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

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Розробка та інженерне обґрунтування конструкцій і технологій та організації виготовлення корпусних деталей редукторів кінематичних ланцюгів машин на прикладі гірничо-металургійного обладнання з використанням методів прикладної механіки на основі CAD/CAM

Виконав: здобувач групи ПМ-22
Дільний І.П.

Керівник випускної роботи:
д.т.н., професор Кіяновський М.В.

Кривий Ріг
2026 р.

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Розробка та інженерне обґрунтування конструкцій і технологій та організації виготовлення корпусних деталей редукторів кінематичних ланцюгів машин на прикладі гірничо-металургійного обладнання з використанням методів прикладної механіки на основі CAD/CAM

Виконав здобувач гр. ПМ-22 _____ Іван ДІЛЬНИЙ
(підпис)

Керівник КБР _____ Микола КІЯНОВСЬКИЙ
(підпис)

Нормоконтроль _____ Василь НЕЧАЄВ
(підпис)

Завідувач кафедри _____ Антон РЯЗАНЦЕВ
(підпис)

м. Кривий Ріг
2026 р.

ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ КБР

№	Формат	Позначення	Найменування	К-сть листів	Прим.
			Документація		
1	А4	КНУ.КБР.131.26.1-06.ПЗ	Пояснювальна записка	48	
			Графічні матеріали		
2	А1	КНУ.КБР.131.26.1-06.РСК	Редуктор РМ-400 (Складальне креслення)	1	
3	А1	КНУ.КБР.131.26.1-06.СЛКЛ	Схеми лінійного та кутового ланцюгів	1	
4	А1	КНУ.КБР.131.26.1-06.К	Корпус	1	
5	А1	КНУ.КБР.131.26.1-06.ЕО	Ескізи операцій	1	
6	А1	КНУ.КБР.131.26.1-06.ПП	Пристрій переналагоджувальний	1	
7	А1	КНУ.КБР.131.26.1-06.ПК	Пристрій контрольний	1	

					КНУ.КБР.131.26.1-06.ВМКБР		
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата			
Розроб.		Дільний			Відомість матеріалів КБР	Літ.	Арк. / Аркушів
Перевір.		Кіяновський					
Н. контр.		Нечаєв				Кафедра ТМ гр. ПМ-22	
Затверд.		Рязанцев					

ЗМІСТ

ВСТУП 6
1 РОЗРОБКА ТА УЗГОДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ 8
1.1 Технічне завдання та аналіз вихідних даних 8
1.2 Організаційно-технічні форми та методи складання вузла 8
1.3 Розрахунок кутових розмірних ланцюгів 10
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА 13
2.1 Техніко-економічний аналіз вихідних даних для обробки деталі 13
2.2 Аналіз якості поверхонь деталі 14
2.3 Технічний контроль робочого креслення 15
2.4 Аналіз технологічності деталі 15
2.5 Вибір типу виробництва 16
2.6 Вибір, техніко-економічне обгрунтування та проектування заготовок 17
2.7 Проектування технологічного процесу обробки деталі 19
2.7.1 Вибір і обгрунтування баз 19
2.7.2 Вибір і обґрунтування послідовності обробки поверхонь 19
2.7.3 Розробка маршруту обробки деталі 21
2.7.4 Розрахунок припусків на обробку поверхні Ø180H7 21
2.7.5 Розрахунок міжопераційних лінійних розмірів 22
2.7.6 Вибір різального інструменту 23
2.7.7 Нормування технологічних операцій 25
2.7.8 Розробка верстатно-інструментального налагодження для верстату з ЧПК 26
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА 29
3.1 Проектування технологічного оснащення 29
3.1.1 Технічне завдання до проектування верстатного пристрою 29
3.1.3 Вибір та розрахунок затисних пристроїв 31
3.1.4 Вибір базових та допоміжних елементів конструкції 32
3.2 Проектування контрольного пристрою 34
4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА 38
4.1 Охорона праці та екологія виробництва 38
4.1.1 Обґрунтування виробничої безпеки та інженерно-технічних заходів охорони праці при механічній обробці корпуса редуктора 38
4.1.2 Екологічне обґрунтування та інженерні заходи з охорони навколишнього природного середовища при виготовленні корпуса редуктора 40
4.2 Техніко-економічне обґрунтування та оцінка ефективності організації виготовлення корпусних деталей редукторів 42
5 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ 48

5.1 Робота з проміжними файлами, вибір системи ЧПК, постпроцесора 48
5.2 Моделювання обробки та перевірка керуючих програм 49
ВИСНОВКИ 55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 57
ДОДАТОК А 60
ДОДАТОК Б 63

РЕФЕРАТ

У пояснювальній записці до кваліфікаційної роботи викладено результати проєкту, що охоплює 58 сторінок тексту, проілюстрований 21 рисунками, 16 таблицями та 6 аркушами графічної частини.

Головною метою дослідження є розробка та інженерне обґрунтування прогресивних конструкцій, технологій та організації виготовлення корпусних деталей редукторів кінематичних ланцюгів важких машин. Модернізація процесу реалізована шляхом переходу від застарілих схем обробки до концентрації технологічних операцій на сучасному вертикально-фрезерному оброблювальному центрі з ЧПК типу Haas із застосуванням передових CAD/CAM-стратегій. Це забезпечило високу точність та продуктивність виготовлення деталей для заданої програми випуску в умовах серійного виробництва.

Перший розділ присвячений розробці та узгодженню технічного завдання, аналізу вихідних даних корпусного вузла редуктора, а також обґрунтуванню організаційно-технічних форм і методів його складання. Додатково виконано розрахунок складних кутових розмірних ланцюгів для забезпечення працездатності кінематичного ланцюга.

У другому розділі представлено технологічну частину проєкту. Проведено комплексний аналіз якості поверхонь деталі, технічний контроль робочого креслення та оцінку технологічності виливка із сірого чавуну. Спроектовано оптимальний маршрут обробки на верстаті з ЧПК, виконано точний розрахунок припусків на обробку відповідальної посадкової поверхні та міжопераційних лінійних розмірів. Визначено номенклатуру високоефективного різального інструменту компанії Sandvik Coromant та проведено технічне нормування, що дозволило суттєво знизити норму штучно-калькуляційного часу на операцію.

У третьому розділі виконано конструкторську розробку станочного та контрольного оснащення. Спроектовано спеціальний верстатний пристрій із механізованим гідравлічним затиском. Також розроблено принципову схему та конструкцію спеціального контрольного пристрою.

Четвертий розділ присвячений питанням безпеки, екології та економіки виробництва. Обґрунтовано заходи з охорони праці при механічній обробці чавуну, що включають локалізацію пилу і захист від віброакустичного навантаження, а також екологічні інженерні рішення щодо утилізації стружки і циркуляції змащувально-охолоджувальних рідин. Проведене техніко-економічне обґрунтування підтвердило високу ефективність проєкту, зафіксувавши короткий строк окупності капітальних вкладень.

КОРПУС РЕДУКТОРА, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ВЕРСТАТ З ЧПК, ВЕРСТАТНЕ ОСНАЩЕННЯ.

ABSTRACT

The explanatory note to the qualification work presents the results of the project, which comprises 58 pages of text, illustrated with 21 figures, 16 tables, and 6 sheets of graphical documentation.

The main objective of the study is the development and engineering substantiation of progressive designs, manufacturing technologies, and production organization for housing parts of heavy machinery kinematic chain reducers. The process modernization is implemented by shifting from outdated machining schemes to the concentration of technological operations on a modern Haas CNC vertical machining center using advanced CAD/CAM strategies. This ensured high precision and productivity in manufacturing components for the specified production program under serial production conditions.

The first section is devoted to the development and alignment of the technical specification, analysis of the initial data for the reducer housing assembly, as well as the substantiation of organizational and technical forms and methods for its assembly. Additionally, a calculation of complex angular dimensional chains was performed to ensure the operability of the kinematic chain.

The second section presents the technological part of the project. A comprehensive analysis of the component surface quality, a technical audit of the working drawing, and an evaluation of the manufacturability of the grey cast iron casting were conducted. An optimal machining route on the CNC machine tool was designed, and an accurate calculation of machining allowances for the critical mating surface and inter-operational linear dimensions was performed. The product range of high-efficiency cutting tools from Sandvik Coromant was determined, and a time study was carried out, which significantly reduced the standard piece-calculation time per operation.

The third section covers the engineering design of machine fixtures and inspection equipment. A dedicated machine fixture featuring a mechanized hydraulic clamp was developed. Furthermore, the schematic diagram and design of a specialized inspection device were developed.

The fourth section addresses the issues of occupational safety, ecology, and production economics. Occupational health and safety measures for cast iron machining were substantiated, including dust localization and protection against vibroacoustic loads, alongside ecological engineering solutions for chip disposal and cutting fluid circulation. The conducted techno-economic evaluation confirmed the high efficiency of the project, establishing a short payback period for capital investments.

REDUCER HOUSING, MANUFACTURING PROCESS, CNC MACHINE TOOL, MACHINE FIXTURES.

ВСТУП

Розвиток вітчизняного машинобудування є стратегічним фундаментом для забезпечення економічної незалежності, підвищення обороноздатності та відновлення промислового потенціалу України. Сучасний стан індустріального сектора вимагає масштабної технологічної модернізації, яка базується на переході від застарілих методів обробки до впровадження високоефективного автоматизованого обладнання. Інтеграція передових світових технологій у виробничі процеси дозволяє українським підприємствам створювати конкурентоспроможну продукцію з високою доданою вартістю. Особливого значення це набуває в галузях важкої промисловості, де ефективна робота машинобудівного комплексу безпосередньо впливає на стабільність видобутку та переробки стратегічної сировини. Створення нових та оптимізація існуючих виробничих потужностей на основі наукомістких інженерних рішень є головним рушієм інноваційного оновлення всієї економіки держави.

Забезпечення надійної та безперебійної експлуатації гірничо-металургійного обладнання критично залежить від точності виготовлення та геометричної стабільності корпусних деталей редукторів, що сприймають екстремальні динамічні навантаження в кінематичних ланцюгах. Традиційні підходи до механічної обробки таких масивних чавунних виливків характеризуються високою трудомісткістю та похибками базування, що зумовлює гостру актуальність розробки інноваційного технологічного процесу на базі сучасної концепції концентрації операцій. Використання методів прикладної механіки у поєднанні з передовими CAD/CAM-стратегіями відкриває широкі можливості для наскрізного цифрового проектування як самої технології, так і високоточного станочного оснащення. Реалізація обробки корпуса редуктора на вертикально-фрезерному центрі з ЧПК Haas VF-3YT дозволяє кардинально знизити машинний час, забезпечуючи при цьому бездоганну точність взаємного розташування відповідальних поверхонь. Застосування прогресивного різального інструменту компанії Sandvik Coromant гарантує стабільність режимів різання та мінімізацію шорсткості посадкових місць і площини розніму. Розробка спеціального верстатного пристрою з механізованим гідравлічним приводом затиску вирішує важливу інженерну задачу надійної фіксації заготовки, зводячи до мінімуму автоколивання в процесі силового фрезерування. Важливим елементом забезпечення якості є також запроектований прецизійний контрольний пристрій з індикатором годинникового типу, який дозволяє оперативно верифікувати відхилення від площинності з жорстким допуском. Комплексний підхід до організації виробництва, що включає обґрунтування промислової безпеки, екологічних заходів та детальний поопераційний розрахунок собівартості за

діючими нормативними рекомендаціями, підтверджує високу комерційну спроможність та швидку окупність проєкту. На основі цього, головною метою кваліфікаційної роботи є підвищення продуктивності та точності виготовлення корпусних деталей редукторів важких машин за рахунок розробки та інженерного обґрунтування автоматизованого технологічного комплексу в середовищі CAD/CAM. Наукова та практична цінність отриманих результатів полягає у створенні повністю готового до впровадження інженерного рішення, здатного суттєво підвищити ресурс і надійність трансмісійних вузлів гірничо-видобувної техніки.

1 РОЗРОБКА ТА УЗГОДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Технічне завдання та аналіз вихідних даних

Горизонтальний двоступеневий циліндричний передавальний механізм марки РМ-400 спроєктований як автономний промисловий агрегат, внутрішня архітектура якого базується на послідовній системі зубчастих пар, надійно захищених міцною литою корпусною деталлю. Основним функціональним призначенням даного механізму в кінематичних ланцюгах технологічних машин гірничо-металургійного комплексу є трансмісія (передача) механічної потужності від первинного двигуна (переважно електродвигуна) до виконавчого органу робочої машини з оптимізацією ключових кінематичних і динамічних параметрів. Креслення редуктора показано на 1 аркуші в альбомі креслень.

У силових приводах великовагового устаткування передавальний механізм РМ-400 виступає як знижувальна ланка. Основний функціонал цього вузла спрямований на модифікацію параметрів механічної енергії, що полягає в закономірному зменшенні кутової швидкості обертання веденого (тихохідного) вала відносно ведучого (швидкохідного) елемента. Цей процес супроводжується еквівалентним зростанням величини вихідного крутного моменту, що є базовою умовою для підтримання стійкої працездатності сильнонавантажених виконавчих органів машин, які експлуатуються у специфічних умовах гірничо-збагачувальних та металургійних комплексів.

1.2 Організаційно-технічні форми та методи складання вузла

Монтаж редуктора організували за стаціонарно-поточною формою. Робота проходить у два послідовні етапи: спочатку окремо збирають готові вузли (наприклад, вали разом із колесами та підшипниками), а потім їх передають на ділянку загального складання для встановлення в головний корпус.

Щоб редуктор працював точно, за допомогою методів прикладної механіки розрахували лінійні та кутові розмірні ланцюги. Для першого ступеня передачі використали метод максимуму-мінімуму (повну взаємозамінність), щоб чітко витримати осьові зазори та правильний контакт у зачепленні. Такий підхід дозволяє збирати агрегат без додаткової підгонки, слюсарного регулювання чи сортування деталей. Оскільки допуски оптимізовані, навіть при випадковому поєднанні деталей їхні кінцеві розміри не вийдуть за межі норми. Це робить конструкцію технологічною, а роботу редуктора — надійною.

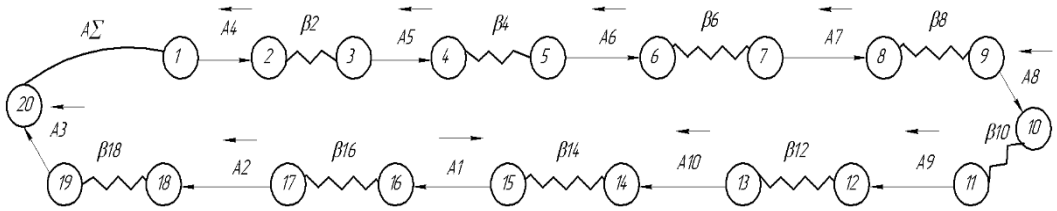


Рисунок 1.1 - Схема лінійного ланцюга

Лінійний зазор між підшипником та кільцем регулюючим $A\Sigma = {}^{+1,25}_{+0,05}$; тобто TΣ=1,2 мм ; ΔCΣ =+0,65 мм. Для забезпечення нормальної роботи необхідно забезпечити AΣmin = 0,05мм; AΣmax= 1,25 мм

Вихідні дані:

$\vec{A}_1$ = 304 мм – відстань між торцями корпуса

$\vec{A}_2 = \vec{A}_{10}$ = 6 мм – ширина кришки

$\vec{A}_3$ = 6 мм – ширина кільця

$\vec{A}_4 = \vec{A}_8$ = 38 мм – ширина підшипника

$\vec{A}_5$ = 14 мм – ширина втулки

$\vec{A}_6$ = 100 мм – ширина колеса

$\vec{A}_7$ = 86 мм – ширина шийки валу

$\vec{A}_9$ = 10 мм – висота ніжки кришки

β 18=β14 – биття кришки

β4 – торцеве биття втулки

β2 =β10 - торцеве биття підшипників

β6 - торцеве биття колеса

β8 – биття торця шийки вала

β 16=β12 – торцеве биття корпусу

Визначаємо кількість одиниць допуску по формулі:

$$a = \frac{0{,}7\left(T_\Sigma - \Sigma T_{cm}\right)}{\Sigma i} \qquad (1.1)$$

$$a = \frac{0{,}7\left(1200 - 2\cdot 120\right)}{12{,}42} = 54{,}11 \text{ мкм}$$

відповідає IT9 та IT10.

Виконуємо перевірку

$$\left[T_\Sigma\right] = \Sigma\left(T_i + \beta_i\right); \qquad (1.2)$$

Похибка розрахунку

$$\varepsilon = \frac{T_\Sigma - \left[T_\Sigma\right]}{\left[T_\Sigma\right]} = \frac{1205 - 1200}{1200}\cdot 100 = 4{,}2\%$$

Призначаємо граничні відхилення крім залежного А7 та заносимо до таблиці Δсі ; βі .

$$\Delta\vec{c}_i = \Sigma\left(\Delta\vec{c}_i + \Delta\vec{\beta}_i\right) - \Sigma\left(\Delta\vec{c}_i - \Delta\vec{\beta}_i\right) - \Delta c_\Sigma \quad (1.3)$$

$\Delta\vec{c}_{A7}$ = (0+0,0575)-[(-0,018·2)-0,018-(0,006·2)-0,0215- 0,0435-0,0215+(0,0435+0,0575+0,0575+0,0075+0,0075+0,05+0,0435+0,0575+0,0575)]-0,65 = -0,822 мм

Граничні відхилення залежної ланки

$$esA7 = -0{,}822 + \frac{0{,}087}{2} = -0{,}7785 \text{ мм}$$

$$eiA7 = -0{,}822 - \frac{0{,}087}{2} = -0{,}8655 \text{ мм}$$

Перевірка

$\Delta c\Sigma$ = (0+0,0575)-[(-0,018·2)-0,018-(0,006·2)-0,0215- 0,0435-0,0215+(0,0435+0,0575+0,0575+0,0075+0,0075+0,05+0,0435+0,0575+0,0575)]=0,65

$$es\Sigma = 0{,}65 + \frac{1{,}2}{2} = 1{,}25 \text{ мм}$$

$$ei\Sigma = 0{,}65 - \frac{1{,}2}{2} = 0{,}05 \text{ мм}$$

1.3 Розрахунок кутових розмірних ланцюгів

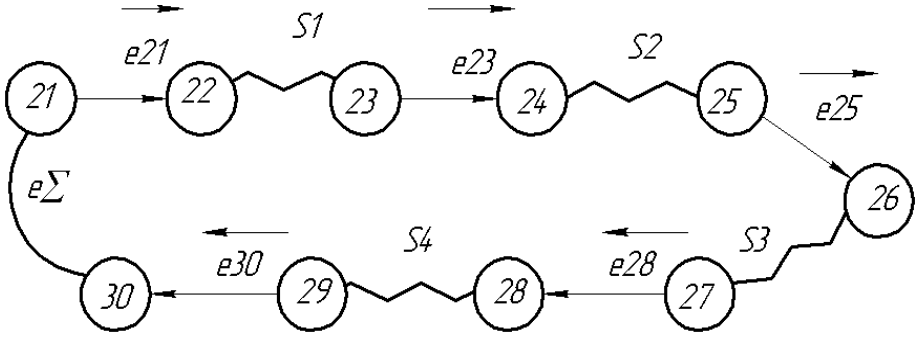


Рисунок 1.2 - Схема кутового ланцюга

S1;S4 - посадка внутрішнього кільця підшипника на валу; S2;S3 - посадка зовнішнього кільця підшипника у корпусі; e21;e30 - ексцентриситет посадочних шийок валу; e23;e28 – половина радіального биття підшипників коченя; e25 - неспіввісність отворів в корпусі.

Вибираємо стандартні значення: aw= 250 мм - міжцентрова відстань; fa=±0,06 мм - граничні відхилення міжвісьової відстані; jn=0,2 мм - гарантований боковий зазор/

Вихідні значення вибираємо як половина допуска

$$[e_\Sigma] = \pm 0{,}03 \text{ мм} \quad [T_\Sigma] = 0{,}06 \text{ мм}$$

Підшипник – клас точності 6.

Граничні відхилення:

$$S1;S4 - Ø85 \frac{L6(^{0}_{-0,015})}{m6(^{+0,046}_{+0,017})} \text{ мм}$$

$$S2;S3 - Ø180 \frac{H7(^{+0,046}_{0})}{l6(^{0}_{-0,022})} \text{ мм}$$

Радіальне биття підшипників кочення:

$$e23,28 = \frac{0,02 + 0,04}{2} = 0,03 \text{ мм}$$

Зміщення осей отворів в корпусі РΣ ≤ 0,05 мм. Допуск зазорів:

$$TSi = Smaxi - Sminc \quad (1.4)$$

S1,4max = 0 - 0,017 = - 0,017 мм; S1,4min = (-0,015) - (0,046)= - 0,061 мм;nTS1,4 = 0 мм - в спряжені натяг, а в розрахунок включаємо тільки зазор, тобто:

$$S2,3max = 0,046 - (-0,022)=0,068 \text{ мм}$$

$$S2,3min = 0 - 0=0 \text{ мм}$$

$$TS2,3 = 0,068 – 0 = 0,068 \text{ мм}$$

Визначаємо координати середини поля допуску зазорів:

$$emSi = \frac{em_D + em_d}{2} \quad (1.5)$$

де emD - координата середини поля допуску отвору ;

$$emD = \frac{ES + EI}{2} \quad (1.6)$$

де emd - координата середини поля допуску вала.

$$emd = \frac{es + ei}{2} \quad (1.7)$$

$$emD1,4 = \frac{0 + (-0,015)}{2} = -0,0075 \text{ мм}$$

$$emd1,4 = \frac{0,046 + (0,017)}{2} = 0,0315 \text{ мм}$$

$$emS1,4 = \frac{-0,0075 + 0.0315}{2} = 0,012 \text{ мм}$$

$$emD2,3 = \frac{0,046 + 0}{2} = 0,023 \text{ мм}$$

$$emd2,3 = \frac{0 + (-0,022)}{2} = -0,011 \text{ мм}$$

$$emS2,3 = \frac{0,023 + (-0,011)}{2} = 0,006 \text{ мм}$$

Допуск на вихідну ланку

$$TeΣ = \sqrt{0,36 \cdot \sum_{i=1}^{n} T_{si}^2 + 0,56 \cdot \sum_{j=1}^{m} T_{ei}^2} \quad (1.8)$$

$$TeΣ = \sqrt{0,36 \cdot (2 \cdot 0^2 + 2 \cdot 0,068^2) + 0,56(2 \cdot 0,005^2 + 2 \cdot 0,034^2 + 0,03^2)} = 0,091 \text{ мм}$$

Координата середини поля допуску emeΣ = 0,0124 мм.

Граничні відхилення замикаючої ланки:

$$eSe\Sigma = 0{,}0124 + \frac{0{,}091}{2} = 0{,}0579 \text{ мм}$$

$$eie\Sigma = 0{,}0124 - \frac{0{,}091}{2} = -\,0{,}0331 \text{ мм}$$

$$e\Sigma = 0^{+0{,}0579}_{-0{,}0331} \text{ мм}$$

Визначаємо величину перекосу

$$\frac{e_\Sigma}{(l+l_1)} = \frac{P_{k\Sigma}}{l} \tag{1.9}$$

$$P_{k\Sigma} = \frac{e_\Sigma \cdot l}{l+l_1} = \frac{0{,}091 \cdot 80}{80+150} = 0{,}0317 \text{ мм}$$

$$\frac{e_\Sigma}{l+l_1+l_2} = \frac{P_{n\Sigma}}{l_1+l_2} \tag{1.10}$$

$$P_{n\Sigma} = \frac{e_\Sigma \cdot (l_1+l_2)}{l+l_1+l_2} = \frac{0{,}091 \cdot (80+150)}{80+150+130} = 0{,}058 \text{ мм}$$

Перевірка точності зачеплення показала, що розрахований перекіс осей не перевищує мінімальний гарантований боковий зазор. Це доводить, що всі умови для надійної роботи передачі повністю виконані.

Для складання редуктора обрали стаціонарно-поточну схему, яка ділить виробничий процес на окремі кроки. Спочатку окремо збирають готові вузли, а потім об'єднують їх в один механізм під час загального монтажу.

Аналіз зібраних матеріалів підтвердив, що початкових даних повністю достатньо для розробки проєкту. Отриманої інформації вистачає для якісної технологічної підготовки виробництва корпусних деталей.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Техніко-економічний аналіз вихідних даних для обробки деталі

Деталь Корпус редуктора є головною базовою деталлю та ключовою складальною одиницею всього редукторного механізму. Вона виконує функцію просторової основи, всередині якої безпосередньо монтуються всі кінематичні пари, підшипникові вузли та інші складальні одиниці трансмісії. Задана точність їхнього взаємного розташування та стабільність відносного положення мають забезпечуватися як у статичному стані під час складання, так і в динаміці — безпосередньо в процесі тривалої експлуатації машини під впливом знакозмінних технологічних навантажень.

Виходячи з цих умов, до конструкції корпуса висуваються підвищені вимоги щодо геометричної точності, просторової жорсткості та вібростійкості. Виконання цих вимог дозволяє мінімізувати деформації опорних поверхонь, запобігти перекосам осей валів та усунути виникнення резонансних вібрацій під час роботи кінематичних ланцюгів гірничо-металургійного обладнання.

Основним матеріалом для виготовлення деталі є сірий чавун марки СЧ150 згідно з ДСТУ 8833:2019. Як технологічний матеріал-замінник, що дозволяє підвищити міцнісні характеристики конструкції, визначено сірий чавун марки СЧ200.

Механічні властивості основного та замінника матеріалів наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 — Механічні властивості конструкційних матеріалів корпуса редуктора

Марка матеріалу за ДСТУ 8833:2019	Границя міцності при розтягненні, МПа	Стріла прогину (при L = 600 мм), мм, не менше	Твердість за Брінеллем, НВ
1	2	3	4
СЧ150 (основний)	150	8.0	170...229
СЧ200 (замінник)	200	9.0	180...240

Вибір сірого чавуну марок СЧ150 та СЧ200 як конструкційного матеріалу для корпуса редуктора є повністю обґрунтованим з огляду на комплекс їхніх експлуатаційних, технологічних та економічних властивостей. Перш за все, наявність у структурі чавуну включень пластинчастого графіту забезпечує матеріалу високу демпфувальну здатність, тобто властивість ефективно

поглинати та розсіювати механічні коливання й вібрації, які неминуче виникають під час зачеплення зубчастих передач кінематичних ланцюгів. Це гарантує стабільну вібростійкість корпусної деталі та знижує рівень динамічного шуму всієї машини. З технологічної точки зору сірий чавун володіє відмінними ливарними якостями, такими як висока рідкоплинність та незначна об'ємна усадка під час кристалізації, що дозволяє отримувати складні за геометричною конфігурацією товстостінні виливки корпусів із мінімальними залишковими напруженнями. Крім того, цей матеріал має високий опір стисненню та забезпечує просторову жорсткість і стабільність форми під навантаженням, завдяки чому виключається ризик пружних деформацій і зберігається сувора співвісність розточок під підшипникові вузли. Важливим фактором у межах організації виробництва є також економічна доцільність застосування сірого чавуну, оскільки він є значно дешевшим у виготовленні порівняно зі сталевим литвом або зварними заготовками, а його структура дозволяє вести високоефективну механічну обробку різанням на сучасних верстатах із ЧПК із мінімальним зношуванням інструменту.

2.2 Аналіз якості поверхонь деталі

Таблиця 2.2 - Аналіз якості поверхонь корпуса

№ пов	Номінальний розмір, мм	IT	T, мм	Ra	Відхилення форми і розташування
1	2	3	4	5	6
1	Торець 250_{-1}	14	1,0	12,5	II 0,5
2	Торець 250_{-1}	14	1,0	3,2	
3	Отвір Ø110H7	7	0,035	12,5	
4	Отвір Ø150H7	7	0,04	1,6	
5	Отвір Ø180H7	7	0,046	1,6	
6	Отвір Ø25H14	14	0,240	1,6	
7	Отвір Ø10H11	11	0,09	12,5	
8	Отвір Ø20H14	14	0.21	3,2	
9	Отвір M24	12	0.18	12,5	
10	Отвір Ø35H14	14	0,3	12,5	
11	Отвір Ø35H14	14	0,3	12,5	
12	Отвір M15	12	0,18	12,5	
13	Отвір Ø13H14	14	0,18	12,5	
14	Торець р-ра 304	14	0,52	12,5	
15	Канавка $a=5^{+0,14}$	12	0,12	3,2	
16	2 отв. Ø17	14	0,18	12,5	
17	2 отв. Ø10H8	8	0,022	3,2	
18	10 отв. Ø17	12	0,180	12,5	
19	2 отв. Ø10	12	0,012	1,6	
20	Торець р-ра 304	14	0,52	12,5	

З погляду конструктивного аналізу та технології механічної обробки, комплекс поверхонь корпусної деталі розподіляється на основні, виконавчі та допоміжні елементи. До основних поверхонь корпуса редуктора належать площина розніму та площина встановлення (основа) з габаритними розмірами 440х310 мм та 816х300 мм відповідно, які визначають базування вузла та сприймають головні експлуатаційні навантаження. Виконавчими поверхнями є точні розточні отвори Ø180H7, Ø150H7 та Ø110H7 мм, призначені для монтажу підшипникових опор валів кінематичних ланцюгів. До категорії допоміжних поверхонь відносяться координаційні отвори під конічні або циліндричні штифти діаметром 10 мм, які забезпечують точну фіксацію та унеможливлюють зміщення кришки відносно корпуса редуктора під час збирання.

2.3 Технічний контроль робочого креслення

Робоче креслення корпусної деталі виконано у повній відповідності до вимог стандартів ЕСТД та ЄСКД (Єдиної системи конструкторської документації). Графічна частина представлена трьома основними проекціями та двома додатковими видами, що поєднуються з місцевими й виносними розрізами. Такий обсяг графічної інформації забезпечує повне просторове уявлення про складну конфігурацію виробу. Наведені на кресленні лінійні та діаметральні розміри, їхні граничні відхилення (допуски), а також параметри шорсткості поверхонь повністю відповідають нормальним рядам переважних чисел і чинним стандартам макрогеометрії.

Усі наведені показники мікрогеометрії, допуски форми та просторового розміщення основних поверхонь щодо обраних конструкторських баз дають повний обсяг даних, які потрібні для правильної побудови послідовності операцій мехобробки нашої заготовки під час проєктування. Розрахунок і складання лінійних, а також кутових розмірних ланцюгів виконані абсолютно правильно, завдяки чому забезпечується надійна робота всього вузла редуктора і діє механізм повної взаємозамінності деталей.

Усі технічні вимоги на робочому кресленику подають детальні та зрозумілі відомості про геометричні властивості й фізико-механічні параметри нашого виробу. Оцінка конструкції самого корпуса показує, що в ньому зовсім немає складних для виробництва елементів, а це значно полегшує виготовлення хорошого виливка та спрощує його подальше фрезерування на верстаті з ЧПК. Проте, нормативи щодо точності форми та взаємного положення поверхонь на старому кресленні були записані ще за колишніми правилами, тому їх обов'язково треба перерахувати та оновити відповідно до діючих сучасних стандартів ДСТУ та ISO при створенні нового техпроцесу.

2.4 Аналіз технологічності деталі

За класифікаційними ознаками машинобудування дана деталь належить до класу Корпус. Заготовку для деталі Корпус редуктора отримують методом

фасонного лиття з сірого чавуну марки СЧ150. Конструкція виробу характеризується наявністю розвинутих і жорстких базових поверхонь, що забезпечує надійне базування, позиціонування та закріплення заготовки у технологічних пристосуваннях на різних операціях механічної обробки.

Форма цього корпуса є дуже зручною для ливарного цеху, оскільки зовнішні обриси та спеціальні ливарні ухили дозволяють легко і без перешкод діставати модель із форми. Для подальших фрезерних та розточувальних робіт у ролі головних технологічних баз обрано торцеві поверхні разом із двома координаційними отворами, що дає змогу повністю дотримуватися правила постійності баз. Крім того, конструкція всіх частин деталі спроєктована так, що різальний інструмент може вільно виходити «на прохід» під час механічної обробки лезовим інструментом.

На торцях деталі є низка наскрізних отворів для кріплення, які прорублені з неоднаковим кроком та на різних відстанях один від одного. Через такі особливості геометрії не можна використати звичайні багатошпиндельні головки незмінної конструкції, тому виникає потреба створювати складні спеціальні налагодження або обробляти ці отвори один за одним на верстатах із ЧПК. Водночас те, що основні отвори під підшипники є наскрізними, дозволяє проводити їх остаточне чистове розточування з обох сторін корпуса, підбираючи найвигідніші траєкторії руху інструменту за допомогою сучасних CAM-стратегій.

Чудова просторова жорсткість конструкції корпуса зводить до мінімуму будь-які пружні зміщення та деформації в технологічній системі ВІДП (верстат-інструмент-деталь-пристосування). Завдяки цьому можна сміливо застосовувати продуктивну багатоінструментальну обробку, наприклад, одночасно фрезерувати чи розточувати кілька ділянок, а також призначати більш інтенсивні режими різання. Усі встановлені кресленником вимоги до точності та мікрошорсткості поверхонь можна повністю виконати за допомогою стандартних фрез і звичайного вимірювального інструменту. Сама ж форма корпуса не заважає вільно підводити, виставляти та відводити робочі органи верстата чи прилади контролю в зоні обробки.

Визначаємо коефіцієнт точності

$$T_{ср} = \frac{\Sigma T_i \cdot N_i}{\Sigma N_i} \tag{2.1}$$

$$T_{ср} = \frac{14 \cdot 9 + 7 \cdot 3 + 11 \cdot 1 + 12 \cdot 5 + 8 \cdot 1}{19} = 11{,}9 \approx 12$$

Визначаємо коефіцієнт шорсткості

$$Ш_{ср} = \frac{\Sigma Ra \cdot N_i}{\Sigma N_i} \tag{2.2}$$

$$Ш_{ср} = \frac{12{,}5 \cdot 11 + 3{,}2 \cdot 4 + 1{,}6 \cdot 4}{19} = 8{,}23 \approx 8$$

2.5 Вибір типу виробництва

Згідно з чинними нормативними положеннями, головним індикатором для встановлення конкретного типу машинобудівного виробництва (одиничного, серійного або масового) виступає коефіцієнт закріплення операцій. Для окремо взятої виробничої дільниці або певної групи устаткування цей параметр відображає співвідношення між загальною кількістю різноманітних технологічних операцій, які виконуються або намічені до реалізації протягом місяця, та числом наявних робочих місць. Аналітично коефіцієнт закріплення операцій визначається за формулою:

$$к_{з.о.} = \frac{O}{P} \quad (2.3)$$

де О – кількість операцій, Р - кількість робочих місць, $к_{з.о.}$ = 51 / 5 = 10,5 (середньосерійне виробництво).

2.6 Вибір, техніко-економічне обгрунтування та проектування заготовок

З метою техніко-економічного обґрунтування та вибору найбільш раціонального технологічного процесу виготовлення виливки корпуса редуктора проведено багатокритеріальний аналіз. Для цього формується матриця можливих способів отримання заготовки, яка дозволяє комплексно оцінити та зіставити різні методи лиття.

Систематизовані результати цього аналізу та сформована матриця технологічних рішень наведені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Матриця впливу факторів

Методи обробки заготовок	Форма	Точність	Технічні властивості матеріалу	Програма випуску	Виробничі можливості підприємства	Підсумок
1	2	3	4	5	6	7
Відливка у пісчану форму	+	+	+	_	+	4
По виплав. моделям	–	–	+	_	_	1
Лиття в кокіль	+	+	+	+	+	5

Для техніко-економічного обґрунтування методу виготовлення заготовки корпуса редуктора проведено порівняльний розрахунок технологічної собівартості двох найбільш поширених способів лиття, а саме лиття в піщано-глиняні форми та лиття в металеві форми (кокіль). Обчислення виконано за уточненою методикою визначення витрат на матеріал із врахуванням актуального рівня ринкових цін на чавунне промислове литво та вартості повернення корисних відходів (стружки) станом на 2026 рік.

При аналізі першого варіанта, що передбачає отримання заготовки методом лиття в піщано-глиняні форми, маса заготовки становить 75 кг при незмінній

чистовій масі готової деталі 54,7 кг. Сучасна базова оптова вартість одного кілограма промислового чавунного литва третього класу точності в піщані форми становить 65 грн, а ціна реалізації металевих відходів у вигляді стружки дорівнює 8,5 грн/кг. Інтегральний коефіцієнт, що враховує серійність, складність та точність виливки, приймається на рівні 0,83. Розрахунок технологічної собівартості заготовки в піщаній формі виконується за математичною залежністю, де добуток маси заготовки, базової ціни та поправочних коефіцієнтів зменшується на величину вартості вилучених у стружку відходів:

$$75 \cdot 65 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,83 – (75 - 54,7) \cdot 8,5 = 3873,80 \text{ грн.}$$

У результаті обчислень технологічна собівартість першого варіанта становить 3873,80 грн.

При аналізі другого варіанта, який передбачає лиття в кокіль, завдяки вищій геометричній точності та меншим припускам на механічну обробку маса заготовки суттєво знижується і становить 61 кг при тій самій чистовій масі деталі 54,7 кг. Незважаючи на складність оснащення, у перерахунку на серійне виробництво оптимізована оптова ціна одного кілограма кокільного литва є більш вигідною і становить 55 грн, при цьому ціна зворотних відходів залишається сталою на рівні 8,5 грн/кг. Інтегральний коефіцієнт аналогічно становить 0,83. Розрахунок собівартості кокільної заготовки проводиться за аналогічним принципом:

$$61 \cdot 55 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,83 – (61 - 54,7) \cdot 8,5 = 2731,10 \text{ грн.}$$

У результаті обчислень технологічна собівартість другого варіанта становить 2731,10 гривні.

Зіставлення отриманих фінансово-технічних результатів показує, що економічний ефект від впровадження лиття в кокіль забезпечує зниження витрат на кожну заготовку на 1142,70 гривні порівняно з піщано-глиняною формою. Крім прямого грошового ефекту, кокільне литво забезпечує зменшення маси вихідної заготовки на 14 кілограмів, що значно підвищує коефіцієнт використання матеріалу та суттєво скорочує час подальшої чорнової механічної обробки на верстатах із ЧПК у межах CAM-технологій. На основі проведеного аналізу для подальшої розробки проекту бакалаврської роботи обирається метод отримання заготовки шляхом відливки в кокіль.

Заготовка – відливка в кокіль. Деталь відноситься до відливок третього класу точності. Клас точності розмірів – 7 т. Клас точності мас – 12. Ряд припусків – 6. Допуски розмірів відливок – 1,8 мм. Граничні відхилення короблення ± 4 мм. Верхні граничні відхилення мас – 3 мм.

Таблиця 2.4 – Призначення припусків

Номер поверхні	Розмір	Припуски на мех. обробку (на 1 стор. пов.)	Дод. припуски (на 1 стор.)	Загальні припуски на сторону
1	2	3	4	5
Пов. 1	250мм	5 мм	3	250 + 5 + 3 = 258 мм
Пов. 2	250мм	5 мм	3	250 + 5 + 3 = 258 мм

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5
Пов. 3	Ø110 мм	4,5 мм		110 - 2(4,5 + 2) = 97 мм
Пов. 4	Ø150 мм	4,5 мм		150 - 2(4,5 + 2) = 137 мм
Пов. 5	Ø180 мм	4,5 мм		180 - 2(4,5 + 2) = 167 мм
Пов. 14	торець р-ру 304 мм	4,5 мм	2	304 + 4,5 + 2 = 310,5 мм
Пов. 20	торець р-ру 304 мм	4,5 мм	2	304 + 4,5 + 2 = 310,5 мм

Креслення заготовки суміщуємо з кресленням деталі.

2.7 Проектування технологічного процесу обробки деталі

2.7.1 Вибір і обгрунтування баз

За класифікаційними ознаками деталь належить до корпусного типу. Як єдина конструкторська, технологічна та вимірювальна база прийнята торцева поверхня з габаритними розмірами 440х304 мм. Таке рішення повністю задовольняє принципу єдності баз при виконанні фрезерних, свердлильних та розточувальних операцій маршруту. Теоретична схема базування із відображенням шести опорних точок для фрезерування та свердління наведена на рисунку 2.1.

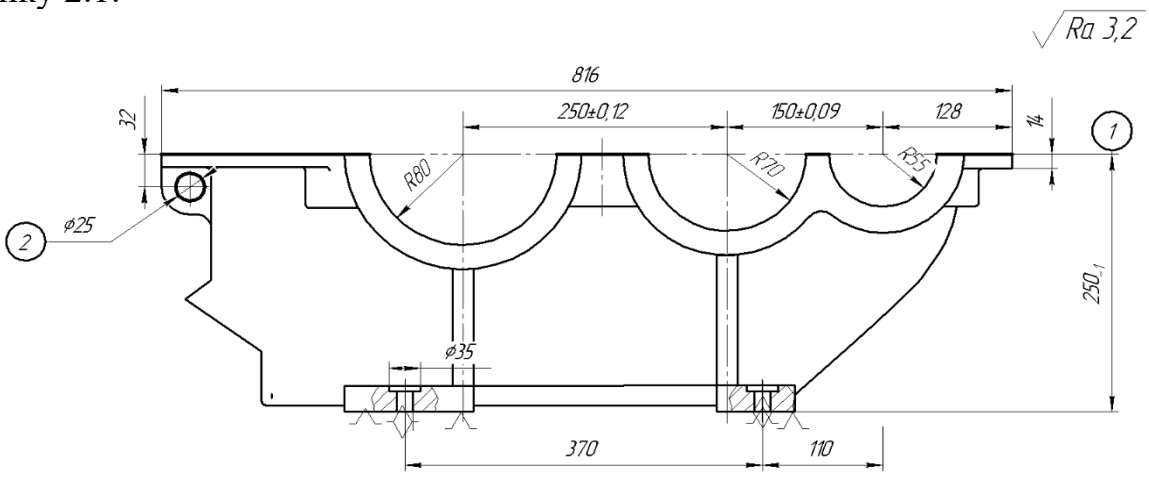


Рисунок 2.1 – Теоретична схема базування

2.7.2 Вибір і обґрунтування послідовності обробки поверхонь

Стосовно кожної робочої поверхні корпусного елемента визначається свій порядок технологічних переходів, який забезпечує поетапне наближення геометричних форм заготовки до вказаних на кресленику параметрів точності та шорсткості. Практичне втілення цього правила досягається через грамотний розподіл усього шару припуску на окремі стадії — попередню (чорнову),

проміжну (напівчистову) та остаточну (чистову) обробку в межах розробленого технологічного маршруту.

Таблиця 2.5 - Послідовність обробки поверхонь

№ пов.	Розмір	Найменування переходів	R_a	IT	T мкм
1	2	3	4	5	6
1	250	Фрезерування чорнове	12,5	14	1150
2	250	Фрезерування чорнове	12,5	14	1150
3	Ø 110H7	Розточування чорнове Розточування чистове Розточування тонке	12,5 3,2 1,6	12 9 7	800 87 35
4	Ø 150H7	Розточування чорнове Розточування чистове Розточування тонке	12,5 3,2 1,6	12 9 7	1000 100 40
5	Ø 180H7	Розточування чорнове Розточування чистове Розточування тонке	12,5 3,2 1,6	12 9 7	1150 115 46
6	Ø25	Свердління	12,5	14	500
7	Ø10	Свердління Зенкерування	12,5 3,2	12 11	450 300
8	Ø20	Зенкерування	12,5	14	210
9	M24	Свердління Нарізання різьби	12,5 12,5	12 12	210 190
10	Ø35	Зенкерування	12,5	14	250
11	Ø35	Зенкерування	12,5	14	250
12	M15	Свердління Зенкерування Нарізання різьби	12,5 12,5 12,5	12 11 11	180 120 100
13	Ø13	Зенкерування	12,5	12	180
14	Р-р 304	Фрезерування чорнове	12,5	12	520
15	Р-р 304	Фрезерування чорнове	12,5	12	520
16	2 от.Ø17	Свердління	12,5	12	180
17	2 отØ10	Свердління Зенкерування Розточування	12,5 6,3 3,2	12 10 8	150 58 22
18	10 от.Ø17	Свердління	12,5	12	180
19	2 от.Ø10	Свердління Розточування чорнове Розточування чистове	12,5 3,2 1,6	12 12 12	150 47 15
20	Р-р 304	Фрезерування чорнове	12,5	12	520

2.7.3 Розробка маршруту обробки деталі

Запропонована схема технологічного процесу обробки корпусного елемента побудована на засадах концентрації переходів та поетапного виходу на необхідні параметри точності. Розроблений алгоритм успішно інтегрує лезову обробку на верстатному обладнанні з числовим програмним керуванням (ЧПК) та міжопераційні слюсарні й перевірочні кроки, що відображає традиційну та дуже продуктивну практику для виробів подібного типу.

Таблиця 2.6 - Маршрут обробки деталі

№ опер	Найменування операції	№ оброблюваної поверхні	№ поверхні базування	Тип, модель верстата
1	2	3	4	5
005	Фрезерн.-свердлильна з ЧПК Установ А, Установ Б	11,1,9,10,16,17 2,6,	2 1,17	Haas VF-3YT
010	Складальна			
015	Свердлильна з ЧПК	18,13,19,7,8	1,17	Haas VF-3YT
020	Складально-слюсарна			
025	Фрезерно-розточувальна з ЧПК	3,4,5,20,14,15	1,17	Haas VF-3YT
030	Контрольна			
035	Гідроіспит			

2.7.4 Розрахунок припусків на обробку поверхні Ø180H7

Обчислення ведемо згідно формули:

$$2Z\min = 2(R_{zi-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}), \quad (2.4)$$

тоді чорнове $2Z\min1 = 2(300+\sqrt{125^2+100^2}) = 920$ мкм,

чистове $2Z\min2 = 2(20+\sqrt{6{,}25^2+90^2}) = 220$ мкм,

тонке $2Z\min3 = 2(10+\sqrt{0{,}32^2+4{,}5^2}) = 29$ мкм.

Таблиця 2.7 – Припуски на обробку поверхні Ø180H7

Заготовка, мм	Розточування чорнове, мм	Розточування чистове, мм	Розточування тонке, мм
1	2	3	4
Розрахунковий мінімальний розмір			
170	177	179,4	180
Допуск на виготовлення			
1000	400	100	40
Граничні розміри			
dmin = 178,871 мм dmax = 179,871 мм	dmin = 177,871 мм dmax = 178,871 мм	dmin = 179,911 мм dmax = 180,011 мм	dmin = 180 мм dmax = 180,04 мм
Граничні значення			
	2Zmin = 920 мкм 2Zmax = 1520 мкм	2Zmin = 220 мкм 2Zmax = 460 мкм	2Zmin = 29мкм 2Zmax = 89 мкм

Перевірка : Tdзаг – Tdдет = 1000 – 40 = 960 мкм

2.7.5 Розрахунок міжопераційних лінійних розмірів

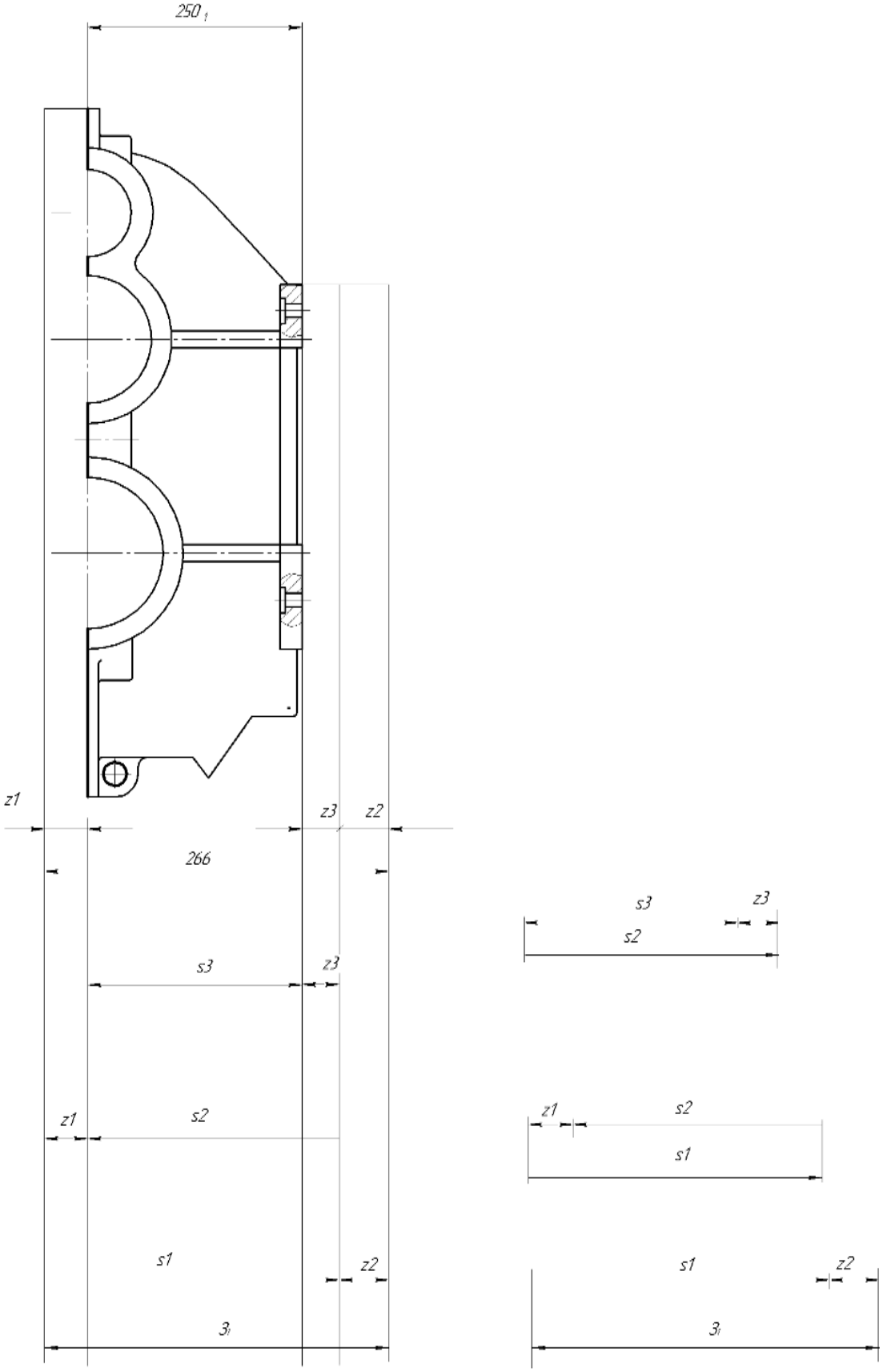


Рисунок 2.2 - Розмірна схема операцій технологічного процесу

Наведені в табл. 2.8 дані відображають структуру розподілу загального технологічного припуску за етапами обробки базових поверхонь корпуса редуктора. Аналіз показує, що для Поверхні 1, де вимоги до макрогеометрії обмежені квалітетом IT12 та шорсткістю Ra 12,5 мкм, є доцільною концентрація обробки в один чорновий перехід із глибиною різання 8 мм.

Натомість для Поверхні 2, з огляду на необхідність досягнення вищої якості поверхні (Ra 3,2 мкм), реалізовано принцип диференціації обробки: загальний припуск 8 мм розподілено на чорнове фрезерування (z2 = 7 мм) та фінішне чистове фрезерування (z3 = 1 мм). Величина операційних допусків (1000 мкм) корелює з похибками отримання заготовки в кокіль.Цей розподіл, зафіксований на розмірній схемі технологічного процесу (рис. 2.2), є розрахунковою базою для подальшого визначення міжпроцесних розмірів та безпосереднього моделювання траєкторій руху інструменту в CAM-системі.

Таблиця 2.8 – Лінійні розміри

Номер поверхні	Точність	Шорсткість	Припуск (заг), мм	Допуск, мкм	Припуск, мм
1	2	3	4	5	6
Пов. 1	IT12	Ra12,5	8	1000	Фрезерування чорнове – z1=8
Пов.2	IT12	Ra3,2	8	1000	Фрезерування чорнове – припуск z2 = 7мм. Фрезерування чистове – припуск z3 = 1мм.

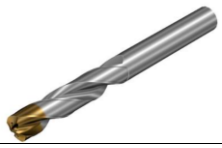
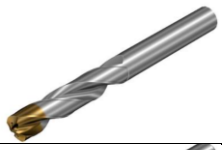
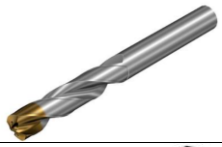
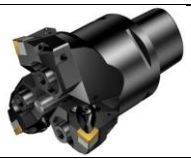
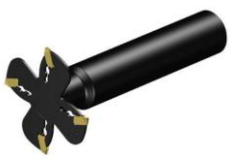
2.7.6 Вибір різального інструменту

Вибір різального інструменту та твердосплавних пластин за міжнародним каталогом фірми Sandvik Coromant для виконання фрезерних, свердлильних та розточувальних операцій при виготовленні корпуса редуктора є повністю обґрунтованим з огляду на комплекс технологічних та економічних переваг.

Сірий чавун марок СЧ150 та СЧ200, з якого виготовляється деталі, характеризується високою абразивністю через наявність у структурі включень графіту та можливих ливарних відбілів (карбідів заліза). Це викликає прискорене інтенсивне зношування задньої поверхні інструменту та вимагає застосування специфічних інструментальних матеріалів. Компанія Sandvik Coromant пропонує спеціалізовані лінійки твердих сплавів та інноваційних покриттів, розроблених суто для групи матеріалів ISO K (чавуни), що дозволяє успішно вирішувати ці виробничі завдання.

Для комплексного оснащення операцій механічної обробки корпуса редуктора на вертикально-фрезерному верстаті Haas VF-3YT вибрано високоефективний різальний інструмент Sandvik Coromant, специфікація якого повністю оптимізована під специфіку обробки сірого чавуну в межах сучасних CAM-технологій.

Таблиця 2.9 – Вибір різального інструменту із каталогу Sandvik Coromant

№ опер	Найменування операції	№ оброблюваної поверхні	Різальний інструмент, тримач / пластина	Зображення
1	2	3	4	5
005	Фрезерн.-свердлильна з ЧПК Установ А, Установ Б	1	CoroMill MS60 MS60-R032A32-11H MS60-11T308M-M40 3330 Insert Face (5x)	
		2	CoroDrill 870 870-2200-22L25-5 870-2200-22-KM 3334 CoroTap 100 T100-KM101DA-M24 D210	
		4	CoroDrill Dura 462 462.1-1700-051A1-XM X2BM	
		6	CoroDrill 860 860.1-1000-029A1-GM X1BM	
015	Свердлильна з ЧПК	1	CoroDrill 860 860.1-1000-029A1-GM X1BM	
		2	CoroDrill Dura 462 462.1-0900-068A1-XM X2BM	
		3, 4	CoroDrill 860 860.1-1000-029A1-GM X1BM	
025	Фрезерно-розточувальна з ЧПК	1, 2	CoroMill 390 R390-032B32-17M R390-17 04 08M-KH 3040 Insert Face (3x)	
		3, 4, 5	CoroBore BR30 BR30-191CN16F-C8 CNMG 16 06 12-KR 3225 Insert (3x)	
		6	CoroMill QD AQD-E-063O25-M QD-NE-0200-035M-KM 3330 Insert (4x)	

Для операцій торцевого та уступного фрезерування площин розмірами 440 х 310 мм та 816 х 300 мм застосовано інноваційну дисково-торцеву фрезу CoroMill MS60 у модифікації MS60-R032A32-11H, яка оснащується п'ятьма двосторонніми квадратними пластинами MS60-11T308M-M40 зі спеціалізованого чавунного сплаву 3330. Головною інженерною перевагою даної фрези є кут у плані 90 градусів у поєднанні з шістьма різальними кромками на кожній пластині, що гарантує виняткову економічність виробництва. Конструкція фрези забезпечує плавне врізання та низькі сили різання, що вкрай важливо для збереження плоскості розніму корпуса без мікродеформацій, а сплав 3330 з технологією тривимірного покриття демонструє найвищу стійкість до специфічного теплового та абразивного зношування, характерного для безперервного фрезерування чавунних заготовок на підвищених швидкостях.

Для швидкісного та точного свердління кріпильних та координаційних отворів, включаючи підготовку під штифти та нарізування нарізі, вибрано високоефективне свердло зі змінними головками CoroDrill 870 у виконанні 870-2200-22L25-5. Цей інструмент укомплектовано різальною чавунною головкою 870-2200-22-KM зі сплаву 3334, геометрія якої спроектована спеціально для мінімізації викришування металу на виході з отвору та забезпечення стабільного відведення дрібної чавунної стружки. Надійна лінійка CoroDrill 870 дозволяє досягати точності отворів за IT9-IT10 за один прохід без необхідності попереднього центрування чи наступного зенкерування, що суттєво скорочує машинний час операції у керуючій програмі ЧПК.

Для фінішного нарізування кріпильної нарізі M24 у наскрізних та глухих отворах торцевих поверхонь корпуса застосовано спеціалізований мітчик із прямими канавками CoroTap 100 у модифікації T100-KM101DA-M24 з інструментального матеріалу класу D210. Даний мітчик розроблений суто для обробки короткостружкових матеріалів і має оптимізовану форму різальних крайок, яка знижує крутний момент під час формування профілю нарізі. Використання CoroTap 100 гарантує отримання стабільного і точного класу нарізного сполучення, повністю виключає заклинювання інструменту через чавунний пил та забезпечує високу надійність процесу різання при реалізації автоматичного циклу жорсткого нарізування нарізі на сучасному фрезерному обладнанні.

Увесь обраний різальний інструмент наведено у табл. 2.9. Режими різання наведено у додатку А.

2.7.7 Нормування технологічних операцій

Обробка ведеться на верстаті ЧПК, тому норма часу визначається:

$$Нвр = Тшт + \frac{T_{пз}}{n} \quad (2.5)$$

$$Тшт = (Тца + Тв \cdot ктв) \cdot (1 + \frac{a_{тех} + a_{орг} + a_{отд}}{100}) \quad (2.6)$$

де Тца – час циклу автоматичної роботи верстату.

$$Тца = То + Тмв, \quad (2.7)$$

де То – основний час.

$$То = \frac{130+2+2}{95} = 1,41 \text{ хв},$$

де Тмв – машинно-допоміжний час

$$Тмв = 2,09 \text{ хв}$$

$$Тца = 1,41 + 2,09 = 3,5 \text{ хв}$$

де Ктв = 1 – коефіцієнт, Тв = 0,30 хв – допоміжний час, атех ; аорг ; аотд - час на технічне обслуговування, відпочинок, оргпитання , складає 8%.

$$Тшт = (1,41 + 2,09 \cdot 0,3 \cdot 1) \cdot (1 + \frac{8}{100}) = 4,104 \text{ хв},$$

Тпз = 39,35 хв – підготовчо-заключний час, n = 100 шт – кількість виробів у партії.

$$\text{Норма часу} \quad Нвр = 4,104 + \frac{39,35}{100} = 4,497 \text{ хв}$$

2.7.8 Розробка верстатно-інструментального налагодження для верстату з ЧПК

Обробка корпуса редуктора кінематичного ланцюга виконується на сучасному високоефективному вертикально-фрезерному оброблювальному центрі з ЧПК моделі Haas VF-3YT. Концентрація технологічних операцій на одному верстаті дозволяє здійснювати чорнове та чистове фрезерування площин, розточування точних отворів під підшипники, а також свердління та нарізання нарізей за мінімальну кількість установів заготовки. Завдяки розширеному ходу по осі Y, що є головною конструктивною особливістю серії YT, забезпечується повне геометричне перекриття габаритних розмірів чавунного виливка без необхідності його складного перебазування. Це дозволяє кардинально зменшити похибку установки деталі, зводячи її лише до власної похибки позиціонування робочого стола верстата. Ескізи виконуваних операцій та переходи деталізовано на 4 аркуші альбому креслень.

Вертикально-фрезерний оброблювальний центр Haas VF-3YT має високі технічні та кінематичні характеристики, які повністю задовольняють вимогам точної обробки корпусних деталей гірничо-металургійного обладнання. Розміри робочої поверхні стола становлять 1372 на 635 мм, що дозволяє вільно розміщувати масивну заготовку разом із затискним оснащенням. Максимальні переміщення робочих органів по координатах X, Y та Z складають відповідно 1016 мм, 660 мм та 635 мм. Верстат оснащений потужним шпинделем із конусом ISO 40, частота обертання якого регулюється в діапазоні від 0 до 8100 обертів за хвилину, а привод має векторну потужність 22,4 кВт. Максимальна швидкість робочих подач досягає 16,5 м/хв, тоді як швидкість прискорених холостих переміщень по осях становить 18 м/хв. Автоматична зміна інструменту реалізована за допомогою бічного інструментального магазина місткістю 30 позицій, при цьому час зміни інструменту від ножа до ножа складає всього 2,3 с. Загальна електрична потужність, яку споживає обладнання, становить 28 кВА, а

власна маса верстата дорівнює 6124 кг, що забезпечує високу жорсткість і вібростійкість системи під час силового різання. Максимально допустима маса встановлюваної заготовки на стіл оброблювального центру обмежена величиною 1588 кг. Керування всіма механізмами здійснюється за допомогою фірмової системи числового програмного управління Haas Next Generation Control, яка забезпечує одночасне керування за трьома координатами з точністю позиціонування робочих органів до 0,005 мм. Верстат є багатофункціональним і дозволяє з високою точністю виконувати весь спектр фрезерних, розточувальних, свердлильних та нарізних робіт інструментом Sandvik Coromant.

Базування та закріплення корпуса редуктора на робочому столі верстата здійснюється у спеціально запроєктованому переналагоджувальному пристрої. Надійне силове закріплення чавунного виливка забезпечує стабільне зусилля фіксації та повністю запобігає деформаціям корпусу під впливом сил різання.

Нуль шпинделя Ошп співпадає з торцем шпинделя. Нуль інструмента O_i, розташовано на відстані 110 мм в установі I_i і II_i. У цю точку підходить та точка інструменту, що позначена двома концентричними колами. Нуль деталі O_d знаходиться у точці перехрестя площини роз'єму і вертикальної вісі отвору Ø110Н7 нуль пристрою знаходиться у центрі циліндричного пальця, на який установлюється корпус. Нуль верстата $O_в$ вибрано по пазу, на якому базується підкладка.

Спираючись на ці дані можна зробити розрахунок опорних точок. Він необхідний для точного визначення координат траєкторії руху різального інструменту відносно нульової точки деталі, що забезпечує правильне перенесення конструкторських розмірів у керуючу програму верстата з ЧПК. Крім того, ці обчислення дозволяють чітко координувати положення заготовки на робочому столі Haas VF-3YT відносно елементів базування, повністю виключаючи зсув деталі та гарантуючи досягнення заданої точності обробки корпуса редуктора. У таблиці 2.10 приведені опорні крапки і інструменти, що обробляють отвір·Ø110Н7, аналогічно оброблюються отвори Ø150Н7, Ø180Н7.

Таблиця 2.10 – Розрахунок опорних точок

№ ін струм.	№ опорних крапок	Координати			Прирощення координат			S	V	n	t
		X	Y	Z	X	Y	Z				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	0-1 1-2 2-3 3-4 4-5	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	-2 +65 +65 -2 -50	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	-- 4800 -- 6700 0 +6700 +4800	8000 0,5 2000 8000 0	100	146	5

Продовження таблиці 2.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	0-1 1-2 2-3 3-4 4-5			-2 +65 +65 -2 -50			-4800 -6700 0 +6700 +4800	8000 0,25 2000 8000 0	200	290	1,5
	0-1 1-2 2-3 3-4 4-5			-2 +65 +65 -2 -50			-4800 -6700 0 +6700 +4800	8000 0,15 2000 8000 0	250	362	0,5

Програма обробки трьома інструментами при обробці отворів наведена у додатку Б.

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Проектування технологічного оснащення

3.1.1 Технічне завдання до проектування верстатного пристрою

У межах виконання технічного завдання необхідно розробити переналагоджувальний верстатний пристрій, призначений для базування та закріплення деталі під час фрезерування торцевої площини з габаритними розмірами L x B = 816 x 304 мм на операції 005. Зазначена технологічна операція реалізується на вертикально-фрезерному оброблювальному центрі Haas VF-3YT, який конструктивно оснащений хрестовим столом, системою автоматичної зміни різального інструменту та пристроєм автоматичної зміни заготовок. Як різальний інструмент на даному етапі обробки використовується сучасна торцева фреза CoroMill MS60 у модифікації MS60-R032A32-11H, що комплектується п'ятьма змінними твердосплавними пластинами типу MS60-11T308M-M40 3330 (Insert Face 5x).

3.1.2 Реалізація проектування верстатного пристрою

Проектування елементів пристрою та розрахунок його габаритів мають безпосередньо враховувати технічні параметри робочого столу верстата, корисна площа якого становить 800 x 500 мм. Для безперешкодного монтажу та координування пристрою на столі передбачено 5 Т-подібних пазів із номінальним розміром 18Н9 та фіксованою відстанню між осями пазів у 100 мм.

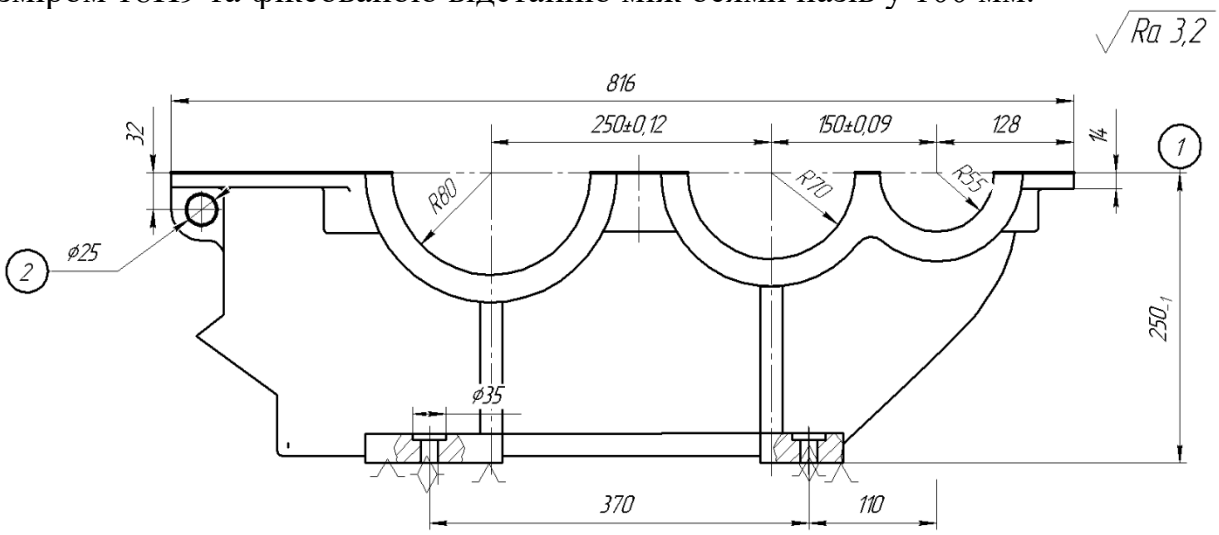


Рисунок 3.1 - Ескіз операції

Технічне рішення щодо просторової орієнтації заготовки базується на розробці раціональної теоретичної схеми базування, яка забезпечує однозначність

					КНУ.КБР.131.26.1–06.03.КЧ		
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата			
Розроб.		Дільний			Конструкторська частина	Літ.	Арк. / Аркушів
Перевір.		Кіяновський					
Н. Контр.		Нечаєв				Кафедра ТМ гр. ПМ–22	
Затверд.		Рязанцев					

положення деталі в робочій зоні верстата. Роль головної установочної бази, яка позбавляє деталь трьох ступенів вільності, виконує торцева площина корпуса редуктора з розмірами 440 х 304 мм. Роль направляючої та упорної баз, які сумарно позбавляють заготовку решти трьох ступенів вільності, виконують два технологічні координаційні отвори діаметром Ø10H8. Графічне відображення розробленої схеми базування та розташування шести опорних точок на відповідних поверхнях деталі наведено на рисунку 3.1.

Для практичної реалізації розробленої теоретичної схеми базування корпуса редуктора на робочому столі оброблювального центру Haas VF-3YT вибрано сучасні стандартні опорні та настановні елементи, які забезпечують високу точність позиціонування та зносостійкість контактних поверхонь.

Як основні опорні елементи для створення установочної бази застосовано стаціонарні настановні пластини: ширина становить 160 мм, а довжина — 760 мм. Для забезпечення точності координації заготовки за направляючою та упорною базами у пристрої використовуються прецизійні настановні пальці. Для першого координаційного отвору Ø10H8 обрано циліндричний настановний палець із номінальним діаметром робочої частини Ø10h7 мм, що відповідає сучасному стандарту ДСТУ ISO 2341 (або промисловому аналогу типу Kipp DIN 6321). Для другого отвору Ø10H8, з метою компенсації міжосьової відстані та уникнення заклинювання заготовки під час встановлення, застосовано зрізаний (сплюснутий) палець із робочим діаметром Ø10h7 мм.

Усі вибрані компоненти оснащення виготовляються з високоякісної конструкційної легованої сталі марки 20Х. Для захисту робочих поверхонь від інтенсивного стирання чавунним пилом та механічних пошкоджень під час завантаження-вивантаження деталей передбачено термічну обробку елементів — цементацію з наступним гартуванням до досягнення твердості HRC 55...60. Виконуємо обчислення похибки базування.

$$\varepsilon_б = \Delta_{гар} + IT_D + IT_{dn}$$

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

Розрахунок величини та напрямку сил затискання виконується на основі сил різання та їхніх моментів, які діють на деталь. Зусилля затиску має надійно утримувати заготовку на базах, протидіяти зсуву від інструменту та не деформувати корпус редуктора під час фрезерування.

$$\Sigma M_A = 0$$

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

де k=2,5 – коефіцієнт запасу, f = 0,12. Діаметр фрези 100 мм. Сила різання P_z = 5436 Н.

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

$$w = 2{,}5\cdot 5436\cdot 0{,}12\cdot 50 : (5\cdot 0{,}12+5\cdot 0{,}12+30\cdot 0{,}12+370\cdot 0{,}12+210\cdot 0{,}12+210\cdot 0{,}12)$$

$$w = 81540 : 125{,}8 = 653 \text{ Н}$$

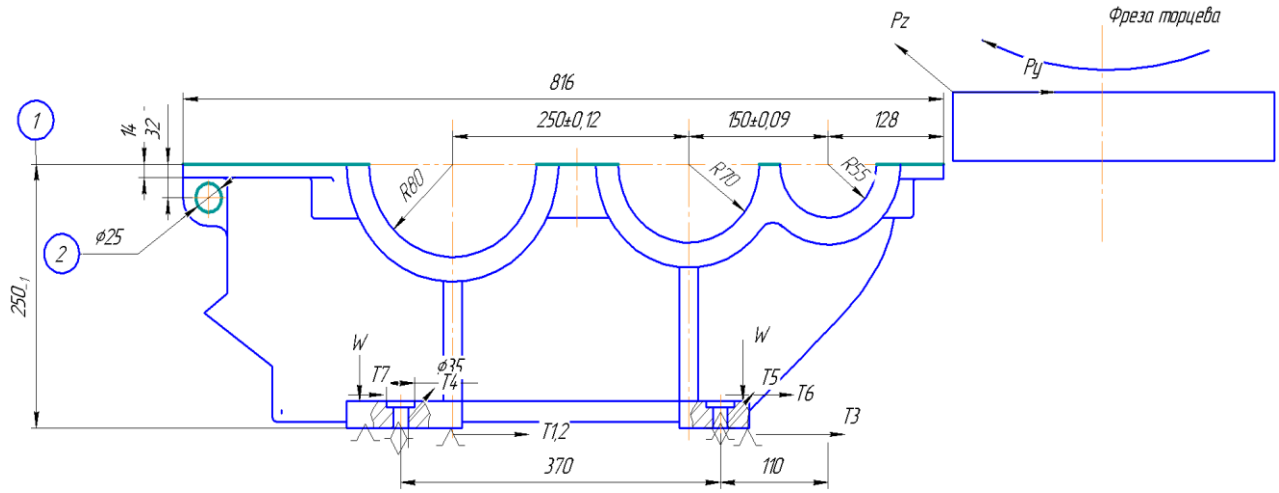


Рисунок 3.2 – Схема затиску

3.1.3 Вибір та розрахунок затисних пристроїв

Для фіксації заготовки прийнято комбінований затискний механізм гвинто-важільного типу. Виходячи з розрахованого зусилля затискання та допустимого напруження матеріалу, номінальний діаметр нарізі гвинта визначається за формулою:

$$w = 0{,}64\pi d^2/4 \cdot G = 0{,}5d^2 \cdot G$$

де G – максимальне напруження розтягнення матеріалу гвинта, що становить 800 кг/см^2.

$$d = \sqrt{\frac{w}{0{,}5G}} \qquad (3.1)$$

$$d = \sqrt{\frac{653}{0{,}5 \cdot 800}} = 1{,}2 \text{ см}$$

Фіксація заготовки у верстатному пристрої реалізується за допомогою механізованого затискного привода. Вибір такого типу закріплення обумовлений конкретними умовами фрезерної операції, серійністю виробництва, а також необхідністю забезпечення стабільного затискного зусилля, що автоматично мінімізує допоміжний час і виключає вплив людського фактора під час роботи на оброблювальному центрі з ЧПК. Визначимо діаметр гідроциліндра :

$$D = 1{,}13\sqrt{W / p\eta} \qquad (3.2)$$

$$D = 1{,}13\sqrt{653/5x0{,}9} = 12\text{мм}.$$

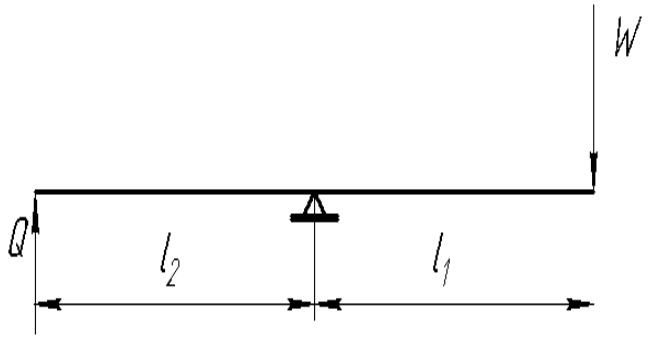


Рисунок 3.3 – Кінематична сила затиску

Відповідно до стандартного ряду номінальних параметрів гідрообладнання, для механізованого привода пристрою приймаємо гідроциліндр із діаметром поршня 40 мм. На основі цього параметра та робочого тиску в гідросистемі визначається вихідне зусилля на штоку циліндра. Для трансмутації цього зусилля на деталь приймаємо довжину плеч комбінованого важільного прихвату рівною 220 мм. Конструктивна взаємодія елементів затискного пристрою та вектор розподілу навантажень детально відображені на кінематичній схемі затиску комбінованим прихватом, яка зображена на рис. 3.3.

Вихідна сила на рукоятці гвинта обчислюється із співвідношення:

$$Q = \frac{w(l_1 + l_2)}{l_1 \cdot \eta} \qquad (3.3)$$

η = 0,95 – коефіцієнт, l1= 100 мм, l2= 50 мм.

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

Повне креслення пристрою показано на 5 аркуші в альбомі креслень.

3.1.4 Вибір базових та допоміжних елементів конструкції

Для забезпечення надійного силового замикання технологічної системи, швидкого переналагодження та жорсткої фіксації корпуса редуктора на столі оброблювального центру Haas VF-3YT використано сучасну номенклатуру нормалізованих кріпильних, притискних та опорних компонентів. Усі елементи інтегруються безпосередньо в робочу зону верстата і підбираються за міжнародними стандартами ISO та DIN, що дозволяє використовувати готові тривимірні моделі деталей з CAD-каталогів промислового оснащення.

Для безпосереднього притискання чавунного виливка застосовано поворотні та рухомі прихвати зворотного типу, які є європейським аналогом класичних станочних затискачів. Відповідно до розрахункових навантажень фрезерної операції, ці елементи мають фіксовані конструктивні параметри, де довжина становить 150 мм, ширина дорівнює 35 мм, а висота складає 20 мм. Силове передавання від механізованого привода на прихвати здійснюється через високоміцні пазові болти, спеціально розроблені для Т-подібних пазів столу 18Н9, які працюють у комплекті з посиленими шестигранними гайками високого класу міцності. Для рівномірного розподілу затискного зусилля, запобігання перекосам та захисту корпусу пристрою від зношування під гайки встановлюються гартовані плоскі шайби збільшеної товщини.

Точна просторова орієнтація та фіксація самого верстатного пристрою відносно напрямних пазів столу Haas реалізується за допомогою прецизійних призматичних шпонок. Для базування невідповідальних або необроблених ділянок виливка чавунного корпуса в конструкції пристрою задіяні регульовані гвинтові опори та настановні домкрати. Комплексне впровадження такої сучасної номенклатури деталей підвищує загальну жорсткість системи під навантаженням, суттєво скорочує допоміжний час на встановлення деталі та повністю відповідає

європейським інженерним вимогам до проектування оснащення для верстатів із ЧПК.

Для підтвердження надійності верстатного пристрою виконується розрахунок на міцність його найбільш навантажених елементів — циліндричного та зрізаного настановних пальців, які забезпечують точне спрямування деталі. Перевірка проводиться на основі визначення площі поперечного перерізу робочої частини пальців та їхнього розрахунку на зріз і зминання під дією сил різання.

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \qquad (3.4)$$

$$F = \frac{3{,}14 \cdot 1^2}{4} = 0{,}785 \text{ см2}$$

P = 5436 Н – зусилля розтягуюче, $[G_p] = 25000$ Н/см2.

$$F \geq \frac{P}{[G_p]}$$

$$0{,}785 > \frac{5436}{25000} = 0{,}217$$ – умова виконується.

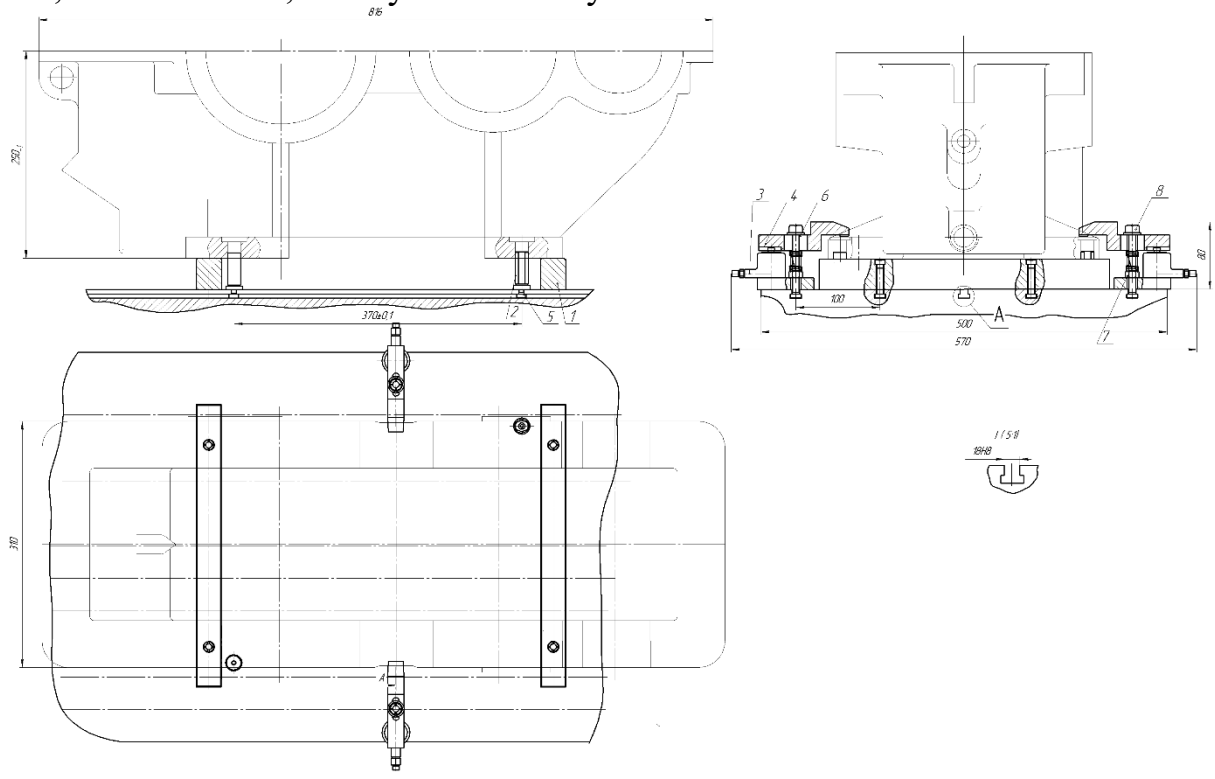


Рисунок 3.4 - Загальна схема пристрою
(1 – пластини, 2 – палець зрізаний, 3 – гідроциліндр, 4 – прихват, 5 - палець циліндричний, 6 – болт, 7 – гайка, 8 – гайка, 9 – болт)

Для підтвердження метрологічної надійності верстатного пристрою виконується його розрахунок на точність, який дозволяє теоретично обґрунтувати можливість досягнення заданих кресленням допусків. Метою цього розрахунку є перевірка умови, за якої сумарна похибка базування, закріплення та виготовлення

самого пристрою не перевищує допуск на оброблюваний розмір корпуса редуктора. Статистичний аналіз похибок технологічної системи забезпечує гарантовану якість обробки поверхонь на верстаті Haas VF-3YT без ризику появи геометричного браку.

$$\varepsilon_{пр} = к\sqrt{\varepsilon_{б}^2 + \varepsilon_{рп}^2 + \varepsilon_{по}^2 + \varepsilon_{з}^2}$$

де $\varepsilon_{б}$ - похибка базування, $\varepsilon_{рп}$ - 1/5IT похибка розташування пристрою на верстаті, $\varepsilon_{по}$ - похибка розташування опорних поверхонь деталі відносно посадочних поверхонь пристрою; $\varepsilon_{з}$ - похибка закріплення; к - коефіцієнт який враховує закон розподілення складових похибок; $\varepsilon_{по} = \left(\frac{1}{3} \cdots \frac{1}{5}\right)$ допуска розміру деталі що обробляється до опорного елемента, $\varepsilon_{по} = 0{,}004$ мм, $\varepsilon_{з} = 0{,}110$ мм, $\varepsilon_{рп} = 0{,}2$ мм, $\varepsilon_{б} = 0{,}035$ мм, к = 1,11…1,20.

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

Корпус редуктора встановлюється на дві опорні пластини (позиція 1) та базується по двох отворах Ø10H12 за допомогою двох пальців Ø10g7 (позиції 2 і 5). Усі ці настановні елементи фіксуються на столі верстата пазовими болтами. Сама деталь затискається комбінованим механізмом, при цьому сила затискання спрямована строго перпендикулярно до опорних елементів, що гарантує надійну фіксацію корпуса під навантаженням.

3.2 Проектування контрольного пристрою

У межах комплексної розробки технологічного процесу виготовлення деталі Корпус редуктора виникає необхідність забезпечення суворого метрологічного контролю на фінішних операціях. Проектований контрольний пристрій призначений для верифікації макрогеометрії виробу, а саме для контролю відхилення від площинності поверхні розніму корпуса редуктора.

Відповідно до конструкторської документації, граничне відхилення від площинності поверхні розніму не повинно перевищувати 0,1 мм відносно визначеної головної конструкторської та вимірювальної бази, якою виступає базова площина встановлення (основа корпуса).

Розроблюване контрольно-вимірювальне оснащення має задовольняти наступним інженерно-технічним вимогам.

Забезпечення єдності та постійності баз. Базування корпуса редуктора в контрольному пристрої має повністю дублювати його встановлення на робочому столі фрезерного верстата та в самому редукторному вузлі. Об'єкт контролю позиціонується своєю чистовою площиною встановлення на жорсткі змінні опорні пластини пристрою, що мінімізує похибку базування і виключає деформацію виливка під власною вагою.

Реалізація методу вимірювання. Конструкція пристрою повинна передбачати використання відносного (диференційованого) методу статичного контролю за

допомогою багатоконтактних вимірювальних головок або індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм. Слід забезпечити безперешкодний доступ вимірювальних наконечників до кількох контрольних точок по периметру площини розніму розмірами 816 х 304 мм для побудови реального профілю поверхні.

Метрологічна надійність. Сумарна похибка вимірювальної системи пристрою, що містить у собі власну похибку виготовлення оснащення, похибку базування та похибку вимірювального засобу, не повинна перевищувати 25–30% від заданого допуску площинності, тобто становити не більше 0,025...0,030 мм.

Експлуатаційна стійкість. Матеріали елементів пристрою, які безпосередньо контактують із чавунним корпусом, повинні мати високу зносостійкість (твердість контактних поверхонь не менше HRC 55...60) для запобігання втрати точності пристрою в умовах серійного виробництва.

Розробка даного контрольного пристрою дозволить оптимізувати операцію технічного контролю, гарантувати герметичність стику розніму редуктора під час експлуатації та виключити ризик витоку мастильних матеріалів через геометричні похибки корпусу.

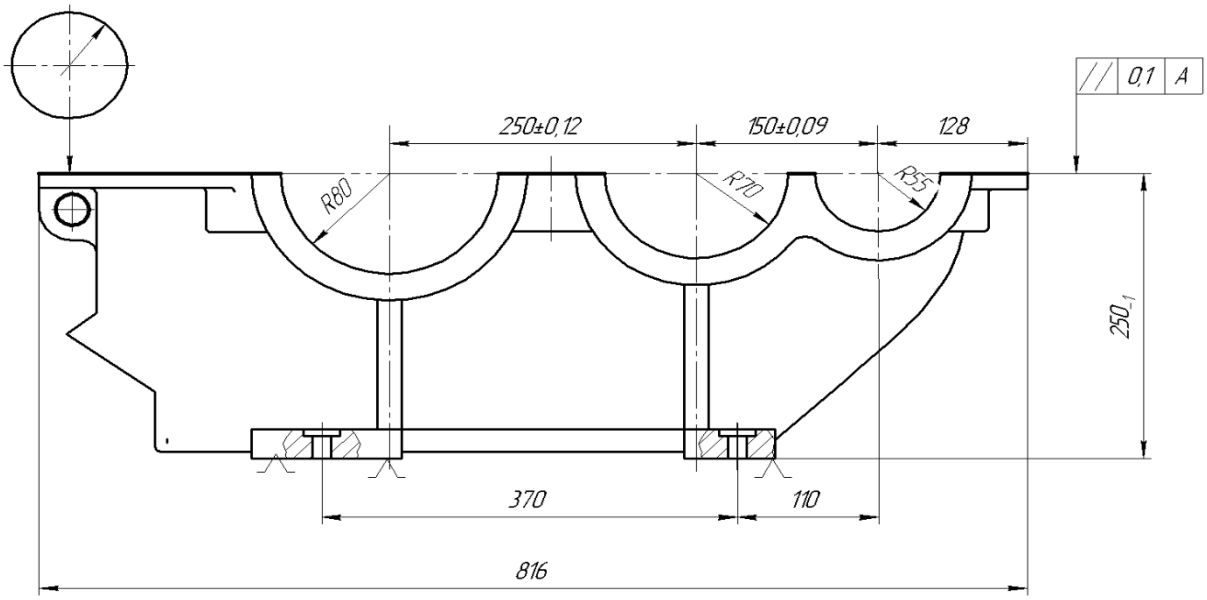


Рисунок 3.5 - Схема контролю

Розробка принципової схеми (рис. 3.5) спеціального контрольного пристрою базується на забезпеченні високої жорсткості вимірювальної системи, мінімізації похибки базування та досягненні максимальної точності фіксації лінійних відхилень. Конструкція пристрою проектується у вигляді єдиного координаційного комплексу, що складається з масивної жорсткої плити-основи, настановних елементів для базування корпуса редуктора та рухомої каретки для встановлення засобів вимірювання.

Для створення надійної установочної бази, яка сприймає масу чавунного виливка та повністю виключає його перекіс, у конструкції плити пристрою застосовано стандартні загартовані опорні елементи, параметри яких

регламентуються сучасним європейським стандартом ДСТУ DIN 6321. Використання таких опор із твердістю поверхонь до шістдесяти одиниць за Роквеллом дозволяє зберегти геометрію та стабільність вимірювальної бази протягом тривалого терміну експлуатації оснащення в умовах цехового контролю.

Вибір вимірювального приладу здійснюється на основі фундаментального правила метрології, згідно з яким ціна поділки шкали приладу має бути щонайменше на порядок вищою за величину вимірюваного допуску, а власна похибка приладу не повинна перевищувати встановлені нормами межі для заданого класу точності. Оскільки допуск на відхилення від площинності поверхні розніму корпуса становить 0,1 мм, для проведення відносних вимірювань обґрунтовано вибрано прецизійний лінійний вимірювач.

Як засіб технічного контролю у пристрої застосовано індикатор годинникового типу серії ІЧ-10, технічні та метрологічні характеристики якого повністю відповідають вимогам чинного міжнародного стандарту ДСТУ ISO 463. Обраний вимірювальний прилад має ціну поділки шкали 0,01 мм, що повністю задовольняє критерію точності для контролю заданого відхилення. Діапазон вимірювання лінійних величин становить від 0 до 10 мм, що дозволяє легко здійснювати початкове налаштування приладу за еталонним блоком кінцевих мір довжини та повністю перекриває будь-які можливі макрогеометричні дефекти виливка. При цьому гранична похибка приладу на всьому діапазоні шкали становить не більше 20 мкм, а на локальній вимірювальній дільниці вона не перевищує 10 мкм, що гарантує високу повторюваність результатів.

Принципова схема вимірювання передбачає базування корпуса редуктора обробленою площиною на змінні опори, після чого вимірювальний наконечник індикатора, закріплений у штативі рухомої каретки, послідовно переміщується по периметру площини розніму деталі. Різниця між максимальним та мінімальним показаннями стрілки індикатора визначає реальне відхилення від площинності, що дозволяє оперативно зробити висновок про придатність деталі перед її подальшим відправленням на операцію складання редуктора.

Обчислимо на точність контрольного пристрою. Допустима похибка вимірювання:

$$[\Delta] = 0{,}08...0{,}3\ \text{Т}\ ,\ \text{мм}$$

$$[\Delta] = 0{,}2 \cdot 0{,}1 = 0{,}02\ \text{мм}$$

Рахуємо сумарну похибку вимірювання:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{уе} + \sqrt{\Delta_{сп}^2 + \Delta_{інд}^2} \qquad (3.5)$$

де: Δуе - похибка установочних елементів, Δсп – похибка випадкова, Δінд $= 0.01$ мм - похибка індикатора.

$$\Delta\text{сп} = 0{,}05 \cdot 0{,}2 = 0{,}001\ \text{мм}$$

$$\Delta\Sigma = [\Delta] = 0{,}02\ \text{мм}$$

Обчислимо похибку установчих елементів:

$$0{,}02 = \Delta\text{уе} + \sqrt{0{,}01^2 + 0{,}001^2}$$

$$\Delta ye = 0{,}02 - 0{,}01 = 0{,}01 \text{ мм}$$

тобто, відхилення від площинності установчих елементів сягає не більше 0,01 мм.

Повне креслення пристрою показано на 6 аркуші в альбомі креслень.

4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА

4.1 Охорона праці та екологія виробництва

4.1.1 Обґрунтування виробничої безпеки та інженерно-технічних заходів охорони праці при механічній обробці корпуса редуктора

Проектування сучасного технологічного процесу механічної обробки деталі Корпус редуктора на вертикально-фрезерному оброблювальному центрі з ЧПК Haas VF-3YT вимагає комплексного оцінювання умов праці та впровадження ефективних інженерно-технічних заходів безпеки. Специфіка обробки масивних заготовок із сірого чавуну марок СЧ150 або СЧ200 з габаритними розмірами площин 816 х 304 мм зумовлює появу низки потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Основними джерелами механічних небезпек у робочій зоні є рухомі робочі органи верстата, зокрема шпиндель, що обертається з високою частотою, механізм автоматичної зміни інструменту, а також хрестовий стіл, який здійснює швидкі установчі та робочі переміщення по трьох координатах.

Окрему загрозу становить безпосередній процес різання під час виконання операції 005 торцевою фрезою CoroMill MS60, коли за один прохід знімається значний припуск заготовки глибиною до 8 мм. Така інтенсивність різання призводить до утворення великої кількості кінетично активної, гарячої та гострої чавунної стружки, здатної травмувати оператора при випадковому вилітанні за межі кабіни верстата. Крім того, значна маса самого чавунного корпуса редуктора створює ризик травмування опорно-рухового апарату працівників під час транспортування, завантаження та вивантаження деталей, що вимагає обов'язкового застосування засобів цехової механізації, таких як консольно-поворотні крани або тельфери зі спеціальними затискними пристосуваннями.

Слід передбачити захист від віброакустичного навантаження та динамічних факторів. Важкі режими чорного фрезерування торцевих поверхонь інструментом Sandvik Coromant та високошвидкісне свердління отворів свердлами CoroDrill 870 супроводжуються генерацією підвищених рівнів звукового тиску та механічної вібрації. Основними джерелами технологічного шуму є пружні коливання в зоні різання, викликані переривчастим характером фрезерування шестикроковими пластинами MS60-11T308M-M40, а також робота приводів головного руху та охолоджувальних вентиляторів верстата Haas VF-3YT.

Тривалий вплив шуму, що перевищує гранично допустимий рівень 80 дБА, призводить до швидкої втомлюваності оператора, зниження концентрації уваги та виникнення професійних захворювань слухового апарату. Для зниження віброакустичних навантажень конструкція верстата передбачає використання

жорсткої чавунної станини та кабінного захисного огородження з шумопоглинальними панелями. Додатково, жорстка фіксація заготовки у запроектованому переналагоджувальному пристрої за допомогою комбінованого важільного прихвату з приводом від гідроциліндра Ø40 мм мінімізує автоколивання технологічної системи, що суттєво знижує амплітуду структурного шуму. У випадках, коли колективні засоби захисту не забезпечують повного зниження шуму до нормативних значень, оператори ЧПК повинні застосовувати індивідуальні протишумні навушники або беруші із показником акустичної ефективності не менше 25 дБ.

Санітарно-гігієнічний аналіз повітряного середовища та вентиляція є важливою складовою організації виробничого процесу. Специфічною особливістю механічної обробки сірих чавунів є формування великих об'ємів дрібнодисперсного чавунного пилу та графітових мікрочастинок. При сухому фрезеруванні під дією відцентрових сил від фрези пил інтенсивно виділяється у внутрішній простір верстата, а при відкриванні дверей захисної кабіни може потрапляти в зону дихання працівника. Чавунний пил належить до аерозолів переважно фіброгенної дії, його тривале вдихання викликає подразнення верхніх дихальних шляхів та може спровокувати розвиток професійного силікозу. Гранично допустима концентрація такого пилу в повітрі робочої зони становить 6 мг/м3.

Для підтримання параметрів повітряного середовища в межах санітарних норм робоче місце оператора оснащується автономною локальною витяжною вентиляцією, інтегрованою безпосередньо у верхню частину кабіни верстата Haas. Продуктивність вентиляційної системи розраховується таким чином, щоб швидкість руху повітря у відкритому проємі дверей кабіни становила не менше 0,5 м/с, що повністю блокує вихід пилу у приміщення цеху. Залишки пилу та дрібної стружки з поверхонь пристрою та столу верстата 800 х 500 мм повинні видалятися виключно за допомогою промислових пилососів або змиванням суцільним потоком охолоджувальної рідини, оскільки використання стисненого повітря для обдування суворо заборонено через ризик утворення стійких пилових хмар.

Оброблювальний центр Haas VF-3YT є потужним споживачем електричної енергії трифазного змінного струму напругою 380 В із частотою 50 Гц, що відносить дільницю механічної обробки до приміщень із підвищеною небезпекою ураження струмом. Небезпека електротравматизму виникає при пошкодженні ізоляції струмоведучих кабелів, пробої на корпус верстата, електричну шафу або елементи гідростанції привода затискного пристрою.

Для гарантування повної електробезпеки всі металеві неструмоведучі частини обладнання підлягають надійному захисному заземленню та зануленню за допомогою мідних провідників із поперечним перерізом, розрахованим на струми короткого замикання. Опір заземлювального пристрою не повинен перевищувати 4 Ом, а контроль його стану проводиться щорічно. Додатково електрична схема верстата оснащується пристроями захисного вимкнення, які миттєво знеструмлюють систему при виникненні струмів витоку понад 30 мА.

Пожежна безпека на дільниці забезпечується контролем температури в зоні різання та недопущенням накопичення промасленої дрібної чавунної стружки, яка в певних умовах здатна до самозаймання. Робоче місце комплектується первинними засобами пожежогасіння, зокрема вуглекислотними вогнегасниками типу ВВ-5, використання яких не пошкоджує високоточну електроніку ЧПК та оптичні лінійки позиціонування верстата.

Раціональна організація робочого простору навколо оброблювального центру Haas VF-3YT є базовим фактором зниження втомлюваності оператора та запобігання виробничому травматизму. Проектування переналагоджувального пристрою з механізованим гідравлічним приводом дозволяє повністю автоматизувати етап силового закріплення, забезпечуючи стабільне зусилля фіксації без прикладання значних фізичних зусиль з боку працівника. Пульт керування верстата розташовується на ергономічній висоті від 1200 до 1600 мм від рівня підлоги, що забезпечує комфортну роботу як у положенні стоячи, так і сидячи при візуальному моніторингу процесу через захисне скло.

Освітленість робочої зони на столі верстата має становити не менше 500 лк, що досягається комбінуванням загального цехового освітлення та локальних світлодіодних світильників усередині кабіни верстата. Перед початком кожної зміни оператор зобов'язаний пройти інструктаж, перевірити справність кінцевих вимикачів блокування дверей, цілісність гідрошлангів циліндра затиску та переконатися в надійності кріплення інструменту в гніздах інструментального магазина, що гарантує безаварійну роботу всього технологічного комплексу. Окрему увагу приділяють організації зони технічного контролю, де використовується спеціальний контрольний пристрій з індикатором ІЧ-10 для перевірки площинності розніму з допуском 0,1 мм. Чистота опорних елементів ДСТУ DIN 6321 та відсутність на них чавунного пилу безпосередньо впливають на точність вимірювання, тому правильний догляд за вимірювальним оснащенням і дотримання гігієни праці є невід'ємною частиною посадової інструкції контролера та оператора дільниці.

4.1.2 Екологічне обґрунтування та інженерні заходи з охорони навколишнього природного середовища при виготовленні корпуса редуктора

Впровадження прогресивного технологічного процесу механічної обробки корпуса редуктора на вертикально-фрезерному оброблювальному центрі Haas VF-3YT вимагає обов'язкового врахування вимог екологічної безпеки та мінімізації техногенного навантаження на навколишнє середовище. Специфіка обробки масивного виливка із сірого чавуну марок СЧ150 та СЧ200 з габаритними розмірами 816 х 304 мм пов'язана з утворенням значних об'ємів твердих та рідких відходів, а також емісією забруднювальних речовин в атмосферне повітря. Основним екологічним завданням на проектованій дільниці є організація замкнутих циклів використання допоміжних матеріалів, раціональна утилізація відходів різання та запобігання хімічному чи пиловому забрудненню водного й повітряного басейнів підприємства.

Головним чинником твердого техногенного впливу на довкілля є утворення чавунної стружки та дрібнодисперсного пилу, особливо під час чорнового фрезерування площин інструментом CoroMill MS60, коли величина операційного припуску на операції 005 сягає 8 мм. З метою екологічної раціоналізації процесу вся утворена стружка збирається автоматичним шнековим конвеєром верстата Haas у спеціальні накопичувальні резервуари. Оскільки чавунні відходи не підлягають безпосередньому викиданню на звалища через ризик захаращення територій та закислення ґрунтів продуктів корозії, у проєкті передбачено їх обов'язкове знежирення, брикетування та подальше передавання на металургійне або ливарне підприємство для повторного переплавлення, що забезпечує реалізацію принципів кругової економіки. Крім того, технологічний пил, затриманий системами локальної фільтрації витяжної вентиляції кабіни верстата, підлягає збору та безпечній утилізації у спеціально відведених місцях відповідно до суворих санітарних вимог.

Рідкі відходи виробництва представлені відпрацьованими змащувально-охолоджувальними рідинами, які застосовуються для інтенсифікації процесів свердління свердлами CoroDrill 870 та нарізування нарізі мітчиками CoroTap 100, а також мінеральними оливами з гідросистеми привода затискного пристрою з діаметром циліндра 40 мм. Хімічні компоненти сучасних технологічних середовищ мають високу токсичність, тому їх пряме скидання у промислову чи міську каналізацію суворо заборонено. Для мінімізації споживання водних ресурсів на дільниці впроваджується система безперервної циркуляції та очищення охолоджувальної рідини безпосередньо в баку верстата ємністю 208 літрів за допомогою сепараторів та відцентрових фільтрів. Відпрацьована рідина та випадкові витоки гідравлічних олив збираються в герметичні ємності та направляються на загальнозаводські регенераційні установки, де здійснюється їх фізико-хімічне розділення, нейтралізація та утилізація згідно з вимогами міжнародного екологічного стандарту ДСТУ ISO 14001.

Атмосферна безпека та енергоефективність проектованого процесу забезпечуються конструктивними перевагами обладнання з ЧПК та оптимізацією режимів різання. Застосування високопродуктивного інструменту Sandvik Coromant дозволяє суттєво скоротити сумарний машинний час обробки корпуса редуктора, що прямо пропорційно знижує питоме споживання електроенергії верстатом Haas VF-3YT і зменшує непрямі викиди парникових газів у перерахунку на одну готову деталь. Повітря, яке видаляється з внутрішнього простору герметичної захисної кабіни верстата під час CAM-обробки, перед виходом в атмосферу цеху проходить через високоефективні масляні туманоуловлювачі та сухі повітряні фільтри, які затримують до 99% аерозольних часток. Такий комплексний інженерний підхід дозволяє повністю локалізувати шкідливі виділення в межах технологічної системи, запобігти забрудненню навколишнього середовища навколо промислового майданчика та гарантувати повну екологічну безпеку виробничого процесу.

4.2 Техніко-економічне обґрунтування та оцінка ефективності організації виготовлення корпусних деталей редукторів

Вибір нормативно-методичної бази для проведення економічних розрахунків у межах проектування організації виготовлення корпусних деталей редукторів гірничо-металургійного призначення обумовлений необхідністю забезпечення абсолютної легітимності, точності та галузевої релевантності отриманих фінансових показників. Використання «Методичних рекомендацій з формування собівартості продукції (робіт, послуг) у промисловості», що базуються на вимогах Постанови Кабінету Міністрів України № 1706 від 28.10.1998 року та Закону України «Про бухгалтерський облік та фінансову звітність в Україні», дозволяє сформувати єдиний, законодавчо обґрунтований підхід до оцінювання витрат виробництва. Це забезпечує повну гармонізацію інженерно-технічних рішень із сучасними стандартами національного фінансового обліку, що є критично важливим для підтвердження практичної цінності кваліфікаційної роботи та можливості безпосереднього впровадження розробок на діючих промислових підприємствах.

Застосування зазначеного нормативного комплексу є принциповим для об'єктивного калькулювання виробничої собівартості великогабаритних корпусних деталей, виробничий цикл яких відрізняється високою матеріаломісткістю та значною часткою витрат на енергоресурси та високотехнологічне оснащення. Специфіка обробки чавунних виливків на сучасному оброблювальному центрі Haas VF-3YT із впровадженням прогресивного інструменту Sandvik Coromant та автоматизованих CAD/CAM-стратегій вимагає чіткої та деталізованої класифікації витрат за статтями та елементами. Методичні рекомендації надають чіткий інструментарій для коректного розподілу прямих матеріальних витрат, витрат на оплату праці, а також, що найважливіше, для точного розрахунку та локалізації загальновиробничих витрат, пов'язаних із експлуатацією, амортизацією та обслуговуванням складного дороговартісного обладнання з ЧПК та механізованих затискних пристроїв.

Крім того, опора на фундаментальні вимоги Закону України «Про бухгалтерський облік та фінансову звітність в Україні» гарантує єдність методології порівняльного аналізу базового та проектованого варіантів технологічного процесу. Завдяки чітко регламентованій структурі формування собівартості з'являється можливість наочно продемонструвати реальний економічний ефект від модернізації — зменшення пооперaційної трудомісткості, зниження витрат на інструментальне забезпечення, оптимізацію використання цехових площ та капітальних вкладень. Таким чином, проведення розрахунків за єдиною державною промисловою методикою повністю виключає суб'єктивізм в оцінюванні інновацій, підтверджує інженерно-економічну доцільність реалізації методів прикладної механіки для підвищення ефективності кінематичних ланцюгів гірничих машин та надає розробленому проекту статус завершеного промислового рішення.

Таблиця 4.1 — Базові нормативи та параметри для формування фонду оплати праці основних робітників виробничої дільниці

Наіменування	Значення	Одиниці вимірювання
1	2	3
Ставка одного працівника першого розряду	106,46	грн/год
Трудомісткість виготовлення одного виробу	0,094	год
Трудомісткість механічних операцій на один виріб	0,075	год
Планова кількість одиниць продукції	100	шт
Чисельність допоміжних робітників	2	осіб
Пряма заробітна плата робітників-відрядників на поточній лінії	44532,22	грн
Годинна тарифна ставка для відповідного розряду	189,50	грн/год
Пряма заробітна плата основних працівників	1384,51	грн
Премії із фонду заробітньої плати	6428,34	грн
Додаткові доплати	459,17	грн
Фонд годинної зарплати основних працівників	52804,24	грн
Додаткова зарплата основних працівників підприємства	2640,21	грн
Фонд зарплати основних працівників	55444,45	грн
Пряма заробітна плата допоміжних робітників	291610,32	грн
Тарифна зарплата основого працівника 6-го розряду	190,03	грн/год
Основна зарплата допоміжних працівників	361596,80	грн
Додаткова заробітня плата допоміжних працівників	43741,55	грн
Премії із фонду заробітньої плати допоміжних працівників	40825,45	грн
Додаткові доплати допоміжним працівникам	2916,10	грн
Фонд зарплати допоміжного персоналу	405338,35	грн
Фонд заробітної платні всього персоналу цеху	460782,80	грн
Фонд зарплати промислово-виробничих працівників	7410282,80	грн

Таблиця 4.2 — Обчислення річного обсягу коштів на оплату праці інженерно-технічних спеціалістів, службовців та молодшого обслуговуючого персоналу

№п/п	Посада	Кількість штатних, осіб	Міс. оклад з/п, грн	Міс. фонд з/п, грн	Фонд з/п на рік, грн
1	2	3	4	5	6
ІТР					
1	Нач. цеху	1	40000	40000	452000
2	Заст. нач. цеху	1	37000	37000	418100
3	Ст. майстер	2	18000	36000	406800
4	Змінний майстер	5	17000	85000	960500
5	Нач. тех. бюро	1	28000	28000	316400
6	Інж.-технолог 1 кат.	1	32000	32000	361600
7	Інж.-технолог 2 кат.	1	28000	28000	316400
8	Технік-технолог	1	22000	22000	248600
9	Майстер з ремонту	1	20000	20000	226000

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4	5	6
10	Старший диспетчер	1	19000	19000	214700
11	Диспетчер	1	17000	17000	192100
12	Інженер формувальник	1	22500	22500	254250
13	Технік формувальник	1	20000	20000	226000
14	Механік цеху	1	22500	22500	254250
15	Контрольний майстер	1	17000	17000	192100
				Разом, грн	5039800
Службовці					
1	Бухгалтер	1	20000	20000	226000
2	Зав. складом	1	20000	20000	226000
3	Старший рахівник	1	20000	20000	226000
4	Касир	1	16000	16000	180800
5	Старший табельщик	1	17000	17000	192100
6	Машиністка	1	16000	16000	180800
7	Табельщик	1	16000	16000	180800
				Разом, грн	1412500
МОП					
1	Прибиральники	2	10000	20000	226000
2	Ліфтер, вахтер	2	12000	24000	271200
				Разом, грн	497200

Таблиця 4.3 — Підсумкові дані розрахунку середньої заробітної плати на місяць за окремими категоріями працівників дільниці

Категорія робітників	Фонд зарплати, грн	Чисельність працюючих робітників	Середньомісячна зарплата, грн
1	2	3	4
Основні робітники	55444	60	82
Допоміжні робітники	405338	2	17935
ІТР	5039800	20	22300
Службовці	1412500	7	17857
МОП	497200	4	11000

Таблиця 4.4 — Початкова нормативно-технічна інформація для складання калькуляції собівартості мехобробки корпусів редуктора

Наіменування	Значення	Одиниці вимірювання
1	2	3
Норма витрати основного матеріалу на деталь	54,83	кг/шт
Ціна заготовок з урахуванням методу їх отримання	55000	грн/т
Річний обсяг виробництва продукції	100	шт

Продовження таблиці 4.4

1	2	3
Маса заготовки	61	кг
Маса деталі	54,7	кг
Ціна відходів матеріалу	8500	грн/т
Місячна тарифна ставка першого розряду	15000	грн/міс.
Тарифний коефіцієнт і-го розряду	1,78	-
Штучний час виконання і-ї операції	4,5	хв/шт
Кількість верстатів, що обслуговуються одним робітником	1	шт
Кількість операцій	3	шт
Первісна вартість машин та обладнання	3500000	грн
Первісна вартість технологічного оснащення	283670	грн
Первісна вартість будівлі	18647463	грн
Витрати на сировину та матеріали на річний обсяг виробництва	331697,30	грн/рік
Коефіцієнт, що враховує транспортно-заготівельні витрати	1,10	-
Поворотні відходи	5247,90	грн/рік
Величина відходів на одиницю продукції	6,17	кг/шт
Витрати на основні матеріали за вирахуванням зворотних відходів	326449,40	грн/рік
Величина вхідного ПДВ на сировину та матеріали	65289,88	грн/рік
Паливо та енергія на технологічні цілі	16322,47	грн/рік
Величина вхідного ПДВ на паливо та енергію	3264,49	грн/рік
Основна заробітна плата виробничих робітників	18408,70	грн/рік
Розцінка на операцію	47,20	грн/шт
Годинна тарифна ставка і-го розряду	190,71	грн/год
Годинна тарифна ставка першого розряду	107,14	грн/год
Додаткова заробітна плата виробничих робітників	3681,74	грн/рік
Сумарний фонд заробітної плати	22090,44	грн/рік
Чисельность основних виробничих робітників	1,00	люд.
Облікова кількість основних робочих	2,00	люд.
Середньомісячна заробітна плата основних виробничих робітників	920,43	грн/міс.
Відрахування до бюджету та позабюджетних фондів від коштів на оплату праці	20,94	грн/рік
Чисельность допоміжних виробничих робітників	1,00	люд.
Сумарний фонд заробітної плати допоміжних робітників	166608,00	грн/рік
Відрахування до бюджету та позабюджетних фондів допоміжних робітників	224254,37	грн/рік
Вартість матеріалів, що витрачаються для забезпечення функціонування обладнання	105000,00	грн/рік
Поточний ремонт обладнання та транспортних засобів	1554,68	грн/рік
Внутрішньозаводські витрати	85101,00	грн/рік
Погашення вартості інструментів та пристосування загального призначення	14000,00	грн/рік
Інші витрати	4026,23	грн/рік

Продовження таблиці 4.4

1	2	3
Усього витрати на утримання та експлуатацію обладнання	104681,91	грн/рік
Службовці цехового рівня та на дільницях	1,00	люд.
Річний фонд заробітної плати службовців	296755,68	грн/рік
Витрати утримання апарату управління цеху	399433,15	грн/рік
Утримання цехових, виробничих та адміністративних будівель	279711,95	грн/рік
Витрати на ремонт цехових будівель	372949,26	грн/рік
Витрати на заходи забезпечення нормальних умов праці, техніки безпеки	9709,08	грн/рік
Витрати на випробування, досліди, дослідження, раціоналізацію та винахідництво	72818,12	грн/рік
Інші витрати у складі загальновиробничих витрат	34038,65	грн/рік
Усього загальноцехові витрати	1168660,20	грн/рік
Загальногосподарські витрати	23010,87	грн/рік
Витрати на реалізацію	7388,64	грн/рік
Платежі, відрахування та податки у собівартості продукції	14777,28	грн/рік
Податок на нерухомість	186474,63	грн/рік

Таблиця 4.5 — Розрахунок виробничих та сумарних витрат на річну програму випуску корпусних деталей редукторних механізмів

Наіменування	Значення	Одиниці вимірювання
1	2	3
Сировина та матеріали за вирахуванням зворотних відходів	326449	грн/рік
Паливо та енергія на технологічні цілі	16322	грн/рік
Основна заробітна плата виробничих робітників	18409	грн/рік
Додаткова заробітна плата виробничих робітників	3682	грн/рік
Відрахування до бюджетних та позабюджетних фондів	21	грн/рік
Загальновиробничі витрати	104682	грн/рік
Разом: цехова собівартість	469565	грн/рік
Загальногосподарські витрати	23011	грн/рік
Разом: виробнича собівартість	492576	грн/рік
Витрати реалізації продукції	7389	грн/рік
Інші платежі, відрахування та податки	201252	грн/рік
Разом: повна собівартість	701217	грн/рік
Собівартість одиниці виробленої продукції	7012	грн/шт

На основі запроєктованого технологічного процесу для річної програми випуску 100 одиниць корпусів редукторів досягнуто високої ефективності виробництва, що підтверджується низькою штучною трудомісткістю механічної обробки на рівні 0,075 години на один виріб. Аналіз кадрового забезпечення вказує на раціональний розподіл ресурсів із загальним річним фондом оплати праці промислово-виробничого персоналу в 7410282,80 грн. У структурі витрат

на виробництво матеріальні витрати за вирахуванням зворотних відходів складають 326449 грн/рік і є домінуючою статтею, тоді як загальновиробничі витрати на експлуатацію та утримання парку обладнання становлять 104682 грн/рік. Підсумкова калькуляція засвідчує, що повна собівартість річного випуску корпусної продукції становить 701217 грн, забезпечуючи економічно вигідну собівартість одиниці готового виробу в розмірі 7012 грн завдяки автоматизації та оптимізації технологічних рішень.

Таблиця 4.6 — Визначення критеріїв економічної ефективності та терміну повернення інвестицій у розроблений технологічний процес

Наіменування	Значення	Одиниці вимірювання
1	2	3
Ціна продажу одиниці продукції	20000	грн/шт
Початкові інвестиції	1 402 433	грн
Дохід від продажу продукції	2000000	грн/рік
Прибуток від продажу продукції	1298783	грн/рік
Строк окупності	1,08	р

На основі аналізу показників економічної ефективності встановлено, що впровадження проектованого технологічного процесу вимагає початкових капітальних інвестицій у розмірі 1402433 грн. За умови реалізації корпусів редукторів за встановленою ціною 20000 грн/шт, очікуваний річний дохід підприємства складатиме 2000000 грн, що з урахуванням мінімізації виробничих витрат забезпечує отримання чистого прибутку в обсязі 1298783 грн/рік.

Співвідношення первісних інвестицій і отриманого фінансового результату підтверджує високу капіталовіддачу та комерційну спроможність проєкту, оскільки розрахунковий строк окупності капітальних вкладень становить всього 1,08 року. Отримані техніко-економічні показники повністю обґрунтовують доцільність практичної реалізації проекту та підтверджують високу рентабельність модернізованої лінії.

5 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

5.1 Робота з проміжними файлами, вибір системи ЧПК, постпроцесора

На роботу з сучасним фрезерним верстатом із ЧПК орієнтовано процес розробки керуючої програми для обробки отворів у корпусі редуктора. Поширений міжнародний стандарт кодування ISO 7-bit використовується встановленою на цьому обладнанні системою керування Fanuc.

Завдяки інтеграції CAM-системи FeatureCAM досягається високий рівень автоматизації при підготовці технологічних програм. Автоматично розпізнавати всі наявні в деталі конструктивні елементи, включаючи торці, отвори, канавки та пази, дозволяє безпосередній імпорт тривимірної моделі. Для опису заготовки використовується створена в CAD-системі геометрична модель, яка за формою та розмірами максимально наближена до фінішної конфігурації виробу. Значне скорочення загального часу виконання операції забезпечується цим рішенням через зменшення кількості холостих проходів, під час яких повністю відсутнє різання металу.

Набір спеціальних постпроцесорів під різні стійки ЧПК, включаючи Fanuc, Mazak, Siemens та Okuma, міститься в архітектурі системи для проведення точної візуальної симуляції обробки та конвертації розрахованих траєкторій у підсумковий текст програми.

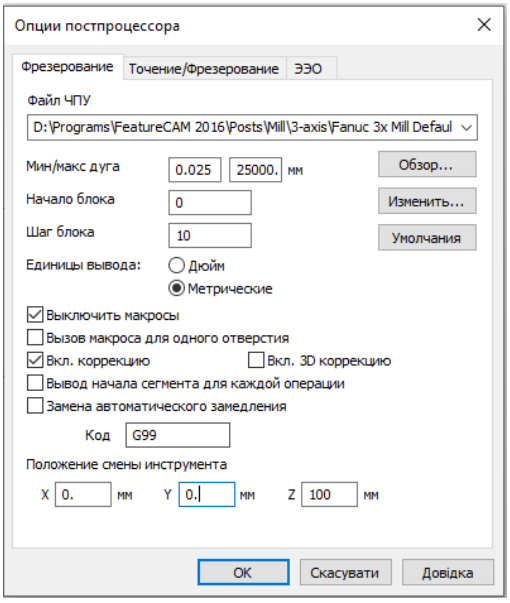


Рисунок 5.1 – Опції постпроцесора

На рисунку 5.1 наведені основні опції та параметри налаштування постпроцесора. Виходячи з габаритів деталі та координат її технологічного нуля чітко визначається положення точки безпечної зміни інструменту. Метрична система вимірювань задається в загальних параметрах, а рівним 10 одиницям обирається крок нумерації блоків. Візуальне сприйняття структури керуючої програми значно спрощується завдяки такому кроку, що також суттєво прискорює пошук потрібних кадрів коду під час налагодовувальних робіт.

5.2 Моделювання обробки та перевірка керуючих програм

Лише після повного завершення всіх попередніх фрезерних та розточувальних робіт проводиться безпосередня обробка отворів. На робочій поверхні стола верстата виріб надійно закріплюється та базується за своєю основною установчою площиною.

У створюваний інженерний проєкт на першому етапі імпортується об'ємна геометрична модель заготовки. По лівому нижньому кутку корпусу фіксується початок робочих координат (технологічний нуль) для осей X та Y, а для напрямку Z нульове положення розраховується на відстані 250 мм від нижнього торця деталі. Наочно отриманий результат цього налаштування представлено на рисунку 5.2. Як конструкційний матеріал для проведення подальших розрахунків у системі призначається чавун.

Для автоматичного розпізнавання, аналізу та виділення геометрії всіх запланованих до обробки отворів наступним кроком завантажується фінішна 3D-модель готової деталі. Кінцевий результат цього автоматизованого процесу та стан моделі показано на рисунку 5.3.

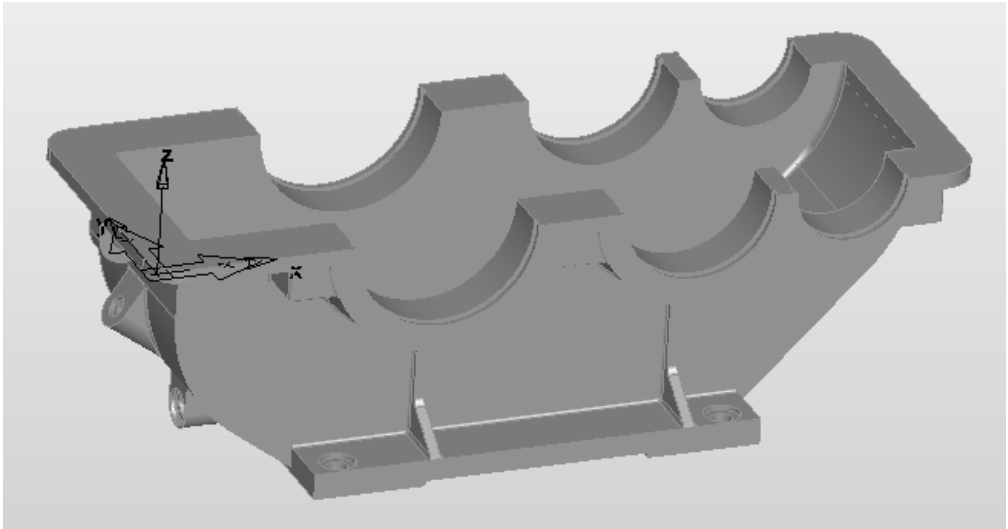


Рисунок 5.2 – Імпорт моделі заготовки у Autodesk FeatureCAM

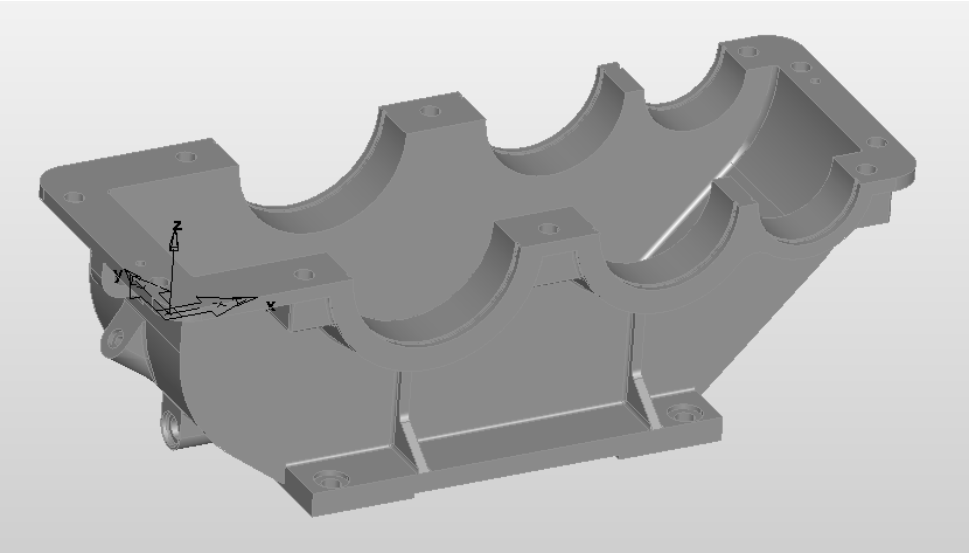


Рисунок 5.3 – Імпорт моделі деталі у Autodesk FeatureCAM

Розробка операцій відбувається в наступній послідовності:
1) свердлення 4 отв. діаметром 20 мм на глибину 14 мм;
2) свердлення 6 отв. діаметром 10 мм на глибину 50 мм.
3) свердлення 2 отв. діаметром 9,7 мм на глибину 14 мм;
4) розгортання 2 отв. діаметром 10Н7.
Координати оброблюваних отворів наведені на рисунку 5.4, 5.5, 5.6.

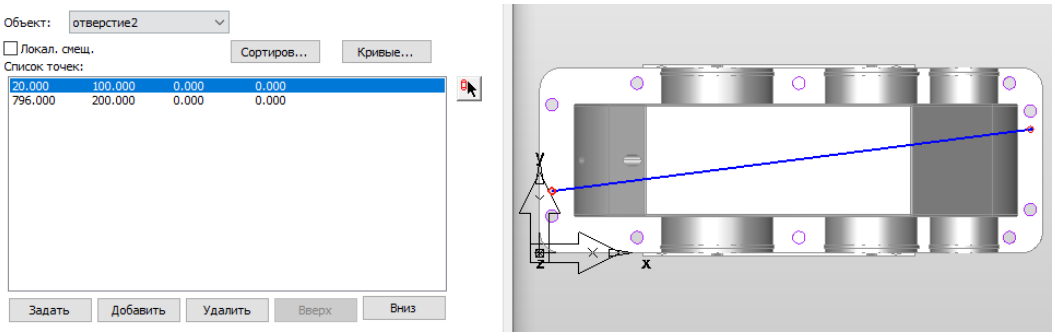


Рисунок 5.4 — Координати оброблюваних отворів діаметром 10 мм

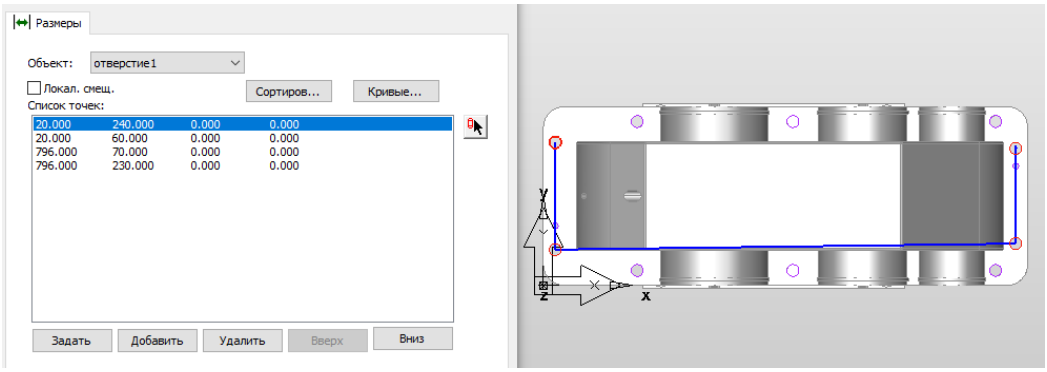


Рисунок 5.3 — Координати оброблюваних отворів діаметром 20 мм глибиною 14 мм

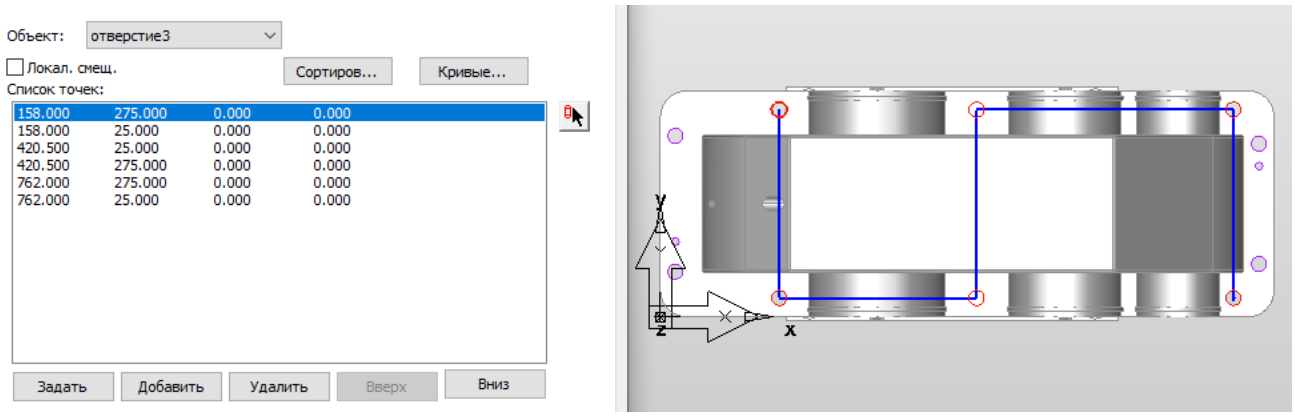


Рисунок 5.6 — Координати оброблюваних отворів діаметром 20 мм глибиною 50 мм

Функція групування ідентичних отворів у спільний постійний цикл вмикається в налаштуваннях для підвищення ефективності обробки. Кілька різновидів керуючих циклів застосовуються безпосередньо під час виконання цієї технологічної операції. Звичайне свердління G81 вибирається для отворів із глибиною 14 мм, процес глибокого свердління G83 із періодичним кроком по 10 мм призначається для заглиблень на 50 мм, а фінішне калібрування стінок реалізується через цикл розгортання G85.

На рівні 25 мм від поверхні деталей встановлюється безпечна висота для швидких переходів різального інструменту, а безпосередній початок робочої подачі (врізання) фіксується на відстані 3 мм над верхнім торцем отвору. Повернення свердла чи розгортки саме до площини відведення за допомогою команди G99 програмується через те, що на шляху переміщення робочих органів повністю відсутні притискні елементи верстатного оснащення чи виступаючі ділянки самого корпуса, здатні викликати аварійне зіткнення або поломку.

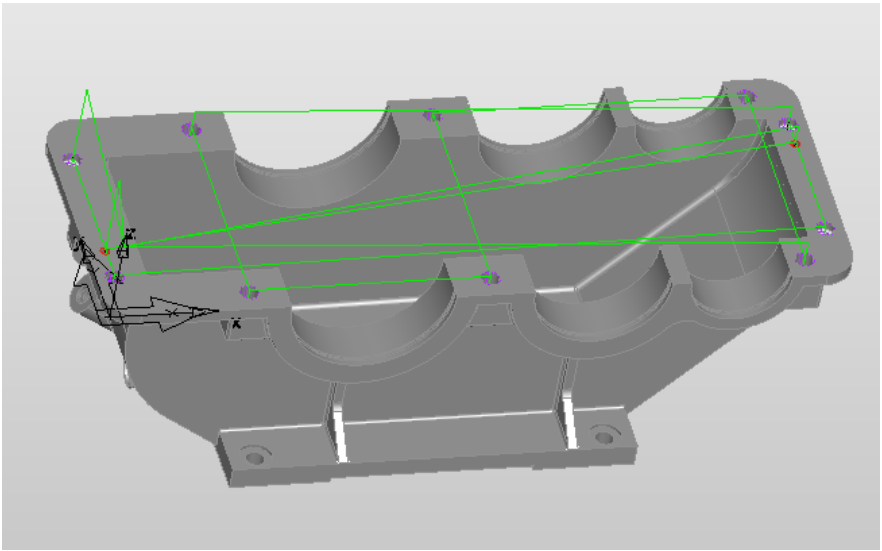


Рисунок 5.7 – Траєкторії переміщень інструментів

Графічне відображення всіх сформованих шляхів та траєкторій руху застосованих інструментів наочно продемонстровано на рисунку 5.7. Весь набір створених у програмі операцій разом із конкретними режимами різання для кожної з них наведено на рисунку 5.8.

С	Операция	Элемент	Инструмент	Подача	Скорость	Глубина
↓	сверло	массив1.отвер...	Свердло D20	160.1 мм/мин	534 об/мин	22.009 мм
↓	сверло	массив1.отвер...	Свердло D20	160.1 мм/мин	534 об/мин	22.009 мм
↓	сверло	массив1.отвер...	Свердло D20	160.1 мм/мин	534 об/мин	22.009 мм
↑	сверло	массив1.отвер...	Свердло D20	160.1 мм/мин	534 об/мин	22.009 мм
↓	сверло	массив3.отвер...	Свердло D20	160.1 мм/мин	534 об/мин	53.009 мм
↓	сверло	массив3.отвер...	Свердло D20	160.1 мм/мин	534 об/мин	53.009 мм
↓	сверло	массив3.отвер...	Свердло D20	160.1 мм/мин	534 об/мин	53.009 мм
↓	сверло	массив3.отвер...	Свердло D20	160.1 мм/мин	534 об/мин	53.009 мм
↓	сверло	массив3.отвер...	Свердло D20	160.1 мм/мин	534 об/мин	53.009 мм
↑	сверло	массив3.отвер...	Свердло D20	160.1 мм/мин	534 об/мин	53.009 мм
↓	сверло	массив2.отвер...	* TD_M0970:J	160.1 мм/мин	1100 об/мин	17.884 мм
↑	сверло	массив2.отвер...	* TD_M0970:J	160.1 мм/мин	1100 об/мин	17.884 мм
↓	развертка	массив2.отвер...	развертка_М1...	480.3 мм/мин	534 об/мин	15.000 мм
↑	развертка	массив2.отвер...	развертка_М1...	480.3 мм/мин	534 об/мин	15.000 мм

Рисунок 5.8 – Створені операції механічної обробки

Результат моделювання обробки представлено на рисунку 5.9.

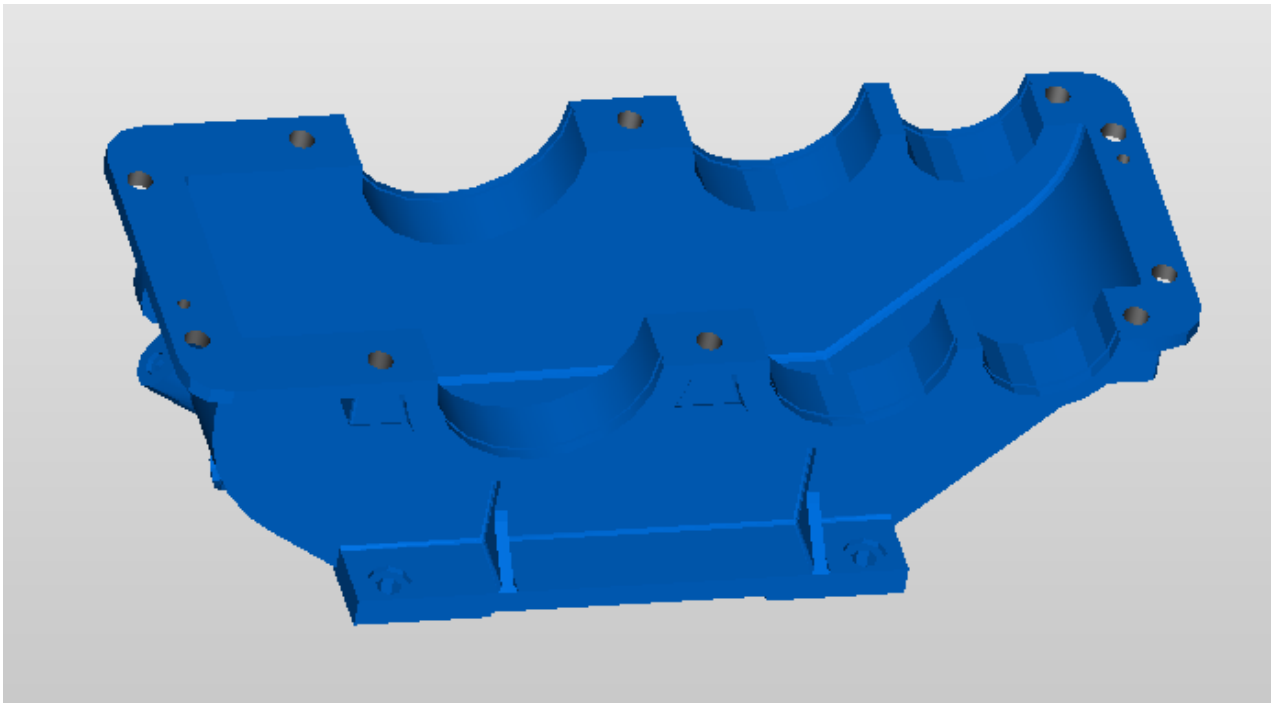


Рисунок 5.9 – Результат обробки

Після моделювання обробки генеруємо керуючу програму, фрагмент якої наведено на рис. 5.10. Загальна кількість кадрів – 52. Машинний час обробки – 5 хв 25 с.

```
%
O0001(korpus)
N30 G00 G21 G17 G40 G49 G80 G94
N40 G91 G28 Z0

N50 ( DRILL D20)
N60 T1 M6
N70 G00 G54 G90 X20.0 Y240.0 S533 M03
N80 G43 H1 Z25.0 M08
N90 G81 G99 Z-22.009 R3.0 F160.
N100 Y60.0
N110 X796.0 Y70.0
N120 G98 Y230.0
N130 G80

N140 ( DRILL  D20 )
N150 G00 X158.0 Y275.0 Z25.0
N160 G83 G99 Z-53.009 R3.0 Q10.0 F160.
N170 Y25.0
N180 X420.5
N190 Y275.0
N200 X762.0
N210 G98 Y25.0
N220 G80
N230 M5
N240 G91 G28 Z0 M09
N250 G49 G90 X0. Y0.
N260 M01
```

Рисунок 5.10 – Фрагмент згенерованої керуючої програми

Додатково перевіримо створену керуючу програму у програмному забезпеченні CIMCO Edit. Траєкторії переміщень інструментів наведено на рис. 5.11, твердотільна верифікація — рис. 5.12.

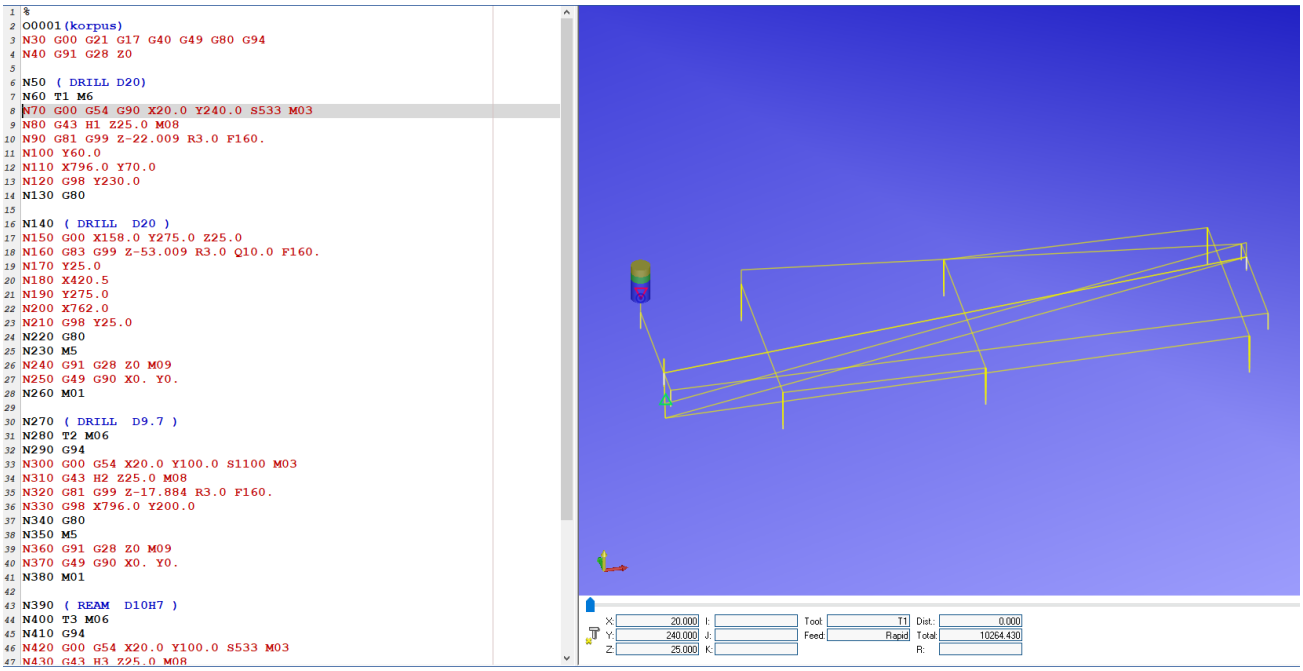


Рисунок 5.11 – Траєкторії переміщень інструментів у CIMCO Edit

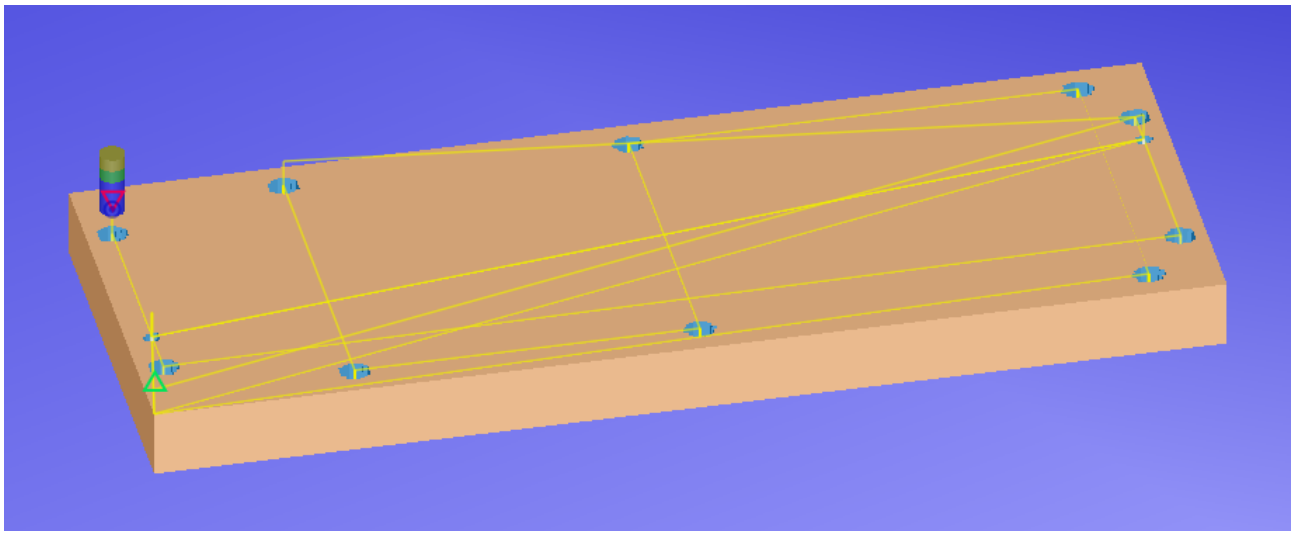


Рисунок 5.12 – Твердотільна верифікація обробки у CIMCO Edit

ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи було розроблено робоче креслення корпуса редуктора, а також складальний кресленик корпусного вузла редуктора кінематичних ланцюгів важких машин гірничо-металургійного обладнання. Ключовим етапом стала модернізація технологічного процесу механічної обробки масивного виливка із сірого чавуну, яка передбачала заміну застарілих операційних схем на високотехнологічну концентрацію операцій на сучасному вертикально-фрезерному оброблювальному центрі з ЧПК типу Haas із застосуванням передових CAD/CAM-стратегій. Аналіз технологічності конструкції деталі та вузла в цілому підтвердив доцільність впровадження новітніх методів виготовлення для заданої програми випуску в умовах серійного виробництва.

На основі виконаного аналізу розроблено оновлений технологічний маршрут із комплексним обґрунтуванням технологічних баз та послідовності обробки поверхонь, що дозволило мінімізувати кількість установів деталей та скоротити допоміжний час. Завдяки впровадженню високоефективного різального інструменту компанії Sandvik Coromant, а також точній оптимізації режимів різання, вдалося розрахувати оптимальні припуски для відповідальних посадкових поверхонь та міжопераційні лінійні розміри. Це дозволило забезпечити стабільну якість площини рознімку і посадкових місць під підшипники та досягти суттєвого зниження норми штучно-калькуляційного часу на операцію при збереженні вимог креслення.

У межах конструкторського опрацювання виконано проектування та розрахунок спеціального верстатного пристрою для надійної фіксації корпуса редуктора, оснащеного механізованим гідравлічним затиском на базі стандартного циліндра та комбінованих важільних прихватів. З метою верифікації геометричної точності розроблено принципову схему та конструкцію прецизійного контрольного пристрою з індикатором годинникового типу. Спроектоване оснащення забезпечує високу жорсткість вимірювальної системи та дозволяє оперативно контролювати відхилення від площинності поверхні рознімку корпуса редуктора в межах встановленого жорсткого допуску з високою повторюваністю результатів контролю.

Проведена оцінка економічної доцільності, виконана відповідно до чинних методичних рекомендацій та нормативно-правових актів України, підтвердила надзвичайно високу ефективність впроваджених інженерних рішень, зафіксувавши суттєве зниження собівартості продукції та короткий строк окупності капітальних вкладень. Окрему увагу приділено питанням промислової безпеки, охорони праці та екології виробництва, зокрема обґрунтовано заходи з

локалізації чавунного пилу системами витяжної вентиляції, захисту від віброакустичного навантаження, а також повної утилізації стружки та очищення змащувально-охолоджувальних рідин у замкнутому циклі верстата. Робота повністю виконана відповідно до поставленого технічного завдання і реалізована в повному обсязі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

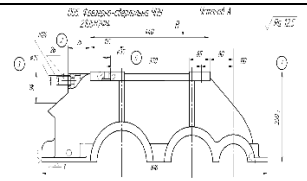
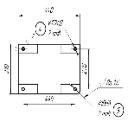
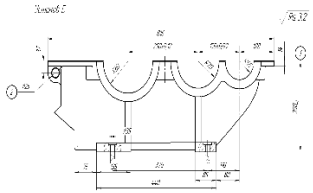
1. https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/tools/coroplus-toolguide
2. Каталог та технічний посібник Seco 2020: "Токарна обробка"
3. Каталог абразивного інструмента LUCABRASIV 2015
4. Каталог зубообробного інструмента FETTE 2015
5. Кіяновський М.В., Цивінда Н.І., Цівко Ф.В. Довідник нормувальника машинобудівного виробництва. Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2008.
6. Технологія обробки типових деталей (курсове проектування) Григурко О.І, Брендуля МФ., Доценко С.М, Навчальний посібник. Львів., Новий світ, 2008, 576 с.
7. Горбатюк Е.О., Мазур М.П., Зєнкін А.С., Каразей В.Д. Технологія машинобудування Навчальний посібник. Львів., Новий світ, 2008, 360 с.
8. ДСТУ 8833:2019. Виливки із сірого чавуну з пластинчастим графітом. Загальні технічні умови
9. ДСТУ EN ISO 463:2022 Геометричні специфікації виробу (GPS). Обладнання для вимірювання розмірів. Конструкція та метрологічні характеристики механічних стрілочних приладів
10. Пальчевський Б.О. Дослідження технологічних систем (моделювання, проектування, оптимізація): Навчальний посібник. Львів: Світ, 2001. 232 с.
11. Руденко П. О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні – К.: Вища школа, 1993р.
12. Рудь В. Д. Курсове проектування з технології машинобудування: Навчальний посібник: ІСДО, 1996р.
13. Руденко П.А. Проектування технологічних процесів в машинобудуванні. Київ: Вища школа. 1985.
14. Боженко Л.І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок. Львів: Світ, 1996.
15. Рудь В.Д. Курсове проектування з технології машинобудування: Навч. посібник. К.: ІСДО, 1996. 300 с.
16. Методичні вказівки до курсової роботи Механоскладальні дільниці та цехи машинобудівних заводів. Полтава: ПДТУ ім. Юрія Кондратюка, 1999, 29 с.
17. Економіка підприємства: Підручник / За ред. С. Ф. Покропивного. К.: КНЕУ, 2001.
18. В.Ц. Жидецький, В.С. Джигірей, В.М.Сторожук, Л.В.Туряб Практикум з охорони праці. Навчальний посібник / За ред. канд. техн. наук, доцента В.Ц. Жидецького. Львів, Афіша, 2005, 352 с.
19. ДБН В.2.5-28-2006 Природне і штучне освітлення.

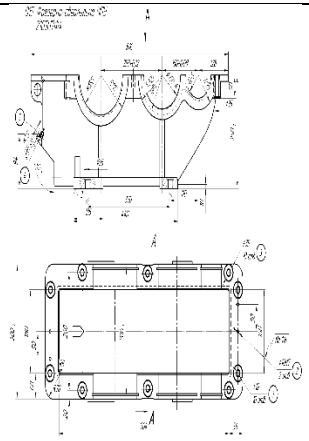
					КНУ.КБР.131.26.1–06.СВД		
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата			
Розроб.		Дільний			Список використаних джерел	Літ.	Арк. / Аркушів
Перевір.		Кіяновський					
Н. Контр.		Нечаєв				Кафедра ТМ гр. ПМ–22	
Затверд.		Рязанцев					

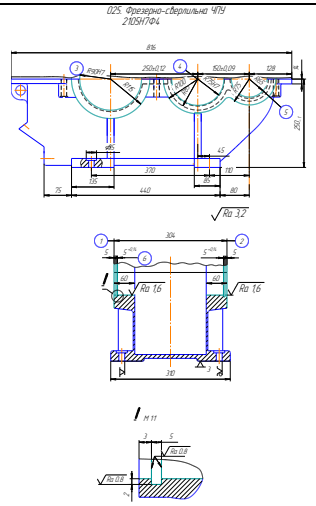
20. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
21. Жидецький В.Ц., Основи охорони праці. Підручник Київ 2002р.
22. Закон України Про охорону навколишнього природного середовища, 1991 року зі змінами № 554-IX від 13.04.2020
23. Закон України Про охорону праці, нова редакція, м. Київ, 21 листопада 2002 року, № 341-IX від 05.12.2019, ВВР, 2020, № 13, ст.68
24. Охорона праці: Навчальний посібник / За ред. В. Кучерявого. Львів: Оріана-Нова, 2007. 368 с.
25. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання
26. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання
27. ДСТУ ISO 14001:2015 Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосовування

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

№ операції	1Найменування операції 2.Модель верстата 3.Зміст переходів	Ескіз операції	Інструмент	Режими різання							Норми часу,хв					
				D мм	L мм	t мм	S мм об	V м хв	n об	i	To	Tв	Tоп	Tобс	Tшт	Tшт.к.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	12	13	14	1	16	17
005	Фрезерно-свердлувальна ЧПК Haas VF-3YT		CoroMill MS60 MS60-R032A32-11H MS60-11T308M-M40 3330 Insert Face (5x)													
	<u>УстановА.</u>															
	1 Фрезер. пов.1		CoroDrill 870	440	310	7	0,13	123	484	2	41					
	2 Центрув.пов.9		870-2200-22L25-5	10	5	5	0,01	11,6	52,3	1	0,5					
	3 Свердл.пов.9			22	20	11	0,12	27,2	136	1	1,4					
	4 Зенкув.пов.10		870-2200-22-KM 3334	35	5	17,5	0,21	22	160	1	2,5					
	5 Нарізати різьбу пов.9			24	15	12 5	0,11	2,01	56	1	2,5					
	6 Центрув.пов.16		CoroTap 100 T100-KM101DA-M24 D210	10	5	8,5	0,01	11,6	52,3	2	1					
	7 Свердл.пов.16			17	25	2,5	0,12	27,2	147	2	3,9					
	8 Центрув.пов.17			5	5	4,95	0,01	11,6	53	2	1					
	9 Свердл.пов.17			9,95	25	5	0,12	27,6	52	2	3,9					
	10 Розгорнути пов.17		CoroDrill Dura 462 462.1-1700-051A1-XM X2BM	10	25	17,5	0,09	19,1	133	2	3,9					
	11 Зенкувати пов.11			35	5	6 1	0,01	21,4	156	4	1					
			CoroDrill 860 860.1-1000-029A1-GM X1BM	440	310	12,5	0,24	136	656	2	14					
	<u>УстановБ.</u>			440	310		0,21	147	760	1	9					
	1 Фрезер. пов.2			25	16		0,13	26,1	145	1	<u>3,9</u>					
	2 Фрезер.пов.2										Σ89,5	50	139,5	11,2	161,82	170,82
	3 Свердл.пов.6															

015	Свердлувальна ЧПК Haas VF-3YT		CoroDrill 860 860.1-1000-029A1-GM X1BM													
	1		CoroDrill Dura													
	Центрув.пов.18		462	5	5	2,5	0,01	11,6	53	9	10					
	2 Свердл.пов.18		462.1-0900-068A1-XM X2BM	10	50	5	0,12	27,8	147	9	30					
	3 Центрув.пов.19			5	50	2,5	0,01	11,6	53	2	3,1					
	4 Свердл.пов.19			9	50	4,5	0,12	27,4	142	2	4,9					
	5 Розгорнути пов.19		CoroDrill 860 860.1-1000-029A1-GM X1BM	9,95	50	4,95	0,09	19,1	134	2	4,1					
	6 Зенкувати пов.13			10	50	5	0,12	27,8	147	2	4					
	7 Розгорнути пов.19					272,55										
	8 Центрув.пов.7			35	5		0,13	29,4	139	9	35					
	9 Свердл.пов.7			5	5	10	0,01	11,6	53	9	3,1					
	10 Зенкувати пов.8			10	15		0,12	27.8	147	1	3					
				20	5		0,14	29,1	151	1	9					
											Σ106,2	50	156,2	12,5	168,7	192,7

025	Фрезерно-розточна ЧПК Haas VF-3YT		CoroMill 390 R390-032B32-17M R390-17 04 08M-KH 3040														
	1 Фрезер. пов.20		Insert Face (3x)	310,5	704	6,5	0,29	126	179	2	27,8						
	2 Фрезер. пов.14		CoroBore BR30 BR30-191CN16F-C8	304	704	6,5	0,29	126	179	2	27,8						
	3 Розточити чорн.пов. 3		CNMG 16 06 12-KR 3225 Insert (3x)	167	60	5	1,09	125	510	2	0,22						
	4 Розточити чорн.пов. 4		CoroMill QD AQD-E-063O25-M QD-NE-0200-035M-KM 3330 Insert (4x)	137	60	5	1,12	130	520	2	0,22						
	5 Розточити чорн.пов. 5			97	60	5	1,12	135	530	2	0,22						
	6 Розточити чорн.канав.15			4	5	4	0,13	81	459	6	0,06						
	7 Розточити чисто пов. 3			77	60	1	0,5	82	600	2	0,23						
	8 Розточити чисто пов. 4			147	60	1	0,57	89	640	2	0,23						
	9 Розточити чисто пов. 5			107	60	1	0,57	91	650	2	0,23						
	10 Розточити чист.канав.15			5	5	0,5	0,1	92	630	6	0,04						
	11 Розточити тонко пов. 3			180	60	0,5	0,52	98	680	2	0,17						
	12 Розточити тонко пов. 4			150	60	0,5	0,6	100	696	2	0,17						
	13 Розточити тонко пов. 5			110	60	0,5	0,6	102	710	2	0,17						
											Σ57,6	38	96,6	7,7	104,2	124,7	

ДОДАТОК Б

До розділу 3

```
N001 T01M06
N 002 G 24Z-2070
N 003 S-000 8000 M39
N 004 G24Z - 4800
N 005 G01G95X - 013000 - 000a50
N 006 G24Z - 6700
N 007 G60
N 008 G24Z+6700
N009S+008000
N010G01G95Z+004800
N011 M60
N012 G61
N013M05
N014M02
```

До розділу 5

```
%
O0001(korpus)
N30 G00 G21 G17 G40 G49 G80 G94
N40 G91 G28 Z0

N50 ( DRILL D20)
N60 T1 M6
N70 G00 G54 G90 X20.0 Y240.0 S533 M03
N80 G43 H1 Z25.0 M08
N90 G81 G99 Z-22.009 R3.0 F160.
N100 Y60.0
N110 X796.0 Y70.0
N120 G98 Y230.0
N130 G80

N140 ( DRILL  D20 )
N150 G00 X158.0 Y275.0 Z25.0
N160 G83 G99 Z-53.009 R3.0 Q10.0 F160.
N170 Y25.0
N180 X420.5
N190 Y275.0
N200 X762.0
N210 G98 Y25.0
N220 G80
N230 M5
N240 G91 G28 Z0 M09
N250 G49 G90 X0. Y0.
N260 M01

N270 ( DRILL  D9.7 )
```

```
N280 T2 M06
N290 G94
N300 G00 G54 X20.0 Y100.0 S1100 M03
N310 G43 H2 Z25.0 M08
N320 G81 G99 Z-17.884 R3.0 F160.
N330 G98 X796.0 Y200.0
N340 G80
N350 M5
N360 G91 G28 Z0 M09
N370 G49 G90 X0. Y0.
N380 M01

N390 ( REAM  D10H7 )
N400 T3 M06
N410 G94
N420 G00 G54 X20.0 Y100.0 S533 M03
N430 G43 H3 Z25.0 M08
N440 Z3.0
N450 G85 R3.0 Z-15.0 F480.
N460 X796.0 Y200.0
N470 G80
N480 G00 Z25.0
N490 M5
N500 G0 G91 G28 Z0 M09
N510 G49 G90 X0. Y0.
N520 M30
```

Дубл.
Взам.
Подл.

Розроб.	Дільний	КНУ.КБР.131.26.1-06.МК
Керівник	Кіяновський	
Н.контр.	Нечаєв	Корпус редуктора

М01 СЧ150 ДСТУ 8833:2019

М02	Код	ОВ	МД	ОН	Н.расх.	КВМ	Код загот.	Профіль та розміри	КД	МЗ	
			54,7	1		0,84	098	810x300x250	1	65	відливка

А	Цех	Діл.	РМ	Опер.	Код, найменування операції	Позначення документа										
Б	Код, найменування устаткування					СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт.	Тпз	Тшт.
А 03				005	4268 Фрезерно-свердлувальна ЧПУ	2	18632	3	1	1	1	1	100	1	11,82	170,82
Б 04	Haas VF-3YT															
	СРП															
05				015	4268 Свердлувальна ЧПУ	2	18632	3	1	1	1	1	100	1	24	192,7
06	Haas VF-3YT															
	УСП															
А 07				025	4268 Фрезерно-розточна ЧПУ	2	18632	3	1	1	1	1	100	1	20	124,7
Б 08	Haas VF-3YT															
09	СРП															
10																
А 11																
Б 12																
13																
14																
А 15																
Б 16																
17																

МК Маршрутна карта 01

Дубл.
Взам.
Подл.

Розроб.	Дільний	КНУ.КБР.131.26.1-06.ОК
Керівник	Кіяновський	
Н.контр.	Нечаєв	Корпус редуктора 005

Найменування операції	Матеріал	Твердість	ЕВ	МД	Профіль та розміри	МЗ	КОИД
Фрезерно-сверлильна ЧПУ	СЧ150 ДСТУ 8833:2019	170…229	кг	54,7	810 x 300 x 250	65	1

Устаткування, приситрій ЧПК	Позначення програми	То	Тв	Тпз.	Тшт.	СОЖ
Haas VF-3YT		89,5	50	11,82	161,82	

Р		ПИ	D или B	L	t	i	S	n	V
А	Встановити, закріпити								
	Установ А								
ОК	1. Фрезерувати торцеву поверхню 1								
Т	CoroMill MS60 MS60-R032A32-11H MS60-11T308M-M40 3330 Insert Face (5x); штангенциркуль ШЦ-10 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018								
Р			440	310	7	2	0,13	484	123
05	2. Центрувати поверхню 9								
Б	CoroDrill 870 870-2200-22L25-5 870-2200-22-KM 3334;штангенциркуль ШЦ-10 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018								
ОК			10	5	5	1	0,11	52,3	11,6
Т	3. Свердлити поверхню 9								
Р	CoroDrill 870 870-2200-22L25-5 870-2200-22-KM 3334;штангенциркуль ШЦ-10 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018								
10			22	20	11	1	0,12	136	27,2
11	4. Зенкерувати поверхню 10								
12	CoroDrill 870 870-2200-22L25-5 870-2200-22-KM 3334;штангенциркуль ШЦ-10 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018								
Р 13			35	5	17,5	1	0,21	160	22
14	5. Нарізати різьбу поверхню 9								
15	CoroTap 100 T100-KM101DA-M24 D210;штангенциркуль ШЦ-10 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018								
16			24	15	12	1	0,11	56	2,01

ОК Операційна карта 01

Дубл.
Взам.
Подл.

005

Р		ПИ	D или В	L	t	i	S	n	V
01	6. Центрувати поверхню 16								
02	CoroDrill 860 860.1-1000-029A1-GM X1BM;штангенциркуль ШЦ-10 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018								
03			10	5	5	2	0,01	52,3	11,6
04	7. Свердлити поверхню 16								
05	CoroDrill 860 860.1-1000-029A1-GM X1BM;штангенциркуль ШЦ-10 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018								
06			17	25	8,5	2	0,12	147	27,2
07	8. Центрувати поверхню 17								
08	CoroDrill 860 860.1-1000-029A1-GM X1BM;штангенциркуль ШЦ-10 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018								
09			5	5	2,5	2	0,01	53	11,6
10	9. Свердлити поверхню 17								
11	CoroDrill 860 860.1-1000-029A1-GM X1BM;штангенциркуль ШЦ-10 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018								
12									
13			9,95	25	4,95	2	0,12	52	27,6
14	10. Розгорнути поверхню 17								
15	CoroDrill 860 860.1-1000-029A1-GM X1BM;штангенциркуль ШЦ-10 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018								
16			10	25	5	2	0,09	133	19,1
17	11. Зенкерувати поверхню 11								
18	CoroDrill 860 860.1-1000-029A1-GM X1BM;штангенциркуль ШЦ-10 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018								
19			35	5	17,5	4	0,01	156	21,4
20									

ОК Операційна карта 02

Дубл.
Взам.
Подл.

005

Р		ПИ	D или В	L	t	i	S	n	V
Б	Встановити, закріпити								
02	Установ Б								
03									
04	1. Фрезерувати поверхню 2								
05	CoroMill MS60 MS60-R032A32-11H MS60-11T308M-M40 3330 Insert Face (5x);оправка 7:24 ; штангенциркуль ШЦ-10 ДСТУ EN ISO 13385								
06			440	310	6	2	0,24	656	136
07	2. Фрезерувати поверхню 2								
08	CoroMill MS60 MS60-R032A32-11H MS60-11T308M-M40 3330 Insert Face (5x);оправка 7:24; штангенциркуль ШЦ-10 ДСТУ EN ISO 13385								
09			440	310	1	1	0,21	760	147
10	3. Свердлити поверхню 6								
11	CoroDrill 860 860.1-1000-029A1-GM X1BM;штангенциркуль ШЦ-10 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018								
12									
13			25	16	12,5	1	0,13	145	26,1
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									

ОК Операційна карта 03

Дубл.			
Взам.			
Подл.			

Розроб.	Дільний	КНУ.КБР.131.26.1-06.ОК	
Керівник	Кіяновський		
Н.контр.	Нечаєв	*Корпус редуктора*	015

Найменування операції	Матеріал	Твердість	ЕВ	МД	Профіль та розміри	МЗ	КОИД
Фрезерно-сверлильна ЧПУ	СЧ150 ДСТУ 8833:2019	170…229	*кг*	54,7	810 x 300 x 250	65	1

Устаткування, приситрій ЧПК	Позначення програми	То	Тв	Тпз.	Тшт.	СОЖ
Haas VF-3YT		106,2	52	11,82	168,7	

Р		ПИ	D или B	L	t	i	S	n	V
А	*Встановити, закріпити*								
ОК	*1. Центрувати пов.18*								
Т	*CoroDrill 860 860.1-1000-029A1-GM X1BM;штангенциркуль ШЦ-10 ГОСТ 166-80.*								
Р			*5*	*5*	*2,5*	*9*	*0,01*	*53*	*11,3*
05	*2. Свердлити пов. 18*								
Б	*CoroDrill 860 860.1-1000-029A1-GM X1BM;штангенциркуль ШЦ-10 ГОСТ 166-80.*								
ОК			*10*	*50*	*5*	*9*	*0,12*	*147*	*27,8*
Т	*3. Центрувати пов.19*								
Р	*CoroDrill Dura 462 462.1-0900-068A1-XM X2BM;штангенциркуль ШЦ-10 ГОСТ 166-80.*								
10			*5*	*50*	*2,5*	*2*	*0,01*	*53*	*11,6*
11	*4. Свердлити пов. 19*								
12	*CoroDrill Dura 462 462.1-0900-068A1-XM X2BM;штангенциркуль ШЦ-10 ГОСТ 166-80.*								
Р 13			*9*	*50*	*4,5*	*2*	*0,12*	*142*	*27,4*
14	*5. Розгорнути пов. 19*								
15	*CoroDrill Dura 462 462.1-0900-068A1-XM X2BM ; штангенциркуль ШЦ-10 ГОСТ 166-80.*								
16			*9,95*	*50*	*4,95*	*2*	*0,09*	*134*	*19,1*

ОК	Операційна карта	01

Дубл.		
Взам.		
Подл.		

015

Р		ПИ	D или B	L	t	i	S	n	V
01	*6. Зенкувати пов. 13*								
02	*CoroDrill 860 860.1-1000-029A1-GM X1BM;штангенциркуль ШЦ-10 ГОСТ 166-80.*								
03			*10*	*50*	*5*	*2*	*0,12*	*147*	*27,8*
04	*7. Розгорнути пов. 19*								
05	*CoroDrill 860 860.1-1000-029A1-GM X1BM ; штангенциркуль ШЦ-10 ГОСТ 166-80.*								
06			*35*	*5*	*27*	*9*	*0,13*	*139*	*29,4*
07	*8. Центрувати пов. 7*								
08	*CoroDrill 860 860.1-1000-029A1-GM X1BM;штангенциркуль ШЦ-10 ГОСТ 166-80.*								
09			*5*	*5*	*2,5*	*9*	*0,01*	*53*	*11,6*
10	*9. Свердлити пов. 7*								
11	*CoroDrill 860 860.1-1000-029A1-GM X1BM;штангенциркуль ШЦ-10 ГОСТ 166-80.*								
13			*10*	*15*	*5*	*1*	*0,12*	*147*	*27,8*
14	*10. Зенкувати поверхню 8*								
15	*CoroDrill 860 860.1-1000-029A1-GM X1BM;штангенциркуль ШЦ-10 ГОСТ 166-80.*								
16			*20*	*5*	*10*	*1*	*0,14*	*151*	*29,1*
17									
18									
19									
20									

ОК	Операційна карта	02

Дубл.
Взам.
Подл.

Розроб.	Дільний	КНУ.КБР.131.26.1-06.ОК
Керівник	Кіяновський	
Н.контр.	Нечаєв	Корпус редуктора 025

Найменування операції	Матеріал	Твердість	ЕВ	МД	Профіль та розміри	МЗ	КОИД
Фрезерно-сверлильна ЧПУ	СЧ150 ДСТУ 8833:2019	170…229	кг	54,7	810 x 300 x 250	65	1

Устаткування, приситрій ЧПК	Позначення програми	То	Тв	Тпз.	Тшт.	СОЖ
Haas VF-3YT		57,58	38	13	124,7	

Р		ПИ	D или B	L	t	i	S	n	V
А	*Встановити, закріпити*								
ОК	*1. Фрезерувати пов. 20*								
Т	*CoroMill 390 R390-032B32-17M R390-17 04 08M-KH 3040 Insert Face (3x); штангенциркуль ШЦ-10 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018*								
Р			*310,5*	*704*	*6,5*	*2*	*0,29*	*179*	*126*
05	*2. Фрезерувати пов. 14*								
Б	*CoroMill 390 R390-032B32-17M R390-17 04 08M-KH 3040 Insert Face (3x); штангенциркуль ШЦ-10 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018*								
ОК			*304*	*704*	*6,5*	*2*	*0,29*	*179*	*126*
Т	*3. Розточити чорн. пов. 3*								
Р	*CoroBore BR30 BR30-191CN16F-C8 CNMG 16 06 12-KR 3225 Insert (3x);штангенциркуль ШЦ-10 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018*								
10			*167*	*60*	*5*	*2*	*1,09*	*510*	*125*
11	*4. Розточити чорн. пов. 4*								
12	*CoroBore BR30 BR30-191CN16F-C8 CNMG 16 06 12-KR 3225 Insert (3x) ;штангенциркуль ШЦ-10 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018*								
Р 13			*137*	*60*	*5*	*2*	*1,12*	*520*	*130*
14	*5. Розточити чорн. пов. 5*								
15	*CoroBore BR30 BR30-191CN16F-C8 CNMG 16 06 12-KR 3225 Insert (3x) ;штангенциркуль ШЦ-10 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018*								
16			*97*	*60*	*5*	*2*	*1,12*	*530*	*135*

ОК Операційна карта 01

Дубл.
Взам.
Подл.

025

Р		ПИ	D или B	L	t	i	S	n	V
01	*6. Розточити чорн. канавку 15*								
02	*CoroMill QD AQD-E-063O25-M QD-NE-0200-035M-KM 3330 Insert (4x) ;штангенциркуль ШЦ-10 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018*								
03			*4*	*5*	*4*	*6*	*0,13*	*459*	*81*
04	*7. Розточити чисто пов. 3*								
05	*CoroBore BR30 BR30-191CN16F-C8 CNMG 16 06 12-KR 3225 Insert (3x) ;штангенциркуль ШЦ-10 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018*								
06			*77*	*60*	*1*	*2*	*0,5*	*600*	*82*
07	*8. Розточити чисто пов. 4*								
08	*CoroBore BR30 BR30-191CN16F-C8 CNMG 16 06 12-KR 3225 Insert (3x);штангенциркуль ШЦ-10 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018*								
09			*147*	*60*	*1*	*2*	*0,57*	*640*	*89*
10	*9. Розточити чисто пов. 5*								
11	*CoroBore BR30 BR30-191CN16F-C8 CNMG 16 06 12-KR 3225 Insert (3x) ;штангенциркуль ШЦ-10 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018*								
13			*107*	*60*	*1*	*2*	*0,57*	*650*	*91*
14	*10. Розточити чисто канавку 15*								
15	*CoroMill QD AQD-E-063O25-M QD-NE-0200-035M-KM 3330 Insert (4x) ;штангенциркуль ШЦ-10 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018*								
16			*5*	*5*	*0,5*	*6*	*0,1*	*630*	*92*
17	*11. Розточити тонко пов. 3*								
18	*CoroBore BR30 BR30-191CN16F-C8 CNMG 16 06 12-KR 3225 Insert (3x);штангенциркуль ШЦ-10 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018*								
19			*180*	*60*	*0,5*	*2*	*0,52*	*680*	*98*
20									

ОК Операційна карта 02

Дубл.
Взам.
Подл.

025

Р		ПИ	D или B	L	t	i	S	n	V
Б									
03									
04	*12. Розточити тонко пов. 4*								
05	*CoroBore BR30 BR30-191CN16F-C8 CNMG 16 06 12-KR 3225 Insert (3x) ;штангенциркуль ШЦ-10 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018*								
06			*150*	*60*	*0,5*	*2*	*0,6*	*696*	*100*
07	*13. Розточити тонко пов. 5*								
08	*CoroBore BR30 BR30-191CN16F-C8 CNMG 16 06 12-KR 3225 Insert (3x) ;штангенциркуль ШЦ-10 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018*								
09			*110*	*60*	*0,5*	*2*	*0,6*	*710*	*102*
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									

ОК Операційна карта 03

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

АЛЬБОМ КРЕСЛЕНЬ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ЗАСВІДЧУЮЧИХ АРКУШІВ

КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Розробка та інженерне обґрунтування конструкцій і технологій та організації виготовлення корпусних деталей редукторів кінематичних ланцюгів машин на прикладі гірничо-металургійного обладнання з використанням методів прикладної механіки на основі CAD/CAM

Виконав здобувач гр. ПМ-22 _____ Іван ДІЛЬНИЙ
(підпис)

Керівник КБР _____ Микола КІЯНОВСЬКИЙ
(підпис)

Нормоконтроль _____ Василь НЕЧАЄВ
(підпис)

Завідувач кафедри _____ Антон РЯЗАНЦЕВ
(підпис)

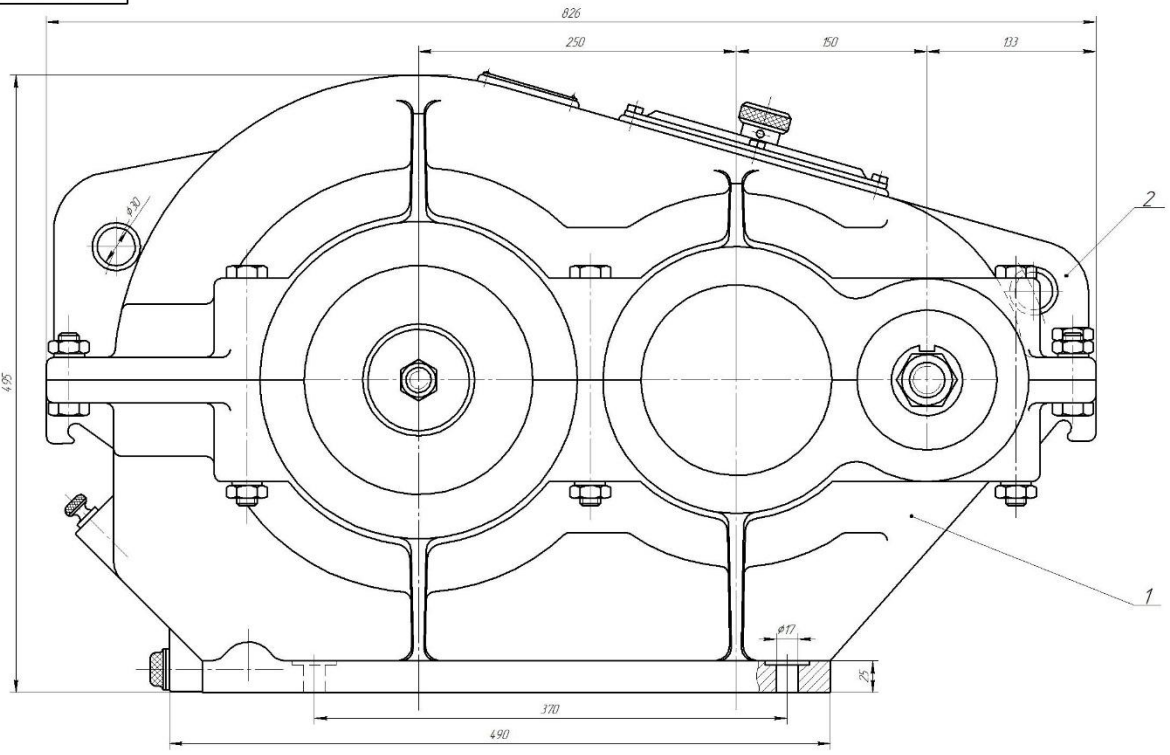
Кривий Ріг
2026 р.

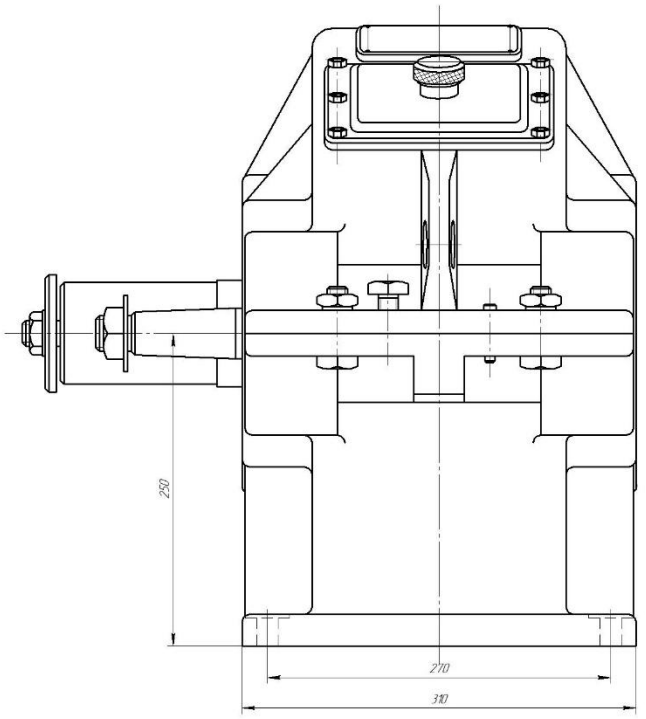
ВІДОМІСТЬ ЕЛЕКТРОННИХ ДОКУМЕНТІВ

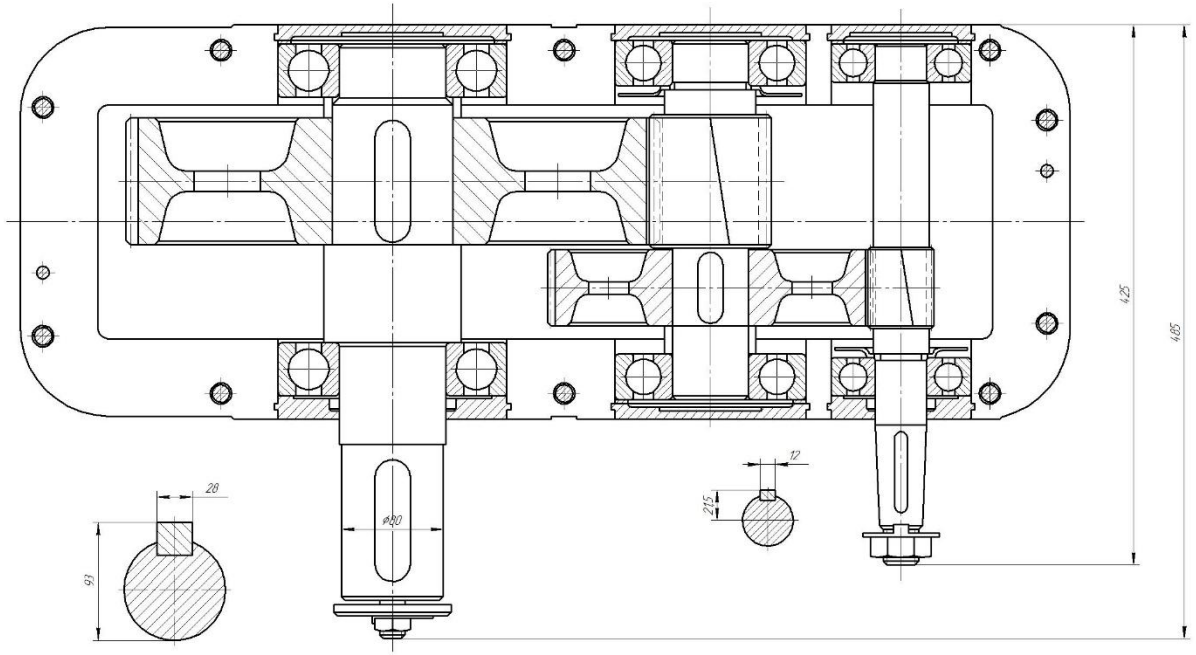
№	Формат	Позначення	Найменування	К-сть листів	Прим.
			Графічні матеріали		
1	А1	КНУ.КБР.131.26.1-06.РСК	Редуктор РМ-400 (Складальне креслення)	1	
2	А1	КНУ.КБР.131.26.1-06.СЛКЛ	Схеми лінійного та кутового ланцюгів	1	
3	А1	КНУ.КБР.131.26.1-06.К	Корпус	1	
4	А1	КНУ.КБР.131.26.1-06.ЕО	Ескізи операцій	1	
5	А1	КНУ.КБР.131.26.1-06.ПП	Пристрій переналагоджувальний	1	
6	А1	КНУ.КБР.131.26.1-06.ПК	Пристрій контрольний	1	

					КНУ.КБР.131.26.1–06.ВЕД		
Змін.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата			
Розроб.		Дільний			Відомість електронних документів	Літ.	Арк. / Аркушів
Перевір.		Кіяновський					
Н. Контр.		Нечаєв				Кафедра ТМ гр. ПМ–22	
Затверд.		Рязанцев					

КНУКБР.131.26.1-06.РСК







1. Осьова гра валів з кульковідшипниками при встановці регулюючих кілець повинна дорівнювати 0,4±0,2 мм.
2. При складанні редуктора підшипники набити пластичним мастилом типу літієвого комплексу з класом консистенції NLGI 2 (або NLGI 3)
2. В складеному корпусі редуктора зазор на площині роз'єма в будь-якому місці не повинен перевищувати 0,03 мм.
3. Після складання в редуктор залити 5 літрів технологічної оливи в'язкістю SAE 30 (або індустріальної оливи класу ISO VG 100) та обкатати двигуном без навантаження протягом 2-х годин в обох напрямках при 1000 об/хв. Виявлені дефекти усунути.
4. Після обкатки величину контакта всіх робочих поверхонь перевірити. Якщо примикання зубів менш 20% по висоті або менш 60% по довжині, то обкатати редуктор додаткова до отримання необхідної плями контакту.
5. Площину роз'єма покрити лугом або спиртовим лаком, застосування яких-небудь прокладок забороняється.
6. Готовий редуктор підшпаклювати та пофарбувати відповідно до технічних умов на виріб. Посадкові місця покрити пластичним мастилом на основі кальцієвого або літієвого мила (класу консистенції NLGI 2 або NLGI 3) для захисту від корозії.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	КНУКБР.131.26.1-06.РСК		
Розроб.		Дільний			Редуктор РМ-400 (Складальне креслення)	Літ.	Маса 275	Масштаб 1:2
Перев.		Клімовський				Аркуш	Аркушів 1	
Т.контр.						Кафедра ТМ ПМ-22		
Н.контр.		Нічась						
Затв.		Резанцев						

Копіював

Формат А1

КНУ.КБР.131.26.1-06.СЛКЛ

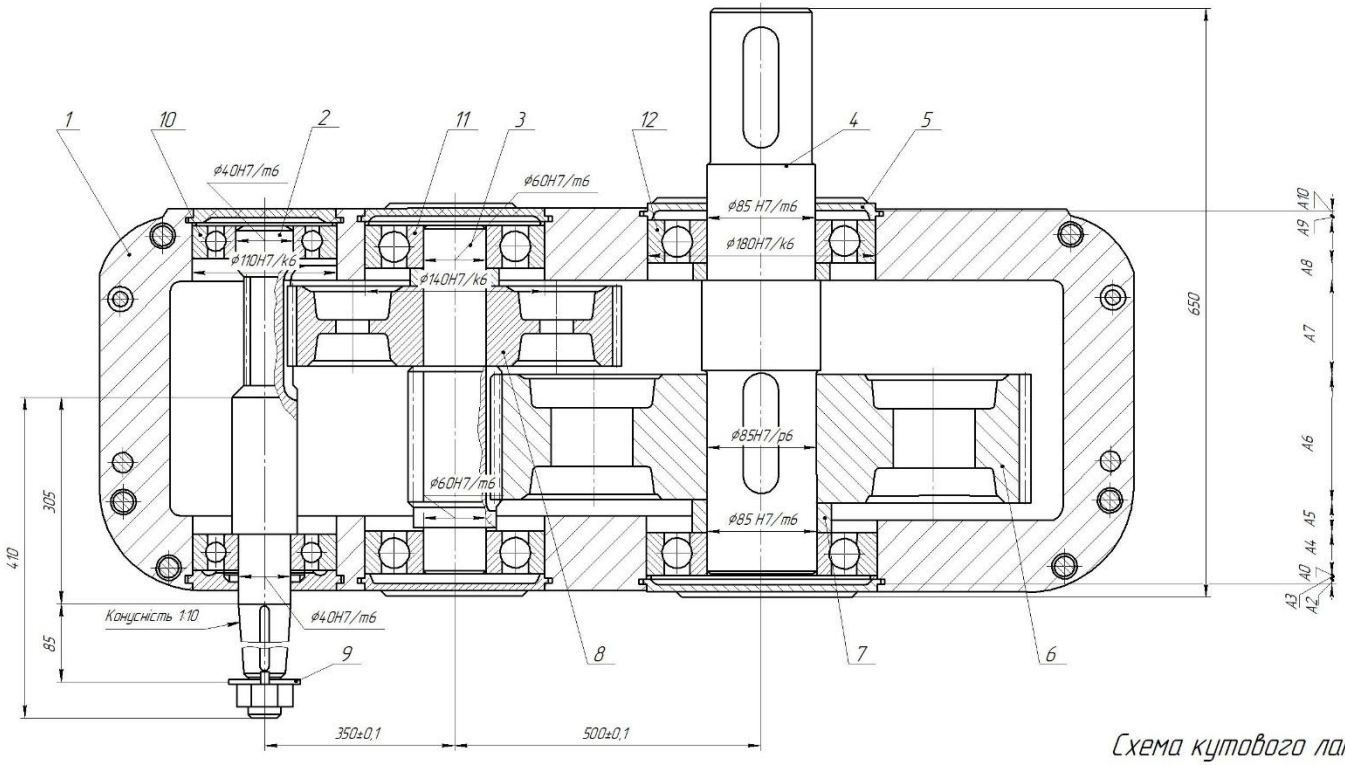


Схема кутового ланцюга

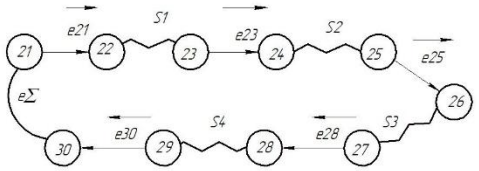
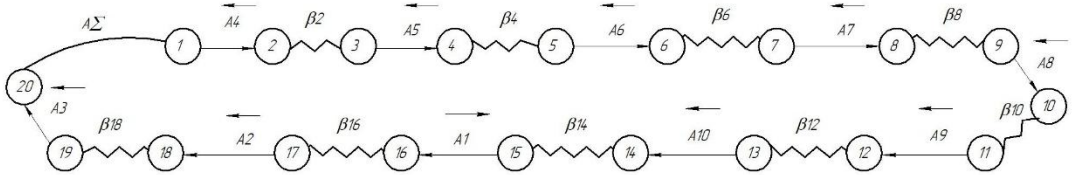
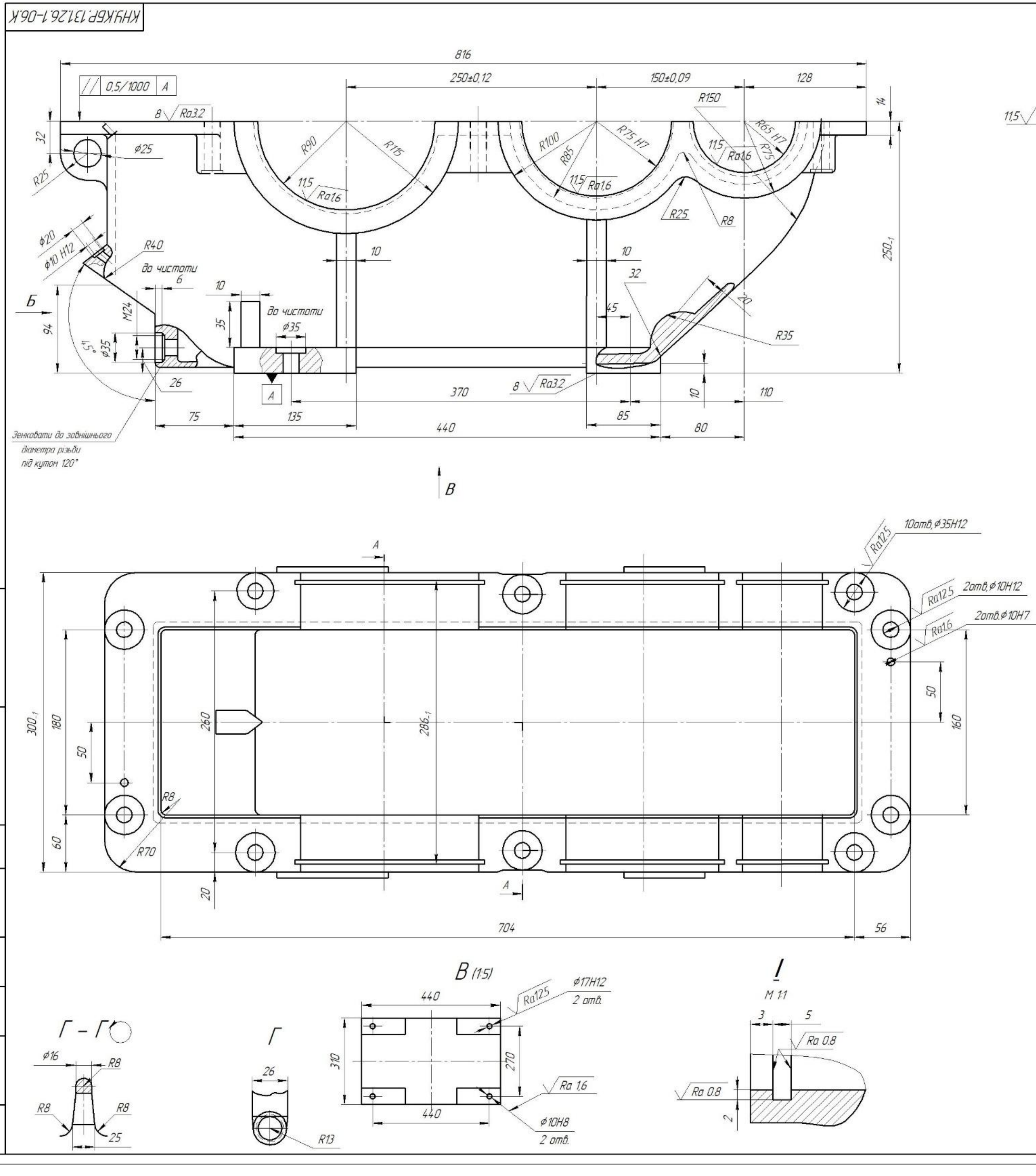


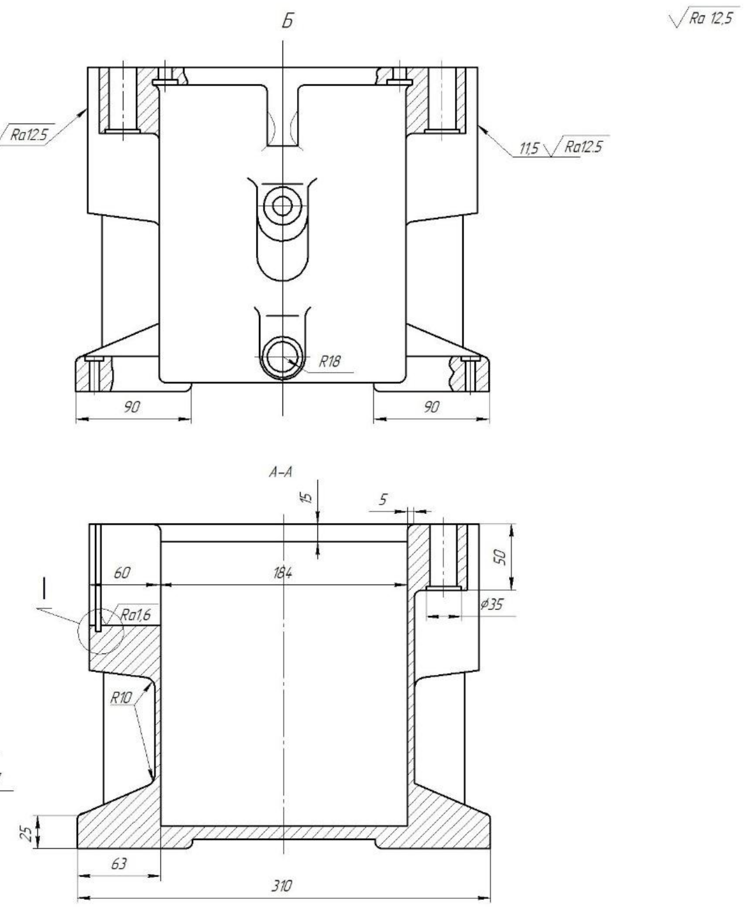
Схема лінійного ланцюга



						КНУ.КБР.131.26.1-06.СЛКЛ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Схеми лінійного та кутового ланцюгів	Лит.	Маса	Масштаб
Розроб.		Дільний						1:2
Перев.		Кононівський						
Т.контр.						Аркуш	Аркушів 1	
Н.контр.		Нечаєв				Кафедра ТМ ПМ-22		
Затв.		Резанцев						

Копіював Формат А1





1. Невказані радіуси в литві 2...3 мм.
2. Відхилення поверхні розніму від контрольної площини – не більше ніж 0,1 мм, у разі перевірки на фарбу – не менше ніж одне пляма на кожен см^2.
3. Розточки під підшипники та пази закладних кришок обробляти у зборі з кришкою креслення 40-02Н.
4. Встановлення будь-яких прокладок у площину розніму під час розточування забороняється.
5. Овальність і конусність розточок під підшипники не більше ніж допуск на діаметр.
6. Непаралельність осей – не більше ніж 0,125 мм, перекіс осей – не більше ніж 0,075 мм під час вимірювання на ширині корпуса 300 мм.
7. Відхилення осей розточок під підшипники від площини розніму – не більше ніж 0,3 мм.
8. Після обробки корпус продути стисненим повітрям або промити.
9. Раковини у бушку не допускаються.
10. Допускається в спряженні ливника (виливного елемента) зі стінкою та ребрами уступ по стінці та ребру завбишки не більше ніж 1,5 мм і завширшки не більше ніж радіус спряження.

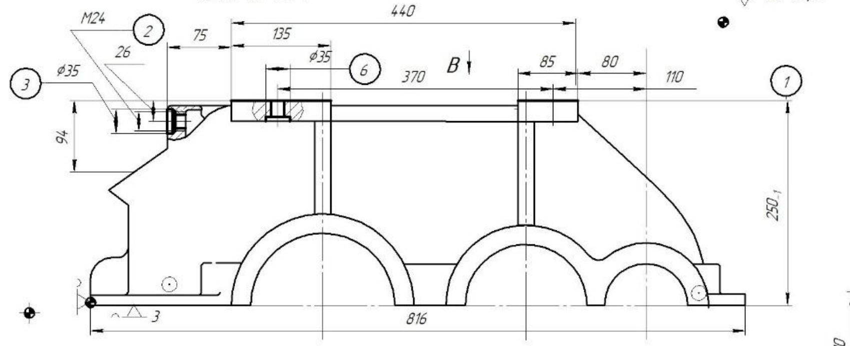
КНУ.КБР.131.26.1–06.К				
Зм. Арк. № докум. Підп. Дата	Корпус	Літ. 6	Маса 54,7	Масштаб 1:2
Розроб. Вільний		Аркуш	Аркушів	
Перев. Кіяновський				
Т.контр.				
Н.контр. Начасв	СЧ150 ДСТУ 8833:2019	Кафедра ТМ ПМ-22		
Затв. Рязанцев				

Копіював Формат А1

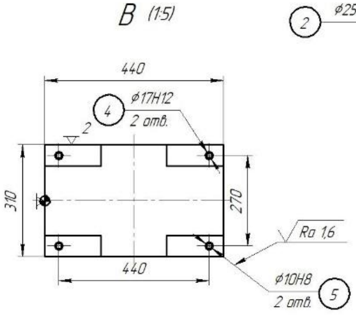
КНУКБР.131.26.1–06.ЕО

005. Фрезерно-сверлильна ЧПУ Haas VF-3YT

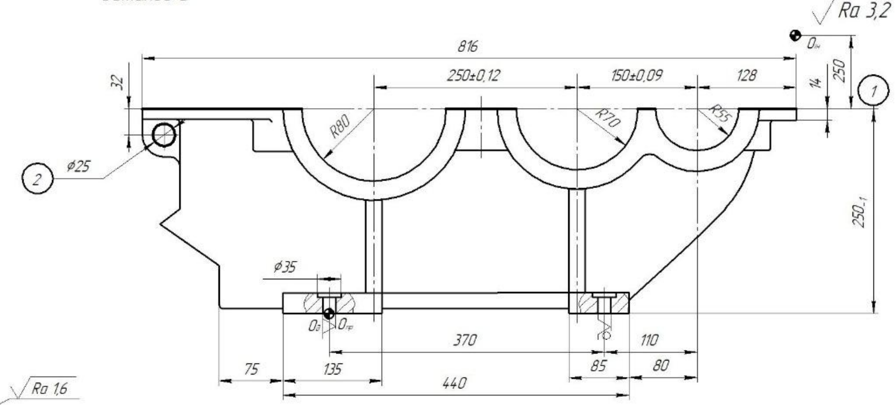
Установ А



B (1:5)

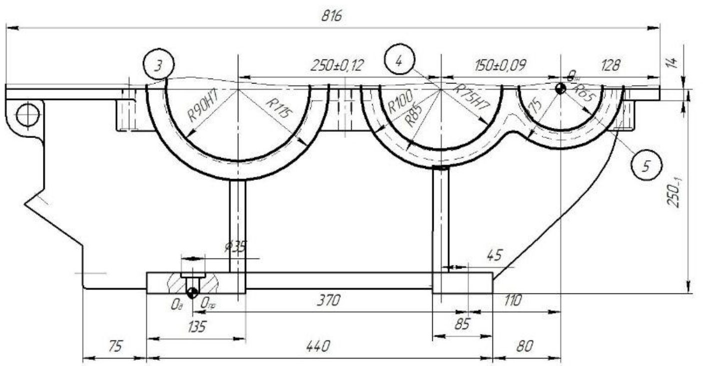


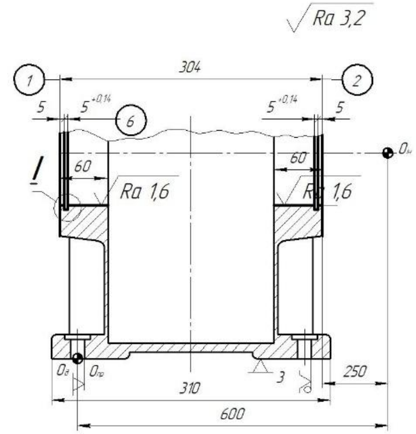
Установ Б



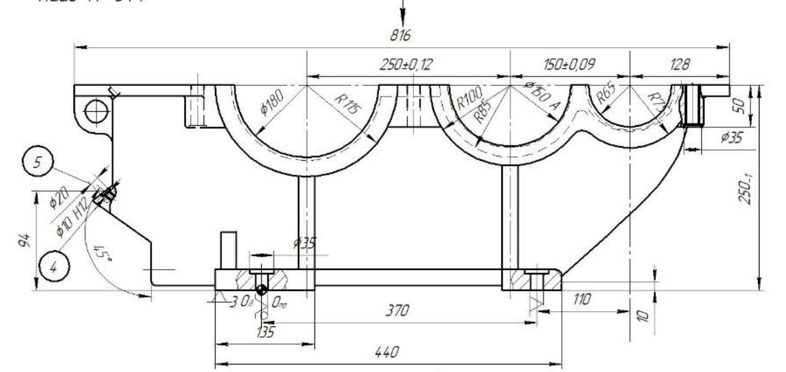
Фрезерувати пов.1	440	310	7	0,13	120	480	41	170,82
Центрувати пов.2	10	5	5	0,01	11,0	52,3	0,5	
Свердлити пов.2	22	20	11	0,12	27	136	4,4	
Зенкерувати пов.3	35	5	17,5	0,21	22	160	2,5	
Нарізати різьбу пов.2	24	15	12	0,11	20	56	2,5	
Центрувати пов.4	10	5	5	0,01	10,0	52	1	
Свердлити пов.4	17	25	8,5	0,12	27	147	3,9	
Центрувати пов.5	5	5	2,5	0,01	10	52	3,9	
Свердлити пов.5	9,05	25	4,5	0,12	28	150	3,9	
Розгортати пов.5	10	25	5	0,09	20	130	3,9	
Зенкерувати пов.5	35	5	17,5	0,01	22	110	1	
Фрезерувати пов.1	440	310	6	0,24	136	650	14	
Фрезерувати пов.1	440	310	1	0,21	140	750	9	
Свердлити пов.2	25	16	12,5	0,13	25	145	3,9	
Зміст	D, B,мм	L, мм	t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	$T_о$	$T_{шт.к}$

025. Фрезерно-сверлильна ЧПУ Haas VF-3YT

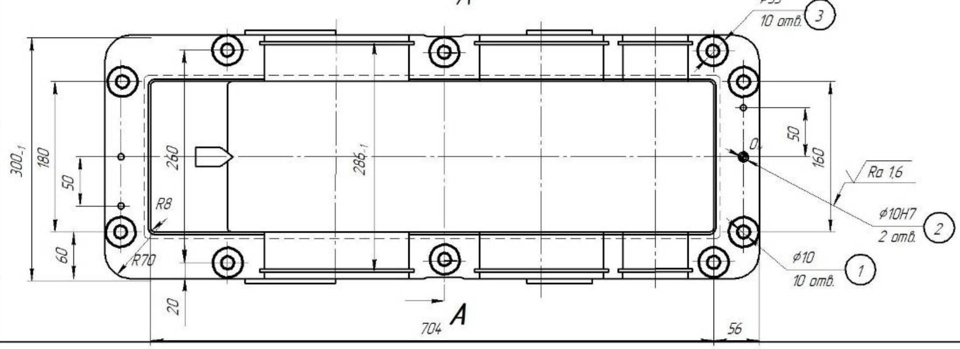




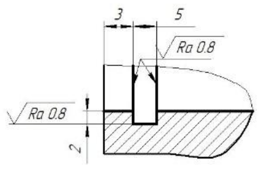
015. Фрезерно-сверлильна ЧПУ Haas VF-3YT



A



I M 1:1



Фрезерувати пов.1	310,5	704	6,5	0,29	125	180	27,81	124,7
Фрезерувати пов.2	304	704	6,5	0,29	125	180	26,81	
Розточити пов.3	167	60	5	1,09	125	250	0,22	
Розточити пов.4	137	60	5	1,12	130	250	0,21	
Розточити пов.5	97	60	5	1,12	135	250	0,20	
Розточити канавку пов.6	4	5	4	0,13	80	300	0,05	
Розточити пов.3	177	60	1	0,5	80	600	0,93	
Розточити пов.4	147	60	1	0,57	80	600	0,23	
Розточити пов.5	107	60	1	0,57	90	600	0,2	
Розточити канавку пов.6	5	5	0,5	0,1	95	400	0,04	
Розточити пов.3	180	60	0,5	0,52	120	700	0,19	
Розточити пов.4	150	60	0,5	0,6	120	700	0,18	
Розточити пов.5	110	60	0,5	0,6	120	700	0,17	
Зміст	D, B,мм	L, мм	t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	$T_о$	$T_{шт.к}$

Центрувати пов.1	5	5	2,5	0,01	12	53	10	106,2
Свердлити пов.1	10	50	5	0,12	27	140	30	
Центрувати пов.2	5	50	2,5	0,01	12	53	3,1	
Свердлити пов.2	9	50	4,5	0,12	27,4	140	4,9	
Розгорнути пов.3	9,95	50	4,95	0,09	19	130	4,1	
Зенкерувати пов.3	35	5	27,5	0,13	29	139	35	
Розгорнути пов.3	10	50	5	0,12	27	140	4	
Центрувати пов.4	5	5	2,5	0,01	12	53	3,1	
Свердлити пов.4	10	15	5	0,12	27,8	147	3	
Зенкерувати пов.5	20	5	10	0,14	29	150	9	
Зміст	D, B,мм	L, мм	t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	$T_о$	$T_{шт.к}$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Дільний			
Перев.	Кіяновський			
Т.контр.				
Н.контр.	Нечаєв			
Затв.	Рязанцев			

КНУ.КБР.131.26.1–06.ЕО

Ескізи операцій

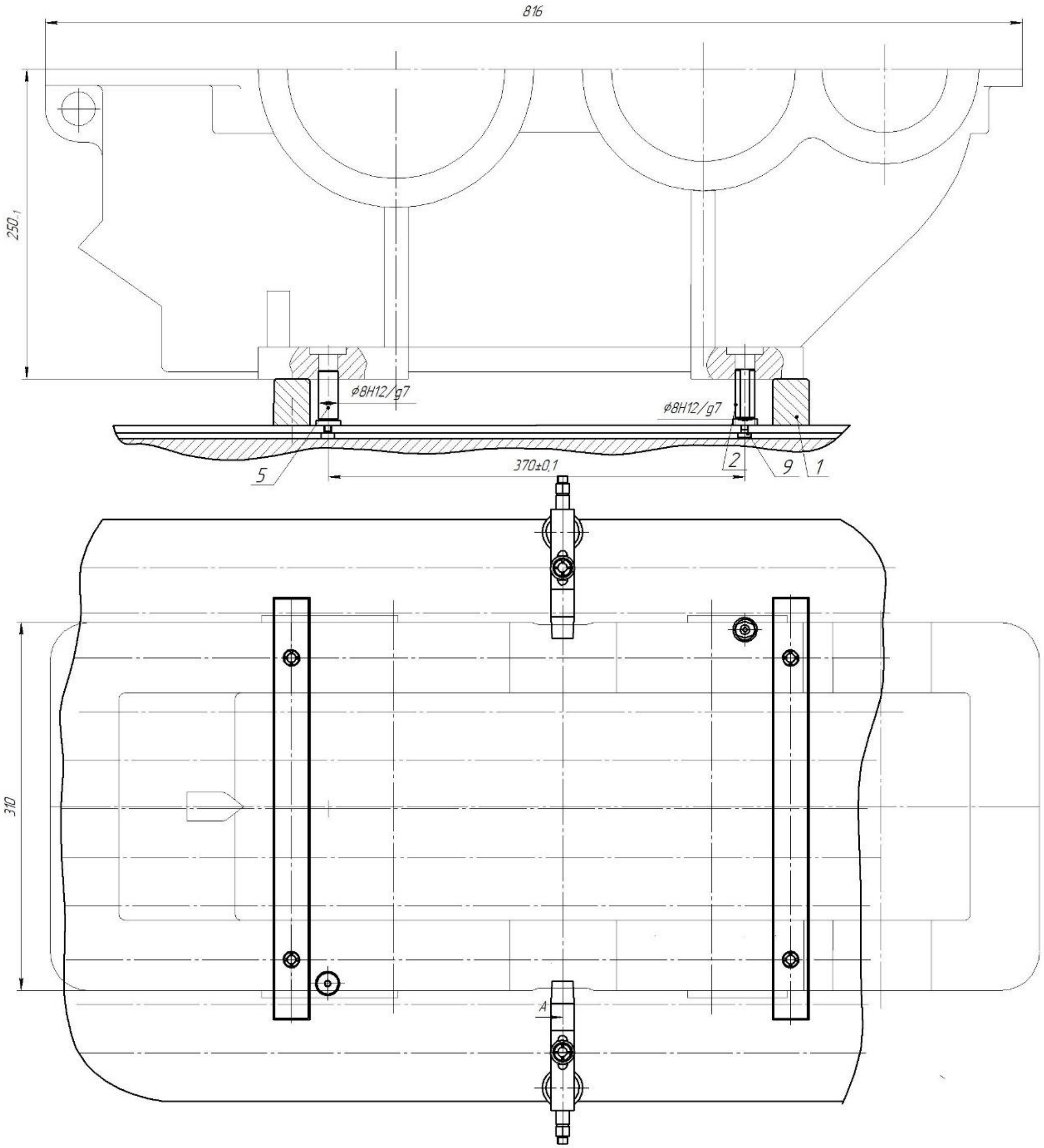
Літ. | Маса | Масштаб

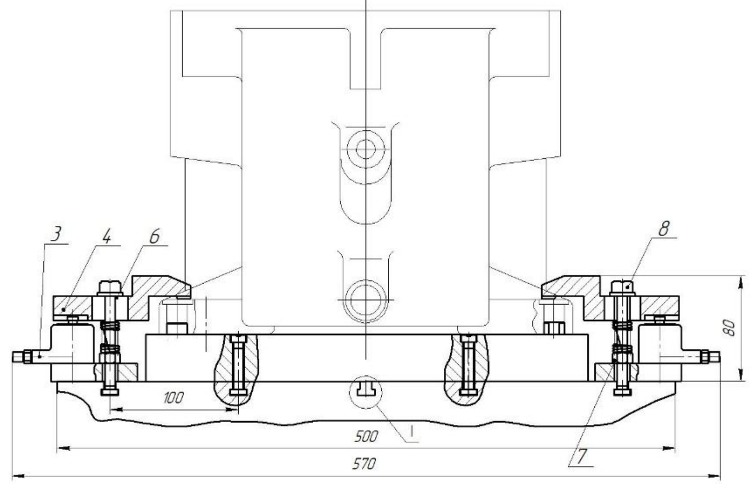
Аркуш | Аркушів 1

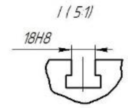
Кафедра ТМ ПМ-22

Копіював | Формат А1

КНУ.КБР.131.26.1-06.ПП







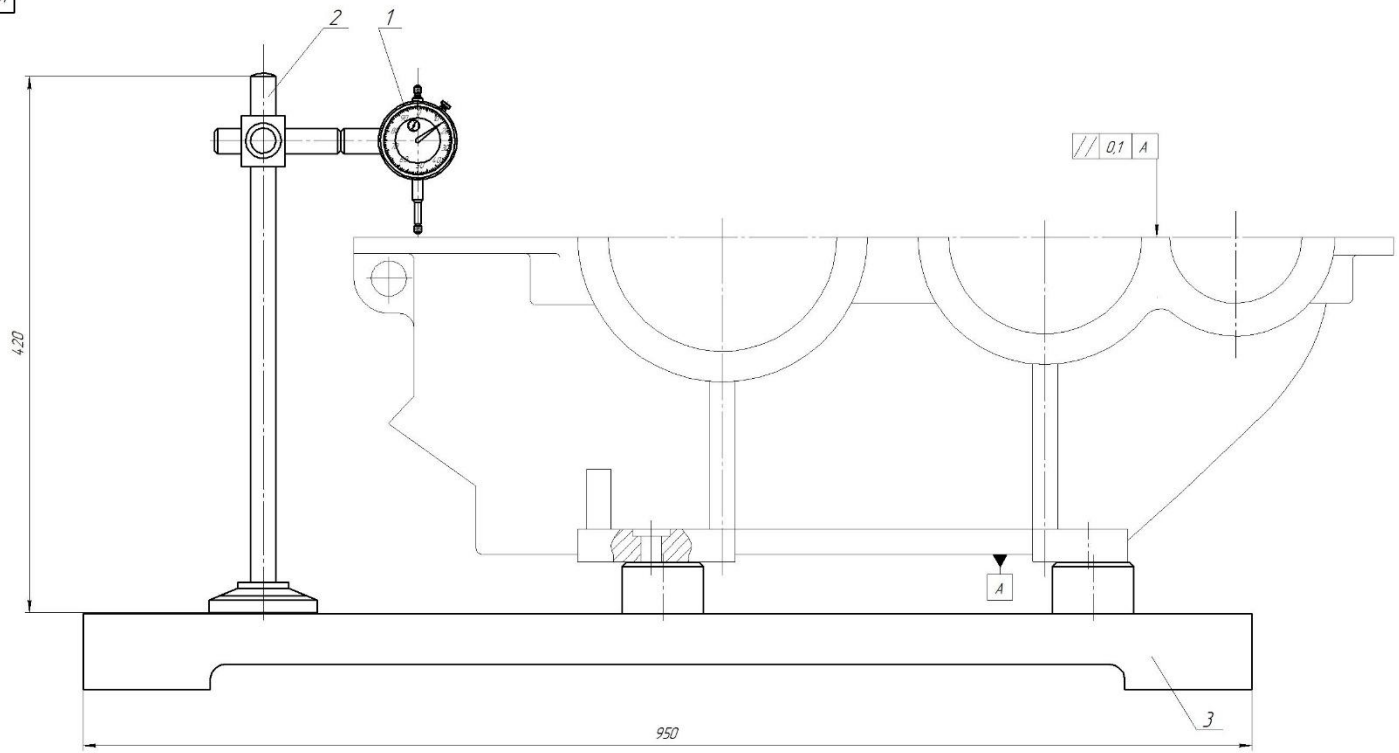
1. Зусилля затиску 653Н.
2. Внутрішній діаметр циліндра 40 мм.
3. * Розміри для довідок.
4. Гідроциліндр відрегулювати так, щоб при затиску деталі залишався запас ходу 6мм.
5. Гідросистему випробувати індустріальною оливою типу I-20A (або гідравлічною рідиною з класом в'язкості ISO VG 32) під тиском 15 МПа протягом 5 хвилин. Будь-які витоки робочої рідини та падіння тиску під час випробувань не допускаються.
6. Монтаж, демонтаж та експлуатацію елементів гідроприводу пристрою виконувати відповідно до загальних вимог безпеки чинного національного стандарту ДСТУ EN ISO 4413.
7. Не допускається проводити підтяжку трубопроводів та інших елементів під час роботи гідроприводу та верстату.
8. При кожному затиску оброблюємої деталі контролювати тиск мастила за допомогою манометра.
9. Пристрій розроблений для фрезерування площини деталі.

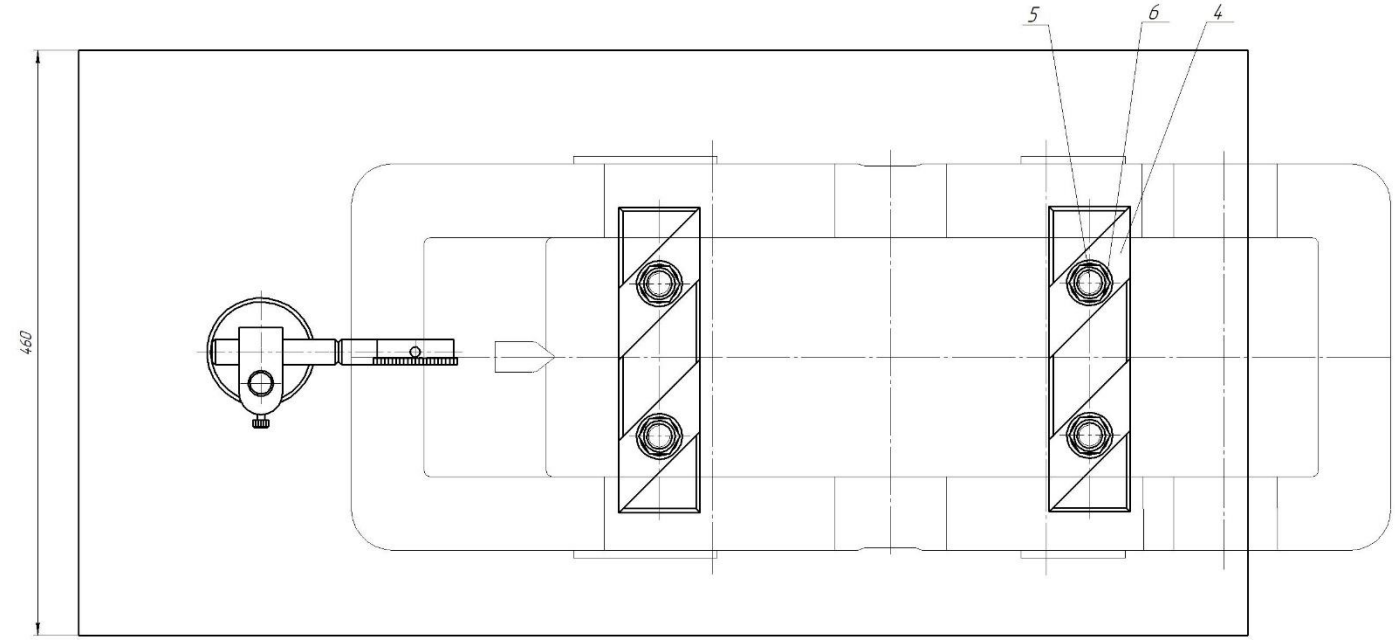
					КНУ.КБР.131.26.1–06.ПП			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Пристрій переналагоджувальний	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.		Дільний						1:2
Перев.		Кіяновський				Аркуш 1	Аркушів 1	
Т.контр.						Кафедра ТМ ПМ-22		
Н.контр.		Нечаєв						
Затв.		Рязанцев						

Копіював — Формат A1

Перв. застос. | Справ. № | Підп. і дата | Інв. № дубл. | Взам. інв. № | Підп. і дата | Інв. № оригін.

КНУ.КБР.131.26.1-06.ПК





1. Відхилення від площинності установчих елементів не більше 0,01 мм.

					КНУ.КБР.131.26.1-06.ПК		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Пристрій контрольний	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.		Вільний						1:2
Перев.		Коновальний				Аркуш 1	Аркушів 1	
Т.контр.								
Н.контр.		Нечаєв				Кафедра ТМ ПМ-22		
Затв.		Разанцев						

Копіював

Формат А1

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

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

(дата) (підпис)

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну бакалаврську роботу

Здобувача групи ПМ-22 Дільного Івана Петровича
1. Тема: Розробка та інженерне обґрунтування конструкцій і технологій та організації виготовлення корпусних деталей редукторів кінематичних ланцюгів машин на прикладі гірничо-металургійного обладнання з використанням методів прикладної механіки на основі CAD/CAM

Керівник проекту: проф., д.т.н. Кіяновський М.В.

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

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

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

4. Зміст пояснювальної записки: 1. Характеристика і службове призначення вузла і деталі. 2. Технологічна підготовка виробництва деталі. 3. Проектування верстатного і контрольного оснащення. 4. Організаційно-економічна підготовка виробництва.

5. Перелік графічного матеріалу: 1. Складальне креслення вузла. 2. Корпус. 3. Ескізи операцій. 4. РТК. 5. Креслення верстатного оснащення. 6. Креслення контрольного пристосування

6. Календарний план:

№ з/п	Етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання
1.	Розробка та узгодження технічного завдання	20.02.2026
2.	Технічне завдання та аналіз вихідних даних	12.03.2026
3.	Призначення об'єкту виробництва	15.03.2026
4.	Аналіз технологічності деталі	19.03.2026
5.	Креслення деталі (А2-А4)	30.03.2026
6.	Вибір та обґрунтування послідовності обробки поверхонь деталі	07.04.2026
7.	Вибір верстатів та інструментів	10.04.2026
8.	Розробка технологічного процесу обробки деталі	15.04.2026
9.	Розробка конструкції верстатного і контрольного оснащення (А2)	20.04.2026
10.	Організаційно-економічна підготовка виробництва	10.05.2026
11.	Висновки	15.05.2026
12.	Оформлення РПЗ і перевірка на доброчесність	25.05.2026
13.	Попередній захист	10.06.2026

Дата видачі завдання: «26» лютого 2026 р.

Завдання видав керівник КБР _____ / Кіяновський М.В. /

Завдання отримав
здобувач освіти _____ / Дільний І.П. /