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

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Розробка технологічного забезпечення виготовлення деталей шестеренної кліті чотирьохвалкового стану 2500 з використанням систем автоматизації

Виконав: магістрант
групи ПМ-24м
Могилко О.О.

Керівник КМР:
к.т.н., доцент
Нечаєв В.П.

Кривий Ріг
2025 р.

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Розробка технологічного забезпечення виготовлення деталей шестеренної кліті чотирьохвалкового стану 2500 з використанням систем автоматизації

Виконав магістрант гр. ПМ-24м _____ Могилко О.О.
(підпис)

Керівник КМР _____ Нечаєв В.П.
(підпис)

Нормоконтроль _____ Нечаєв В.П.
(підпис)

Завідувач кафедри _____ Рязанцев А.О.
(підпис)

м. Кривий Ріг
2025 р.

Криворізький національний університет
Факультет: механічної інженерії та транспорту
Кафедра: технології машинобудування
Ступінь вищої освіти: магістр
Спеціальність: 131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма: Технології машинобудування

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

_____
(підпис)

_____
(дата)

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну магістерську роботу

Магістранта гр. ПМ-24м Могилко Олександра Олександровича

1. Тема: Розробка технологічного забезпечення виготовлення деталей шестеренної кліті чотирьохвалкового стану 2500 з використанням систем автоматизації.

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

Затверджена наказом по КНУ № _____ від « » _____ 2025 р.

2. Термін подання магістрантом закінченої роботи _____ 2025р.

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

4. Зміст пояснювальної записки: 1. Розробка та узгодження технічного завдання. 2. Проектування технологічного процесу складання. 3. Технологічна підготовка виробництва виробу. 4. Моделювання та програмування операцій механічної обробки. 5. Конструкторська підготовка виробництва. 6. Організаційно-економічна підготовка виробництва. 7. Комплексна оцінка ефективності проектних рішень з використанням інноваційно-наукових ресурсів

5. Перелік графічного матеріалу: 1. Креслення складального вузла. 2. Креслення заготовки деталі 3. Креслення деталі. 4. Креслення ескізів операцій. 5. Креслення верстатно-інструментального налагодження. 6. Креслення технологічного оснащення. 7. Креслення контрольного пристрою. 8. Креслення плану робочого місця. 9. Креслення наукової частини.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Організаційно-економічна підготовка виробництва	Нечаєв В.П. к.т.н., доцент		

7. Календарний план:

Розділи пояснювальної записки	**Термін виконання**
1 Розробка та узгодження технічного завдання	10.09.2025
1.1 Технічне завдання та аналіз вихідних даних	17.09.2025
1.2 Службове призначення виробу	22.09.2025
2 Проектування технологічного процесу складання	28.09.2025
3 Технологічна підготовка виробництва виробу	01.10.2025
3.1 Техніко-економічний аналіз вихідних даних для обробки деталі	05.10.2025
3.2 Проектування технологічного процесу обробки деталі	15.10.2025
4 Моделювання та програмування операцій механічної обробки	18.10.2025
5 Конструкторська підготовка виробництва	23.10.2025
6 Організаційно-економічна підготовка виробництва	24.10.2025
6.1 Техніко-економічне обґрунтування варіантів маршруту технологічного процесу	06.11.2025
6.2 Реконструкція механоскладального цеху	10.11.2025
6.3 Вибір та обґрунтування засобів та регламентів забезпечення охорони праці, безпечності життєдіяльності, екологічних вимог виробничих процесів	13.11.2025
7 Комплексна оцінка ефективності проектних рішень з використанням інноваційно-наукових ресурсів	16.11.2025
Висновки	23.11.2025
Додатки	25.11.2025
Попередній захист	08.12.2025

Дата видачі завдання: «____» _____ 2025 р.

Завдання видав керівник
кваліфікаційної магістерської роботи _____ / Нечаєв В.П./

Завдання отримав
магістрант _____ /Могилко О.О./

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме-чание
				Документація		
А4		1	КНУ.КМР.131.24.1-10.ПЗ	Пояснювальна записка	83	
А4		2	КНУ.КМР.131.24.1-10.ТПСК	Альбом тех.карт на ТП.СК.	3	
А4		3	КНУ.КМР.131.24.1-10.ТПВД	Альбом тех.карт на ТП		
				виготовлення деталі	12	
				Креслення		
А1		4	КНУ.КМР.131.24.1-10.ВШВСК	Валок шестеренний верхній	1	
				(складальне креслення)		
А2		5	КНУ.КМР.131.24.1-10.К	Кришка	1	
А3		6	КНУ.КМР.131.24.1-10.КВ	Кришка (відливка)	1	
А2		7	КНУ.КМР.131.24.1-10.ЕО	Ескізи операцій	1	
А1		8	КНУ.КМР.131.24.1-10.ВІН	Верстатно-інструментальне	1	
				налагодження		
А3		9	КНУ.КМР.131.24.1-10.ТО	Технологічне оснащення	1	
А3		10	КНУ.КМР.131.24.1-10.КП	Контрольне пристосування	1	
А2		11	КНУ.КМР.131.24.1-10.ПРМ	План робочого місця	1	
А1		12	КНУ.КМР.131.24.1-10.НДЧ	Науково - дослідна частина	1	

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Могилко		
Пров.		Нечаєв		
Н.контр.		Нечаєв		
Утв.		Рязанцев		

КНУ.КМР.131.25.1-10.ВМКМР

Відомість матеріалів КМР

Лит.	Лист	Листов
Н		1

Кафедра ТМ
гр. ПМ-24м

Копировал

Формат А4

РЕФЕРАТ

Тема КМР: «Розробка технологічного забезпечення виготовлення деталей шестеренної кліті чотирьохвалкового стану 2500 з використанням систем автоматизації»

Пояснювальна записка до КМР: 83 стор., 44 рисунки, 25 таблиці, комплект карт на 15 стор. на технологічні процеси механічної обробки деталі, 9 листів графічної частини.

Об'єкт дослідження – процес технологічної підготовки виробництва деталей шестеренних клітей прокатних станів.

Предмет дослідження – технологічне забезпечення виготовлення деталі «кришка» шестеренної кліті чотирьохвалкового стану 2500 з використанням систем автоматизації.

У сучасному машинобудуванні значна увага приділяється підвищенню ефективності виробництва, зменшенню трудомісткості та підвищенню якості деталей. Шестеренні кліті прокатних станів відіграють ключову роль у забезпеченні безперервності та надійності процесу прокатки металу. Їхні елементи, зокрема кришки корпусних вузлів, працюють у складних умовах підвищених навантажень та температур, що потребує високої точності виготовлення й надійності конструкції. Використання систем автоматизації при розробці технологічного забезпечення дозволяє оптимізувати процеси проєктування, зменшити вплив людського фактора та забезпечити стабільну якість продукції. Це підкреслює актуальність обраної теми для сучасної промисловості та наукових досліджень.

У магістерській роботі виконано дослідження та розробку технологічного процесу виготовлення деталі «кришка» шестеренної кліті чотирьохвалкового стану 2500. Розглянуто особливості конструкції та умови експлуатації деталі, проведено аналіз сучасних технологій та систем автоматизації, що застосовуються в машинобудуванні. На основі цього розроблено оптимізований технологічний процес виготовлення, який забезпечує підвищення точності та зниження трудомісткості. Особливу увагу приділено використанню сучасних CAD/CAM/CAE систем для автоматизованого проєктування й моделювання процесів. Отримані результати можуть бути використані на підприємствах важкого машинобудування для вдосконалення виробництва корпусних деталей прокатного обладнання.

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ШЕСТЕРЕННА КЛІТЬ, ЧОТИРЬОХВАЛКОВИЙ СТАН, КРИШКА, CAD/CAM/CAE СИСТЕМИ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ТОЧНІСТЬ, ПРОДУКТИВНІСТЬ, МАШИНОБУДУВАННЯ.

ABSTRACT

Subject: «Development of technological support for the manufacture of components for the gear housing of the 2500 four-high mill applying automation systems».

Explanatory note to the Ministry of Interior: 83 pages, 44 figures, 25 tables, a set of maps on 15 pages. on technological processes of mechanical processing of parts, 9 sheets of the graphic part.

The object of the research is the process of technological preparation for the production of gear-stand components in rolling mills.

The subject of the research is the technological support for manufacturing the “cover” component of the gear stand of a 2500 four-high rolling mill using automation systems.

In modern mechanical engineering, considerable attention is given to increasing production efficiency, reducing labor intensity, and improving the quality of components. Gear stands of rolling mills play a key role in ensuring the continuity and reliability of the metal rolling process. Their elements, particularly the covers of housing assemblies, operate under complex conditions of elevated loads and temperatures, which requires high manufacturing accuracy and structural reliability. The use of automation systems in the development of technological support makes it possible to optimize design processes, reduce human-factor influence, and ensure stable product quality. This highlights the relevance of the chosen topic for modern industry and scientific research.

In the master's thesis, a study and development of the technological process for manufacturing the “cover” component of the gear stand of a 2500 four-high rolling mill were carried out. The design features and operating conditions of the component were examined, along with an analysis of modern technologies and automation systems used in mechanical engineering. Based on this, an optimized technological manufacturing process was developed, ensuring increased accuracy and reduced labor intensity. Special attention was paid to the use of modern CAD/CAM/CAE systems for automated design and process modeling. The obtained results can be applied in heavy-machinery enterprises to improve the production of housing components for rolling-mill equipment.

TECHNOLOGICAL SUPPORT, GEAR STAND, FOUR-HIGH ROLLING MILL, COVER, CAD/CAM/CAE SYSTEMS, AUTOMATION, ACCURACY, PRODUCTIVITY, MECHANICAL ENGINEERING.

ЗМІСТ

Вступ 9
1 Розробка та узгодження технічного завдання 10
1.1 Технічне завдання та аналіз вихідних даних 10
1.2 Службове призначення об’єкту проєктної задачі 11
1.3 Вимоги до методів проектування, обладнання та технологій 13
2 Проектування технологічного процесу складання 14
2.1 Розрахунок лінійних розмірних ланцюгів 14
2.2 Розрахунок кутових розмірних ланцюгів 15
2.3 Технологічний процес складання 17
3 Технологічна підготовка виробництва виробу 18
3.1 Техніко-економічний аналіз вихідних даних для обробки деталі 18
3.2 Проектування технологічного процесу обробки деталі 23
4 Моделювання та програмування операцій механічної обробки 46
4.1 Розробка верстатно–інструментального налагодження та розрахунково-технологічної карти для операції на верстатах з ЧПК 46
4.2 Візуалізація та перевірка керуючих програм 49
5 Конструкторська підготовка виробництва 54
5.1 Проектування верстатного пристосування 54
5.2 Проектування контрольного пристрою 56
6 Організаційно-економічна підготовка виробництва 59
6.1 Проектування та організація робочого місця 59
6.2 Охорона праці та екологія виробництва 66
6.3 Розрахунки ключових техніко-економічних показників 68
7 Комплексна оцінка ефективності проектних рішень з використанням інноваційно-наукових ресурсів 72
7.1 Теоретичний аналіз підходів до вирішення проблеми 73
7.2 Засоби технічного діагностування 78
7.3 Висновки 80
Висновки 81
Список використаних джерел 82
Додатки 84

ВСТУП

Сукупність методів та заходів виготовлення машин, використаних у визначеній галузі виробництва, складає технологією цієї галузі, у зв'язку з цим виникли поняття: технологія обробки тиском, технологія складання машин. Усі ці області виробництва відносяться до технології машинобудування, охоплюючи усі етапи процесу виготовлення машинобудівельної продукції.

Однак під «технологією машинобудування» прийнято розуміти наукову дисципліну що вивчає переважно процеси механічної обробки деталей та складання машин та за одним заходом торкається питання вибору заготовок та засобів їх виготовлення.

Процес механічної обробки пов'язаний з експлуатацією складного обладнання – металорізальних верстатів, трудомісткості та собівартості механічної обробки більше, ніж на інших етапах процесу виготовлення машин.

У «технології машинобудування» комплексно вивчається питання взаємодії верстата й пристрою, ріжучого інструменту та оброблюючої деталі; шляхом побудов найбільш раціональних, таким чином найбільш виробничих та економічних, технологічних процесів обробки деталей машин, включає вибір обладнання та технологічного оснащення; засоби раціональної побудови технологічних процесів складання машин.

Питання, які характерні для технології виробництва спеціалізованих галузей, вивчаються у спеціальних керівництвах, таких, як «технологія автотракторного будівництва», «технологія двигунобудування», «технологія верстатобудування» і т.д. Технологія машинобудування як наукова дисципліна створена радянськими вченими. Початок формування цієї дисципліни відноситься до тридцятих років минулого століття. Розвиток технології механічної обробки та складання і її спрямованості обумовлюється стоячими перед машинобудівною промисловістю задачами вдосконалення технологічних процесів, пошуком та вивченням нових методів виробництва, подальшого розвитку та впровадження комплексної механізації та автоматизації виробничих процесів на базі досягнень науки та техніки, забезпечуючи найбільш високу продуктивність праці при належній якості та найменшій собівартості випускаючої продукції.

1 РОЗРОБКА ТА УЗГОДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Технічне завдання та аналіз вихідних даних

Тема магістерської роботи – «Розробка технологічного забезпечення виготовлення деталей (кришка) шестеренної кліті (рис. 1.1) чотирьохвалкового стану 2500 з використанням систем автоматизації». Дослідження спрямоване на вдосконалення технологічних процесів виготовлення корпусних деталей важкого машинобудування з урахуванням сучасних методів автоматизації проектування, моделювання та контролю. Вихідними даними є: складальне креслення шестеренної кліті, креслення деталі «Кришка», обсяг (річний) випуску заданої деталі – 2500 шт.

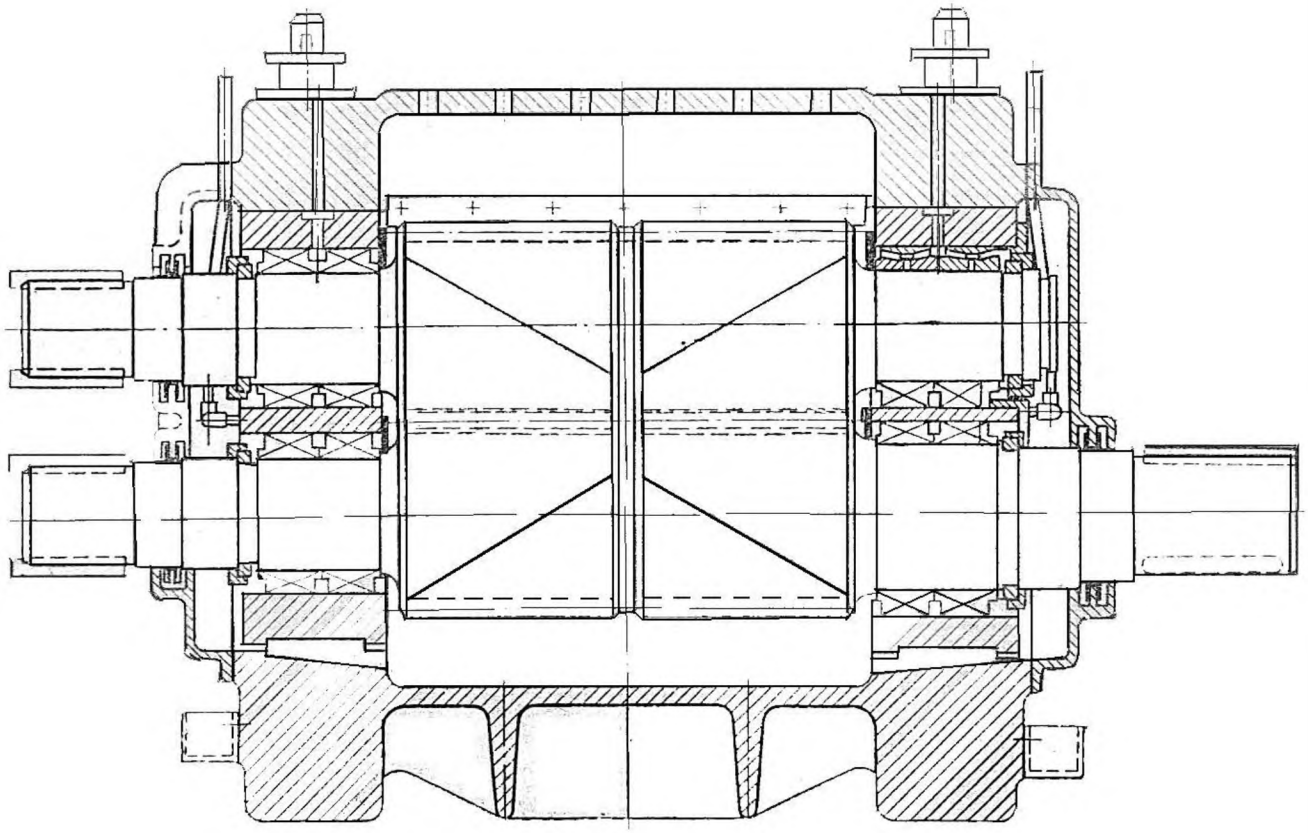


Рисунок 1.1 – Ескіз шестеренної кліті

Мета дослідження – розробка та вдосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «кришка» шестеренної кліті чотирьохвалкового стану 2500 з використанням систем автоматизації для забезпечення високої точності та надійності виробу.

Для досягнення поставленої мети передбачено виконання таких завдань:

• провести аналіз конструктивних особливостей та умов експлуатації деталі;

• здійснити огляд сучасних технологій і систем автоматизації, застосовуваних у машинобудуванні;

• розробити технологічний процес виготовлення деталі з урахуванням вимог точності та продуктивності;

• використати CAD/CAM системи для моделювання та перевірки обраних технологічних рішень;

• виконати техніко-економічне обґрунтування запропонованих удосконалень.

1.2 Службове призначення об’єкту проєктної задачі

Прокатний стан (чотирьохвалковий стан 2500, рис. 1.2) – це комплекс обладнання, призначений для пластичної деформації металевих заготовок шляхом обтискання між обертовими валками, щоб перетворити їх на готові вироби із заданою формою і поперечним перерізом. На металургійних комбінатах він є завершальним етапом виробництва сортового прокату, наприклад, труб, швелерів, рейок, листів або арматури.

Рисунок 1.2 – Загальний вигляд прокатного стану

Прокатний стан працює наступним чином:

Заготовка: починається з розігрітої (гаряча прокатка) або холодної (холодна прокатка) металевої заготовки. Валки: заготовка пропускається між двома або більше обертовими валками, які обертаються назустріч один одному. Деформація: валки, обертаючись, обтискають заготовку, зменшуючи її площу поперечного перерізу та збільшуючи довжину. Кінцевий продукт: в результаті процесу металева заготовка набуває заданої форми та розміру, перетворюючись на готовий виріб, такий як лист, арматура, швелер або рейка.

Прокатний стан в свою чергу складається з ряду клітей (рис. 1.3). В свою чергу кліть складається з електродвигуна, редуктора, шестеренної кліті, універсальних шпинделів, опорних валків та робочих валків. Режим роботи кожної кліті включає: холостий хід, захоплення смуги валками, прокатка на постійній швидкості, викид смуги з валків.

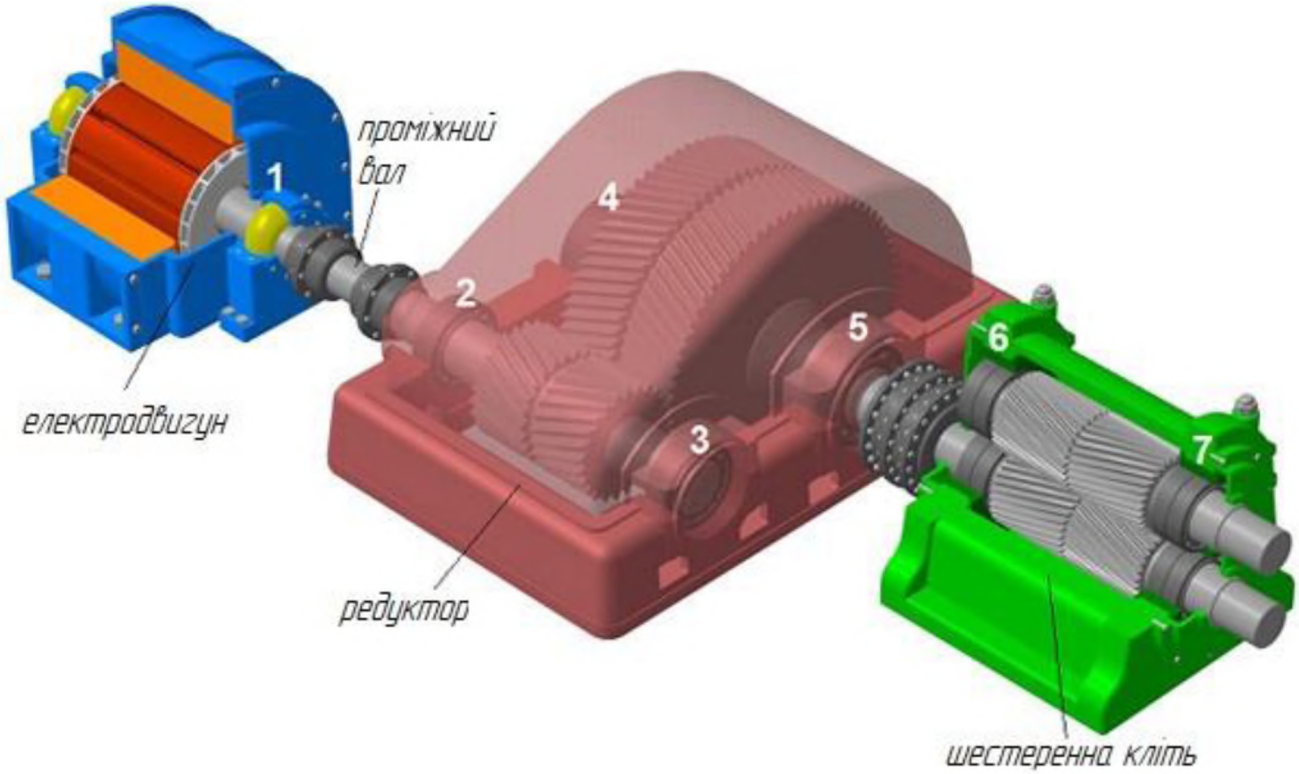


Рисунок 1.3 – Типова кліть прокатного стану

Безпосередньо шестеренні кліті (рис. 1.4), які є об’єктом проектування даної КМР, призначені для розділення обертового моменту, який отримується від головного двигуна, та привода валків стану. Шестеренні кліті передбачені в усіх прокатних станах.

Рисунок 1.4 – Загальний вигляд шестеренної кліті прокатного стану

1.3 Вимоги до методів проектування, обладнання та технологій

З огляду на те, що тема магістерської роботи передбачає використання автоматизованих систем проєктування, зокрема CAD-технологій, на основі вихідного двовимірного креслення було побудовано 3D-модель деталі «Кришка» шестеренної кліті (рис. 1.5). Отримана тривимірна модель слугуватиме основою для подальшого формування траєкторій обробки в CAM-системі.

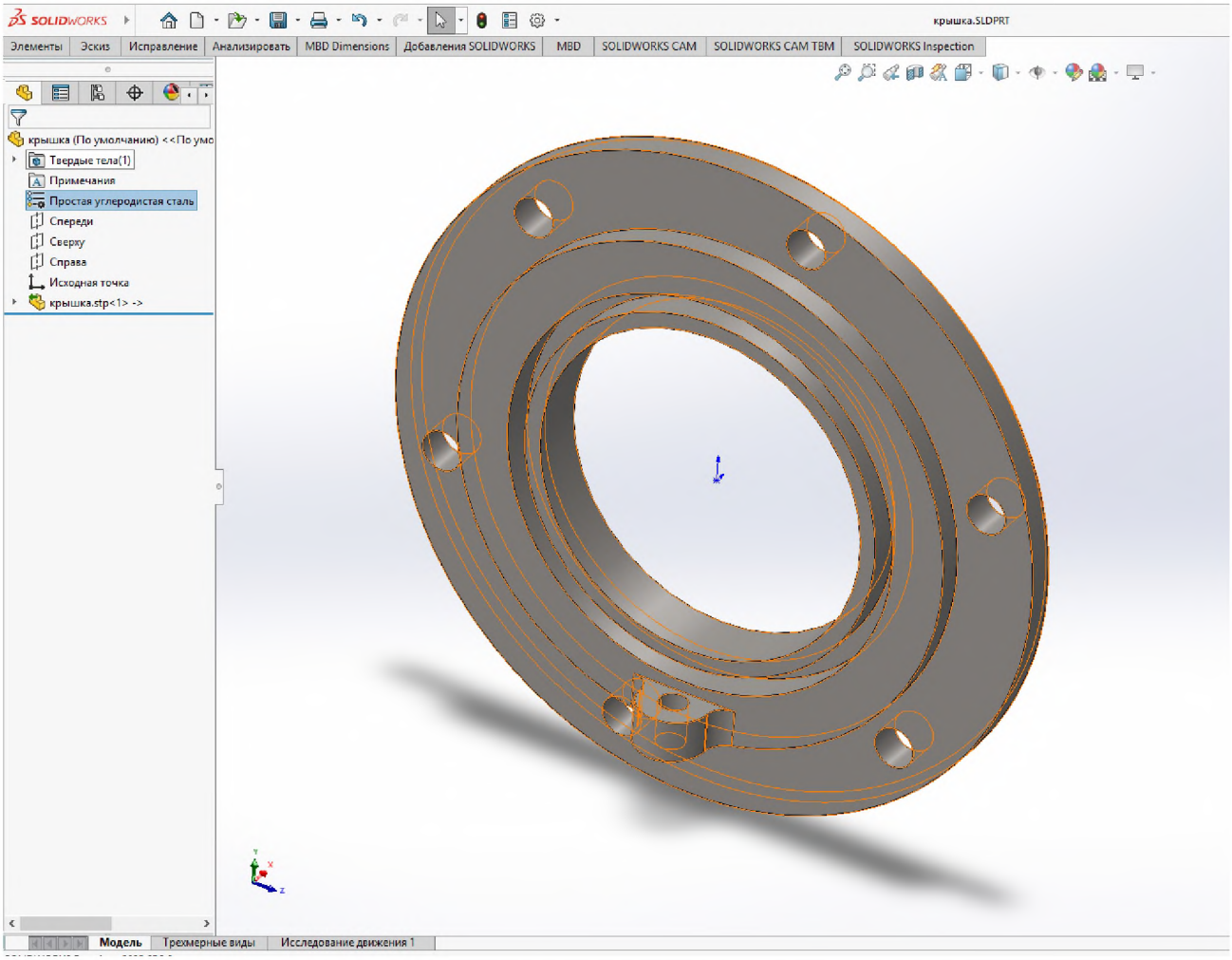


Рисунок 1.5 – 3D модель деталі «Кришка»

2 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ

Деталь Кришка є складовою частиною вузла прокатної шестеренної кліті, що входить у склад прокатного стану.

Прокатний стан складається з комплексу обладнання для прокатки металу, таким чином обладнання піддається значним силовим навантаженням, температурному впливу, корозії, абразивному зносу робочих частин обладнання, втомному руйнуванню викрашуванню робочих поверхонь деталей.

Деталь кришка входить у вузол шестеренної кліті. Вузол відноситься до силового, так як за призначенням повинен передавати значні крутні моменти.

2.1 Розрахунок лінійних розмірних ланцюгів

Для визначення методу складання розрахуємо розмірні ланцюги. Був виявлений лінійний розмірний ланцюг А [11, ст. 9], що визначає величину зазору між підшипником та дистанційним кільцем. Схема лінійного розмірного ланцюга представлена на рисунку 2.1.

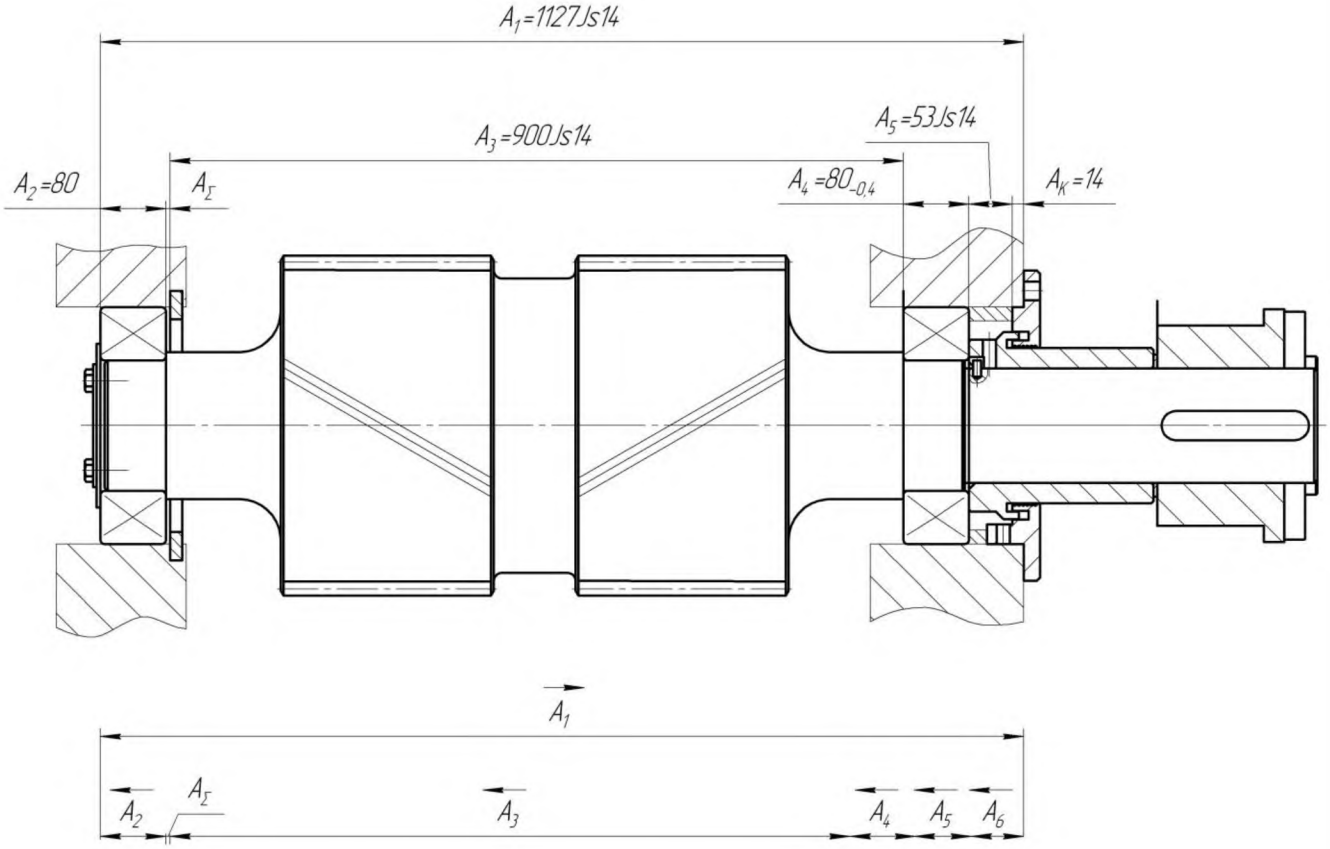


Рисунок 2.1 – Схема лінійного розмірного ланцюга А

Проводимо прямий розрахунок лінійного ланцюга за методикою розрахунку ланки-компенсатора.

Вихідні дані: A_1=1127Js14(±1,3), A_2=A_4=$80_{-0,4}$, A_3=900Js14(±1,15), A_5=53 Js14(±0,37), A_K =A_6=14±0,1, A_Σ =1±0,5мм.

Величина компенсації:

$$T_K = T_\Sigma - \lfloor T_\Sigma \rfloor \quad (2.1)$$

де T_Σ - технологічно досяжний допуск на замикаючу ланку,

$\lfloor T_\Sigma \rfloor$ - потрібний допуск на замикаючу ланку.

$$T_K = 7 - 1 = 6 мм$$

Необхідна кількість сходинок компенсатора:

$$N = \frac{T_K}{\lfloor T_\Sigma \rfloor - T_{КОМП}} + 1 = \frac{7}{1-0,2} + 1 = 9,75, \text{ приймаємо N=10,} \quad (2.2)$$

Уточнення величини сходинки компенсатора:

$$T_{CT} = \frac{T_K}{N-1} = \frac{7}{10-1} = 0,77 \text{ мм} \quad (2.3)$$

Середній розмір компенсатора:

$$A_{CK} = A_{КОМП} + \Delta C_{КОМП} + \Delta C_\Sigma - \lfloor \Delta C_\Sigma \rfloor \quad (2.4)$$

де $A_{КОМП}$ – номінальний розмір ланки-компенсатора, $\Delta C_{КОМП}$ - середина поля технологічно досяжного допуску ланки-компенсатора, $\lfloor \Delta C_\Sigma \rfloor$ - середина поля потрібного допуску ланки-компенсатора:

$$A_{CK} = 14+0+0-0 = 14 мм.$$

Граничні значення компенсатора:

$$A_{KMAX} = A_{CK} + \frac{T_K}{2} = 14 + \frac{7}{2} = 17,5 \text{ мм,} \quad (2.5)$$

$$A_{KMIN} = A_{CK} - \frac{T_K}{2} = 14 - \frac{7}{2} = 10,5 \text{ мм,} \quad (2.6)$$

Розміри сходинок змінних деталей визначаються шляхом віднімання величини сходинки компенсатора від максимального розміру ланки-компенсатора: 17,5±0,1мм, 16,73±0,1мм, 15,96±0,1мм, 15,19±0,1мм, 14,42±0,1мм, 13,65±0,1мм, 12,88±0,1мм, 12,11±0,1мм, 11,34±0,1мм, 10,5±0,1мм.

Отже ми визначили, що складання проводиться методом регулювання, в нашому випадку за допомогою ланки – компенсатора.

2.2 Розрахунок кутових розмірних ланцюгів

Схема кутового розмірного [11, ст. 11] ланцюга α представлена на рисунку 2.2. так як підшипники з валом та корпусом мають з'єднання з натягом та перехідні відповідно, то перекіс буде залежати від радіального зазору у підшипниках.

У вузлі використовують підшипники 3532-144 ISO 492:2002 – підшипник радіальний роликовий сферичний дворядний. Максимальний радіальний зазор становить $G_{РАД}$= 220мкм.

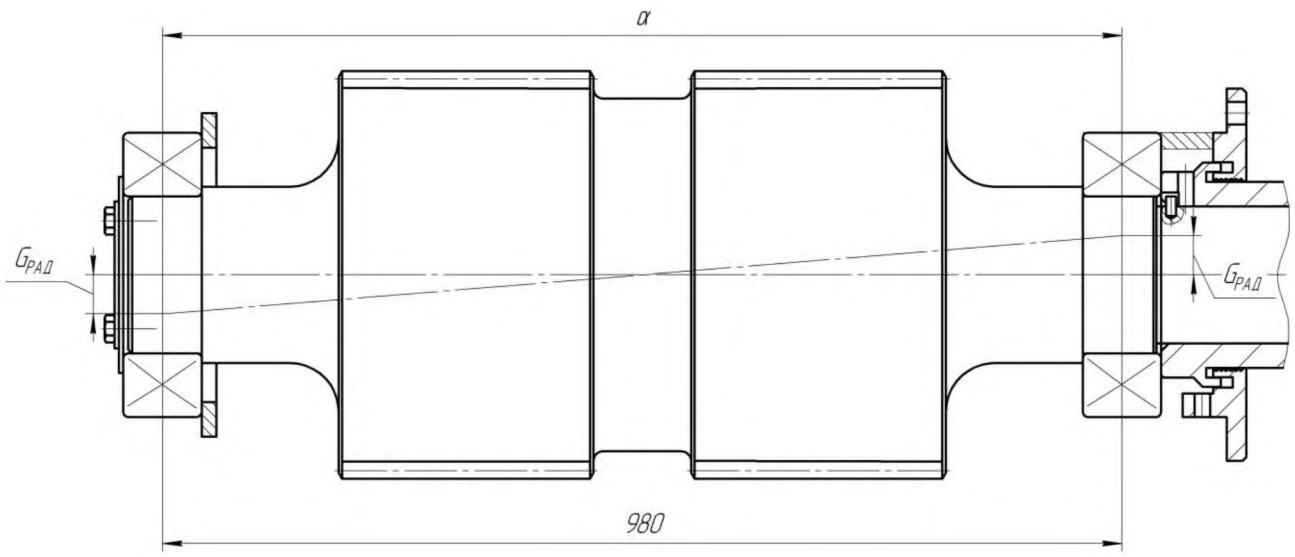


Рисунок 2.2 – Схема кутового розмірного ланцюга α

Визначаємо величину кута перекосу у найгіршому випадку. Схема розрахунку приведена на рисунку 2.3.

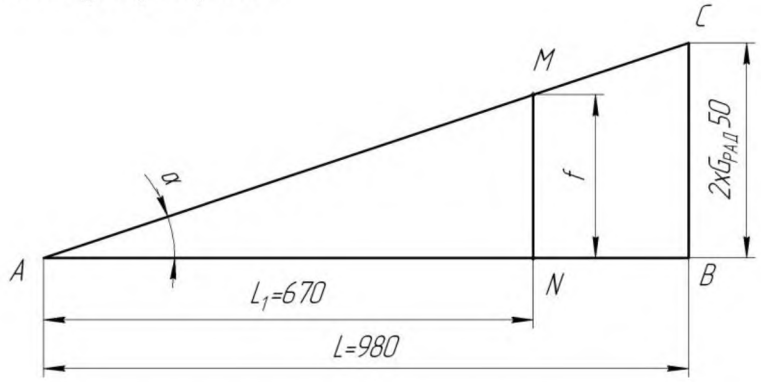


Рисунок 2.3 – Схема розрахунку кута перекосу

Кут перекосу вала визначається за формулою:

$$\alpha = arctg\left(\frac{2 \cdot G_{РАД}}{L}\right) \tag{2.7}$$

де $G_{РАД}$ –радіальний зазор у підшипнику,
L=980мм – відстань між підшипниками.

$$\alpha = arctg\left(\frac{2 \cdot 0{,}220}{980}\right) = 0{,}0257 \approx 0^{\circ}1'32''$$

З умови подібностей трикутників ABC та AMN визначимо радіальне зміщення f зубчатої поверхні:

$$f = \frac{2 \cdot G_{РАД} \cdot L_1}{L} = \frac{2 \cdot 0{,}220 \cdot 670}{980} = 0{,}300 \text{ мм} \tag{2.8}$$

Тобто допуск на радіальне зміщення приблизно становить 0,300мм (±0,16мм).

Нормоване значення f_A=0,180мм при міжосьовій відстані a_W=400мм, Z=22, m=14.

Отже, підшипники забезпечують кут перекосу менше нормованого значення.

2.3 Технологічний процес складання

Визначаємо порядок складання вузла Валу шестеренного та представляємо послідовність складання на рисунку 1.4. Попередньо визначивши, що складання проводиться методом регулювання, в нашому випадку за допомогою ланки – компенсатора.

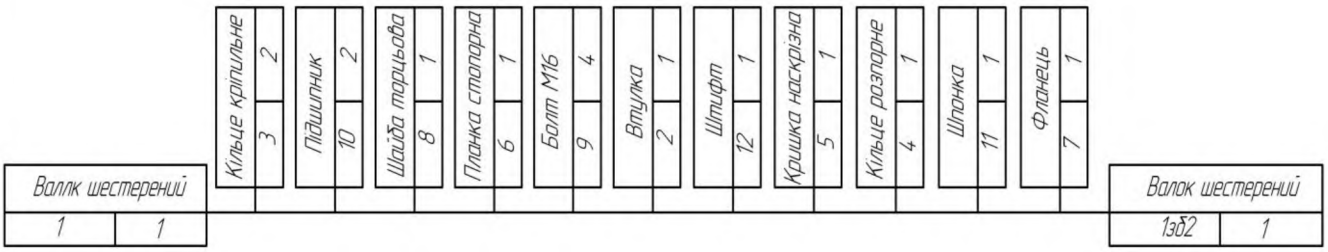


Рисунок 2.4 – Схема складання вузла Вал шестеренний

На основі схеми складання розроблюємо операційний технологічний процес складання, що складається з встановлення кріпильного кільця, напресовки підшипників на вал, пригвинчення шайби торцьової та стопорної планки за допомогою болтів, встановлення на валу втулки, стопоріння її штифтом, встановлення кришки, напресовка шпонки та встановлення фланцю.

Послідовність процесу відображаємо у технологічних картах складання.

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА ВИРОБУ

3.1 Техніко-економічний аналіз вихідних даних для обробки деталі

3.1.1 Службове призначення деталі. Вибір матеріалу і варіантів замін

Дана деталь, кришка, є частиною шестеренної кліті. Вона є фланцем, який виконує роль кришки отворів під вали, створюючи необхідне ущільнення.

Деталь виготовлена зі сталі 35Л ДСТУ 8781:2018. Дані про матеріал деталі та заміну приводяться у таблицях 3.1. та 3.2.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад 35Л ДСТУ 8781:2018 та її замінників

Склад	C, %	Si, %	Mn, %	Cu, %	Ni, %	S, %	P, %	Cr, %
35Л	0,32-0,4	0,2-0,52	0,45-0,9	0-0,3	0-0,3	0-0,045	0-0,04	0-0,3
40Л	0,37-0,45	0,2-0,52	0,45-0,9	0-0,3	0-0,3	0-0,045	0-0,04	0-0,3
30Л	0,27-0,35	0,2-0,52	0,45-0,9	0-0,3	0-0,3	0-0,045	0-0,04	0-0,3
45Л	0,42-0,5	0,2-0,52	0,45-0,9	-	0-0,45	0-0,04	0-0,04	0-0,4

Таблиця 3.2 – Механічні властивості 35Л ДСТУ 8781:2018 та її замінників

Матеріал	Термообробка	σ_T, МПа	σ_{BP}, МПа	δ_5, %	ψ, %	Твердість НВ
35Л	Відпал	255	530	20	35	–
	Гартування та відпуск	350	550	16	25	200
40Л	Нормалізація та відпуск	300	530	14	25	–
	Гартування та відпуск	350	550	14	20	–
30Л	Нормалізація та відпуск	260	480	17	30	–
	Гартування та відпуск	300	500	17	30	–
45Л	Нормалізація та відпуск	320	550	12	20	–
	Гартування та відпуск	400	600	10	20	–

На основі даних, що наведені в таблицях, можна зробити висновок, що сталь 40Л ДСТУ 8781:2018 найбільш підходить для заміни, так як має близькі механічні властивості.

Деталь піддається термообробці: гартування та відпуск, для зняття внутрішніх напруг після лиття та для поліпшення обробки.

3.1.2 Аналіз якості поверхонь деталей

Для виконання аналізу якості поверхонь деталі «Кришка» необхідно попередньо пронумерувати всі поверхні (рис. 3.1).

Основні поверхні служать для визначення положення деталі у вузлі. До них відносяться поверхня 3 – торець з шорсткістю Ra 3,2, поверхня 4 з Ø290e9 мм шорсткістю Ra 3,2 та 2 отвори 10 з Ø23 мм та шорсткістю Ra 12,5.

До виконавчих відносяться торцева поверхня, що представлена Ø290e9 мм Ra 12,5 та канавка 6 Ø209h11 мм, Ra6,3.

Допоміжні поверхні служать для визначення положення деталей, що приєднуються до деталі, яка розглядається. До них відносяться поверхня 9 – отвір Ø16 мм, шорсткістю Ra12,5 та 8 товщиною 24мм , що утворюють так зване «вухо».

До спряжених поверхонь відносяться: 10 – 6 отворів діаметром Ø23 мм, шорсткість поверхні Ra12,5; 9 – отвір діаметром Ø16 мм, шорсткість поверхні Ra12,5.

До вільних поверхонь відносяться: 4, 1 – зовнішня циліндрична поверхня та торець кришки; 11 – 4 фаски з шорсткістю Ra 3,2; 7 – внутрішній наскрізний отвір, Ra3,2.

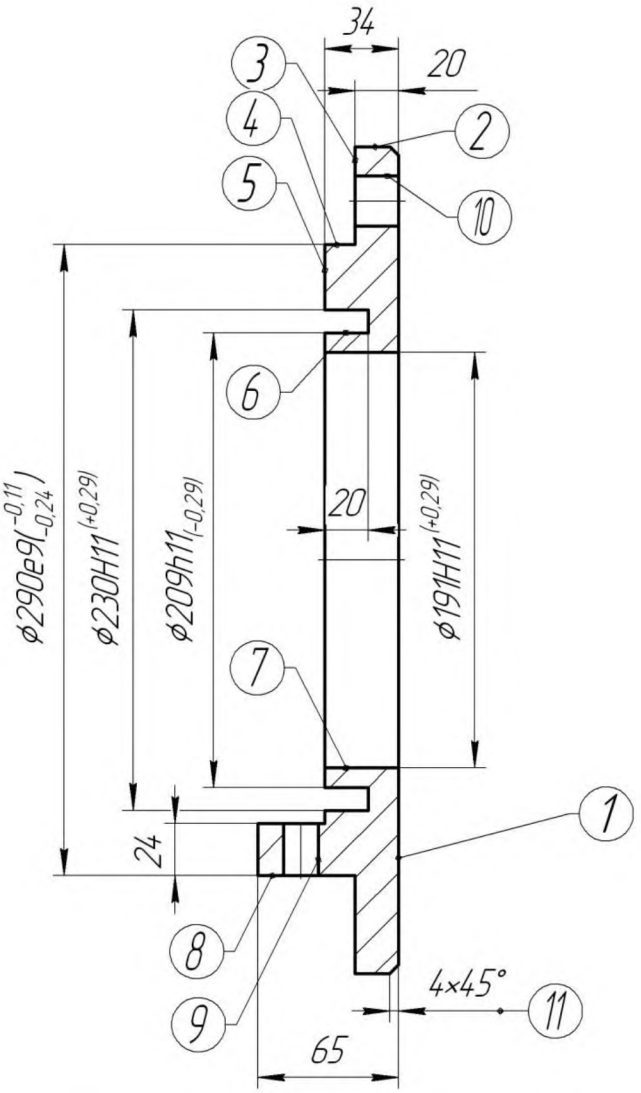


Рисунок 3.1 – Позначення поверхонь деталі «Кришка»

Отже, із вище перерахованого, можна зробити висновок, що якість та властивості поверхневого шару відрізняються для різних поверхонь. Для основних та виконавчих поверхонь потрібна низька шорсткість, середня точність. Точність та шорсткість вільних поверхонь не потребує бути високою.

У таблиці 3.3 приведені характеристики поверхонь.

Таблиця 3.3 – Характеристика поверхонь

№ з/п	Номінальний розмір, мм	Квалітет, IT	Граничні відхилення розміру	Шорсткість, Ra, мкм	Відхилення форми і розташування поверхонь
1	65	Js14	+0,370 -0,370	12,5	
2	Ø380	H14	+1,400 0	Rz 320	
3	20	h14	0 -0,520	3,2	↗ 0,04 A
4	Ø290	e9	+0,110 +0,240	3,2	↗ 0,04 A
5	34	h14	0 -0,620	12,5	
6	Ø209	H11	+0,290 0	6,3	
7	Ø191	H11	+0,290 0	3,2	▼ A
8	24	h14	0 -0,520	3,2	
9	Ø16	H14	+0,430 0	12,5	
10	Ø23	H14	+0,520 0	12,5	
11	4x45°	h14	0 -0,130	3,2	

Таким чином, вимоги до шорсткості, квалітетів допусків, допуски відхилення від форми та розташування поверхонь, що позначені на кресленні, дають можливість обробки деталі на верстатах нормальної точності.

3.1.3 Технічний контроль робочого креслення

На кресленні зображений головний вид та вид зліва деталі кришка. Головний вид має переріз А-А, що відображає внутрішні поверхні деталі. Також є вид Б, який надає нам уявлення про форму «вуха» кришки. Цього достатньо для повного уявлення про форму деталі.

На деталі проставлені всі необхідні розміри. Розміри основних та допоміжних поверхонь мають квалітет допуску (деякі мають інформацію про граничні відхилення), проставлена шорсткість поверхонь.

На розміри деталі, що не мають позначення квалітету, призначається 14 квалітет, про що мається запис у технічних вимогах. А на поверхні, на яких немає шорсткості, призначається не обробка.

На деталі не проставлена база та відхилення форми та розташування поверхонь. За базу приймаємо отвір Ø191H11 шорсткістю Ra 3,2 як найбільш точний. Назначаємо відхилення у вигляді радіального биття на зовнішні поверхні Ø290e9 та Ø380H14. Таким чином зберігається умова $T_1>T_2>T_3$.

Основний напис містить всю необхідну інформацію, а саме матеріал деталі 35Л ДСТУ 8781:2018, маса 16,56кг, масштаб 1:2,5, назва – Кришка, шифр креслення. Таким чином креслення відповідає вимогам ЄСКД.

3.1.4 Аналіз технологічності деталі

3.1.4.1 Якісний аналіз технологічності

Проводимо класифікацію деталі Кришка згідно класифікатору ЄСКД. Таким чином, код класифікаційних групувань конструктивних ознак – 720156.

Розглянемо та виберемо методи отримання заготовки деталі кришка.

При виборі відливки у якості заготовки з'являється необхідність використовувати матеріал із ливарними властивостями.

Виготовлення заготовки даної деталі можливе тільки литтям, тому що є не технологічний елемент, «вухо», в конструкції деталі, який доцільно виготовляти єдиним цілим з деталлю.

Деталь є жорсткою, так як виконується наступна умова:

$$l_{max}/d_{cp} < 5,$$

$$65/380 < 5,$$

$$0,17 < 5,$$

що дає можливість використання підвищених режимів різання, використання одночасної обробки декількома інструментами. Профіль деталі дозволяє вільне підведення та відведення ріжучого та вимірювального інструмента.

Допуски розмірів поверхонь деталі представлені 9-11 квалітетами. Невказані розміри згідно технічним вимогам мають 14 квалітет. Поверхні деталі з шорсткістю Ra 3,2 – 6,3. Де не вказана шорсткість там не обробка деталі, таким чином ці поверхні не оброблюються. Необхідна точність та шорсткість досяжна при використанні верстатів та оснащення нормальної точності.

Можна зробити висновок, що в цілому деталь технологічна, але мається нетехнологічний елемент у вигляді „вуха" з отвором.

3.1.4.2 Кількісний аналіз технологічності

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{В.М.} = \frac{Q_Д}{Q_З} = \frac{16,56}{24,72} = 0,67 \qquad (3.1)$$

Коефіцієнт уніфікації:

$$K_{УН} = \frac{n}{N} = \frac{13}{21} = 0{,}62 \qquad (3.2)$$

Коефіцієнт уніфікації повинен перевищувати 0,9. В нашому випадку $K_{ун}$=0,62, що говорить про значну кількість розмірів, що не належать до лінійних рядів.

Середня шорсткість

$$Ra_{СР} = \frac{\sum Ra \cdot n}{N} = \frac{3{,}2 \cdot 5 + 6{,}3 \cdot 1 + 12{,}5 \cdot 4 + 50 \cdot 2}{12} = 14{,}35 \qquad (3.3)$$

Отже, вимоги до шорсткості деталі низькі

Середня точність

$$IT_{СР} = \frac{\sum IT \cdot n}{N} = \frac{9 \cdot 2 + 11 \cdot 2 + 14 \cdot 8}{12} = 12{,}66 \qquad (3.4)$$

Отже, вимоги до точності низькі.

Можна зробити висновок, що деталь кришка має низькі вимоги до точності, середні для шорсткості, що дозволяє оброблюватися на верстатах нормальної точності.

3.1.5 Вибір типу виробництва. Задачі проектування. Пропозиції щодо удосконалення

3.1.5.1 Вибір типу виробництва та методу роботи

На початку розробки дипломного проекту вважається, що виробництво деталі буде середньо-серійним і обробка буде виконуватись на технологічній лінії. Після розробки технологічного процесу тип виробництва уточнюється за коефіцієнтом закріплення операцій.

3.1.5.2 Вибір діючого заводського чи типового технологічного процесу. Задачі проектування. Пропозиції щодо удосконалення типового ТП

За базовий технологічний процес використаємо типовий (який ми отримали на заводі), що приведений у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Базовий технологічний процес

№ операції	1 Назва операції 2 Верстат 3 Зміст переходів технологічної операції
005	1 Токарна чорнова 2 Токарно-гвинторізний 1А64 3 Обробка торцевих та циліндричних поверхонь
010	1 Свердлильна 2 Радіально-свердлильний 2А554 3 Свердління, розсвердлювання
015	1 Розточна 2 Горизонтально-розточний 2А622 3 Фрезерування поверхні, свердління отвору
020	Технічний контроль

Цей технологічний процес розроблено для умов дрібносерійного виробництва, так як програма випуску (тоннаж) за 2024 рік даного складальному вузла становить 20т 535кг. Враховуючи масу складального вузла, що дорівнює 892,8 кг, отримуємо виробничу програму випуску деталі кришка – 23 шт/рік.

Оскільки програма випуску передбачає перехід на середньо-серійний тип виробництва, то необхідно визначити задачі проектування:

1 Розробити свій операційний маршрут обробки деталі, залишивши послідовність обробки згідно заводського технологічного процесу, представленого в таблиці 2.4

2 Використати на токарній обробці верстат з числовим програмним керуванням моделі DMG MORI - ecoTurn 450 для скорочення допоміжного часу обробки на 20%, для підвищення її продуктивності, для покращення культури виробництва і полегшення праці верстатника.

3 Для скорочення допоміжного часу обробки на 30%, для підвищення її продуктивності, для покращення культури виробництва і полегшення праці верстатника обробку кріпильних отворів на фланці деталі виконуємо на вертикально - свердлильному верстаті з ЧПК мод. 2Р135Ф2-1.

4 Використати при обробці деталі ріжучий інструмент фірми «MITSUBISHI CARBIDE», який дозволить нам обробляти деталь з використанням більш високих швидкостей різання, що дозволить скоротити основний час обробки, та забезпечити кращу якість поверхонь.

3.2 Проектування технологічного процесу обробки деталі

3.2.1 Вибір, техніко-економічне обґрунтування та проектування заготовок

Основним критерієм під час вибору заготовки є забезпечення необхідного рівня якості готової деталі при мінімально можливій собівартості. Вартість виготовлення деталі визначається сумою собівартості самої заготовки (за калькуляцією заготівельного цеху) та витрат на її подальшу обробку до досягнення встановлених вимог якості згідно з кресленням.

На початковому етапі визначення оптимального способу отримання заготовки доцільно користуватися матрицею впливу факторів (табл. 3.5). Аналізуючи ступінь впливу основних чинників, що впливають на вибір типу заготовки та технології її виготовлення для конкретної деталі, обирають той технологічний процес, який забезпечує отримання заготовки необхідної якості.

Найкращим вважається варіант, що отримав найбільшу кількість плюсів.

Таблиця 3.5 – Матриця впливу факторів.

Спосіб виготовлення заготовки	Фактори				Сума
	Форма і розміри заготовки	Точність та якість поверхневого шару	Технологічні властивості матеріалу	Економія матеріалу	
Лиття	–	–	–	+	1
Прокат	–	–	+	–	1

Дана деталь Кришка, має не технологічний елемент «вухо», який не можливо отримати при куванні, штампуванні або з прокату, тому одним єдиним способом отримання заготовки буде лиття у пісчано-глинясті форми.

Проводимо техніко-економічний розрахунок заготовки.

Вартість заготовки обчислюється за формулою 3.5:

$$A=M\cdot C\cdot K_н\cdot K_c\cdot K_{оп}-(Q-q)\cdot Ц \quad (3.5)$$

де М – маса заготовки, С – вихідна оптова ціна 1 кг заготовки (С=15,823грн. для сталі, С=18,98грн. для сталі, що ллється), $K_н$ – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки, K_c – коефіцієнт, що враховує виготовлення заготовок, $K_{оп}$ – коефіцієнт, що враховує масу заготовки, q – чиста маса деталі, Ц – ціна 1кг відходів (Ц=0,95грн.), $З_о$ – заробітна плата по операціям механічної обробки, грн.

Вартість відливки:

A=24,72·18,98·0,82·1·0,86 – (24,72-16,56)·0,95=323,12грн

Вартість прокату:

A=62·15,823·0,8·1·0,74 – (62-16,56)·0,95=537,60грн

Таким чином, можна зробити висновок, що лиття в якості є більш економічно вигідним.

3.2.2 Проектування заготовок

Проектування заготовки проводимо згідно ДСТУ 8981:2020.

Лиття проводимо у піщано-глинисті форми. Виробництво механізоване серійне. Згідно з додатком 1 [10] в залежності від способу лиття, габаритних розмірів та типу металу та сплаву назначаємо клас точності розмірів та мас та ряди припусків на механічну обробку відливок:

$$\frac{7-13т}{2-5},$$

де в чисельнику вказані класи точності розмірів і мас, а в знаменнику – ряди припусків.

Враховуючи умови виробництва, приймаємо $\frac{10}{3}$.

Проводимо перевірки виконуваності отворів та внутрішніх порожнин за умовою відсутності пригару стержня по формулі:

$$d_{min}=d_0+0{,}1S \quad (3.6)$$

де S – мінімальна товщина стінки, що прилягає,

d_0 – вихідний діаметр.

В нашому випадку S=(290-191)/2=49,5мм, d_0=7мм (для сталі):

d_{min}=7+0,1·49,5=11,95мм, приймаємо d_{min}=11мм.

Отже, отвір Ø191 мм виконуваний. Канавка шириною 10,5мм, отвори Ø23мм, Ø16 мм та фаски є не виконуваними й не раціональними. Лінію роз'єму моделі та форми розміщуємо на розмірі 20мм. Деталь розміщуємо таким чином, щоб «вухо» було унизу. Дані проектування заносимо в таблицю 3.6.

За таблицею 1 [10, стр.4] призначаємо допуски лінійних розмірів відливок, враховуючи, що допуски розмірів елементів відливки, що утворені однією частиною напівформи, встановлюють на 1-2 класу точніше.

Таблиця 3.6 – Данні проектування відливки

№	Номінальний розмір деталі, мм	Характе-ристика поверхні		Допуски розміру відливки, мм	Граничні відхилення	Основний припуск, мм	Додатковий припуск, мм	Розміри заготовки мм	Примітки
		IT	Ra						
1	Ø380	14	12,5	3,2	±1,6	5×2	–	390±1,6	Δсм=±0,8
2	Ø290	e9	3,2	3,2	±1,6	5×2	–	300±1,6	Δсм=±0,8
3	Ø191	H11	3,2	2,6	±1,3	4,2×2	–	182,6±1,3	Δсм=±0,8
4	65	14	12,5	1,8	±0,9	4,2	–	69,2±0,9	Короблення 0,6мм
5	34	14	12,5	1,8	±0,9	4,2+4,2	–	42,4±0,9	Короблення 0,6мм
6	24	14	12,5	1,6	±0,8	5,0+3,8	–	32,8±0,8	Короблення 0,6мм
7	20	14	3,2	1,6	±0,8	4,2+3,8	–	28±0,8	Короблення 0,6мм

Граничні відхилення призначаємо симетрично, бо всі поверхні підлягають механічній обробці. За таблицями 5, 6 [10, ст.8-10] визначаємо основні припуски на механічну обробку в залежності від допуску и ряду припуску.

Граничні відхилення зміщення елементів від номінального положення відливки по площині роз'єму за допомогою таблиці 2 [10] становлять Δсм=±0,8.

Згідно таблиці 3 [10] визначаємо граничні відхилення короблення. Залежність ступеня короблення від габаритних розмірів за додатком 2 [10].

Відношення габаритних розмірів деталі складає 0,25, таким чином ступінь короблення від 1 до 7. Враховуючи конструкцію деталі, матеріал приймаємо ступінь короблення 5.

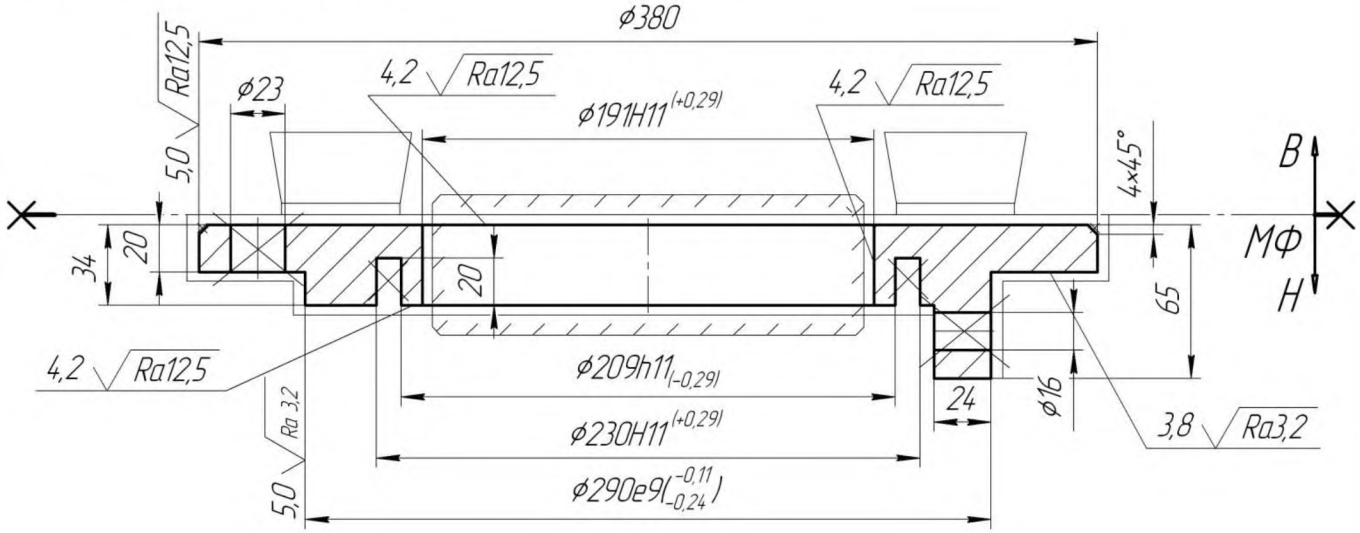


Рисунок 3.2 – Ескіз відливки

Отже граничне відхилення короблення приймаємо $\Delta_{кор.} = \pm 0{,}6$мм.

Додаткові припуски не призначаємо так, як граничні відхилення зміщення і короблення не перевищують половину допуску.

3.2.3 Вибір і обґрунтування баз

Корпус відноситься до деталей типу фланець.

Основними конструкторськими є базами є внутрішня циліндрична поверхня 7 ∅191Н11мм і торцева поверхня 1 ∅380мм.

Допоміжними конструкторськими базами є торцева поверхня 5 та кріпильні отвори на фланці деталі поверхня 10.

Технологічні бази, які визначають положення деталі у пристосуванні при обробці діляться на установчу, напрямну й упорну бази. Для даної деталі, поверхня торцю (пов.1, 5) є установчою базою, яка лишає деталь трьох ступенів вільності. Внутрішня циліндрична поверхня 7 ∅191Н11мм і зовнішня циліндрична поверхня (пов.2,4) є напрямною базою, що лишає деталь двох ступенів вільності.

Вимірювальні бази співпадають з конструкторськими основними базами.

Принцип суміщення баз виконуєтся,так як в якості технологічних, вимірювальних та конструкторських баз використовуються одні і тіж поверхні.

Використання в якості технологічних баз конструкторських та застосування методу перекладання забезпечує зменшення похибики обробки.

Теоретична схема базування з указанням 6 опорних точок зображена на рисунку 3.3.

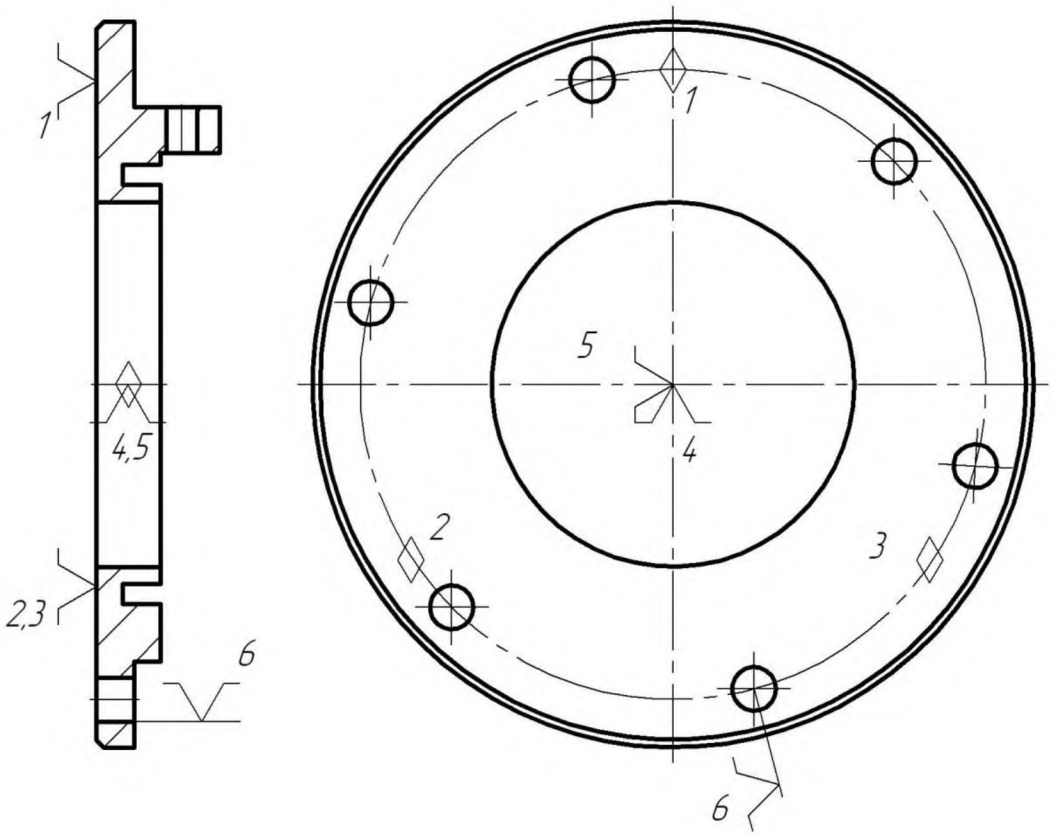


Рисунок 3.3 – Теоретична схема базуванняз указанням 6 опорних точок

Використання однакових схем установки на багатьох операціях забезпечує виконання принципу єдності баз. На першій операції, в першу чергу, обробляються ті поверхні, які в подальшому будуть використовуватись в якості технологічних баз на більшості операцій.

На першій операції деталь закріплюють за так звані чорнові бази, що представлені зовнішньою циліндричною поверхнею 2 ∅380мм та торцем 1 ∅380мм.

Схеми базування деталі на токарному верстаті при різних установах зображені на рисунку 3.4, на свердлильному та розточному – рисунок 3.5.

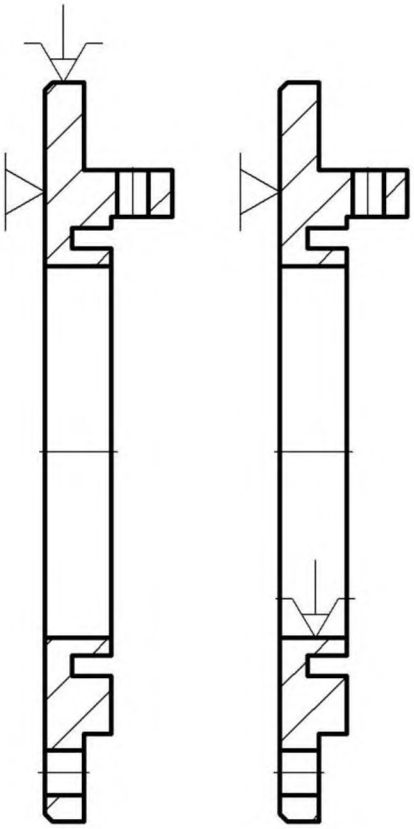


Рисунок 3.4 – Схема базування на токарному верстаті

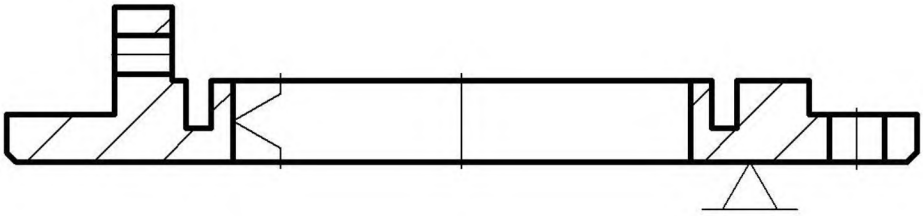


Рисунок 3.5 – Схема базування на свердлильному та розточному верстатах

Принцип єдності баз частково зберігається, це пояснюється наявністю переустановів на при обробці.

3.2.4 Вибір і обґрунтування послідовності обробки поверхонь

На зовнішні, внутрішні і торцеві поверхні визначаємо кількість послідовних переходів з поступовим наближенням до необхідної точності і шорсткості. Отримані результати представлені у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Послідовність переходів

№ пов., розмір	Найменування переходу	Шорсткість, Ra	Точність, IT	Допуск, мкм
1 65	Заготовка	–	16	1900
	Підрізати торець начерно	12,5	14	740
2 Ø380	Заготовка	–	16	3600
	Підрізати торець начерно	12,5	14	1400
3 20	Заготовка	–	16	1300
	Підрізати торець начерно	12,5	15	840
	Підрізати торець напівчисто	6,3	14	520
	Підрізати торець начисто	3,2	14	520
4 Ø290	Заготовка	–	16	3200
	Точити начерно	12,5	14	1300
	Точити напівчисто	6,3	12	520
	Точити начисто	3,2	9	130
5 34	Заготовка	–	16	1600
	Підрізати торець начерно	12,5	14	620
6 Ø209	Заготовка	–	16	2900
	Точити начерно	12,5	14	1150
	Точити напівчисто	6,3	11	290
7 Ø191	Заготовка	–	16	2900
	Розточувати начорно	12,5	14	1150
	Розточувати напівчисто	6,3	12	460
	Розточувати начисто	3,2	11	290
8 24	Заготовка	–	16	1300
	Точити начерно	12,5	15	840
	Точити напівчисто	6,3	14	520
	Точити начисто	3,2	14	520
9 Ø16	Заготовка	–	16	1100
	Свердлити	12,5	14	430
10 Ø23	Заготовка	–	16	1100
	Свердлити	12,5	14	520
	Розсвердлювати	6,3	13	330
	Зенкерувати	3,2	11	130
11 4x45°	Заготовка	–	16	750
	Точити начорно	12,5	15	480
	Точити напівчисто	6,3	14	300
	Точити начисто	3,2	14	300

3.2.5 Розробка маршруту обробки деталі

На основі базового технологічного процесу розроблюємо технологічну послідовність деталі, що представлена у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Маршрут обробки деталі

№	Найменування операції	Номер оброблюємої поверхні	Номер базуємої поверхні	Тип та модель верстата
005	Токарна з ЧПК Перехід 1	Установ А: 3, 4, 5, 6, 7, 8	1, 2	DMG MORI - ecoTurn 450
		Установ Б: 1, 2, 11	5, 7	
	Перехід 2	Установ А: 7, 11	2, 5	
		Установ Б: 3, 4, 6	1, 7	
010	Свердлильна	10	1, 7	2Р135Ф2-1
015	Розточна	Установ А: 8 Установ Б: 9	1, 7	2А622
020	Технічний контроль			

3.2.6 Розробка технологічної операції

В залежності від моделі верстата, характеру обробки обираємо ріжучий, допоміжний та вимірювальний інструмент та заносимо до таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Послідовність технологічних операцій

№ операції та переходів	1. Назва операції 2. Верстат 3. Зміст переходів технологічної операції	Інструмент (ріжучий, допоміжний, вимірювальний)
1	2	3
005	1 Токарна чорнова 2 Токарна з ЧПК DMG MORI - ecoTurn 450 3 Перехід 1 Обробка торцевих та циліндричних поверхонь начорно 4 Перехід 2 Обробка торцевих та циліндричних поверхонь начисто	Патрон D800 7103-0054 ГОСТ3890-82; штангенциркуль ШЦ-ІІІ-500-0,1; ШЦ-ІІ-250-0,1 ДСТУ ГОСТ 166:2009; мікрометр гладкий МК-300 275-300 мм; різець токарний Mitsubishi з пластинами із твердого сплаву CVD, пластина UE6020 ромбічна з кутом α=107°, стружколом MV, державка PDJNR; різець токарний Mitsubishi з пластинами із твердого сплаву CVD, пластина NX2525 ромбічна з кутом α=107°, стружколом SH, державка 2525M15; різець токарний канавочний Mitsubishi, пластина DGM20C, державка DGHR.

Продовження таблиці 3.9

1	2	3
010	1 Свердлильна 2 Вертикально – свердлильний 2Р135Ф2-1 3 Обробка отворів	Свердло Mitsubishi MPS 1500S-DIN, D=15мм; свердло Mitsubishi MPS 2250S-DIN D=22,5мм; свердло центрувальне спіральне Ø23мм, 2301-1737 ДСТУ ГОСТ22736:2015; зенкер цільний з числом зубів z=3, з циліндричним хвостовиком D=23мм, 035-2320-0513 ОСТ 2И22-1-80.
015	1 Розточна 2 Горизонтально – розточний 2А622 3 Фрезерування «вуха», свердлити отвір	Торцева фреза D=40мм, L=32, z=10, Р18, 2210-0061 ДСТУ ГОСТ 9304:2019, оправка для насадних фрез з поздовжньою шпонкою ТУ 2-035-990-85, свердло спіральне D=16мм, ВК8, 2301-1404 ДСТУ ГОСТ 22736:2017, втулка 6100-0141 ДСТУ ГОСТ 13598:2015.

3.2.7 Розрахунок міжопераційних розмірів і припусків на обробку

3.2.7.1 Аналітичний розрахунок припусків на зовнішню циліндричну поверхню

Для розрахунку припусків вибираємо зовнішню циліндричні поверхню $Ø290e9^{-0,11}_{-0,24}$. Розрахунок ведемо аналітичним методом при цьому знаходимо проміжні розміри для виконання кожного переходу.

Мінімальний припуск при рівнобічній обробці протилежних поверхонь визначаємо за формулою:

$$2Z_{\min} = 2\left[(R_Z + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma i-1} + \varepsilon_i\right]. \quad (3.7)$$

Заносимо маршрут обробки в графу 1 (табл. 3.10). Дані для заповнення граф 3, 4 для кованої заготовки узяті з [2, табл. 6] для механічної обробки з [7, табл. 10]. Дані графи 9 для заготівлі узяті з [2, табл. 47], а дані для обробки різанням з [2, табл. 4].

Розрахунок відхилень розташування поверхонь:

$$\Delta_\Sigma = \sqrt{\Delta^2_{кор} + \Delta^2_{зм}}\ , \quad (3.8)$$

$$\Delta_\Sigma = \sqrt{41{,}5^2 + 290^2} = 293\ мкм$$

де $\Delta_{зм}$ – зміщення стержня, $\Delta_{зм}$= 290 мкм,

$\Delta_{кор}$ – відхилення плоскої поверхні відливки від площинності (короблення);

$$\Delta_{кор} = \Delta_к L = 0{,}6 \cdot 69{,}2 = 41{,}5\ мкм, \quad (3.9)$$

де L – довжина відливки, L= 69,2 мм; $\Delta_к$ – короблення, мкм на 1 мм довжини [7, табл. 8].

Чорнове обточування. Величину залишкових просторових відхилень Δ_r визначають по рівнянню:

$$\Delta_r = K_y \cdot \Delta_\Sigma, \quad (3.10)$$

$$\Delta_r = 0{,}06 \cdot 293 = 17{,}58 \approx 18 \ мкм$$

де $K_y = 0{,}06$ – коефіцієнт уточнення [7, табл. 29].

Напівчистове обточування. Величина залишкових просторових відхилень:

$$\Delta_r = K_y \cdot \Delta_\Sigma = 0{,}05 \cdot 17{,}58 = 0{,}879 \approx 1 \ мкм,$$

тут $K_y = 0{,}05$ [2, табл. 29].

Чистове обточування. Величина залишкових просторових відхилень

$$\Delta_r = K_y \cdot \Delta_\Sigma = 0{,}04 \cdot 0{,}879 = 0{,}035 \approx 0 \ мкм,$$

тут $K_y = 0{,}04$ [7, ст. 190, табл. 29]. Розрахункові величини відхилень розташування похибок заносимо в графу 5 (табл. 3.10).

Похибка установки заготовки в патроні дорівнює: $\varepsilon_1 = 20 \ мкм$ [7, табл. 12].

Похибка установки при напівчистовому точінні розраховується:

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 \cdot 0{,}05 = 20 \cdot 0{,}05 = 1 мкм \ .$$

Похибки установки при чистовому точінні:

$$\varepsilon_3 = \varepsilon_2 \cdot 0{,}04 = 1 \cdot 0{,}04 = 0{,}04 \approx 0 \ .$$

Результати розрахунків вносимо в графу 6 табл. 3.10.

Розрахунок мінімальних припусків на діаметральні розміри для кожного переходу виконують по рівнянню:

- чорнове точіння $2Z_{i\min} = 2(320 + 320 + 293) = 1866 \ мкм$;
- напівчистове точіння $2Z_{i\min} = 2(100 + 100 + 18 + 20) = 476 \ мкм$
- чистове точіння $2Z_{i\min} = 2(40 + 40 + 1 + 1) = 164 \ мкм$;

Розрахункові значення припусків заносимо в графу 7 (табл. 3.10)

Розрахунок найменших розрахункових розмірів по технологічних переходах робимо, складаючи значення найменших граничних розмірів, що відповідають попередньому технологічному переходу, з величиною припуску на виконуваний перехід:

290,024+0,164=290,188 мм;
290,188+0,476=290,664 мм;
290,664+1,866=292,530 мм.

Найменші розрахункові розміри заносимо в графу 8 табл. 3.10. Найменші граничні розміри (округлені) заносимо в графу 11 табл. 3.10.

Потім визначаємо найбільші граничні розміри по переходах:

290,024+0,130=290,154 мм;
290,188+0,520=290,708 мм;
290,664+1,300=291,964 мм;
292,530+3,200=295,730 мм;

Результати розрахунків вносимо в графу 10 табл. 3.10.

Розрахунок фактичних максимальних і мінімальних припусків по переходах робимо, віднімаючи відповідно значення найбільших і найменших граничних розмірів, що відповідають виконуваному і попередньому технологічним переходам:

Максимальні припуски:

290,708–290,154=0,554 мм;
291,964–290,708=1,256 мм;
295,730–291,964=3,766 мм.

Мінімальні припуски:

290,188–290,024=0,164 мм;
290,664–290,188=0,476 мм;
292,530–290,664=1,866 мм.

Результати розрахунків вносимо в графу 12 і 13 табл. 3.10.
Розрахунок загальних припусків виконуємо за рівняннями:
- найбільшого припуску:

$$Z_{0\max} = \Sigma Z_{\max} = 0{,}554 + 1{,}256 + 3{,}766 = 5{,}576 \ мм;$$

- найменшого припуску:

$$Z_{0\min} = \Sigma Z_{\min} = 0{,}164 + 0{,}476 + 1{,}866 = 2{,}506 \ мм.$$

Перевірку правильності розрахунків виконуємо за рівнянням:

$$2Z_{0\max} - 2Z_{0\min} = T_{D_З} - T_{D_Д}$$

$$Z_{0\max} - Z_{0\min} = 5{,}576 - 2{,}506 = 3{,}07 \ мм;$$

$$T_З - T_Д = 3{,}2 - 0{,}130 = 3{,}07 мм.$$

Перевірка виконується, отже проведені розрахунки вірні.
Схема припусків на обробку зображена на рисунку 3.6.

Таблиця 3.10 – Результати розрахунку припусків на обробку та граничних розмірів по технологічним переходам

Маршрут обробки поверхні діаметром Ø290e9	Квалітет	Елементи припуску, мкм				Розрахункові величини		Допуск на виконувані розміри, мкм	Прийняті (округлені) розміри заготівлі по переходах, мкм		Граничний припуск, мкм	
		R_Z	h	Δ_r	ε	Припуску Z_i, мкм	Мін. діаметру, мм		найбільші	найменші	Z_{max}	Z_{min}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Відливка	16	320	320	293	–	–	292,53	3200	295,730	292,53	–	–
Чорнове точіння	14	100	100	18	20	1866	290,664	1300	291,964	290,664	3,766	1,866
Напівчистове точіння	12	40	40	1	1	476	290,188	520	290,708	290,188	1,256	0,476
Чистове точіння	9	10	10	0	0	164	290,024	130	290,154	290,024	0,554	0,164

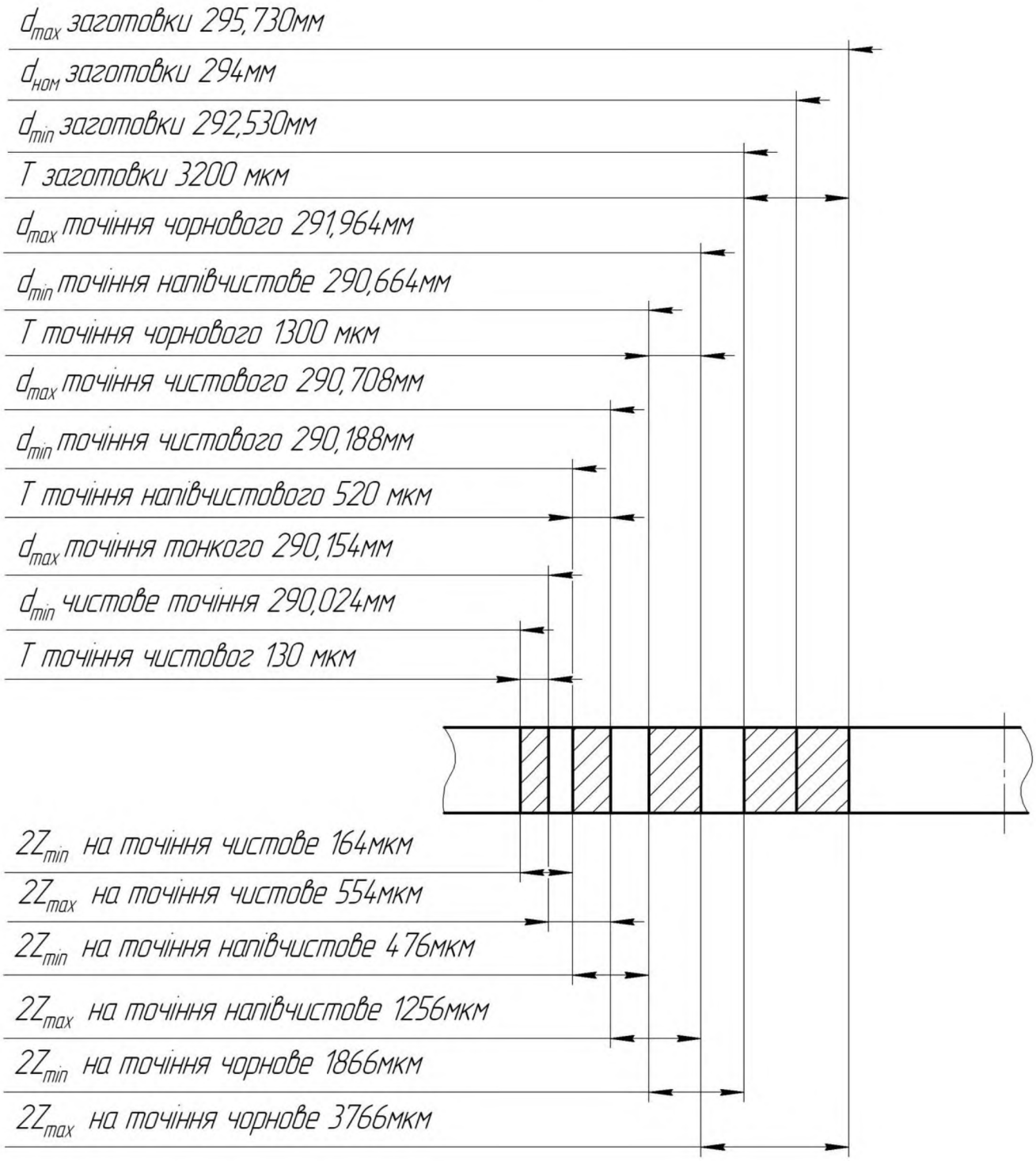


Рисунок 3.6 – Схема припусків на обробку ∅290е9

3.2.7.2 Розрахунок міжопераційних лінійних розмірів

Проводимо розрахунки міжопераційних лінійних розмірів деталі кришка. Схему технологічного процесу обробки торців деталі зображена рисунку 3.7. Вихідні дані по розрахунку приведені в таблиці 3.11. Розрахунки приведені у таблиці 3.12.

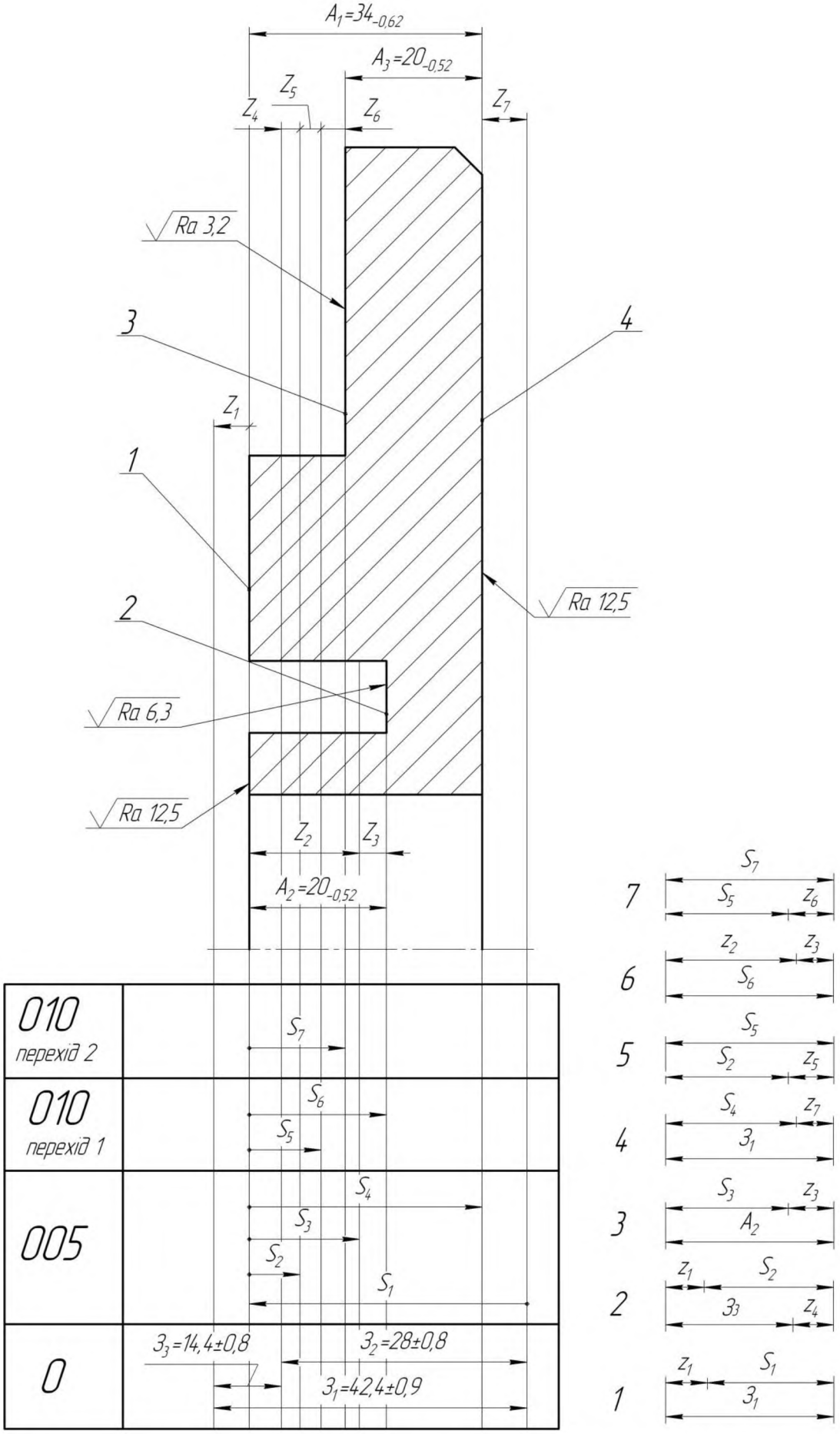


Рисунок 3.7 – Схема припусків на обробку

Таблиця 3.11 – Вихідні дані для розрахунку

№ пов.	Послідовність обробки поверхонь	Шорсткість, Ra	Точність		Допуск Т		Припуск t		Припуск Z_I
			Назн.	Уточн.	Назн.	Уточн.	Назн.	Уточн.	
1	Точіння чорнове	12,5	14	14	620	620	4,2	4,2±1,21	Z_1
2	Точіння чорнове	12,5	14	14	130	130	18	$18^{+0,710}_{-0,190}$	Z_2
	Точіння чистове	6,3	14	14	250	250	2	$2^{+0,125}_{-0,645}$	Z_3
3	Точіння чорнове	12,5	15	15	580	580	2	2,4±2,3	Z_4
	Точіння напівчистове	6,3	14	14	360	360	1,2	1±0,470	Z_5
	Точіння чистове	3,2	14	14	360	360	1	0,8±0,360	Z_6
4	Точіння чорнове	12,5	14	14	740	620	4,2	4,2±2,42	Z_7

Таблиця 3.12—Розрахунок технологічних розмірних ланцюгів обробки торців валу

№	Рівняння розмірного ланцюга	Вихідне значення	Технологічний розмір	Допуск технологічного розміру	Технологічний розмір настроювання	Граничні значення припусків (уточнені)
1	$S_1=З_1-Z_1$	$З_1=42,4±0,9$, $Z_1=4,2±0,375$	$S_1=42,4-4,2=38,2$	IT14 T=0,620	38,2±0,310	$Z_1=З_1-S_1=42,4±0,9-38,2±0,31=4,2±1,21$
2	$S_2=З_3-Z_4-Z_1$	$З_3=14,4±0,8$, $Z_4=4,2±1,21$, $Z_1=2±0,125$	$S_2=14,4-4,2-2=7,2$	IT15 T=0,580	7,2±0,290	$Z_4=З_3-S_2-Z_1=14,4±0,8-7,7±0,290-4,2±1,21=2±2,3$
Робимо перерозподіл припусків						
3	$S_2=З_3-Z_4-Z_1$	$З_3=14,4±0,8$, $Z_4=4,2±1,21$, $Z_1=2,4±0,125$	$S_2=14,4-4,2-2,4=7,8$	IT15 T=0,580	7,8±0,290	$Z_4=З_3-S_2-Z_1=14,4±0,8-7,8±0,290-4,2±1,21=2,4±2,3$
4	$S_3=A_2-Z_3$	$A_2=20_{-0,52}$, $Z_3=2±0,125$	$S_3=20-2=18$	IT14 T=0,250	18±0,125	$Z_3=A_2-S_3=20_{-0,52}-18±0,125=2^{+0,125}_{-0,645}$
5	$S_4=З_1-Z_7-Z_1$	$З_1=42,4±0,9$, $Z_1=4,2±0,375$, $Z_7=4,2±0,375$	$S_4=42,4-4,2-4,2=34$	IT14 T=0,620	34± 0,310	$Z_7=З_1-S_4-Z_1=42,4±0,9-34±0,31-4,2±1,21=4,2±2,12$
6	$S_5=S_2-Z_5$	$S_2=7,8±0,290$, $Z_5=1,2±0,125$	$S_5=7,8+1=8,8$	IT14 T=0,360	8,8±0,180	$Z_5=S_5-S_2=8,8±0,180-7,8±0,290=1±0,470$
7	$S_6=Z_3+Z_2$	$Z_2=18±0,215$, $Z_3=2^{+0,125}_{-0,645}$	$S_6=2+18=20$	IT11 T=0,130	20±0,065	$Z_2=S_6-Z_3=20±0,065-2^{+0,125}_{-0,645}=18^{+0,710}_{-0,190}$
8	$S_7=S_5+Z_6$	$S_5=8,4±0,180$ $Z_6=0,8±0,125$	$S_7=8,8+0,8=9,6$	IT14 T=0,360	9,6±0,180	$Z_6=S_7-S_5=9,6±0,180-8,8±0,180=0,8±0,360$

3.2.7.3 Вибір міжопераційних розмірів і припусків на обробку

Згідно розрахунків, що приведені вище, заповнюємо таблицю 3.13 на всі поверхні.

Таблиця 3.13 – Міжопераційні розміри та припуски на обробку

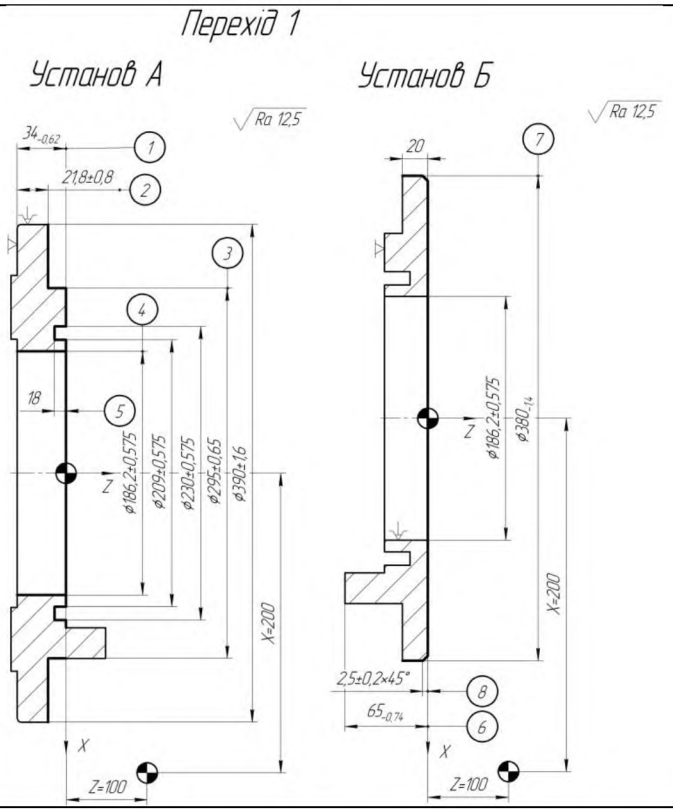
№ поверхні, розмір	Найменування переходу	Шорсткість, Ra	Точність, IT	Допуск, мкм	Припуск, t, мм	Міжопераційний розмір з допусками, мм
1	2	3	4	5	6	7
1 65	Заготовка	–	16	1900	–	69,2±0,9
	Підрізати торець начерно	12,5	14	740	4,2	$65_{-0,740}$
2 Ø380	Заготовка	–	16	3600	–	Ø390±1,6
	Підрізати торець начерно	12,5	14	1400	10	$Ø380_{-1,400}$
3 20	Заготовка	–	16	1300	–	28±0,8
	Підрізати торець начерно	12,5	15	840	2,4	21,8±0,8
	Підрізати торець напівчисто	6,3	14	520	1	20,8±0,260
	Підрізати торець начисто	3,2	14	520	0,8	$20_{-0,520}$
4 Ø290	Заготовка	–	16	3200	–	Ø300±1,6
	Точити начерно	12,5	14	1300	5	295±0,650
	Точити напівчисто	6,3	12	520	3	292±0,260
	Точити начисто	3,2	9	130	2	290±0,65
5 34	Заготовка	–	16	1600	–	42,4±0,9
	Підрізати торець начерно	12,5	14	620	4,2	$34_{-0,620}$
6 Ø209	Заготовка	–	16	2900	–	Ø 209±1,450
	Точити начерно	12,5	14	1150	18	$2^{+0,125}_{-0,645}$
	Точити напівчисто	6,3	11	290	2	$20_{-0,520}$
7 Ø191	Заготовка	–	16	2900	–	182,6±1,3
	Розточувати начорно	12,5	14	1150	3,6	Ø186,2±0,575
	Розточувати напівчисто	6,3	12	460	2,8	Ø189±0,230
	Розточувати начисто	3,2	11	290	2	$Ø191^{+0,290}$

Продовження таблиці 3.13

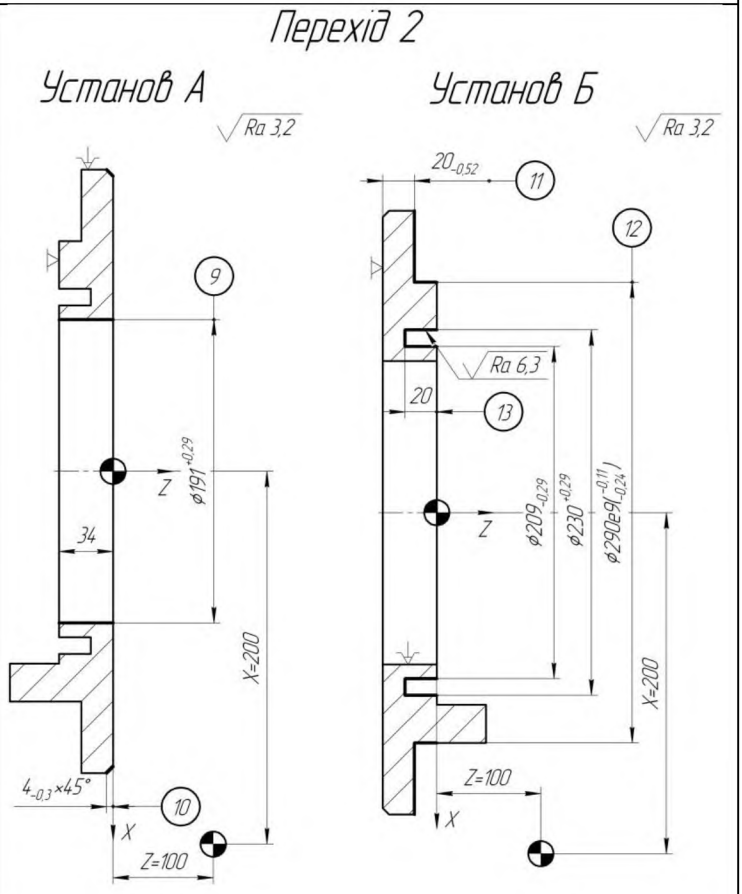
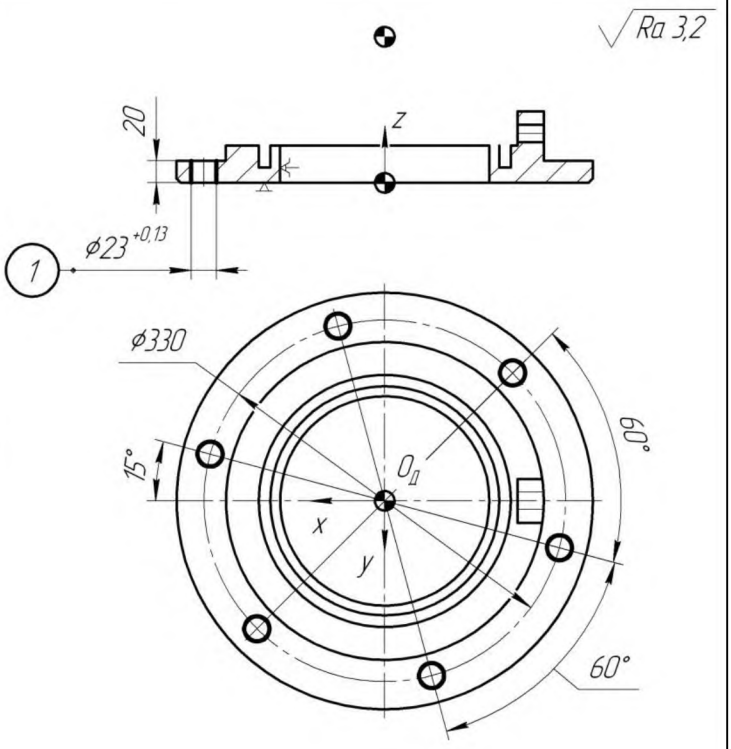
1	2	3	4	5	6	7
8 24	Заготовка	–	16	1300	–	32,8±0,8
	Точити начерно	12,5	15	840	4	28,4±0,420
	Точити напівчисто	6,3	14	520	2,8	25,6±0,260
	Фрезерувати начисто	3,2	14	520	1,6	$24_{-0,520}$
9 Ø16	Заготовка	–	16	1100	–	–
	Свердлити	12,5	14	430	16	$Ø16^{+0,430}$
10 Ø23	Заготовка	–	16	1100	–	–
	Свердлити	12,5	14	520	15	15±0,215
	Розсвердлювати	6,3	13	330	7,5	22,5±0,165
	Зенкерувати	3,2	11	130	0,5	$Ø23^{+0,130}$
11 4×45°	Заготовка	–	16	750	–	–
	Точити начорно	12,5	15	400	2,5	2,5±0,200
	Точити напівчисто	6,3	14	300	1	3,5±0,150
	Точити начисто	3,2	14	300	0,5	$4_{-0,300}$

В таблиці 3.14 приведена послідовність обробки деталі, верстати на яких оброблюється деталь, а також представлені ескізи операцій.

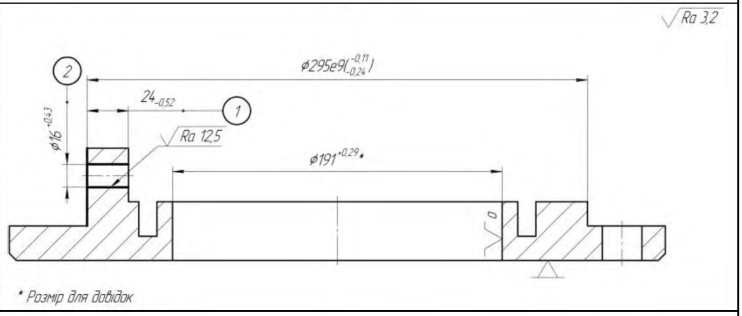
Таблиця 3.14 – Ескізи операцій обробки деталі

№ опер.	Назва операції, верстат, зміст переходів технологічної операції	Ескіз операції
1	2	3
005	Токарна чорнова DMG MORI - ecoTurn 450 Перехід 1 Установ А 1 Встановити, закріпити, зняти; 2 Підрізати торець у розмір 1; 3 Підрізати торець у розмір 2; 4 Точити циліндричну поверхню 3; 5 Розточувати наскрізний отвір 4; 6 Розточити канавку в розмір 5. Установ Б 1 Встановити, закріпити, зняти; 2 Точити торець у розмір 6; 3 Точити циліндричну поверхню діаметром 7; 4 Точити фаску у розмір 8.	

Продовження таблиці 3.14

1	2	3
005	Перехід 2 Установ А 1 Встановити, закріпити, зняти; 2 Розточувати наскрізний отвір 9 начисто; 3 Точити фаску начисто у розмір 10 Установ Б 1 Встановити, закріпити, зняти; 2 Підрізати торець начисто у розмір 11; 3 Точити начисто циліндричну поверхню 12; 4 Розточити начисто канавку в розмір 13.	
10	Вертикально – свердлильна 2Р135Ф2-1 1 Встановити, закріпити, зняти; 2 Центрувати 6 отворів згідно ескізу; 3 Свердлити 6 наскрізних отворів діаметром 15мм; 4 Розсвердлювати 6 отворів до розміру 22,5мм; 5 Зенкерувати 6 отворів в розмір 1.	

Продовження таблиці 3.14

1	2	3
015	Розточна 2А622 1 Встановити, закріпити, зняти; 2 Фрезерувати «вухо» в розмір 1; 3 Свердлити наскрізний отвір в розмір 2	
020	Технічний контроль	–

3.2.8 Розрахунок і вибір режимів різання, нормування технологічних операцій

3.2.8.1 Розрахунок і вибір режимів різання

Визначаємо режими різання розрахунково – аналітичним методом. Для розрахунку режимів різання та нормування технологічних операцій візьмемо токарну чорнову обробку. Ескіз операції зображений на рисунку 3.8.

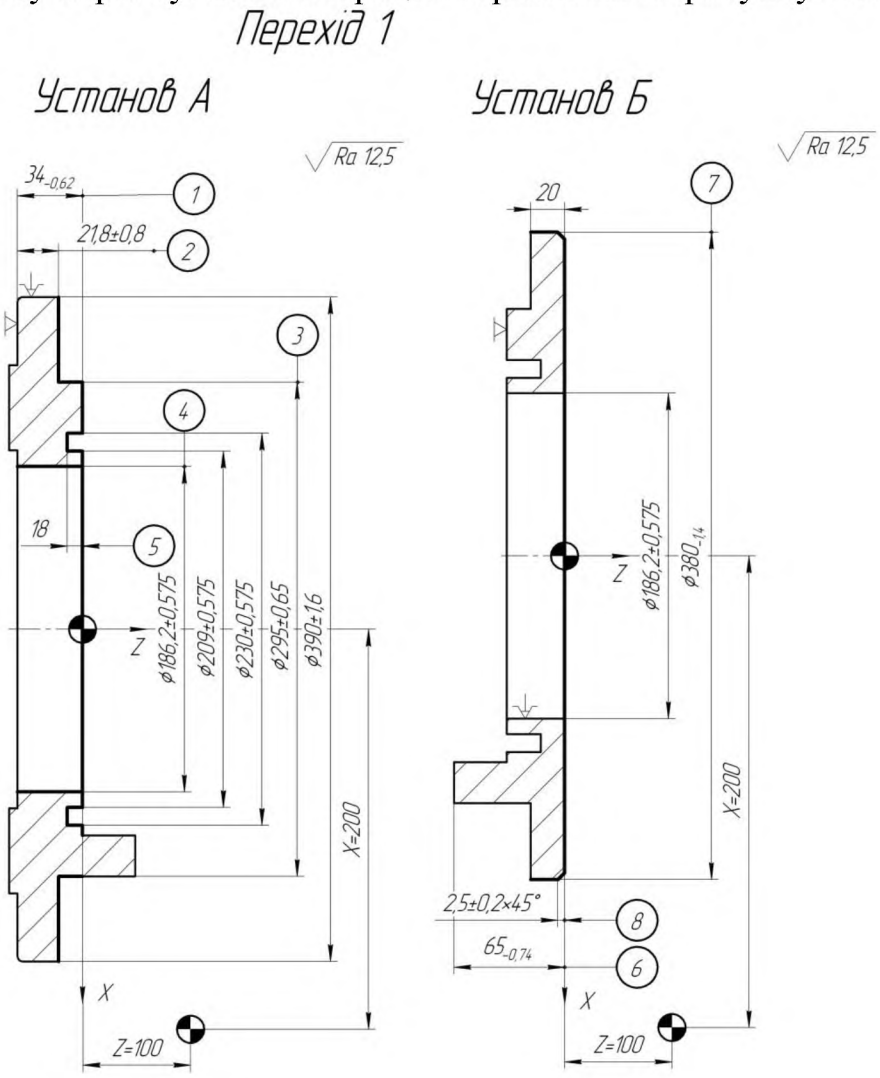


Рисунок 3.8 – Ескіз токарної чорнової операції

Вихідні дані: матеріал – 35Л, точність обробки IT14, Ra12,5.

Установ А:

перехід 1 – підрізка торцю, різець токарний Mitsubishi з пластинами із твердого сплаву CVD, пластина UE6020 ромбічна з кутом α=107°, стружколом MV, державка PDJNR,

перехід 2 – підрізка торцю, різець токарний Mitsubishi з пластинами із твердого сплаву CVD, пластина UE6020 ромбічна з кутом α=107°, стружколом MV, державка PDJNR,

перехід 3 – точіння циліндричної поверхні різець токарний Mitsubishi з пластинами із твердого сплаву CVD, пластина UE6020 ромбічна з кутом α=107°, стружколом MV, державка PDJNR,

перехід 4 – розточування наскрізного отвору, різець токарний Mitsubishi з пластинами із твердого сплаву CVD, пластина UE6020 ромбічна з кутом α=107°, стружколом MV, державка PDJNR,

перехід 5 – різець токарний канавочний Mitsubishi, пластина DGM20C, державка DGHR.

Установ Б:

перехід 6 – точіння циліндричної поверхні, різець токарний Mitsubishi з пластинами із твердого сплаву CVD, пластина UE6020 ромбічна з кутом α=107°, стружколом MV, державка PDJNR,

перехід 7 – підрізка торцю, різець токарний Mitsubishi з пластинами із твердого сплаву CVD, пластина UE6020 ромбічна з кутом α=107°, стружколом MV, державка PDJNR.

Режими різання на установі Б аналогічні режимам на установі А (перехід 1, 3).

Припуск на обробку поверхонь:

перехід 1 – 4,2мм (t_1=3мм, i=2),

перехід 2 – 2,4мм (t_2=2,4мм, i=1),

перехід 3 – 5мм, (t_3=3мм, i=2),

перехід 4 – 3,6мм, (t_4=2мм, i=2),

перехід 5 – 18мм (t_5=3мм, i=6),

перехід 6 – 10мм. (t_2=4мм, i=3),

перехід 7 – 4,2мм (t_2=3мм, i=2)

Обираємо з каталогу різців Mitsubishi подачу в залежності від глибини зрізаємого шару, діаметру обробки поверхні:

S_1=0,24мм/об,

S_2=0,24мм/об,

S_3=0,6мм/об,

S_4=0,6мм/об,

S_5=0,2мм/об,

S_6=0,6мм/об,

S_7=0,24мм/об

Швидкість різання при точінні визначається за формулою 3.11.

$$V = \frac{C_V}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_V, \qquad (3.11)$$

де C_V – коефіцієнт,
x, y, m – показники степеню,
T – стійкість інструменту,
t – глибина різання,
S – подача,
$K_V = K_{MV} \cdot K_{ПV} \cdot K_{ИV}$ – коефіцієнт, що враховує вплив різних факторів ($K_V = 0,8$)

Виписуємо табличні значення та розраховуємо швидкість різання.

$$V_1 = \frac{420}{60^{0,20} \cdot 3^{0,15} \cdot 0,24^{0,2}} \cdot 0,8 = 167,16 \text{ м/хв},$$

$$V_2 = \frac{420}{60^{0,20} \cdot 2,4^{0,15} \cdot 0,24^{0,2}} \cdot 0,8 = 172,88 \text{ м/хв},$$

$$V_3 = \frac{350}{60^{0,20} \cdot 3^{0,15} \cdot 0,6^{0,35}} \cdot 0,8 = 125,20 \text{ м/хв},$$

$$V_4 = \frac{350}{60^{0,20} \cdot 2^{0,15} \cdot 0,6^{0,35}} \cdot 0,8 = 133,05 \text{ м/хв},$$

$$V_5 = \frac{420}{60^{0,20} \cdot 3^{0,15} \cdot 0,2^{0,2}} \cdot 0,8 = 173,36 \text{ м/хв},$$

$$V_6 = \frac{350}{60^{0,20} \cdot 4^{0,15} \cdot 0,6^{0,35}} \cdot 0,8 = 119,91 \text{ м/хв},$$

$$V_7 = \frac{420}{60^{0,20} \cdot 3^{0,15} \cdot 0,24^{0,2}} \cdot 0,8 = 167,16 \text{ м/хв}.$$

Визначаємо кількість обертів шпинделя та коректуємо в залежності від паспортних даний верстата.

$$n = \frac{V \cdot 1000}{\pi \cdot d}, \qquad (3.12)$$

$n_1 = \frac{167,16 \cdot 1000}{3,14 \cdot 295} = 180,46$ об/хв, приймаємо n_1=160об/хв,

$n_2 = \frac{172,88 \cdot 1000}{3,14 \cdot 390} = 141,17$ об/хв, приймаємо n_2=125об/хв,

$n_3 = \frac{125,20 \cdot 1000}{3,14 \cdot 295} = 135,16$ об/хв, приймаємо n_3=125об/хв,

$n_4 = \frac{133,05 \cdot 1000}{3,14 \cdot 186,2} = 227,57$ об/хв, приймаємо n_4=250об/хв,

$n_5 = \frac{173,36 \cdot 1000}{3,14 \cdot 209} = 264,16$ об/хв, приймаємо n_5=250об/хв,

$$n_6 = \frac{119{,}91 \cdot 1000}{3{,}14 \cdot 380} = 100{,}49$$ об/хв, приймаємо n_6=107об/хв,

$$n_7 = \frac{167{,}17 \cdot 1000}{3{,}14 \cdot 380} = 140{,}10$$ об/хв, приймаємо n_6=125об/хв..

Коректуємо значення швидкості різання і отримуємо:
V_1=148,21м/хв, V_2=153,08м/хв, V_3=115,79м/хв, V_4=146,17м/хв, V_5=164,07м/хв, V_6=127,67м/хв, V_7=149,15м/хв.

3.2.8.2 Нормування технологічного процесу
Основний машинний час обробки:

$$T_o = \frac{L_{р.х.}}{S \cdot n} \cdot i, \qquad (3.13)$$

де $L_{р.х.} = L_{рез} + y$ – довжина робочого ходу, S – подача, n – частота обертання шпинделя, i – кількість проходів.

Розраховуємо основний машинний час обробки (установ А):

$$T_{o1} = \frac{98}{0{,}24 \cdot 160} \cdot 2 = 5{,}1$$ хв,

$$T_{o2} = \frac{120}{0{,}24 \cdot 125} \cdot 1 = 4$$ хв,

$$T_{o3} = \frac{20}{0{,}6 \cdot 125} \cdot 2 = 0{,}53$$ хв,

$$T_{o4} = \frac{42}{0{,}6 \cdot 250} \cdot 2 = 0{,}56$$ хв,

$$T_{o5} = \frac{26}{0{,}2 \cdot 250} \cdot 6 = 3{,}12$$ хв,

$$T_{o6} = \frac{211}{0{,}6 \cdot 107} \cdot 3 = 9{,}86$$ хв,

$$T_{o7} = \frac{30}{0{,}24 \cdot 125} \cdot 2 = 2$$ хв.

Час обробки однієї фаски 0,016хв.

Сумарний основний машинний час:

T_O=5,1+4+0,53+0,56+3,12+9,86+2+0,016=25,186хв.

Машино-допоміжний час знаходимо з формули:

$T_Д$=3,12хв

Таким чином, оперативний час:

$T_{ОП}$=T_O+$T_Д$=25,186+4,36=29,546хв

Час на відпочинок та обслуговування визначається у відсотках від оперативного часу. Для токарної операції він становить 7%

$$T_{ВІДП}+T_{ОБСЛ}=0{,}07\cdot 29{,}546=2{,}07хв, \quad (3.14)$$

Норму штучного часу:

$$T_{ШТ}= T_{О}+ T_{Д}+T_{ВІДП}+T_{ОБСЛ}, \quad (3.15)$$

$$T_{ШТ} =25{,}186+4{,}36+2{,}07=31{,}62хв$$

Норму штучнокалькуляційного часу визначаємо за формулою:

$$T_{шт-к} = T_{шт} + \frac{T_{п-з}}{n_з} \quad (3.16)$$

де $T_{П-З}$ – підготовчо-заключний час, що визначається на всю партію,
n – розмір партії.

$$T_{шт-к} = 31{,}62 + \frac{12}{5000} = 31{,}64 \text{ хв.}$$

Для всіх інших операцій режими різання та норми часу зводимо в таблицю 3.15.

Таблиця 3.15 – Режими різання та норми часу обробки деталі

№ операції	Назва операції, зміст переходів	Режими різання							Норми часу					
		D	l	t	S	V	n	i	$T_О$	$T_Д$	$T_{ОП}$	$T_{ВІДП}$, $T_{ОБСЛ}$	$T_{ШТ}$	$T_{ШК}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
005 DMG MORI - ecoTurn 450	Токарна перехід 1: Установ А													
	1 Встановити, закріпити, зняти	–	–	–	–	–	–	–	–	1				
	2 Підрізати торець у розмір 1	295	98	3	0,24	148,4	160	2	5,1	0,38				
	3 Підрізати торець у розмір 2	390	21,8	2,4	0,24	153,08	125	1	4	0,32				
	4 Точити циліндричну поверхню 3	295	12,2	3	0,6	115,79	125	2	0,53	0,32				
	5 Розточувати наскрізний отвір 4	186,2	42	2	0,6	146,17	250	2	0,56	0,32				

Продовження таблиця 3.15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
005 DMG MORI - ecoTurn 450	6 Розточувати канавку в розмір 5	209	18	3	0,2	164,07	250	6	3,12	0,32				
	Установ Б													
	1 Встановити, закріпити, зняти	–	–	–	–	–	–	–	–	1				
	2 Підрізати торець у розмір 6	380	–	3	0,6	149,15	125	2	2	0,38				
	4 Точити циліндричну поверхню 7	380	20	4	0,24	127,67	107	3	9,86	0,32				
								∑	25,186	4,36	29,546	2,07	31,62	31,64
	Токарна перехід 2: Установ А													
	1 Встановити, закріпити, зняти	–	–	–	–	–	–	–	–	1				
	2 Розточувати наскрізний отвір 9	191	34	1	0,4	160	250	2	0,73	0,38				
	Установ Б													
	1 Встановити, закріпити, зняти	–	–	–	–	–	–	–	–	1				
	2 Підрізати торець у розмір 11	380	–	1	0,4	140	160	2	2,75	0,38				
	3 Точити циліндричну поверхню 12	290	14	1	0,4	148	160	5	0,53	0,32				
	4 Розточувати канавку в розмір 13	209	2	1	0,2	186	250	2	0,3	0,32				
								∑	4,31	1,4	5,71	0,4	6,11	6,13

Продовження таблиця 3.15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
010 2Р135Ф2-1	Свердлувальна:													
	1 Встановити, закріпити, зняти	–	–	–	–	–	–	–	–	1				
	2 Центрувати 6 отворів	23	–	–	0,38	73,133	800	1	0,78	0,56				
	3 Свердлити 6 наскрізних отворів Ø15мм	15	20	7,5	0,3	146,4	1400	1	1,22	0,44				
	4 Розсвердлити 6 наскрізних отворів Ø22,5мм	22,5	20	3,75	0,3	141,3	1400	1	0,86	0,44				
	5 Зенкерувати 6 отворів в розмір 1	23	20	0,25	0,13	19,13	680	1	0,98	0,44				
								∑	3,84	2,88	6,72	0,47	7,19	7,21
015 2А622	Розточна:													
	1 Встановити, закріпити, зняти	–	–	–	–	–	–	–	–	1				
	2 Фрезерувати вухо в розмір 1	40	40	5	0,1	62,83	500	4	3,72	0,26				
	3 Свердлити наскрізний отвір в розмір 2	16	24	8	0,2	34,18	680	10	0,25	0,24				
								∑	3,97	1,5	5,47	0,38	5,85	5,87

Отже, загальна тривалість обробки деталі складається з тривалості кожної операції:

$$T=T_1+T_2+T_3+T_4=31,64+6,13+7,21+5,87=50,85 \text{ хв.} \quad (3.17)$$

4 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

4.1 Розробка верстатно-інструментального налагодження та розрахунково-технологічної карти для операції на верстатах з ЧПК

Проводимо розробку верстатно-інструментального налагодження на вертикально – свердлильну операцію, що виконується на верстаті вертикально – свердлильному 2Р135Ф2-1. Верстат представлений на рисунку 4.2, посадочні та приєднувальні розміри верстату представлені на рисунку 4.3. Технічні характеристики представлені у таблиці 5.1

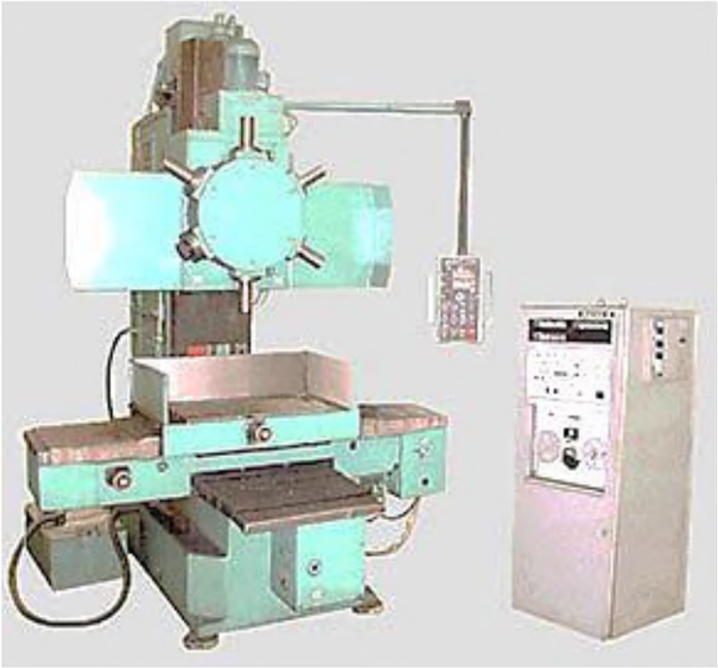


Рисунок 4.2 – Верстат вертикально – свердлильний 2Р135Ф2-1

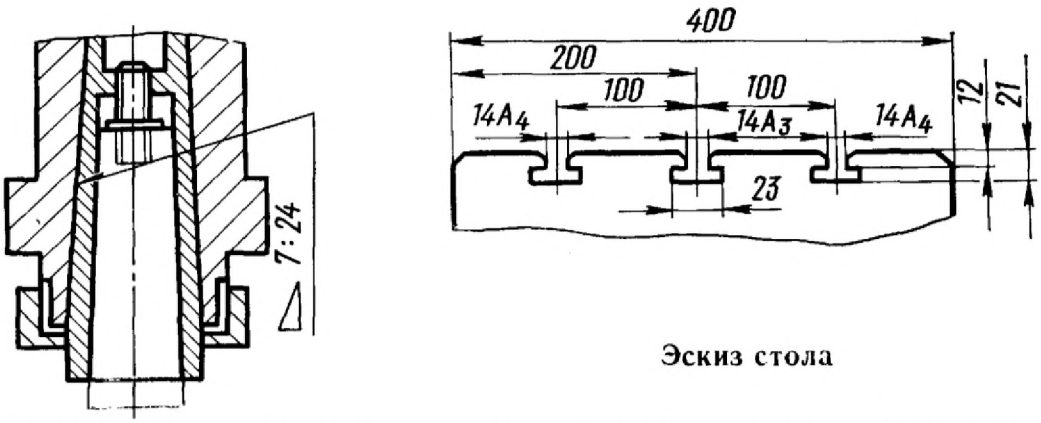


Рисунок 4.3 – Посадочні та приєднувальні розміри верстату 2Р135Ф2-1

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики верстата 2Р135Ф2-1

№ з/п	Характеристика	Параметр
1	Шпиндель (конус Морзе)	5
2	Розміри столу	400×710
3	Точність	Н
4	Потужність, кВт	10
5	Габарити, мм	3500x2450x2700
6	Вага, кг	5390

На кресленні позначаються базові точки систем координат верстата, інструмента та заготовки. Інструменти подаються у тій послідовності, у якій виконується обробка, та зображуються в положеннях, що відповідають їхньому розташуванню у шпинделі верстата. Наноситься траєкторія переміщення інструмента із зазначенням опорних точок та стрілками, що вказують напрям руху. Далі здійснюється розроблення керуючої програми для реалізації заданої технологічної операції. Система ЧПК «2П32-3» забезпечує позиціонування столу за координатами X і Y, а також можливість одночасного переміщення по цих осях, доповненого робочими подачами інструмента по осі Z. Максимальне значення керованих координат за дискретності 0,01 мм по кожній осі становить 9999,99 мм.

У таблиці 4.2 наведено перелік інструментів, вибраних для виконання обробки на даному етапі. Координати проміжних точок траєкторії подано в таблиці 4.3. У таблиці 4.4 розміщено керуючу програму, що використовується для виконання операції.

Таблиця 4.2 – Кодування інструментів

№	Код	Інструмент
1	T01	Свердло центровочне спіральне Ø22,5мм, 2301-1737 ДСТУ ГОСТ 22736:2015
2	T02	Свердло Mitsubishi MPS 1500S-DIN, Ø 15мм
3	T03	Свердло Mitsubishi MPS 2250S-DIN Ø 22,5мм
4	T04	Зенкер, оснащений пластинами з твердого сплаву з числом зуб'їв z=3, Ø23, ВК8, 2320-2383 ГОСТ 3231-71

Таблиця 4.3 – Координати точок

T01							
№	X	Y	Z	N	X	Y	Z
1	-159,377	-42,705	30	10	159,377	42,705	30
2	-159,377	-42,705	10	11	159,377	42,705	10
3	-159,377	-42,705	30	12	159,377	42,705	30
4	-116,672	116,672	30	13	116,672	-116,672	30
5	-116,672	116,672	10	14	116,672	-116,672	10
6	-116,672	116,672	30	15	116,672	-116,672	30
7	42,705	159,377	30	16	-42,705	-159,377	30
8	42,705	159,377	10	17	-42,705	-159,377	10

9	42,705	159,377	30	18	-42,705	-159,377	30
T02							
№	X	Y	Z	N	X	Y	Z
1	-159,377	-42,705	30	10	159,377	42,705	30
2	-159,377	-42,705	-5	11	159,377	42,705	-5
3	-159,377	-42,705	30	12	159,377	42,705	30
4	-116,672	116,672	30	13	116,672	-116,672	30
5	-116,672	116,672	-5	14	116,672	-116,672	-5
6	-116,672	116,672	30	15	116,672	-116,672	30
7	42,705	159,377	30	16	-42,705	-159,377	30
8	42,705	159,377	-5	17	-42,705	-159,377	-5
9	42,705	159,377	30	18	-42,705	-159,377	30
T03							
№	X	Y	Z	N	X	Y	Z
1	-159,377	-42,705	30	10	159,377	42,705	30
2	-159,377	-42,705	-5	11	159,377	42,705	-5
3	-159,377	-42,705	30	12	159,377	42,705	30
4	-116,672	116,672	30	13	116,672	-116,672	30
5	-116,672	116,672	-5	14	116,672	-116,672	-5
6	-116,672	116,672	30	15	116,672	-116,672	30
7	42,705	159,377	30	16	-42,705	-159,377	30
8	42,705	159,377	-5	17	-42,705	-159,377	-5
9	42,705	159,377	30	18	-42,705	-159,377	30
T04							
№	X	Y	Z	N	X	Y	Z
1	-159,377	-42,705	30	10	159,377	42,705	30
2	-159,377	-42,705	-5	11	159,377	42,705	-5
3	-159,377	-42,705	30	12	159,377	42,705	30
4	-116,672	116,672	30	13	116,672	-116,672	30
5	-116,672	116,672	-5	14	116,672	-116,672	-5
6	-116,672	116,672	30	15	116,672	-116,672	30
7	42,705	159,377	30	16	-42,705	-159,377	30
8	42,705	159,377	-5	17	-42,705	-159,377	-5
9	42,705	159,377	30	18	-42,705	-159,377	30

Таблиця 4.4 – Керуюча програма для багатоцільової операції

№ інструм.	Точка згідно креслення	Код програми	Пояснення
1	2	3	4
T01	1-3	% : G81 T1 S12 F8 M4 L1 R0 Z1000 X-15938 Y-4271 R-6700 ПС	Центрувати 6 отворів на глибину 10мм
	4-6	N2 X-11667 Y11667 ПС	
	7-9	N3 X4271 Y15938 ПС	
	10-12	N4 X15938 Y4271 ПС	
		: 5 G62 R-6700 ПС	

Продовження таблиці 4.4

1	2	3	4
T01	13-15	N6 X11667 Y-11667 ПС	
	16-18	N7 X-4271 Y-15938 ПС	
	7-9	N10 X4271 Y15938 ПС	
	16-18	N21 X-4271 Y-15938 ПС	
T02	1-3	: 8 G81 T1 S12 F8 M4 L1 R0 Z2000 X-15938 Y-4271 R-6700 ПС	Свердлити 6 отворів Ø15мм
	4-6	N9 X-11667 Y11667 ПС	
	7-9	N10 X4271 Y15938 ПС	
	10-12	N11 X15938 Y4271 ПС	
		: 12 G62 R-6700 ПС	
	13-15	N13 X11667 Y-11667 ПС	
	16-18	N14 X-4271 Y-15938 ПС	
T03	1-3	: 15 G81 T1 S12 F8 M4 L1 R0 Z2000 X-15938 Y-4271 R-6700 ПС	Розсвердлювати 6 отворів Ø22,5мм
	4-6	N16 X-11667 Y11667 ПС	
	7-9	N17 X4271 Y15938 ПС	
	10-12	N18 X15938 Y4271 ПС	
		: 19 G62 R-6700 ПС	
	13-15	N20 X11667 Y-11667 ПС	
	16-18	N21 X-4271 Y-15938 ПС	
T01	1-3	: 15 G81 T1 S12 F8 M4 L1 R0 Z2000 X-15938 Y-4271 R-6700 ПС	Зенкерувати 6 отворів Ø23мм
	4-6	N16 X-11667 Y11667 ПС	
	7-9	N17 X4271 Y15938 ПС	
	10-12	N18 X15938 Y4271 ПС	
		: 19 G62 R-6700 ПС	
	13-15	N20 X11667 Y-11667 ПС	
	16-18	N21 X-4271 Y-15938 ПС	

Отже ми розглянули верстат 2Р135Ф2-1, посадкові місця його столу, по паспорту верстату вияснили його пристрій ЧПК – «2П32-3», розрахували координати точок, по яким буде проводитись свердлення отворів та написали програму для обробки заданої деталі.

4.2 Візуалізація та перевірка керуючих програм

Розробку керуючої програми будемо виконувати для токарної операції, яка виконується на сучасному токарному верстаті з ЧПК DMG MORI - ecoTurn 450 (рис. 4.4). Його технічні характеристики наведені в табл. 4.5, а виконані органи представлені на рис. 4.5. Металорізальний інструмент було підібрано в розділі 3 даної магістерської роботи.

Таблиця 4.5 – Технічні характеристики верстата DMG MORI - ecoTurn 450

№ з/п	Характеристика	Параметр
1	2	3
1	Система керування	SIEMENS 840D
2	Отвір шпинделя, мм	91
3	Кількість осей	2
4	Хід осі Z, мм	600
5	Хід осі X, мм	267.5
6	Швидкість обертання шпинделя, об/хв	4000
7	Потужність головного електродвигуна, кВт	17,5
8	Габаритні розміри (ДхШхВ), мм	3500x2300x2100
9	Вага, кг	5100

Рисунок 4.4 – Токарний верстат з ЧПК DMG MORI - ecoTurn 450

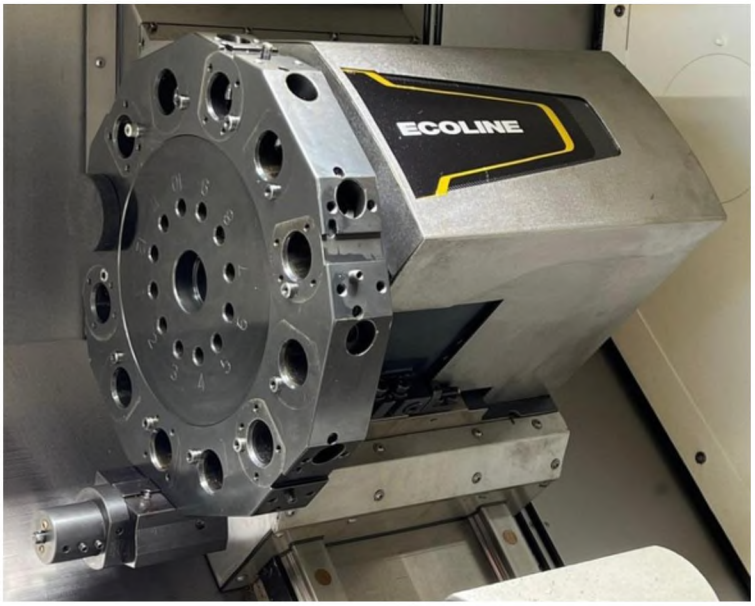


Рисунок 4.5 – Голівка револьверна верстата DMG MORI - ecoTurn 450

На токарному верстаті DMG MORI ecoTurn 450 використовується система ЧПК SIEMENS 840D, для якої і здійснюється розроблення керуючої програми токарної операції. Створення УП виконано у програмному середовищі Autodesk FeatureCAM. Після імпорту 3D-моделі деталі, автоматичного розпізнавання її геометричних елементів, формування послідовності технологічних операцій, вибору різального інструменту та визначення стратегії обробки була сформована та перевірена керуюча програма.

Основні етапи побудови УП у FeatureCAM наведені на рисунках 4.6-4.11.

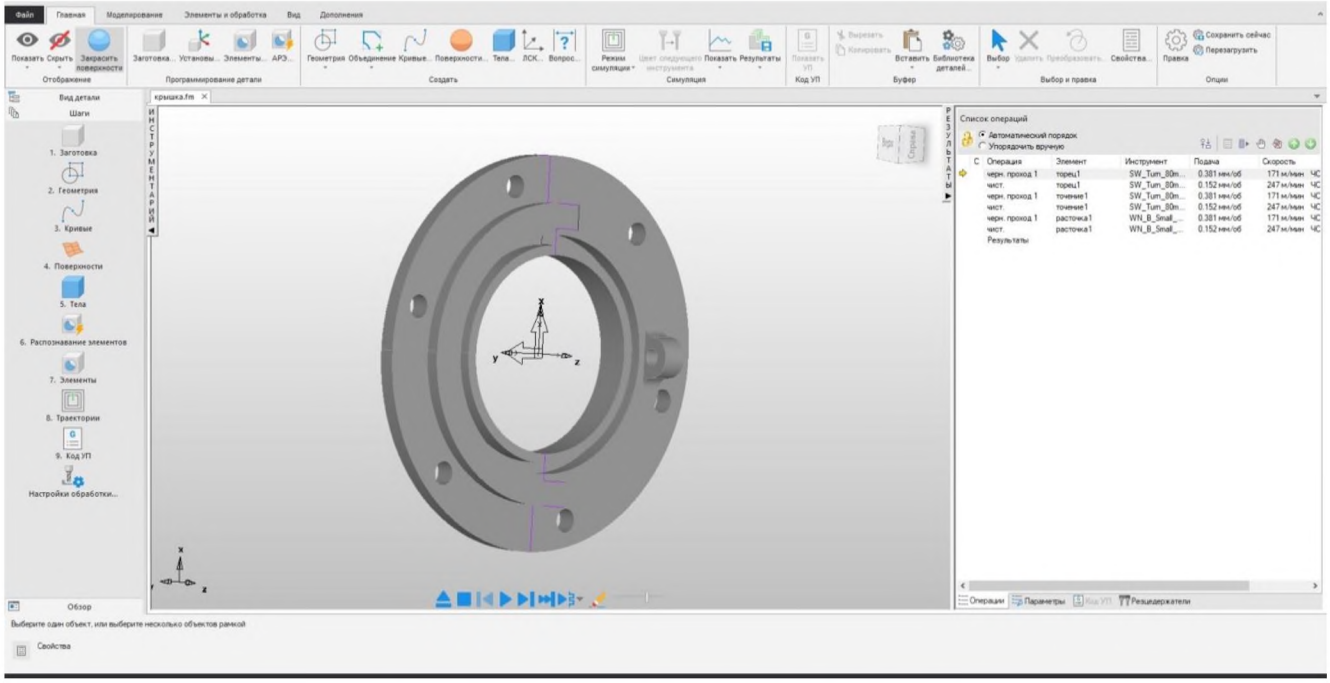


Рисунок 4.6 – Кришка в FeatureCAM

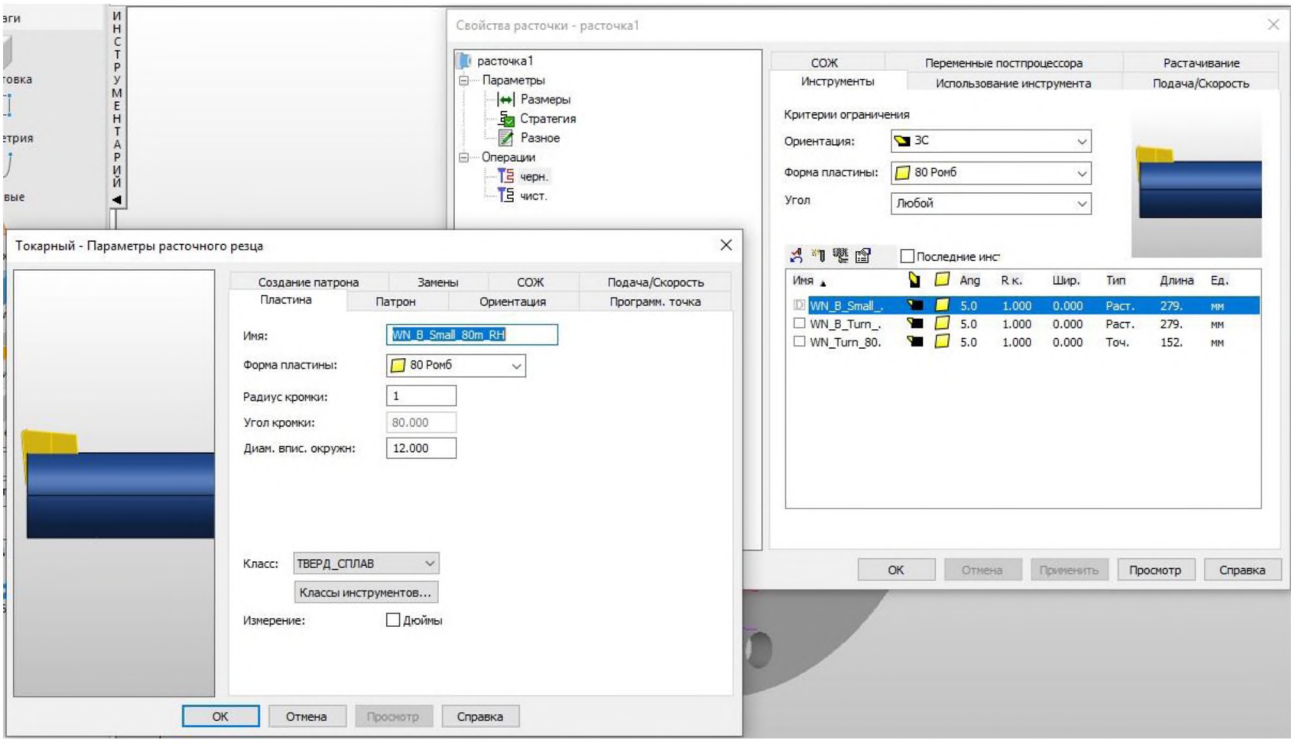


Рисунок 4.7 – Підбір металорізального інструмент для обробки кришки

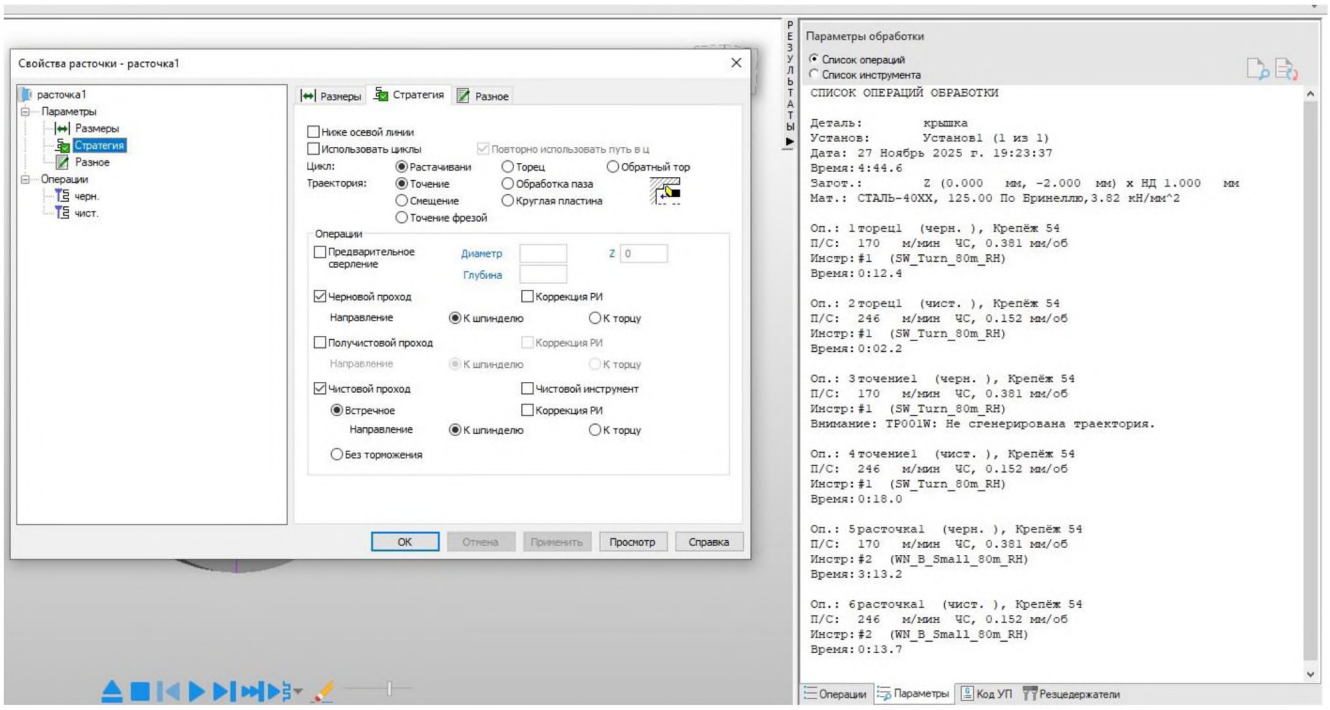


Рисунок 4.8 – Опрацювання параметрів обробки

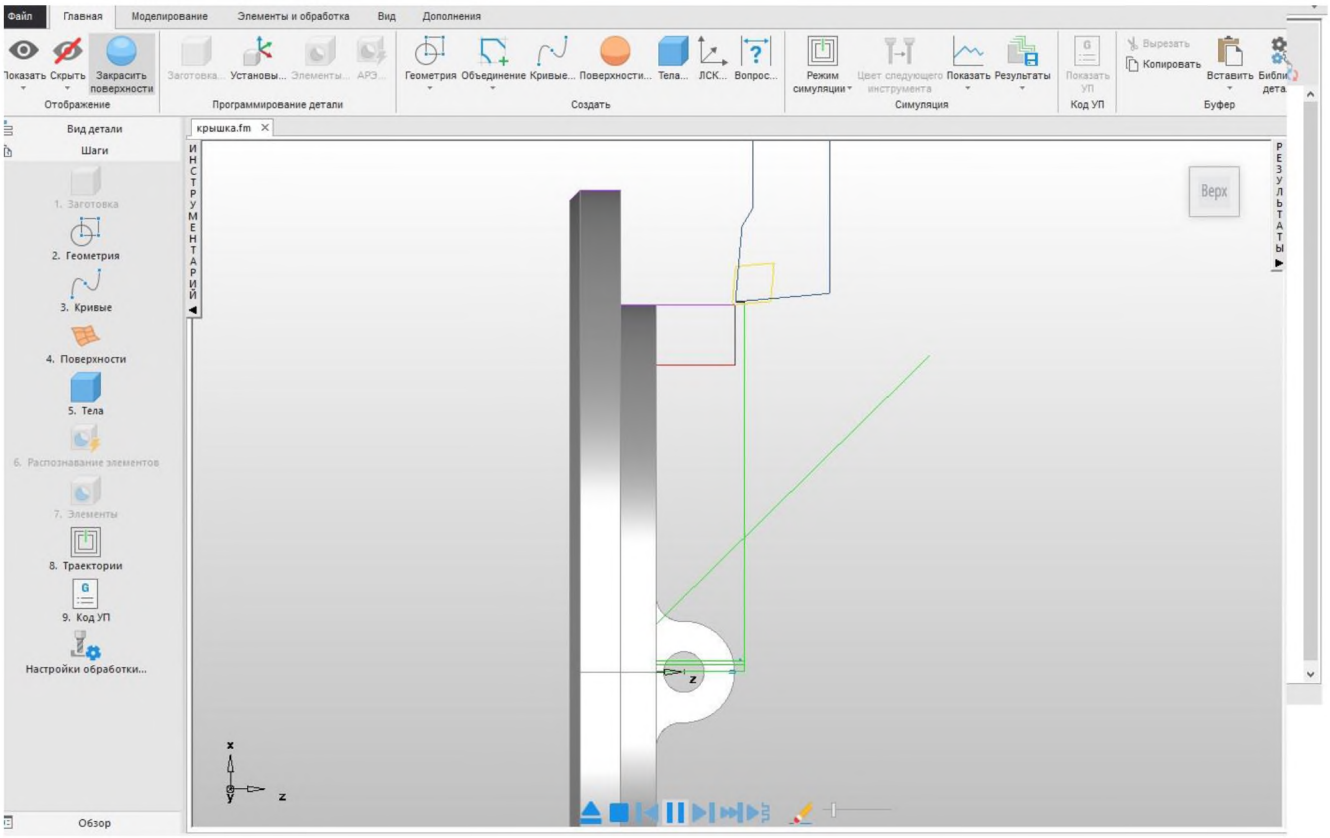


Рисунок 4.9 – Процес візуалізації обробки – точіння

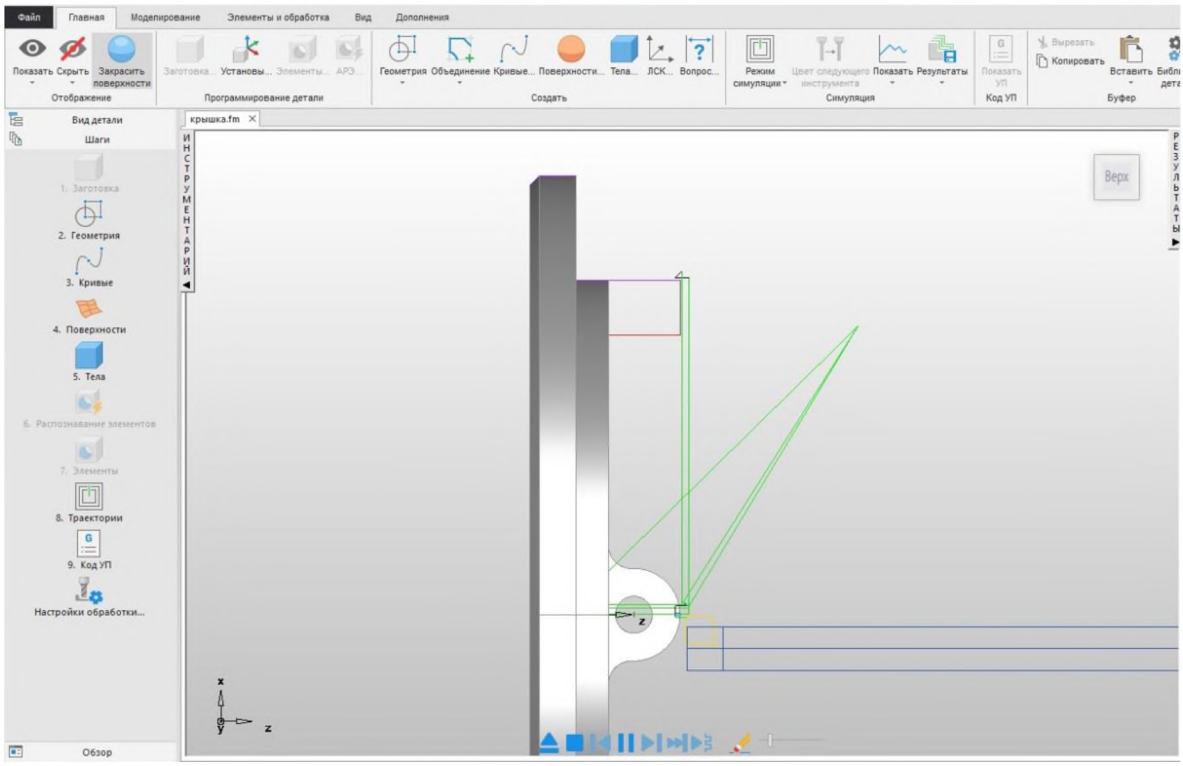
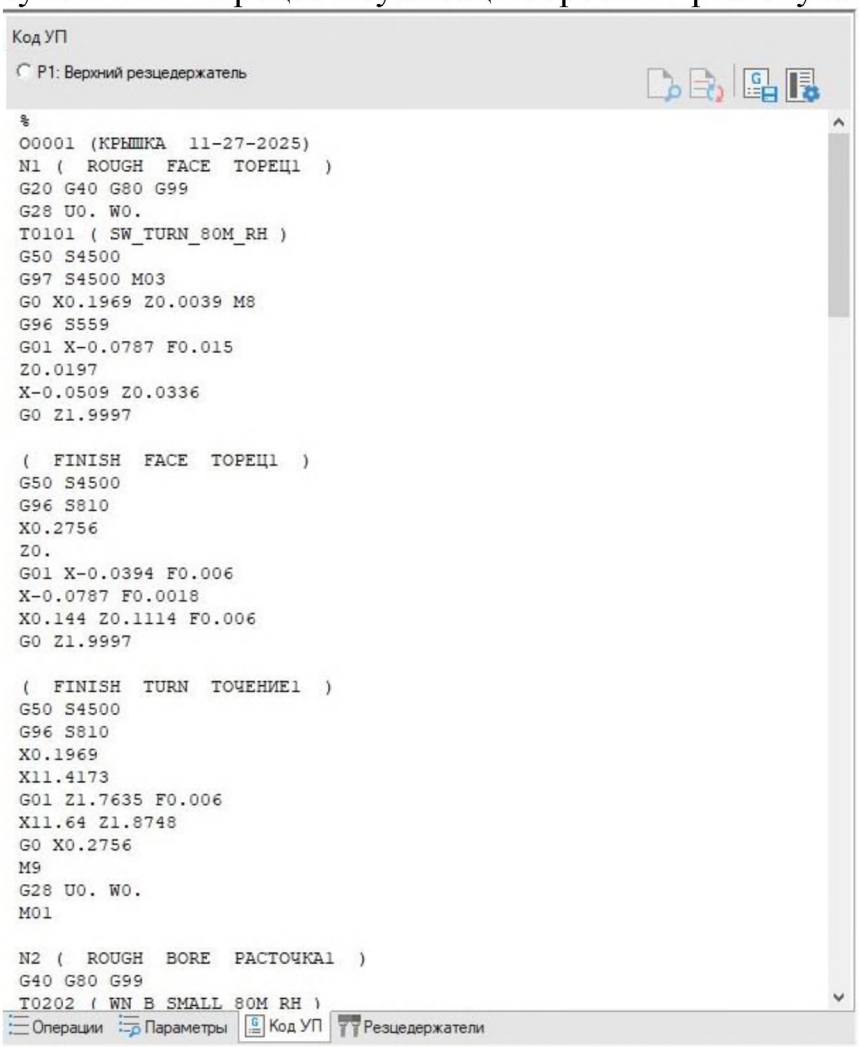


Рисунок 4.10 – Процес візуалізації обробки – розточування



Код УП

P1: Верхний резцедержатель

```
%
O0001 (КРЫШКА  11-27-2025)
N1 (  ROUGH  FACE  ТОРЕЦ1  )
G20 G40 G80 G99
G28 U0. W0.
T0101 ( SW_TURN_80M_RH )
G50 S4500
G97 S4500 M03
G0 X0.1969 Z0.0039 M8
G96 S559
G01 X-0.0787 F0.015
Z0.0197
X-0.0509 Z0.0336
G0 Z1.9997

(  FINISH  FACE  ТОРЕЦ1  )
G50 S4500
G96 S810
X0.2756
Z0.
G01 X-0.0394 F0.006
X-0.0787 F0.0018
X0.144 Z0.1114 F0.006
G0 Z1.9997

(  FINISH  TURN  ТОЧЕНИЕ1  )
G50 S4500
G96 S810
X0.1969
X11.4173
G01 Z1.7635 F0.006
X11.64 Z1.8748
G0 X0.2756
M9
G28 U0. W0.
M01

N2 (  ROUGH  BORE  РАСТОЧКА1  )
G40 G80 G99
T0202 ( WN_B_SMALL_80M_RH )
```

Операции | Параметры | Код УП | Резцедержатели

Рисунок 4.11 – Керуюча програма обробки

5 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ

5.1 Проектування верстатного пристосування

Проектування верстатного оснащення проводимо на вертикально – свердлильну операцію, що виконується на верстаті 2Р135Ф2-1.

5.1.1 Розробка схем базування заготовки

На рисунку 5.1 зображена схема базування деталі на столі верстату.

Деталь закріплюється у самоцентруючому трьох-кулачковому патроні, що закріплений на плиті за допомогою болтів. Плита кріпиться на стіл верстату чотирма пазовими болтами. Орієнтація плити забезпечується двома шпонками.

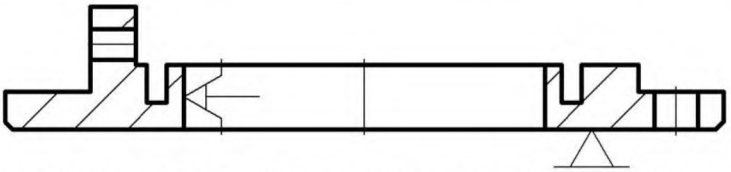


Рисунок 5.1 – Схема базування деталі на столі верстату

5.1.2 Розрахунок режимів різання

Режими різання були розраховані у 3-му розділі. Для розрахунку використаємо перехід з найбільшими силовими характеристиками, тобто свердління отвору $\varnothing 15$ мм.

Були визначені режими різання: V=146,4м/хв, S=0,3мм/об, n=2000об/хв.

Сили різання визначаємо за формулами:

$$P_X = 10 \cdot C_P \cdot t^X \cdot S^Y \cdot V^n \cdot K_P, \quad (5.1)$$

де C_P – постійна,

x, y, z – показники степенів,

K_P - поправочний коефіцієнт.

Виписуємо табличні значення та підставляємо у формулу.

$P_X = 10 \cdot 68 \cdot 7{,}5^{1.2} \cdot 0{,}3^{0{,}65} \cdot 146{,}4^0 \cdot 0{,}585 = 2041{,}12$ Н.

Крутний момент становить:

$$M_{KP} = 10 C_M D^q S^Y K_P \quad (5.2)$$

$M_{KP} = 10 \cdot 0{,}0345 \cdot 7{,}5^2 \cdot 0{,}3^{0{,}8} \cdot 0{,}585 = 4{,}33$ Н·м,

5.1.3 Розрахунок похибки базування

В даному випадку похибка базування визначається за формулою:

$$\delta_Б = \delta_П + \delta_Ш \quad (5.3)$$

де $\delta_П$ – похибка від закріплення деталі у патроні,

$\delta_Ш$ – похибка, що виникає через зазор у з'єднанні шпонка – шпонковий паз.

Похибка закріплення у патроні складає $\delta_П$=60мкм.

Визначимо $\delta_Ш$ кількісно дорівнює величині зазору S_{MAX} у з'єднанні шпонка – шпоночний паз $18\frac{H7}{h6}$ і становить 29мкм.

Таким чином, похибка базування $\delta_Б$=60+29=89мкм.

5.1.4 Визначення сили закріплення

Умова рівноваги деталі в пристосуванні може бути представлена у вигляді формули:

$$W \geq K f P_{різ} \quad (5.4)$$

де К – коефіцієнт запасу, що залежить від умов обробки деталі на верстаті та визначається:

$$k=k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6=1{,}5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1{,}3 \cdot 1 \cdot 1=1{,}95, \quad (5.5)$$

приймаємо k=2,5

f – коефіцієнт тертя в місцях контакту заготовки та пристосування, f=0,25,

$P_{різ}$ – зусилля різання.

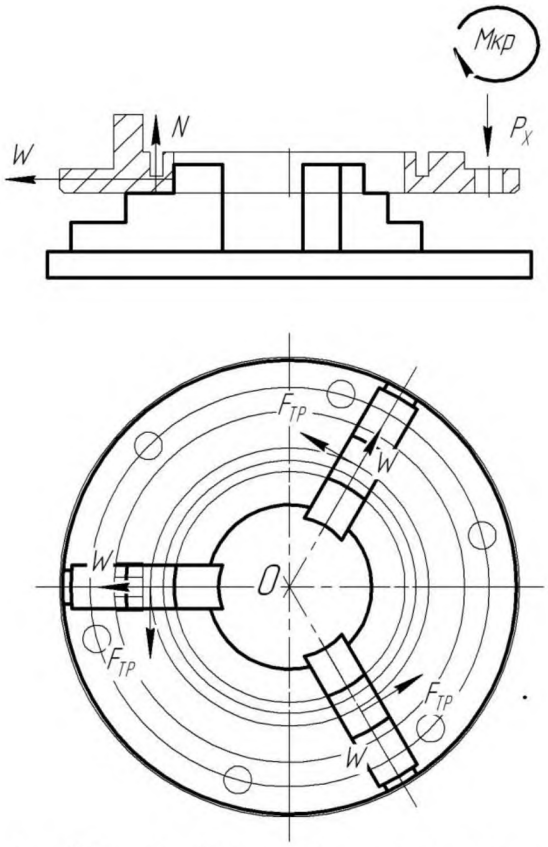


Рисунок 5.2 – Схема дії сил різання та реактивних сил

При свердленні отвору в заготовці, яка закріплена в трьохкулачковому патроні, вона може переміщуватись вздовж кулачків під дією сили різання $P_{різ}$ та проворочуватись в кулачках під дією крутного моменту $M_{кр}$. Необхідно приложити таке зажимне зусилля, щоб не було ні переміщення, ні провороту заготовки відносно кулачків. При переміщенні заготовки в кулачках вздовж цієї осі

коефіцієнт тертя будет f. Тоді сили тертя між кулачком та заготовкою будуть складати:

$$T_1 = fW \ . \qquad (5.6)$$

Рівняння сил:

$$3T_1 = P_0 \ . \qquad (5.7)$$

Після підстановки значення T_1 и введення коефіцієнта К рівняння прийме вид:

$$3fW = KP_0 .$$

Звідки:

$$W = \frac{KP_0}{3f} , \qquad (5.8)$$

Тепер визначимо величину зажимного зусилля при умові недопустимості провороту заготовки в кулачках. Так як заготовка затиснена в трьох кулачках, рівняння моментів буде мати вид:

$$3T_2 \cdot R = M_{кр} ,$$

де М – крутний момент, Н·м;

T_2 – сила тертя між кулачком й заготовкою при провороті останньої, Н;

R – радиус поверхні заготовки на ділянці закріплення її в кулачках.

$$3f_2WR = KM ,$$

$$W = \frac{KM}{3fR} = \frac{2{,}5 \cdot 4{,}33}{3 \cdot 0{,}25 \cdot 0{,}0955} = 152\,H \ . \qquad (5.9)$$

5.2 Проектування контрольного пристосування

Проводимо проектування контрольного пристосування для контролю торцьового биття поверхні Ø380, його значення не повинно перебільшувати 0,04мм (рисунок 6.3). Базування деталі здійснюється за внутрішню циліндричну поверхню Ø191H11. Деталь встановлюється на конічний підшипник, який в сою чергу був встановлен на втулку, яка знаходиться на контрольному валу. Індикатор підводимо до контролюємої поверхні, за допомогою втулки, на яку встановлен індикатор у потрібному положенні. Вал, який закріплен в шпинделі верстату, обертаємо. Таким чином, індикатор фіксує торцьове биття контролюємої поверхні.

Для розроблення загальної компоновки пристрою необхідно підібрати або спроектувати основні та допоміжні деталі. Для нестандартних елементів проводиться розрахунок із подальшим конструкторським опрацюванням. Загальну компоновку пристрою виконують у вигляді ескізу, на якому деталь зображається тонкими лініями із зазначенням установчих і вимірювальних елементів.

Під час вибору засобів контролю слід враховувати допустиму похибку вимірювання. Контрольний прилад має забезпечувати точність щонайменше на порядок вищу, ніж це передбачено технічними вимогами робочого креслення деталі. Для даного пристрою обрано електронний індикатор лінійних переміщень TESA DIGICO виробництва Hexagon Metrology TESA (Швейцарія).

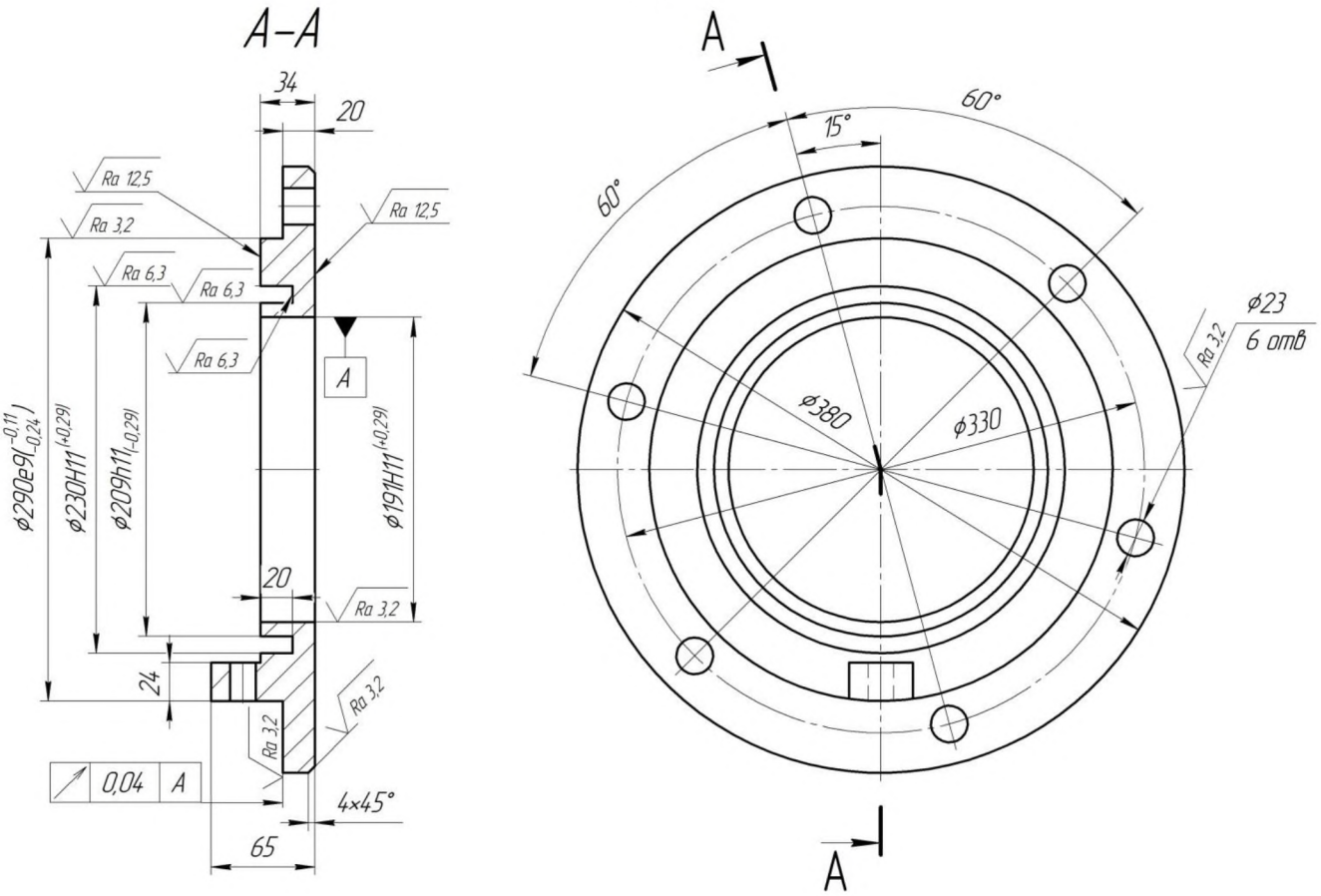


Рисунок 5.3 – Відхилення форми та розташування поверхні деталі обойма

Таблиця 5.1 – Характеристика контрольного приладу

Тип	Діапазон вимірювань, мм/дюйм	Дискретність цифрової шкали, мм/дюйм	Найбільша похибка, мкм	Габаритні розміри, ММ	
				А	В
19.30110	12,5/0,5	0,01 / 0,0005	5	65,9	53,4

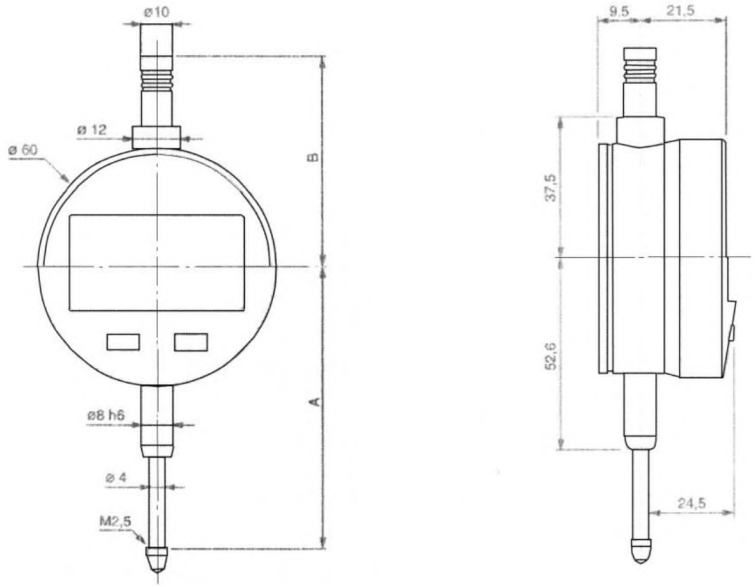


Рисунок 5.4 – Ескіз контрольного приладу

Розрахунок точності контрольного пристрою виконується в такій послідовності:

1) визначити допустиму похибку контролю.

2) визначити сумарну похибку контролю.

Сумарна похибка контролю визначається за формулою:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{л.р.} + \Delta_{п.п} + \Delta_{у.е} + \sqrt{\Delta_{б}^{2} + \Delta_{деф}^{2} + \Delta_{вип.}^{2} + \Delta_{з}^{2} + \Delta_{в.п.}^{2}}\,, \qquad (5.10)$$

Необхідно виявити та розрахувати складові сумарної похибки контролю.

Допустима похибка контролюю може досягати від 8% до 30% від допуску на розмір, що контролюється.

Допустима похибка вимірювання буде:

$$[\Delta] = 0{,}08 \div 0{,}3 \cdot T\,, \qquad (5.11)$$

де [Δ] – допустима похибка вимірювання;

Т – допуск на параметр, який контролюється.

$$[\Delta] = 0{,}3 \cdot 0{,}04 = 0{,}012 \text{ мм.}$$

В залежності від величини допуску на параметр, що контролюється, підбираємо вимірювальний прилад, який повинен бути на порядок точніше.

Зважаючи на схему вимірювання та те, що попередньо в вимірювальний пристрій буде встановлюватись еталон і датчики будуть обнульовуватися, то похибка виготовлення установочних елементів $\Delta_{у.е.}$ буде дорівнювати допуску на розмір еталону.

Похибка базування відсутня, оскільки деталь встановлюється безпосередньо на конструкторську базу. Похибка, пов'язана з деформацією, також відсутня, адже деталь має достатню жорсткість, а закріплення не здійснюється.

Для даного пристосування сумарна похибка контролю визначається за формулою:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{у.е} + \sqrt{\Delta_{вип.}^{2} + \Delta_{в.п.}^{2}}\,, \qquad (5.12)$$

Випадкові похибки визначаються:

$$\Delta_{вип} = 0{,}04 \cdot T \qquad (5.13)$$

$$\Delta_{вип} = 0{,}04 \cdot 0{,}04 = 0{,}0016 \text{ мм.}$$

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{у.е} + \sqrt{0{,}0016^{2} + 0{,}005^{2}} = \Delta_{у.е} + 0{,}0052\,.$$

Прирівнюємо та округлюємо Δ_{Σ} =[Δ], отримуємо:

$$0{,}012 = \Delta_{у.е.} + 0{,}0052;$$

$$\Delta_{у.е.} = 0{,}012 - 0{,}0052 = 0{,}0068 \text{ мм.}$$

Отже, якщо допуск на еталон становитиме менше ніж 0,0068 мм, то похибка вимірювання не перевищить допустимого значення.

Таким чином, можна зробити висновок, що за обраної схеми базування деталі під час контролю, використання обраного цифрового індикатора забезпечує необхідну точність вимірювань і відповідає встановленим вимогам щодо похибки.

6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА

6.1 Проектування та організація робочого місця

Для ефективного функціонування сучасного виробництва, заснованого на застосуванні складної техніки і технології, що характеризується великою кількістю внутрішньовиробничих зв'язків, необхідні чітка організація робочого місця.

Робоче місце має бути в максимальному ступені пристосоване для високопродуктивної, ефективної роботи з мінімальними затратами часу і зусиль.

Під організацією робочого місця розуміється технологічна і організаційна їх оснащення, планування та обслуговування. Робота з організації робочого місця залежить від типу виробництва і змісту трудового процесу.

При проектуванні виробничих процесів і розробці плану розташування обладнання та робочих місць необхідно враховувати основні положення наукової організації праці та технічної етики, виконання яких сприяє створенню найбільш сприятливих умов для працюючих і підвищення продуктивності праці.

Зовнішнім плануванням робочого місця є розміщення основного устаткування, оснащення, підйомно-транспортних засобів, пристроїв, заготовок і готових деталей.

Під робочим місцем розуміється організаційна зона виробничої площі, призначеної для виконання певних робіт і оснащена необхідними атеріально-технічними засобами праці, обладнанням. При будь-якій формі організації роботи для найкращого використання устаткування і досягнення найбільшої продуктивності праці необхідно, крім всіх технічних можливостей верстата, інструмента і пристосування, передбачити раціональну організацію робочого місця

Для цього потрібно усунути втрати часу і затримки, що викликаються зайвими рухами і ходінням несвоєчасної подачі матеріалу, незручним розташуванням заготовок, інструменту на робочому місці.

Раціональна організація робочого місця передбачає необхідну попередню підготовку роботи і робочого місця, своєчасне і чітке обслуговування його в процесі роботи і найбільш досконале планування.

6.1.1 Розробка загального компонування та принцип розташування обладнання в цеху

Організація робочого місця і конструкція обладнання повинні забезпечувати пряме і вільне положення корпуса тіла працюючого або нахил його вперед не більше ніж на 15°.

Для забезпечення зручного, можливо близького підходу до столу, шафи і т.п., має бути передбачено простір для стоп розміром не менше 150 мм по глибині, 150 мм по висоті і 530 мм по ширині.

Що стосується вимог до розміщення органів управління, то при роботі двома руками органи управління розміщують з таким розрахунком, щоб не було перехрещення рук.

Дуже часто використовувані засоби відображення інформації, що вимагають точного і швидкого зчитування показань, слід розташовувати у вертикальній площині під кутом ± 15 ° від нормальної лінії погляду і горизонтальній площині під кутом ± 15 ° від сагітальній площині.

Оснащення робочого місця являє собою сукупність розташованих в межах робочого місця основного технологічного і допоміжного обладнання, технологічної та організаційної оснащення, інструменту, технічної документації, засобів зв'язку та сигналізації, засобів охорони праці. Набір цих коштів залежить від технологічного призначення робочого місця, рівня його спеціалізації, системи обслуговування робочих місць.

Типовими основними видами оснащення є наступні :

- основне технологічне обладнання, яке призначене для виконання основної роботи на даному робочому місці (верстат);
- допоміжне обладнання - індивідуальні підйомно-транспортні пристрої;
- технологічне оснащення - робочі та вимірювальні інструменти, пристосування, запасні частини;
- робоча документація і спеціальна література - інструкції, технологічні карти, правила техніки безпеки;
- організаційна оснастка, до якої відносяться робочі меблі (шафи, тумбочки, стелажі), пристосування типу підніжних грат, упорів;
- засоби безпеки - огорожі, екрани, засоби індивідуального захисту (окуляри, рукавиці спеціальні одяг і взуття);
- засоби освітлення (загального для всього приміщення та місцевого для робочої поверхні або простору);
- робоча тара для сировини, матеріалів, напівфабрикатів, готових виробів, відходів виробництва (контейнери, піддони, коробки, ящики);
- засоби для підтримки на робочому місці нормального мікроклімату;
- господарські засоби для догляду за обладнанням і робочим місцем (щітки, ветош, совки, віники, маслянки, урни для сміття та ін.).

Основне и допоміжне устаткування повинні забезпечувати: зручність йо обслуговування, налагодження и ремонту; раціональну робочу позу (кращє змінну) виконавця; безпеку експлуатації і ремонту; можливість застосування прогресивних прийомів и методів праці; зручність и легкість управління; економію фізіологічних зусиль працівників й зниження нервово-психічного навантаження на них.

Розміщення організаційного оснащення має відповідати послідовності виконуваних робіт и буті підпорядковане зручності користування нею. Необхідно передбачати роздільне Зберігання документації, ріжучих, вимірювального и допоміжних інструментів, запасних частин и пристосувань.

Столи й стелажі, на яких зберігаються предмети праці, повинні розташовуватися так, щоб відповідати за висоті або буті трохи вище рівня обробки деталей, а висота столів або стелажів для готової продукції - відповідати рівню її обробки або бути трохи нижче .

Меблі по своїх габаритах не мають загромаджувати робоче місце, а її кількість потребує обґрунтування, при цьому слід керуватися необхідністю раціонального використання виробничої площі.

Кількість полиць в шафах і стелажах, ящиків в тумбочках і столах повинне бути достатнім для розміщення технологічного оснащення, робочої документації, предметів господарського вжитку. В місцях, де безпосередньо виконують свої виробничі функції працівники, слід встановлювати дерев'яні

підставки для ніг.

Велике значення має вибір засобів освітлення. При висвітленні робочих місць необхідно забезпечити достатній рівень загального освітлення, спеціальне освітлення робочої поверхні або простору, однаковість висвітлення різних приладів, контраст між робочими елементами і тлом, відсутність сліпучої дії світла.

Технологічна оснастка повинна бути розділена на предмети постійного і тимчасового користування, мати строго певні місця зберігання і розташовуватися в певному порядку. Предмети постійного користування слід розміщувати в безпосередній близькості від працівника, на рівні його рук. При цьому те, що береться правою рукою, повинно бути праворуч від працівника, а те, що береться лівою рукою - зліва.

Технологічна оснастка повинна відповідати вимогам технології виробництва по своєму складу і кількості. Ріжучі інструменти повинні бути зручними в роботі, легко встановлюватися на обладнанні і легко зніматися з нього. Робочі ручні інструменти крім функціональної придатності також повинні бути зручні у використанні, пристосовані до руки людини і до його фізичним можливостям. Ці ж вимоги застосовні до ручних вимірювальним інструментам.

При виборі технологічної оснастки керуються тим, що її конструктивні особливості повинні відповідати характеру виконуваних робіт і операцій,

забезпечувати максимальне використання технологічних можливостей устаткування. Вона повинна бути зручна у використанні, безпечна в роботі, повинна забезпечувати мінімальні витрати часу при монтажі на робочому

Організаційна оснастка покликана забезпечувати ефективне виконання працівником своїх обов'язків. Завдання наукової організації праці полягають у формулюванні вимог до комплексності оснащення, щоб не були упущені такі елементи оснащення, які забезпечують створення необхідних умов праці. НОТ пред'являє також вимоги до якості кожного з елементів оснащення, до їх ергономічності, тобто пристосованості до антропометричним, фізичним і психічним характеристикам людини.

Площу необхідну для збереження деталей і заготовок на робочому місці можна визначити за формулою:

$$S_1 = 3 \cdot S \cdot k, \text{ м}^2 \qquad (6.1)$$

де S - площа в плані займана тарою, м^2

k – коефіцієнт площі необхідної для навантаження-вивантаження тари, k =1,3

На верстаті 16К30Ф3 можуть розточуватися деталі середніх та досить крупних розмірів (наприклад чавунні відливки масою до 800 кг) так і вали, отже обираємо тару двох типів. Тара стійкового типу 4НП1286,3-2.

$$S_1 = 3 \cdot (2 \cdot 0{,}96) \cdot 1{,}3 = 7{,}488\, м^2$$

Площа необхідна для допоміжного устаткування , збереження інструментів і технологічного оснащення:

$$S_2 = S_{ст} \cdot k_1 + S_{ин.т.} \cdot k_2 + S_{ст.пр.} \cdot k_3 \text{ ,м}^2 \qquad (6.2)$$

де $S_{ст}$ - площа в плані столика прийомного, м^2, столик прийомний СД3702.11Б – 0,5 м^2;

k_1 - коефіцієнт займаної площі приймальним столиком; k_1 =1,1

$S_{ин.т.}$ - площа в плані інструментальної тумбочки, СМ3746.07- 0,3м^2;

k_2 - коефіцієнт займаної площі інструментальною тумбочкою; k_2 =2

$$S_2 = 0{,}5 \cdot 1{,}1 + 0{,}3 \cdot 2 = 1{,}15\, м^2$$

Площа для допоміжних технологічних цілей визначається:

$$S_3 = k_4 \cdot (S_{об.} + S_1 + S_2) \text{, м}^2 \qquad (6.3)$$

де $S_{об.}$ - площа в плані верстата, м^2;

k_4 - коефіцієнт займаної площі для обслуговування робочого місця;

k_4 = 0,5.

$$S_3 = 0{,}5 \cdot (18{,}36 + 7{,}488 + 1{,}15) = 13{,}499 \text{ м}^2$$

Розрахунок загальної площи робочого місця

Площа для робочого місця визначається за формулою:

$$S_{Р.М.} = S_Р + S_{об.} + S_1 + S_2 + S_3 \text{, м}^2 \qquad (6.4)$$

де, $S_Р$ - площа робочого місця верстатника, м^2.

$$S_{Р.М.} = 5 + 18{,}36 + 7{,}488 + 1{,}15 + 13{,}499 = 45{,}497 м^2 \text{ ,}$$

Рішення задачі знаходження оптимального варіанту організації робочого місця приймається за допомогою спеціальної системи оцінки різних варіантів.

Робоче місце розділяється на зони в залежності від трудових рухів (переміщення предметів праці до місця установки і назад).

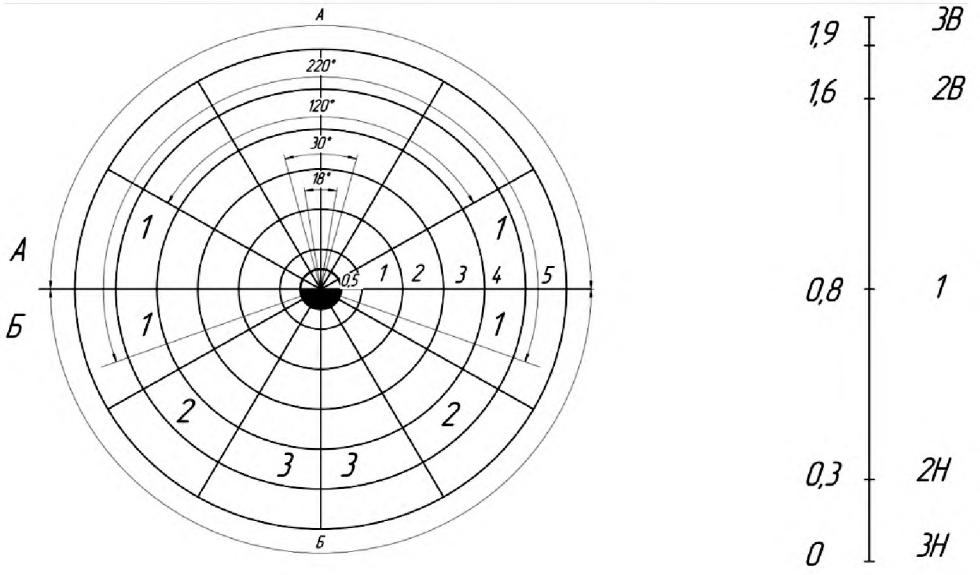
На рис. 6.1 показано схему зон робочого місця верстатника.

18° – кут миттєвого бачення в робочій зоні;

30° – кут ефективної видимості в робочій зоні;

120° – кут зору на робочому місці при фіксованому положенні голови;

220° – кут зору при поворотах голови.



а) б)

Рисунок 6.1 – Зони робочого місця в залежності від необхідних витрат робочого часу, зв'язаних з маніпуляціями з предметом праці й оснащенням при роботі на металорізальному верстаті: а) у плані, б) по висоті

При побудові схеми прийнято, що робоче місце в плані розділено на дві основні зони: А, яка знаходиться попереду від осьової лінії, що проходить через місце розташування робітника, і Б, що знаходиться позад цієї лінії

Кожна з основних зон розділена на ряд секторів (1, 2, і 3) рис. 6.1а в залежності від розташування стосовно робітника, а кожен сектор розділений концентричними колами, що визначають відстань місця розташування предметів праці від робітника .

Зони поділяються в залежності від розташування предмета праці по висоті рис. 6.1б на верхні В і нижні Н. Цифрова індексація побудована таким чином, що менші значення індексів відповідають більш зручним зонам, також враховується розташування предмета праці стосовно руки робітника, за допомогою якої він установлюється. Якщо предмет праці розташований з боку тієї руки, за допомогою якої він установлюється (чи знімається), то розташування предмета праці вважається прямим (П), а якщо з протилежної сторони, то розташування вважається зворотним (О).

Для робочого місця необхідно визначити бальну оцінку робочого місця виходячи з розташування на ньому предметів праці і технологічного оснащення:

$$Б = \frac{К_П \cdot Б_П + К_И \cdot Б_И}{К_П + К_И} \qquad (6.5)$$

де, $Б_П$ і $Б_И$ - бальна оцінка розташування предметів праці й інструментів на робочому місці;

$К_П$ – число прийомів установки і зняття деталей, виконуваних за зміну;

$К_И$ – число прийомів, зв'язаних з користуванням інструментами, за зміну.

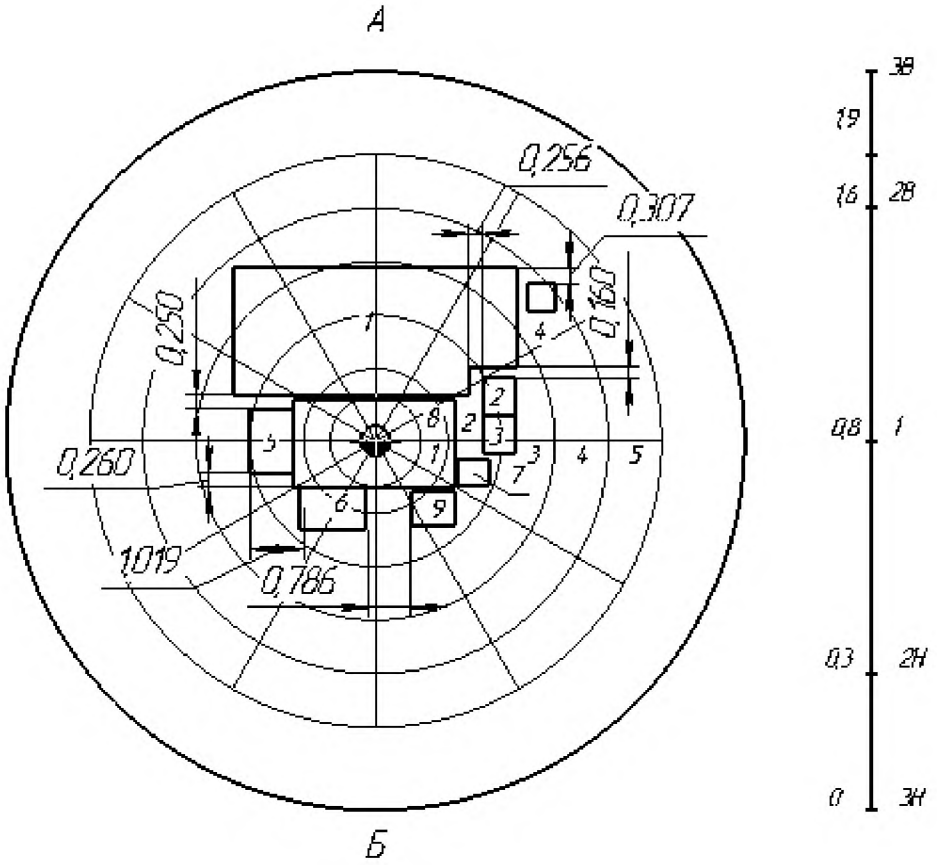


Рисунок 6.2 – Компоновка робочого місця верстата DMG MORI - ecoTurn 450
1 – верстат, 3 – гідроапаратура, 2 –система ЧПК, 4 – контейнер для стружки, 5 – тара для заготовок, 6 – тара для готових деталей, 7 - шафа інструментальна , 8 – грати для ніг, 9 – приймальний стіл.

Оцінка розташування заготовок і деталей у балах:

а) заготовки в ящику
А – 1 – 2 – 1 – О = 18
б) деталі в ящику
Б – 2 – 2 – 1 – О = 15
Разом середня 16,5
Оцінка розташування інструменту і пристосувань у балах:
в інструментальній шафі:
Б – 1 – 2 – 2В – П = 16

на прийомному столі:
Б – 2 – 2 – 1 – П = 16
Середня 16

Норма виробітку - 40 шт. у зміну. Установка і зняття деталі один раз з обробкою кожної деталі, вимірюється деталь двома інструментами.

$$Б = \frac{40 \cdot 16{,}5 + 80 \cdot 16}{40 + 80} = 16{,}17 \approx 16 \text{ балів}$$

6.1.2 Розробка схеми установки і кріплення обладнання. Розрахунок фундаменту

У цехах верстати встановлюється на фундаменти відповідно конструкції і розмірам опорної площі кожного верстата. Мало- і средньогабаритні верстати встановлюють на загальну бетонну плиту підлоги цеха й у разі потреби закріплюють болтами. Верстати, які піддаються значним динамічним навантаженням, мають підвищену точність, а також важкі встановлюються на окремих фундаментах. Розрахунок фундаментів ведеться на питомий тиск.

На рис. 6.3 показані схеми розрахунку фундамента. Висота фундамента береться 0,5 - 0,6 м для верстатів вагою до 10 т, а для більш важких 1 - 1,5 м.

Вага фундаменту визначається по формулі:

$$G_ф = Q \cdot q = F \cdot h \cdot q, \text{ Н (кг)} \qquad (6.6)$$

де Q – об'єм фундаментної плити в м^2;
q – вага 1 м3 бетону в Н/м^3 (кг/м^3);
F – опорна площа фундаментної плити в м^2;
h – висота фундаментної плити в м.

$$G_ф = Q \cdot q = F \cdot h \cdot q = 5000 \cdot 18{,}36 \cdot 0{,}6 = 55080 \text{ кг}$$

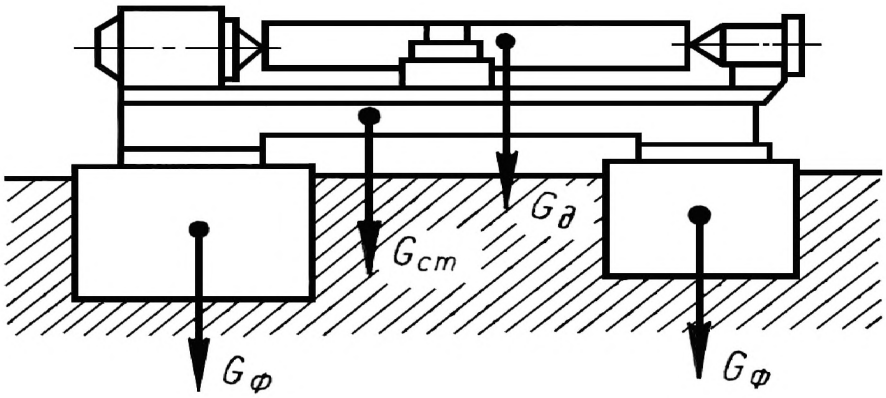


Рисунок 6.3 – Схеми розрахунку фундаменту

Вагу верстату $G_{СТ}$ знаходять у паспорті верстата чи інших документах. Вага оброблюваної заготовки $G_Д$ береться по максимальним габаритним розмірам. Таким чином, загальне навантаження на ґрунт визначаються за формулою:

$$P = G_Ф + G_{СТ} + G_Д$$

$$P = 55080 + 7850 + 3500 = 66430 кг$$

Перевірочний розрахунок фундаменту ведеться з припущення, що ґрунт являє собою пружну основу і сили, прикладені до фундаменту, проходять через центр ваги фундаментної плити.

Розрахункова формула фундаменту:

$$P = p \cdot F \qquad \text{Н (кг)}$$

де p – питомий тиск на ґрунт при статистичному навантаженні в Н/м^2;
F – опорна площа фундаментної плити на ґрунт у м^2.

$$P = 300 \cdot 18{,}36 = 5508 кН = 562{,}04 кг$$

Значення p підбираються по категорії ґрунту: для слабких ґрунтів, насичених водою, p береться до 147 кН/м^2 (1,5 кг/см^2); для ґрунтів середньої міцності p =147...343 кН/м^2 (1,5...3,5 кг/см^2); для міцних ґрунтів p =343...588 кН/м^2 (3,5...6 кг/см^2); для скельних основ p береться більше 588 кН/м^2 (6 кг/см^2).

В якості матеріалів для спорудження фундаментів під металорізальні верстати застосовується у більшості випадків, бетон, бут, цегла, природний камінь, рідше залізобетон.

6.2 Охорона праці та екологія виробництва

Ремонт шестеренних валків – одна з ключових операцій у відновленні приводної техніки, редукторів і прокатного обладнання. Попри відносну локальність робіт, цей процес включає низку екологічних та виробничо-безпекових аспектів, які часто залишаються поза увагою. Саме ремонтні операції, а не первинне виготовлення, можуть створювати значні ризики через контакт із зношеними деталями, мастилами, абразивами та технологічними відходами.

6.2.1 Екологічні аспекти ремонтних процесів

Одним із найбільших джерел впливу на довкілля є відходи, що утворюються під час шліфування й полірування шестеренних валків. Абразивний пил містить частинки металів, оксидів та мікроскопічних включень зношеної поверхні. Якщо його не збирати локально, він потрапляє у виробниче повітря та осідає на підлозі, звідки може потрапити до стічних вод або на територію підприємства.

Окремої уваги заслуговують мастила та змащувально-охолоджувальні рідини (ЗОР). Під час механічної обробки валків ЗОР змішуються з металевими частинками та утворюють складний техногенний відхід. Неправильне зберігання або утилізація таких сумішей може стати причиною забруднення ґрунтів та водних об’єктів. На сучасних виробництвах дедалі частіше використовують системи фільтрації та регенерації ЗОР, що дозволяє істотно зменшити їхній негативний вплив.

Ще один аспект – енергоспоживання. Шліфувальні та токарні верстати, печі для термообробки та обладнання для наплавлення споживають значну електроенергію. Впровадження інверторних приводів, контроль навантаження, використання сучасних джерел плазми або лазерного наплавлення можуть суттєво підвищити енергоефективність ремонтних дільниць.

Також варто враховувати шумове навантаження – ремонтні майстерні часто є джерелами інтенсивного низько- та високочастотного шуму, що впливає як на працівників, так і на прилеглі території. Установка шумопоглинальних кожухів та панелей зменшує як виробничий шум, так і його поширення за межі цеху.

6.2.2 Охорона праці: небезпеки та способи їх мінімізації

Ремонт шестеренних валків завжди пов’язаний з механічними, хімічними та фізичними ризиками. Найочевидніша небезпека – рухомі частини верстатів. Навіть під час дрібного шліфування існує ризик захоплення одягу, частин тіла або

інструмента. Тому робота без захисних кожухів є недопустимою, а одяг повинен щільно прилягати до тіла.

Металевий абразивний пил має здатність проникати в повітряно-легеневу систему, викликаючи подразнення або професійні захворювання органів дихання. Використання систем місцевої витяжної вентиляції – один із найефективніших методів його локалізації. Працівники повинні використовувати респіратори відповідного класу, особливо під час наплавлення чи термічного напилення.

Важливе питання – роботи з мастилами та ЗОР. Багато таких рідин містять присадки, які можуть подразнювати шкіру або викликати алергічні реакції. Усі операції на етапі зливу, фільтрації й транспортування потребують використання хімічно стійких рукавиць, захисних окулярів та обов'язкового маркування місць зберігання.

Окремо слід згадати вантажно-розвантажувальні операції. Шестеренні валки часто мають значну масу, і їх переміщення здійснюється кран-балками або тельферами. Небезпека тут полягає у можливому обриві строп, неправильному зачалюванні чи некоректному керуванні підіймальним механізмом. Регулярні огляди строп, використання сертифікованих вантажозахоплювальних пристроїв та допуск до робіт лише навченого персоналу є критично важливими.

Не варто недооцінювати ризики, пов'язані з термообробкою та наплавленням. Під час нагрівання валків до високих температур можливе виділення парів мастил, а також інфрачервоне теплове випромінювання. Для таких робіт обов'язкові термостійкі рукавиці, захисні окуляри з фільтрами та дотримання дистанції від нагрітих поверхонь.

6.2.3 Інтегровані підходи до екологічної та виробничої безпеки

Найефективнішим підходом є поєднання технічних та організаційних заходів. Сучасні майстерні з ремонту валків впроваджують:

- замкнені системи циркуляції ЗОР з багатоступеневою фільтрацією;
- локальні витяжні установки на кожному шліфувальному чи наплавлювальному посту;
- автоматизовані системи подачі абразивів і паст, що зменшують контакт працівника з відходами;
- регулярний інструктаж із фокусом на реальні аварійні ситуації;
- енергоаудит та оптимізацію режимів роботи обладнання;
- дистанційний контроль навантаження і вібрації верстатів, що знижує аварійність.

Ці заходи не лише зменшують екологічне навантаження, але й підвищують якість ремонту, оскільки стабільні виробничі умови завжди сприяють точнішій механічній обробці.

6.2.4 Висновки

Ремонт шестеренних валків – технічно складний процес, який створює низку екологічних та професійних ризиків. Екологічна безпека тут тісно пов'язана із правильною організацією робочого простору, утилізацією відходів та енергоефективністю. Охорона праці, у свою чергу, базується на поєднанні

сучасних технічних рішень, адекватного індивідуального захисту та дисципліни працівників. Скоординоване впровадження цих підходів дозволяє зробити процес ремонту шестеренних валків не лише технологічно якісним, а й безпечним для людей і довкілля.

6.3 Розрахунки ключових техніко-економічних показників

У роботі виконано економіко-аналітичне дослідження та визначено собівартість виготовлення деталі «Кришка» для двох можливих маршрутів її технологічної обробки. Проведено оцінювання ефективності модернізації виробничого процесу шляхом заміни застарілих токарних верстатів 16К20 і 1А64 на сучасний токарний верстат із ЧПК DMG MORI ecoTurn 450.

Усі дані та результати розрахунків, включно з визначенням строку повернення інвестицій, узагальнено в таблицях 6.1-6.4. У таблиці 6.1 наведено вихідні параметри, використані для подальших економічних обчислень.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані розрахунків

Вихідні дані			
Дані	Базовий варіант		Новий варіант
	16К20	1А64	ecoTurn 450
Деталь			
Річний обсяг випуску деталей N, шт.	2500		2500
Кількість запусків партій деталей в рік, шт.	20		20
Тривалість випуску деталей Z, рік	3		3
Штучний час обробки деталі $t_{шт}$, хв.	53	12,1	37,7
Час наладки верстата, хв.	16	16	22
Розряд:			
контролера	5		5
верстатника	4	3	2
наладчика	3	3	5
наладчика інструменту	4	4	4
Кількість кадрів програми, шт.			320
Вартість заготовки $S_{заг}$, грн.	323,12		323,12
Вартість комплекту спец. пристосувань $K_{пр}$, грн	50000	50000	65000
Середній час налагодження за прибором одного інструменту поза верстатом, хв.	1,5	1,5	1
Середній період стійкості інструменту, хв.	45	60	180
Середня кількість граней пластинки, шт.	1	1	3
Коефіцієнт, що враховує питому вагу основного часу в штучному $k_т$	0,083	0,083	0,083
Вартість одного кадру ПК, грн.			8,9
Вартість розробки ПК $K_{пк}$, грн.			2848

Продовження таблиці 6.1

Середньочасова зарплатня робітника, грн:			
верстатника $Н_{ст}$	130	130	130
наладчика $Н_{нал}$	135	135	135
наладчика інструмента $Н_{ін}$	120	120	120
контролера $Н_{к}$	115		115
Верстати			
Клас точності верстата	Н	Н	А
Маса верстата, т	6,875	11,4	6,5
Габарити верстата (довжина х ширина), м.	5,545 х 2,01	5,825 х 2	3,5х 2,29
Габарити пристрою ЧПК, м			0,5 х 0,5
Тип пристрою ЧПК			SIEMENS 840D
Строк служби верстата до капітального ремонту $Т_{рц}$, років	7	7	10
Встановлена потужність всіх електродвигунів головного руху, кВт	17	14	22,4
Категорія складності ремонту верстата ЕРС:			
механічної частини $R_м$	18,6	27,7	26,86
електротехнічної частини $R_е$	13,4	14	18,8
Кількість верстатів, що обслуговує один робочий d, шт	1	1	2
Оптова ціна верстата Ц, грн.	295000	405000	1835000
Коефіцієнт завантаження верстата $\eta_з$	0,7	0,4	0,9
Площа верстата за габаритами А, м. кв.	9,0	11,7	8,1
Площа пристрою ЧПК $А_у$, м. кв.			0,25
Витрати на одну одиницю ЕРС верстата, грн.			
механічної частини $Н_м$	401	401	272
електротехнічної частини $Н_е$	86	86	60
Норматив річних витрат на поточне обслуговування та ремонт ПЧПК Q, грн.	0	0	1950
Коеф., що враховує додаткову площу верстата, γ	4	3,5	3,5
Коеф., що враховує клас точності верстата, μ	1	1	1,8
Ефективний річний фонд часу роботи верстата $Ф_{об}$, год	4055	3975	3935
Виробничі та інші площи			
Вартість 1 м. кв. площі механічної $Ц_{пл.зд.}$, грн	500		500
Вартість 1 м. кв. площі, що займають службово–побутові приміщення $Ц_{сл.\ поб}$, грн	1000		1000
Площа службово-побутових приміщень, що приходяться на одного робочого $А_б$, м. кв.	7		7
Витрати на утримання та амортизаційні витрати на 1 м. кв. цеху $Н_{пл}$, грн.	180	180	200

Таблиця 6.2 – Розрахунок допоміжних показників

Розрахунок допоміжних показників			
Дані	Базовий варіант		Новий варіант
	16К20	1А64	HASS ST 30
Трудомісткість обробки $T_{шт}$, год	400	400	1100
Час наладки верстата впродовж року $T_н$, год	5,333333333	5,33333333	7,333333333
Час наладки інструмента поза верстатом впродовж року $T_{н.ін}$, год	0	0,00	20,00
Час контролю деталей впродовж року $T_к$, год	33,2	33,2	91,3
Кількість верстатників $P_{ст}$, чол. (розрах.)	0,22	0,22	0,30
(дійсна)	1	1	1
Кількість наладчиків верстатів $P_н$, чол. (розрахункова)	0,0029	0,0029	0,0039
(дійсна)	1	1	1
Кількість наладчиків інструмента поза верстатом $P_{н.ин}$, чол. (розрахункова)	0	0,0000	0,01075
(дійсна)	0	0	1
Кількість контролерів $P_к$, чол. (розрах.)	0,02	0,02	0,05
(дійсна)	1		1
Додаткова кількість робочих по обслуговуванню верстатів з ЧПК $P_{дод}$, чол (розрахункова)	0,00	0,00	0,16
(дійсна)	0	0	1
Загальна кількість працівників на річну програму випуску деталей, чол.	5		5
Частка завантаження верстата обробкою деталі в обсязі річного випуску β	0,14	0,18	0,31

Таблиця 6.3 – Результати розрахунків

Собівартість механічної обробки річного випуску деталей

$C = И_з + И_н + И_{ін} + И_{пк} + И_{пр} + И_{усп} + И_а + И_{пл} + И_{сл} + И_р + И_у + И_к$,

де $И_з$ – зарплатня верстатника;
$И_н$ – зарплатня за наладку верстата;
$И_{ін}$ – зарплатня налагоджувальника інструмента поза верстатом;
$И_{пк}$ – витрати на підготовку та поновлення керуючої програми;
$И_{пр}$ – витрати на ремонт та утримання спеціальних пристосувань;
$И_{усп}$ – витрати на прокат універсально-збірних
$И_а$ – амортизаційні відрахування на повне відновлення обладнання;
$И_{пл}$ – витрати на утримання приміщення, яке займає верстат;
$И_{сл}$ – витрати на амортизацію і утримання службово-побутових приміщень;
$И_р$ – витрати на ремонт та технічне обслуговування обладнання;
$И_у$ – витрати на технічне обслуговування і ремонт ЧПК;
$И_к$ – зарплатня контролера

C_1 на деталь =	105,97
C_2 на деталь =	87,59

	$И_з$		$И_н$		$И_{ін}$		$И_{пк}$		$И_{пр}$		$И_{усп}$		$И_а$		$И_{пл}$		$И_{сл}$		$И_р$		$И_у$		$И_к$		
C_1 =	171344	+	2264,37	+	0,00	+	0,00	+	37333,3	+	0	+	5663,52	+	2242,33	+	35000	+	3445,7	+	0	+	7636,00	=	264929,46
C_2 =	118842	+	1556,76	+	234,00	+	949,33	+	24266,7	+	0	+	19256,49	+	3024,00	+	35000	+	4746,7	+	609,71	+	10499,50	=	218984,75

Продовження таблиці 6.3

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 комплекту 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 =	126528	+	6229	+	35000	+	45527	+	100000	+	0	= 313284
K_2 =	363330	+	2615	+	28000	+	49534	+	65000	+	2848	= 511326,29

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

Приведені витрати						
$З_1$	=	C_1	+	$E_н$	·	K_1
311922		264929		0,15		313284
$З_2$	=	C_2	+	$E_н$	·	K_2
295684		218985		0,15		511326

Річний економічний ефект			
E	=	$З_1$	- $З_2$
16238		311922	295684

Строк окупності							
$T_{ок}$ =		(K_2	-	K_1)	/	(C_1	- C_2)
4,31		511326		313284		264929	218984,8

Проведений аналіз показав, що застосування одного високотехнологічного верстата з числовим програмним керуванням замість двох морально та фізично застарілих машин істотно скорочує час виготовлення деталей. Запропоноване оновлення обладнання є економічно доцільним: орієнтовний строк окупності становить 4,31 року, а щорічний очікуваний економічний ефект – близько 16 238 грн.

7 КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ІННОВАЦІЙНО-НАУКОВИХ РЕСУРСІВ

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЇ ШЕСТЕРЕННОЇ КЛІТІ ПРОКАТНОГО СТАНУ

Серед промислових машин існує окремий клас – металургійні машини, що відрізняються такими особливостями: значними масами, похибками виготовлення, великими динамічними навантаженнями та нестабільністю процесів, що протікають. У промислових умовах отримати інформацію про технічний стан таких об'єктів діагностування практично неможливо.

Нормування вібрації шестеренної кліті здійснюється з тих-таки принципів побудови діагностичної моделі, як і устаткування загалом. Однак методи нормування вібропараметрів необхідно підбирати, оптимізуючи витрати на прилади та діагностику.

Предмет даної роботи – нормування вібрації з часової реалізації вібросигналу – короткочасного режиму роботи кліті.

Часова реалізація вібраційного сигналу – це відображення того, як вібрація змінюється в часі, що описує положення, швидкість або прискорення точки, що коливається в залежності від часу. Воно являє собою графік, що показує амплітуду сигналу в кожний момент часу (рис. 7.1), і може бути описано як часова функція, наприклад, переміщення, віброшвидкість або прискорення.

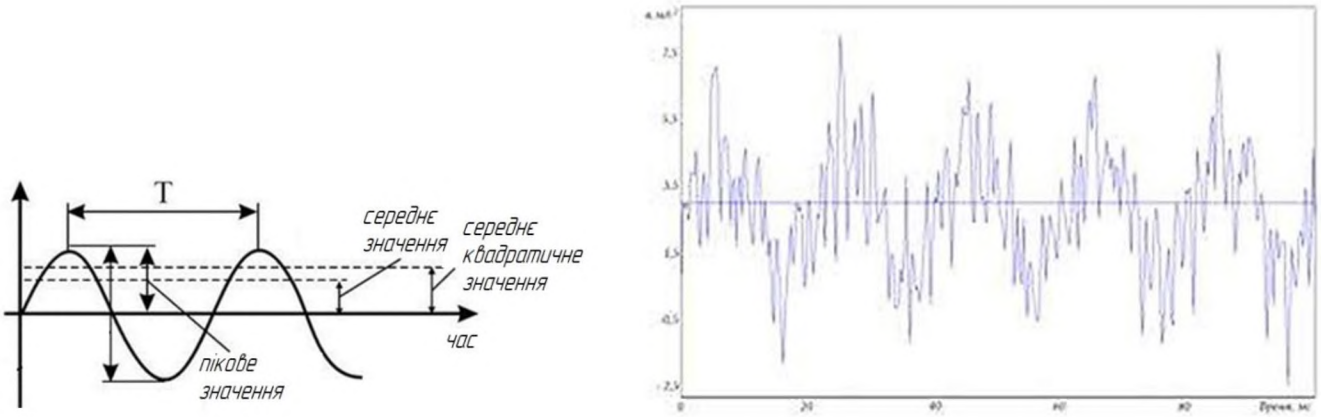


Рисунок 7.1 – Зміна параметрів сигналу у часі

Актуальність дослідження полягає в розробці алгоритму аналізу тимчасових реалізацій як комплексного параметра, який несе в собі інформацію не лише про загальний технічний стан системи, а й про стан її окремих елементів.

Вимірювання загального рівня вібрації [16] дозволяє визначити категорію технічного стану обладнання за допомогою методів взаємного, відносного або абсолютного порівняння. Вимірювання параметрів вібраційного сигналу [17] (ударний імпульс, пік-фактор, віброприскорення, що обгинає) використовується для оцінки технічного стану підшипникових вузлів обладнання. Спектральний аналіз вібраційного сигналу [18] забезпечує виявлення, ідентифікацію пошкоджень та можливість прогнозування їх розвитку починаючи з ранньої стадії. При цьому аналіз тимчасових реалізацій використовується відносно часто, дозволяючи судити про стабільність процесів, що протікають в механізмі [19].

Розширення об'єктів діагностування, необхідність розпізнавання фактичного стану механізмів, що працюють у короткочасному режимі, потребує розробки методології аналізу тимчасових реалізацій вібраційного сигналу на новому рівні вимог вирішення практичних завдань.

Метою даної роботи є дослідження (використовуючи результати літературного огляду) методів нормування вібрації (розробка алгоритму аналізу часових реалізацій вібраційного сигналу).

Поставлена мета досягається на практиці вирішенням наступних завдань:

1. Упорядкування динамічної моделі системи.
2. Аналіз виникаючих у системі коливань.
3. Складання бібліотеки часових реалізацій.
4. Аналіз часових форм, виміряних у промислових умовах.

7.1 Теоретичний аналіз підходів до вирішення проблеми

В даний час актуальним питанням є визначення фактичного технічного стану та прогнозування термінів відмови механізмів та їх окремих елементів. Очікувана цінність вирішення зазначеного питання пов'язана з аксіомою: «Досягнення максимальної ефективності використання металургійного обладнання можливе лише за наявності інформації про технічний стан механізмів. Отримані дані використовуються щодо обсягів ремонтних робіт, допустимого ступеня навантаженості і термінів експлуатації машин» [20].

Для встановлення достовірного діагнозу про технічний стан об'єкта необхідний попередній аналіз вхідних впливів та адекватних реакцій. Якщо спрощено – «…технічний стан елементів машини визначається трьома факторами: фізичними процесами старіння, технологічними навантаженнями та зовнішніми впливами, зокрема, проведенням технологічного обслуговування та ремонтів».

Вихідним параметром системи є тимчасова реалізація сигналу вібрації. Передбачається, що для механізмів, що працюють у короткочасному та повторно короткочасному режимі, цей параметр є найбільш інформативним. Це припущення знаходить підтвердження при зверненні до літературних джерел:

1. «Швидкопротікаючі процеси зі змінними прискореннями важко діагностувати, тому що процес вимірювання вимагає певного проміжку часу, протягом якого вимірюваний параметр залишається постійним. І тут доцільно

проводити спільну реєстрацію не середніх, а миттєвих значень вібрації…і отримувати для аналізу їх часову развертку» [19].

2. «У ряді випадків, коли в коливальному процесі, що супроводжує роботу агрегату, необхідно зберегти фазові співвідношення, що несуть основну інформацію про параметри технічного стану, достатньо звернутися до аналізу часової реалізації процесу».

3. «…виділення і реєстрація часових реалізацій віброакустичного сигналу у власної частоти зубів пари коліс є простим і надійним методом діагностування появи тріщини, скола і поломки зубів коліс».

4. «У часовій області легко помітний стукіт деталей, що призводить до асиметрії форми сигналу, який може бути наслідком ослаблення механічних з'єднань».

Таким чином, тимчасова реалізація вібросигналу несе достовірну інформацію про технічний стан механізму у разі короткочасного режиму роботи. У нашому випадку це шестеренна кліть прокатного табору (рис. 7.2).

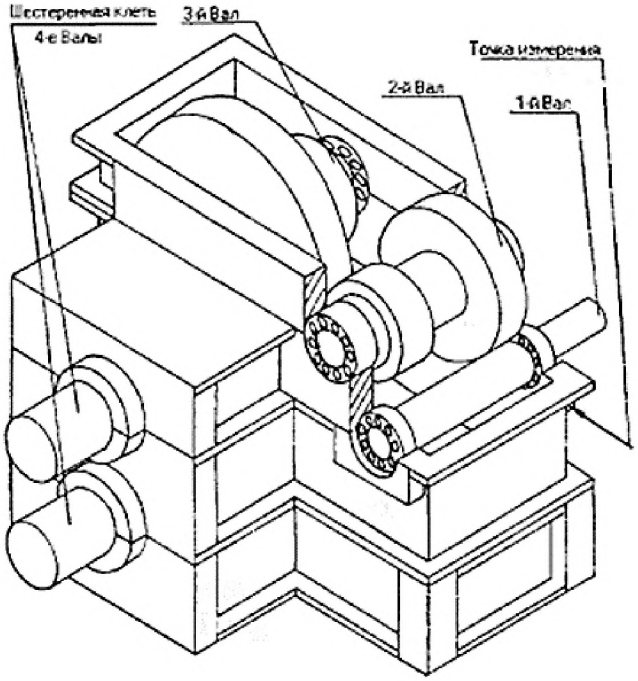


Рисунок 7.2 – Комбінована шестеренна кліть

Існує три види несправностей, що викликають підвищення вібрації в елементах клітки:

- дефект – порушення якості виготовлення;
- пошкодження – порушення справного стану;
- порушення функціонування – порушення алгоритму виготовлення або експлуатації.

У свою чергу пошкодження можуть бути спричинені значними динамічними навантаженнями, що виникають на робочому ході при проході металу через валки прокатної кліті та обумовленими наявністю зазорів у зубчастій передачі та підшипниках.

На початковій стадії досліджень стоїть завдання визначення за тимчасовими формами категорії технічного стану:

- хороший технічний стан;
- задовільний;
- незадовільний;
- аварійний.

Для розробки алгоритму аналізу вібраційного сигналу пропонується два методи.

7.1.1 Перший метод

Перший метод полягає у побудові двомірного діагностичного простору у двох чвертях. Координатами виступають поточні позитивні та негативні значення амплітуд коливань та відповідні періоди (рис. 7.3).

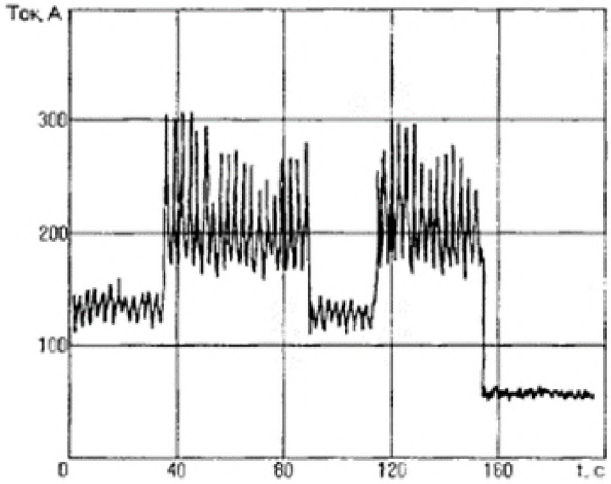
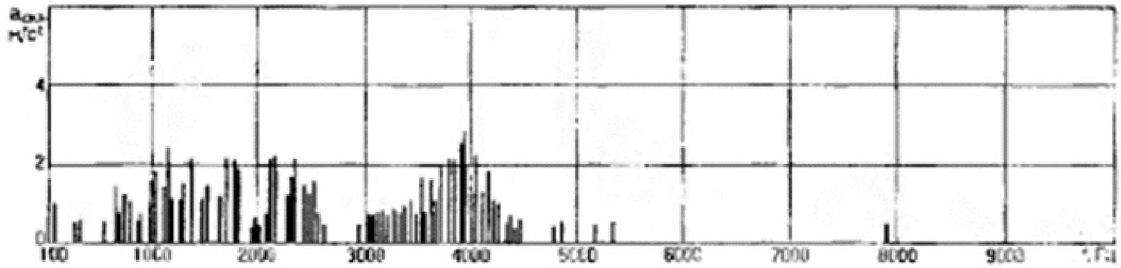
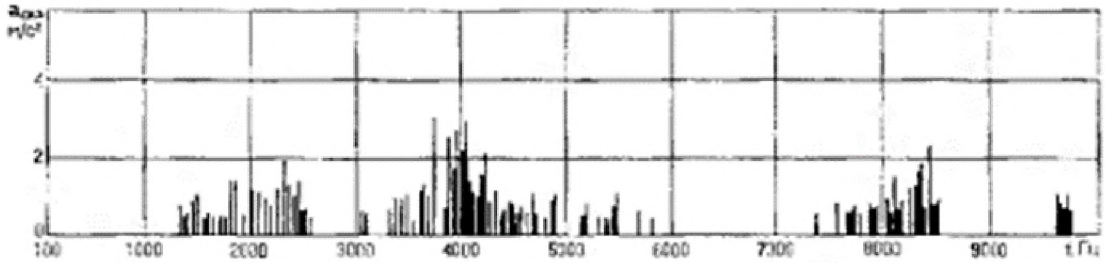


Рисунок 7.3 – Тимчасова реалізація вібраційного сигналу. Коливання струму електродвигуна прокатної кліті під навантаженням та холостим ходом



а)



б)

Рисунок 7.4 – Спектрограма віброприскорення редуктора при пошкодженні підшипника: а) холостий хід; б) робочий хід

Таким чином, можуть бути наочно відображені відхилення часових форм від симетричності та періодичності, що дозволяє судити про наявність погіршення технічного стану.

7.1.2 Другий метод

Другий метод полягає в побудові гістограми залежності кількості амплітудних значень віброприскорення, що потрапляють у певний інтервал, від діапазону значень, що реєструються, і розподілу, відповідного даної залежності. Визначення технічного стану з використанням цього методу ґрунтується на наступній гіпотезі: ступінчасті переходи, що спостерігаються на гістограмі, обумовлені роботою механізму в зоні нестійкої рівноваги при вібрації, що відповідає межам технічних станів.

Вимірювання вібрації на шестерінній кліті проводилися в горизонтальному та вертикальному напрямках з використанням аналізатора спектра вібрації 795М, який дозволяє вимірювати динамічні сигнали з подальшим їх записом в енергонезалежну пам'ять, переглядати, аналізувати та передавати їх у базу даних на персональний комп'ютер [16, 17].

Відомим фактом при діагностуванні механічних систем є висока інформативність перехідних процесів (розгін, гальмування, зміна навантаження). Саме в цьому періоді відбувається закриття проміжків, перші прояви пошкоджень. Складність рішення в даному випадку погіршується зміною частоти коливань через збільшення або зменшення швидкості процесу, нестабільністю навантажень (відмінності прокатів профілів, зміна температури металу) і суб'єктивністю процесу управління. Оптимальним рішенням є аналіз тимчасових реалізацій вібраційного сигналу.

У той же час коливання механічної системи носять випадковий характер при кожному конкретному циклі коливань, що визначається цілим рядом факторів: значення діючих сил, контакт взаємодіючих поверхонь, що реалізує прояв пошкоджень.

Передбачається наступна залежність - великі ушкодження призводять до збільшення розкиду параметрів коливального процесу. Це створює передумови для розпізнавання стану механічної системи, з аналізу тимчасових реалізацій вібраційного сигналу.

Розв'язання задач розпізнавання зводиться до формування простору діагностичних ознак: двовимірного (у більшості випадків), три-, чотиривимірного. Найчастіше при тимчасовому аналізі однією з діагностичних параметрів приймається час. Розглянемо можливі діагностичні параметри.

1. Повторюваність параметрів коливального процесу. Однаковим початковим впливам повинні відповідати однакові реалізації параметрів коливань. Для знаходження вузла, має пошкодження, слід порівнювати запис однотипних процесів у різних точках. Амплітуда, розмах коливань, тривалість процесу сумарні коливання є діагностичними параметрами порівняння технічного стану різних підшипникових вузлів.

2. Розглядаючи технічний стан вузла, слід оцінювати симетричність сигналу щодо нульового (початкового) рівня коливань. Наявність симетричного сигналу

свідчить про хороший стан (ідеальним випадком є синусоїдальна форма коливань – абсолютно симетрична).

Приклад симетричного циклу наведено на рис. 7.5.

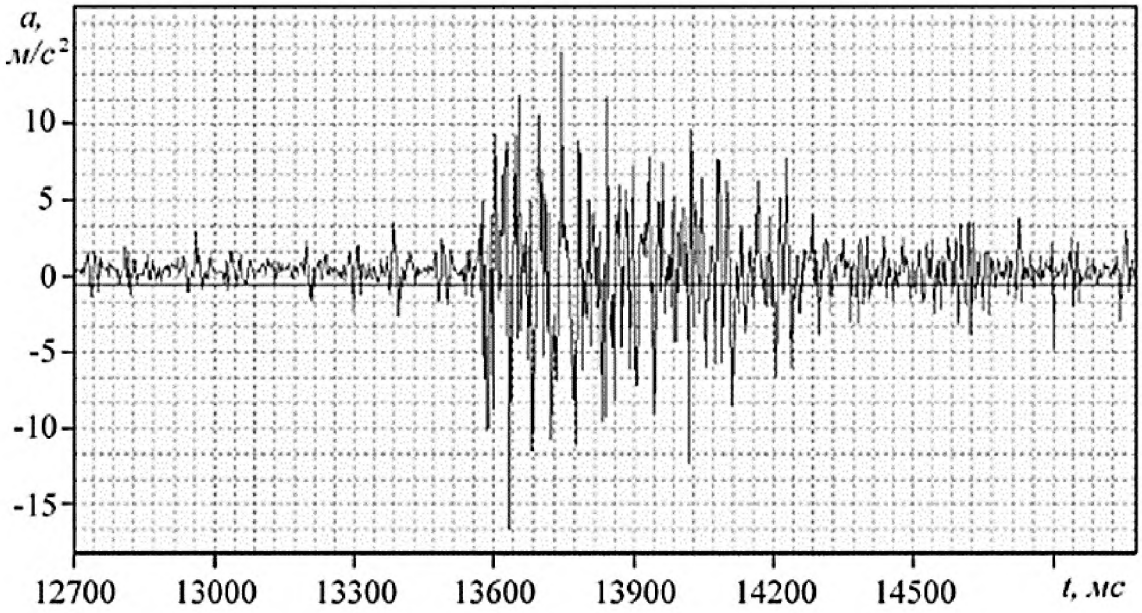


Рисунок 7.5 – Приклад симетричного циклу коливань

3. Найбільш значущим є час заспокоєння системи після впливу, що обурює. Системи з малою жорсткістю та малими властивостями, що демпфують, матимуть більший час згасання. Необхідно визначити причини, що знижують жорсткість та демпфуючі властивості системи.

4. Завершальний етап розпізнавання - визначення меж технічних станів. Рішення можливе шляхом моделювання несправних станів при виконанні умови непошкодження поряд розташованих елементів.

Тимчасова реалізація вібраційного сигналу механізму короткочасного режиму роботи може бути охарактеризована двома факторами - поточними позитивними та негативними значеннями амплітуди коливань Ai, -Ai та відповідними періодами коливань Ti (рис.7.6).

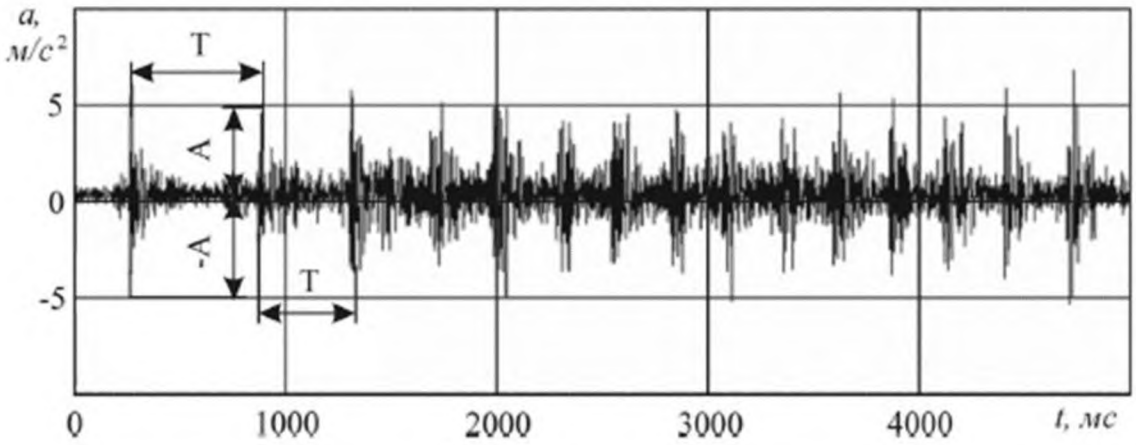


Рисунок 7.6 – Приклад часової реалізації вибраційного сигналу

В результаті маємо двомірний діагностичний простір, для якого можемо визначити координати досліджуваної вибірки (конкретної сукупності реалізацій тимчасового сигналу):

$$\overline{A}_k = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n_k} A_{k(i)}\ ;\ \overline{T}_k = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n_k} T_{k(i)}\ ,$$

де A_k і T_k – математичне очікування відповідних координат,
n – кількість спостережень.

7.2 Засоби технічного діагностування

Серед засобів технічного діагностування, що використовуються для діагностування механічного обладнання, за рівнем розв'язуваних завдань та приладової реалізації можна виділити: портативні, аналізатори та вбудовані системи контролю.

7.2.1 Портативні прилади

Портативні засоби технічного діагностування реалізують процес вимірювання одного або кількох діагностичних параметрів, характеризуються малими габаритами та відсутністю обміну даних із комп'ютерними системами. До їх переваг належать: швидкість процесу вимірювання, просте обслуговування та управління, оперативне та наочне отримання інформації у вигляді одиночного результату, низька вартість. Область застосування – оперативний контроль технічного стану обладнання працівниками ремонтних служб та технологічним персоналом.

Аналізатори вібрації дозволяють провести розпізнавання несправностей під час використання апарату спектрального аналізу, комп'ютерних технологій та експертних систем. Переносний прилад виступає в ролі мобільного пристрою для збору та попереднього аналізу даних, а комп'ютер та програмне забезпечення дозволяють проводити глибші дослідження на основі аналізу трендів та експертних систем.

7.2.2 Прилади для балансування роторів у власних опорах

Даний клас приладів є специфічним для вітчизняних виробників та відсутній у виробництві іноземних фірм.

Рисунок 7.7 – Малогабаритний балансирувальний прилад/аналізатор МБП-5

Однією з основних причин підвищеної вібрації машин, що обертаються, є дисбаланс. Наявність дисбалансу призводить до прискореного зношування підшипників, валів та інших складових механізму, підвищеного рівня шуму, зменшення к.к.д. Вирішити ці проблеми можна шляхом врівноваження роторів на місці експлуатації. Найбільш характерним для даного класу є малогабаритний балансувальний прилад/аналізатор МШП-5 (ІТЦ «Вібродіагностика», Україна, м. Сєвєродонецьк). Прилад призначений для вимірювання параметрів вібрації та балансування роторів у підшипниках (рис. 7.7).

Вимірювання одного із параметрів вібрації ніколи не дозволяє встановити правильний діагноз. Бажано поєднання, одночасна реєстрація: віброперемiщення – для оцінки відносного зміщення елементів об'єкта; віброшвидкості – для визначення рівня енергії механічних коливань, спрямованої на руйнування деталей; віброприскорення – для визначення ступеня пошкодження в підшипниках кочення та зубчастих передачах. Додаткову інформацію несуть і характеристики коливальних процесів, такі як середньоквадратичне значення, пікове значення, розмах амплітуди.

Прикладом реалізації цієї концепції є віброметр 107В (рис. 7.8) – компактний, автономний, мікропроцесорний вібровимірювальний прилад. Він призначений для вимірювання параметрів механічних коливань працюючого обладнання: віброприскорення, віброшвидкості, віброперемiщення, спектрального аналізу вібраційних сигналів.

Рисунок 7.8 – Загальний вид віброметра 107В и пьезоакселерометра

7.2.3 Аналізатори

Аналізатори дозволяють виконати як вимірювання, а й детальний аналіз діагностичних параметрів. З отриманої інформації проводиться виявлення пошкоджень на ранній стадії розвитку. Серед цього класу засобів технічного діагностування необхідно виділити спектроаналізатори вібрації, тепловізори,

аналізатори напруги. Одним із перших масових спектроаналізаторів, що мали найбільш широкі можливості, був VIBROPORT-30 (фірма SCHENCK, Німеччина), зовнішній вигляд вимірювального блоку якого показаний на рис. 7.9.

Рисунок 7.9 – Вимірювальний блок прибору VIBROPORT-30

Можливості спектроаналізаторів вібрації.

1. Проведення аналізу тимчасових характеристик сигналів та аналізу тимчасової розгортки сигналів (режим осцилографа).

2. Проведення спектрального аналізу вібрації - поділу вібрації на частотні складові в широкому діапазоні частот, з можливістю вибору частотних діапазонів.

3. Проведення спектрального аналізу високочастотних сигналів вібрації, що огинають, з можливістю перебудови середньої частоти смугового фільтра і вибором різних меж частотного діапазону.

4. Забезпечення достатньої роздільної здатності, до 1600 ліній/спектр.

5. Забезпечення усереднень за спектральними характеристиками.

6. Оцінка викидів у сигналі вібрації – визначення пік-фактора.

7. Визначення загального рівня вібрації у смузі частот, необхідної стандартами вібраційного контролю.

8. Проведення вимірювань за маршрутом.

9. Можливість передачі накопичених вимірів на комп'ютер для їх подальшої обробки.

7.3 Висновки

1. Отримані результати дозволяють зробити висновок про можливість використання часових форм як джерела інформації про технічний стан механізмів та, в першу чергу, механізмів короткочасного режиму роботи.

2. Для досягнення результатів запропоновано два методи аналізу тимчасових реалізацій, які полягають у побудові двомірного діагностичного простору, гістограм та визначенні відповідності нормальному закону розподілу.

3. Результатів, отриманих під час аналізу часових реалізацій вібросигналу, на даний момент недостатньо для встановлення достовірного діагнозу про технічний стан механізму.

ВИСНОВКИ

У магістерській випускній роботі було вирішено комплекс інженерно-технологічних завдань, спрямованих на підвищення ефективності виготовлення та ремонту елементів шестеренної кліті, удосконалення технологічних процесів, а також підвищення надійності роботи прокатного обладнання. У ході виконання роботи отримані такі основні результати:

Виконано розрахунок розмірних ланцюгів шестеренної кліті, що дозволило визначити допустимі відхилення компонентів під час складання та забезпечити необхідну точність взаємодії зубчастих елементів.

Розроблено технологічний процес виготовлення деталі «Кришка» шестеренної кліті, у якому визначено оптимальну послідовність операцій, режими різання, оснащення та вимоги до точності. Запропонований технологічний маршрут забезпечує підвищення стабільності обробки та скорочення трудомісткості виробництва.

Створено верстатно-інструментальне налагодження для свердлильної операції на верстаті 2Р135Ф2-1, підібрано сучасний високоефективний металорізальний інструмент. Крім того, для токарної операції, що виконується на ЧПК-верстаті DMG MORI ecoTurn 450, було розроблено керуючу програму у середовищі FeatureCAM, що забезпечує повністю автоматизоване та відтворюване виготовлення деталі з високою точністю.

Розроблено спеціальне технологічне оснащення для вертикально-свердлильної операції, а також спроєктовано контрольне пристосування для перевірки торцьового биття поверхні. Запропоноване обладнання підвищує точність контролю та прискорює процес технічної перевірки деталей.

Сформовано раціональний план організації робочого місця оператора верстата DMG MORI ecoTurn 450, що відповідає сучасним вимогам ергономіки та безпеки. На основі техніко-економічних розрахунків установлено, що заміна застарілого обладнання на сучасний ЧПК-верстат є економічно обґрунтованою: орієнтовний строк окупності – 4,31 року; річний економічний ефект – 16 238 грн. Також розроблено комплекс заходів з охорони праці та екологічної безпеки під час виконання робіт з технічного обслуговування і ремонту шестеренних валків.

У науково-дослідній частині проведено аналіз методів визначення параметрів вібрації шестеренної кліті прокатного стану. Порівняно існуючі підходи, встановлено їхні переваги та обмеження, визначено перспективні напрямки вдосконалення діагностики вібраційного стану шестеренних передач з метою підвищення надійності та довговічності агрегату.

Результати досліджень та технічних розробок, які представлено у роботі, підтверджують досягнення поставленої мети – створення ефективного технологічного забезпечення виготовлення деталей шестеренної кліті з урахуванням сучасних автоматизованих систем обробки та контролю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні вказівки до виконання магістерської випускної роботи для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» Освітньо-професійної програми Технології машинобудування усіх форм навчання. Укладачі: Кіяновський М.В., Нечаєв В.П., Цивінда Н.І., Рязанцев А.О., Бондар О.В., 2022.

2. Справочник технолога – машиностроения. В 2 томах/ Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., М.,1986г.

3. Атаманюк, В.В. Технологія конструкційних матеріалів: [Текст] Навчальний. посібник / В.В. Атаманюк. – К.: Кондор, 2006. – 528 с.

4. Біленький П.Є. Підвищення якості організації промислового виробництва / П.Є. Біленький. – Львів: Світ, 1990. – 168 с.

5. Боженко, Л.І. Технологія виробництва заготовок у машинобудуванні [Текст] / Л.І. Боженко. – К.: НМК ВО, 1990. – 264 с.

6. Захаркін, О.У. Технологічні основи машинобудування (основні способи обробки поверхонь та технологічні обробляючі системи для їх реалізації): [Текст]: Навчальний посібник / О.У. Захаркін. – Суми: Сумський державний університет, 2011. –137 с.

7. Мельничук П.П., Боровик А.І., Лінчевський П.А., Петраков Ю.В. Технологія машинобудування [Текст] : Навчальний посібник / ЖДТУ, – Житомир: 2005. – 835 с.

8. Сучасні методи аналізу технологічних процесів у машинобудуванні: [Текст] : Навчальний посібник / В.В. Душинський. – К.: 1СДО, 1994. – 216 с.

9. Технологія конструкційних матеріалів [Текст]; за ред. М.А. Сологуба. – К.: Вища школа, 1983. – 286 с. 20.

10. Дикань С.А. Безпека людини [Текст]: підручник для студ.вищ.закл. / С. А. Дикань, І. О. Іваницька. – Полтава: ТОВ «АСМІ», 2019. – 279 с.

11. Технологія машинобудування. Проектування технологічного спорядження: Посібник / Боженко Л.І.-Львів. Світ, 2001.-296 с.

12. Технологічна оснастка механоскладального виробництва:Підручник / Боровик А.І,- К.: Кондор, 2008. 726 с.

13. Технологічні задачі механосладального виробництва/ Бондаренко С.Г.- Ніжин.:Спект Поліграф, 2008.-220 с.

14. Технології механосладального виробництва/ Бондаренко С.Г.- Ніжин.:Спект- Поліграф, 2008. 358 с.

15. Технологія машинобудування Горбатюк Е.О. Мазур М.П.,Зєнкін А.С., Каразей В.Д. Навчальний посібник. Львів., Новий світ-2008,-360 с.

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

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

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

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

20. 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.

21. 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.

22. 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.

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

24. ДСТУ 2.604:2005 ЄСКД. Єдина система конструкторської документації. Креслеників ремонтні. Загальні вимоги.

25. Дусанюк Ж. П. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки : навч. посібник / Ж. П. Дусанюк, О. П. Шиліна, С. В. Репінський, С. В. Дусанюк. – Вінниця : ВНТУ, 2009. – 199 с.

26. Software module for generating control programs for additive manufacturing equipment / M. I. Chizhov, A. V. Lutovin, A. V. Bredihin, V. V. Vetohin // AIP Conference Proceedings, Krasnoyarsk, 29–30 апреля 2021 года / Krasnoyarsk Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Vol. Volume 2402. – Melville, New York, United States of America: AIP Publishing, 2021. – P. 70038. – DOI 10.1063/5.0071393. – EDN MUIIHO.

27. Эттель, В. А. Исследование технологии производства деталей сложной конфигурации с помощью аддитивных технологий / В. А. Эттель, А. А. Берг, С. С. Иванов // Академическая наука - проблемы и достижения : Материалы XV международной научно-практической конференции, North Charleston, USA, 26–27 марта 2018 года. Том 2. – North Charleston, USA: CreateSpace, 2018. – С. 41-43. – EDN XQBBRZ.

28. Kheifetz, M. L. From Information and Additive Technologies to Self-Reproduction of Machines and Organisms / M. L. Kheifetz // Advanced Materials and Technologies. – 2018. – No. 1. – P. 22-35. – DOI 10.17277/amt.2018.01.pp.022-035. – EDN XWDLAD.

ДОДАТКИ

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме-чание
				Документация		
A1			КНУ.КМР.131.24.1-10.ВШСК	Валок шестеренний верхній	1	
				Детали		
		1		Валок шестеренний	1	
		2		Втулка	1	
		3		Кільце кріпильне	1	
		4		Кільце розпорне	1	
		5		Кришка наскрізна	1	
		6		Планка стопорна	1	
		2		Фланець	1	
		8		Шайба торцьова	1	
				Стандартные изделия		
		5		Болт M16x40 ISO 4014	4	
		10		Підшипник 22232 CC/W33 SKF	2	46,4кг
		11		Шпонка 36x20x180 DIN 6885-1	2	0,9кг
		12		Штифт 10m6x20 ISO 2338	2	0,024кг

Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Могилко		
Пров.		Нечаєв		
Н.контр.		Нечаєв		
Утв.		Рязанцев		

КНУ.КМР.131.24.1-10.ВШВ

Валок шестеренний верхній (складальне креслення)

Лит.	Лист	Листов
Н		1

Кафедра ТМ гр. ПМ-24м

Копировал

Формат А4

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме-чание
				Документация		
А3			КНУ.КМР.131.24.1-10.ТО	Технологічне оснащення		
				Стандартные изделия		
		1		Болт М16х70 ISO 4014	4	
		2		Гайка 7003-0305 DIN 6331	4	
		3		Гвинт М6х18 ISO 1207	2	
		4		Патрон 7100-0015		
				ДСТУ ГОСТ 3889:2015	1	
		5		Стіл	1	
		6		Шпонка 18х15х20 DIN 6885-1	2	

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Могилко		
Пров.		Нечаєв		
Н.контр.		Нечаєв		
Утв.		Рязанцев		

КНУ.КМР.131.24.1-10.ТО

Технологічне оснащення

Лит.	Лист	Листов
Н		1

Кафедра ТМ
гр. ПМ-24м

Копировал

Формат А4

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме-чание
				Документация		
А3			КНУ.КМР.131.24.1-10.КП	Контрольний пристрій		
				Детали		
		1		Коромисло	1	
		2		Оправка спеціальна	1	
		3		Плита контрольна	1	
		4		Рукоятка	1	
		5		Упор	1	
				Стандартные изделия		
		4		Гайка М10 DIN 315	1	
		7		Гвинт М10х80 ГОСТ1207-93	1	
		8		Індикатор електронний	1	

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Могилко		
Пров.		Нечаєв		
Н.контр.		Нечаєв		
Утв.		Рязанцев		

КНУ.КМР.131.24.1-10.КП

Контрольний пристрій

Лит.	Лист	Листов
Н		1

Кафедра ТМ
гр. ПМ-24м

Копировал

Формат А4

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме-чание
				Документация		
				Робоче місце		
				Детали		
		1		Верстат мод. DMG	1	
				MORI – ecoTurn 450		
		2		Система ЧПК	1	
		3		Гідроапаратура	1	
		4		Контейнер для стружки спец.	1	
		5		Тара для заготовок	1	
				4НП1286.3-2		
		6		Тара для деталей	1	
				4НП1286.3-2		
		7		Інструментальна тумбочка	1	
				СМ3746.07		
		8		Грати під ноги	1	
		9		Прийомний стіл	1	
				СД3702.11.Б		

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Могилко		
Пров.		Нечаєв		
Консульт.				
Н.контр.		Нечаєв		
Утв.		Рязанцев		

КНУ.КМР.131.24.1-10.РМ

Робоче місце

Лит.	Лист	Листов
Н		1

Кафедра ТМ
гр. ПМ-24м

Копировал

Формат А4

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

АЛЬБОМ КРЕСЛЕНЬ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ЗАСВІДЧУЮЧИХ АРКУШІВ

до кваліфікаційної магістерської роботи

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Розробка технологічного забезпечення виготовлення деталей шестеренної кліті чотирьохвалкового стану 2500 з використанням систем автоматизації

Виконав магістрант гр. ПМ-24м _____ Могилко О.О.
(підпис)

Керівник КМР _____ Нечаєв В.П.
(підпис)

Нормоконтроль _____ Нечаєв В.П.
(підпис)

Завідувач кафедри _____ Рязанцев А.О.
(підпис)

Кривий Ріг
2025 р.

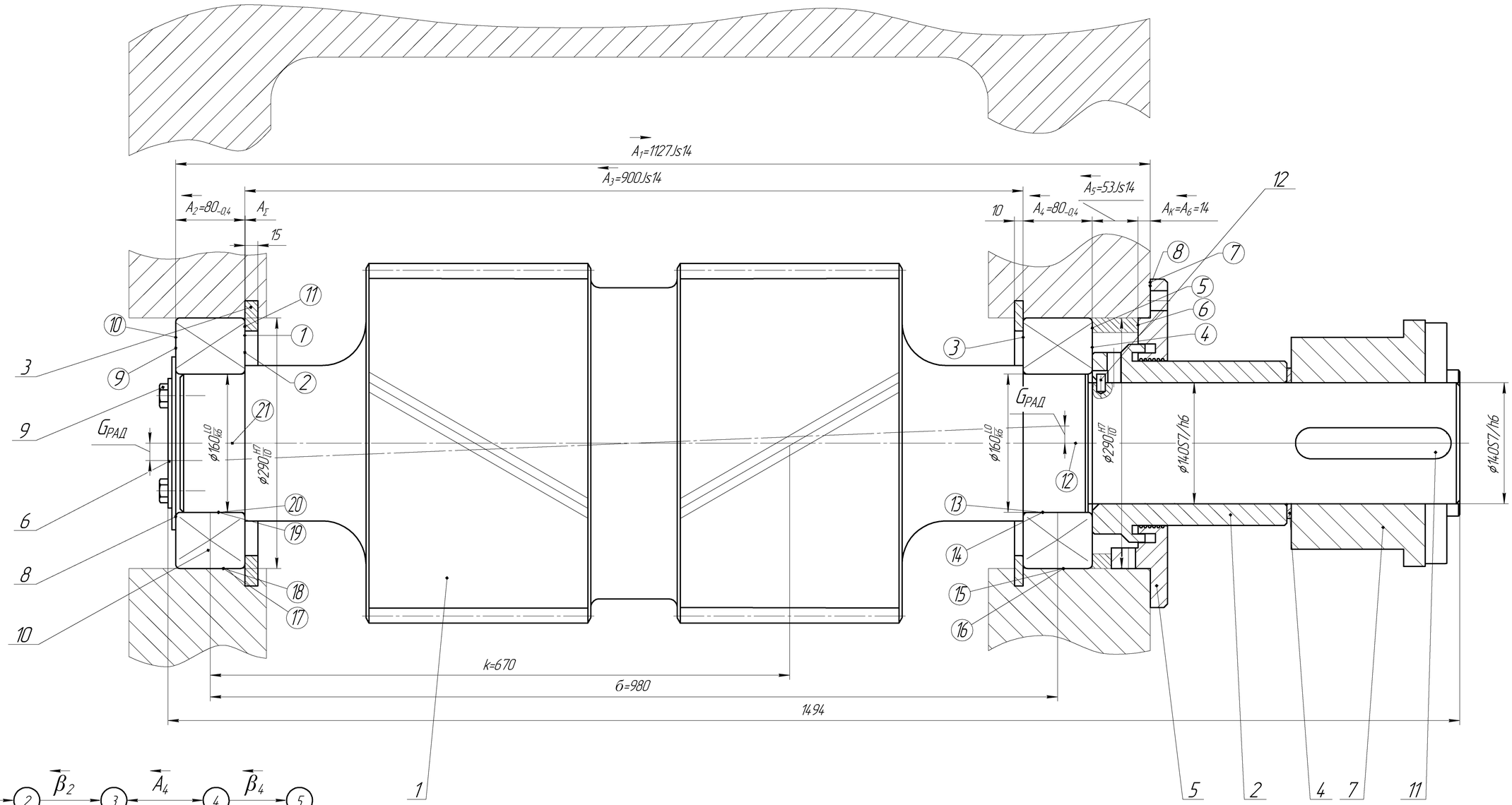
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме-чание
				Креслення		
А1		1	КНУ.КМР.131.24.1-10.ВШВСК	Валок шестеренний верхній	1	
				(складальне креслення)		
А2		2	КНУ.КМР.131.24.1-10.К	Кришка	1	
А3		3	КНУ.КМР.131.24.1-10.КВ	Кришка (відливка)	1	
А2		4	КНУ.КМР.131.24.1-10.ЕО	Ескізи операцій	1	
А1		5	КНУ.КМР.131.24.1-10.ВІН	Верстатно-інструментальне	1	
				налагодження		
А3		6	КНУ.КМР.131.24.1-10.ТО	Технологічне оснащення	1	
А3		7	КНУ.КМР.131.24.1-10.КП	Контрольне пристосування	1	
А2		8	КНУ.КМР.131.24.1-10.ПРМ	План робочого місця	1	
А1		9	КНУ.КМР.131.24.1-10.НДЧ	Науково - дослідна частина	1	

Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КНУ.КМР.131.25.1-10.ВКІЗА		
Разраб.		Могилко			Відомість креслень та інформаційно-засвідчуючих аркушів КМР	Лит.	Лист	Листов
Пров.		Нечаєв				Н		1
Н.контр.		Нечаєв				Кафедра ТМ гр. ПМ-24м		
Утв.		Рязанцев						

Копировал Формат А4

КНУ.КМР.131.24.1-10.ВШСК



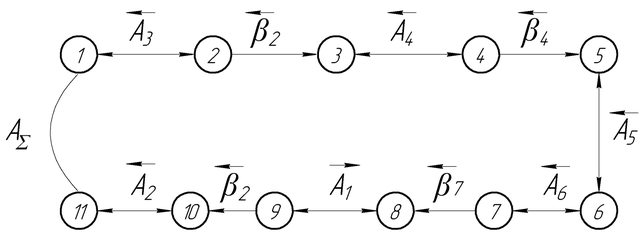


Схема лінійного розмірного ланцюга

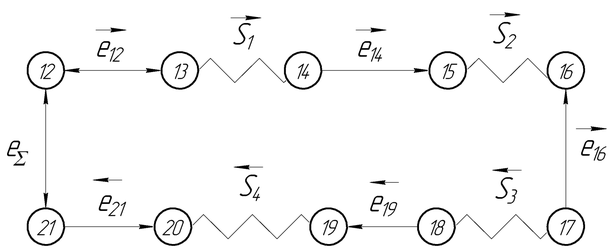


Схема кутового розмірного ланцюга

Валк шестерений	
1	1

Кільце кріпильне	2
	3
Підшипник	2
	10
Шайба торцьова	1
	8
Планка стопорна	1
	6
Болт М16	4
	9
Втулка	1
	2
Шпиф	1
	12
Кришка наскрізна	1
	5
Кільце розпорне	1
	4
Шпонка	1
	11
Фланець	1
	7

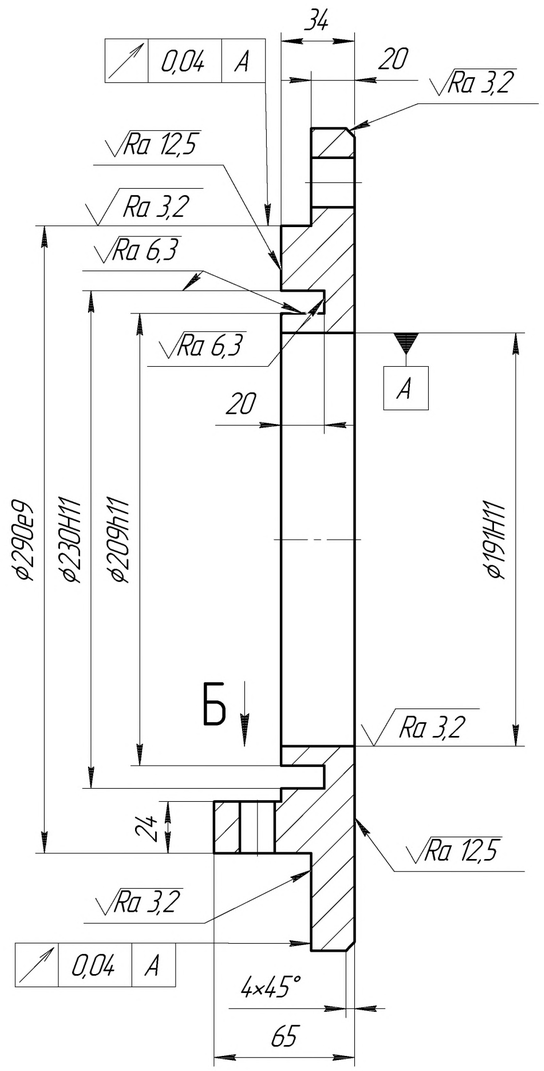
Валок шестерений	
1з62	1

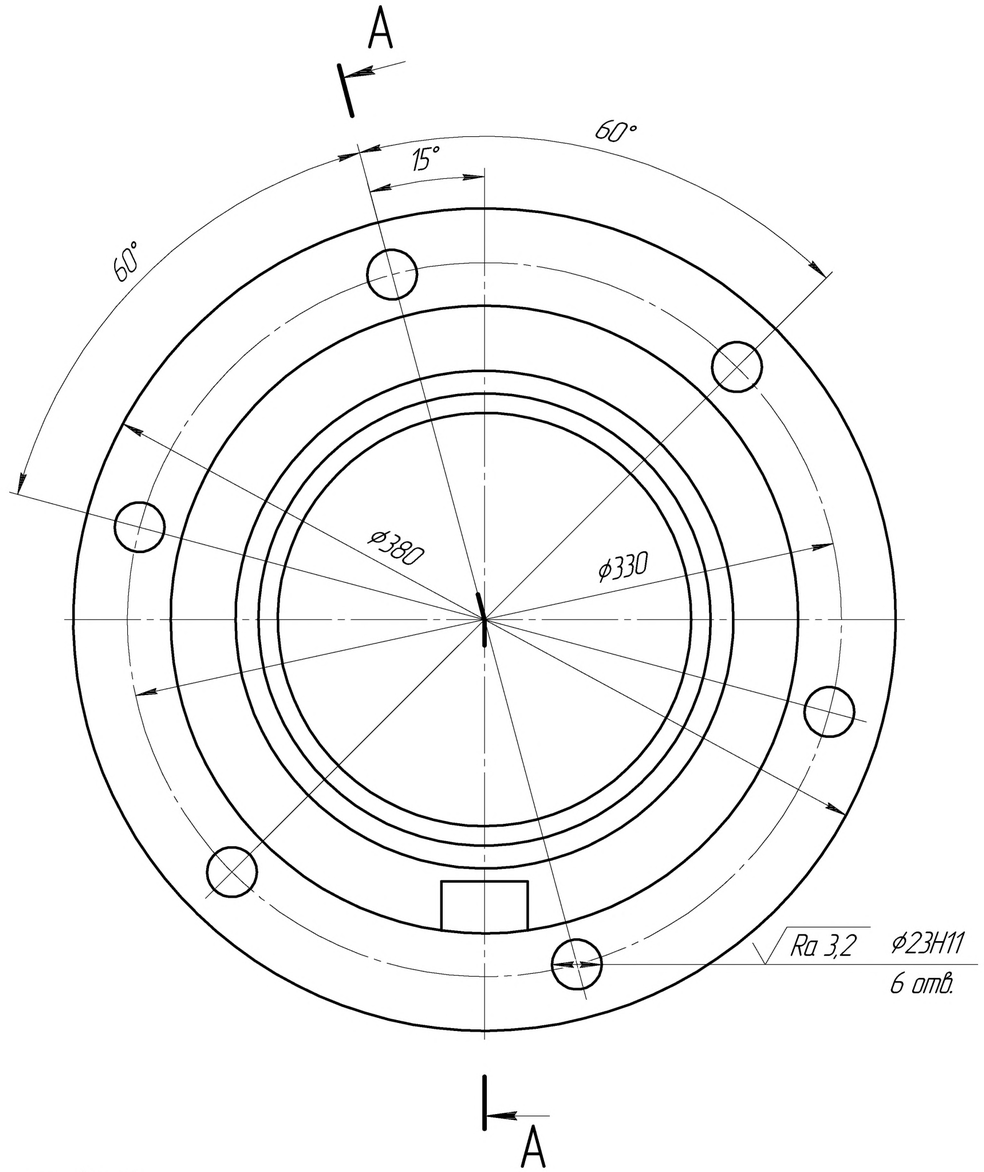
Схема складання вузла Валок шестеренний верхній

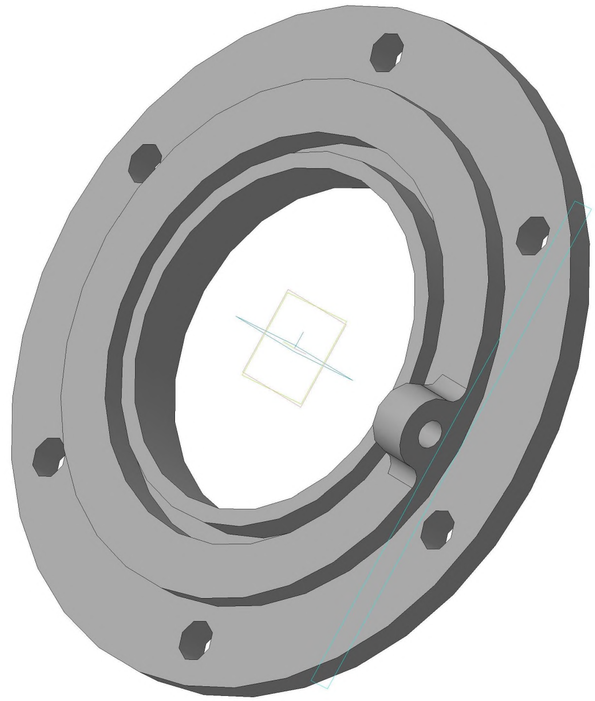
1. Невказані граничні відхилення: H14, h14, $\pm\frac{IT14}{2}$

					КНУ.КМР.131.24.1-10.ВШСК				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Валок шестеренний верхній (складальне креслення)	Літ.	Маса	Масштаб	
Розробив		Могилко				Н	892,3	1:2,5	
Керівник		Нечаєв				Лист	Листів 1		
Н.контр.		Нечаєв			Кафедра ТМ гр. ПМ-24м				
Затв.		Рязанцев							

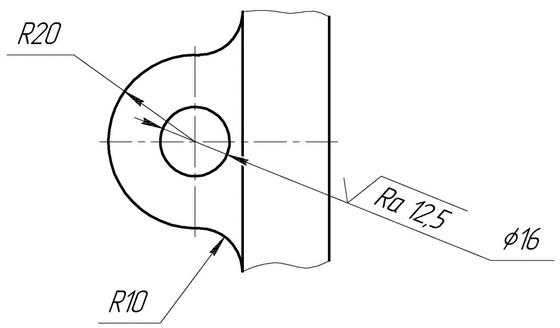
КНУ.КМР.131.24.1-18.К







Б (1:1)

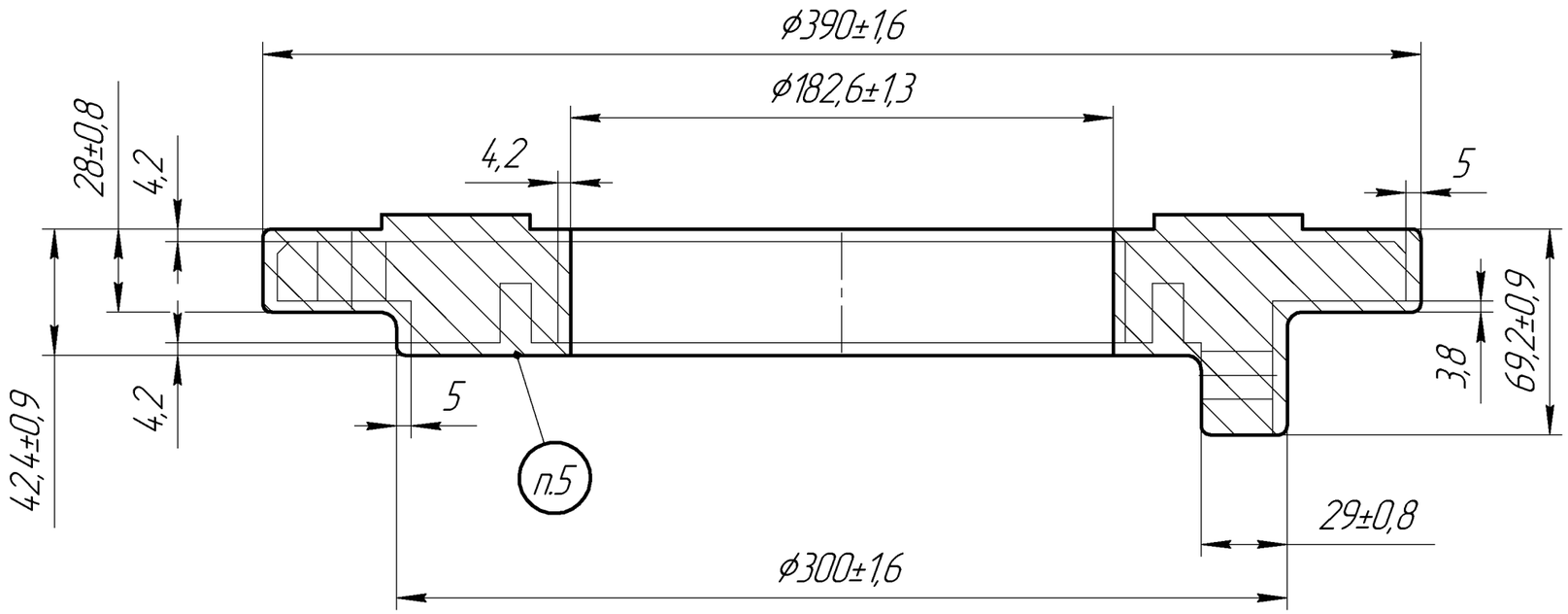


1. Можлива заміна матеріалу на сталь 40Л ДСТУ 8781:2018.
2. Невказані граничні відхилення розмірів: h14, H14, $\pm\frac{IT14}{2}$.

					КНУ.КМР.131.24.1-18.К			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Кришка	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив		Могилко				Н	16,56	1:2
Керівник		Нечаєв				Лист	Листів 1	
Н.контр.		Нечаєв			Сталь 35Л ДСТУ 8781:2018	Кафедра ТМ гр. ПМ-24м		
Затв.		Рязанцев						

КНУ.КМР.131.24.1-10.КВ

Rz 320 (√)



1. Відливка II групи складності.
2. Можлива заміна матеріалу на Сталь 40Л ДСТУ 8781:2018.
3. Відпалити до НВ 220.
4. Поверхню заготовки дробеструїти.
5. Місце виміру твердості.
6. Точність відливки 10-5-3 ДСТУ 8981:2020.
7. Невказані формовочні ухили 1°3'.
8. Невказані ливарні радіуси: зовнішні 3 мм, внутрішні 5 мм.
9. Відділ поверхні заготовки не допускається.
10. Контролювати 15% відливок.

11. Верхне граничне відхилення маси відливки не повино перевищувати 0,45 кг.

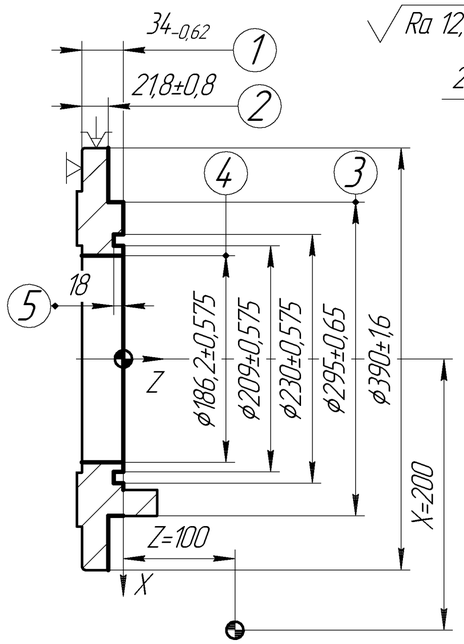
					КНУ.КМР.131.24.1-10.КВ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Кришка (відливка)	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив		Могилко				Н	24,72	1:2
Керівник		Нечаєв				Лист	Листів 1	
Н.контр.		Нечаєв			Сталь 35Л ДСТУ 8781:2018	Кафедра ТМ гр. ПМ-24м		
Затв.		Рязанцев						

КНУ.КМР.131.24.1-10.ЕО

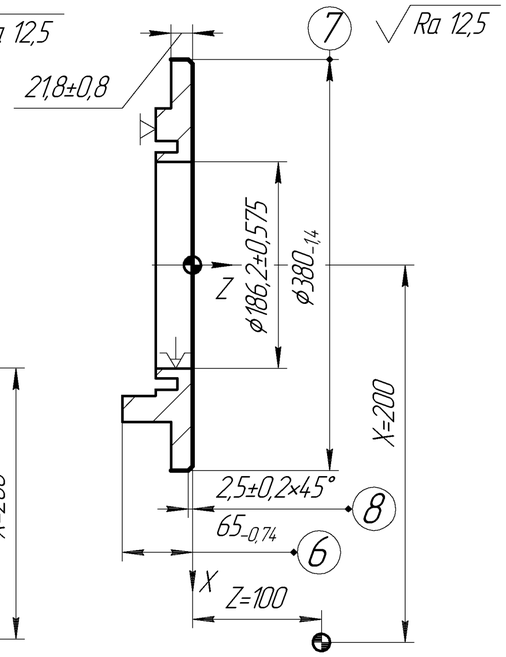
Операція 005 Токарна з ЧПК, токарний з ЧПК DMG MORI – ecoTurn 450

Перехід 1

Установ А

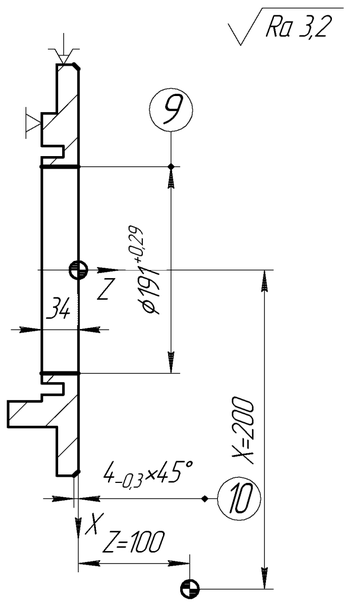


Установ Б

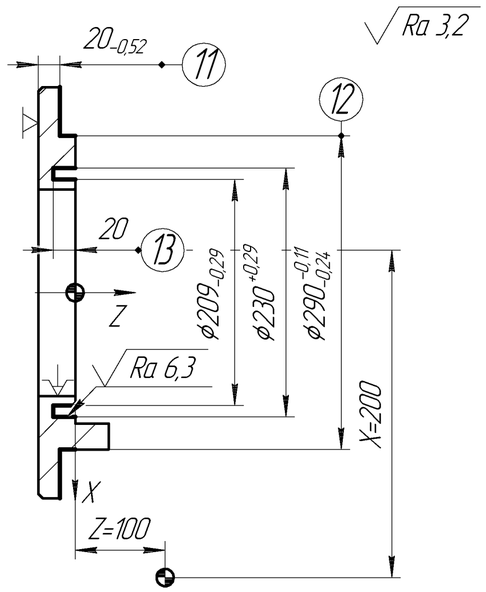


Перехід 2

Установ А

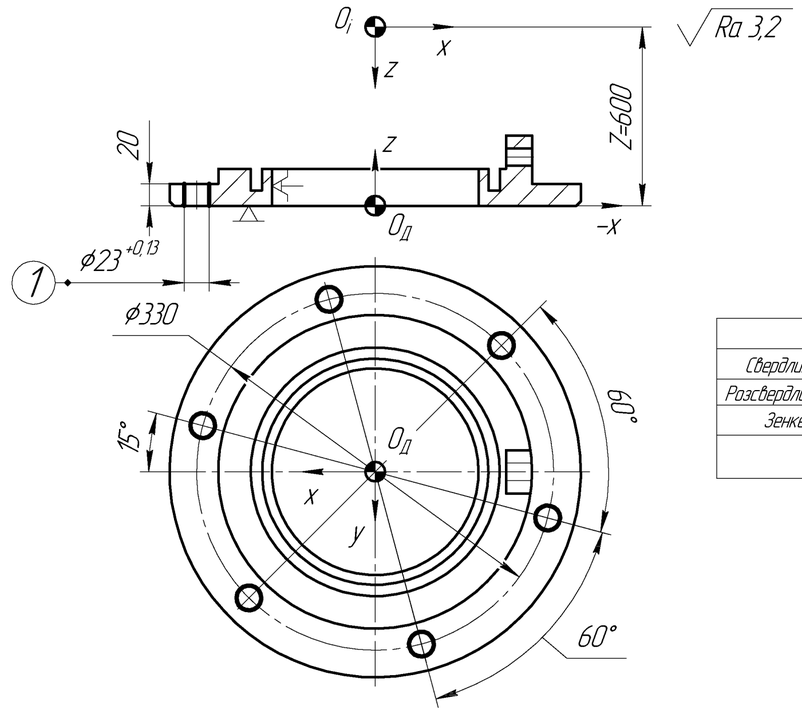


Установ Б



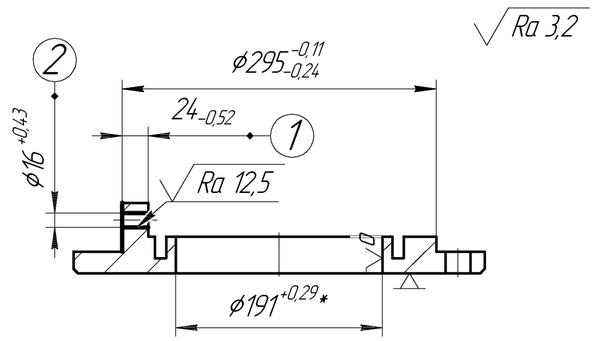
Перехід 1 Установ А							37,77
Підрізати торець у розмір 1	3	0,24	160	148,4	2	5,1	
Підрізати торець у розмір 2	2,4	0,24	125	153,08	1	4	
Точити циліндричну поверхню 3	3	0,6	125	115,79	2	0,53	
Розточувати наскрізний отвір 4	2	0,6	250	146,17	2	0,56	
Розточувати канавку в розмір 5	3	0,2	250	164,07	6	3,12	
Установ Б							
Підрізати торець у розмір 6	3	0,6	125	149,15	2	2	
Точити циліндричну поверхню 7	4	0,24	107	127,67	3	9,86	
Перехід 2 Установ А							
Розточувати наскрізний отвір 9	1	0,4	250	160	2	0,73	
Установ Б							
Підрізати торець у розмір 11	1	0,4	160	146	2	2,75	
Точити циліндричну поверхню 12	1	0,4	160	148	5	0,53	
Розточувати канавку в розмір 13	1	0,2	250	186	2	0,3	
Зміст переходу	t, мм	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	i	T_0, хв	$T_{шт}$, хв

Операція 010 Свердлильна з ЧПК, вертикально-свердлильний з ЧПК 2Р135Ф2-1



Центрувати 6 отворів	–	0,38	800	73,13	–	0,78	7,19
Свердлити 6 наскрізних отворів ϕ15мм	7,5	0,3	1400	146,4	1	1,22	
Розсвердлити 6 наскрізних отворів ϕ22,5мм	11,25	0,3	1400	141,3	1	0,86	
Зенкерувати 6 отворів в розмір 1	11,5	0,13	680	191,13	1	0,98	
Зміст переходу	t, мм	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	i	T_0, хв	$T_{шт}$, хв

Операція 015 Розточна, горизонтально-розточний 2А622



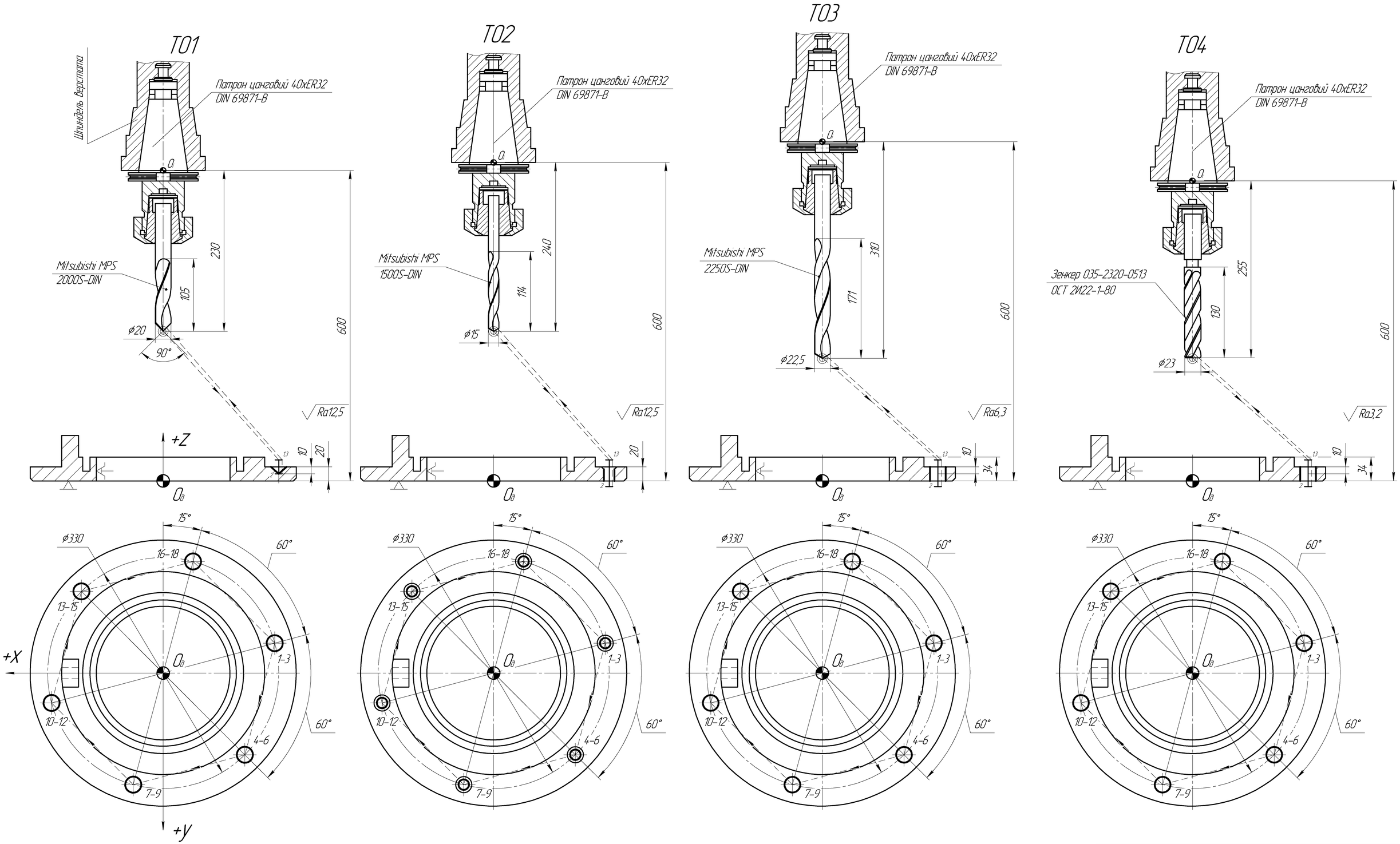
Фрезерувати "вуха" в розмір 1	1,6	0,1	500	62,83	2	3,72	5,85
Свердлити отвір в розмір 2	8	0,198	680	34,18	1	0,25	
Зміст переходу	t, мм	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	i	T_0, хв	$T_{шт}$, хв

* Розміри для довідок

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	КНУ.КМР.131.24.1-10.ЕО			
Розробив	Могилко				Ескізи операцій	Літ.	Маса	Масштаб
Керівник	Нечаєв					Н		1:4
						Лист	Листів 1	
Н.контр.	Нечаєв					Кафедра ТМ гр. ПМ-24м		
Затв.	Рязанцев							

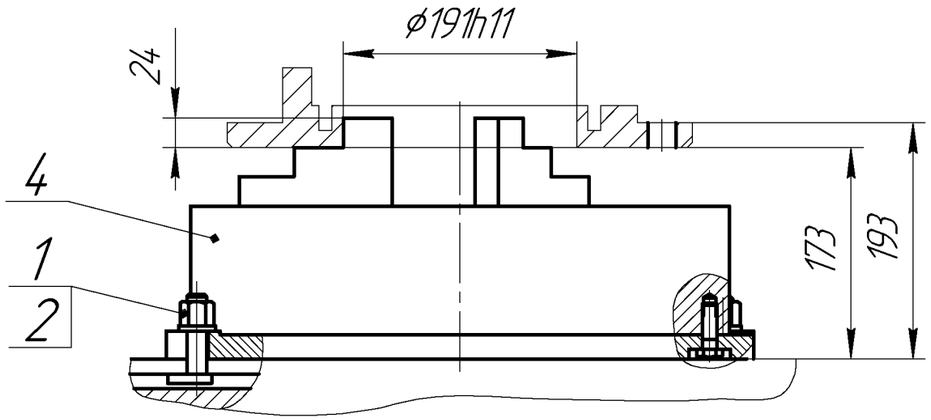
КНУ.КМР.131.24.1-10.ВІН

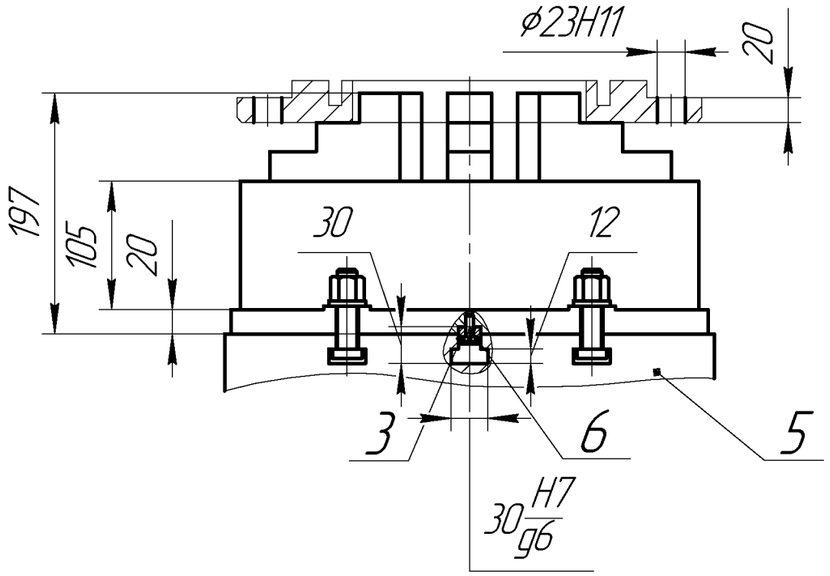
010 Свердлильна з ЧПК, вертикально-свердлильний з ЧПК 2Р135Ф2-1

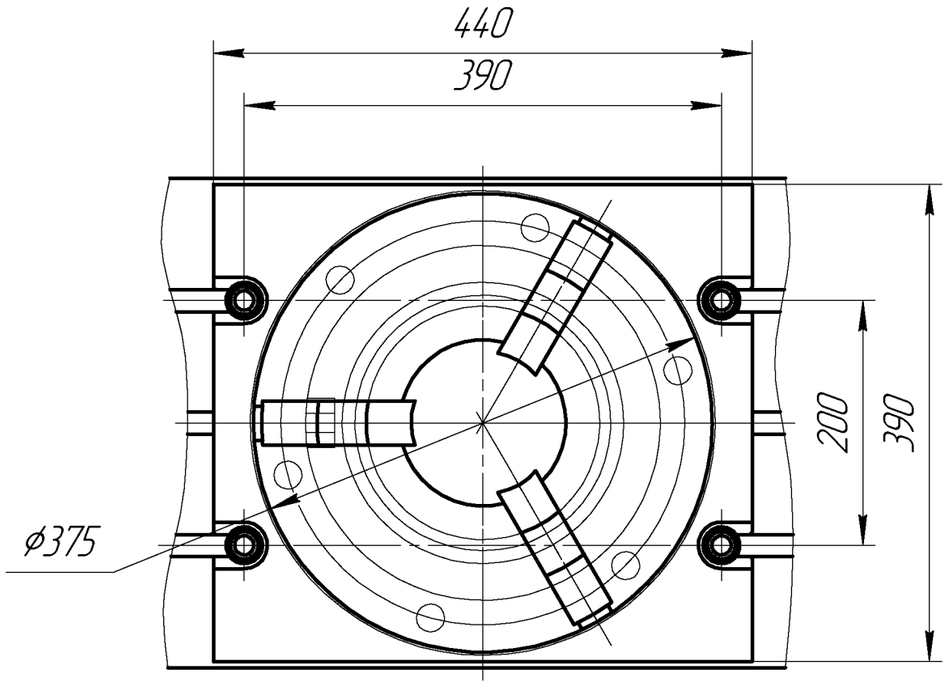


					КНУ.КМР.131.24.1-10.ВІН		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Верстатно-інструментальне налагодження	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив		Могилко				Н		1:2,5
Керівник		Нечаєв				Лист	Листів 1	
Н.контр.		Нечаєв				Кафедра ТМ гр. ПМ-24м		
Затв.		Рязанцев						

КНУ.КМР.131.24.1-10.ТО

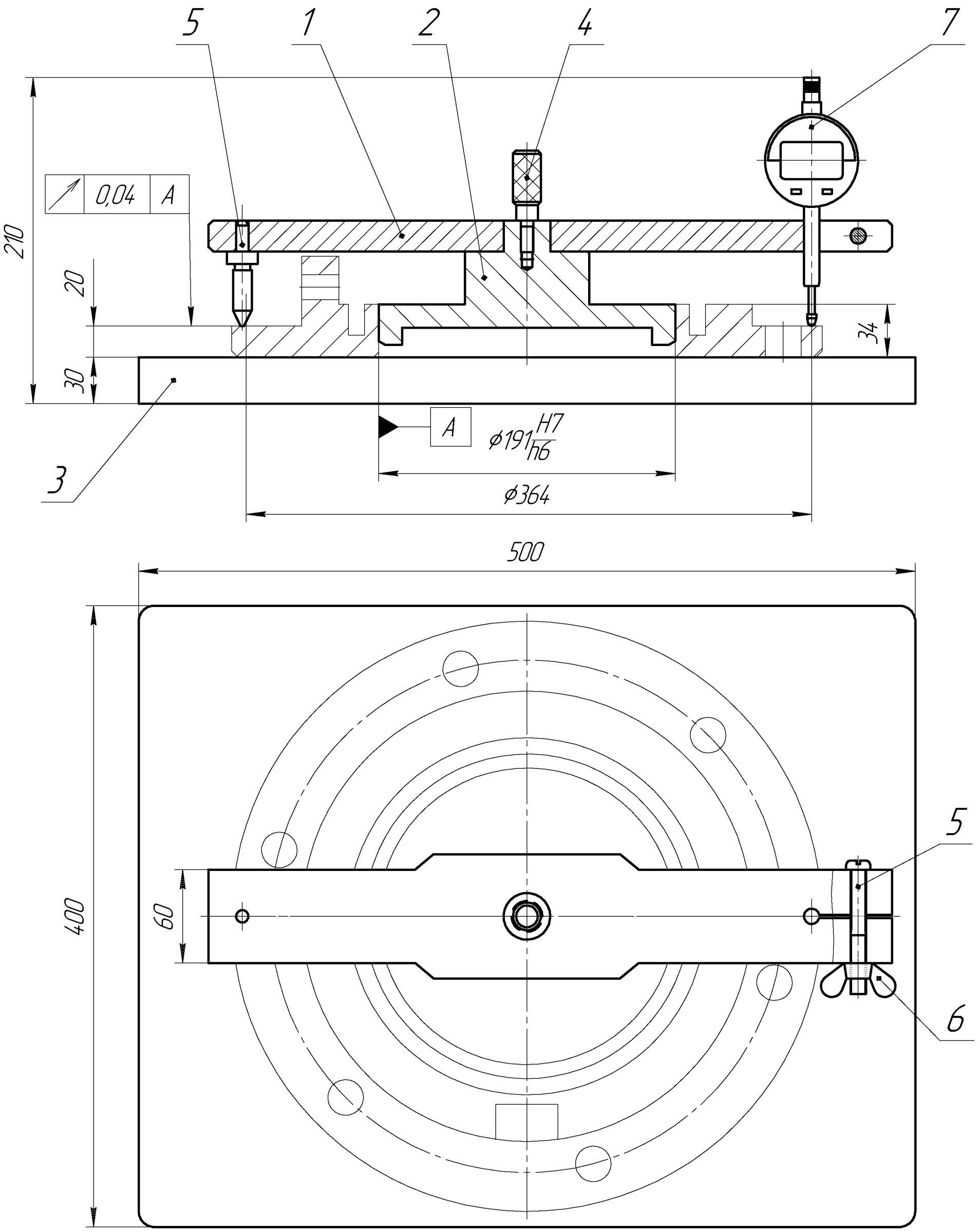






1. Технологічне оснащення розроблене для вертикально-свердлильної операції з ЧПК
2. Похибка базування 89мкм
3. Необхідна сила затиску W=152Н
4. Невказані граничні відхилення: H14, h14, $\pm\frac{IT14}{2}$

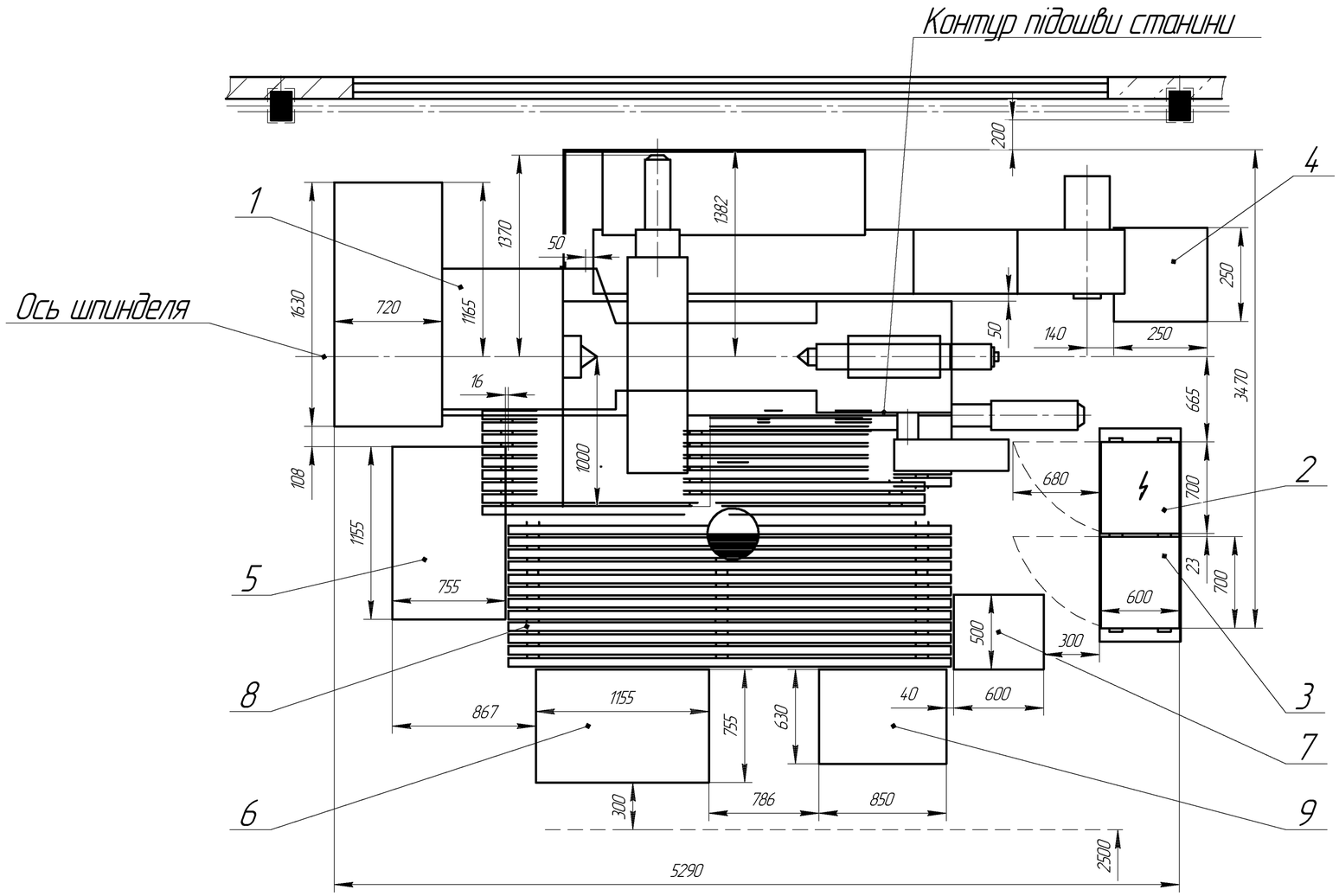
					КНУ.КМР.131.24.1-10.ТО		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Технологічне оснащення	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив		Могилко				Н		1:5
Керівник		Нечаєв				Лист	Листів 1	
Н.контр.		Нечаєв				Кафедра ТМ гр. ПМ-24м		
Затв.		Рязанцев						



1. Сумарна похибка контрольного пристрою δ_{Σ}=0,012 мм.
2. Похибка індикатору 0,005 мм.

					КНУ.КМР.131.24.1-10.КП		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Контрольне пристосування	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив		Могилко				Н		1:2,5
Керівник		Нечаєв				Лист	Листів 1	
Н.контр.		Нечаєв				Кафедра ТМ гр. ПМ-24м		
Затв.		Рязанцев						

КНУ.КМР.131.24.1-10.ПРМ



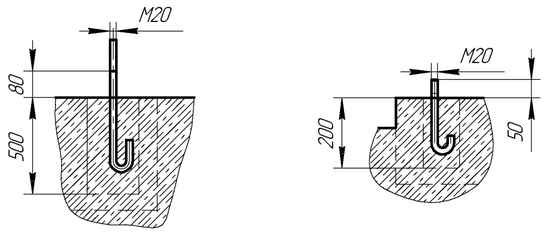
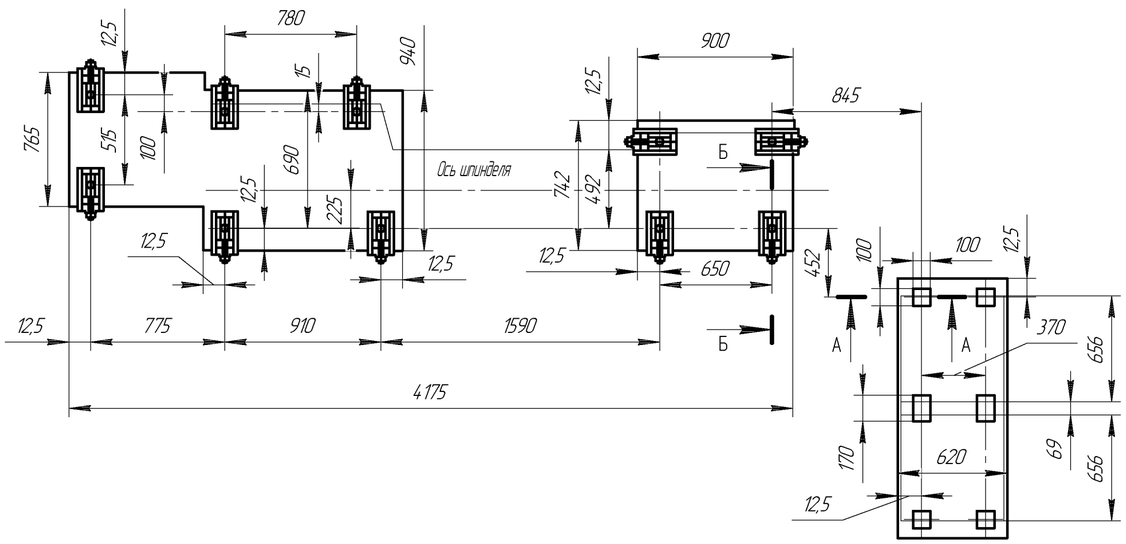


Схема установки верстата

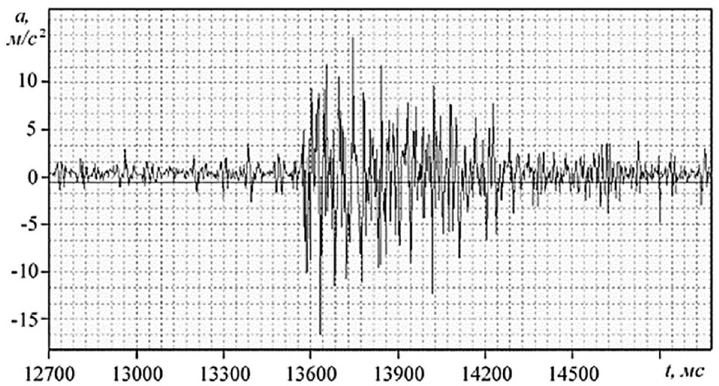


					КНУ.КМР.131.24.1-10.ПРМ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	План робочого місця	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив		Могилко				Н		1:10
Керівник		Нечаєв				Лист	Листів 1	
Н.контр.		Нечаєв			Кафедра ТМ гр. ПМ-24м			
Затв.		Рязанцев						

КНУ.КМР.131.24.1-10.НДЧ

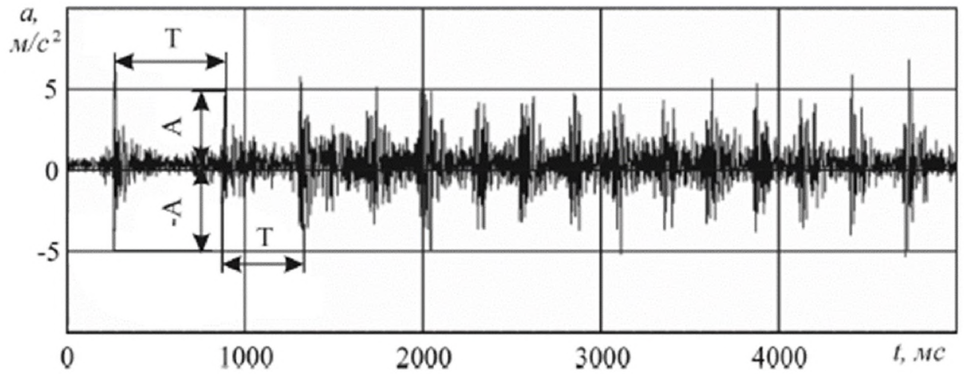
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЇ ШЕСТЕРЕННОЇ КЛІТІ ПРОКАТНОГО СТАНУ

Приклад симетричного циклу коливань



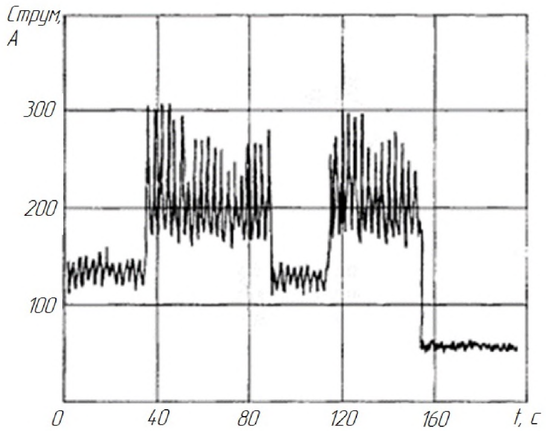
Малогабаритний балансирувальний прилад/аналізатор МБП-5

Приклад часової реалізації вібраційного сигналу

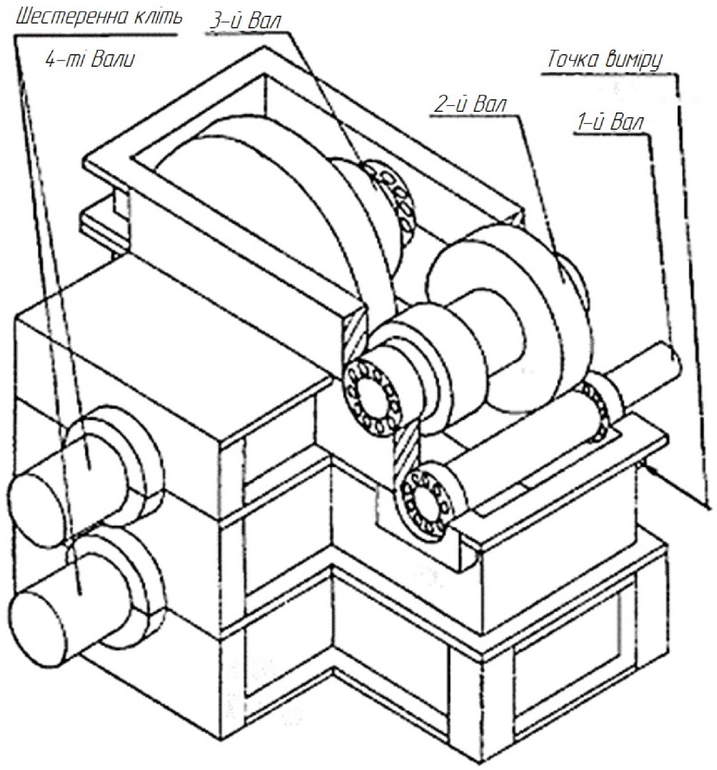


Вимірювальний блок прибору VIBROPORT-30

Тимчасова реалізація вібраційного сигналу

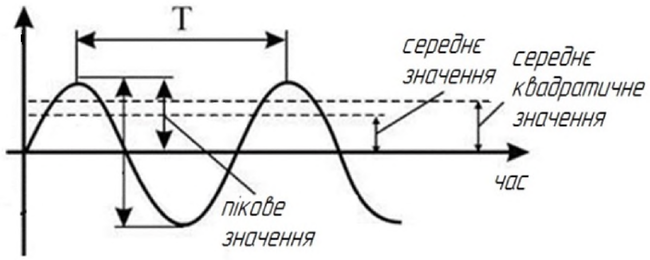


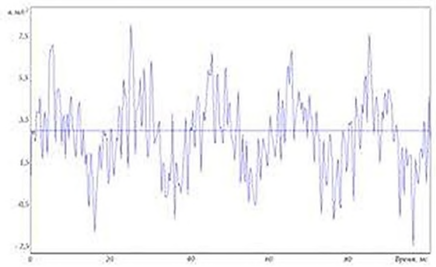
Комбінована шестеренна кліть



Загальний вид віброметра 107В та п'єзоакселерометру

Зміна параметрів сигналу у часі





Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	КНУ.КМР.131.24.1-10.НДЧ			
Розробив		Могилко			Наукова – дослідна частина	Літ.	Маса	Масштаб
Керівник		Нечаєв				Н		
						Лист	Листів 1	
Н.контр.		Нечаєв			Кафедра ТМ гр. ПМ-24м			
Затв.		Рязанцев						