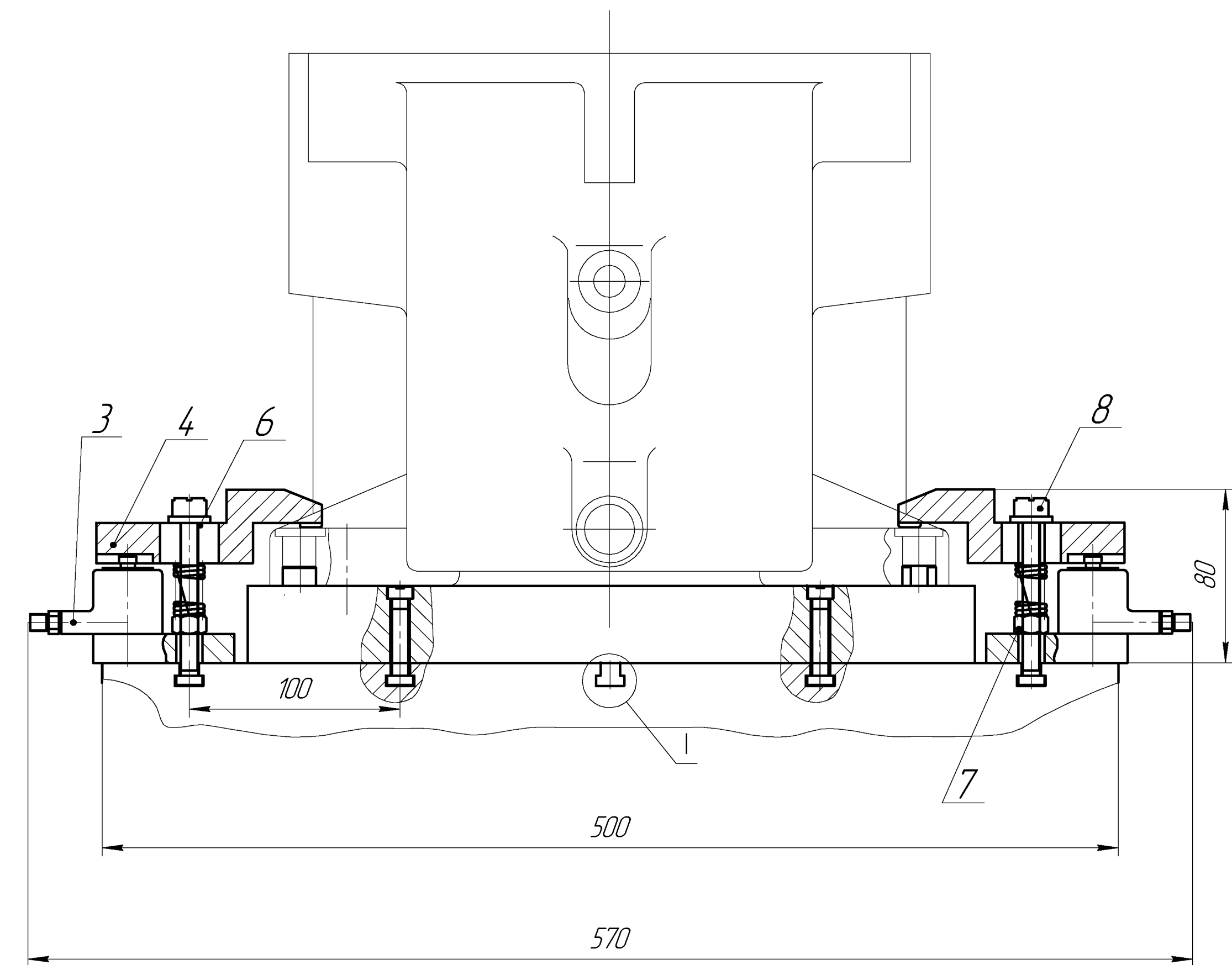
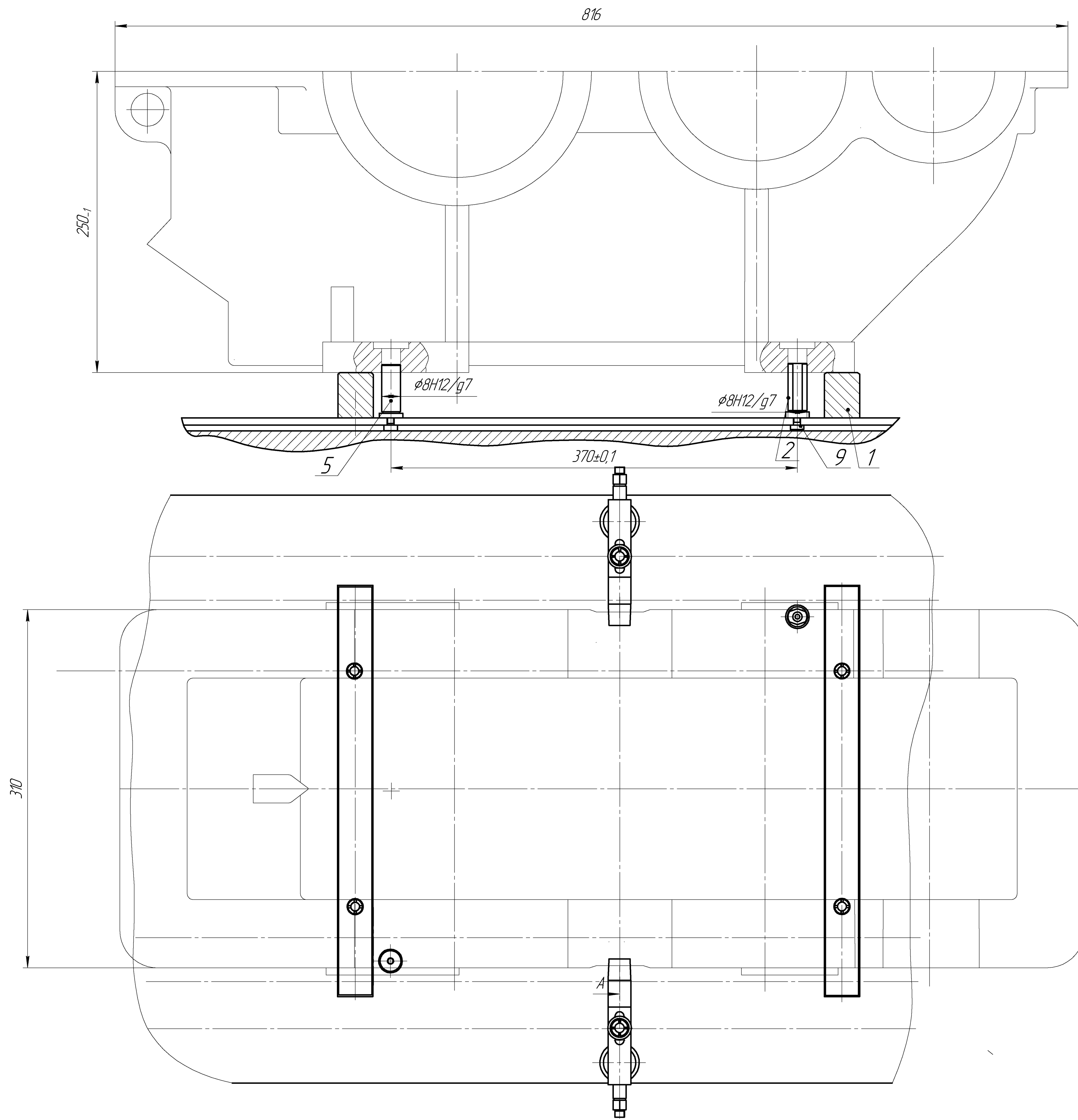
КНУКБР.131.26.1-09.Е0

020 Багатоцільова з ЧПК
DMG MORI CMX 600



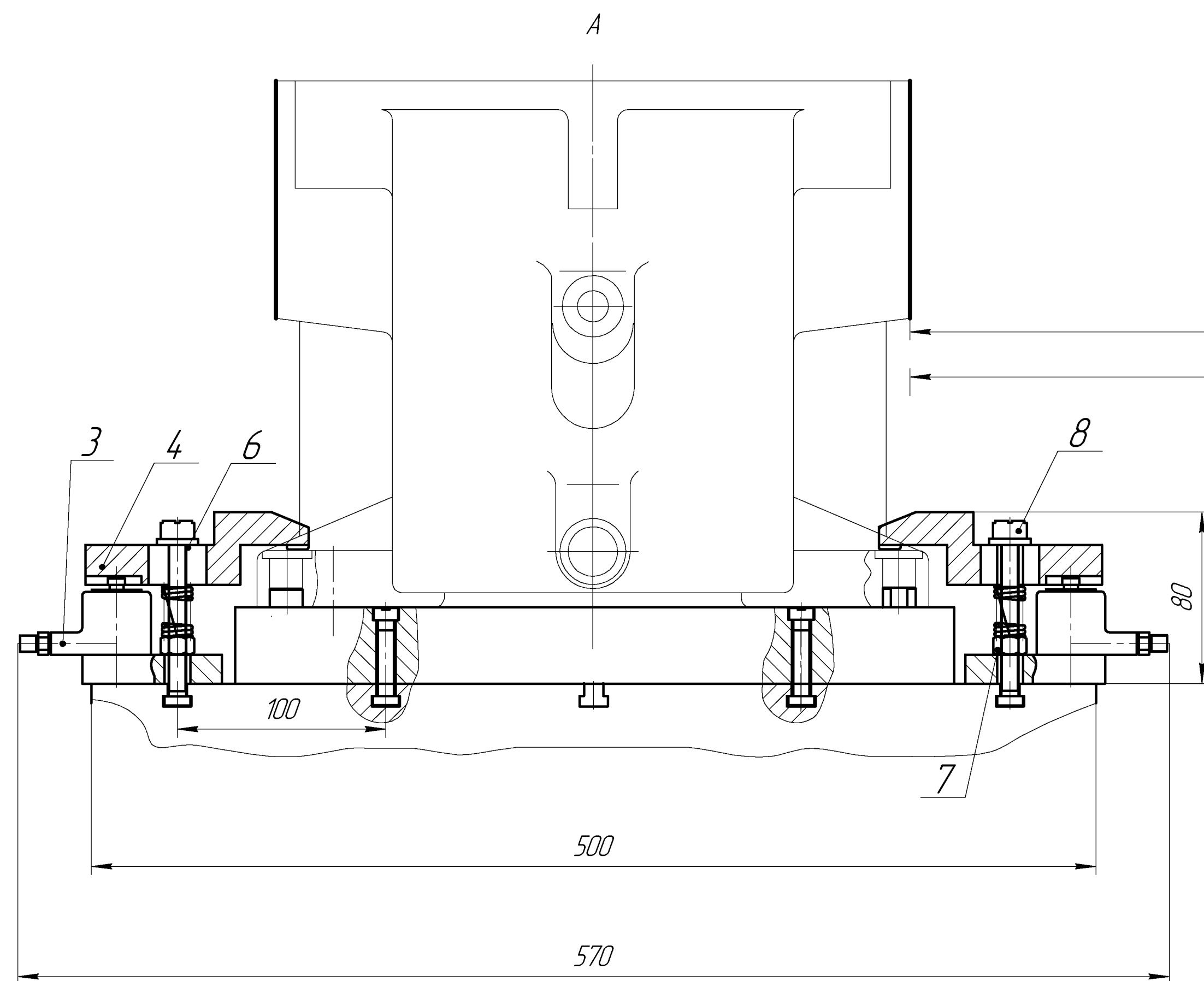
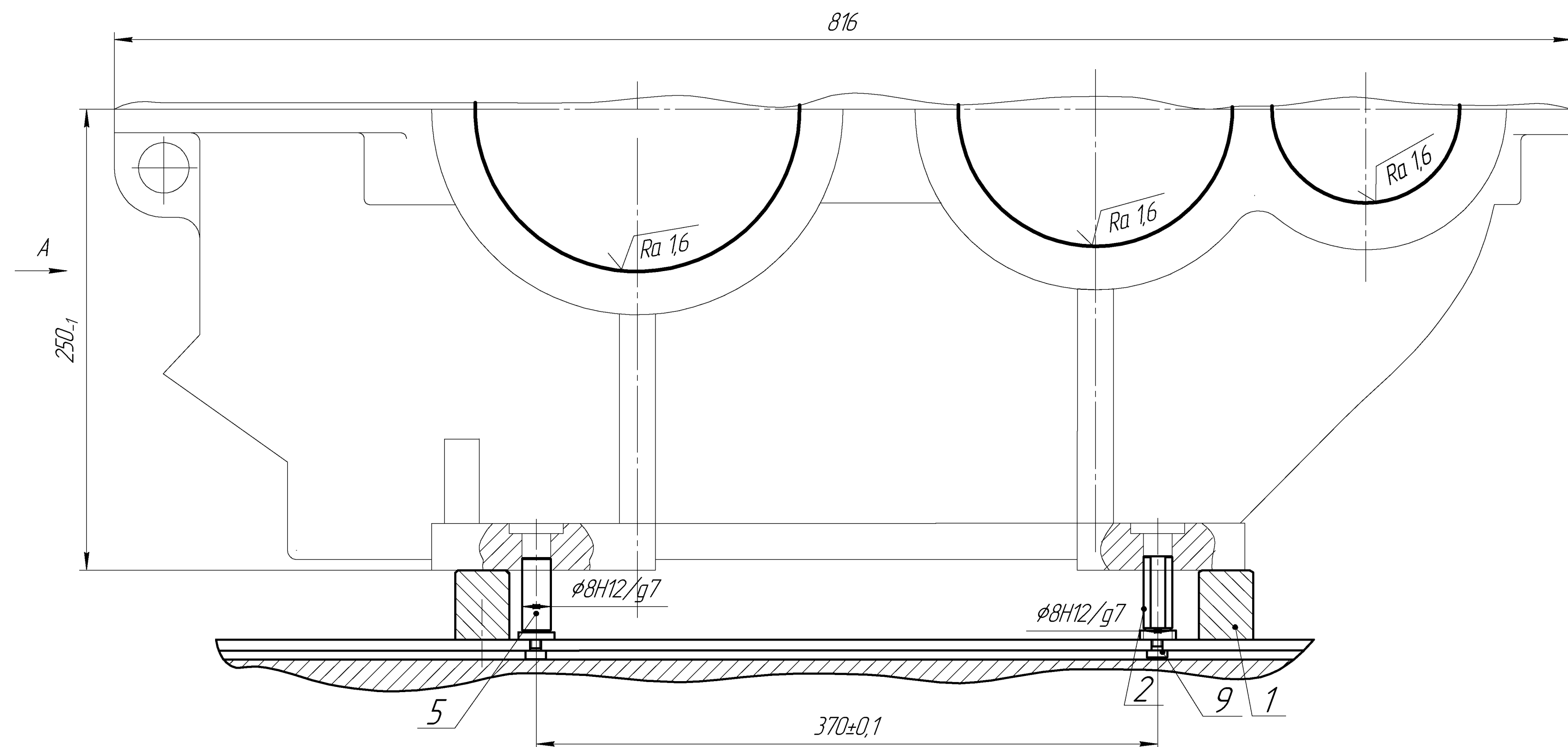
Ріжучі інструменти шифр за стандартом	Допоміжні інструменти шифр за стандартом	Верстатні пристрої
Фреза торцева VAR300-063A08R	Тримач-монтаж DIN40 AD: E4469 522 4060	Пристрій переналаджувальний
Розточувальна головка для чорнкової обробки A731 500.	Тримач Draflex A731 200 Подобульнич Draflex M402 662	
Головка розточувальна чистова A731 600.	Катридж 725 75 Пластина CCMT09T308-F2 CCMT09T308-F1	
Різець канавочний для розточування канавок 5мм. Державка різця: 20CNR0032S20 Пластина 20NR 5.0FG	Прецезійна розточувальна головка Ф72002 Тримач Graflex A731 200	

Місц. № розд.	Підп. і дата	Всес. шифр №	Місц. № розд.	Підп. і дата

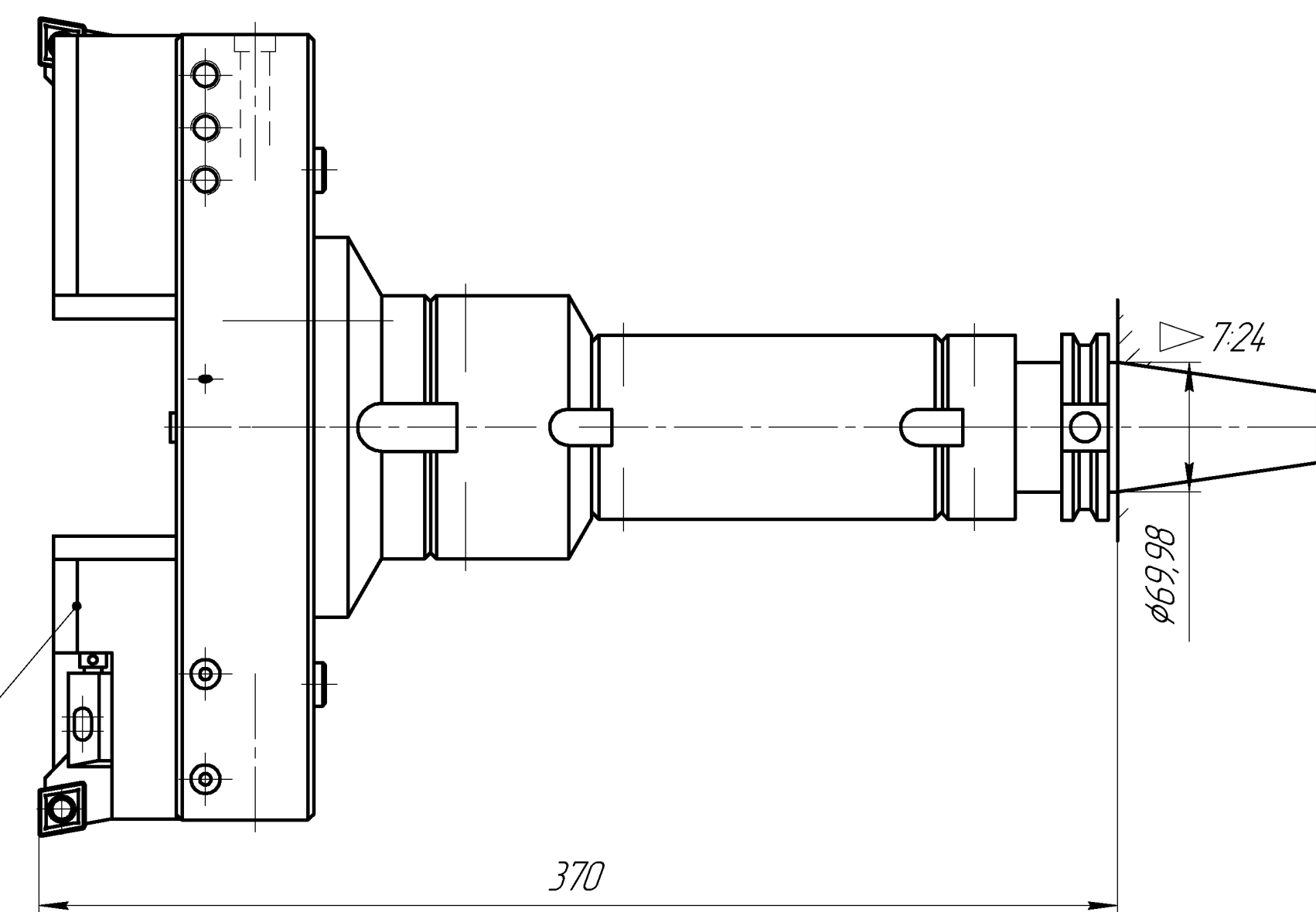


1. Зусилля затиску 653Н.
2. Внутрішній діаметр циліндра 40 мм.
3. * Розміри для довідок.
4. Гідроциліндр відрегулювати так, щоб при затиску деталі залишався запас ходу 6мм.
5. Гідросистему випробувати мастилом І-20А під тиском 15 МПа на протязі 5хвилини. Течія мастила під час випробування не допустима.
6. Не допускається проводити підтяжку трубопроводів та інших елементів під час роботи гідроприводу та верстату.
7. При кожному затиску оброблюваної деталі контролювати тиск мастила за допомогою манометра.
8. Пристрій розрадений для фрезерування площини деталі.

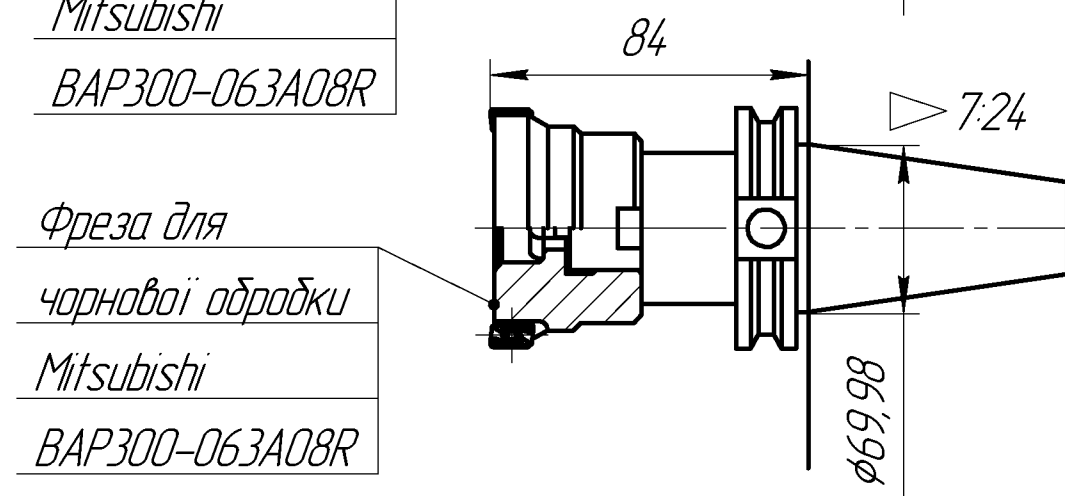
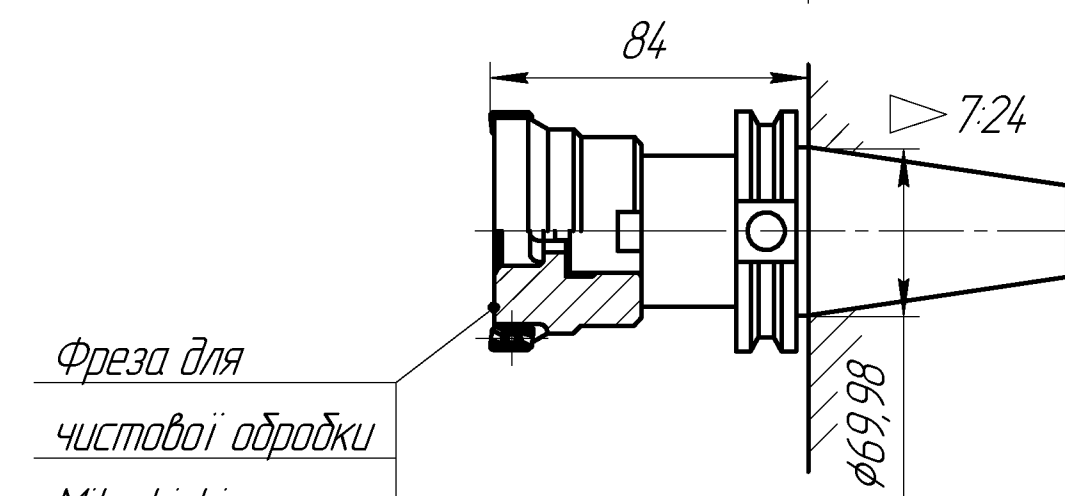
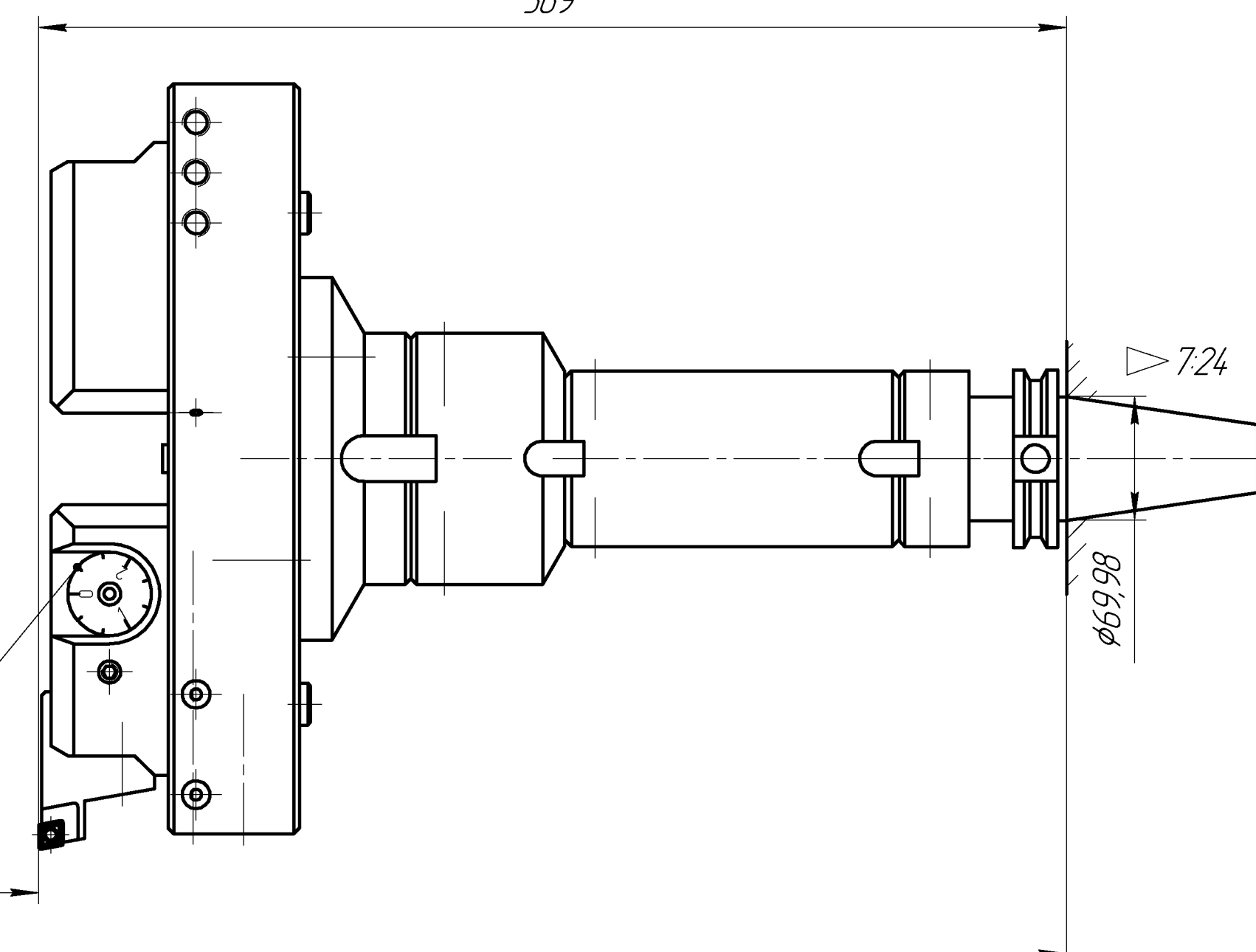
КНУ.КБР.131.26.1-09.ПВ				Пристрій верстатний		
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Лит.	Маса
Розробив	Зварив				Н	12
Керівник	Началь				Архив	1
Началь	Началь				Кафедра ТМ	
Затв.	Рязанцев				гр. ПМ-22	



Розточна головка для
чорнової розточки (Seco)



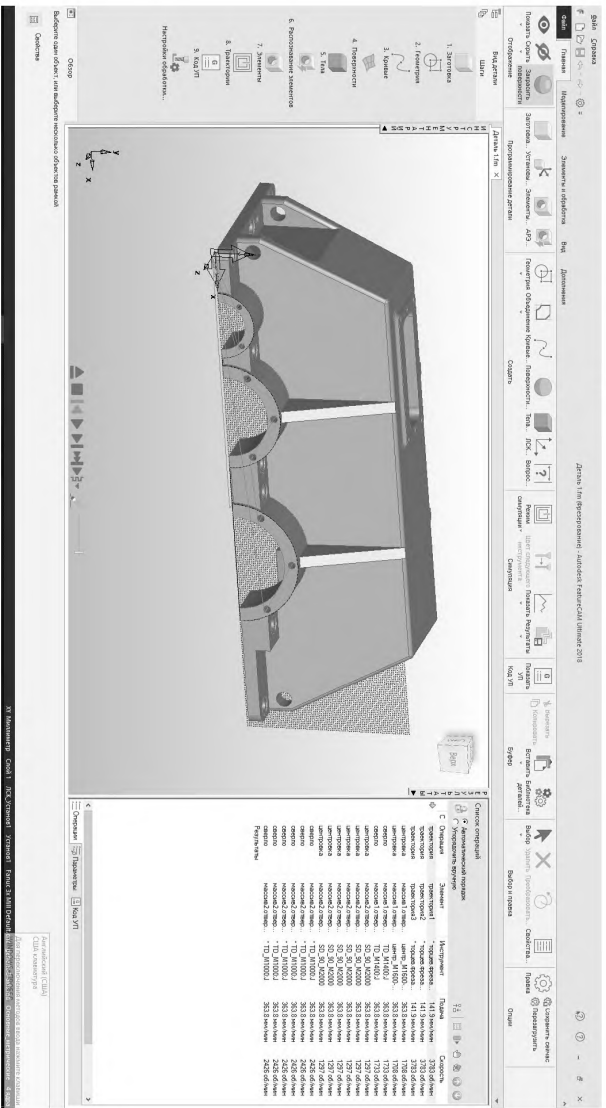
Розточна головка
для прецизійної
розточки (Seco)



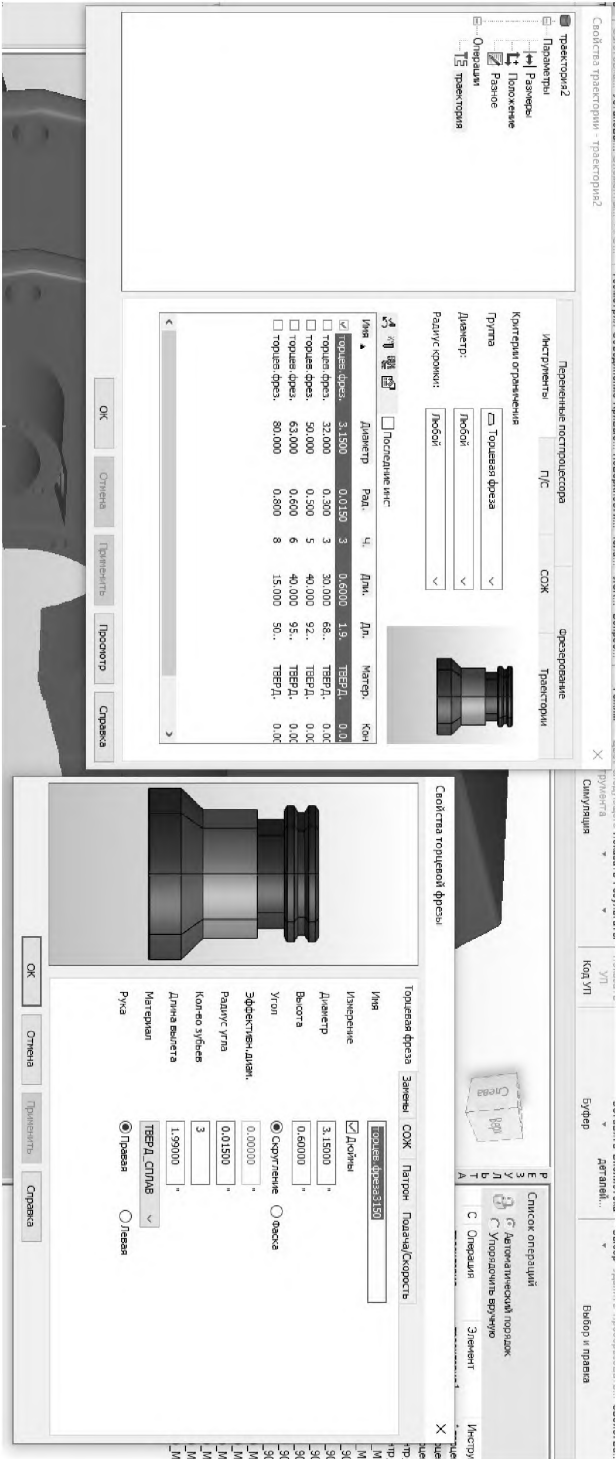
Фреза для
чистої обробки
Mitsubishi
BAP300-063A08R

Фреза для
чорнової обробки
Mitsubishi
BAP300-063A08R

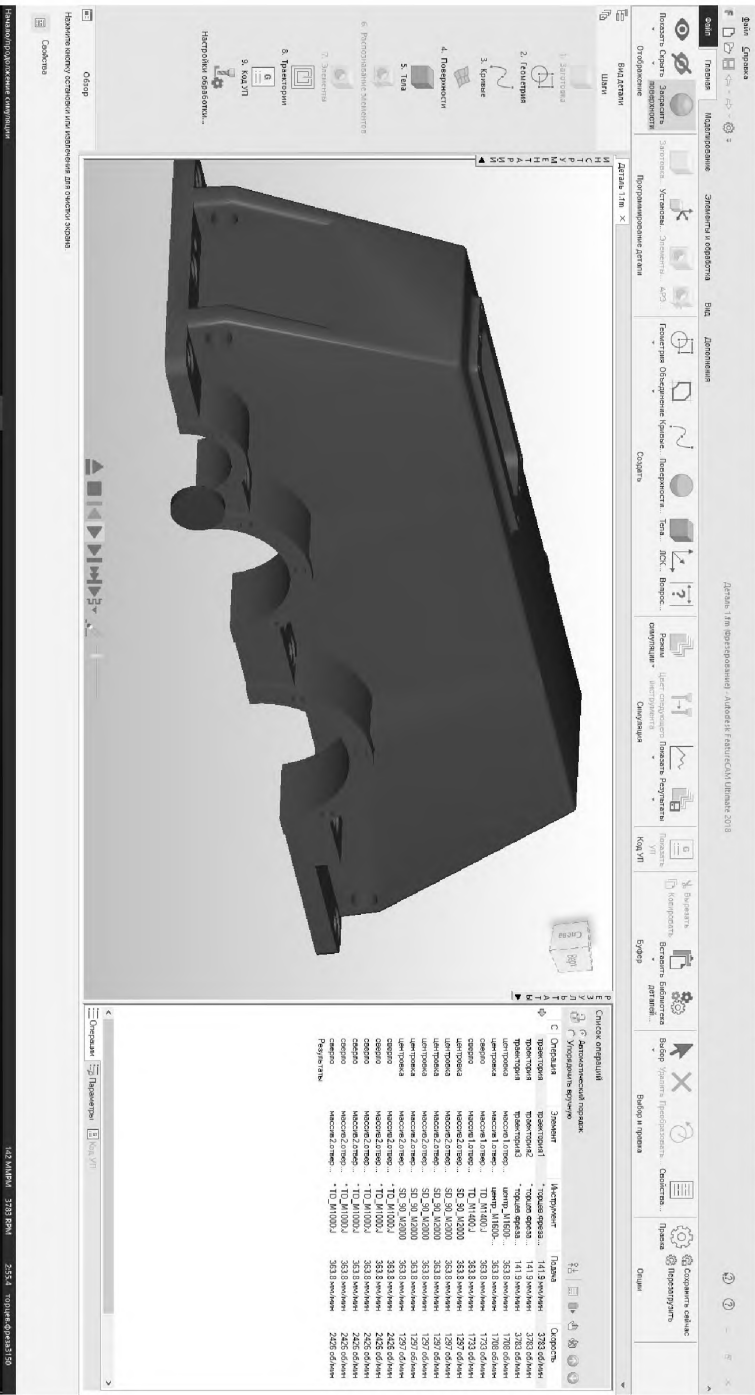
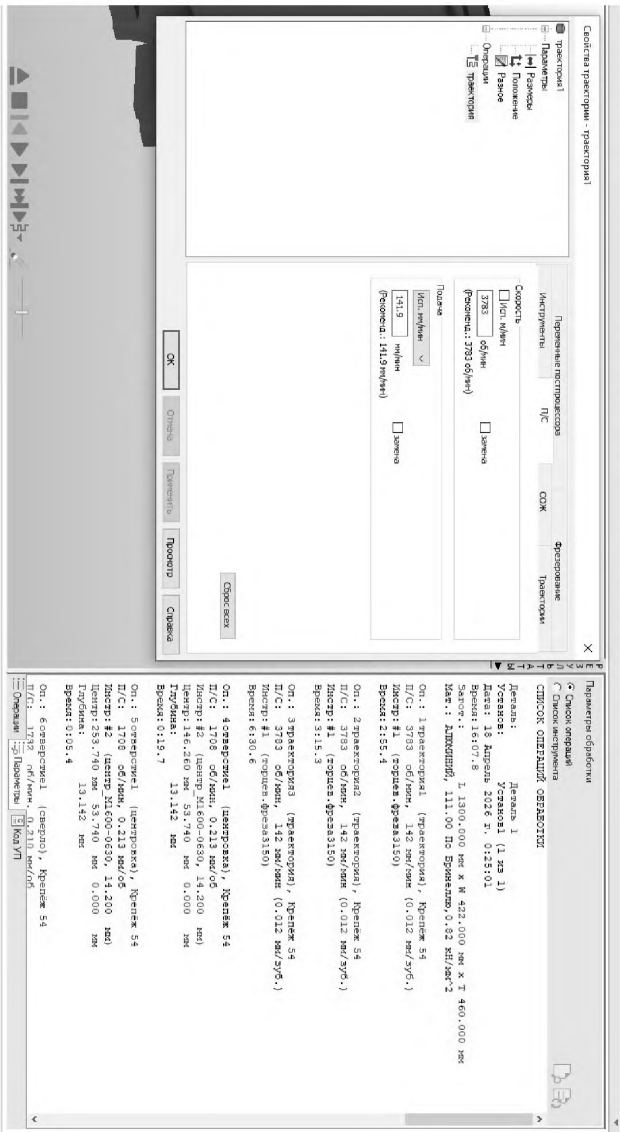
КНУКБР.131.26.1-09.ВІН				Верстатно-інструментальне налагодження		
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Лист	Маса
Розроб.	Звар.	Начес.			Н	12
Керівн.	Начес.				Архив	Архив
Начес.	Начес.				Кафедра ТМ	
Зав.	Рязанцев				гр. ПМ-22	



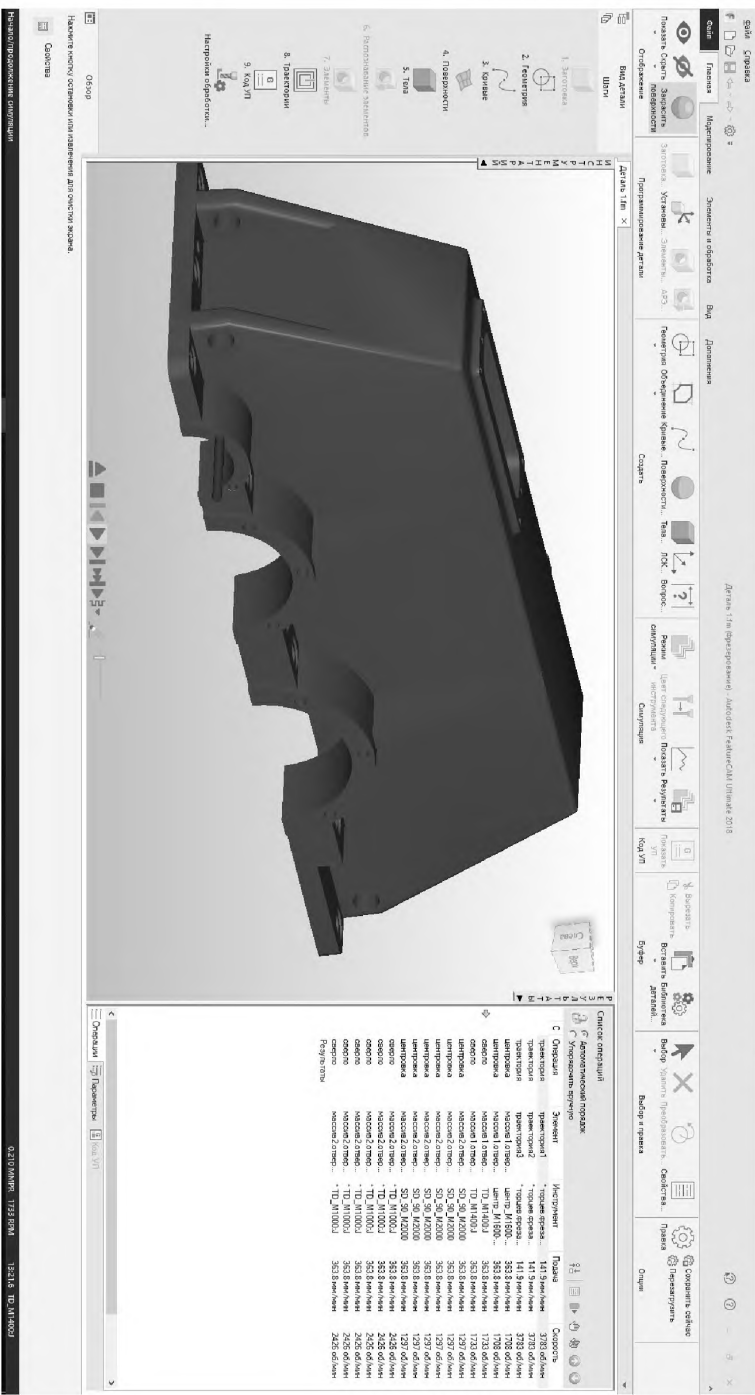
Етап вибору різального інструменту в меню програми



Вибір режимів різання



Фрагмент моделювання процесу обробки деталі (свердління)



КНУ.КБР.13.126.1-09.МТМО

Моделювання процесу механічної обробки

Зм. Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Лист	Листів
Розробив	Зварний				
Керівник	Нецев				
Начальник	Нецев				
Затв.	Раздичев				
Кафедра ТМ					Листів 1
зр. ТМ-22					