

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 «Фланець» агрегату ГПА-10 з використанням CAD/CAM-
систем

Виконав: здобувач групи ПМ-22
Кедровський В.Є.

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

Кривий Ріг
2026 р.

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПISKA
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ**

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Конструкторсько-технологічна підготовка виробництва
деталі «Фланець» агрегату ГПА-10 з використанням CAD/CAM-
систем

Виконав здобувач гр. ПМ-22

(підпис)

Володимир КЕДРОВСЬКИЙ

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 Кедровського Володимира Євгеновича

1. Тема: Конструкторсько-технологічна підготовка виробництва деталі «Фланець» агрегату ГПА-10 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 «Фланець». 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. Фланець. 2. Вал ведучий (складальне креслення). 3. Фланець (кування штамповане). 4. Ескізи операцій. 5. Свердло-зенківка. 6. Моделювання процесу обробки. 7. Інженерний аналіз спеціального різального інструменту.

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

/Кедровський В.Є./

Перв. примен.	Справ. №	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание		
						Документація				
		A4		1	КНУ.КБР.131.26.1-10.ПЗ	Пояснювальна записка	52			
						Креслення				
		A1		2	КНУ.КБР.131.26.1-10.ВВСК	Вал ведучий	1			
						(складальне креслення)				
		A1		3	КНУ.КБР.131.26.1-10.Ф	Фланець	1			
		A3		4	КНУ.КБР.131.26.1-10.ФКШ	Фланець (кування штамповане)	1			
		A1		5	КНУ.КБР.131.26.1-10.ЕО	Ескізи операцій	1			
		A3		6	КНУ.КБР.131.26.1-10.СЗ	Свердло-зенківка	1			
		A3		7	КНУ.КБР.131.26.1-10.ІАСРІ	Інженерний аналіз спеціального	1			
						різального інструменту				
		A3		8	КНУ.КБР.131.26.1-10.МПМО	Моделювання процесу	1			
						механічної обробки				
Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дфл	Подп. и дата	КНУ.КБР.131.26.1-10.ВМКБР						
				Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Инв. № подл.	Разраб.	Кедровський			Відомість матеріалів КБР			Лит.	Лист	Листов
	Пров.	Нечаєв						Н		1
	Н.контр.	Нечаєв						Кафедра ТМ гр. ПМ-22		
	Утв.	Рязанцев								

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до КРБ містить: 52 стор., 20 рисунків, 20 таблиць, 7 листів графічної частини.

Об'єктом дослідження є процес конструкторсько-технологічної підготовки виробництва деталі «Фланець» газоперекачувального агрегату ГПА-10.

Предметом дослідження є методи, засоби та інструменти автоматизованого проектування і технологічної підготовки виробництва (CAD/CAM системи), а також параметри технологічного процесу механічної обробки, що забезпечують необхідні показники точності, якості поверхонь та продуктивності виготовлення деталі.

У роботі розглядаються питання розроблення конструкторської документації, аналізу конструкції деталі «Фланець» газоперекачувального агрегату типу ГПА-10, вибору раціональних способів виготовлення, проектування технологічного процесу механічної обробки, а також застосування сучасних систем автоматизованого проектування та технологічної підготовки виробництва (CAD/CAM) для підвищення ефективності та якості виробництва.

Особлива увага приділяється інтеграції конструкторського та технологічного етапів підготовки виробництва із застосуванням цифрових інструментів, що дозволяє скоротити терміни розробки, зменшити матеріальні витрати та забезпечити високу точність виготовлення деталі.

Фланці агрегатів типу ГПА-10 працюють в умовах значних механічних навантажень, підвищених температур і тисків, що зумовлює жорсткі вимоги до точності виготовлення, якості поверхонь та матеріалів. Помилки на етапі конструкторсько-технологічної підготовки можуть призвести до зниження герметичності з'єднань, аварійних ситуацій та економічних втрат.

Використання сучасних CAD/CAM систем дозволяє: створювати параметричні 3D-моделі деталей; проводити інженерний аналіз; автоматизувати розроблення технологічних маршрутів; формувати керуючі програми для верстатів з ЧПК; мінімізувати вплив людського фактора.

Таким чином, дослідження питань конструкторсько-технологічної підготовки виробництва відповідальної деталі з використанням CAD/CAM систем є актуальним завданням сучасного машинобудування та відповідає тенденціям цифрової трансформації промисловості.

ФЛАНЕЦЬ, ГПА-10, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, МОДЕЛЮВАННЯ, ВІЗУАЛІЗАЦІЯ, ІНСТРУМЕНТ.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-10.Р</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док-м.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Кедровський</i>			<i>Реферат</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>Аркцшів</i>	
					<i>Каф. ТМ, гр. ПМ-22</i>			

ABSTRACT

The explanatory note to QBW contains: 52 pages, 20 figures, 20 tables, 7 sheets of the graphic part.

The object of the study is the process of design and technological preparation for the production of the “Flange” component of the ГПА-10 gas pumping unit.

The subject of the study includes methods, tools, and means of computer-aided design and manufacturing preparation (CAD/CAM systems), as well as the parameters of the machining process that ensure the required indicators of accuracy, surface quality, and manufacturing productivity of the component.

The paper addresses the development of design documentation, the analysis of the “Flange” component design for the ГПА-10 gas pumping unit, the selection of rational manufacturing methods, the design of the machining process, as well as the application of modern computer-aided design and manufacturing preparation systems (CAD/CAM) to improve production efficiency and quality.

Special attention is paid to the integration of the design and technological stages of production preparation through the use of digital tools, which makes it possible to reduce development time, decrease material costs, and ensure high manufacturing accuracy of the component.

Flanges of ГПА-10 units operate under conditions of significant mechanical loads, elevated temperatures, and pressures, which imposes strict requirements on manufacturing accuracy, surface quality, and material properties. Errors at the stage of design and technological preparation may lead to reduced tightness of joints, emergency situations, and economic losses.

The use of modern CAD/CAM systems makes it possible to: create parametric 3D models of components; perform engineering analysis; automate the development of technological routes; generate NC programs for CNC machine tools; and minimize the influence of the human factor.

Thus, the study of design and technological preparation for the production of a critical component using CAD/CAM systems is a relevant task of modern mechanical engineering and corresponds to the trends of digital transformation in industry.

FLANGE, ГПА-10, TECHNOLOGICAL PROCESS, MODELING, VISUALIZATION, TOOL.

					КНУ.КБР.131.26.1-10.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 методом регулювання	12
2 Технологічна підготовка виробництва деталі	16
2.1 Службове призначення деталі. Вибір матеріалу і варіантів заміन	16
2.2 Аналіз якості поверхонь деталей	17
2.3 Технічний контроль робочого креслення	18
2.4 Аналіз технологічності деталі	19
2.5 Вибір діючого заводського технологічного процесу. Задачі проектування	20
3 Проектування технологічного процесу обробки деталі	22
3.1 Вибір, техніко – економічне обґрунтування та проектування заготовки	22
3.2 Вибір і обґрунтування баз	24
3.3 Вибір і обґрунтування послідовності обробки поверхонь	26
3.4 Розробка маршруту обробки деталі	27
3.5 Розробка технологічної операції	28
4 Проектування та інженерний аналіз різального інструменту	31
4.1 Розрахунок та проектування спеціального різального інструменту	31
4.2 Інженерний аналіз спеціального різального інструменту	34
5 Моделювання та програмування операцій механічної обробки	38
5.1 Робота з проміжними файлами, вибір системи ЧПК, постпроцесора	38
5.2 Моделювання обробки та перевірка керуючих програм	40
6 Організаційно-економічна підготовка виробництва	44
6.1 Розрахунки ключових техніко-економічних показників	44
6.2 Екологія виробництва та охорона праці при обробці легованих сталей	48
Висновки	51
Список використаних джерел	52

					КНУ.КБР.131.26.1-10.3			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Зміст	Літ.	Арк.	Архциві
Розроб.		Кедровський						
Перевір.		Нечаєв						
Реценз.								
Н. контр.		Нечаєв						
Зав. каф.		Рязанцев						
						Каф. ТМ, гр. ПМ-22		

ВСТУП

Темпи науково-технічного прогресу в машинобудуванні, підвищення якості і скорочення строків розробок, освоєння виробництва нових виробів, забезпечення високої точності і стабільності процесів їх виготовлення знаходяться в прямій залежності від рівня впровадження інноваційних технологій в технічну підготовку виробництва і вдосконалення технологічного проектування.

Технологічний процес механічної обробки деталей машин і їх складання тільки тоді може бути прийнятим у виробництві, коли задані технічні вимоги на виріб, рівень продуктивності та економічності забезпечуються високою надійністю проектних рішень – це здатність елементів спроектованого технологічного процесу забезпечити на протязі визначеного часу чи більш довгого періоду задані технічні вимоги до оброблюваної деталі при встановленому рівні економічності в визначених виробничих умовах.

Основними завданнями активізації інноваційної діяльності в науково-технічній і виробничій сферах є підвищення ефективності виробництва й конкурентоспроможності продукції й послуг, удосконалювання структури виробництва й експорту, перехід економіки на інноваційний шлях розвитку, використання передових виробничих технологій.

Сучасне технологічне проектування це комплексна система взаємодії засобів і методів, що зумовлюють створення високоякісної технологічної документації на основі широкого використання стандартних технологічних рішень.

В умовах реально діючих підприємств під час виготовлення деталей для зменшення можливого браку на окремих операціях можуть призначатися завищені значення припусків.

У першу чергу це пояснюється використанням застарілого обладнання. Наслідком цього є підвищення вартості заготовок, а також збільшення вартості механічної обробки.

Тому при проектуванні технології та інструментальної оснастки в даній роботі була зроблена спроба використовувати оптимальний ріжучий інструмент та їхні характеристики. Рішення приймалися з урахуванням рекомендацій ДСТУ.

Внаслідок поетапної розробки технологічного процесу та вибору інструментального оснащення були отриманні практичні знання та навички, що потрібні не тільки при виконанні дипломного проекту, але і при роботі на виробництві.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-10.В</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Вступ</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Кедровський</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 підготовки бакалаврської кваліфікаційної роботи було використано креслення деталі «Фланець», що входить до складу агрегату ГПА-10, а також враховано річну виробничу програму, яка передбачає випуск 1500 одиниць продукції. На рисунку 1.1 наведено тривимірну модель цієї деталі.

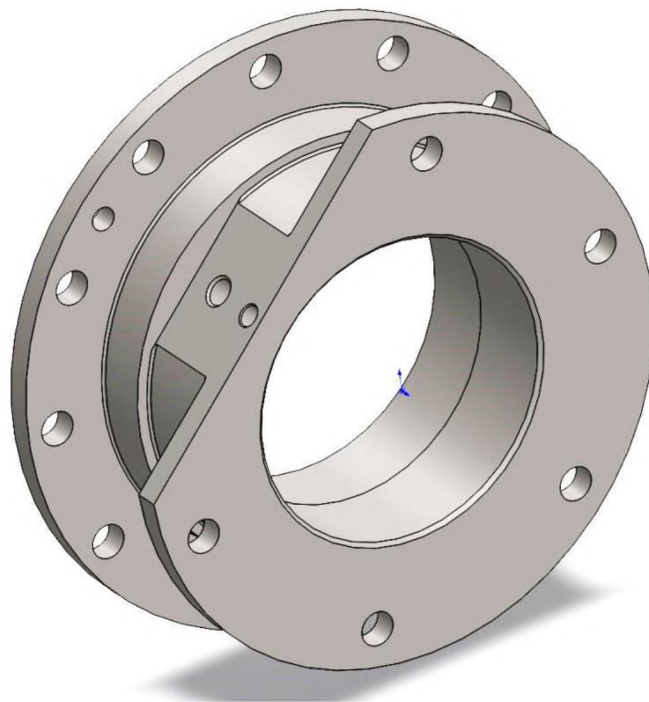


Рисунок 1.1 – Тривимірна модель деталі «Фланець»

Метою роботи є розроблення ефективної системи конструкторсько-технологічної підготовки виробництва деталі «Фланець» агрегату ГПА-10 із застосуванням сучасних CAD/CAM систем для забезпечення високої точності, якості та економічної доцільності виготовлення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати конструктивні особливості деталі «Фланець» та умови її роботи в складі агрегату.
2. Виконати аналіз технологічності конструкції деталі.
3. Обґрунтувати вибір матеріалу та заготовки.
4. Розробити маршрутний та операційний технологічний процес механічної обробки.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-10.01.АСПМ</i>		
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата			
Розроб.		Кедровський			Аналіз службового призначення машини, вузла та деталі		
Перевір.		Нечаєв					
Реценз.							
Н. контр.		Нечаєв					
Заб. каф.		Рязанцев					
					Літ.	Арк.	Архів
					Каф. ТМ, гр. ПМ-22		

5. Виконати моделювання деталі в CAD-системі та розробити технологічну обробку в САМ-середовищі.
6. Сформулювати керуючі програми для верстатів з ЧПК.
7. Оцінити техніко-економічні показники розробленого процесу.

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

Газоперекачувальний агрегат ГПА-10 (рис. 1.2) призначений для стиснення природного газу на компресорних станціях магістральних газопроводів і підземних сховищ газу.

Агрегат відноситься до установок з газотурбінним приводом і відцентровим нагнітачем, що забезпечує безперервне транспортування газу по трубопроводах. Складові частини ГПА-10 наведені в табл. 1.1, а основні технічні характеристики в табл. 1.2.

Таблиця 1.1 – Складові частини ГПА-10

№	Складова частина	Призначення
1	Газотурбінний двигун (ДР59Л – рис. 1.3)	Привід агрегату
2	Відцентровий нагнітач (компресор)	Стиснення газу
3	Вхідний повітроочисний пристрій	Очищення повітря для двигуна
4	Виносна коробка приводів	Передача допоміжних приводів
5	Газовідвід (вихлопна система)	Відведення відпрацьованих газів
6	Маслосистема двигуна і нагнітача	Змащення та охолодження
7	Топливна система	Подача паливного газу
8	Система охолодження	Відведення тепла
9	Система суфлювання та розвантаження	Стабілізація тисків
10	Електрообладнання та автоматика	Керування і контроль
11	Рама та теплоізоляційний кожух	Несуча конструкція і захист

Таблиця 1.2 – Основні технічні характеристики ГПА-10

№	Параметр	Значення
1	Номінальна потужність	10 000 кВт (10 МВт)
2	Тип приводу	Газотурбінний
3	Тип компресора	Відцентровий
4	Частота обертання нагнітача	~4800 об/хв
5	Продуктивність	≈ 36 млн м³/добу
6	Максимальний тиск на виході	до 7,6 МПа
7	ККД агрегату	~27–32 %
8	Діапазон регулювання обертів	3300–5000 об/хв
9	Ресурс до ремонту	~24 000–25 000 год
10	Повний ресурс	до 100 000 год

					КНУ.КБР.131.26.1-10.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

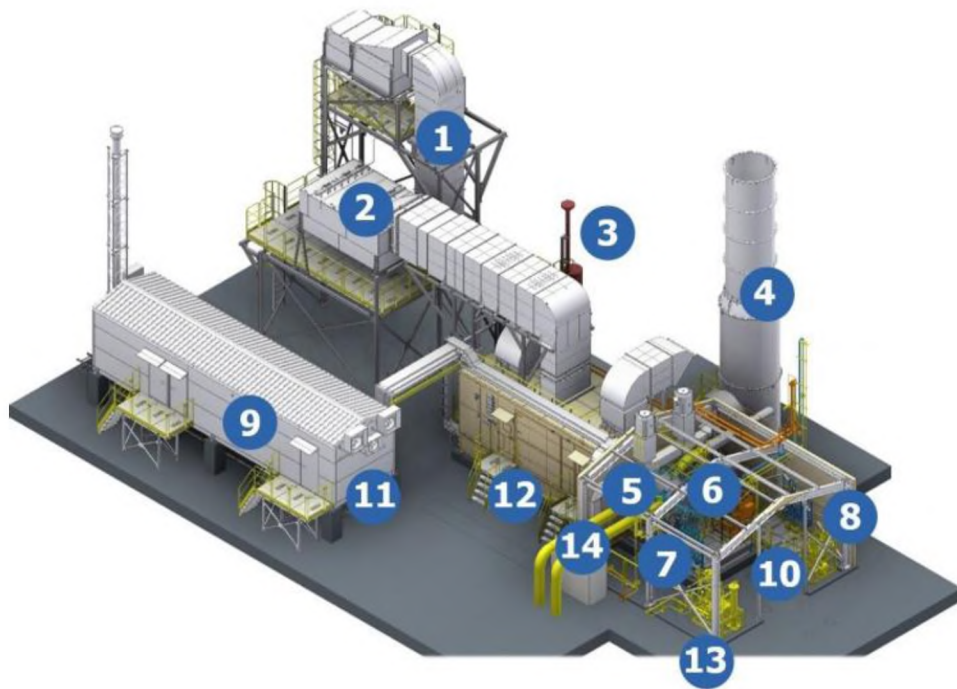


Рисунок 1.2 – Основні компоненти ГПА-10:

1 – система обдування приводу; 2 – система повітрязабірна; 3 – система суфлювання; 4 – система вихлопу; 5 – блок компресора; 6 – система маслозабезпечення; 7 – система промивання притокової частини; 8 – система підготовки розділювального газу; 9 – блок електротехнічний; 10 – система підготовки буферного газу; 11 – система пожежогашіння; 12 – блок приводу; 13 – система підготовки паливного газу; 14 – система контролю газової магістралі

ГПА-10 – це високопродуктивний газотурбінний агрегат потужністю 10 МВт, який широко застосовується на компресорних станціях. Його конструкція включає газотурбінний двигун, відцентровий компресор та комплекс допоміжних систем, що забезпечують надійну та безперервну роботу.

Задана деталь «Фланець» є частиною системи електрозапуску газоперекачувального агрегату ГПА-10, яка призначена для забезпечення надійного та безпечного запуску газотурбінного двигуна. Вона виконує функцію початкового розгону ротора до частоти обертання, за якої можливе запалювання паливної суміші та подальший перехід двигуна в самостійний режим роботи.

Принцип дії системи полягає у використанні електричного пускового пристрою, який через передавальний механізм приводить у рух вал двигуна. У процесі запуску відбувається поступове збільшення частоти обертання ротора до необхідного рівня, після чого здійснюється подача палива і його запалювання. Після стабілізації процесу горіння газотурбінний двигун переходить у робочий режим, а система електрозапуску автоматично відключається.

Система електрозапуску працює у складі автоматизованої системи керування агрегатом і забезпечує контроль основних параметрів пуску, таких як швидкість обертання, електричні навантаження та послідовність операцій. Її застосування дозволяє зменшити механічні навантаження на вузли двигуна, підвищити надійність запуску та забезпечити безпечну експлуатацію агрегату.

					КНУ.КБР.131.26.1-10.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.3 – Газотурбінний двигун агрегату ГПА-10

1.3 Розрахунок лінійних розмірних ланцюгів методом регулювання

З креслення вузла вала ведучого виявляємо лінійний зазор між торцями роликотідшипника і кільцем регулюючим, який дорівнює $A_{\Sigma} = 0_{-0,5}^{+1,5}$

Для досягнення найбільшої точності при складанні на вихідній ланці використовуємо компенсатор. В якості компенсатора вибираємо деталь вузла – кільце регулююче.

Вихідна ланка $A_{\Sigma} = 0_{-0,5}^{+1,5}$

Допуск вихідної ланки $[T_{\Sigma}] = 1,5 - (-0,5) = 2 \text{ мм}$

Координата середини полів допусків вихідної ланки

$$\Delta C_{\Sigma} = \frac{eS_{\Sigma} + ei_{\Sigma}}{2} \quad (1.1)$$

де eS_{Σ} і ei_{Σ} - верхнє і нижнє граничне відхилення ланки

$$\Delta C_{\Sigma} = \frac{1,5 + (-0,5)}{2} = 0,5 \text{ мм}$$

На рисунку 1.4 виконуємо креслення складання деталей і виявляємо збільшенні ($\vec{A}_3$) і зменшенні ($\vec{A}_1, \vec{A}_2, \vec{A}_4 \dots \vec{A}_8$) розмірні ланки.

На всі ланки розмірного ланцюга призначаємо технологічно виконуючі допуски, граничні відхилення за IT12...IT14 квалітетами точності.

Виконуємо розрахунок лінійного розмірного ланцюга методом регулювання (деталі вузла - кільця).

1) Визначаємо допуск технологічно досягнутої замикаючої ланки

$$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n (T_{Ai} + \beta_i) \quad (1.2)$$

де T_{Ai} - допуск і-тої ланки;

					КНУ.КБР.131.26.1-10.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

β_i - торцеве биття і-тої ланки

$$T_{\Sigma} = (0,2 + 0,43 + 0,57 + 0,2 + 0,3 + 0,3 + 0,35 + 0,2) + (0,02 + 0,02 + 0,05 + 0,05 + 0,05) \\ = 2,55 + 0,19 = 2,74 \text{ мм}$$

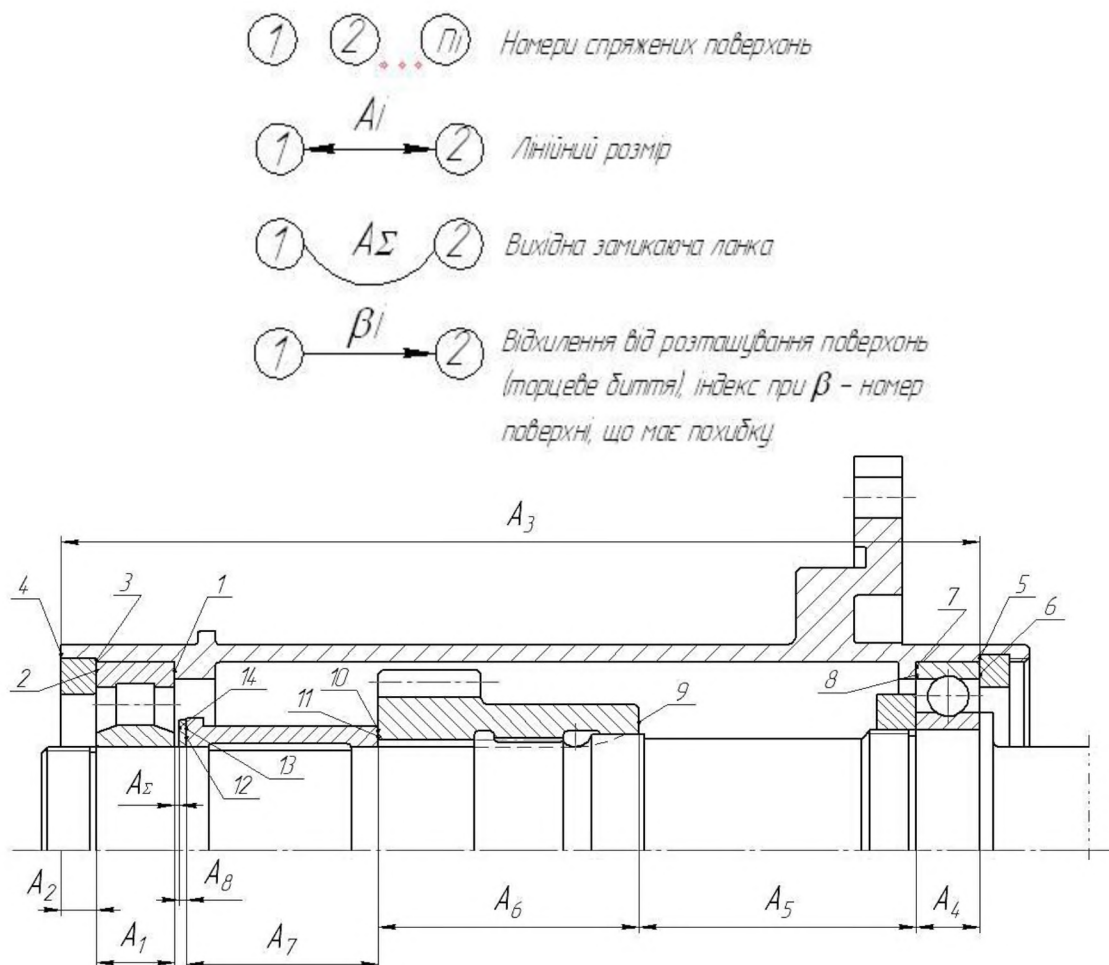


Рисунок 1.4 – Схема лінійних розмірів для складання лінійного розмірного ланцюга

2) Координата середини полів допусків

$$\Delta C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n (\Delta \vec{C}_i + \Delta \vec{\beta}_i) - \sum_{j=1}^m (\Delta \vec{C}_j + \Delta \vec{\beta}_j) \quad (1.3)$$

де ΔC_i і ΔC_j - координати середини полів допусків і-тої та j-тої ланок, що визначаються за формулою (1.1)

$\Delta \beta_i$ і $\Delta \beta_j$ - координати середини поля допуску торцевого биття і-тої та j-тої ланок, що визначаються за формулою:

$$\Delta \beta_i = \frac{\beta_i}{2} \quad (1.4)$$

$$\Delta C_1 = \frac{0 + (-0,2)}{2} = -0,1$$

$$\Delta C_2 = \frac{0 + (-0,43)}{2} = -0,215$$

					КНУ.КБР.131.26.1-10.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta C_3 = \frac{0 + (-0,57)}{2} = -0,285$$

$$\Delta C_4 = \frac{0 + (-0,2)}{2} = -0,1$$

$$\Delta C_5 = \frac{0,15 + (-0,15)}{2} = 0$$

$$\Delta C_6 = \frac{0 + (-0,3)}{2} = -0,15$$

$$\Delta C_7 = \frac{0 + (-0,35)}{2} = -0,175$$

$$\Delta C_8 = \frac{0,1 + (-0,1)}{2} = 0$$

$$\Delta \beta_1 = \Delta \beta_4 = \frac{0,02}{2} = 0,01$$

$$\Delta \beta_3 = \Delta \beta_6 = \Delta \beta_7 = \frac{0,05}{2} = 0,025$$

$$\Delta C_\Sigma = [(-0,285) + 0,025] - [(-0,1) + (-0,215) + (-0,1) + 0 + (-0,15) + (-0,175) + 0 + 0,01 + 0,01 + 0,025 + 0,025] = -0,26 - (-0,74) - 0,07 = 0,41 \text{ мм}$$

3) Граничні відхилення залежної ланки

$$es_\Sigma = \Delta C_\Sigma + \frac{T_\Sigma}{2} \quad (1.5)$$

$$es_\Sigma = 0,41 + \frac{2,74}{2} = 1,78$$

$$ei_\Sigma = \Delta C_\Sigma - \frac{T_\Sigma}{2} \quad (1.6)$$

$$ei_\Sigma = 0,41 - \frac{2,74}{2} = -0,96$$

4) Величина компенсації

$$T_\kappa = T_\Sigma - [T_\Sigma] \quad (1.7)$$

$$T_\kappa = 2,74 - 2 = 0,74 \text{ мм}$$

5) Необхідна кількість ступенів компенсатора

$$N = \left[\frac{T_\kappa}{[T_\Sigma] - T_{\text{комп}}} \right] + 1 \quad (1.8)$$

де $T_{\text{комп}}$ – допуск ланки компенсатора за кресленням

$$N = \frac{0,74}{2 - 0,2} + 1 = 1,41$$

Приймаємо $N=2$ ст.

6) Уточнюючий допуск ступеню ланки компенсатора

$$T_{cm} = \frac{T_\kappa}{N - 1} \quad (1.9)$$

7) Середній розмір ланки компенсатора, вибраний із числа зменшених ланок, який після пригонки зменшується

$$A_{ck} = A_{\text{комп}} + \Delta C_{\text{комп}} + \Delta C_\Sigma + [\Delta C_\Sigma] \quad (1.10)$$

де $A_{\text{комп}}$ – номінальне значення ланки компенсатора;

$\Delta C_{\text{комп}}$ – координата середини поля допуску ланки компенсатора;

$[\Delta C_\Sigma]$ – необхідна координата середини поля допуску вихідної ланки;

ΔC_Σ – координата середини поля допуску замикаючої ланки

$$A_{ck} = 2 + 0 + 0,41 - 0,2 = 2,21$$

8) Граничні значення ланки компенсатора

$$A_{\kappa_{\text{max}}} = A_{ck} + \frac{T_\kappa}{2} \quad (1.11)$$

					КНУ.КБР.131.26.1-10.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$A_{K_{\max}} = 2,21 + \frac{0,74}{2} = 2,58$$

$$A_{K_{\max}} = A_{ck} - \frac{T_K}{2} \quad (1.12)$$

$$A_{K_{\max}} = 2,21 - \frac{0,74}{2} = 1,84$$

9) Розміри змінних деталей із кількості зменшених ланок
І ступінь:

$$A_8 = A_{8\max} \pm \frac{T_{\text{комн}A_8}}{2} \quad (1.13)$$

$$A_8 = 2,58 \pm \frac{0,2}{2} = 2,58 \pm 0,1$$

II ступінь:

$$A_8 = (A_{8\max} - T_{cm}) \pm \frac{T_{\text{комн}A_8}}{2} \quad (1.14)$$

$$A_8 = (2,58 - 0,74) \pm \frac{0,2}{2} = 1,84 \pm 0,1$$

Похибка розрахунку:

$$\varepsilon = \frac{I_{cm}A_8 - A_{8\min}}{A_{8\min}} \cdot 100\% \quad (1.15)$$

$$\varepsilon = \frac{1,84 - 1,8}{1,8} \cdot 100\% = 2,2\%$$

					КНУ.КБР.131.26.1-10.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛІ

2.1 Службове призначення деталі. Вибір матеріалу і варіантів замін

Деталь «Фланець» є одним із конструктивних елементів вала ведучого в складі валопроводу системи електрозапуску газоперекачувального агрегату.

Фланець відноситься до класу дисків, кілець, фланців, має форму диска з центральним гладким східчастим отвором.

Фланець у складі вала ведучого виконує обертальні рухи, тому він повинен бути жорстким, вібростійким, зносостійким.

Основне службове призначення фланця – забезпечення правильного розташування деталей, які передають обертальний момент, і сприйняття всіх сил, діючих у вузлі.

Виходячи із службового призначення фланця та умов роботи валопроводу, призначаємо матеріал – конструкційну леговану сталь 40Х ДСТУ 7806:2015. Сталь має підвищену міцність, в'язкість, зносостійкість. Щоб підвищити механічні властивості сталі і полегшити обробку різанням вводимо термічну обробку деталі для отримання твердості 302...332НВ – гартування в маслі та високий відпуск.

Хімічний склад і механічні властивості сталі 40Х подаємо в табл. 2.1 і 2.2.

На підставі висловленого найбільш придатнішим варіантом заміни є конструкційна легована сталь 40ХН ДСТУ 7806:2015. Хімічний склад і механічні властивості сталі 40ХН подаємо в таблицях 2.3 і 2.4.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі 40Х ДСТУ 7806:2015

C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	S, %	P, %
0,36-0,44	0,17-0,37	0,5-0,8	0,8-1,1	≤ 0,3	≤ 0,3	≤ 0,035	≤ 0,035

Таблиця 2.2 – Механічні властивості сталі 40Х ДСТУ 7806:2015

Тведість по Брінелю НВ	Границя міцності при розтягуванні σ _в , МПа (кгс/мм ²)	Границя плинності σ _Т , МПа (кгс/мм ²)	Відносне видовження δ, %	Відносне звуження ψ, %
269...302	800 (80)	600 (60)	10	50

Таблиця 2.3 – Хімічний склад сталі 40ХН ДСТУ 7806:2015

C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	S, %	P, %
0,36-0,44	0,17-0,37	0,5-0,8	0,45-0,75	1-1,4	≤ 0,35	≤ 0,03	≤ 0,035

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-10.02.ТПВД</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Техніко-економічний аналіз вихідних даних проекту</i>		
Розроб.		Кедровський					
Перевір.		Нечаєв					
Реценз.							
Н. контр.		Нечаєв					
Зав. каф.		Рязанцев					
					Лит.	Арк.	Арк.шіф
					Каф. ТМ, гр. ПМ-22		

Таблиця 2.4 – Механічні властивості сталі 40ХН ДСТУ 7806:2015

Твердість по Брінелю НВ	Границя міцності при розтягуванні σ_B , МПа (кгс/мм ²)	Границя плинності σ_T , МПа (кгс/мм ²)	Відносне видовження δ , %	Відносне звуження ψ , %
269...302	850 (85)	700 (70)	10	45

2.2 Аналіз якості поверхонь деталей

Нумеруємо всі оброблювані поверхні деталі «Фланець» на рисунку 2.1

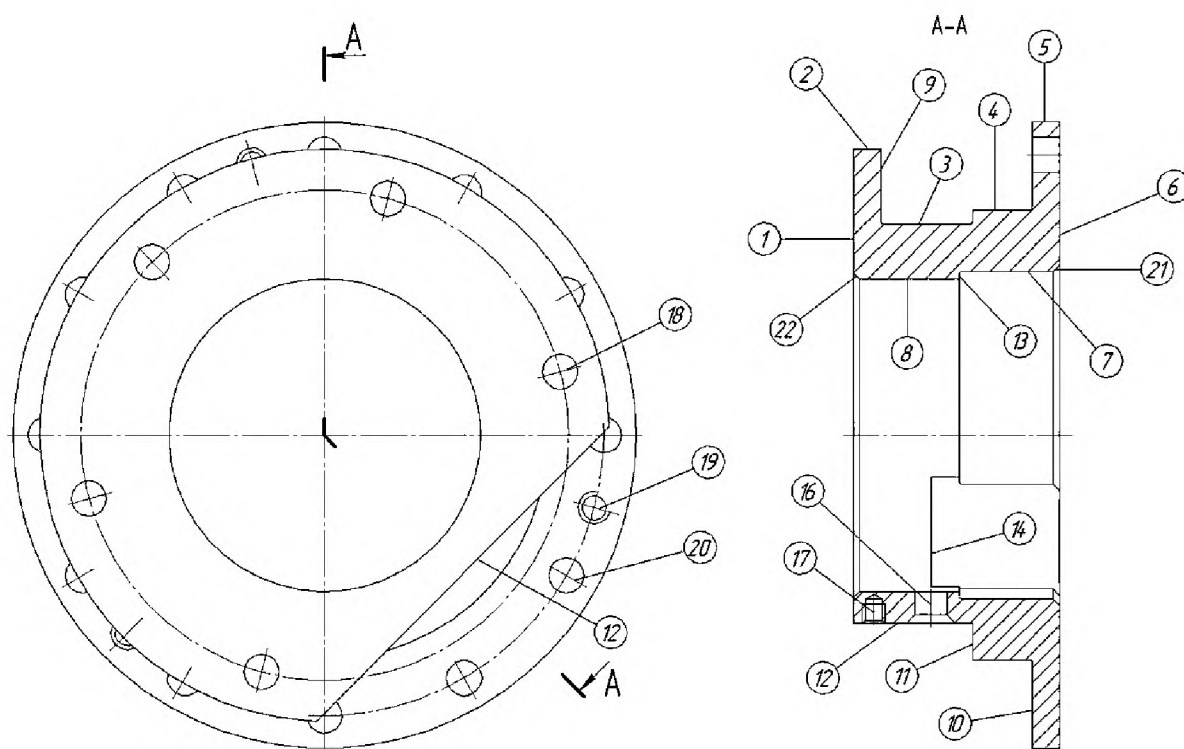


Рисунок 2.1 – Нумерація поверхонь фланця

Виявляємо основні, допоміжні та вільні поверхні фланця. До спряжених поверхонь відносяться: отвори $\varnothing 120H7$, $\varnothing 115H7$, торці, гладкі і різьбові отвори.

Основними поверхнями фланця є внутрішні поверхні $\varnothing 120H7$, $\varnothing 115H7$. До цих поверхонь пред'являються високі вимоги по точності і шорсткості поверхонь. Тому вони виконані за 7 квалітетом точності з шорсткістю по Ra 1,6. До допоміжних поверхонь відносяться торці, гладкі отвори і різьбові отвори, які виконані за 8... 12 квалітетами точності з шорсткістю по Ra 1,6...6,3.

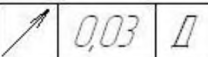
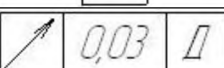
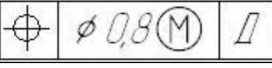
Поверхні, що не беруть участі у спряженні є вільними.

До фізико – механічних характеристик поверхневого шару особливих вимог не пред'являється.

На всі оброблювані поверхні фланця складаємо таблицю 2.5.

Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата	КНУ.КБР.131.26.1-10.02.ТПВД	Арк.

Таблиця 2.5 – Аналіз якості поверхонь фланця

№ пов.	Номинальний розмір, мм	Квалітет ІТ	Допуск Т чи відхилення розміру, мм	Шорсткість Ra	Відхилення форми і розташування поверхонь
1	2	3	4	5	6
1,6	76	h12	$\begin{smallmatrix} 0 \\ -0,3 \end{smallmatrix}$	3,2/3,2	
1					
6					
2	Ø210	h14	$\begin{smallmatrix} 0 \\ -1,15 \end{smallmatrix}$	6,3	
3	Ø155	h14	$\begin{smallmatrix} 0 \\ -1 \end{smallmatrix}$	6,3	
4	Ø165	h14	$\begin{smallmatrix} 0 \\ -1 \end{smallmatrix}$	6,3	
5	Ø230	h14	$\begin{smallmatrix} 0 \\ -1,15 \end{smallmatrix}$	6,3	
7	Ø120	H7	$\begin{smallmatrix} +0,035 \\ 0 \end{smallmatrix}$	1,6	
8	Ø115	H7	$\begin{smallmatrix} +0,035 \\ 0 \end{smallmatrix}$	1,6	
1,9	10	h14	$\begin{smallmatrix} 0 \\ -0,36 \end{smallmatrix}$	3,2/6,3	
6,10	10	h14	$\begin{smallmatrix} 0 \\ -0,36 \end{smallmatrix}$	3,2/3,2	
1,11	44	IT14/2	$\pm 0,3$	3,2/6,3	
9,11	34	IT14/2	$\pm 0,3$	6,3/6,3	
6,13	37	IT14/2	$\pm 0,3$	3,2/3,2	
12	Уступ 72	IT14/2	$\pm 0,3$	6,3	
15	Вибірка R30	IT14/2	$\pm 0,3$	6,3	
	48	IT14/2	$\pm 0,3$	6,3	
16	Отв. Ø12	H8	$\begin{smallmatrix} +0,027 \\ 0 \end{smallmatrix}$	1,6	
17	Отв. M8-7H			6,3	
18	5 отв. Ø13	H14	$\begin{smallmatrix} +0,43 \\ 0 \end{smallmatrix}$	6,3	
19	3 отв. M12x1,5-7H			6,3	
20	12 отв. Ø13	H14	$\begin{smallmatrix} +0,43 \\ 0 \end{smallmatrix}$	6,3	
21	Фаска 2,5x45°			6,3	
22	Фаска 1,6x45°			6,3	

2.3 Технічний контроль робочого креслення

Робоче креслення фланця виконано на форматі А1 відповідно до стандарту. На кресленні деталі виконано головний вид, розрізи А-А, В-В, Г-Г. Ці відображення дають повне уявлення про конструкцію деталі, одноразово

					КНУ.КБР.131.26.1-10.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

визначають конфігурацію елементів, з яких складається деталь. На кресленні деталі проставлені необхідні розміри, що визначають геометричні параметри елементів деталі, квалітети точності, параметри шорсткості оброблюваних поверхонь. На кресленні показано технічні вимоги до сумарних відхилень від форми і розташування: торцеве биття торцю. Креслення містить технічні вимоги до термічної обробки, має дані про матеріал і вагу деталі.

2.4 Аналіз технологічності деталі

2.4.1 Якісний аналіз технологічності деталі

В умовах серійного виробництва оптимальним способом отримання заготовки для деталі «Фланець» є штамповане кування.

З урахуванням функціонального призначення деталі вибір матеріалу – сталь 40Х – є доцільним і не потребує заміни.

Під час механічної обробки базовими поверхнями для встановлення та закріплення слугують циліндричні й торцеві поверхні.

Зовнішній і внутрішній контури деталі мають форму диска. Конструкція забезпечує вільний доступ як ріжучого, так і вимірювального інструменту до всіх поверхонь. Деталь є зручною для встановлення та закріплення в процесі обробки, що дозволяє дотримуватися принципу сталості базування. Задані допуски розмірів і параметри шорсткості поверхонь є технічно обґрунтованими. Обробка всіх поверхонь фланця здійснюється на універсальних верстатах і верстатах з ЧПК, що забезпечує досягнення необхідної точності та якості поверхні.

2.4.2 Кількісний аналіз технологічності

Виконаємо технологічний аналіз фланця відповідно до визначених кількісних показників технологічності.

1) Коефіцієнт використання металу за формулою:

$$K_m = \frac{G_o}{G_3} \cdot 100\%$$

де G_o - вага деталі, $G_o = 7,5$ кг

G_3 - вага заготовки, $G_3 = 13,2$ кг;

$$K_m = \frac{7,5}{13,2} \cdot 100\% = 57\%$$

2) Коефіцієнт точності обробки за формулами:

$$T_{сер} = \frac{7 \cdot 2 + 8 \cdot 1 + 14 \cdot 30}{33} = 13,4$$

Приймаємо $T_{сер} = 14$

$$K_{тч} = 1 - \frac{1}{14} = 0,93 > 0,8$$

3) Коефіцієнт шорсткості поверхонь за формулами:

					КНУ.КБР.131.26.1-10.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

$$III_{сер} = \frac{1,6 \cdot 3 + 3,2 \cdot 2 + 6,3 \cdot 31}{36} = 5,7$$

Приймаємо $III_{сер} = 5,7$

$$K_u = \frac{1}{5,7} = 0,17 < 0,2$$

4) Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів:

$$K_{ye} = \frac{35}{37} = 0,95 > 0,6$$

Для визначення коефіцієнта уніфікації використовуємо всі оброблювані поверхні по таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Аналіз поверхонь фланця для визначення коефіцієнта уніфікації

Найменування поверхонь	Кількість поверхонь	Кількість уніфікованих поверхонь
Циліндричні поверхні	6	6
фаски	2	2
радіуси	5	5
гладкі отвори	18	18
Разом	37	35

Висновок: відповідно до виконаного аналізу технологічності за кількісними та якісними показниками конструкції деталі визначаємо, що деталь «Фланець» – технологічна.

2.5 Вибір діючого заводського технологічного процесу. Задачі проектування

Складаємо структуру повного конструкторсько – технологічного коду деталі «Фланець» на підставі класифікатора ЄСКД (клас 71).

Клас 710000 - деталь-тіло обертання типу кілець, дисків, шківів, фланців, стаканів тощо.

Підклас 712000 - деталь з L до 0,5D включно (диски, кришки, фланці тощо) із зовнішньою поверхнею конічною, криволінійною, комбінованою.

Група 712600 - деталь із зовнішньою комбінованою поверхнею, із закритими уступами, без зовнішньої різьби.

Підгрупа 712650 – деталь з центральним наскрізним отвором, круглим в поперечному перетині, без різьби, східчастим.

Вид 712652 - деталь без кільцевих пазів на торцях, без пазів і шліців на зовнішній поверхні, з отворами паза осі деталі.

Повний структурний код деталі «Фланець» складає 712652.

Базовий технологічний процес виготовлення фланця в серійному виробництві розробляємо на підставі типового технологічного процесу по.

Базовий техпроцес наводимо в таблиці 2.7.

					КНУ.КБР.131.26.1-10.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.7 – Базовий типовий техпроцес виготовлення фланця

№ операції	Найменування операції Зміст переходів	Устаткування
005	Токарна Чорнове підрізування торців, чорнове обточування і розточування зовнішніх і внутрішніх поверхонь.	Токарні верстати 16К20, 16К30, 1М63, 1А64
010	Токарна Чистове підрізування торців, чистове обточування і розточування зовнішніх і внутрішніх поверхонь.	Токарні верстати 16К20, 16К30, 1М63, 1А64
015	Розмічання Розмічання отворів	Плита
020	Свердлильна Обробка гладких і різьбових отворів	Радіально-свердлильні верстати 2М55, 2М57
025	Розмічання Розмічання уступів	Плита
030	Фрезерна Фрезерування уступів	Вертикально-фрезерні верстати 6Р13, 6540, 6550

З метою вдосконалення проектного техпроцесу виготовлення фланця виконуємо заміну універсальних верстатів на верстати з ЧПК в напівчистових та чистових операціях обробки зовнішніх і внутрішніх поверхонь.

					КНУ.КБР.131.26.1-10.02.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

Для вибору варіанта виготовлення заготовки використовуємо матрицю впливу факторів, подану в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Матриця впливу факторів

Фактори Метод виготовлення заготовки	Форма і розміри заготовки	Потрібні точність і якість поверхневого шару	Технологічні властивості матеріалу	Річна програма	Виробничі можливості підприємства	Сума
Прокат	–	+	+	+	+	4
Кування штамповане на КГШП	+	+	+	+	+	5
Литво	+	–	–	+	–	3

Обробляючи матрицю впливу факторів визначаємо, що найбільш придатнішими варіантами для виготовлення фланця є прокат або кування штамповане.

I варіант – гарячекатаний прокат звичайної точності.

II варіант – кування штамповане на кривошипному гаряче штампувальному пресі КГШП. Виготовлення заготовки здійснюється за трьома переходам: осадка, штампування в роз'ємних матрицях і прошивка отвору.

Другий варіант виготовлення заготовки дозволяє максимально приблизити розміри і форми до готової деталі, що забезпечує скорочення часу виготовлення деталі. Тому приймаємо другий варіант заготовки кування штамповане.

3.1.2 Проектування заготовок

Для призначання припусків і допусків на розміри деталі для виготовлення заготовки – кування штамповане – використовуємо DIN 7526.

Обладнання – кривошипний гаряче штампувальний прес.

Нагрівання заготовки – індукційне

Клас точності – Т4

Група метала – М2

Ступінь складності – С2

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-10.03.ПТПОД</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		<i>Кедровський</i>			<i>Проектування технологічного процесу обробки деталі</i>	Літ.	Арк.
Перевір.		<i>Нечаєв</i>					
Реценз.						<i>Каф. ТМ, гр. ПМ-22</i>	
Н. контр.		<i>Нечаєв</i>					
Заб. каф.		<i>Рязанцев</i>					

Маса кування (розрахункова):

$$G_{\text{заг}} = m_o \cdot K_p$$

де m_o - маса деталі, кг; $m_o = 7,5$ кг

K_p - розрахунковий коефіцієнт;

$K_p = 1,5 \dots 1,8$

$$G_{\text{заг}} = 7,5 \cdot 1,6 = 12 \text{ кг}$$

Конфігурація поверхні рознімання штампа – П (площина).

Вихідний індекс -15

Для кування штампованого вагою від 10 кг до 20 кг установлюємо припуски.

Додаткові припуски, що враховують:

- зсув по лінії рознімання штампа - 0,3мм;

- відхилення від прямолінійності і площинності L до 100мм - 0,3мм; фланця Ø100-160 – 0,4мм; Ø160-250 – 0,5мм.

Штампувальні ухили: на зовнішній поверхні 5° на внутрішній поверхні -7° .

Радіус закруглення зовнішніх кутів – R5; внутрішніх – R7.

Розрахунок загальних припусків наводимо в таблиці 3.2.

На рисунку 3.1 виконуємо ескіз заготовки – кування штамповане. Заготовку розподіляємо на декілька частин для визначення її ваги.

Таблиця 3.2 – Припуски і допуски на оброблювані поверхні фланця

Номинальний розмір, мм	Точність IT	Граничні відхилення, мм	Шорсткість, Ra	Допуск на заготовку, мм	Граничні відхилення, мм	Припуск, мм	Додатковий припуск, мм	Розмір кування, мм	
								Розрахунковий	Прийнятний
Ø230	h14	$\begin{smallmatrix} 0 \\ -1,15 \end{smallmatrix}$	6,3	3,2	$\begin{smallmatrix} +2,1 \\ -1,1 \end{smallmatrix}$	$2,2 \cdot 2 = 4,4$	$(0,4+0,5) \cdot 2 = 1,8$	Ø236,2	Ø236
Ø210	h14	$\begin{smallmatrix} 0 \\ -1,15 \end{smallmatrix}$	6,3	3,2	$\begin{smallmatrix} +2,1 \\ -1,1 \end{smallmatrix}$	$2,2 \cdot 2 = 4,4$	$(0,4+0,5) \cdot 2 = 1,8$	Ø216,2	Ø216
Ø115	H7	$\begin{smallmatrix} +0,035 \\ 0 \end{smallmatrix}$	1,6	2,8	$\begin{smallmatrix} +1 \\ -1,8 \end{smallmatrix}$	$2,2 \cdot 2 = 5$	$(0,4+0,4) \cdot 2 = 1,6$	Ø108,4	Ø108
Ø165	h14	$\begin{smallmatrix} 0 \\ -1 \end{smallmatrix}$	6,3	3,2	$\begin{smallmatrix} +2,1 \\ -1,1 \end{smallmatrix}$	$2,2 \cdot 2 = 4,4$	$(0,4+0,5) \cdot 2 = 1,8$	Ø171,2	Ø171
76	h14	$\begin{smallmatrix} 0 \\ -0,74 \end{smallmatrix}$	3,2/3,2	2,5	$\begin{smallmatrix} +1,6 \\ -0,9 \end{smallmatrix}$	$2,3 \cdot 2 = 4,6$	$(0,4+0,3) \cdot 2 = 1,4$	82	82
10	h14	$\begin{smallmatrix} 0 \\ -0,36 \end{smallmatrix}$	3,2/6,3	2,2	$\begin{smallmatrix} +1,4 \\ -0,8 \end{smallmatrix}$	$2,2 \cdot 2 = 4,4$	$(0,4+0,3) \cdot 2 = 1,4$	15,8	16

Обсяг заготовки дорівнює:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 - V_4, \text{ см}^3 \quad (5.1)$$

$$V_1 = 3,14 \cdot 10,8^2 \cdot 1,6 = 586 \text{ см}^3$$

$$V_2 = 3,14 \cdot 11,8^2 \cdot 1,6 = 700 \text{ см}^3$$

$$V_3 = 3,14 \cdot 8,55^2 \cdot (8,2 - 1,6 - 1,6) = 1148 \text{ см}^3$$

					КНУ.КБР.131.26.1-10.03.ПТПОД				Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата					

$$V_4 = 3,14 \cdot 5,4^2 \cdot 8,2 = 751 \text{ см}^3$$

$$V = 586 + 700 + 1148 - 751 = 1683 \text{ см}^3$$

Маса заготовки:

$$m = 1683 \cdot 7,85 = 13,2 \text{ кг.}$$

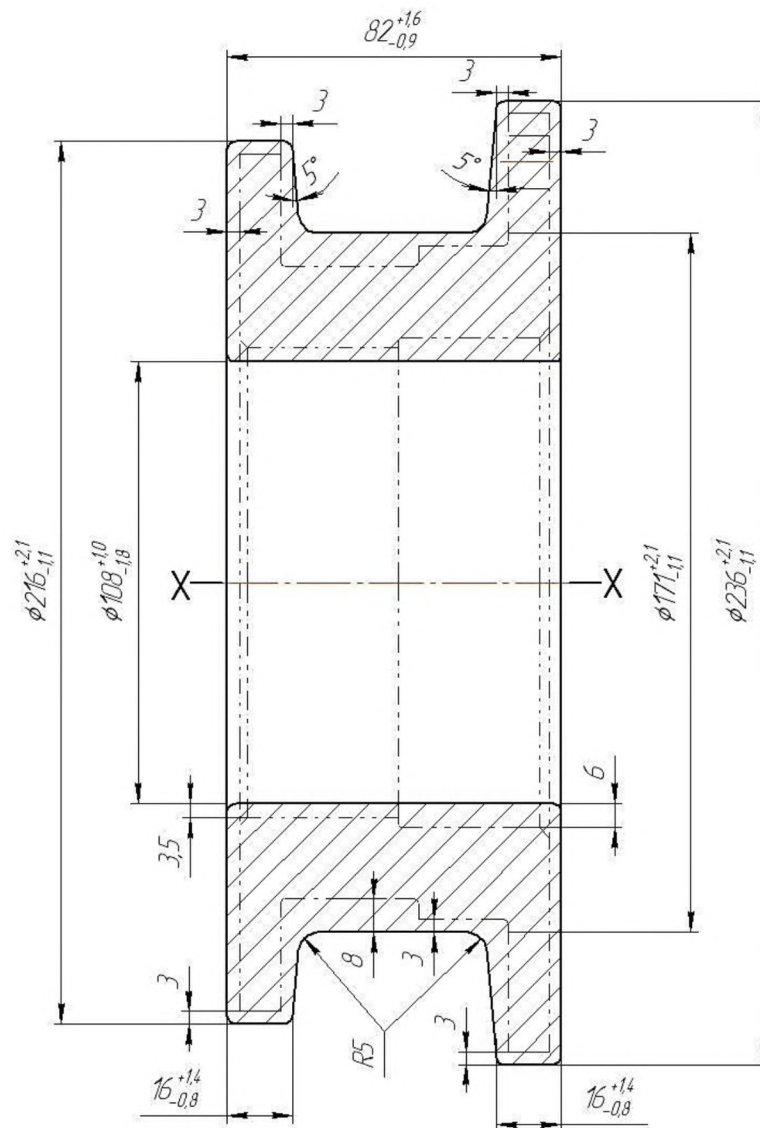


Рисунок 3.1 – Ескіз заготовки (кування штамповане)

3.2 Вибір і обґрунтування баз

Деталь «Фланець» відноситься до складу деталей тіла обертання типу фланців, дисків, стаканів тощо.

За призначенням бази розподіляються на конструкторські, технологічні, вимірні.

Групу конструкторських баз лабіринту складають основні та допоміжні бази. До основних конструкторських баз належать внутрішні поверхні Ø120H7 і Ø115H7. Допоміжними конструкторськими базами є торці, уступ, гладкі і різьбові отвори.

					КНУ.КБР.131.26.1-10.03.ПТПОД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Вимірювальними базами є торці і циліндричні поверхні, тобто конструкторські бази. Це вказує на єднання конструкторських і вимірювальних баз.

Групу технологічних баз складають чорнові та чистові бази. За чорнові технологічні бази приймаємо необроблені зовнішні поверхні $\varnothing 230\text{мм}$ і $\varnothing 210\text{мм}$, а також торці деталі. За чистові технологічні бази приймаємо ті самі поверхні, але вже оброблені. Це вказує на здійснення принципу сталості чорнової та чистової бази. Крім того, торці є також конструкторською базою, і тому здійснюється принцип єднання конструкторської і технологічної бази.

Відобразимо схеми базування, які використовуються для обробки фланця, на рисунках 3.2 і 3.3.

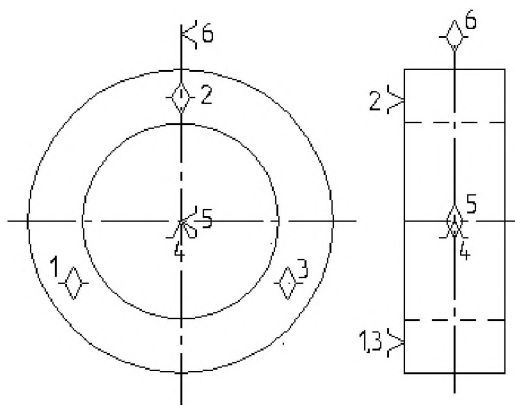


Рисунок 3.2 – Основна схема базування №1:

1,2,3 – установча база; 4,5 – подвійна опорна база; 6 – опорна база

Вид установлення: в трьохкулачковому патроні з базуванням по торцю. Схема використовується в операціях токарних і токарних з ЧПК.

Виконуємо схему базування, що розрізняється.

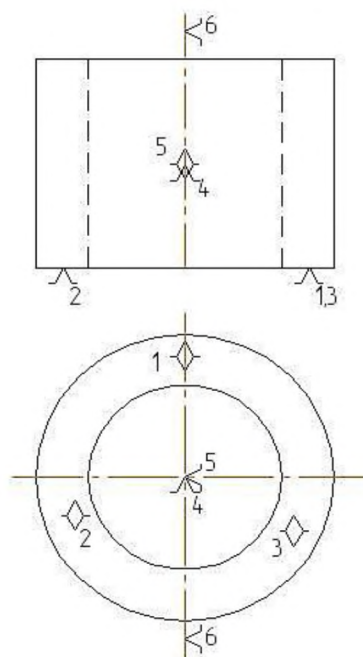


Рисунок 3.3 – Схема базування № 4: 1,2,3 – установча база 4,5 6 – опорна база

					КНУ.КБР.131.26.1-10.03.ПТПОД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Вид установлення: на столі верстата із затиском прихватами.

Схема використовується в операціях свердлильних і координатно-розточувальних.

3.3 Вибір і обґрунтування послідовності обробки поверхонь

На всі оброблювані поверхні фланця визначаємо кількість переходів. Дані подаємо в таблиці 3.3. При складанні таблиці використовуємо нумерацію поверхонь по рисунку 2.1.

Таблиця 3.3– Послідовність обробки поверхонь фланця

№ поверхні, розмір, мм		Найменування переходів	Шорсткість Ra	Точність IT	Допуск T, мкм
1		2	3	4	5
1,6	76h12	Заготовка	25	h16	2500
		підрізування чорнове	12,5/12,5	h14	740
		підрізування чистове	3,2/3,2	h12	300
2	Ø210 h14	Заготовка	25	h16	3200
		обточування чорнове	12,5	h14	1150
		обточування чистове	6,3	h14	1150
3	Ø155 h14	Обточування	6,3	h14	1000
4	Ø165h14	Заготовка	25	h16	3200
		обточування	6,3	h14	1000
5	Ø230h14	Заготовка	25	h16	3200
		обточування чорнове	12,5	h14	1150
		обточування чистове	6,3	h14	1150
7	Ø120H7	Розточування чорнове	12,5	H14	870
		розточування напівчистове	3,2	H11	220
		розточування чистове	1,6	H7	35
8	Ø115H7	Заготовка	25	H16	2800
		розточування чорнове	12,5	H14	870
		розточування напівчистове	3,2	H11	220
		розточування чистове	1,6	H7	35
1,9 9	10h14	Заготовка	25	h16	2200
		підрізування	6,3	h14	360
6,10 10 10	10h14	Заготовка	25	h16	2200
		підрізування чорнове	12,5	h14	360
		підрізування чистове	3,2	h14	360
10	Ø67,5h12	Обточування чорнове	12,5	h14	740
		обточування чистове	3,2	h12	300
1,11 11	$44 \frac{IT14}{2}$	Фрезерування	6,3	IT14/2	600
9,14 14	$34 \frac{IT14}{2}$	Підрізування	6,3	IT14/2	600

					КНУ.КБР.131.26.1-10.03.ПТПОД	Арк.
Змн.	Арк.	№ доцм.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6
6,13 13	37H14	Підрізання чорнове підрізання чистове	12,5 3,2	H14 H14	620 620
15	Вибірка R30 $48 \frac{IT14}{2}$	Фрезерування	6,3	IT14/2	600
12	Уступ $72 \frac{IT14}{2}$	Фрезерування	6,3	IT14/2	600
16	Ø12H8	Свердління Зенкерування розгортання	6,3 3,2 1,6	H12 H10 H8	180 70 27
17	Отвір M8x1,25-7H	Свердління Ø67 ^{+0,26} Нарізання різьби	6,3 6,3	H12 —	260 —
18	5 отворів Ø13H14	Свердління	6,3	H14	430
19	3 отворів M12x1,5-7H	Свердління Ø10,43 ^{+0,3} Нарізання різьби	6,3 6,3	H12 —	300 —
20	12 отв. Ø13H14	Свердління	6,3	H14	430

3.4 Розробка маршруту обробки деталі

На основі базового технологічного процесу розробляється послідовність обробки деталі «Фланець». Нумерація поверхонь приймається відповідно до рисунка 2.1. Розроблений маршрут обробки представлено у вигляді таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Маршрут обробки деталі «Фланець»

№ оп.	Найменування операції	№ оброблюваної поверхні	№ базової поверхні	Тип, модель верстата
1	2	3	4	5
005	Токарна	1,2,3,9,8 4,5,6,7,13,10	5,6 1,2	Токарно-гвинторізний верстат 16K30
010	Токарна з ЧПК	5,6,7,13,10,21 1,2,3,8,22	1,2 5,6	Токарно-фрезерний верстат з ЧПК Mori Seiki NLX 2000 MC/500
015	Багатоцільова з ЧПК	19,20 15,12 15,12 16,17 18	1,6 1,6 1,6 1,6,8 1,6	Токарно-фрезерний верстат з ЧПК Mori Seiki NLX 2000 MC/500

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КНУ.КБР.131.26.1-10.03.ПТПОД	Арк.
------	------	----------	--------	------	------------------------------	------

3.5 Розробка технологічної операції

Розробку технологічних операцій на деталь «Фланець» подаємо у вигляді таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Послідовність виконання технологічних операцій для фланця

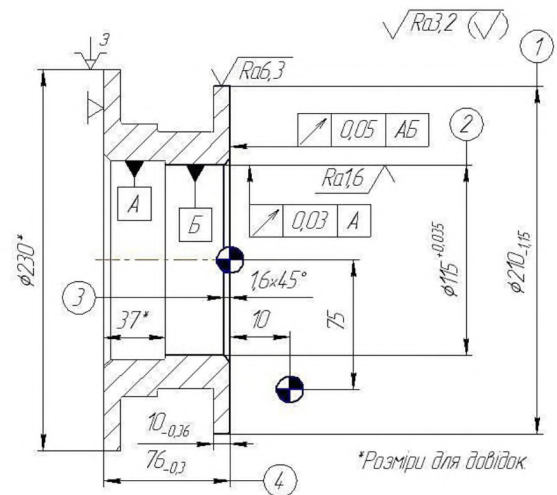
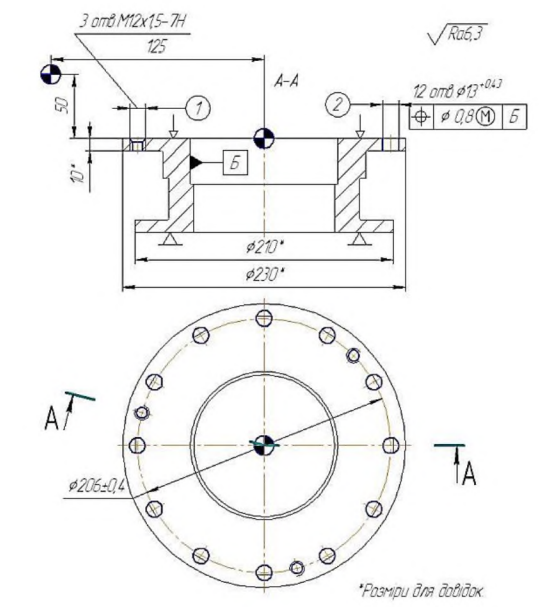
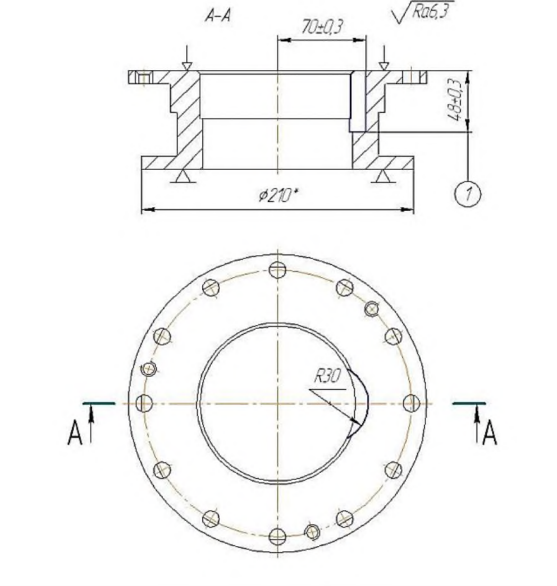
№ оп.	1. Назва операції 2. Верстат 3. Зміст переходів технологічної операції	Ескіз операції
1	2	3
005	1. Токарна 2. 16К30 3. Переходи Установ А 1. Підрізати торець 10 2. Обточити поверхню 1 3. Підрізати торець 4 4. Обточити поверхню 2 5. Розточити поверхню 3 Установ Б 6. Підрізати торець 9 7. Обточити поверхню 8 8. Підрізати торець 5 9. Обточити поверхню 7 10. Розточити поверхню 6	
010	1. Токарна з ЧПК 2. Mori Seiki NLX 2000 MC/500 3. Установ А Переходи Обробити за програмою: 1. Підрізати торець 4 2. Підрізати торець 1 3. Обточити поверхню 3 4. Розточити поверхню 2 5. Розточити фаску 5	

Змн.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

КНУ.КБР.131.26.1-10.03.ПТПОД

Арк.

Продовження таблиці 3.5

1	2	3
010	4. Установ Б Переходи Обробити за програмою: 1. Підрізати торець 4 2. Обточити поверхню 1 3. Розточити поверхню 2 4. Розточити фаску 3	 *Розміри для довідок
015	1. Багатоцільова з ЧПК 2. Mori Seiki NLX 2000 MC/500 3. Установ А Переходи Обробити за програмою: 1. Свердлити 12 отв. 2 2. Свердлити 3 отв. 1 3. Зенкувати фаску в 3-х отв. 1 4. Нарізати різьбу в 3-х отв. 1	 *Розміри для довідок
	4. Установ Б Переходи 1. Фрезерувати вибірку 1 начорно 2. Розточити вибірку 1	 *Розміри для довідок

Змн.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

КНУ.КБР.131.26.1-10.03.ПТПОД

Арк.

Продовження таблиці 3.5

1	2	3
015	5. Установ В Переходи 1. Фрезерувати уступ 1 2. Свердлити отв. 2 3. Свердлити отв. 3 4. Зенкувати фаску в отв. 2 5. Зенкувати фаску в отв. 3 6. Розгорнути отв. 2 начорно 7. Розгорнути отв. 2 начисто 8. Нарізати різьбу в отв. 3	
	6. Установ Г Переходи Обробити за програмою: 1. Свердлити 5 отв. 1	

4 ПРОЕКТУВАННЯ ТА ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

4.1 Розрахунок та проектування спеціального різального інструменту

Для обробки окремої поверхні деталі виконаємо розрахунок спеціального різального інструменту – свердла-зенківки.

Початкові дані для розрахунку:

- номінальний діаметр отвору $D = 12$ мм;
- глибина свердління $l = 25$ мм;
- фаска $1,5 \times 45^\circ$ (діаметр $D_1 = 16$ мм);
- матеріал заготовки – Сталь 45.

Як матеріал інструмента приймаємо швидкорізальну сталь марки Р6М5 відповідно до вимог ДСТУ 7304:2013.

4.1.1 Визначаємо режим різання за нормативами [2]:

Глибина різання: $t = 0,5D = 0,5 \cdot 12 = 6$ мм

а) Подача на оберт за табл. 25, с. 277

$S_0 = 0,25 \dots 0,28$ мм/об, приймаємо $S = 0,25$ мм/об.

б) за табл. 28, 29 і 30 обираємо необхідні коефіцієнти для розрахунку швидкості різання:

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S^y} K_v$$

Стійкість інструмента $T = 45$ хв.

При $S > 0,2$ мм/об $C_v = 9,8$; $q = 0,4$; $x = 0$; $y = 0,5$; $m = 0,2$.

Враховуємо поправочні коефіцієнти на швидкість головного руху різання:

$$K_v = K_{m_v} K_{n_v} K_{l_v}$$

$$K_{m_v} = C_m \left(\frac{\sigma_B}{75} \right)^{n_v}$$

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

$$K_{m_v} = 1 \left(\frac{30}{75} \right)^{0,9} = 0,504; K_{n_v} = 1;$$

K_{l_v} приймаємо в залежності від відношення $\frac{l}{D}$;

Так як $\frac{l}{D} = \frac{25}{12} = 2,083$, то $K_{l_v} = 1$.

$$K_v = 0,504 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,504$$

$$v = \frac{9,8 \cdot 12^{0,4}}{45^{0,2} 0,25^{0,5}} 0,504 = \frac{9,8 \cdot 2,7}{2,14 \cdot 0,5} \cdot 0,504 = \frac{26,46}{1,07} \cdot 0,504 = 28,31 \cdot 0,504 =$$

$$= 14,27 \text{ м/хв (0,238 м/с)}$$

					КНУ.КБР.131.26.1-10.04.ПІАРІ					
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата						
Розроб.		Кедровський			Проектування та інженерний аналіз різального інструменту			Літ.	Арк.	Аркциві
Перевір.		Нечаєв								
Реценз.										
Н. контр.		Нечаєв								
Зав. каф.		Рязанцев								
					Каф. ТМ, гр. ЗПМ-22					

Осьова складова сили різання

$$P_x = 9,81 C_p D^{x_p} S_0^{y_p} K_{M_p}.$$

$$K_{M_p} = \left(\frac{\sigma_B}{75}\right)^{0,9} = \left(\frac{30}{75}\right)^{0,9} = 0,504$$

$$P_x = 9,81 \cdot 68 \cdot 12 \cdot 0,25^0 \cdot 0,504 = 4034,5 \text{ Н.}$$

Момент сил опору різанню (обертовий момент)

$$M_{кр} = 9,81 C_M D^{2_M} S_0^{y_M} K_{M_M} = 64,2 \text{ Н} \cdot \text{м} (6,4 \text{ кгс} \cdot \text{м});$$

$$K_{M_M} = K_{M_p} = 0,504;$$

4.1.2 Визначення геометричних параметрів ріжучої частини

Для оброблюваного матеріалу Сталь 45 приймаємо головний кут в плані $\varphi=60^0 \pm 2^0$;

Задній кут приймаємо $\alpha=12^0 \pm 3^0$;

Кут нахилу стружкової канавки приймаємо $\omega=35^0 \pm 1^0$.

Крок гвинтових канавок:

$$H = \frac{\pi D}{\text{tg } \omega},$$

$$H_1 = \frac{3,14 \cdot 12}{\text{tg } 35^0} = 53,8 \text{ мм,}$$

Кут нахилу поперечної ріжучої кромки $\psi=50^0$

4.1.3 Визначення розмірів поперечного перерізу свердла

Приймаємо клас точності свердла А1.

Зворотня конусність 0,1 на 100 мм довжини.

Діаметр свердла та зенківки:

$$d_1 = 12_{-0,033} \text{ мм, } d_1 = 16_{-0,033} \text{ мм.}$$

Величина стрічки f.

$$f = (0,32 \dots 0,45) \sqrt{D}, \text{ мм.}$$

$$f_1 = 0,32 \sqrt{12} = 0,84 \approx 1 \text{ мм, } f_1 = 0,35 \sqrt{16} = 1,4 \text{ мм,}$$

Діаметр спинки свердла приймається рівним

$$q = (0,99 - 0,98) D, \text{ мм.}$$

$$q_1 = 0,98 \cdot 12 = 11,76 \text{ мм,}$$

За технологічних міркувань висота стрічки повинна відповідати умові

$$0,1 < (D - q) < 2,5 \text{ мм,}$$

$$0,1 < (12 - 11,76) < 2,5 \text{ мм,}$$

$$0,1 < 0,24 < 2,5, \text{ мм.}$$

Умови виконуються.

Серцевина свердла.

Діаметр серцевини свердел з швидкорізальної сталі приймається рівним:

$$D_c = (0,18 - 0,148) D \text{ при } D > 1 \text{ мм.}$$

$$D_{c1} = 0,17 \cdot 12 = 2,04 \approx 2 \text{ мм;}$$

Профіль стружкової канавки.

					КНУ.КБР.131.26.1-10.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Форма канавки повинна забезпечити міцність свердла, достатнє місце для розміщення стружки і її легке відведення. Основними параметрами форми канавки є ширина канавки і криві сполучення.

$$\Theta = 90^0$$

Ширина лінії в нормальному перетині свердла дорівнює:

$$B = D \cdot \sin \frac{180 - \Theta}{2} \text{ мм.}$$

$$B_2 = 12 \cdot \sin \frac{180 - 90}{2} = 80,485 \text{ мм.}$$

Криві сполучення канавки розглядаються в нормальному перетині калібру свердла і визначають профіль канавочні фрези. При спрощеному аналітичному способі розрахунку профіль канавки представляють двома радіусами сполучення R_k і r_k .

$$R_k = C_R \cdot C_T \cdot D, \text{ мм,}$$

де D – діаметр свердла, мм

$$C_R = \frac{0,026 \cdot 2\varphi \cdot \sqrt{2\varphi}}{\omega} = \frac{0,026 \cdot 120 \cdot \sqrt{120}}{35} = 0,977,$$

$$C_T = 1 - 3 \text{ таблиць.}$$

$$R_k = 0,977 \cdot 1 \cdot 4 = 3,9 \text{ мм.}$$

$$r_k = 0,015 \omega^{0,75} D.$$

$$r_k = 0,015 \cdot 35^{0,75} \cdot 12 = 2,59 \text{ мм.}$$

4.1.4 Вибір параметрів зенківки

Довжина інструмента буде розрахована за формулою:

$$L = L_1 + L_2 + l_{xв},$$

де L_1 – довжина першого ступеня, $L_1 = 25$ мм,

L_2 – довжина зенківки, мм,

$l_{xв}$ – довжина хвостової частини, мм.

Обираємо наступні параметри зенківки:

$$L_2 = 20 \text{ мм;}$$

$$l_{xв} = 36$$

$$D_{\text{зенк}} = 16 \text{ мм;}$$

$$d_{\text{хвостовика}} = 10 \text{ мм.}$$

Таким чином:

$$L = L_1 + L_2 + l_{xв},$$

$$L = 25 + 20 + 36 = 81 \text{ мм;}$$

4.1.6 Технічні вимоги

Параметр шорсткості задніх поверхонь і поверхонь стрічок свердл з швидкорізальної сталі не повинен перевищувати $Ra = 0,63$.

Допустиме радіальне биття 0,15 мм.

Допустиме осьове биття 0,3 мм.

					КНУ.КБР.131.26.1-10.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

4.2 Інженерний аналіз спеціального різального інструменту

Проведено інженерне дослідження комбінованого інструмента із застосуванням методу скінченних елементів у програмному середовищі SolidWorks Simulation. Основною метою аналізу є визначення напружено-деформованого стану інструмента під впливом прикладених навантажень. У ході дослідження виконано оцінку переміщень, еквівалентних напружень за критерієм Мізеса та деформацій.

4.2.1 Умови моделювання

Модель: комбінований осьовий інструмент – свердло-зенківка.

Тип дослідження: статичний аналіз методом скінченних елементів (рис. 4.1).

Навантаження: розподілена сила різання, крутний момент.

Закріплення: фіксація за хвостовик інструменту (циліндрична поверхня), що імітує встановлення свердла в патроні.

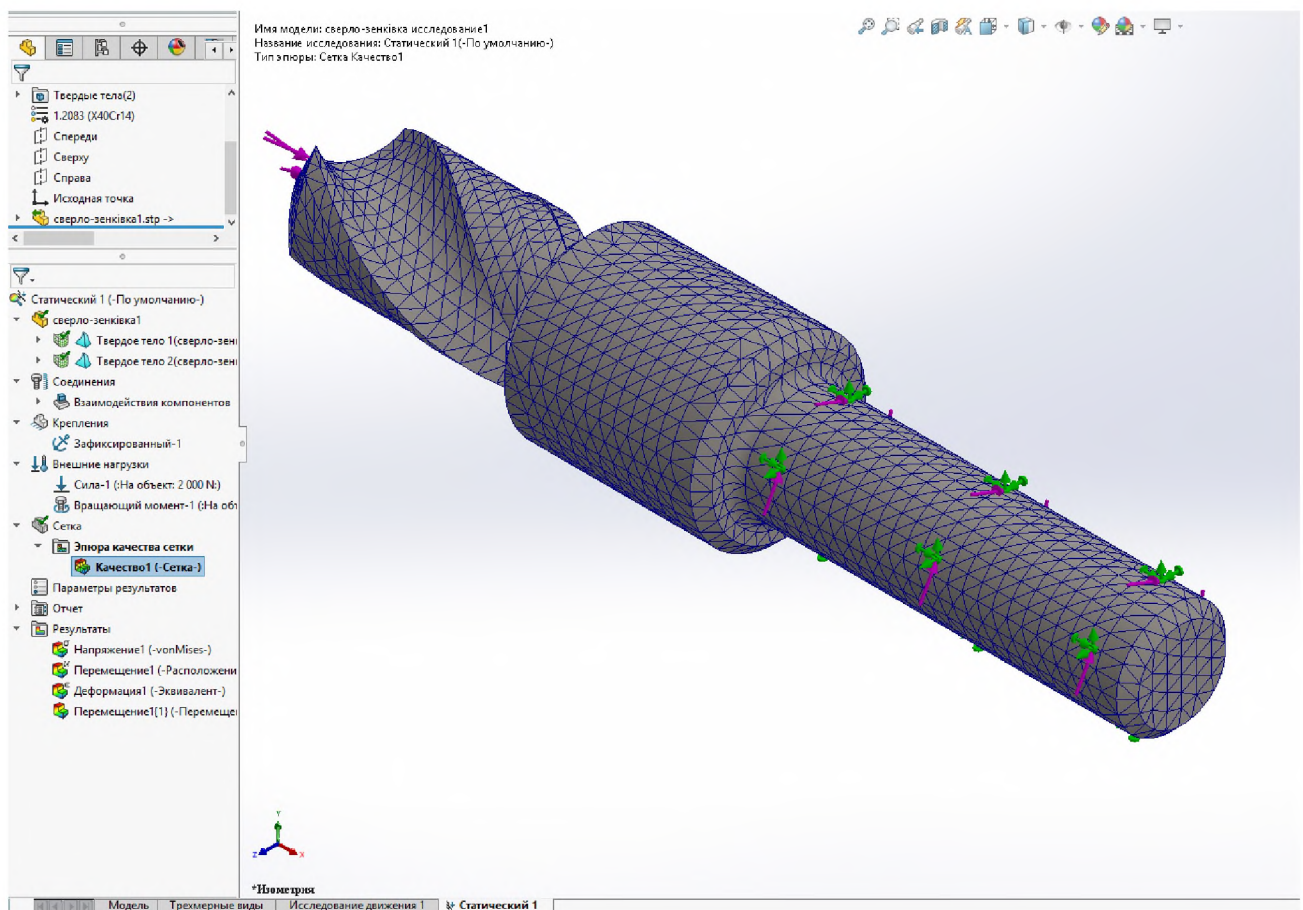


Рисунок 4.1 – Створена сітка кінцевих елементів

4.2.2 Аналіз напруженого стану

Максимальне еквівалентне напруження за критерієм Мізеса (рис.4.2) становить 2.437×10^8 Па. У порівнянні з межею текучості матеріалу (6.2×10^8 Па), отримане значення є значно меншим, що свідчить про відсутність пластичних деформацій та роботу матеріалу в області пружності.

					КНУ.КБР.131.26.1-10.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

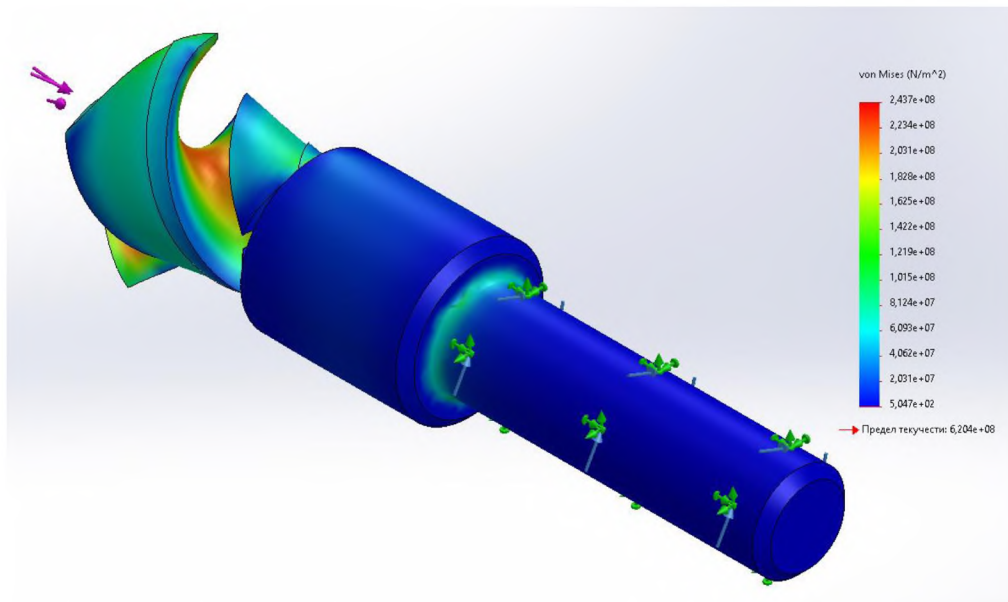


Рисунок 4.2 – Епюра напружень (Von Mises) інструменту

Коефіцієнт запасу міцності становить приблизно 2.5, що відповідає вимогам до інструментів машинобудівного призначення. Це забезпечує надійну роботу інструмента навіть при можливих коливаннях навантажень.

Концентрації напружень локалізуються в зонах геометричних переходів та ріжучих кромки, що є типовим явищем. Це потребує врахування при проектуванні, зокрема шляхом оптимізації радіусів заокруглень та застосування зміцнюючих технологій (термообробка, покриття).

4.2.3 Аналіз переміщень

Максимальне переміщення становить 0.03886 мм, що є незначним значенням для інструменту такого типу (рис. 4.3).

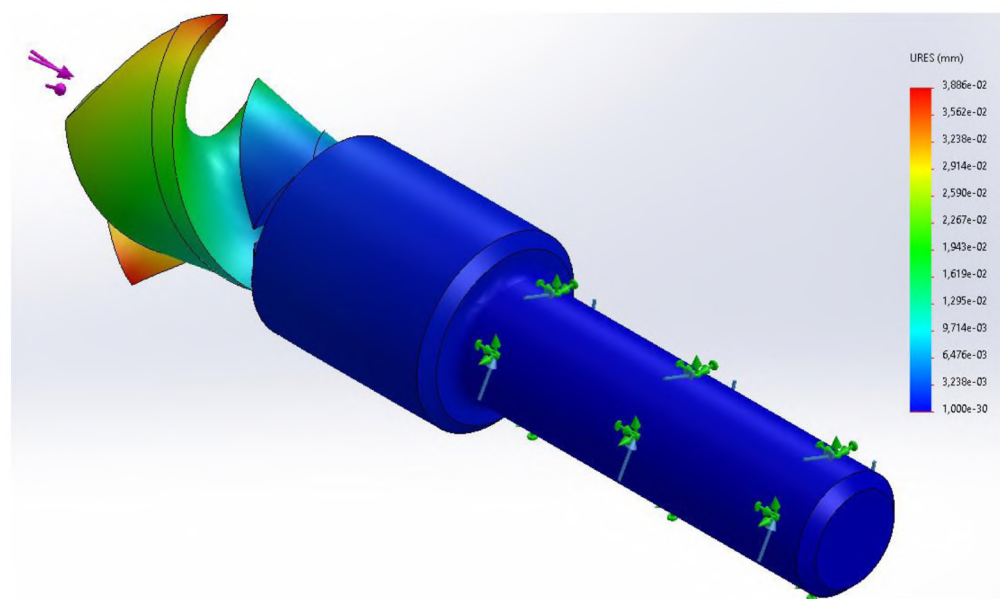


Рисунок 4.3 – Епюра переміщень інструменту

					КНУ.КБР.131.26.1-10.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Найбільші переміщення спостерігаються у зоні вільного кінця інструмента, що відповідає характеру навантаження. Закріплена частина демонструє практично нульові переміщення.

Низький рівень переміщень свідчить про високу жорсткість конструкції, що є критично важливим для забезпечення точності обробки, зменшення вібрацій та підвищення якості поверхні деталі.

4.2.4 Аналіз деформацій

Максимальна еквівалентна деформація становить 8.233×10^{-4} , що є дуже малим значенням (рис.4.4).

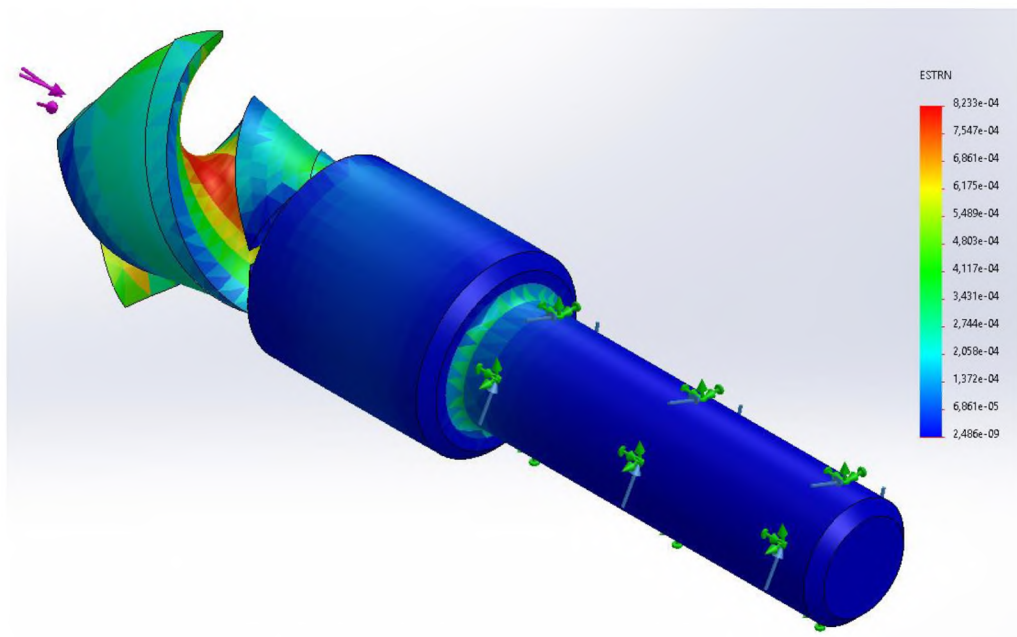


Рисунок 4.4 – Епюра деформацій інструменту

Це підтверджує, що матеріал працює в межах пружної деформації без накопичення залишкових змін форми.

Розподіл деформацій є плавним і рівномірним, що свідчить про відсутність критичних зон руйнування або конструктивних дефектів.

4.2.5 Інженерна оцінка конструкції та рекомендації щодо вдосконалення

Конструкція інструмента є раціональною з точки зору міцності та жорсткості. Співвідношення маси та міцності є оптимальним, що дозволяє забезпечити ефективну роботу без перевитрати матеріалу.

Застосування легованої сталі забезпечує необхідні механічні характеристики, включаючи високу межу текучості та достатню втомну міцність.

Контактні умови та схема навантаження відповідають реальним умовам роботи інструмента.

Рекомендації щодо вдосконалення:

1. Оптимізація геометрії в зонах концентрації напружень.
2. Застосування поверхневого зміцнення (азотування, покриття TiN).

					КНУ.КБР.131.26.1-10.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

3. Проведення втомного аналізу для оцінки довговічності.
4. Дослідження теплових ефектів при різанні.
5. Можливе зниження маси без втрати міцності шляхом топологічної оптимізації.

4.2.6 Загальний висновок

За результатами проведеного аналізу встановлено, що комбінований інструмент свердло-зенківка повністю відповідає вимогам міцності, жорсткості та надійності.

Напруження, переміщення та деформації знаходяться в допустимих межах, що забезпечує стабільну роботу інструмента.

Конструкція може бути рекомендована до впровадження у виробництво. Запропоновані рекомендації дозволять підвищити ресурс та ефективність інструмента.

					КНУ.КБР.131.26.1-10.04.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 реалізації токарної обробки було створено керуючу програму та виконано моделювання повного технологічного процесу за допомогою програмного забезпечення Autodesk FeatureCAM. Обробка проводиться на токарно-фрезерному верстаті з ЧПК Mori Seiki NLX 2000 MC/500. Основні технічні характеристики верстата наведено в таблиці 5.1, а його зовнішній вигляд показано на рисунку 5.1.

Таблиця 5.1 – Технічні характеристики Mori Seiki NLX 2000 MC/500

Параметр	Значення
1	2
Тип верстату	Токарно-фрезерний центр з ЧПК
Система ЧПК	Mitsubishi M730BM
Кількість осей	3 (X, Z, C)
Хід по осі X	260 – 366 мм
Хід по осі Z	510 – 590 мм
Обертання по осі C	360° (крок 0.001°)
Макс. діаметр обробки	~356 – 366 мм
Макс. довжина обробки	~510 мм
Діаметр патрона	~250 мм
Отвір шпинделя	~73 мм
Швидкість шпинделя	до 5000 об/хв
Потужність шпинделя	~11 – 15 кВт
Кількість інструментів	12 позицій
Привідний інструмент	є (до ~10000 об/хв)
Кількість револьверів	1
Габарити (Д×Ш×В)	~3495 × 2050 × 2230 мм
Вага	~5000 – 5800 кг
Потужність підключення	~27 кВА

Як зазначено в табл. 5.1, керування роботою даного верстата забезпечується системою ЧПК Mitsubishi M730BM, її основні параметри приведено в таблиці 5.2.

Основними перевагами Mitsubishi M730BM є підтримка токарно-фрезерної обробки, багатоканальність, робота з віссю C/Y, розвинені функції інтерполяції та високий рівень інтеграції з автоматизованими виробничими системами.

					КНУ.КБР.131.26.1-10.05.МПОМО					
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата						
Розроб.		Кедровський			Моделювання та програмування операцій механічної обробки			Літ.	Арк.	Архивів
Перевір.		Нечаєв								
Реценз.										
Н. контр.		Нечаєв								
Зав. каф.		Рязанцев								
					Каф. ТМ, гр. ПМ-22					



Рисунок 5.1 – Загальний вигляд верстату Mori Seiki NLX 2000 MC/500

Таблиця 5.2 – Характеристика системи ЧПК Mitsubishi M730BM

Параметр	Характеристика
1	2
Призначення	Токарні, токарно-фрезерні, багатошпиндельні та багатоканальні верстати
Тип дисплея	Кольоровий LCD-дисплей, підтримка сенсорного введення
Інтерфейс користувача	Графічний інтерфейс з підтримкою діалогового програмування та відображення траєкторій
Програмування	ISO G-code, підтримка макропрограм, циклів, підпрограм
Пам'ять програм	Вбудована пам'ять для зберігання програм та параметрів
Підтримка мереж	Ethernet, USB, CF-карта, RS-232
Підтримка CAD/CAM	Імпорт програм з САМ-систем
Типи інтерполяції	Лінійна, кругова, гвинтова, полярна, циліндрична
Кругова інтерполяція	Підтримка програмування через центр або радіус дуги
Гвинтова інтерполяція	Дозволяє одночасно виконувати круговий рух по двох осях і лінійний рух по третій осі
Полярна інтерполяція	Дає можливість програмувати фрезерування на токарному верстаті через перетворення координат
Циліндрична інтерполяція	Використовується для обробки поверхонь циліндричних деталей
Фрезерна інтерполяція	Дозволяє виконувати фрезерування на токарному верстаті навіть без осі Y

					КНУ.КБР.131.26.1-10.05.МПОМО	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 5.2

1	2
Підтримка осі C	Так
Підтримка осі Y	Так, залежно від конфігурації верстата
Підтримка багатоканальної обробки	Так
Функції безпеки	STO, SLS, SOS, SS1/SS2, SSM, SLP, аварійна зупинка
Система діагностики	Самодіагностика, журнал аварій, моніторинг сервоприводів
Відображення траєкторії	Графічна симуляція обробки та перевірка траєкторії інструменту
Функція компенсації	Компенсація люфту, теплових деформацій, зносу інструменту
Особливості токарно-фрезерної обробки	Підтримка комбінованої обробки, синхронної роботи шпинделів, обробки з підшпинделем

5.2 Моделювання обробки та перевірка керуючих програм

Під час розробки керуючої програми для обробки деталі «Фланець» було здійснено покрокове моделювання повного технологічного процесу в середовищі FeatureCAM. З урахуванням технічних характеристик верстата Mori Seiki NLX 2000 MC/500 сформовано раціональну послідовність операцій механічної обробки. Додатково виконано перевірку прийнятих технологічних рішень на їх правильність і доцільність.

На рисунках 5.2-5.8 наведено основні етапи симуляції обробки деталі «Фланець» та результати моделювання, які підтверджують відповідність розробленого технологічного процесу вимогам точності та ефективності.

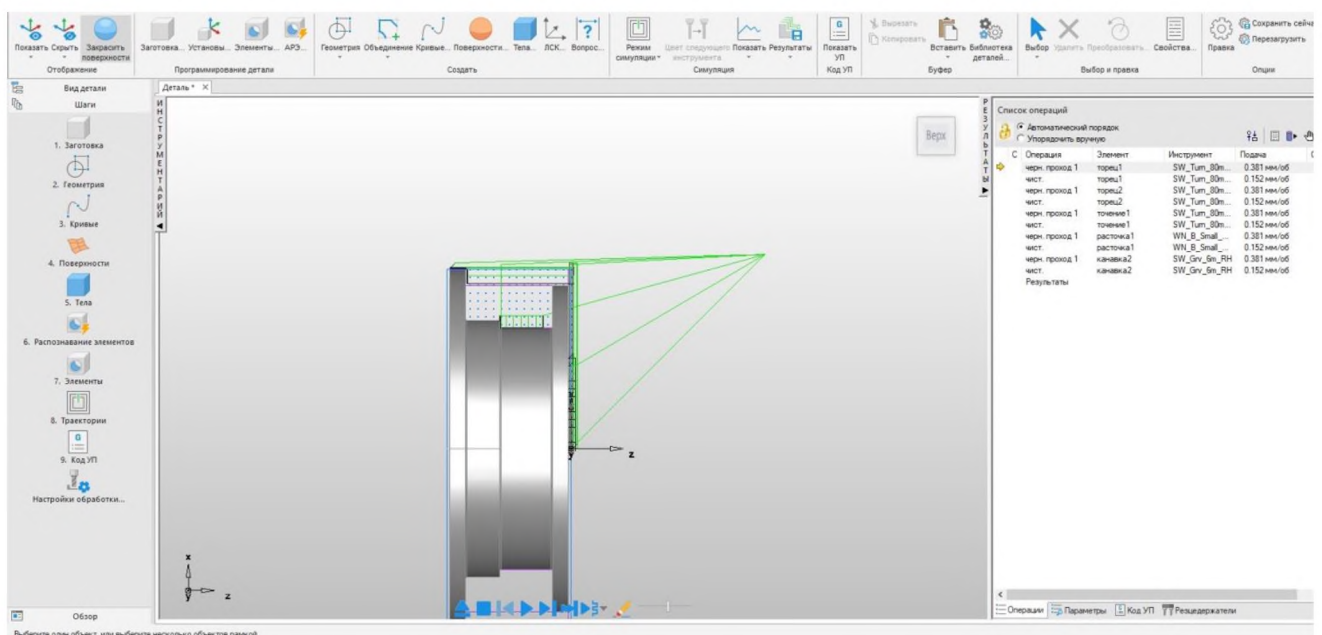


Рисунок 5.2 – Модель деталі «Фланець» та етапи її обробки у FeatureCAM

					КНУ.КБР.131.26.1-10.05.МПОМО	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

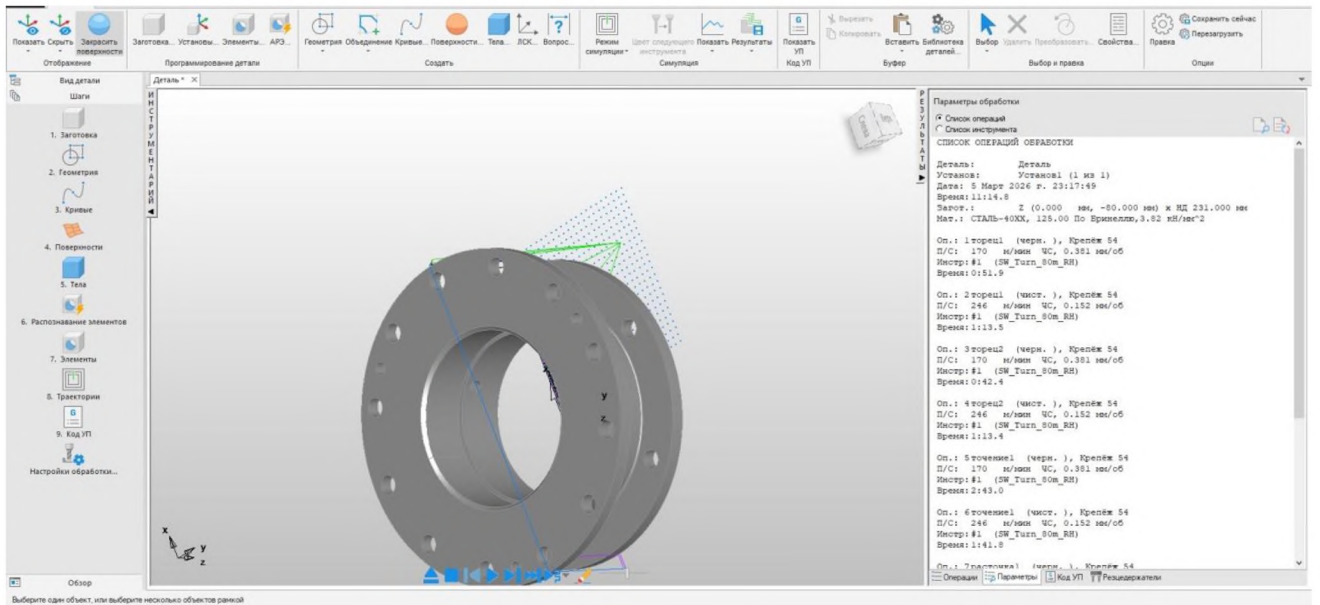


Рисунок 5.3 – Список операций обработки детали «Фланец»

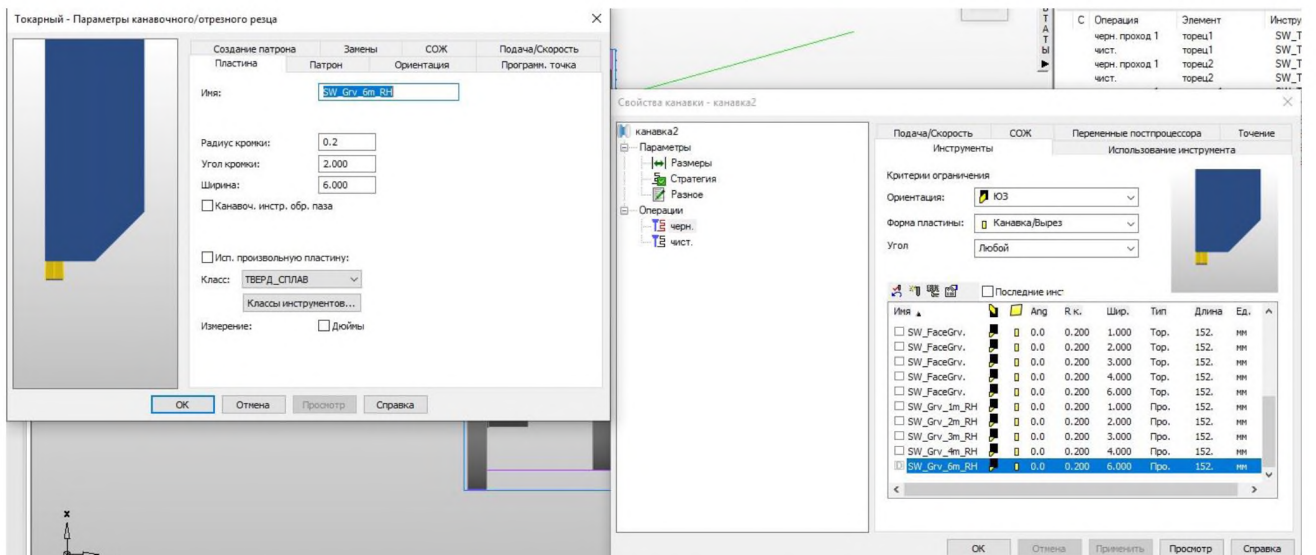


Рисунок 5.4 – Выбор резального инструмента для обработки – резец канавочный

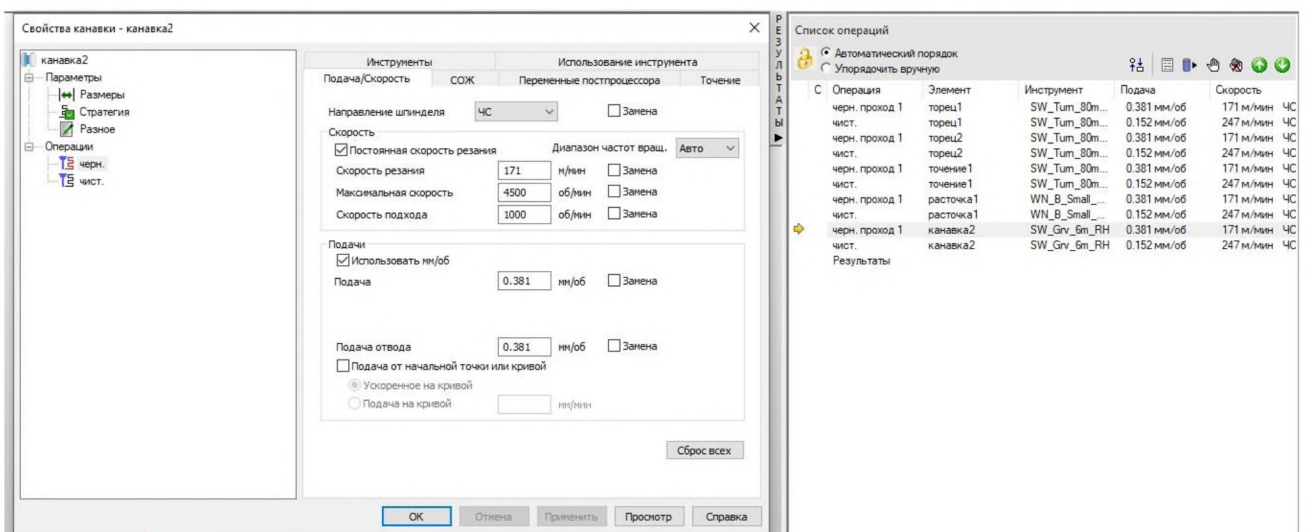


Рисунок 5.5 – Обрані режими різання

					КНУ.КБР.131.26.1-10.05.МПОМО		Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата			

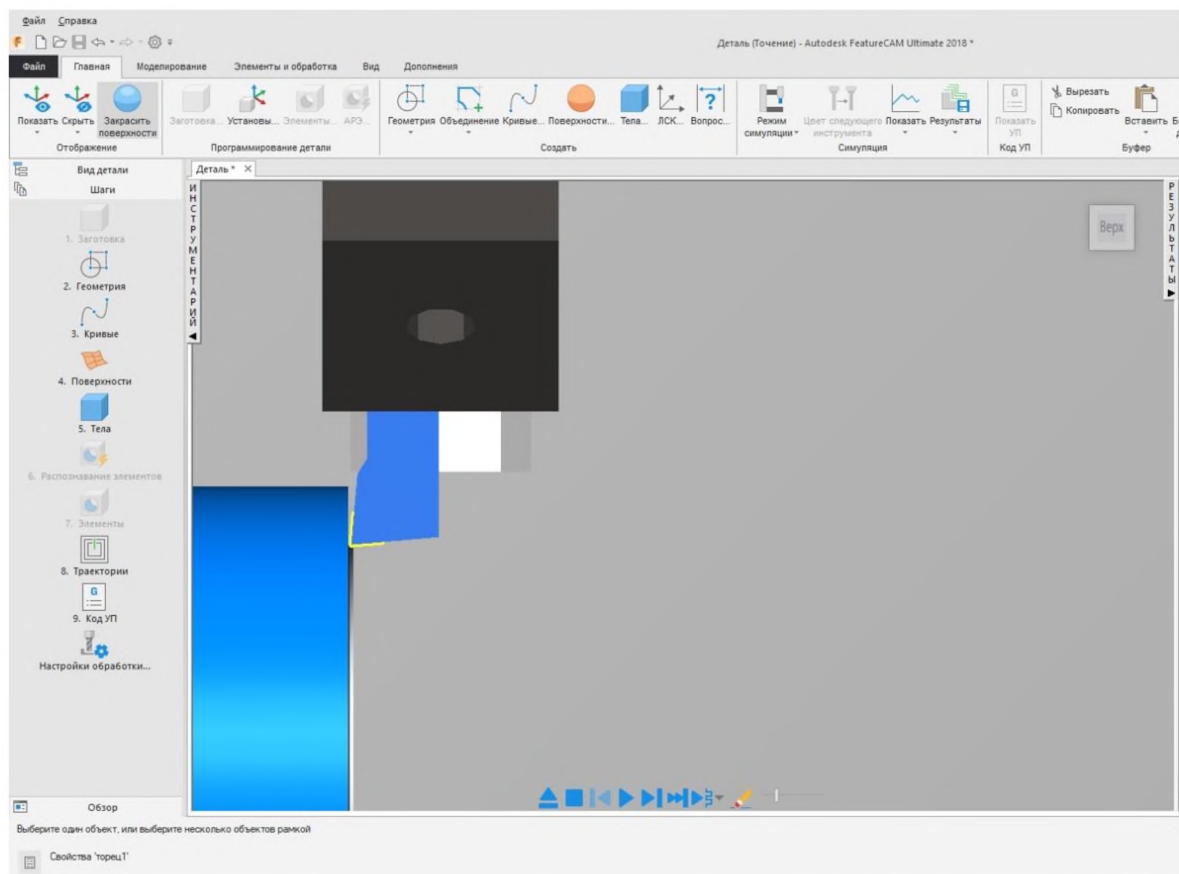


Рисунок 5.6 – Візуалізація процесу обробки деталі «Фланець» у FeatureCAM – підрізання торця різцем

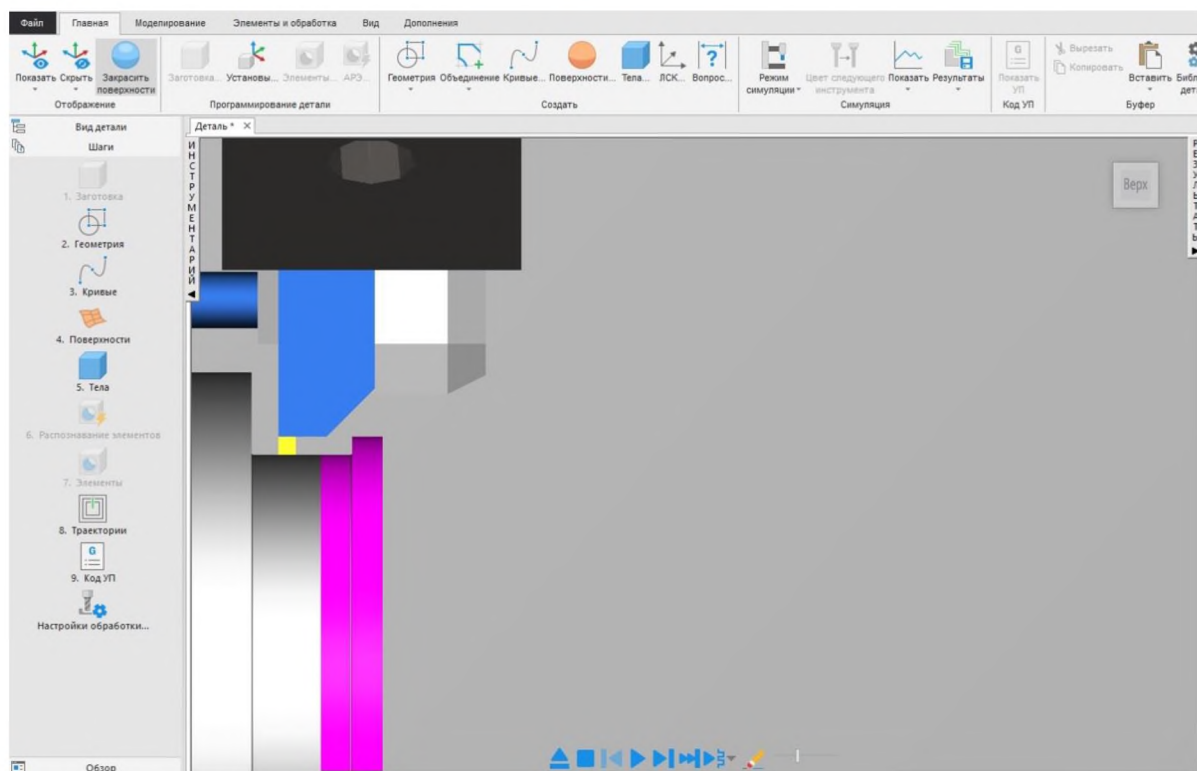


Рисунок 5.7 – Візуалізація процесу обробки деталі «Фланець» у FeatureCAM канавочним різцем

					КНУ.КБР.131.26.1-10.05.МПМО	Арк.
Змн.	Арк.	№ доцм.	Підпис	Дата		

```

Код УП
P1: Верхний резцедержатель

%
O0001 (ДЕТАЛЬ 3-5-2026)
N1 ( ROUGH FACE ТОРЕЦ1 )
G20 G40 G80 G99
G28 U0. W0.
T0101 ( SW_TURN_80M_RH )
G50 S4500
G97 S231 M03
G0 X9.252 Z-0.0748 M8
G96 S559
G01 X-0.0787 F0.015
Z-0.0591
X-0.0509 Z-0.0451
G0 Z0.1181

( FINISH FACE ТОРЕЦ1 )
G50 S4500
G96 S810
X9.3307
Z-0.0787
G01 X-0.0787 F0.006
X0.144 Z0.0326

( ROUGH FACE ТОРЕЦ2 )
G50 S4500
G96 S559
G0 X9.252
Z0.0039
G01 X-0.0787 F0.015
Z0.0197
X-0.0509 Z0.0336
G0 Z0.1181

( FINISH FACE ТОРЕЦ2 )
G50 S4500
G96 S810
X9.3307
Z0.
G01 X-0.0787 F0.006
X0.144 Z0.1114
  
```

Рисунок 5.8 – Фрагмент згенерованої керуючої програми по обробці деталі «Фланець»

					КНУ.КБР.131.26.1-10.05.МПОМО	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА

6.1 Розрахунки ключових техніко-економічних показників

Проведено техніко-економічне обґрунтування та визначено собівартість виготовлення деталі «Фланець» для двох варіантів технологічного процесу механічної обробки. У межах дослідження виконано оцінку ефективності модернізації виробництва, що передбачає заміну морально і фізично зношеного обладнання – фрезерного верстата моделі 6P13 та токарного верстата моделі 1A64 – на токарно-фрезерний верстат з числовим програмним керуванням Mori Seiki NLX 2000 MC/500.

Результати проведених розрахунків, а також визначений термін окупності інвестиційного проєкту наведено в таблицях 6.1-6.4. Зокрема, у таблиці 6.1 представлено вихідні дані, необхідні для виконання економічного аналізу; таблиця 6.2 містить допоміжні розрахункові параметри, використані в процесі обчислень; у таблиці 6.3 наведено показники собівартості річної програми випуску деталей та обсяг капітальних вкладень; у таблиці 6.4 подано загальні виробничі витрати, прогнозований річний економічний ефект і термін окупності запропонованої модернізації виробництва.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані розрахунків

Вихідні дані			
Дані	Базовий варіант		Новий варіант
	1A64	6P13	Mori Seiki NLX
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.	22	32	31
Час наладки верстата, хв.	16	4	18
Розряд:			
	контролера		5
	верстатника		3
	наладчика		3
	наладчика інструменту		4
Кількість кадрів програми, шт.			300
Вартість заготовки $S_{заг}$, грн.	1352		1352

					КНУ.КБР.131.26.1-10.06.0ЕПВ		
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата			
Розроб.	Кедровський				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 комплекту спец. пристосувань $K_{пр}$, грн	50000	33000	70000
Оптова ціна на прокат одного УСП $\bar{C}_{усп}$, грн			
Середній час налагодження за прибором одного інструменту поза верстатом, хв.	1,5	0,5	1
Середній період стійкості інструменту, хв.	45	45	120
Середня кількість граней пластинки, шт.	1	1	3
Коефіцієнт, що враховує питому вагу основного часу в штучному k_t	0,083	0,083	0,083
Вартість одного кадру ПК, грн.			8,9
Вартість розробки ПК $K_{пк}$, грн.			2000
Середньочасова зарплатня робітника, грн:			
верстатника $H_{ст}$	130	130	130
наладчика $H_{нал}$	135	130	140
наладчика інструмента $H_{ін}$	120	120	130
контролера H_k	115		115
Верстати			
Клас точності верстата	Н	Н	А
Маса верстата, т	11,4	4,2	11
Габарити верстата (довжина x ширина), м.	5,825 x 2	2,56 x 2,26	3,5 x 2
Габарити пристрою ЧПК, м			0,5 x 0,5
Тип пристрою ЧПК			Mitsubishi M730BM
Строк служби верстата до капітального ремонту $T_{рц}$, років	7	7	10
Встановлена потужність всіх електродвигунів головного руху, кВт	10	10	32
Категорія складності ремонту верстата ЕРС:			
механічної частини R_m	27,7	15	26,86
електротехнічної частини R_e	14	9,8	20,8
Кількість верстатів, що обслуговує один робочий d, шт	1	1	2
Оптова ціна верстата $\bar{C}$, грн.	290000	225000	2345000
Коефіцієнт завантаження верстата η_3	0,4	0,7	0,95
Площа верстата за габаритами A , м. кв.	11,7	5,8	7,0
Площа пристрою ЧПК A_y , м. кв.			0,25

					КНУ.КБР.131.26.1-10.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 6.1

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	2,5	2,5	3
Коеф., що враховує клас точності верстата, μ	1	1	1,8
Ефективний річний фонд часу роботи верстата Φ _{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
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	200

Таблиця 6.2 – Розрахунок допоміжних показників

Розрахунок допоміжних показників			
Дані	Базовий варіант		Новий варіант
	1A64	6P13П	Mori Seiki NLX
Трудомісткість обробки Т _{шт} , год	400	800	1350
Час наладки верстата впродовж року Т _н , год	5,333333	1,3333333	6
Час наладки інструмента поза верстатом впродовж року Т _{н.ін} , год	0,00	9,24444444	20,00
Час контролю деталей впродовж року Т _к , год	33,2	66,4	112,05
Кількість верстатників Р _{ст} , чол. (розрах.)	0,22	0,43	0,36
(дійсна)	1	1	1
Кількість наладчиків верстатів Р _н , чол. (розрахункова)	0,0029	0,0007	0,0032
(дійсна)	1	1	1

					КНУ.КБР.131.26.1-10.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 6.2

Кількість наладчиків інструмента поза верстатом $P_{н.ін}$, чол. (розрахункова)	0,0000	0,00497013	0,01075
(дійсна)	0	1	1
Кількість контролерів P_k , чол. (розрах.)	0,02	0,036	0,06
(дійсна)	1		1
Додаткова кількість робочих по обслуговуванню верстатів з ЧПК $P_{до\delta}$, чол (розрахункова)	0,00	0,00	0,19
(дійсна)	0	0	1
Загальна кількість працівників на річну програму випуску деталей, чол.	6		5
Частка завантаження верстата обробкою деталі в обсязі річного випуску β	0,18	0,2880	0,37

Таблиця 6.3 – Результати розрахунків

Собівартість механічної обробки річного випуску деталей											
$C = I_z + I_n + I_{ін} + I_{пк} + I_{пр} + I_{усп} + I_a + I_{пл} + I_{сл} + I_r + I_y + I_k$											
де I_z – зарплатня верстатника; I_n – 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_a – 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_r – витрати на ремонт та технічне обслуговування обладнання; I_y – витрати на технічне обслуговування і ремонт ЧПК; I_k – зарплатня контролера											
										C_1 на деталь = 235,27	
										C_2 на деталь = 170,78	
I_z	I_n	$I_{ін}$	$I_{пк}$	$I_{пр}$	$I_{усп}$	I_a	$I_{пл}$	$I_{сл}$	I_r	I_y	I_k
$C_1 = 257774 + 1404,75 + 1109,33 + 0,00 + 30986,7 + 0 + 2296,80 + 1695,30 + 42000 + 4191,1 + 0 + 11454,00 =$										352912,34	
$C_2 = 145851 + 1320,88 + 234,00 + 666,67 + 26133,3 + 0 + 24608,43 + 3024,00 + 35000 + 5715,8 + 723,89 + 12885,75 =$										256163,79	
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.											
$K_б$	$K_{зд}$	$K_{сл}$	$K_{нез}$	$K_{пр}$	$K_{п.у.}$						
$K_1 = 128698 + 4709 + 42000 + 154750 + 83000 + 0 =$	413156										
$K_2 = 464310 + 1958 + 28000 + 116428 + 70000 + 2000 =$	682695,92										

					КНУ.КБР.131.26.1-10.06.0ЕПВ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

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

Приведені витрати				
Z_1	=	C_1	+	$E_n \cdot K_1$
414886		352912		0,15 413156
Z_2	=	C_2	+	$E_n \cdot K_2$
358568		256164		0,15 682696

Річний економічний ефект				
E	=	Z_1	-	Z_2
56318		414886		358568

Строк окупності				
$T_{ок}$	=	$(K_2 - K_1)$	/	$(C_1 - C_2)$
2,79		682696 413156		352912 256163,8

За результатами виконаних розрахунків встановлено, що впровадження сучасного верстата з числовим програмним керуванням замість чотирьох морально застарілих одиниць обладнання забезпечує значне скорочення часу обробки деталей. Запропонована модернізація є економічно обґрунтованою, оскільки строк окупності капіталовкладень складає 2,79 року, а очікуваний річний економічний ефект становить 56318 грн.

6.2 Екологія виробництва та охорона праці при обробці легированих сталей

Обробка легированих сталей є невід'ємною складовою сучасного машинобудування, авіаційної, енергетичної та оборонної промисловості. Водночас такі процеси супроводжуються значним техногенним навантаженням на довкілля та формуванням небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Комплексний підхід до екологічної безпеки та охорони праці базується на поєднанні технологічних рішень, санітарно-гігієнічних норм і законодавчого регулювання.

6.2.1 Характеристика екологічних аспектів обробки легированих сталей

Леговані сталі містять добавки (Cr, Ni, Mo, V, W), які при механічній або термічній обробці можуть переходити у вигляді пилу, аерозолів або хімічних сполук у виробниче середовище. Особливо інтенсивне забруднення спостерігається при: шліфуванні, високошвидкісному різанні, плазмовій та лазерній обробці, термічній обробці.

У процесі шліфування утворюється шліфувальний пил, який містить не лише металеві частинки, а й абразивні матеріали. Такий пил є високодисперсним і може тривалий час перебувати у повітрі, створюючи небезпеку інгаляційного впливу.

					КНУ.КБР.131.26.1-10.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно до вимог Міністерство охорони здоров'я України (ДСН 3.3.6.042-99), такі умови можуть бути віднесені до шкідливих або небезпечних класів праці (3 або 4 клас), залежно від рівня перевищення гранично допустимих концентрацій.

6.2.2 Забруднення атмосферного повітря та його нормування

Основними джерелами забруднення повітря є: аерозолі металів, пари мастильно-охолоджувальних рідин, продукти термічного розкладу масел, оксиди азоту та вуглецю.

Контроль якості повітря здійснюється відповідно до:

- ДСТУ EN 482:2016 (Загальні вимоги до вимірювання хімічних агентів),
- ДСТУ EN 689:2019.

Гранично допустимі концентрації (ГДК) для металів, таких як нікель і хром, є особливо низькими через їх токсичність і канцерогенність. Наприклад, сполуки шестивалентного хрому можуть викликати онкологічні захворювання.

Важливу роль у зменшенні викидів відіграє застосування: локальних витяжних систем, електрофільтрів, циклонів, рукавних фільтрів.

Проектування систем вентиляції повинно відповідати вимогам ДБН В.2.5-67:2013.

6.2.3. Водні ресурси та поводження з відходами

Використання мастильно-охолоджувальних рідин (МОР) створює значне навантаження на водні ресурси. Відпрацьовані МОР містять: емульсії масел, важкі метали, біоциди, поверхнево-активні речовини.

Відповідно до Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» та вимог Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, підприємства повинні: здійснювати очищення стічних вод, впроваджувати замкнені цикли водопостачання, вести облік відходів.

Очищення може здійснюватися методами:

- флотації,
- коагуляції,
- мембранної фільтрації,
- біологічного очищення.

Металеву стружку доцільно направляти на вторинну переробку, що зменшує ресурсні втрати та екологічне навантаження.

6.2.4. Фізичні фактори виробничого середовища

Обробка легованих сталей супроводжується підвищеними рівнями: шуму (до 100 дБ і більше); вібрації; теплового випромінювання.

Відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 (Санітарні норми виробничого шуму), перевищення допустимих рівнів шуму вимагає застосування інженерних і індивідуальних засобів захисту.

Вібрація може призводити до розвитку професійних захворювань (вібраційна хвороба), що регламентується нормами Державна служба України з питань праці.

					КНУ.КБР.131.26.1-10.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.2.5. Охорона праці та безпека персоналу

Закон України «Про охорону праці» визначає основні принципи забезпечення безпечних умов праці. При обробці легованих сталей важливими є:

- інструктажі та навчання,
- атестація робочих місць,
- контроль умов праці,
- медичні огляди.

Особливу небезпеку становлять: обертові частини обладнання, гостра стружка, високі температури, контакт із хімічними речовинами.

Засоби індивідуального захисту включають: фільтрувальні респіратори, окуляри або щитки, спецодяг, антивібраційні рукавиці, протишумові навушники.

6.2.6. Сучасні екологічні та безпечні технології

Сучасні тенденції спрямовані на:

- мінімізацію використання МОР (технології сухого різання),
- застосування екологічно безпечних мастильних матеріалів,
- автоматизацію та роботизацію процесів,
- впровадження систем екологічного менеджменту.

Стандарти ISO (ISO 14001 та ISO 45001) забезпечують системний підхід до управління екологічними аспектами та охороною праці.

Використання верстатів з ЧПК знижує вплив людського фактору та дозволяє локалізувати небезпечні процеси.

6.2.7. Оцінка ризиків та управління ними

Оцінка професійних ризиків включає:

- ідентифікацію небезпечних факторів,
- аналіз їх впливу,
- визначення рівня ризику,
- впровадження заходів зниження ризику.

Методологія оцінки базується на принципах, закріплених у міжнародних стандартах і рекомендаціях Міжнародна організація праці.

Застосування ризик-орієнтованого підходу дозволяє не лише реагувати на небезпеки, а й попереджати їх виникнення.

Таким чином, екологія виробництва та охорона праці при обробці легованих сталей є багатофакторною системою, що включає контроль хімічних, фізичних і механічних ризиків. Ефективне управління можливе лише за умови дотримання нормативної бази, впровадження сучасних технологій та постійного моніторингу виробничого середовища.

					КНУ.КБР.131.26.1-10.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської роботи було здійснено комплексну конструкторсько-технологічну підготовку виробництва деталі «Фланець» агрегату ГПА-10 із застосуванням сучасних CAD/CAM-систем. У першому розділі проведено аналіз вихідних даних, визначено функціональне призначення деталі як складової системи електрозапуску газоперекачувального агрегату, а також виконано розрахунок розмірних ланцюгів, що дозволило забезпечити необхідну точність і взаємозамінність елементів конструкції.

У другому розділі встановлено службове призначення деталі, проведено аналіз якості її поверхонь та визначено раціональний типовий технологічний процес виготовлення. Це дало змогу обґрунтувати вимоги до точності, шорсткості та експлуатаційних характеристик виробу.

Третій розділ присвячено вибору заготовки, для якої обґрунтовано доцільність використання штампованого кування, що забезпечує підвищення механічних властивостей і зменшення припусків на обробку. Також виконано вибір технологічних баз і розроблено маршрут обробки з використанням токарних і багатоцільових операцій, що сприяє підвищенню продуктивності виробництва.

У четвертому розділі проведено проектування та інженерний аналіз різального інструменту (свердло-зенківка) із застосуванням SolidWorks Simulation, що дозволило оцінити його напружено-деформований стан та забезпечити надійність у роботі.

П'ятий розділ включає моделювання та програмування операцій механічної обробки із використанням Autodesk FeatureCAM, що демонструє ефективність впровадження САМ-систем при токарній обробці на сучасному обладнанні.

У шостому розділі виконано розрахунок техніко-економічних показників, які підтвердили економічну доцільність запропонованих рішень (строк окупності 2,79 року, економічний ефект 56318 грн), а також розглянуто питання екології виробництва та охорони праці.

Таким чином, поставлена мета роботи досягнута, а отримані результати можуть бути використані у виробничій практиці для підвищення ефективності виготовлення деталей подібного типу.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-10.В</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Висновки</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Кедровський</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>	

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. Нефедов Н.А., Осипов К.А. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту: Учебное пособие – М.: Машиностроение, 1990. – 448с.

4. ДСТУ 3.1001:2014 Єдина система технологічної документації. Загальні положення.

5. Каталог допоміжного інструменту фірми Seco, 2019р.

6. ДСТУ 2391-94 Система технологічної документації. Терміни та визначення

7. ДСТУ 3.1127:2014. Єдина система технологічної документації. Загальні правила виконання текстових технологічних документів.

8. ДСТУ 3.1128:2014. Єдина система технологічної документації. Загальні правила виконання графічних технологічних документів.

9. 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.

10. 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.

11. 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.

12. ДСТУ 3321-96 Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять.

					КНУ.КБР.131.26.1-10.СВД					
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата						
Розроб.		Кедровський			Список використаних джерел			Літ.	Арк.	Архiв
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 «Фланець» агрегату ГПА-10 з використанням САД/САМ-
систем

Виконав здобувач гр. ПМ-22

(підпис)

Володимир КЕДРОВСЬКИЙ

Керівник КБР

(підпис)

Василь НЕЧАЄВ

Нормоконтроль

(підпис)

Василь НЕЧАЄВ

Завідувач кафедри

(підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ

Перв. примен.		Справ. №			Подп. и дата					Инв. № подл.			Взам. инв. №			Инв. № дубл.			Подп. и дата			Инв. № подл.					
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание																					
				Креслення																							
A1		1	КНУ.КБР.131.26.1-10.ВВСК	Вал ведучий (складальне креслення)	1																						
A1		2	КНУ.КБР.131.26.1-10.Ф	Фланець	1																						
A3		3	КНУ.КБР.131.26.1-10.ФКШ	Фланець (кування штамповане)	1																						
A1		4	КНУ.КБР.131.26.1-10.ЕО	Ескізи операцій	1																						
A3		5	КНУ.КБР.131.26.1-10.СЗ	Свердло-зенківка	1																						
A3		6	КНУ.КБР.131.26.1-10.ІАСРІ	Інженерний аналіз спеціального різального інструменту	1																						
A3		7	КНУ.КБР.131.26.1-10.МПМО	Моделювання процесу механічної обробки	1																						
КНУ.КБР.131.26.1-10.ВКІЗА																											
Изм.		Лист		№ докум.		Подп.		Дата		Відомість креслень та інформаційно-засвідчуючих аркушів КБР												Лит.		Лист		Листов	
Разрад.		Кедровський																				Н				1	
Пров.		Нечаєв																									
Н.контр.		Нечаєв																									
Утв.		Рязанцев																									
Копировал																						Формат А4					

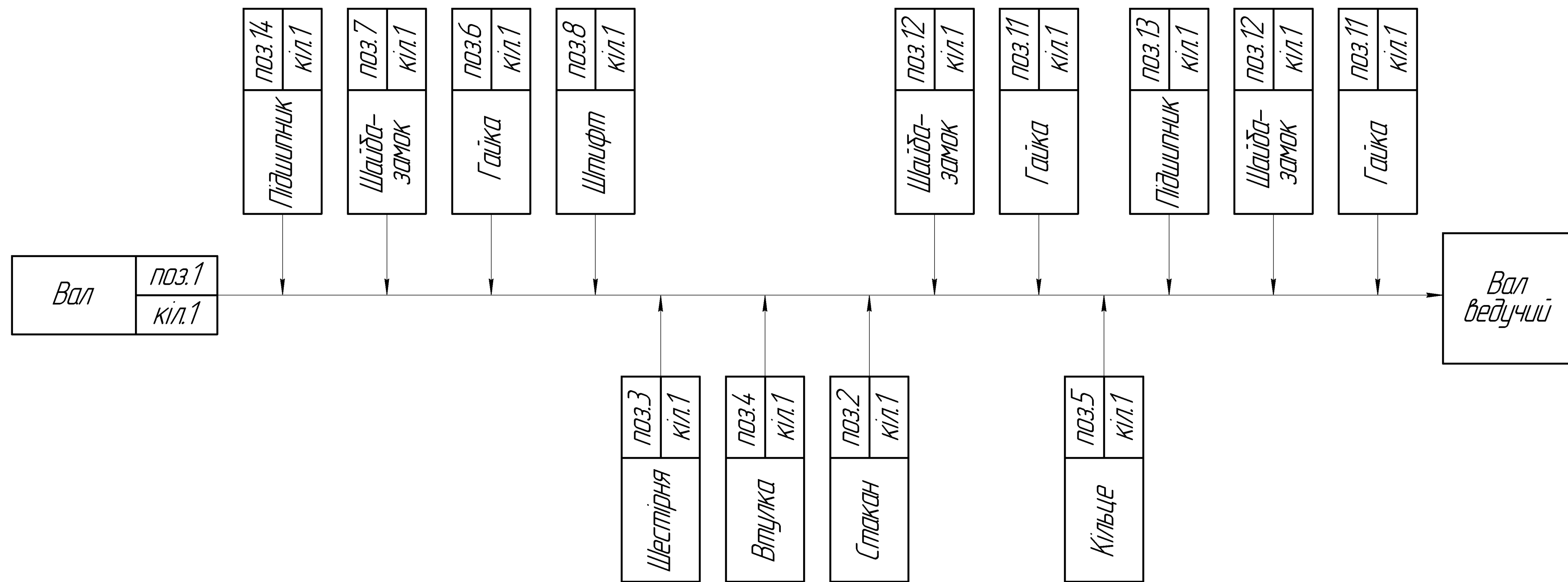
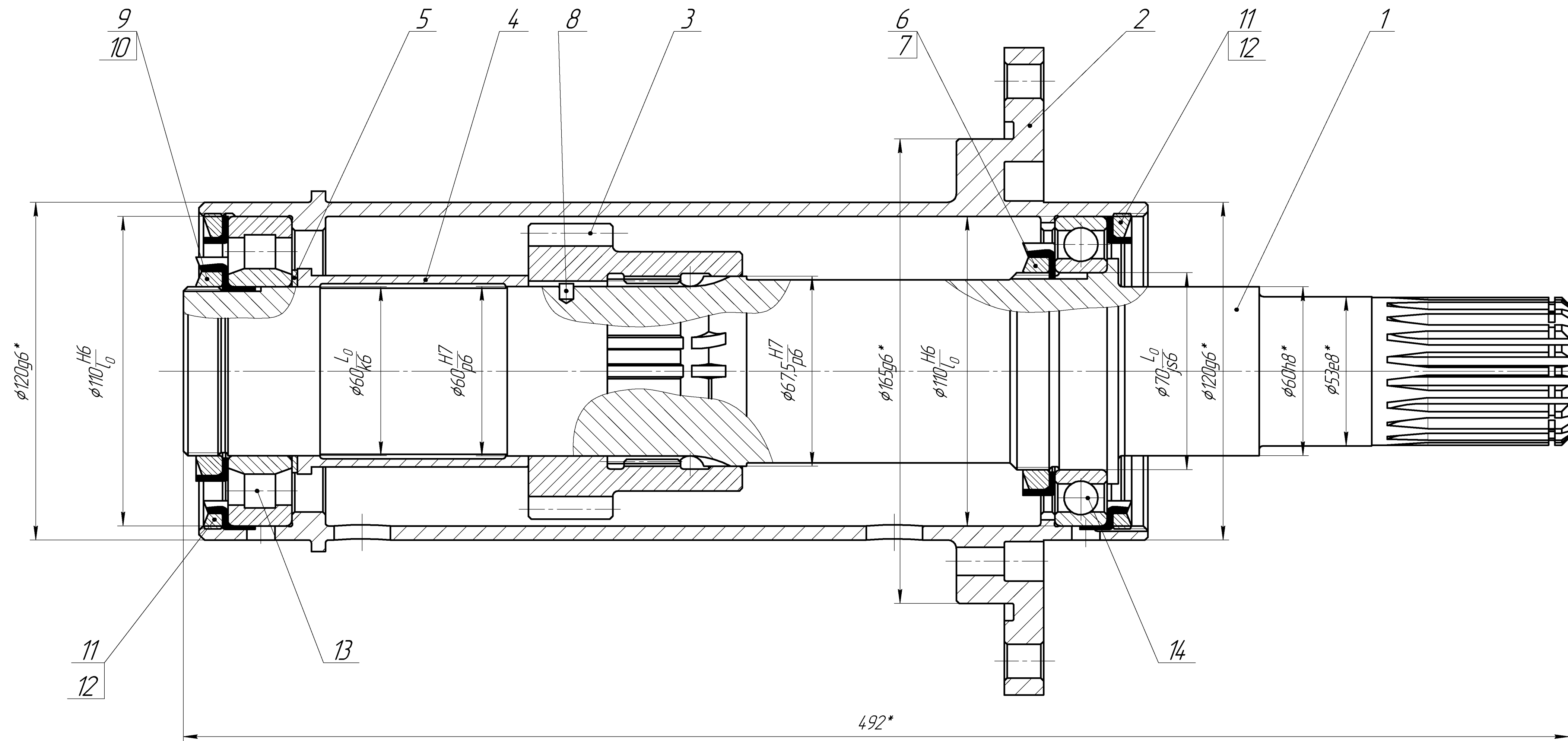
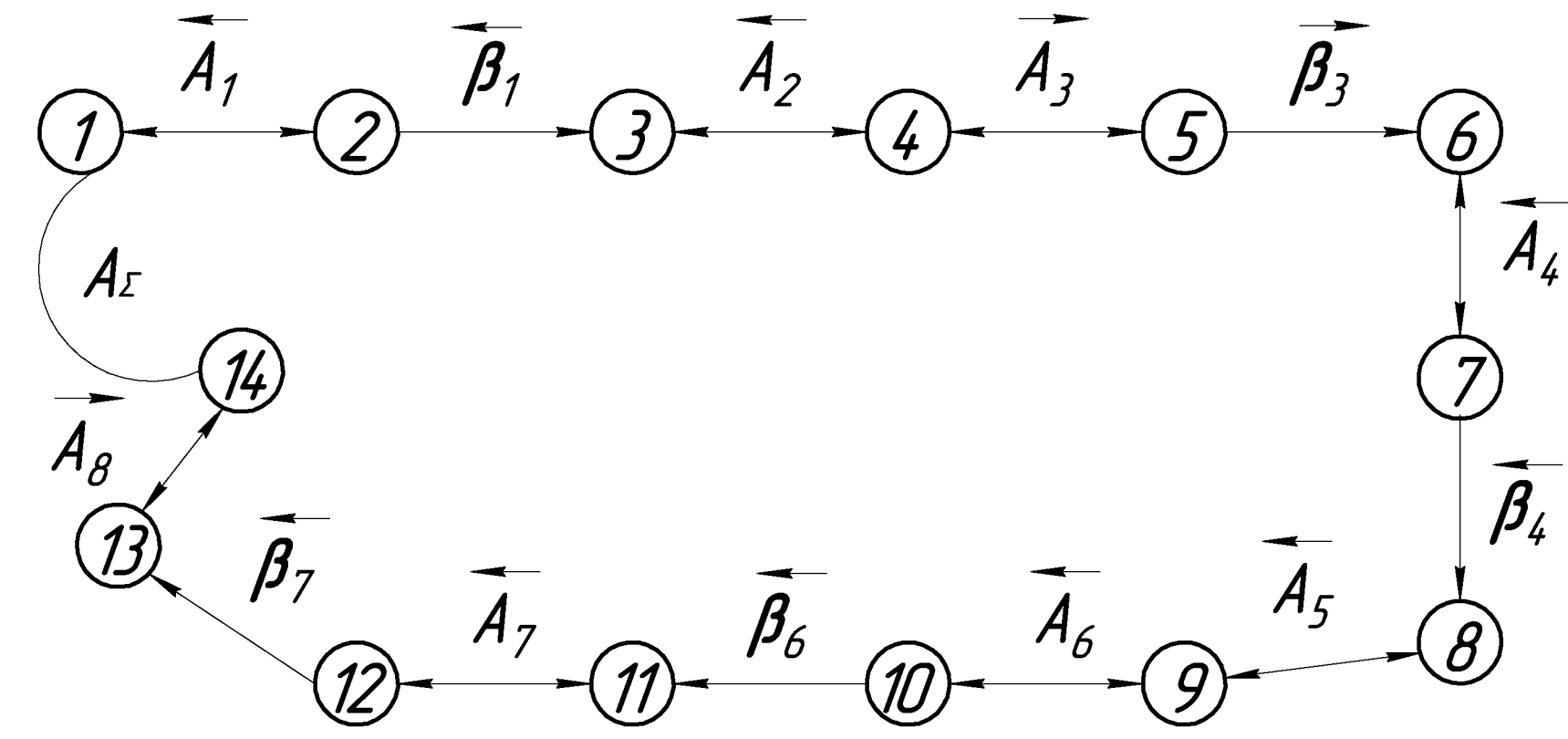


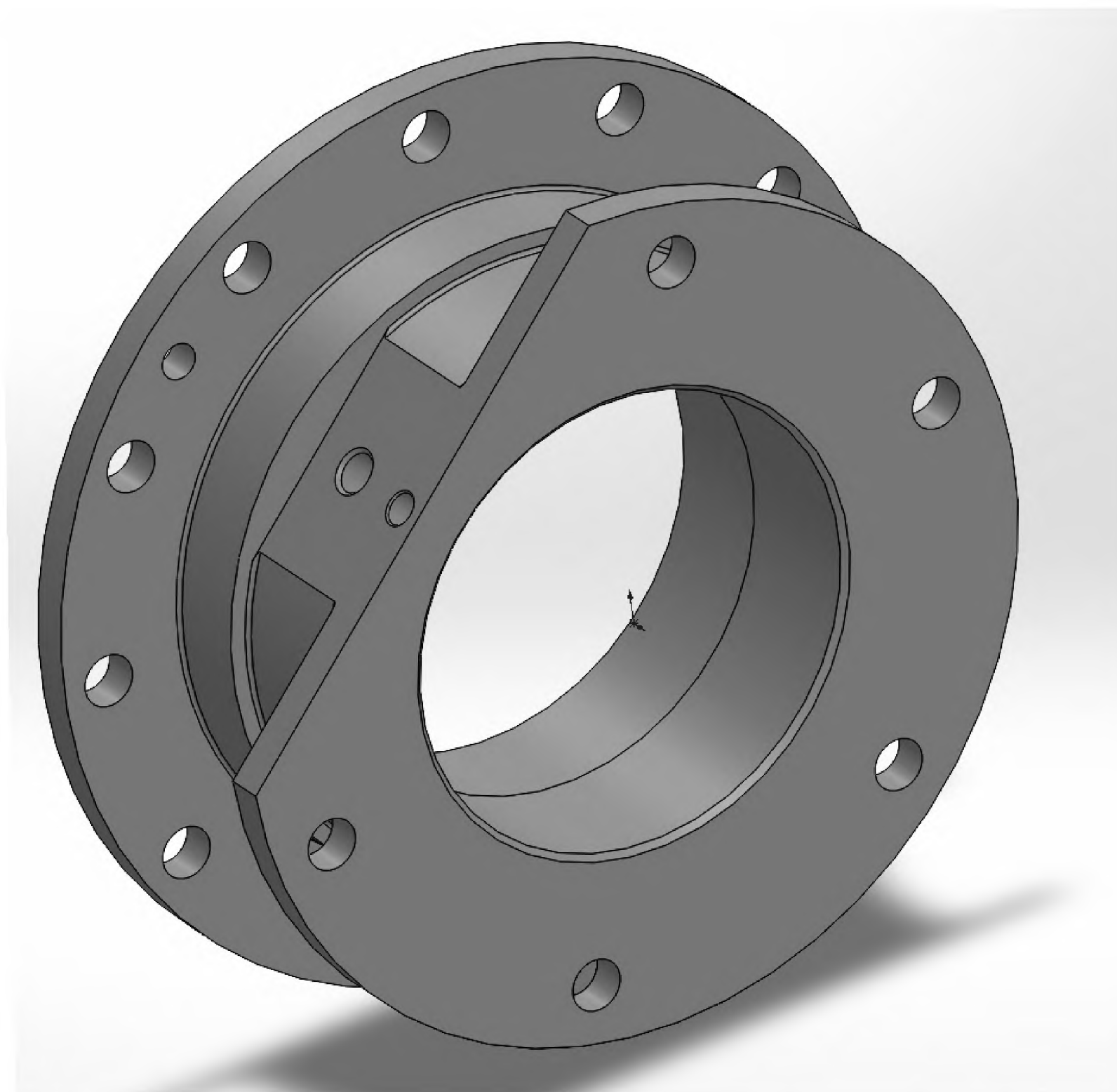
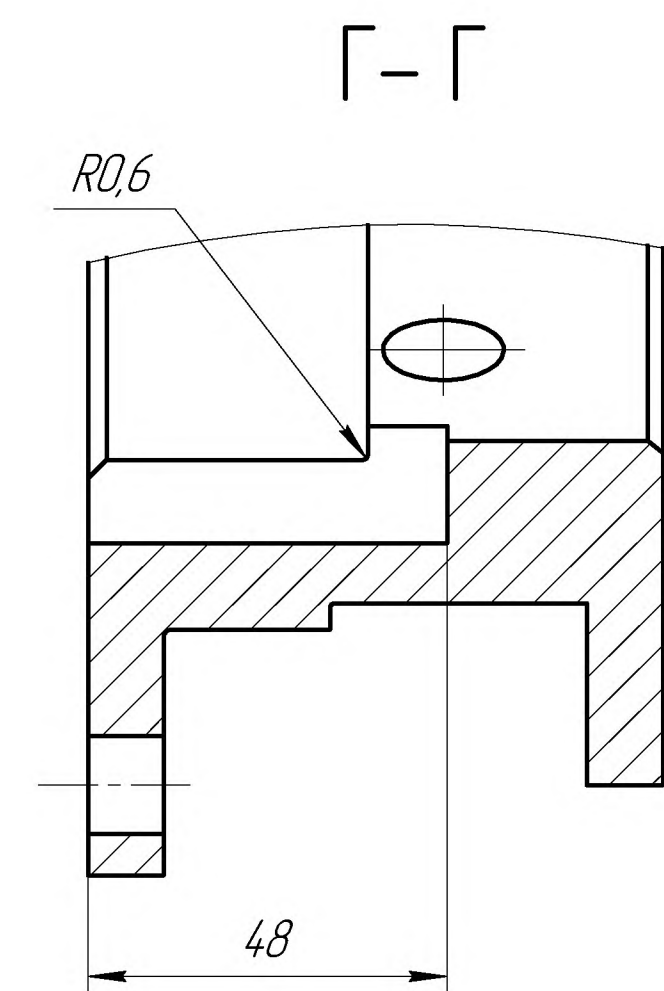
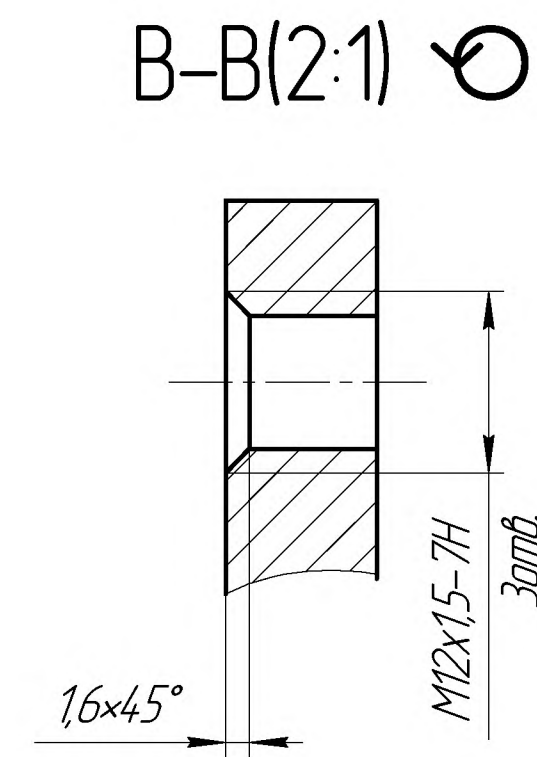
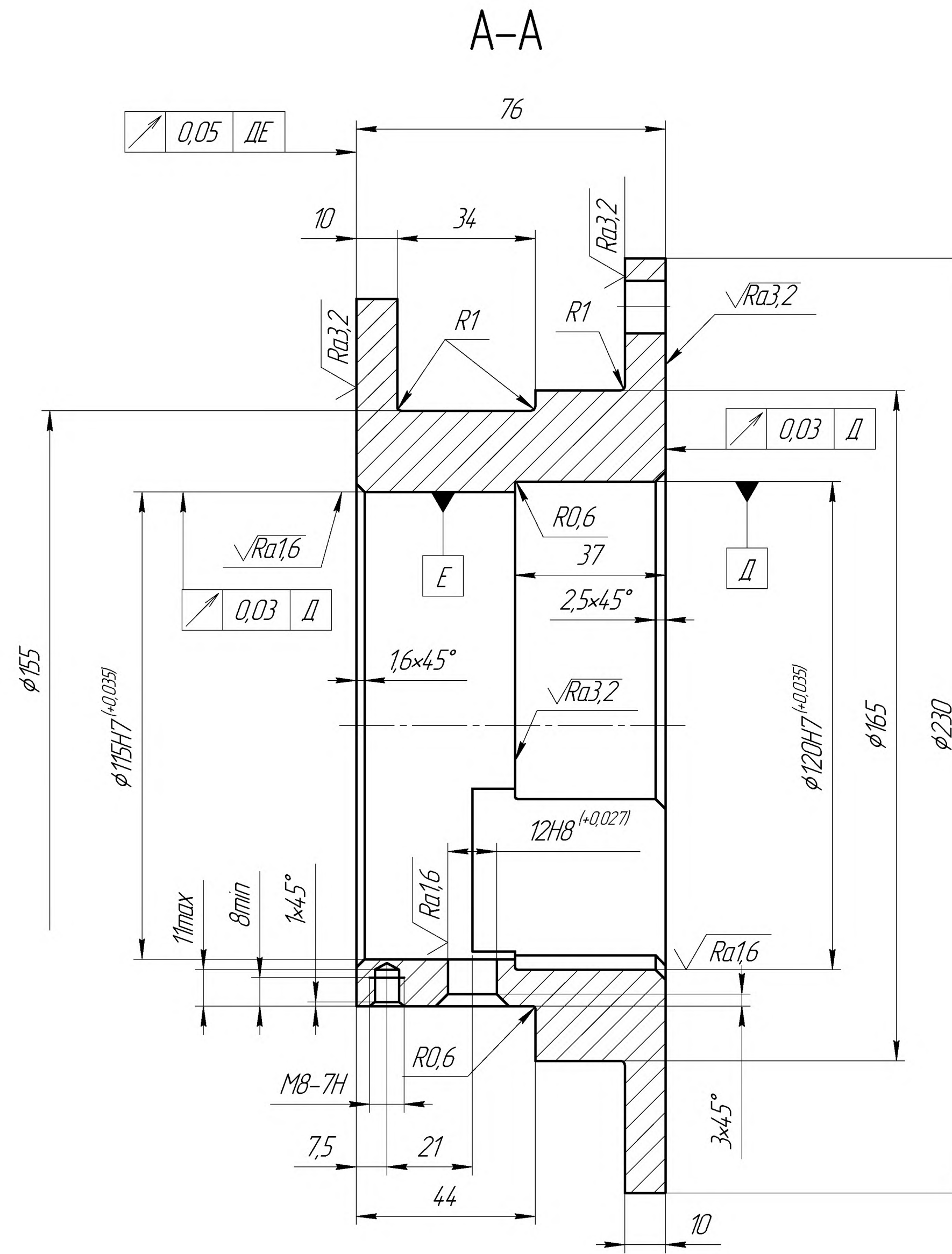
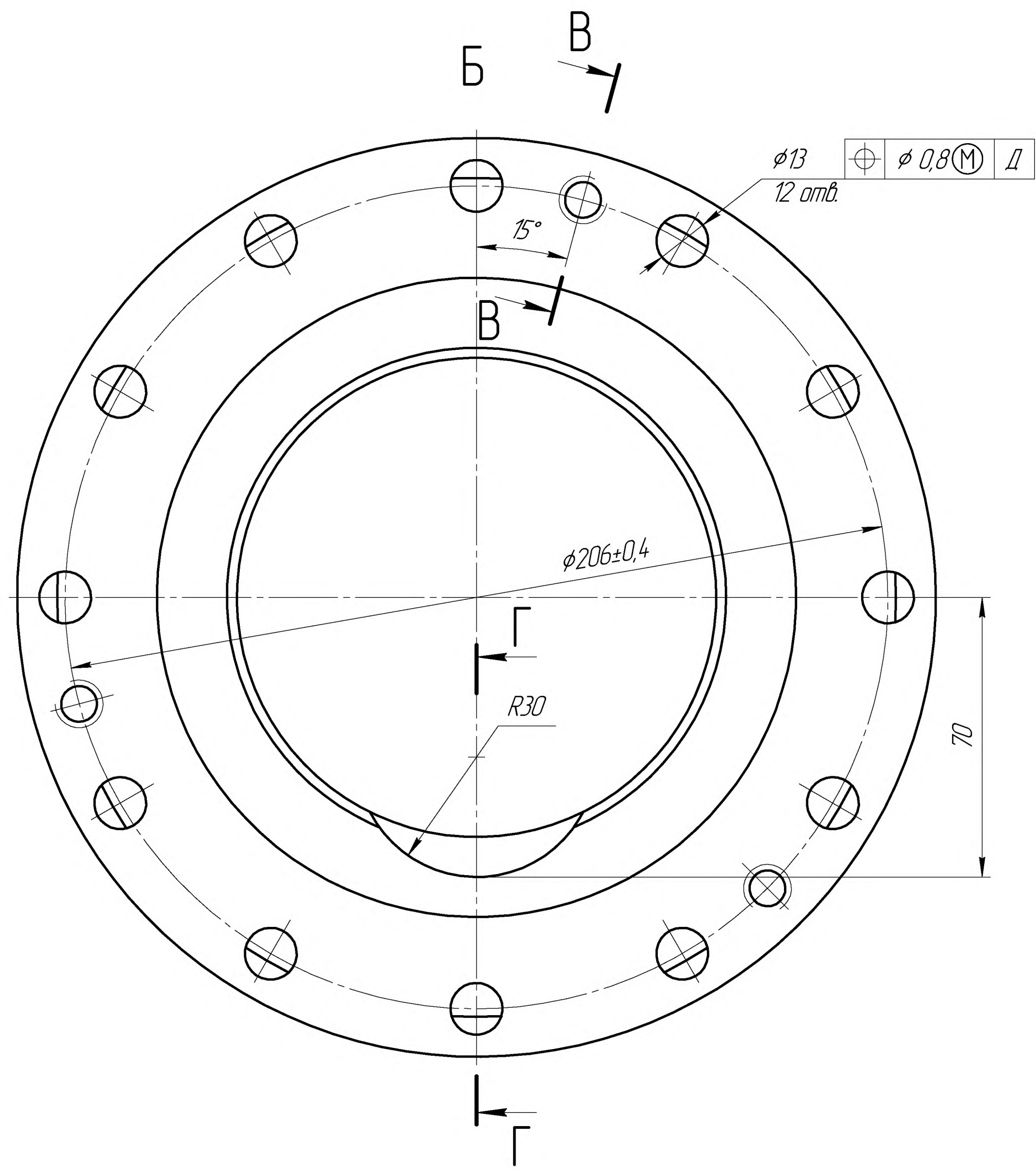
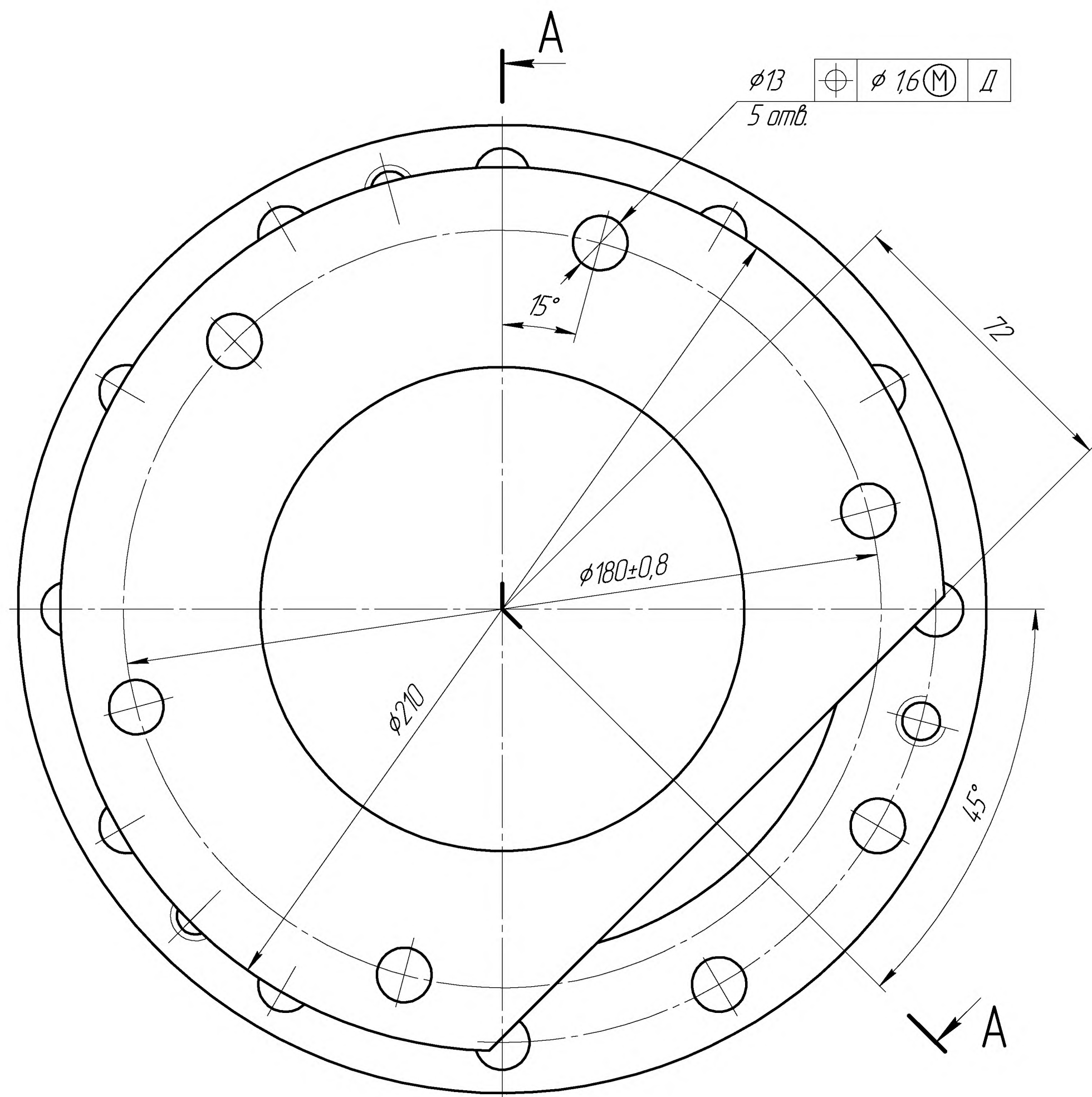
Схема складання вала ведучого



Лінійний розмірний ланцюг

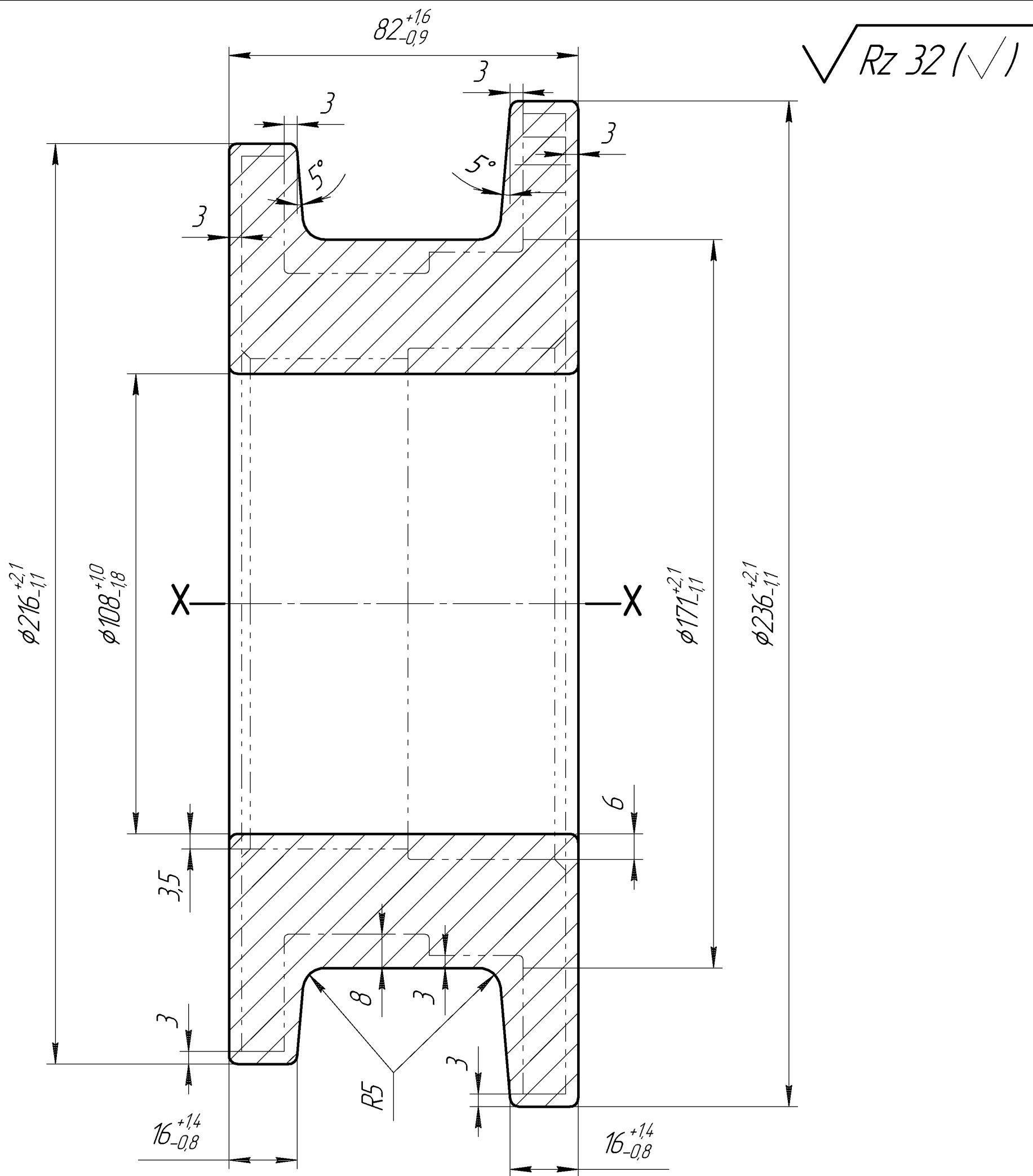
- 1. *Розміри для довідок.
- 2. Деталі поз.6, 10, 11 законтрити шайбами поз.7, 9, 12.
- 3. Деталь поз.8 пресувати до упору.
- 4. Перед початком складання посадочні і різьбові поверхні змастити тонким шаром мастила ЦІАТИМ-221 ГОСТ 9433-80.

					КНУ.КБР.131.26.1-10.ВВСК			
					Вал ведущий (складальне креслення)	Лист	Маса	Масштаб
						Н	24	11
						Архив 1		
						Кафедра ТМ		
						гр. ПМ-22		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Кедровський						
Керівник		Нечисов						
Начальн.		Нечисов						
Зав.		Рязанцев						



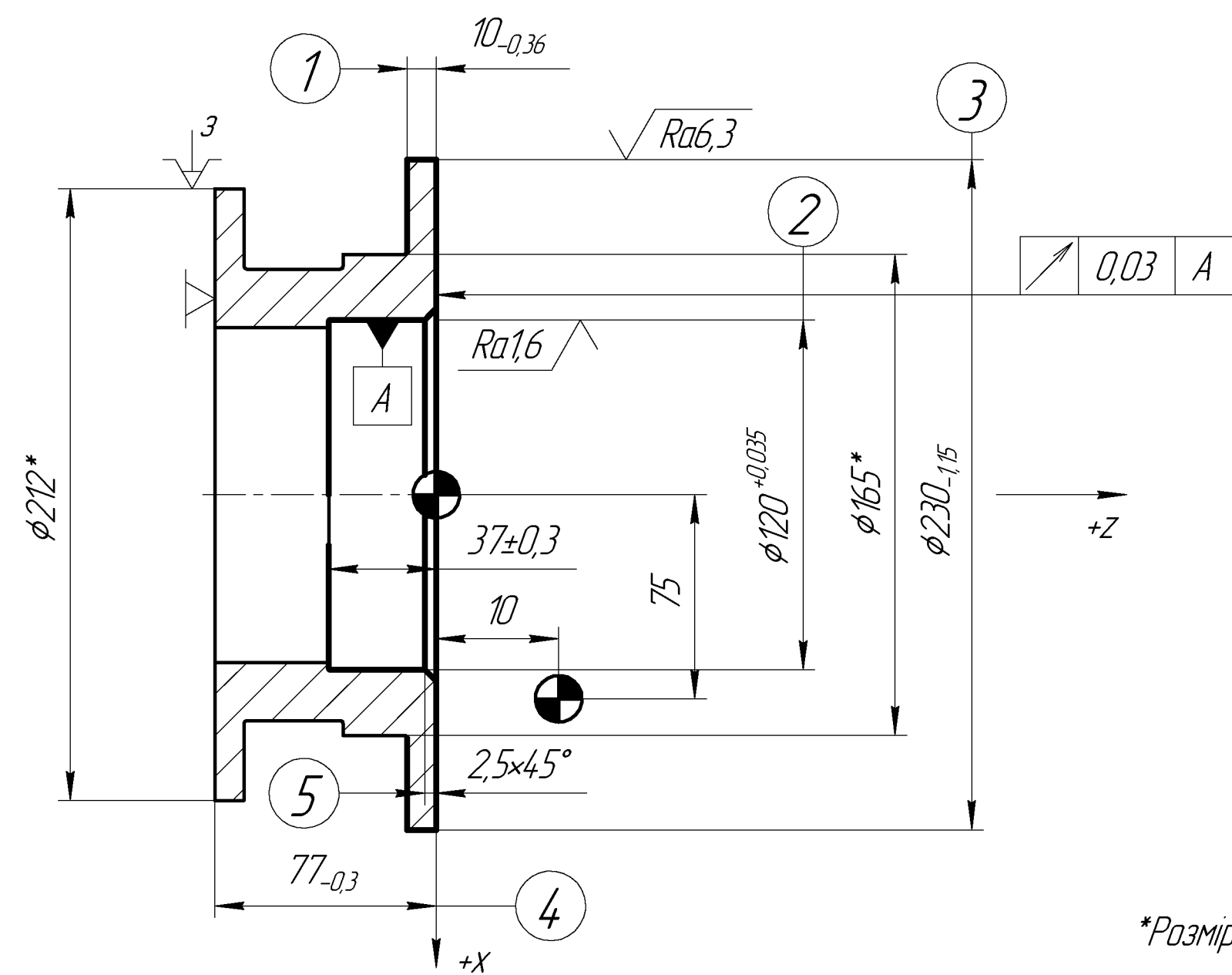
1. Твердість 302...332 НВ.
2. Невказані граничні відхилення: Н14, h14; $\pm IT14/2$.
3. Покрыття: КД9.хр.

					КНУ.КБР.13126.1-10.Ф			
Зм. Арх. Разработ. Керівник	Арх. Керівник	№ док. Керівник	Підпис Керівник	Дата	Фланець	Лист	Маса	Масштаб
						Н	7,5	1:1
						Архив		
						Архив		
						1		
Нижня Затв.	Нечисл Разработ	Сталь 40Х ДСТУ 7806:2015			Кафедра ТМ гр. ПМ-22			



1. Кування штамповане відпалити. 262...321НВ.
2. Незазначені радіуси закруглення R2...3.
3. Допускаються поверхневі дефекти глибиною до 50% фактичного припуску на механічну обробку.
4. Допускається овальність, неплоскостність в межах допуску на розміри кування штампованого.
5. Зсув по лінії рознімання штамп – 0,4мм.
6. Клас точності – Т4.
7. Вихідний індекс – 15.

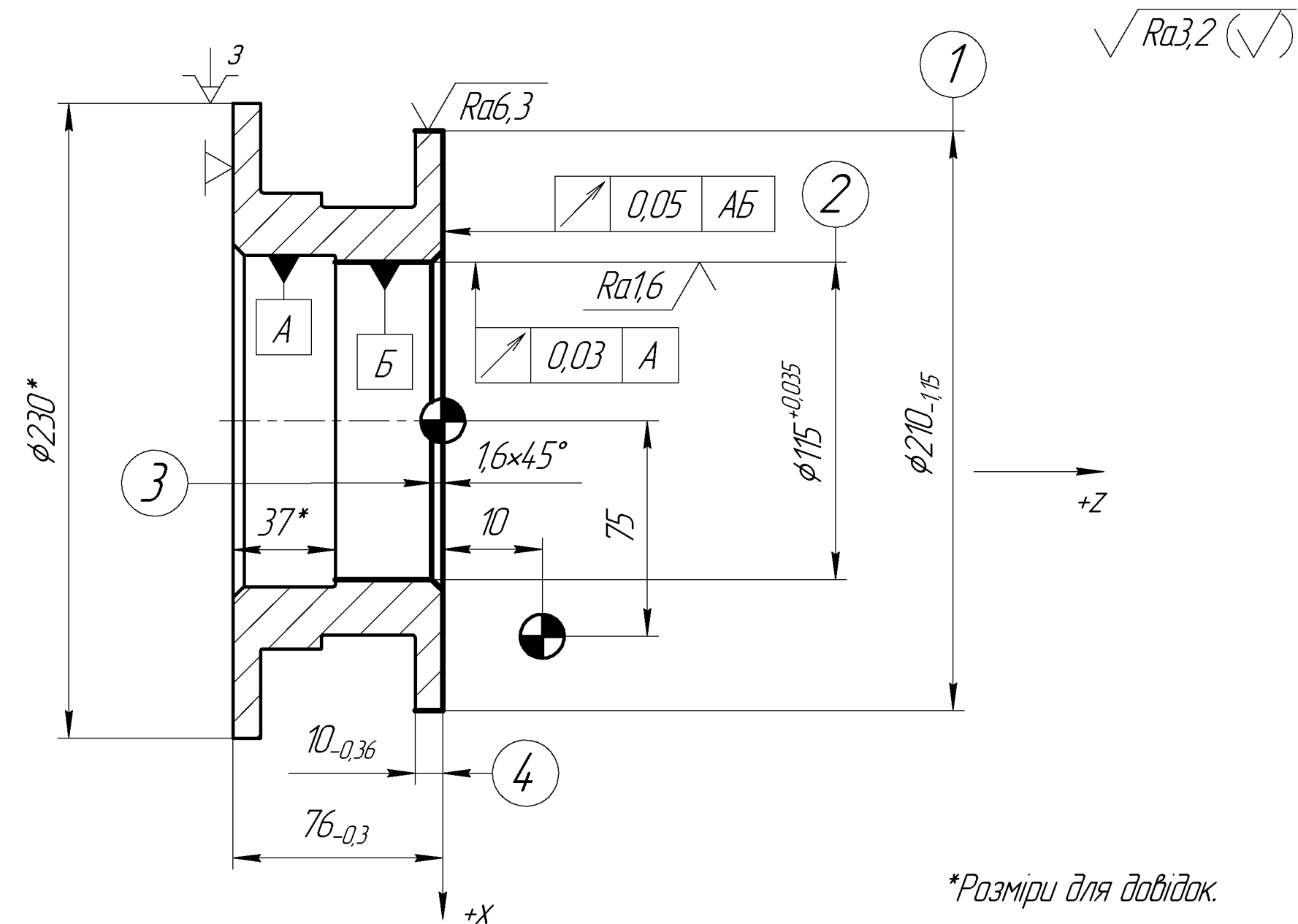
КНУ.КБР.131.26.1-10.ФКШ					Фланець (кування штамповане)		
					Лит.	Маса	Масштаб
					Н		1:1
					Аркцш	Аркцшів	1
					Кафедра ТМ гр. ПМ-22		
Зм.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата	Сталь 40Х ДСТУ 7806:2015		
Розробив	Кедровський						
Керівник	Нечаєв						
Н.контр.	Нечаєв						
Затв.	Рязанцев						

$\sqrt{Ra_{3,2}} (\checkmark)$ 

⑤	2,5x45°	5.Разточити фаску	0,5	0,1	60	160	1	9,5	19,23
②	$\phi 120_{-0,035}^{+0,05}$	4.Разточити пов.	1/0,5	0,2	38/60	100/160	1/1		
③	$\phi 230_{-1,5}^{+0,15}$	3.Обточити пов.	1	0,2	72	100	1		
①	10 _{-0,36}	2.Підрізати торець	1	0,2	72	100	1		
④	72 _{-0,3}	1.Підрізати торець	1	0,2	72	100	1		
№ п.п.	Поверхня мм	Переходи	t мм	S мм/об	V м/хв	n об/хв	i	T ₀ хв	T _{шт} хв

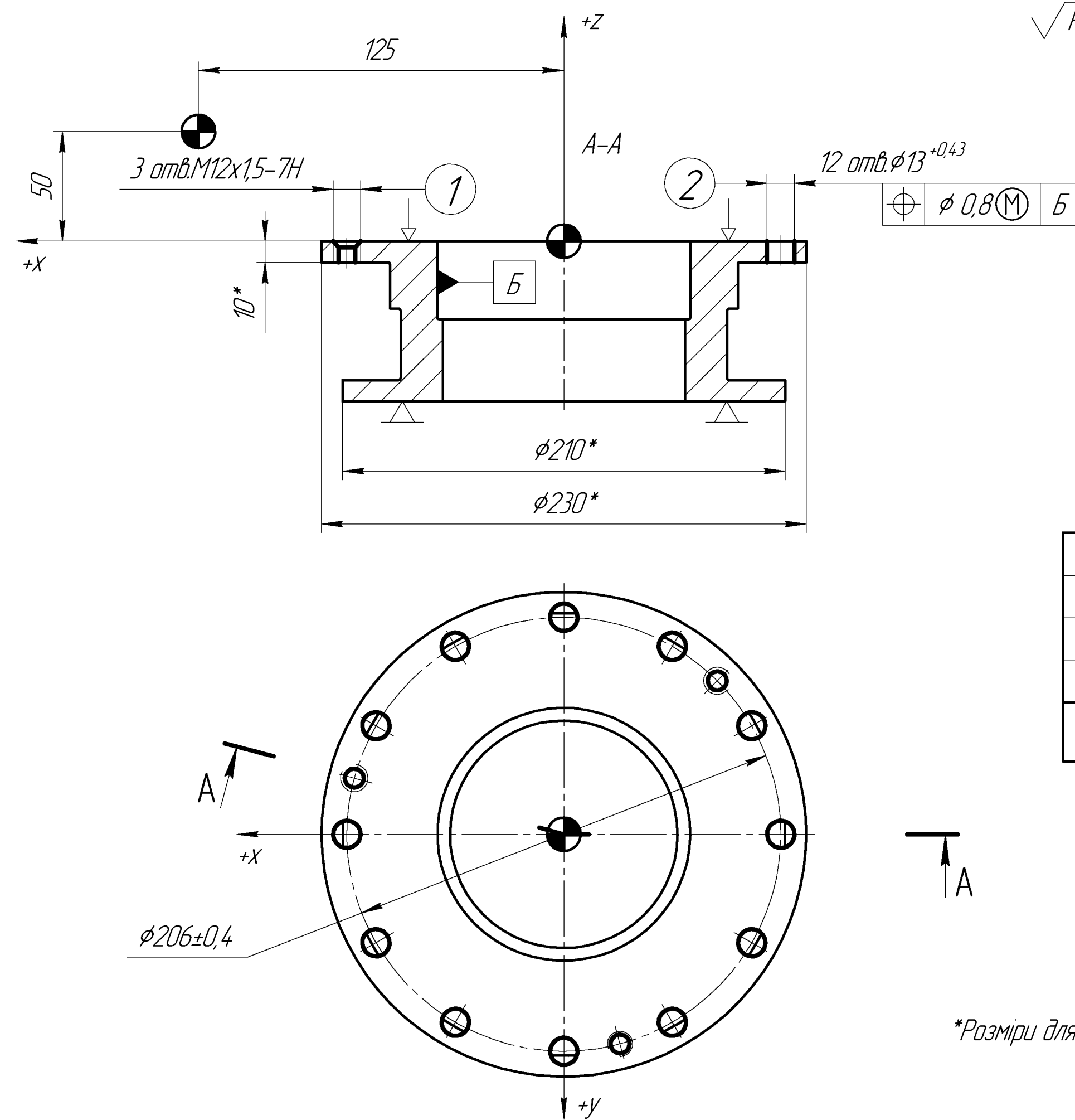
**Розміри для довідок.*

Установ А



3	16x45°	4.Разточити фаску	0,5	0,1	58	160	1	6,7	14,65
2	$\phi 115_{-0,035}^{+0,035}$	3.Разточити пов.	1/0,5	0,2	36/58	100/160	1/1		
1	$\phi 210_{-0,15}$	2.Обточити пов.	1	0,2	66	100	1		
4	76 _{-0,3}	1.Підіграти торець	1	0,2	66	100	1		
№ пов.	Поверхня мм	Переходи	t мм	S мм/об	V м/хв	n об/хв	i	T _о хв	T _{шт} хв

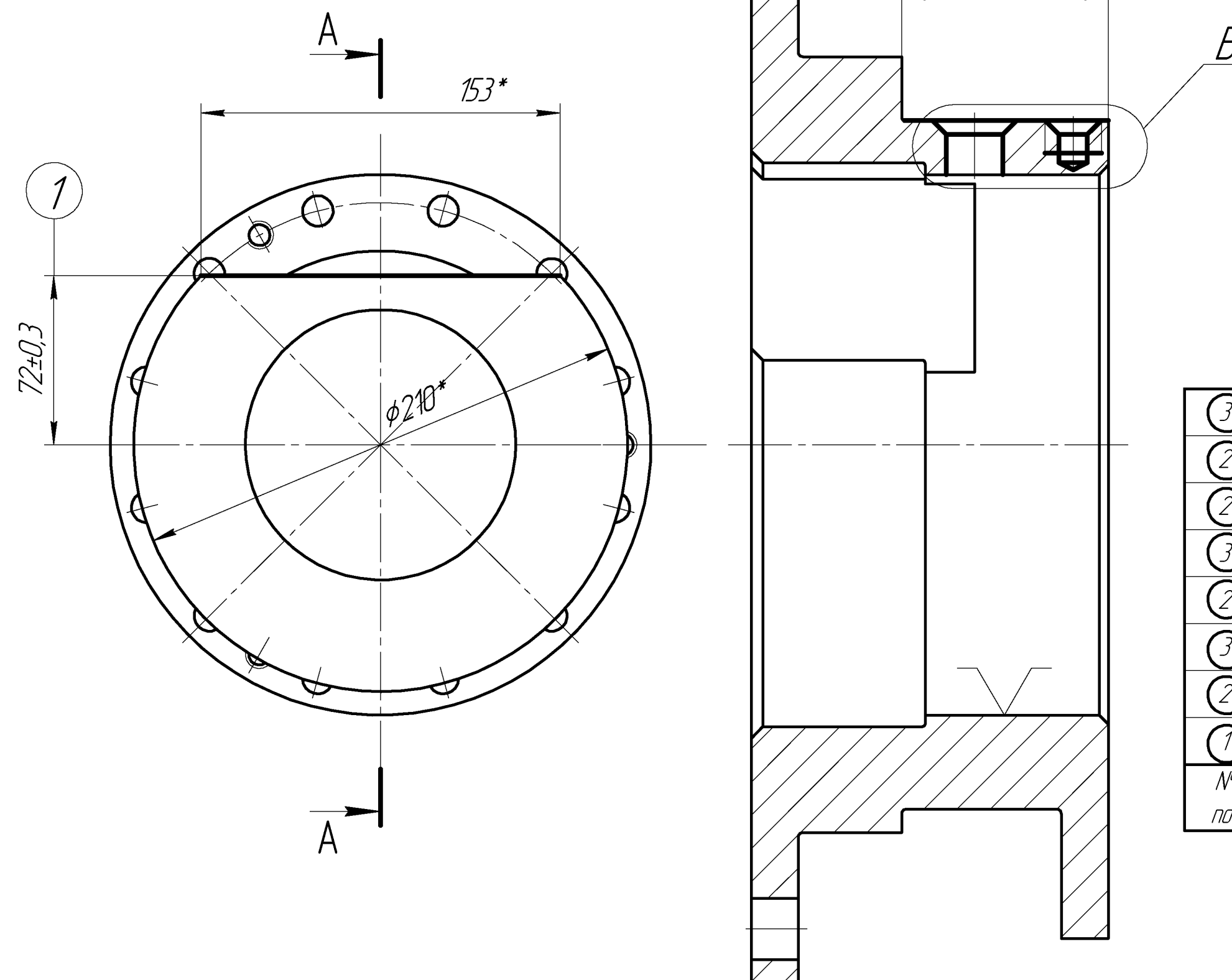
**Розміри для довідок.*



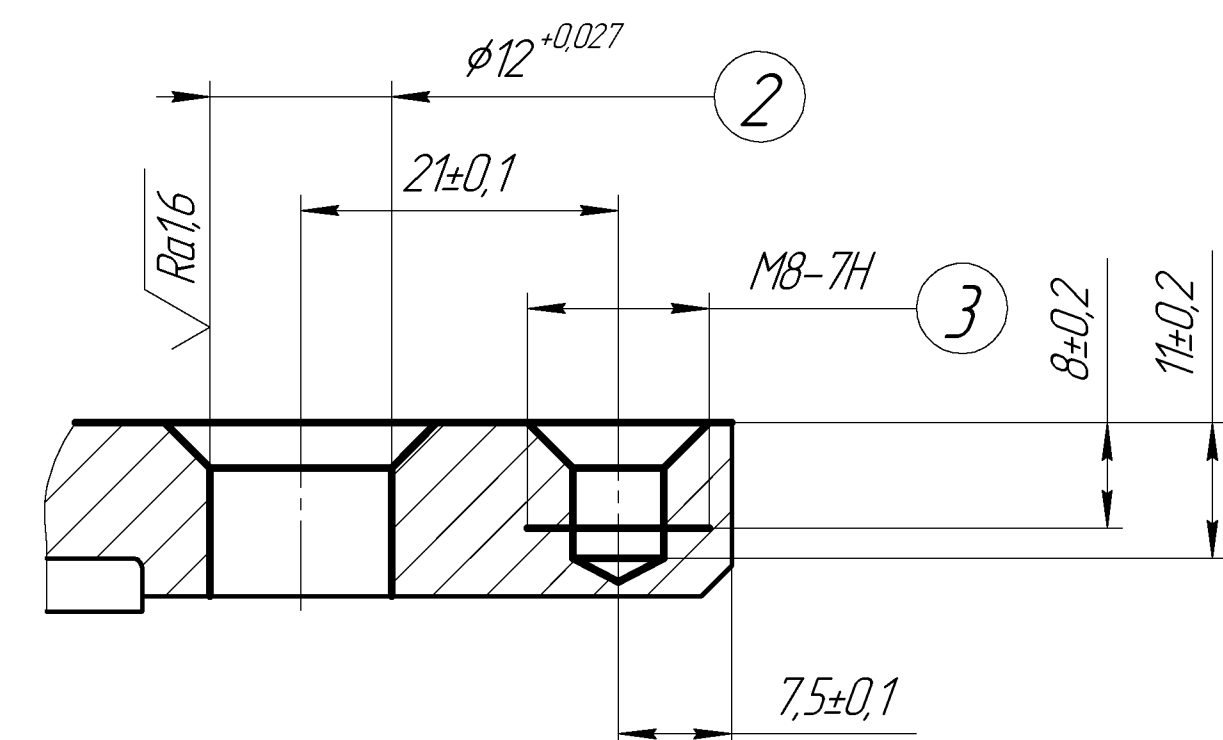
*Розміри для довідок.

Установ В

A-A (1:1)



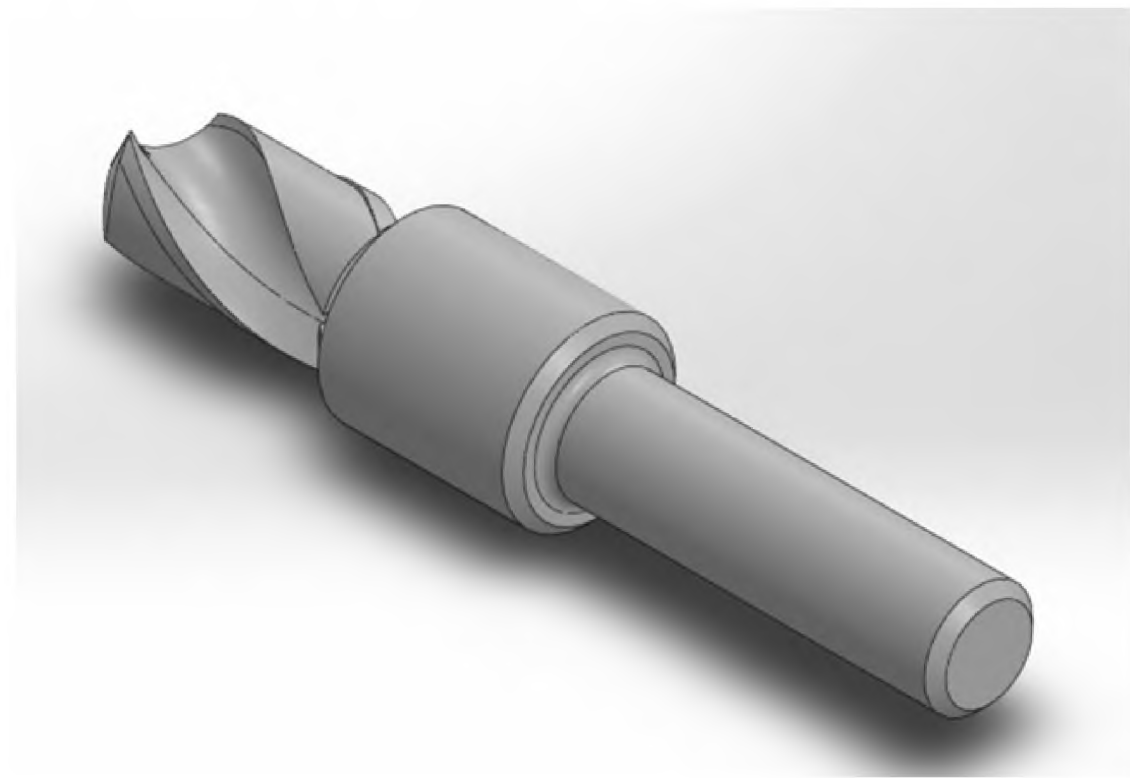
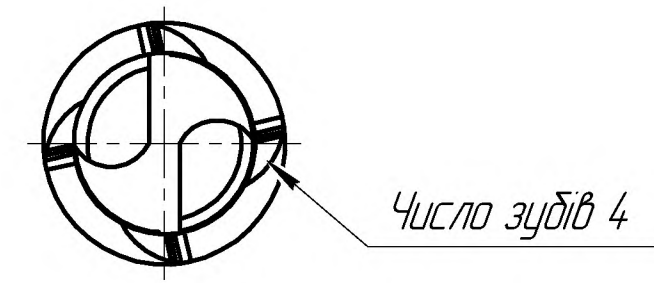
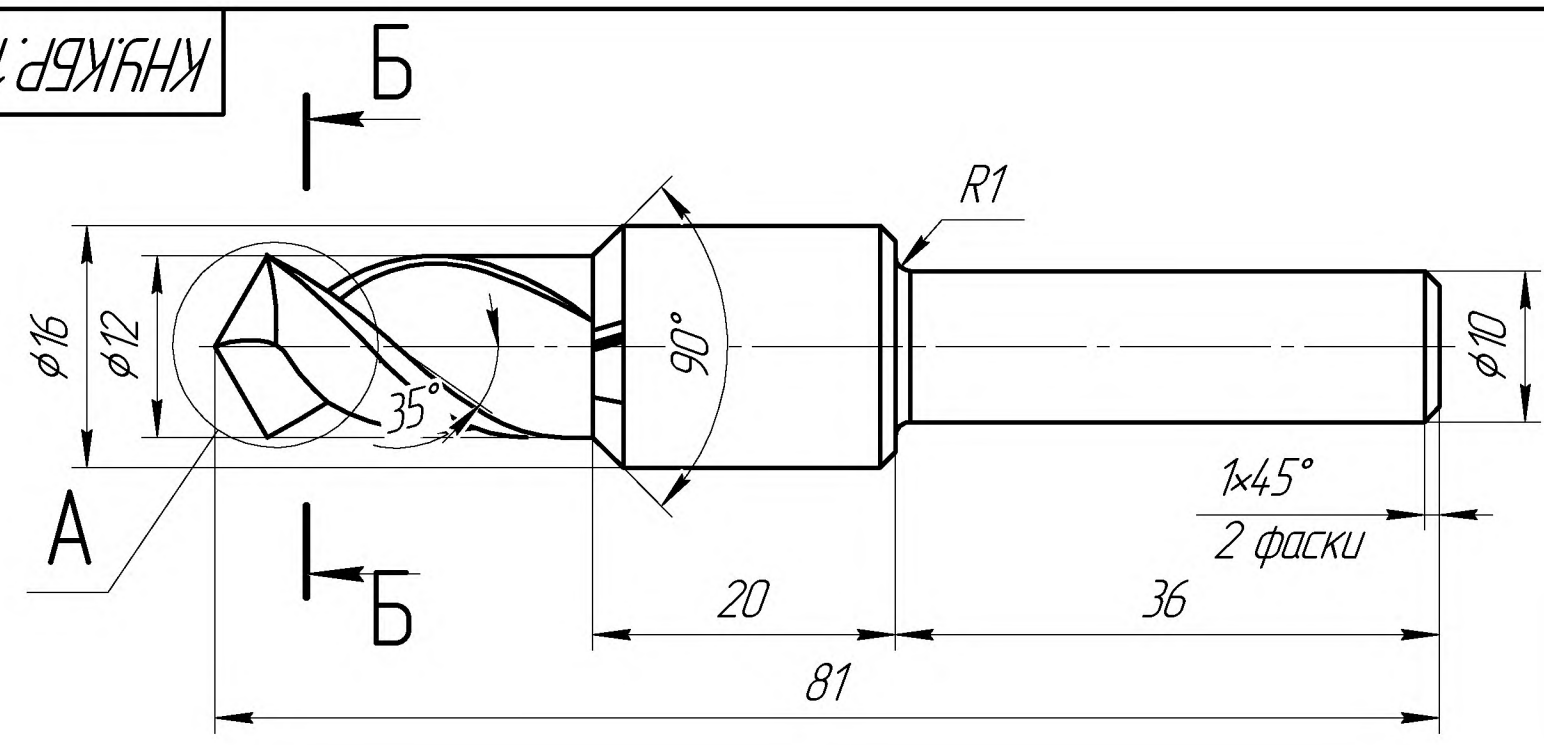
B (4:1)



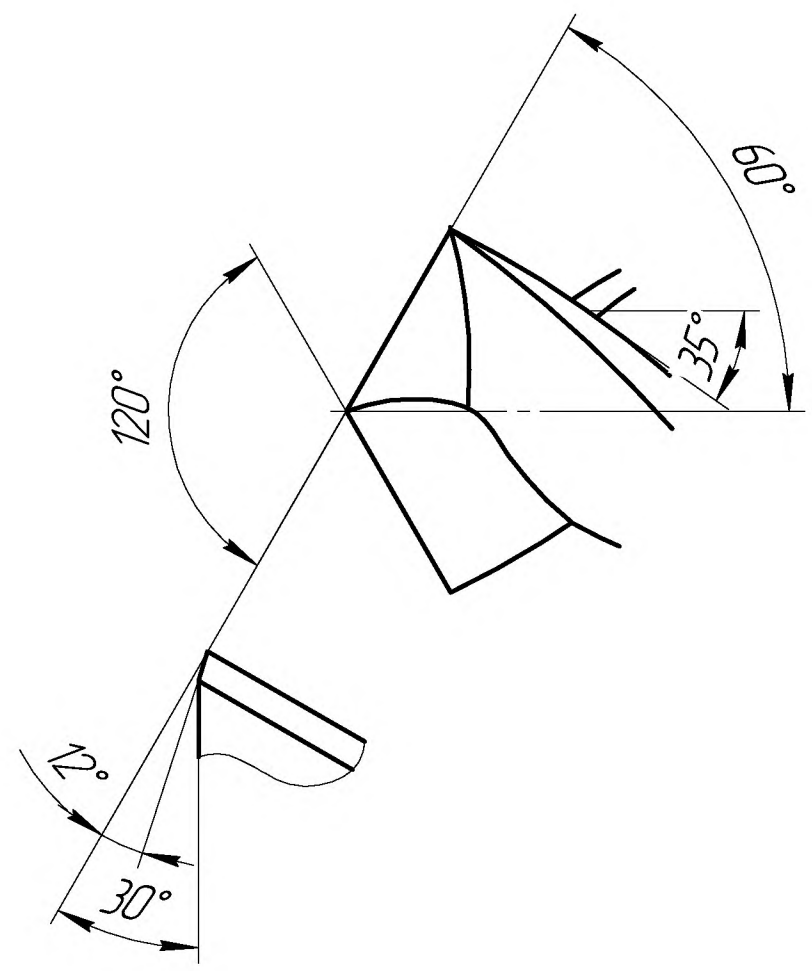
3	M8-7H	8Норизати різьбду	1	1	13	50	3	1344	2368
2	$\phi 12^{+0,027}$	7Розгорнути отв. начисто	0,02	0,1	7,5	200	1		
2	$11,95^{+0,05}$	6Розгорнути отв. начорно	0,08	0,3	5,3	140	1		
3	1x45°	5Зенкувати фаску	0,5	0,1	7,8	250	1		
2	1x45°	4Зенкувати фаску	0,5	0,1	12,6	250	1		
3	$\phi 67^{+0,2}$	3Свердлими отв.	3,5	0,11	8,4	400	1		
2	$\phi 11^{+0,2}$	2Свердлими отв.	5,5	0,12	13,8	400	1		
1	72±0,3	1Фрезерувати уступ	4,7	0,8	40	160	7		
№ підв.	Поверхня мм	Переходи	t мм	S мм/об	V м/хв	n об/хв	i	T ₀ хв	T _{шт} хв

						<i>КНУКБР.131.26.1-10.ЕО</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Ескізи операцій</i>			
<i>Раздобів Керівник</i>		<i>Кафедриський Нечасів</i>						
<i>Н.Контат. Злітп.</i>		<i>Нечасів Раздобів</i>			<i>Лит.</i>		<i>Маса</i>	<i>Максимальна</i>
					<i>H</i>			<i>12</i>
					<i>Аркуш</i>		<i>Аркушів</i>	<i>1</i>
					<i>Кафедра ТМ гр. ПМ-22</i>			

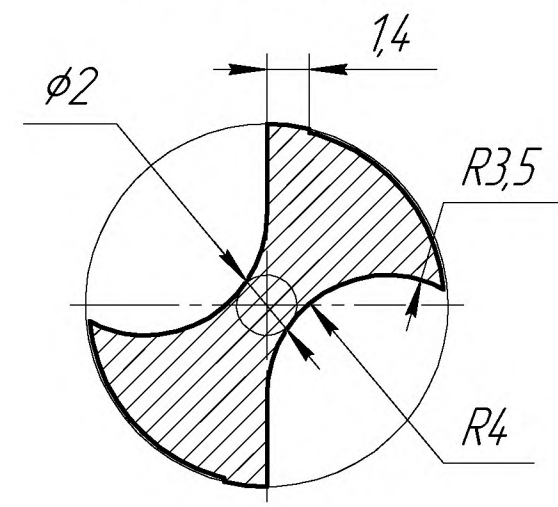
✓ Ra 0,80 (✓)



A(4:1)

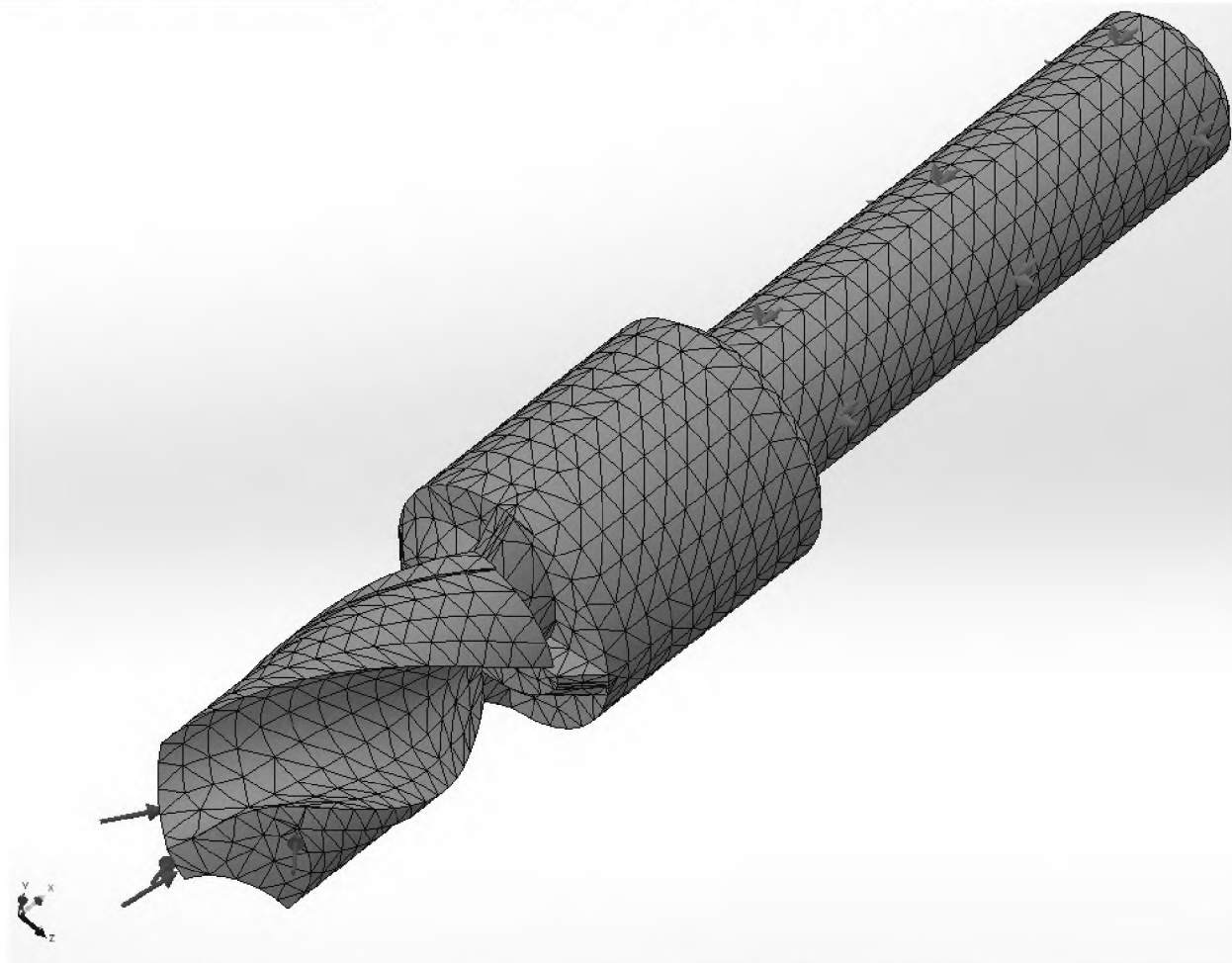


Б-Б(4:1)

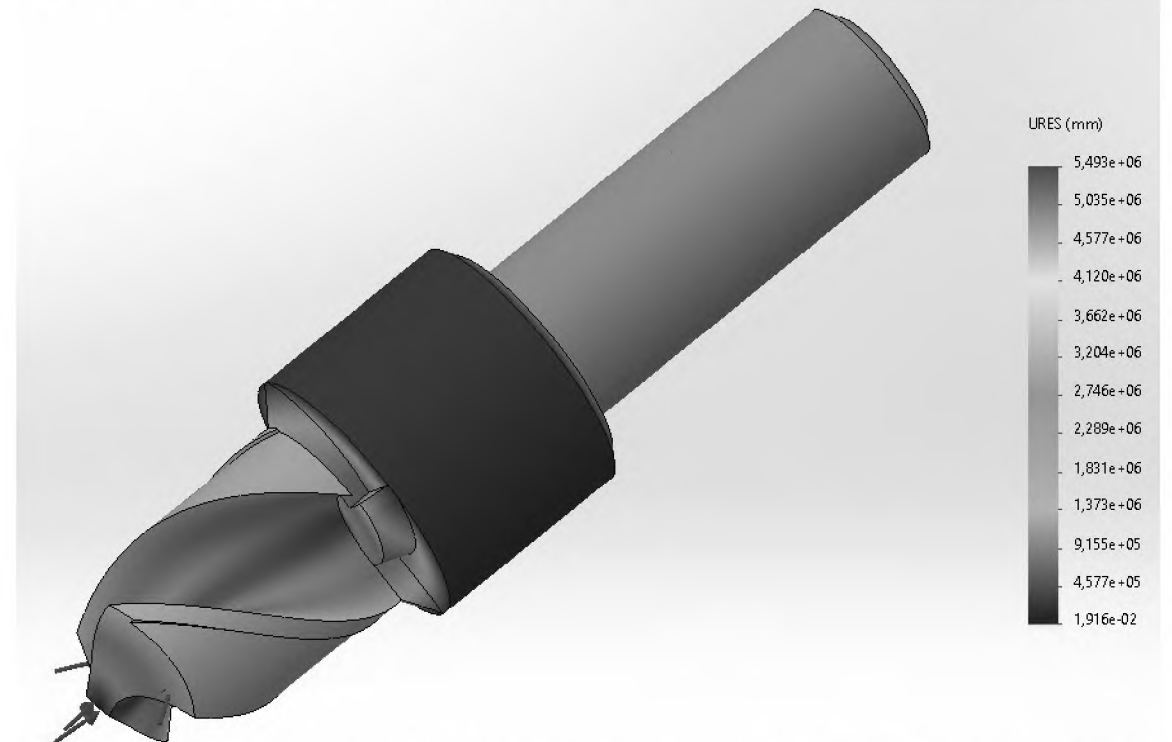
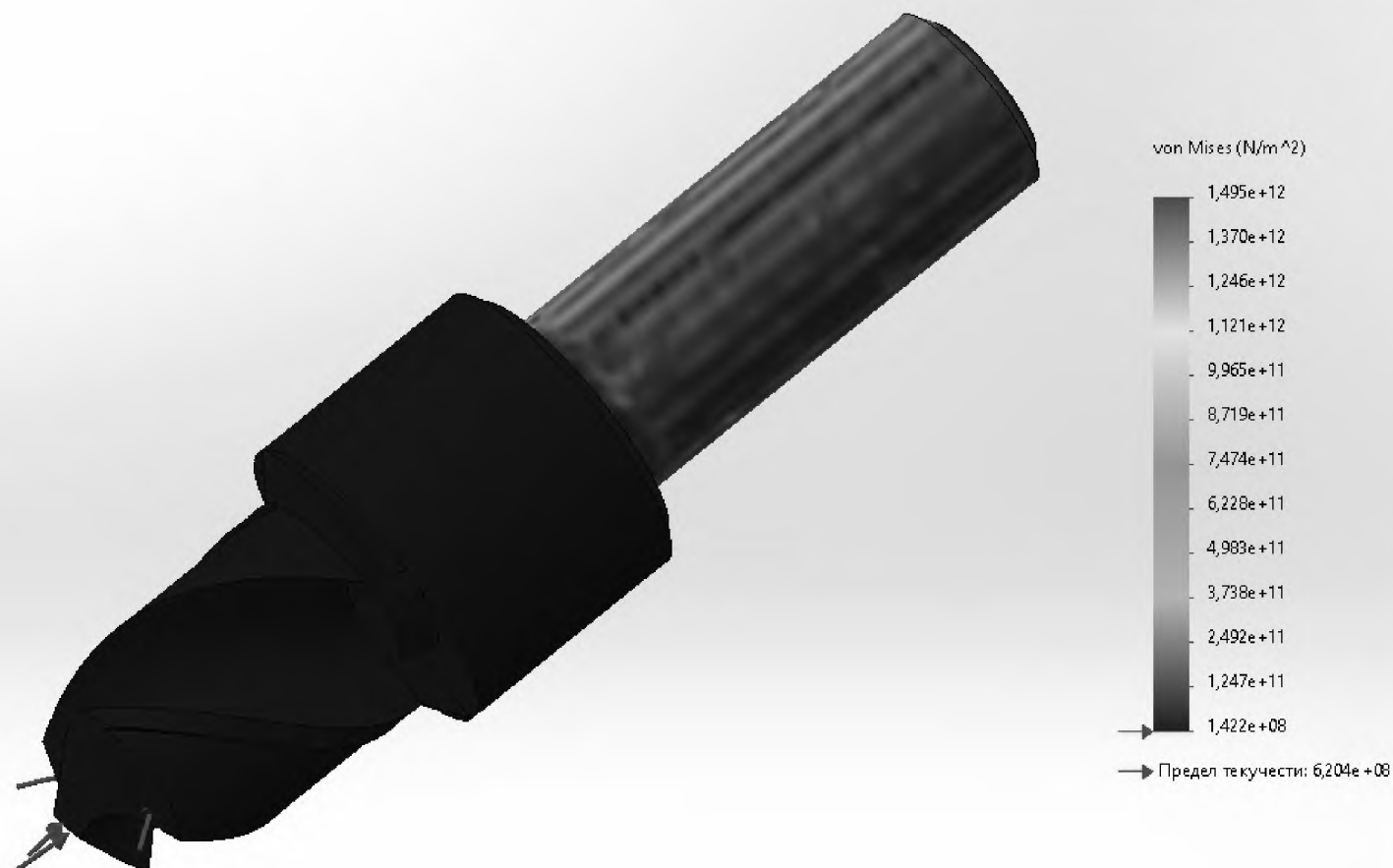


1 Матеріал ріжучих частин – Сталь Р6М5 ДСТУ 7304:2013, іншої частини – Сталь 40 ДСТУ 7809:2015.
2 Невказані граничні відхилення розмірів отворів Н14, валів Н14, інших $\pm \frac{IT14}{2}$.

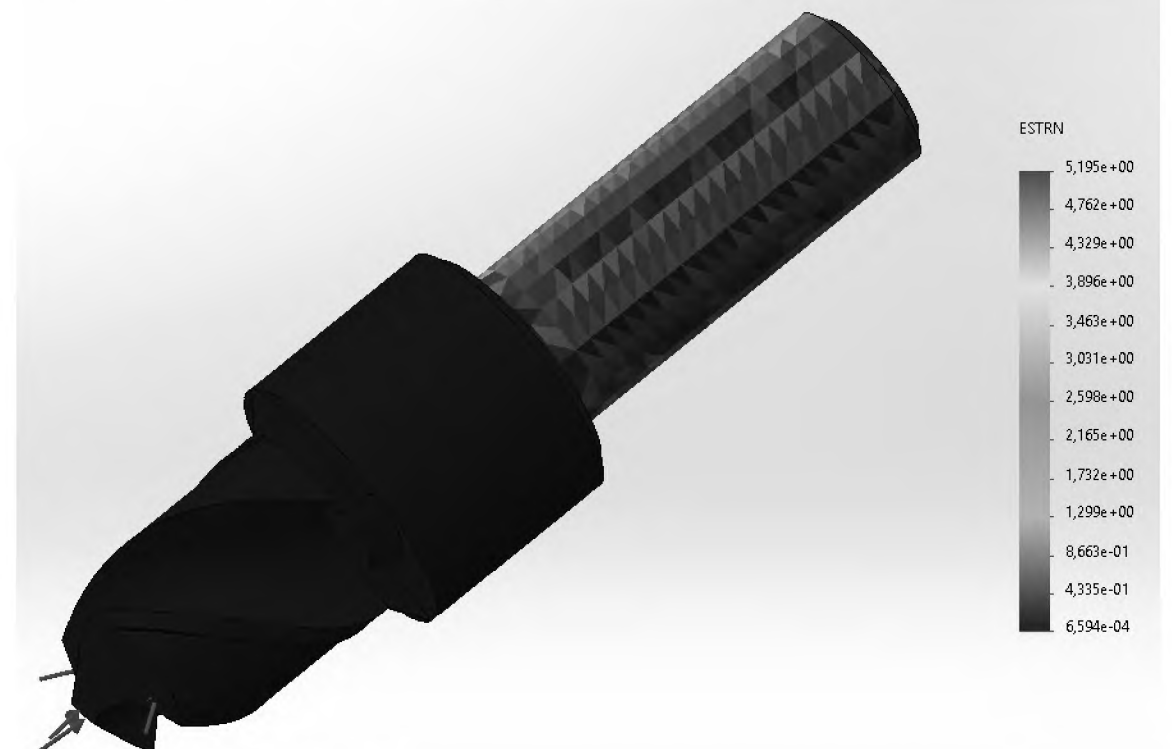
КНУ.КБР.131.26.1-10.СЗ					Свердло-зенківка		
Зм. Лист	№ докум.	Підпис	Дата		Літ.	Маса	Масштаб
Розробив	Кедровський				Н		2:1
Керівник	Нечаєв				Лист	Листів	1
Н.контр.	Рязанцев				Каф. ТМ		
Затв.	Нечаєв				гр. ПМ-22		



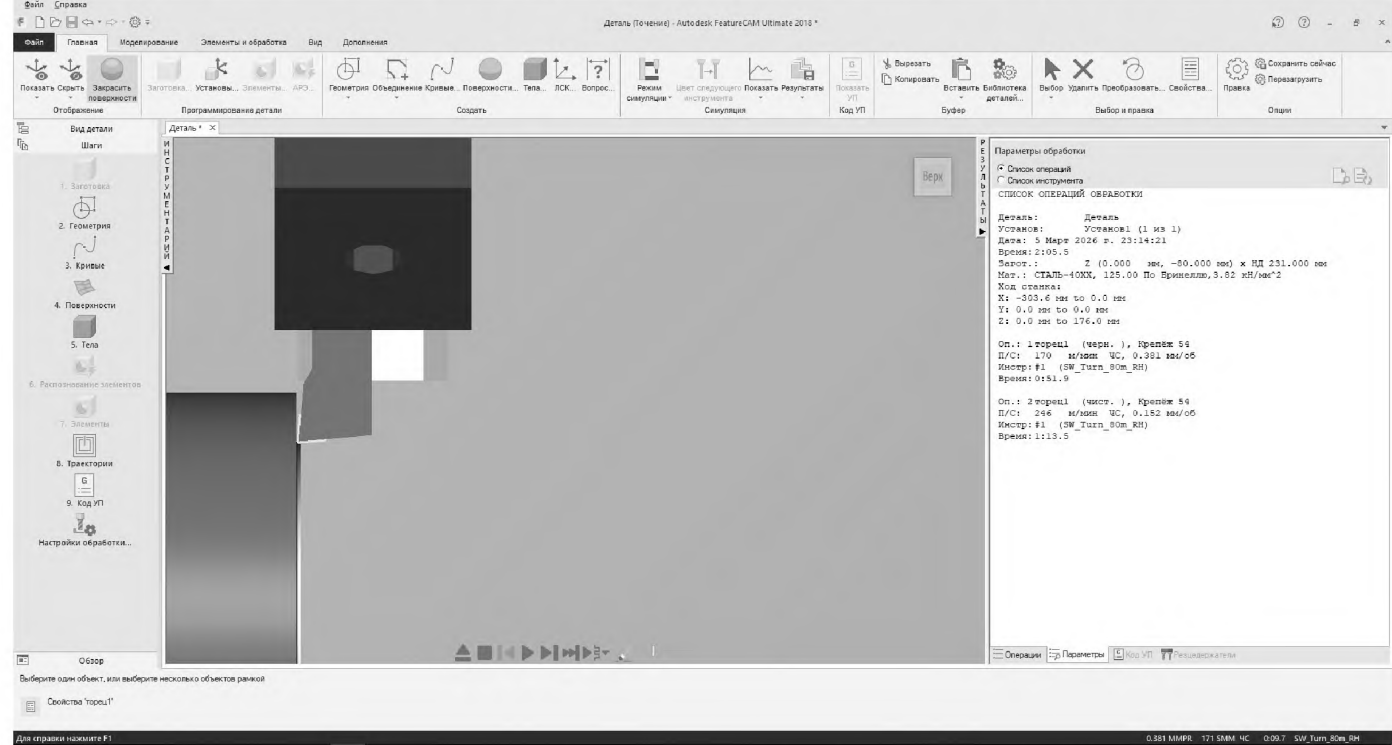
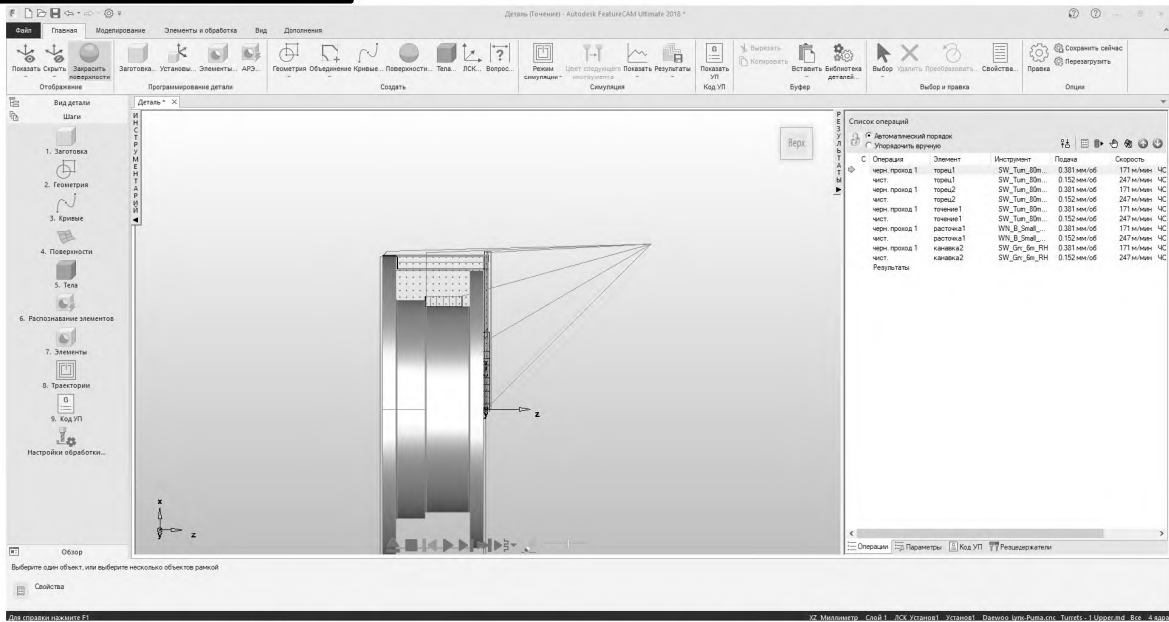
Дослідження «Напруження» в SW Simulation



Дослідження «Деформація» в SW Simulation

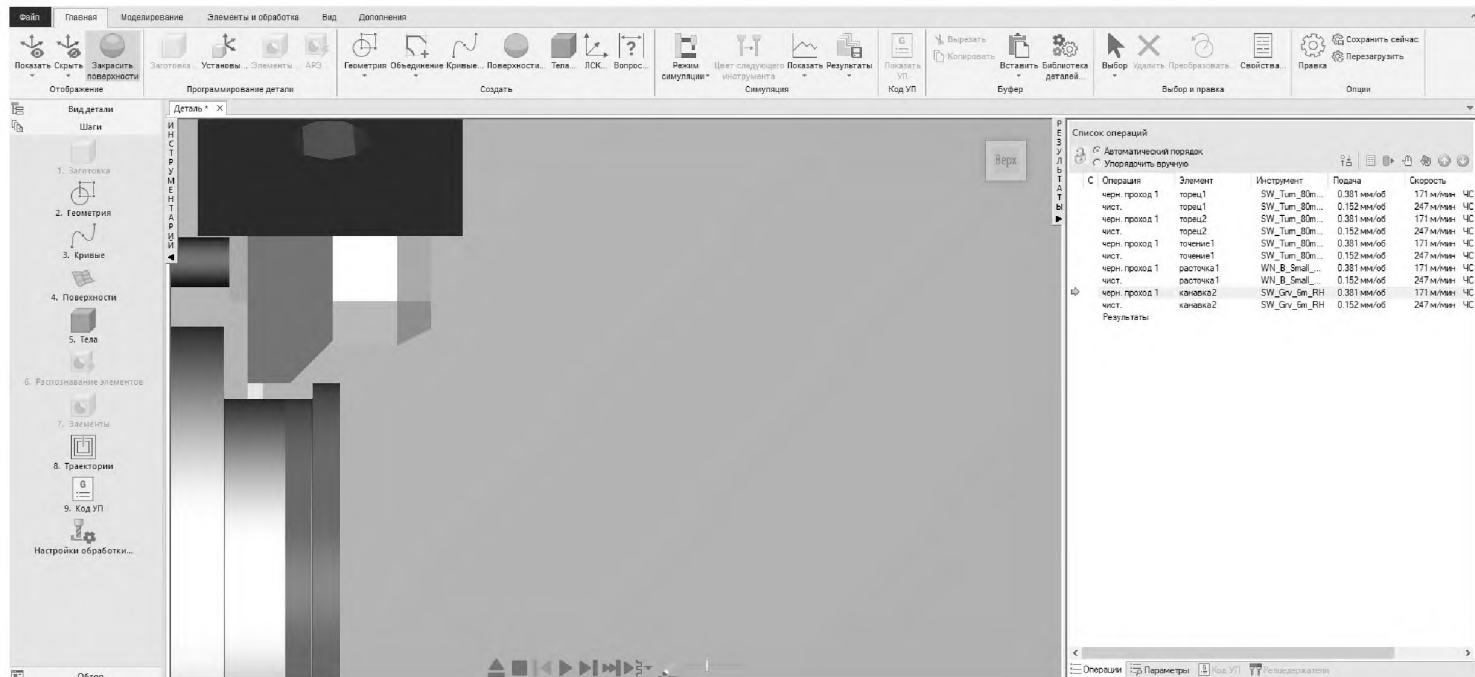
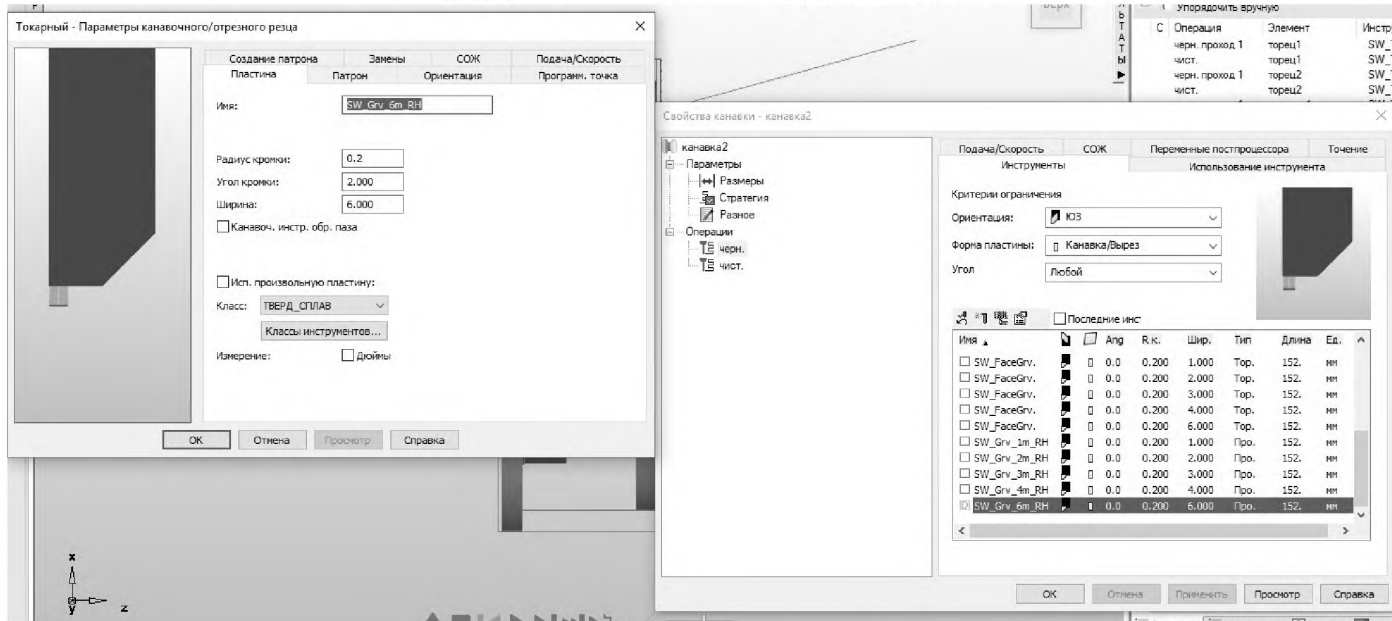


					КНУ.КБР.131.26.1-10.ІАСРІ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Інженерний аналіз спеціального різального інструменту	Літ.	Маса	Масштаб	
Розробив	Кедровський			Н					
Керівник	Нечаєв			Лист		Листів	1		
Н.контр.	Рязанцев				Кафедра ТМ гр. ПМ-202				
Затв.	Нечаєв								

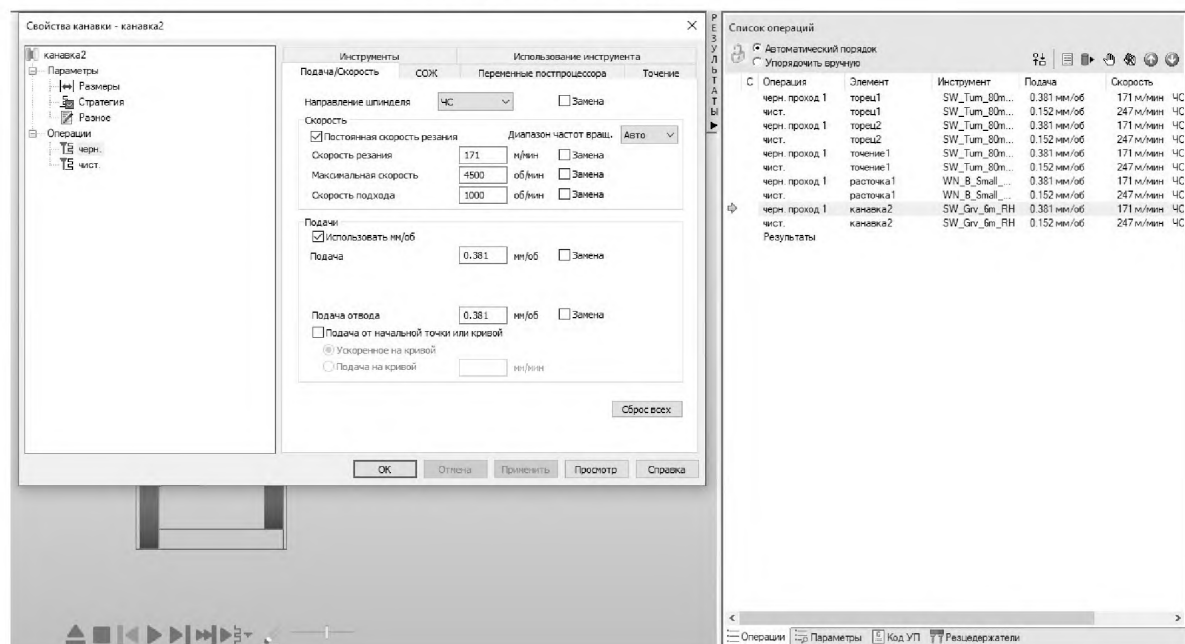


Етап вибору різального інструменту в меню програми

Фрагмент моделювання процесу обробки деталі (точіння канавки)



Вибір режимів різання



					КНУ.КБР.131.26.1-10.МПМО			
					Моделювання процесу механічної обробки	Літ.	Маса	Масштаб
						Н		
						Лист	Листів	1
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		Кафедра ТМ гр. ПМ-22		
Розробив	Кедровський							
Керівник	Нечаєв							
Н.контр.	Нечаєв							
Затв.	Рязанцев							