

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

Пояснювальна записка
до магістерської кваліфікаційної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр»

на тему:

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ
ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС АЦ.60.01.010»**

08-26.МКР.014.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, гр. 1ПМ-19м
спеціальності 131 – Прикладна механіка

Нікітюк М. В. _____

Керівник: к. т. н., професор каф. ТАМ

Дерібо О. В. _____

« ____ » _____ 2020 р.

Рецензент: _____

« ____ » _____ 2020 р.

Вінниця ВНТУ – 2020 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

Освітньо-кваліфікаційний рівень – «Магістр»
Спеціальність 131 – «Прикладна механіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри ТАМ
д.т.н., професор Козлов Л. Г.

« ___ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Нікітюку Максиму Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської кваліфікаційної роботи (МКР): Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010»

керівник МКР Дерібо Олександр Володимирович, к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від « ___ » _____ 20__ року №__.

2. Строк подання студентом МКР: _____

3. Вихідні дані до МКР: креслення деталі «Корпус АЦ.60.01.010»; базовий маршрут механічної обробки; річна програма випуску 4500 шт.; довідкова література

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): анотації; вступ; огляд технології виготовлення деталі типу «Корпус»; удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010»; аналіз впливу технологічних факторів на точність розмірів між осями головних отворів корпусних деталей і базовими площинами, що забезпечуються розточуванням на багатоцільовому верстаті; розрахунок елементів дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010»; економічна доцільність удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010»; охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях; висновки; список використаних джерел; додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): деталь «Корпус АЦ.60.01.010» (А1); 3D-модель деталі «Корпус АЦ.60.01.010» (А1); корпус (випуск) (А1); маршрут механічної обробки (2А1); розмірний аналіз технологічного процесу (А1); карта налагоджень (операція 005) (2А1); аналіз впливу технологічних факторів на точність розмірів, що забезпечуються розточуванням (4А1); техніко-економічні показники (А1)

6. Консультанти розділів МКР

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Дерібо О. В., професор кафедри ТАМ		
Економічна частина	Лесько О. Й., професор кафедри ЕПВМ		
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Віштак І. В., доцент кафедри БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання « ____ » _____ 20__ р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів МКР	Строк виконання етапів МКР	Примітка
1	Визначення об'єкту та предмету дослідження		
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач		
3	Техніко-економічне обґрунтування методів досліджень		
4	Розв'язання поставлених задач		
5	Формулювання висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів		
6	Виконання розділу «Економічна частина»		
7	Виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях»		
8	Попередній захист МКР		
9	Перевірка роботи на плагіат		
10	Нормоконтроль МКР		
11	Рецензування МКР		
12	Захист МКР		

Студент

(підпис)

Нікітюк М. В.

Керівник МКР

(підпис)

Дерібо О. В.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	7
ABSTRACT	8
ВСТУП	9
1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС»	12
1.1 Сутність технічної проблеми	12
1.2 Характеристика об'єкту виробництва	12
1.3 Загальний огляд існуючих технологічних процесів обробки деталі типу «Корпус»	13
1.4 Вибір та критичний аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі	15
1.5 Характеристика удосконаленого технологічного процесу	16
1.6 Економічна доцільність розробки удосконаленого технологічного процесу	17
1.7 Висновки	20
2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС АЦ.60.01.010»	21
2.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі	21
2.2 Попереднє визначення типу виробництва і форми організації робіт	24
2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки	29
2.4 Вибір методів, послідовності та числа переходів для обробки окремих поверхонь	36
2.5 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чорнових та чистових технологічних баз	38
2.6 Розробка варіантів маршруту механічної обробки удосконаленого технологічного процесу	40
2.7 Аналіз техніко-економічних показників варіантів технологічних процесів за мінімумом приведених витрат	45

	5
2.8 Розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу	46
2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів	53
2.10 Призначення режимів різання	59
2.11 Математичне моделювання технологічного процесу та оптимізація режимів різання	65
2.12 Визначення технічних норм часу	65
2.13 Висновки	68
3 АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ТОЧНІСТЬ РОЗМІРІВ МІЖ ОСЯМИ ГОЛОВНИХ ОТВОРІВ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ І БАЗОВИМИ ПЛОЩИНАМИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬСЯ РОЗТОЧУВАННЯМ НА БАГАТОЦІЛЬОВОМУ ВЕРСТАТІ	70
3.1 Постановка задачі дослідження	70
3.2 Результати дослідження	71
3.3 Висновки	80
4 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС АЦ.60.01.010»	81
4.1 Розрахунок приведеної програми	81
4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження	85
4.3 Побудова графіків завантаження обладнання	87
4.4 Розрахунок кількості працівників на дільниці	88
4.5 Висновки	90
5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС АЦ.60.01.010»	91
5.1 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010»	91
5.2 Розрахунок виробничої собівартості одиниці продукції	96
5.3 Розрахунок ціни реалізації нового виробу	100
5.4 Розрахунок величини чистого прибутку	101

5.5 Оцінювання ефективності інноваційного рішення	102
5.6 Висновки	104
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	105
6.1 Аналіз умов праці	105
6.2 Організаційно-технічні рішення щодо безпечних умов праці	105
6.3 Організаційно-технічні рішення щодо забезпечення безпечної роботи	109
6.4 Пожежна безпека	110
6.5 Безпека в надзвичайних ситуаціях	111
6.6 Висновки	117
ВИСНОВКИ	118
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	120
ДОДАТКИ	123

АНОТАЦІЯ

Нікітюк М. В. Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010» : магістерська кваліфікаційна робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр» за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» / М. В. Нікітюк. – Вінницький національний технічний університет. – Вінниця, 2020.

Метою роботи є удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010» шляхом застосування прогресивних технологічних процесів з використанням високопродуктивного обладнання, сучасного підходу до вибору верстатів, інструментів, оснащення, що забезпечить необхідну якість деталей при скороченні часу обробки, зменшенні необхідної кількості обладнання, працюючих, площ, енерговитрат, собівартості виробу.

Для досягнення поставленої мети проведено огляд технологій виготовлення деталей типу «Корпус»; виконано варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки; розроблено варіанти маршруту механічної обробки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010» з використанням сучасних верстатів з ЧПК та вибір кращого з них за мінімумом приведених витрат; проведено розмірно-точнісне моделювання удосконаленого технологічного процесу механічної обробки; визначено режими різання та норми часу; розраховано кількість обладнання та працівників; удосконалено ділянку механічної обробки.

У науковій частині роботи виявлено і порівняно рівні впливу елементарних похибок на сумарну похибку розмірів, що поєднують осі головних отворів з базовими площинами корпусних деталей в процесі виготовлення цих деталей на багатоцільових верстатах з ЧПК.

В економічній частині роботи розраховані капітальні вкладення, собівартість механічної обробки заготовки деталі, термін окупності та економічний ефект, одержаний в результаті удосконалення технологічного процесу та ділянки механічної обробки.

В роботі також розроблено заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Графічна частина ілюстративно доповнює матеріали, які представлені в пояснювальній записці.

ABSTRACT

Nikitiuk M. V. Improvement of the technological process of mechanical processing of the workpiece details of the type « Body AC.60.01.010» : master's qualification work for obtaining the educational and qualification level «Master» degree in the specialty 131 «Applied Mechanics» / M. V. Nikitiuk. – Vinnitsia National Technical University. – Vinnitsia, 2020.

The purpose of the work is to improve the technological process of machining parts such as «Body AC.60.01.010» through the use of advanced technological processes using high-performance equipment, a modern approach to the choice of machines, tools, equipment that will ensure the required quality of parts while reducing processing time the required amount of equipment, working, area, energy consumption, cost of the product.

To achieve this goal, a review of technologies for the manufacture of parts such as «Body»; the variant choice and technical and economic substantiation of a way of manufacturing of preparation are executed; variants of a route of mechanical processing of a detail like «Body AC.60.01.010» with use of modern CNC machines and a choice of the best of them at a minimum of the resulted expenses are developed; dimensional and accurate modeling of the advanced technological process of machining; cutting modes and time norms are determined; the number of equipment and employees is calculated; the machining section was improved.

In the scientific part of the work to identify and compare the levels of influence of elementary errors on the total dimensional error, combining the axes of the main holes with the base planes of the body parts in the manufacture of these parts on multi-purpose CNC machines.

In the economic part of the work, capital investments, the cost of machining the workpiece, payback period and the economic effect obtained as a result of improving the process and machining section are calculated.

The work also develops measures for labor protection and safety in emergencies.

The graphic part illustrates the materials presented in the explanatory note.

ВСТУП

Актуальність. Однією з найважливіших задач машинобудівних технологій є забезпечення необхідної якості виробів, якомога меншої їх собівартості за умови забезпечення необхідної кількості їх виготовлення. Ефективним способом розв'язання цієї задачі є використання сучасних обладнання з ЧПК багатocільових верстатів. Їх перевагою є універсальність, у поєднанні з можливістю автоматизації процесів механічної обробки, забезпечення необхідної якості виробів, можливість швидкого переналагодження в переходах від одного типорозміру деталей до іншого. Використання таких верстатів скорочує простой, підвищує частку машинного часу, скорочує обсяг операцій контролю.

Мета і завдання дослідження. Мета цієї магістерської кваліфікаційної роботи – удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010» шляхом застосування прогресивних технологічних процесів з використанням високопродуктивного обладнання, сучасного підходу до вибору верстатів, інструментів, оснащення, що забезпечить необхідну якість деталей при скороченні часу обробки, зменшенні необхідної кількості обладнання, працюючих, площ, енерговитрат, собівартості виробу.

Для досягнення поставленої мети повинні бути виконані такі завдання:

- провести аналітичний огляд технологій виготовлення деталей типу «Корпус»;
- на основі креслення деталі виконати якісний і кількісний аналіз технологічності;
- встановити тип виробництва та форму організації роботи;
- вибрати метод та найраціональніший спосіб виготовлення заготовки;
- вибрати способи обробки поверхонь заготовки деталі «Корпус АЦ.60.01.010»;
- обґрунтувати вибір технологічних баз;
- розробити варіанти маршруту удосконаленого технологічного процесу механічної обробки;
- вибрати кращий з розроблених маршрутів механічної обробки за мінімумом приведених витрат;
- вибрати режими різання;
- виконати нормування операцій;

- виявити і порівняти рівні впливу елементарних похибок на сумарну похибку розмірів, що поєднують осі головних отворів з базовими площинами корпусних деталей в процесі виготовлення цих деталей на багатоцільових верстатах з ЧПК;

- встановити приведену програму виробів;
- розрахувати кількість обладнання та працюючих, що необхідні для забезпечення механічної обробки заготовки деталі;
- провести розрахунок економічної доцільності впровадження удосконаленого технологічного процесу;
- розробити заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення деталей типу «Корпус».

Предмет дослідження – удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010».

Методи дослідження. Метод теорії розмірних ланцюгів, який дозволив виконати розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010»; метод лінійного програмування (симплекс-метод), який дозволив визначити оптимальні режими різання, методологія аналізу похибок, що впливають точність розмірів, забезпечуваних на операціях механічної обробки.

Наукова новизна одержаних результатів. Дістала подальший розвиток методика визначення точності обробки на прикладі остаточного (тонкого) розточування головного отвору в заготовці корпусної деталі на багатоцільовому свердлильно-фрезерно-розточувальному верстаті, що дозволило виявити, проаналізувати і узагальнити рівень впливу технологічних факторів на точність розмірів, що поєднують вісь отвору з базовою площиною і визначити сумарну похибку обробки.

Практичне значення одержаних результатів полягає в удосконаленні технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010» на базі використання сучасних підходів до побудови технологічних процесів механічної обробки, впровадження прогресивного автоматизованого обладнання, що дозволяє підвищити якість оброблених деталей, зменшити їх собівартість, суттєво скоротити при цьому виробничі площі. При цьому запропоновані такі рішення:

- встановлено, що найдоцільнішими способами виготовлення заготовки є лиття в піщано-глинисті форми з ручним та машинним формуванням суміші. Техніко-економічні розрахунки показали, що економічно вигідніше виготовляти заготовку литтям в піщано-глинисті форми з машинним формуванням суміші, оскільки вартість заготовки при цьому складає 311,44 грн., що менше у порівнянні з ручним формуванням – 330,31 грн.;

- розроблено удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010» з використанням високопродуктивних верстатів з ЧПК; техніко-економічний аналіз показав, що впровадження удосконаленого технологічного процесу в виробництво є економічно доцільним;

- виконано аналіз точності обробки на прикладі остаточного (тонкого) розточування головного отвору в заготовці корпусної деталі «Корпус АЦ.60.01.010» на багатоцільовому верстаті HAAS VF-2TR. Розглянуто найточніший розмір, що поєднує вісь отвору з базовою площиною. Це дозволило виявити, проаналізувати і узагальнити рівень впливу технологічних факторів на точність таких розмірів і визначити сумарну похибку обробки;

- для удосконаленого маршруту механічної обробки спроектовано ділянку механічної обробки; розраховано приведену програму для роботи ділянки в великосерійному виробництві, яка складає 21092 шт.; ділянка механічної обробки повинна містити 3 верстати, кількість основних робітників-верстатників, що її обслуговують – 3 чол., всього працівників на ділянці – 7 чол.

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати роботи доповідалися й обговорювалися на конференції:

- Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2021)». – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2021> (м. Вінниця, ВНТУ, 01-14 травня 2021 р.)

Публікації. Оpubліковано тезу доповіді:

- Аналіз впливу технологічних факторів на точність розмірів між осями головних отворів корпусних деталей і базовими площинами, що забезпечуються розточуванням на багатоцільовому верстаті [Електронний ресурс] / О. В. Дерібо, М. В. Нікітюк // Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2021)», м. Вінниця, 01-14 травня 2021 р. – 2021. – Режим доступу : – <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2021/paper/view/10958>.

1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС»

1.1 Сутність технічної проблеми

Технологічний процес (ТП) механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010» розроблено на основі базового підприємства. Це підприємство виготовляє декілька типорозмірів коробки відбору потужності для різних машин.

На підприємстві використовується ТП механічної обробки деталі «Корпус АЦ.60.01.010» з врахуванням наявних можливостей. На сьогодні ця технологія застаріла і необхідно розробити удосконалений ТП механічної обробки деталі «Корпус АЦ.60.01.010» завдяки застосуванню прогресивних технологічних процесів з використанням обладнання з ЧПК.

1.2 Характеристика об'єкта виробництва

Ескіз деталі «Корпус АЦ.60.01.010» показано на рис. 1.1. Деталь виготовляється в умовах середньосерійного виробництва з матеріалу СЧ20 (ГОСТ 1412-85). Заготовка виготовляється литтям.

Маса деталі «Корпус АЦ.60.01.010» складає 3,9 кг.

Деталь за технологічними ознаками відноситься до класу «Корпус» з деякими особливостями [1, 2].

Найвідповідальнішими поверхнями деталі (конструкторськими базами) є: отвори $\varnothing 90H7^{(+0,035)}$, $\varnothing 72H7^{(+0,003)}$, $\varnothing 20H8^{(+0,033)}$, $\varnothing 20H10^{(+0,084)}$.

Вимоги до відносного розташування поверхонь можуть бути забезпечені завдяки застосуванню обробки з одного установка або виконанню принципу суміщення баз.

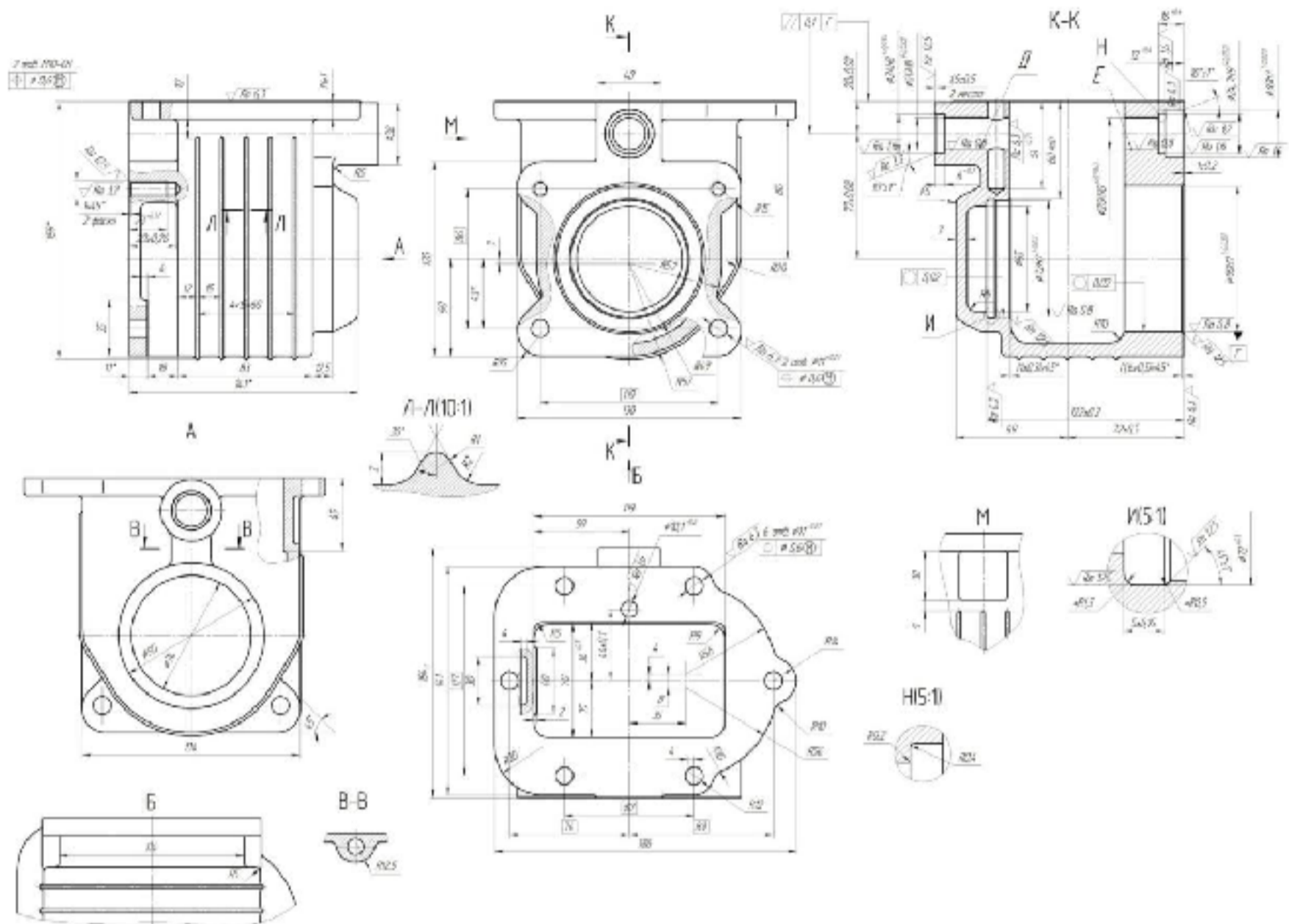


Рисунок 1.1 – Ескіз деталі «Корпус АЦ.60.01.010»

1.3 Загальний огляд наявних технологічних процесів виготовлення деталі типу «Корпус»

Деталь «Корпус АЦ.60.01.010» відноситься до класу корпусних [1, 2].

Технологічними базами для першої операції (чорновими базами) для корпусних деталей найчастіше є необроблювані поверхні, до яких розмірами прив'язана сітка оброблюваних поверхонь.

Технологічний процес механічної обробки корпусних деталей зазвичай складається з таких етапів: обробка чистових технологічних баз, попередня обробка плоских поверхонь, попередня обробка головних отворів, обробка місцевих елементів, остаточна обробка плоских поверхонь а потім і головних отворів.

Типовий маршрут обробки деталі типу «Корпус редуктора» (рис. 1.2) розглянутий в [1].

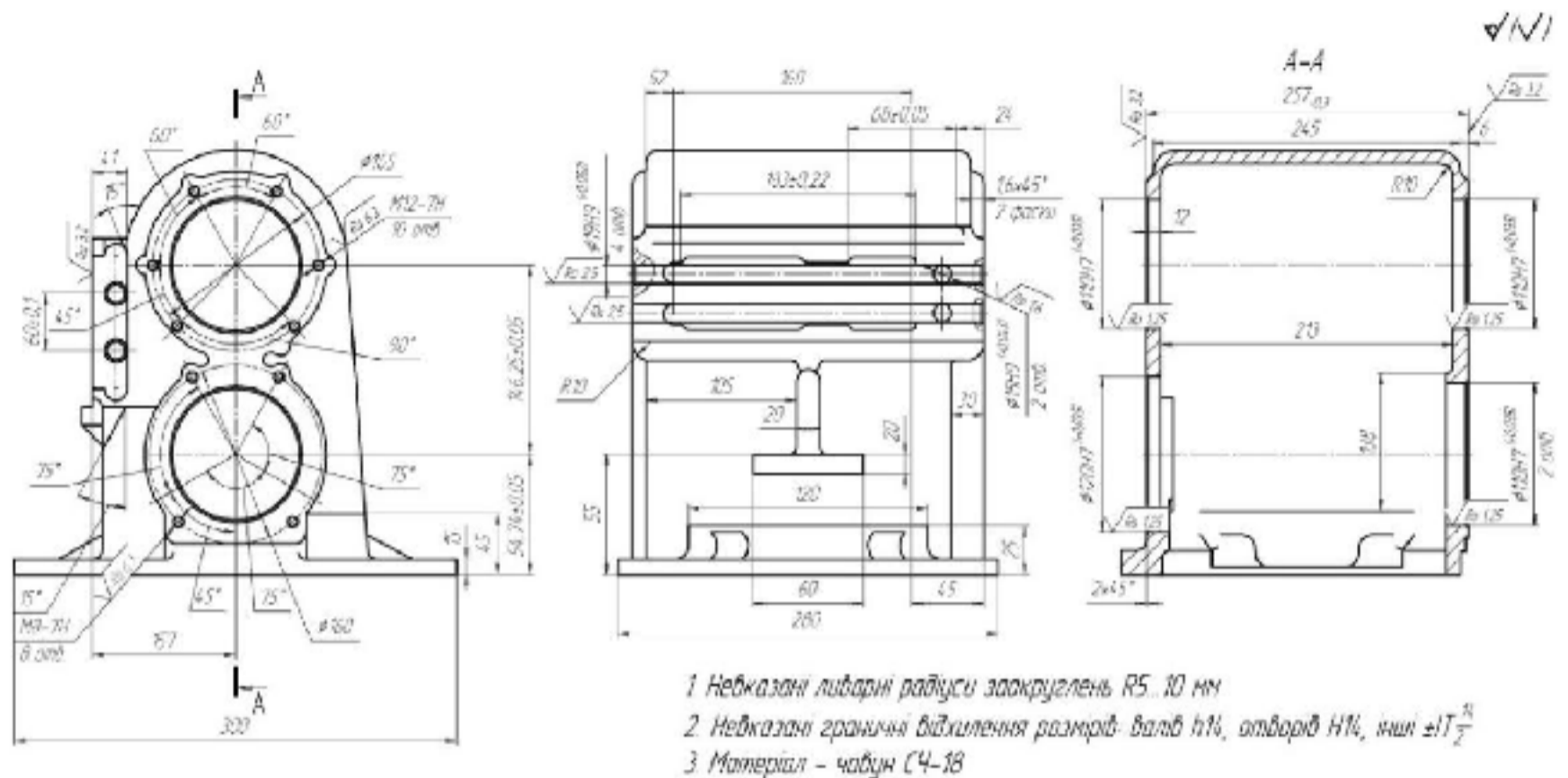


Рисунок 1.2 – Ескіз деталі «Корпус редуктора»

Таблиця 1.1 – Маршрут обробки деталі заготовки деталі типу «Корпус редуктора» [1]

№ операції	Назва операції та її зміст	Верстат, обладнання	Оснащення
005	Вертикально-фрезерна з ЧПК Фрезерувати ліву бокову площину попередньо та остаточно. Свердлити зенкерувати та розвернути 2 отвори $\text{Ø}15\text{H}9$, свердлити шість отворів $\text{Ø}14,5$	Вертикально-фрезерний з ЧПК і магазином інструментів ГФ2171МФ3	Наладка УСПО
010	Багатоцільова з ЧПК Фрезерувати передню площину остаточно, розточити отвір $\text{Ø}110\text{H}7$ та $\text{Ø}120\text{H}7$ остаточно, свердлити та нарізати різь М12 – Н7 в десятих отворах. Фрезерувати заглиблення на лівій боковій поверхні остаточно, свердлити і нарізати різь М8 – Р7 у вісьмох отворах остаточно, свердлити, зенкерувати та розвернути 2 отвори $\text{Ø}15\text{H}9$ остаточно. Фрезерувати задню площину остаточно, розточити отвори $\text{Ø}100\text{H}7$ та $\text{Ø}110\text{H}7$ остаточно. Свердлити і нарізати різь М8 – Н7 у вісьмох отворах остаточно, свердлити, зенкерувати та розвернути 4 отвори $\text{Ø}19\text{H}9$ остаточно.	Багатоцільовий з ЧПК ИР500ПМФ4	Наладка УСПО

На найтрудомісткішій операції 010 обробка відбувається на чотирикоординатному верстаті з ЧПК IP500ПМФ4. Продуктивність цього верстата досить невелика через значний час (14 с) на заміну інструмента в шпинделі і відносно невелику швидкість неробочих переміщень робочих органів (12 м/хв.).

Для ТП механічної обробки заготовки заданої у завданні деталі пропонується використати високопродуктивний п'ятикоординатний верстат HAAS VF-2, який дозволяє з одного установа обробити майже всі точні площини і головні отвори.

1.4 Вибір та критичний аналіз базового ТП виготовлення деталі

Базовий технологічний процес наведений у таблиці 1.2.

Таблиці 1.2 – Базовий технологічний процес

№ операції	Найменування операції	Обладнання
005	Вертикально-фрезерна з ЧПК	Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК ЛТ260МФ3
010	Вертикально-фрезерна з ЧПК	Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК ЛТ260МФ3
015	Вертикально-фрезерна з ЧПК	Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК ЛТ260МФ3

Недоліками базового технологічного процесу є застосування не досить швидкодійних верстатів ЛТ260МФ3 для фрезерування площин, обробки отворів під підшипники та кріпильних отворів. Використовується три верстати, що вимагає переустановлення деталі, і, відповідно, виникає похибка установа. Це негативно впливає на точність обробки, збільшує допоміжний і підготовчо-завершальний час, а відповідно і трудомісткість обробки.

Номенклатура деталей не дуже обмежена, програми випуску деталей різних найменувань різні і можуть бути незначними. При переході від виготовлення

партії одних деталей до іншої виникають помітні втрати часу на переналагодження верстатів.

Вказані фактори знижують продуктивність процесу обробки, підвищують собівартість продукції.

1.5 Характеристика удосконаленого технологічного процесу

Ефективним рішенням для підвищення якості і продуктивності виготовлення деталей типу «Корпус» та автоматизації технологічного процесу є застосування сучасних верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК). Важливим є те, що використання багатоцільових верстатів з ЧПК в серійному виробництві дозволяє широко застосовувати принцип концентрації операцій. Ефективність використання верстатів з ЧПК пояснюється ще й тим, що суттєво скорочується потреба в спеціальному оснащенні, оскільки можна застосувати універсально-складальні пристрої (УСП) і збірно-розбірні пристрої (ЗРП).

Ефективність використання верстатів з ЧПК може бути підвищена завдяки застосуванню різноманітних мехатронних пристроїв, у т. ч. промислових роботів для скорочення допоміжного часу. Важливого значення набувають верстати з ЧПК як складові гнучких виробничих систем (ГВС), що особливо важливо для умов сучасного серійного виробництва.

Отже, аналіз базового технологічного процесу та виявлені недоліки дозволили сформулювати пропозиції щодо його удосконалення.

Пропонується:

- розширити використання принципу концентрації операцій; це дозволить зменшити кількість операцій, а, відповідно, кількість верстатів, основних робітників і площу ділянки;

- застосувати сучасні багатоцільові верстати з ЧПК;

- застосовувати різальний інструмент із сучасних надтвердих матеріалів.

Склад операцій і обладнання удосконаленого технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010» наведений у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Склад операцій і обладнання удосконаленого технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010»

№ операції	Найменування операції	Обладнання
005	Вертикально-фрезерна з ЧПК	Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК ЛТ260МФ3
010	Комбінована з ЧПК	Вертикальний п'ятикоординатний багатоцільовий верстат з ЧПК HAAS VF-2

Очікувані показники удосконаленої дільниці наведені у таблиці 1.5.

Таблиця 1.4 – Очікувані показники наявної і проекрованої дільниці

Показники	Наявна дільниця	Удосконалена дільниця
Кількість верстатів, шт.	5	3
Кількість основних робітників, чол.	6	3
Середній розряд робітників	4	3
Площа дільниці, м ²	158	86
Річна програма виготовлення деталі «Корпус АЦ.60.01.010», шт.	4500	4500
Приведена програма виготовлення деталей на дільниці, шт.	21092	21092

1.6 Економічна доцільність розробки удосконаленого технологічного процесу механічної обробки [3]

Визначаємо зменшення собівартості одиниці продукції, яка буде виготовлятися за удосконаленим технологічним процесом [3]:

$$\Delta S = \frac{(B_a - B_n K_n) \cdot 100\%}{P\%} \text{ [грн.]} \quad (1.1)$$

де B_a – величина однієї із статей витрат в одиниці продукції, яка є аналогом, грн.;

B_n – величина цієї ж статті прямих витрат в одиниці нової продукції, грн.;

K_n – коефіцієнт, який враховує конструктивні і технологічні особливості нової розробки, $K_n = 1 \dots 1,2$;

P – питома вага цієї статті витрат в собівартості продукції, яка є аналогом, %.

Стаття прямих витрат для деталі – це витрати на виготовлення вихідної заготовки. Вартість вихідної заготовки, виготовленої литтям в піщано-глинисті форми з ручним формуванням суміші (базовий варіант) $B_a = 330,31$ грн.; вартість заготовки виготовленої литтям в піщано-глинисті форми з машинним формуванням суміші (запропонований варіант) $B_n = 311,44$ грн.; $P = 50\%$.

Тоді

$$\Delta S = \frac{(330,31 - 311,44 \cdot 1,0) \cdot 100\%}{50\%} = 37,74 \text{ (грн.)}$$

Додаткові капітальні вкладення, необхідні для удосконалення технологічного процесу [3]:

$$\Delta K = (2 \dots 4) \cdot \Delta B_{обл} \text{ [грн.],} \quad (1.2)$$

де $= 2 \dots 4$ – коефіцієнт, що враховує витрати на проектування, оренду приміщень тощо, грн.;

$\Delta B_{обл}$ – вартість додаткового обладнання, яке необхідно придбати для модернізації технологічного процесу, грн.

Вартість верстата складає 2000000 грн. (таблиця 1.7).

Таблиця 1.7 – Витрати на придбання обладнання

Найменування обладнання	Ціна, грн.	Кількість	Вартість, грн.
П'ятикоординатний оброблювальний центр HAAS VF-2TR	2000000	1	2000000
Всього			2000000

Придбане обладнання було у використанні.

Реалізуємо верстати, що не використовуються в удосконаленому ТП:

- 4 верстати ЛТ260МФ3 – $4 \cdot 200000 = 800000$ (грн.)

Всього реалізовано верстатів на 800000 грн.

Отже, витрати на обладнання $2000000 - 800000 = 1200000$ (грн.)

Звідси випливає, що величина додаткових капітальних вкладень складатиме

$$\Delta K = 2 \cdot 1200000 = 2400000 \text{ (грн.)}$$

Термін окупності удосконаленого технологічного процесу [3]:

$$T_o = \frac{\Delta K}{\Delta S \cdot N_2} \text{ [роки]}, \quad (1.3)$$

де N_2 – річна програма випуску продукції, шт.

Отже,

$$T_o = \frac{2400000}{37,74 \cdot 4500} = 14,13 \text{ (рік)}.$$

На проектованій ділянці виготовлятимуться деталі чотирьох типорозмірів.

Тоді, з урахуванням приведеної програми

$$T_o = \frac{2400000}{37,74 \cdot 21092} = 3,02 \text{ (року)}.$$

1.7 Висновки

1. Проаналізовано шляхи удосконалення технологічного процесу на дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010». В базовому варіанті технологічного процесу використовується застаріле малопродуктивне обладнання, яке не забезпечує необхідну якість продукції. Процес обробки є трудомістким, із значною кількістю переустановлень заготовки деталі, кваліфікація робітників при цьому вимагається достатньо висока. Не повною мірою реалізується принцип концентрації операцій, використовується значна кількість верстатів, відповідно дільницею зайнята значна виробнича площа.

2. Як впливає з попередніх наближених розрахунків, удосконалення базового технологічного процесу є економічно доцільним. Термін окупності складе 3,02 року, що відповідає нормативним значенням (3...5 років).

2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС АЦ.60.01.010»

2.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі [2, 4, 5]

Конструкція деталі «Корпус АЦ.60.01.010» повною мірою відповідає її службовому призначенню. Зовнішні поверхні деталі переважно мають криволінійні контури, деякі з них – циліндричної форми із заглибленнями. Більшість цих поверхонь не передбачають використання механічної обробки. Внутрішня порожнина поєднує головні циліндричні отвори та отвір у формі паралелепіпеда. Циліндричні отвори $\varnothing 90H7^{(+0,035)}$ і $\varnothing 72H7^{(+0,003)}$ обробляються з 7 квалітетом точності і мають шорсткість $Ra = 1,6$ мкм. Площини підлягають обробці переважно з шорсткістю $Ra = 6,3$ мкм.

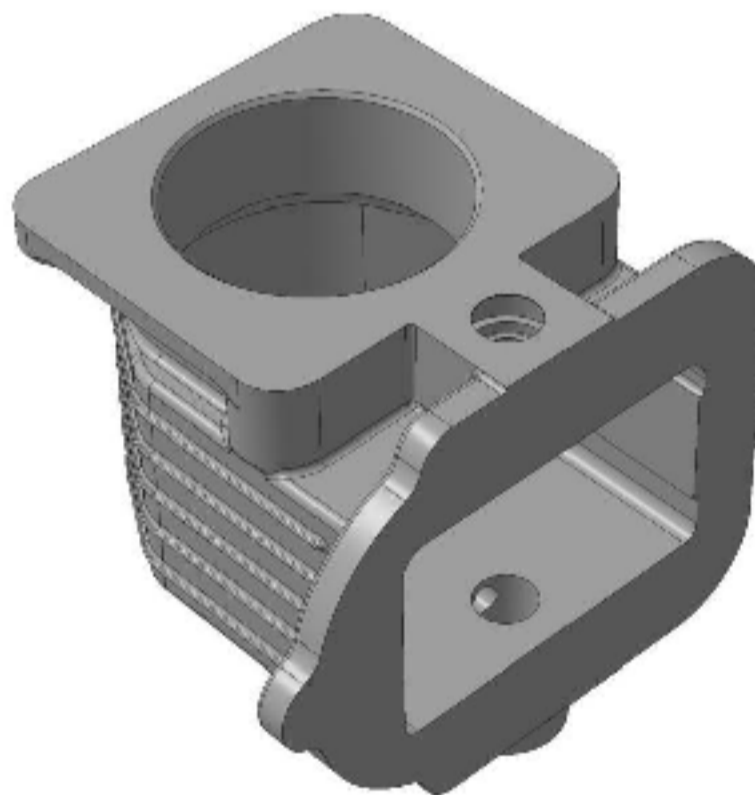


Рисунок 2.1 – 3D-модель деталі «Корпус АЦ.60.01.010»

Деталь достатньо технологічна і недоступних для обробки місць не містить.

Під час обробки є можливість використовувати як технологічні бази зовнішню циліндричну поверхню, отвір та два отвори (при установленні на площину і два пальці). При цьому буде забезпечуватися виконання принципу суміщення баз.

Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів [4, 5]:

$$K_y = \frac{Q_{ye}}{Q_e}, \quad (2.1)$$

де Q_{ye} , Q_e – кількість уніфікованих елементів і загальна кількість типорозмірів конструктивних елементів відповідно.

Проаналізувавши креслення деталі визначено:

$$K_y = \frac{52}{65} = 0,8 > 0,6 \text{ – за цією ознакою деталь технологічна.}$$

Коефіцієнт точності обробки

$$K_T = 1 - \frac{1}{T_{cp}}; \quad (2.2)$$

де T_{cp} – середній квалітет точності розмірів.

Таблиця 2.1 – Визначення коефіцієнта точності обробки

Квалітет точності (розміри, поверхні)	Кількість поверхонь	Розрахунок
7 – $\varnothing 90H7^{(+0,035)}$; $\varnothing 72H7^{(+0,003)}$; $\varnothing 30H7^{(+0,021)}$	3	$3 \cdot 7 = 21$
8 – $\varnothing 20H8^{(+0,033)}$ (2 шт.); $\varnothing 24H8^{(+0,033)}$	3	$3 \cdot 8 = 24$
9 – $\varnothing 24,7H9^{(+0,052)}$	1	$1 \cdot 9 = 9$
14 – всі інші	33	$33 \cdot 14 = 462$
Сума	$\Sigma 40$	$\Sigma 516$

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i}. \quad (2.3)$$

$$T_{cp} = \frac{516}{40} = 12,9;$$

$$K_T = 1 - \frac{1}{12,9} = 0,923 > 0,8 \text{ – за коефіцієнтом точності деталь технологічна.}$$

Коефіцієнт шорсткості поверхонь

$$K_{ш} = \frac{1}{Ш_{cp}}, [1/\text{мкм}] \quad (2.4)$$

де $Ш_{cp}$ – середня шорсткість поверхонь.

Таблиця 2.2 – Визначення коефіцієнта шорсткості поверхонь

Шорсткість Ra , мкм (розміри, поверхні)	Кількість поверхонь	Розрахунок
1,6 – $\varnothing 90H7^{(+0,035)}$; $\varnothing 72H7^{(+0,003)}$; $\varnothing 20H10^{(+0,084)}$; $\varnothing 20H8^{(+0,033)}$ (2 шт.); $\varnothing 24H8^{(+0,033)}$; $\varnothing 24,7H9^{(+0,052)}$; $\varnothing 30H7^{(+0,021)}$; $\varnothing 10,1^{+0,2}$	9	$1,6 \cdot 9 = 14,4$
3,2 – фаска $10^\circ \pm 1^\circ$ (2 шт.); M10-6H (2 отв.)	4	$3,2 \cdot 4 = 12,8$
6,3 – $\varnothing 11^{+0,27}$ (6 отв.); $\varnothing 11^{+0,27}$ (2 отв.); $36^{+0,5}$; 11 ± 1 ; $122 \pm 0,2$ (2 пов.); $12^{+0,4}$	14	$6,3 \cdot 14 = 88,2$
12,5 – всі інші	13	$12,5 \cdot 13 = 162,5$
Сума	$\Sigma 40$	$\Sigma 277,9$

$$Ш_{cp} = \frac{\Sigma Ш_i \cdot n_i}{n_i} [\text{мкм}]. \quad (2.5)$$

$$Ш_{cp} = \frac{277,9}{40} = 6,95 \text{ (мкм);}$$

$K_{ш} = \frac{1}{6,95} = 0,14 < 0,32$ – за коефіцієнтом шорсткості поверхонь деталь технологічна.

Оскільки $K_y = 0,8 > 0,6$; $K_T = 0,923 > 0,8$; $K_{ш} = 0,14 < 0,32$, то і за кількісними показниками деталь є технологічною.

2.2 Попереднє визначення типу виробництва і форми організації робіт

Згідно з ГОСТ 3.1121-84, коефіцієнт закріплення операцій [2, 4]

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O_i}{\sum P_i}, \quad (2.6)$$

де $\sum O_i$ – сумарна кількість операцій, що виконуються на даному робочому місці; $\sum P_i$ – сумарна кількість робочих місць для виконання операцій.

Найхарактернішими переходами механічної обробки заготовки деталі «Корпус АЦ.60.01.010»:

- 1) чорнове фрезерування площини основи $\ell = 186$ мм;
- 2) чистове фрезерування площини основи $\ell = 186$ мм;
- 3) чорнове розточування $\varnothing 90H7^{(+0,035)}$ (10 квалітет);
- 4) напівчистове розточування $\varnothing 90H7^{(+0,035)}$ (8 квалітет);
- 5) тонке розточування $\varnothing 90H7^{(+0,035)}$ (7 квалітет);
- 6) чорнове фрезерування бокової площини $\ell = 138$ мм;
- 7) чистове фрезерування бокової площини $\ell = 138$ мм.

За формулами наближеного нормування [2] визначено основний час $T_{осн}$ виконання вказаних вище переходів.

Перехід 1

$$T_{осн1} = 0,0059 \cdot \ell = 0,0059 \cdot 186 = 1,1 \text{ (хв.)}$$

Перехід 2

$$T_{осн2} = 0,0048 \cdot \ell = 0,0048 \cdot 186 = 0,89 \text{ (хв.)}$$

Перехід 3

$$T_{осн3} = 0,000068 \cdot D \cdot \ell = 0,000068 \cdot 90 \cdot 37 = 0,23 \text{ (хв.)}$$

Перехід 4

$$T_{осн4} = 0,00019 \cdot D \cdot \ell = 0,00019 \cdot 90 \cdot 37 = 0,63 \text{ (хв.)}$$

Перехід 5

$$T_{осн5} = 0,0002 \cdot D \cdot \ell = 0,0001 \cdot 90 \cdot 37 = 0,67 \text{ (хв.)}$$

Перехід 6

$$T_{осн6} = 0,0059 \cdot \ell = 0,0059 \cdot 138 = 0,81 \text{ (хв.)}$$

Перехід 7

$$T_{осн7} = 0,0048 \cdot \ell = 0,0048 \cdot 138 = 0,66 \text{ (хв.)}$$

Штучно-калькуляційний час визначено за формулою [1]

$$T_{шт-к} = T_{осн} \cdot \varphi_k \text{ [хв.]}, \quad (2.7)$$

де φ_k – коефіцієнт, який визначається типом виробництва та типом верстатів.

Відповідно до [5], прийнято $\varphi_k = 1,35$.

Переходи 1-2 планується виконувати на одному верстаті:

$$T_{шт-к1-2} = 1,35 \cdot (1,1 + 0,89) = 2,69 \text{ (хв.)}$$

Переходи 3-7 планується виконувати на іншому верстаті:

$$T_{шт-к3-7} = 1,35 \cdot (0,23 + 0,63 + 0,67 + 0,81 + 0,66) = 4,05 \text{ (хв.)}$$

Кількість потрібних верстатів

$$C_{pi} = \frac{N \cdot T_{шт-к}}{60 F_{\delta} \cdot \eta_{з.н.}} \text{ [шт.]}, \quad (2.8)$$

F_{δ} – дійсний фонд роботи обладнання ($F_{\delta} = 3890$ год. при роботі в 2 зміни);

$\eta_{з.н.}$ – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання ($\eta_{з.н.} = 0,85$ для середносерійного виробництва [2, 4]).

$$C_{p1-2} = \frac{4500 \cdot 2,69}{60 \cdot 3890 \cdot 0,85} = 0,061 \text{ (шт.)} \quad C_{p1-2np} = 1;$$

$$C_{p3-7} = \frac{4500 \cdot 4,05}{60 \cdot 3890 \cdot 0,85} = 0,092 \text{ (шт.)} \quad C_{p3-7np} = 1.$$

Отже, для виконання кожного з переходів достатньо одного верстата.

Коефіцієнт завантаження обладнання

$$\eta_{з.ф.} = \frac{C_{pi}}{C_{npi}}. \quad (2.9)$$

$$\eta_{з.ф.1-2} = \frac{0,061}{1} = 0,061; \quad \eta_{з.ф.3-7} = \frac{0,092}{1} = 0,092.$$

Результати розрахунків наведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахунок коефіцієнта закріплення операцій

Переходи обробки	$T_{осн}$, хв.	φ_k	$T_{шт-к}$, хв.	C_p , шт.	C_{np} , шт.	$\eta_{з.ф.}$	$\eta_{з.н}$	O, шт.	$K_{з.о.}$
Перехід 1	1,1	1,35	2,69	0,061	1	0,061	0,85	14	12
Перехід 2	0,89								
Перехід 3	0,23	1,35	4,05	0,092	1	0,092	0,85	10	
Перехід 4	0,63								
Перехід 5	0,67								
Перехід 6	0,81								
Перехід 7	0,66								

Число операцій, закріплених за кожним робочим місцем

$$O_i = \frac{\eta_{з.н}}{\eta_{з.ф.i}} \text{ [шт.]}; \quad (2.10)$$

$$O_{1-2} = \frac{0,85}{0,061} = 13,9 \approx 14 \text{ (шт.)}; \quad O_{3-7} = \frac{0,85}{0,092} = 9,2 \approx 10 \text{ (шт.)}$$

Отже, коефіцієнт закріплення операцій:

$$K_{z.o.} = \frac{14+10}{1+1} = 12.$$

Оскільки $10 < K_{z.o.} < 20$, то виробництво середносерійне.

Заданий добовий випуск виробів [2, 4]

$$N_o = \frac{N}{254} \text{ [шт.]}, \quad (2.11)$$

де 254 – кількість робочих днів в році.

$$N_o = \frac{4500}{254} = 17,72 \approx 18 \text{ (шт.)}$$

Розрахункова добова продуктивність потокової лінії

$$Q_o = \frac{F_o}{T_{шт-к.ср}} \cdot \eta_s \text{ [шт.]}, \quad (2.12)$$

де $T_{шт-к.ср}$ – середній штучно-калькуляційний час виконуваних операцій, хв.;

F_o – добовий фонд часу роботи обладнання ($F_o = 952$ хв.);

η_s – нормативний добовий коефіцієнт завантаження потокової лінії ($\eta_s = 0,75$).

$$T_{шт-к.ср} = \frac{2,69 + 4,05}{2} = 3,37 \text{ (хв.)};$$

$$Q_o = \frac{952}{3,37} \cdot 0,75 = 211,9 \approx 212 \text{ (шт.)}$$

Оскільки $N_o = 18 < Q_o = 212$ шт., то організація потокової лінії недоцільна.

Тоді кількість заготовок в партії для одночасного запуску:

$$n = \frac{N \cdot t}{254} \text{ [шт.]}, \quad (2.13)$$

де t – періодичність запуску деталей на обробку в днях (для серійного виробництва прийнято 2 дні).

$$n = \frac{4500 \cdot 2}{254} = 35,4 \text{ (шт.)}, \text{ приймаємо } n = 36 \text{ шт.}$$

Розрахункова кількість змін, яка необхідна на виготовлення партії деталей на основних робочих місцях

$$C_{зм} = \frac{T_{шт-к_{оп}} \cdot n}{476 \cdot 0,75} = \frac{3,37 \cdot 36}{476 \cdot 0,75} = 0,34 \text{ (зміни)};$$

де 476 – ефективний фонд часу роботи обладнання в зміну, хв.

Приймаємо $C_{зм} = 1$ зміна.

Кількість заготовок в партії для завантаження обладнання протягом цілого числа змін

$$n = \frac{C_{зм} \cdot 476 \cdot 0,75}{T_{шт-к_{оп}}} = \frac{1 \cdot 476 \cdot 0,75}{3,37} = 105,9 \text{ (шт.)}$$

Прийнято $n = 106$ шт.

Отже, тип виробництва – середньосерійний, форма організації роботи – групова, при цьому кількість заготовок в партії складає 106 шт.

2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки

2.3.1 Вибір альтернативних способів виготовлення заготовки [6-8]

Вихідними умовами є:

- річна програма випуску $N = 4500$ шт.;
- тип виробництва – середньосерійний;
- матеріал деталі – сірий чавун СЧ20;
- маса деталі 3,9 кг;
- габаритні розміри деталі – $L_{\max}=186$ мм; $L_{\min}=11 \pm 1$ мм.

Метод виготовлення заготовки – лиття, оскільки деталь виготовляється з сірого чавуну СЧ20 [6, 7].

Можливих способів виготовлення заготовки було вибрано три – це лиття в піщано-глинисті форми, лиття в облицьований кокіль та лиття в оболонкові форми.

Проаналізувавши можливі способи отримання заготовки, до розгляду остаточно прийнято: лиття в піщано-глинисті форми (ПГФ) з машинним формуванням та лиття в ПГФ з ручним формуванням. Ці способи найбільше відповідають середньосерійному виробництву так як конфігурація деталі досить складна і очікувалось, що саме ці способи виявляться дешевшими.

2.3.2 Розрахунок розмірів заготовки для двох способів її виготовлення [7, 8]

Розміри заготовки визначимо шляхом призначення табличних значень припусків згідно з [6-8].

Вихідні параметрів заготовки, що характеризують її точність показано в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Параметри точності методів отримання заготовок [7, 8]

Параметри точності	Лиття в ПГФ з ручним формуванням		Лиття в ПГФ з машинним формуванням	
	Згідно з [8]	Прийнято	Згідно з [8]	Прийнято
Клас розмірної точності	8-13т	10	7-12	9
Ступінь жолоблення елементів виливки	5-8	7	5-8	6
Ступінь точності поверхні виливка	10-17	12	10-17	11
Шорсткість поверхонь виливка	Ra	25,0	Ra	20,0
Клас точності маси	7-14	10	6-13	9
Ряд припусків	4-7	6	4-7	5

Таблиця 2.5 – Розрахунок розмірів виливка [7, 8]

Лиття в ПГФ з ручним формуванням суміші				
Розрахункові розміри	159*	Ø90H7 ^{+0,035}	72±0,5	Ø20H8 ^{+0,033}
Допуски				
Розмірів	3,2	2,8	2,8	2,0
Форми чи розміщення	0,8	0,64	0,64	0,64
Зміщення по площині рознімання	1,2	–	1,8	–
Зміщення через перекіс стрижня	-	1,1	–	1
Допуски маси	5,0%			
Допуски нерівностей	0,50			
Загальний допуск	3,6	4,0	4,0	2,40
Припуски				
Припуск мінімальний	0,6			
Припуск загальний	3.8	5.3	4.3	3.6
Кількість переходів механічної обробки				
По точності розмірів	1	4	1	4
По відхиленням форми, відносного розташування поверхонь	–	2	2	3
Прийнята кількість переходів	1	4	2	4
Розміри заготовки	166,6	Ø79,4	76,3	Ø12,8

Таблиця 2.6 – Розрахунок розмірів вилівка [7, 8]

Лиття в ПГФ з машинним формуванням суміші				
Розрахункові розміри	159*	$\text{Ø}90\text{H}7^{(+0,035)}$	$72\pm 0,5$	$\text{Ø}20\text{H}8^{(+0,033)}$
1	2	3	4	5
Допуски				
Розмірів	2,4	2,2	2,2	1,6
Форми чи розміщення	0,5	0,4	0,4	0,40
Зміщення по площині роз'єму	1,2	–	1,2	–
Зміщення через перекіс стержня	–	0,9	–	0,8
Допуски маси	4.0%			
Допуски нерівностей	0,4			
Загальний допуск	2,8	2,8	2,8	2
Припуски				
Припуск мінімальний	0,5			
Припуск загальний	3,0	3.8	2.2	3.0
	Кількість переходів механічної обробки			
По точності розмірів	1	4	1	4
По відхиленням форми, взаємного розміщення поверхонь	–	2	–	2
Прийнята кількість переходів	1	4	1	4
Розміри заготовки	165	$\text{Ø}82,6$	74,4	$\text{Ø}14,0$

2.3.3 Оформлення ескізів двох варіантів заготовок

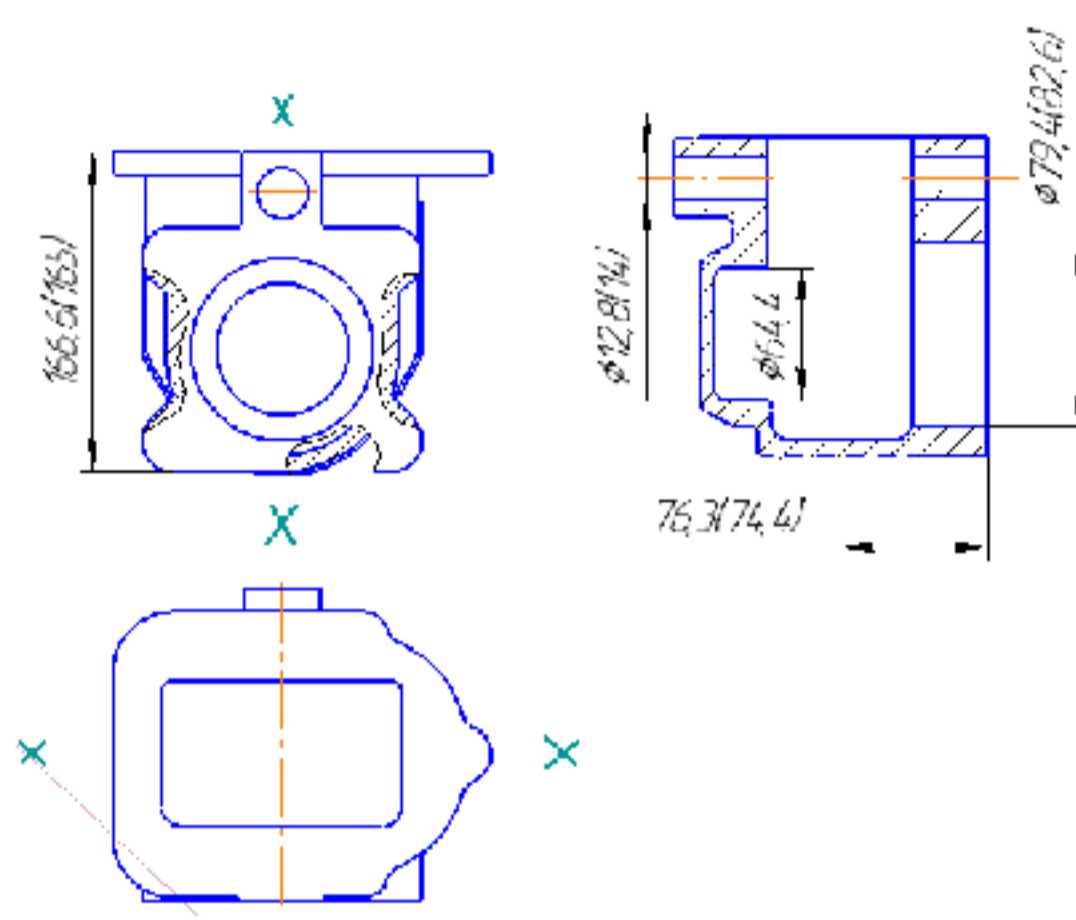


Рисунок 2.2 – Ескіз заготовки, при литті в ПГФ з ручним формуванням
(при литті в ПГФ з машинним формуванням)

Технічні вимоги для виливка, виготовленого литтям в ПГФ з ручним формуванням суміші:

1. Точність виливка 10 – 7 – 12 – 10 Зм. 0,4 ГОСТ 26645-85.
2. Маса 0,4 – 3,4 – 0,5 – 0,96 ГОСТ 26645-85.
3. Допускаються раковини, пустоти на глибині $\varnothing 2.6$ мм.
4. Невказані радіуси, заокруглення, нахили 2-3 мм.

Технічні вимоги для виливка, виготовленого литтям в ПГФ з машинним формуванням суміші:

1. Точність виливка 9 – 6 – 11 – 9 Зм. 0,64 ГОСТ 26645-85.
2. Маса 0,4 – 5,1 – 0,5 – 1,28 ГОСТ 26645-85.
3. Допускаються раковини, пустоти на глибині $\varnothing 2.6$ мм.
4. Невказані радіуси, заокруглення, нахили 2-3 мм.

2.3.4 Розрахунок маси і коефіцієнтів точності маси заготовки

Коефіцієнт точності маси заготовки

$$K_{Т.М.} = \frac{Q_{дет}}{Q_{заг}}, \quad (2.14)$$

де $Q_{дет}$ – маса деталі, кг (приймається згідно з кресленням деталі);

$Q_{заг}$ – маса заготовки, кг.

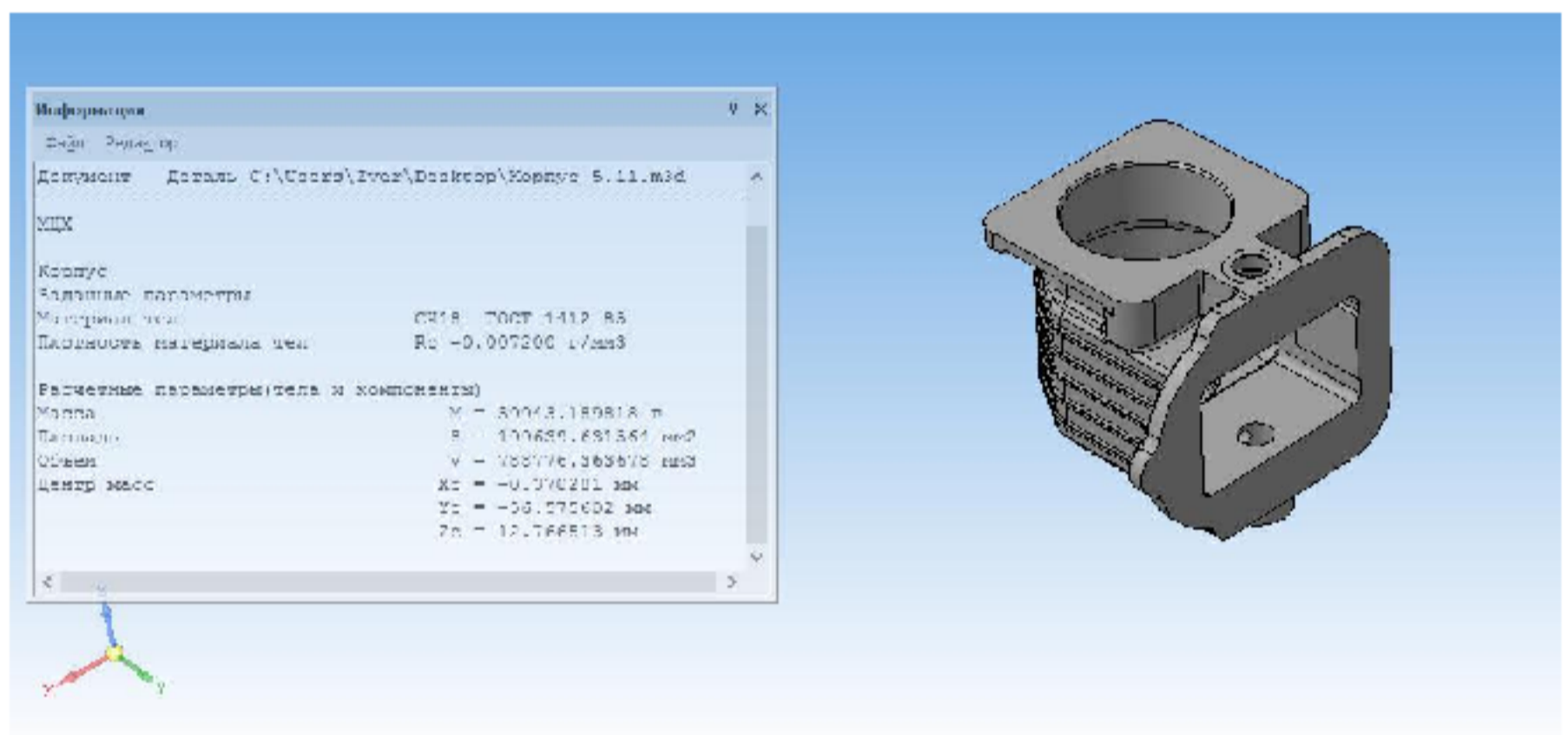


Рисунок 2.3 – Результат визначення масо-центрувальних характеристик (МЦХ) виливка в ПГФ з ручним формуванням суміші з використанням 3D-моделювання

Маса $Q_{заг} = 5,99$ кг.

Коефіцієнт використання матеріалу заготовки: $\gamma = 3,9/5,99 = 0,65$.

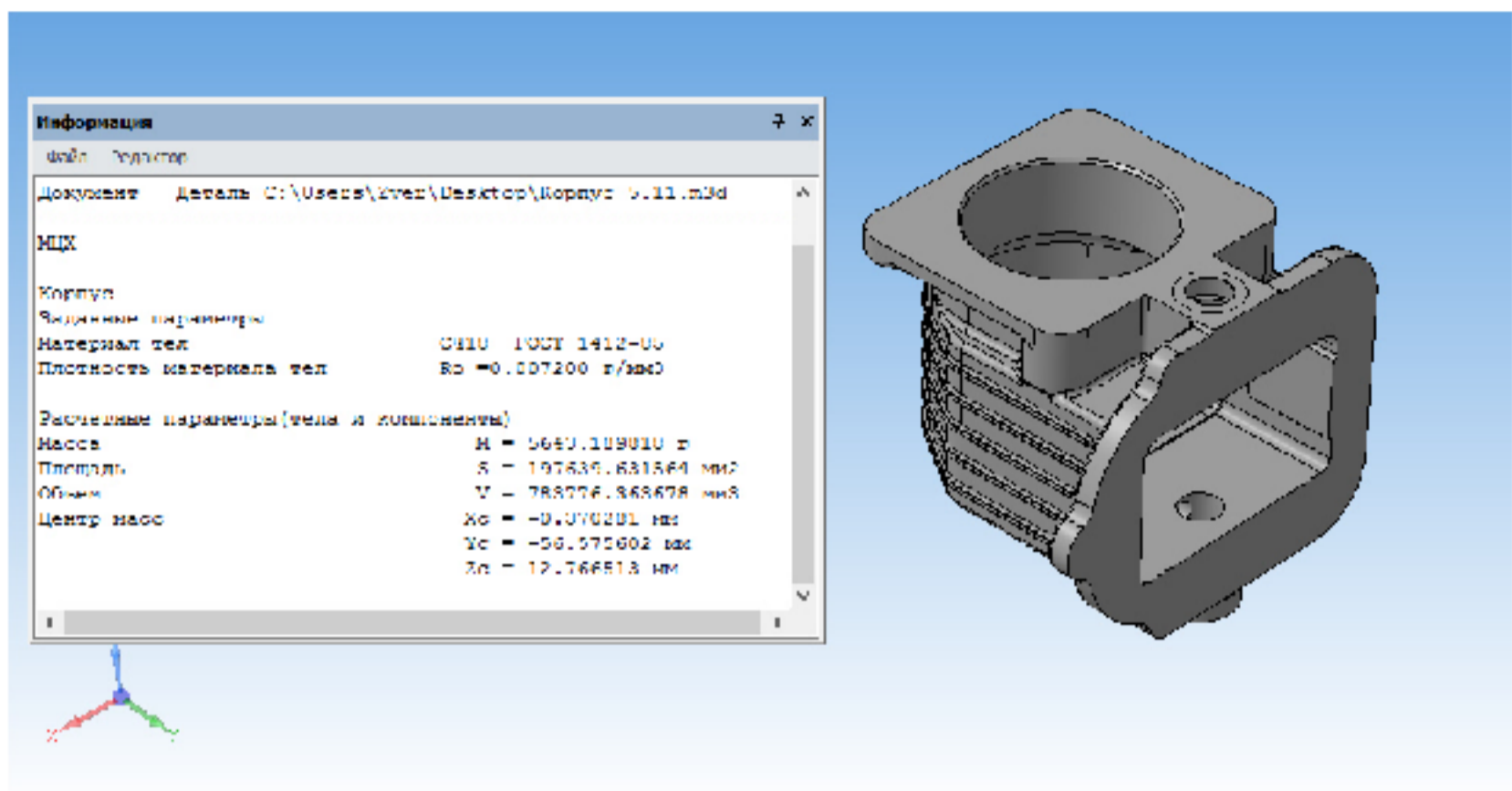


Рисунок 2.4 – Результат визначення МЦХ вилівка в ПГФ з машинним формуванням суміші з використанням 3D-моделювання

Маса $Q_{\text{заг}} = 5,64$ кг.

Коефіцієнт використання матеріалу заготовки: $\gamma = 3,9/5,64 = 0,69$.

2.3.5 Техніко-економічне порівняння варіантів виготовлення заготовки

Вартість заготовки [7, 8]:

$$C_{\text{заг}} = \frac{C_{\text{л}}}{1000} \cdot Q_{\text{заг}} \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_{II} - (Q_{\text{заг}} - Q_{\text{дет}}) \frac{C_{\text{відх}}}{1000} \text{ [грн.]}. \quad (2.14)$$

Позначення складових рівняння (2.14) наведено в [7, 8].

Таблиця 2.7 – Показники для визначення вартості заготовки

Коефіцієнти	Лиття в ПГФ з ручним формуванням суміші	Лиття в ПГФ з машинним формуванням суміші
$C_{\text{л}}$	46800 грн.	46800 грн.
K_T	1,05	1,05
K_M	1,04	1,04
K_C	1.2	1.2
K_B	0,91	0,91
K_{II}	1	1

Собівартість вилівка в ПГФ з ручним формуванням суміші:

$$C_{\text{заг.рук.}} = \frac{5,99}{1000} \cdot 46800 \cdot 1,05 \cdot 1,04 \cdot 1 \cdot 0,91 \cdot 0,52 - \frac{(5,99 - 3,9)}{1000} \cdot 1900 = 330,31 \text{ (грн.)}$$

Собівартість вилівка в ПГФ з машинним формуванням суміші:

$$C_{\text{заг.лит}} = \frac{5,64}{1000} \cdot 46800 \cdot 1,05 \cdot 1,04 \cdot 1 \cdot 0,91 \cdot 0,52 - \frac{(5,64 - 3,9)}{1000} \cdot 1900 = 311,44 \text{ (грн.)}$$

Економічний ефект від використання лиття в ПГФ з машинним формуванням суміші

$$E = (C_{\text{заг.рук.}} - C_{\text{заг.машк.}}) \cdot N \text{ [грн.]}, \quad (2.15)$$

$$E = (330,31 - 311,44) \cdot 4500 = 84915 \text{ (грн.)}$$

З розрахунку вартості заготовок випливає, що вартість заготовки, виготовленої в ПГФ з ручним формуванням суміші більша, ніж заготовки, виготовлено литтям в ПГФ з машинним формуванням суміші.

Виявлено також, що коефіцієнт використання матеріалу при литті в ПГФ з ручним формуванням суміші, менший, ніж при литті в ПГФ з машинним формуванням. Собівартість заготовки при литті ПГФ з ручним формуванням форми більша, ніж при литті в ПГФ з машинним формуванням на 18,87 грн.

Оскільки лиття в ПГФ з машинним формуванням має переваги над литтям в ПГФ з ручним формування за коефіцієнтом використання матеріалу та має меншу вартість виготовлення, то остаточно вибрано як спосіб виготовлення вихідної заготовки – лиття в ПГФ з машинним формуванням суміші.

2.4 Вибір методів, послідовності та кількості переходів для обробки окремих поверхонь

Визначимо послідовність та число переходів для обробки циліндричної поверхні $\varnothing 72H7^{(+0,030)}$ (ІТ 7) з шорсткістю $Ra = 3,2$ мкм.

Заготовка – лиття в ПГФ з машинним формуванням суміші, допуск заготовки на розмір $\varnothing 72H7^{(+0,030)}$ $T_{заг} = 2800$ мкм, допуск деталі $T_{дет} = 30$ мкм.

Визначимо загальний коефіцієнт уточнення [4, 5]:

$$\varepsilon = \frac{T_{заг}}{T_{дет}} = \frac{T_3}{T_1} \cdot \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{T_2}{T_3} \dots = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \dots, \quad (2.16)$$

$$\varepsilon = \frac{2800}{30} = 93,$$

де ε_i – коефіцієнти уточнення для переходів механічної обробки.

Прийнято чотири переходи обробки.

Тоді

$$\varepsilon_1 = 6; \varepsilon_2 = 4; \varepsilon_3 = 2,5; \varepsilon_4 = 1,56.$$

Допуски проміжних технологічних розмірів:

$$T_1 = \frac{2800}{6} = 466,67 \text{ (мкм)} (\approx \text{ІТ } 13);$$

$$T_2 = \frac{466,67}{4} = 116,67 \text{ (мкм)} (\approx \text{ІТ } 10);$$

$$T_3 = \frac{116,67}{2,5} = 46,67 \text{ (мкм)} (\approx \text{ІТ } 8);$$

$$T_4 = \frac{46,67}{1,56} = 30 \text{ (мкм)} (\text{ІТ } 7).$$

Прийнято остаточно чотири переходи розточування отвору $\varnothing 72H7^{(+0,030)}$:
чорнове, напівчистове, чистове і тонке.

Методи обробки інших поверхонь з підвищеними вимогами точності показано в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Способи і кількість переходів механічної обробки найточніших поверхонь

Розмір	Шорсткість, мкм	Вид механічної обробки	Квалітет
$\varnothing 90H7^{(+0,035)}$	<i>Ra</i> 3,2	Розточування: - чорнове - напівчистове - чистове - тонке	13 10 8 7
$\varnothing 72H7^{(+0,003)}$	<i>Ra</i> 3,2	Розточування: - чорнове - напівчистове - чистове - тонке	13 10 8 7
$\varnothing 20H8^{(+0,033)}$	<i>Ra</i> 3,2	Розточування: - чорнове - чистове - тонке	12 9 8
$\varnothing 24H8^{(+0,033)}$	<i>Ra</i> 3,2	Розточування: - чорнове - чистове - тонке	12 9 8
$\varnothing 30H7^{(+0,021)}$	<i>Ra</i> 3,2	Розточування: - чорнове - чистове - тонке	11 8 7
$\varnothing 24,7H9^{(+0,052)}$	<i>Ra</i> 3,2	Розточування: - чорнове - чистове - тонке	12 10 9

2.5 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чорнових і чистових технологічних баз

Як чистові технологічні бази вибрані площина основи та два отвори. Установлення заготовки відбуватиметься на площину та два пальці – круглий і зрізаний.

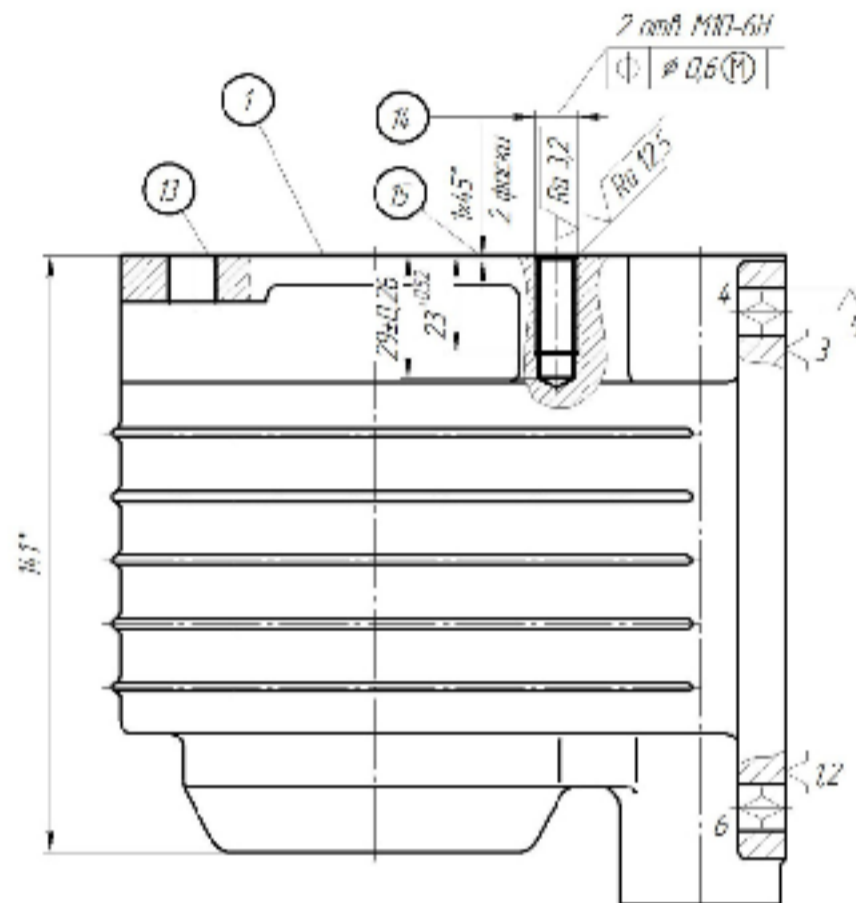


Рисунок 2.5 – Чистові технологічні бази (операція 010)

Таблиця 2.9 – Результати аналізу похибки базування на операції 010

Розмір, мм	Відсутність чи наявність похибки базування	Фактор, який забезпечує відсутність чи зумовлює наявність похибки базування
$20 \pm 0,02$	відсутня	Дотримання принципу суміщення баз
$77 \pm 0,08$	відсутня	Обробка з одного установа
$72 \pm 0,5$	відсутня	Обробка з одного установа
$12 \pm 0,4$	відсутня	Обробка з одного установа
$16^{+0,4}$	відсутня	Обробка з одного установа
$122 \pm 0,2$	відсутня	Обробка з одного установа
$6^{+0,3}$	відсутня	Обробка з одного установа
$25 \pm 0,15$	відсутня	Обробка з одного установа
$29 \pm 0,26$	відсутня	Обробка з одного установа

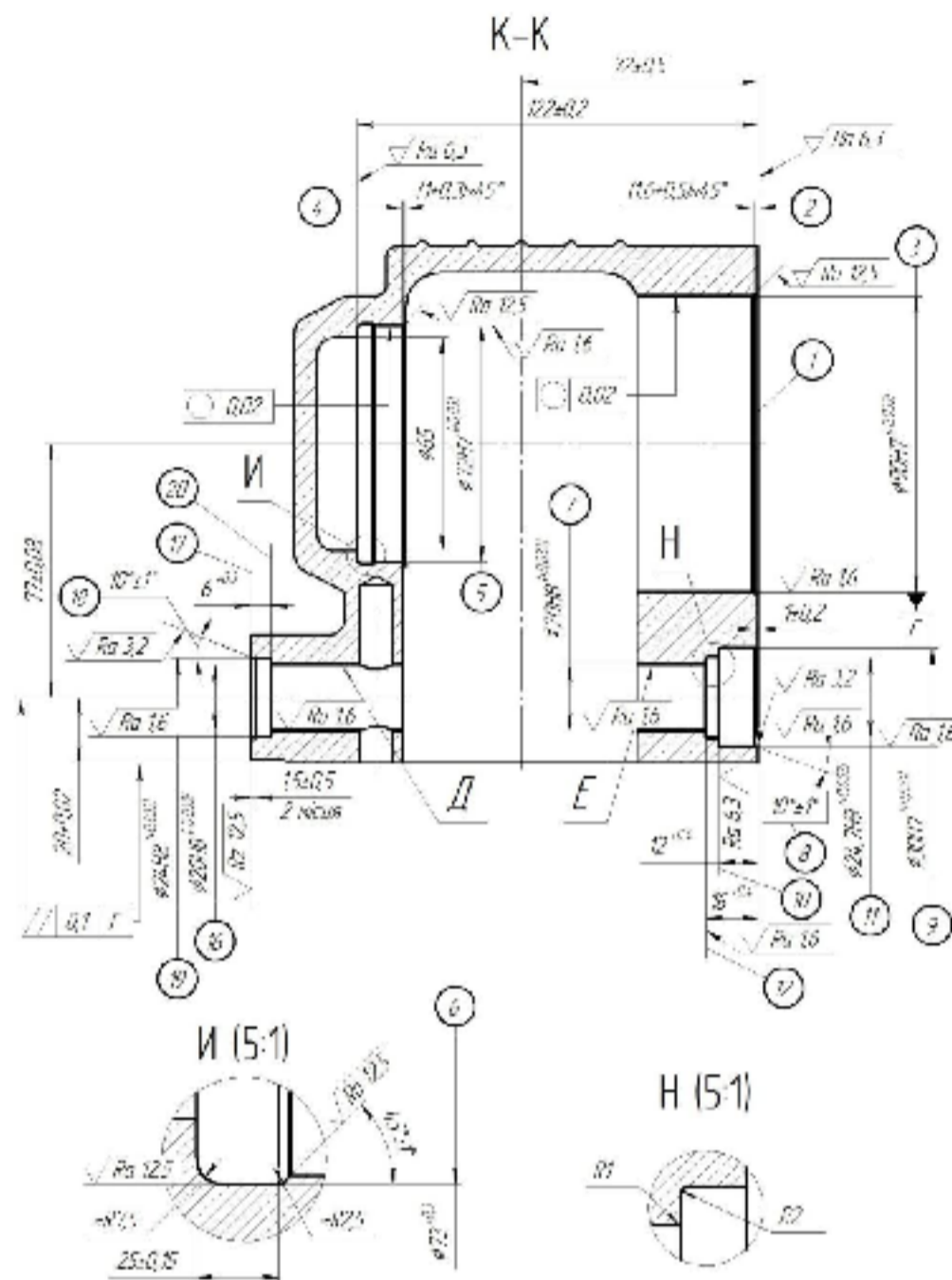


Рисунок 2.6 – Чистові технологічні бази (операція 010) (продовження)

З результати аналізу похибки базування на операції 010 (таблиця 2.9) випливає, що на точність ні на одного з розмірів, які забезпечуються обробкою на цій операції, похибка базування не впливає. Більшість з цих розмірів отримуються обробкою відповідних поверхонь з одного установка, а відсутність похтбки базування на решту розмірів забезпечується дотриманням принципу суміщення баз.

Під час вибору чорнових технологічних баз (рис. 2.6) розв'язується задача забезпечення розмірного зв'язку між обробленими і необробленими поверхнями, а саме – забезпечується точність розмірів 11 мм, 12 мм і 9 мм.

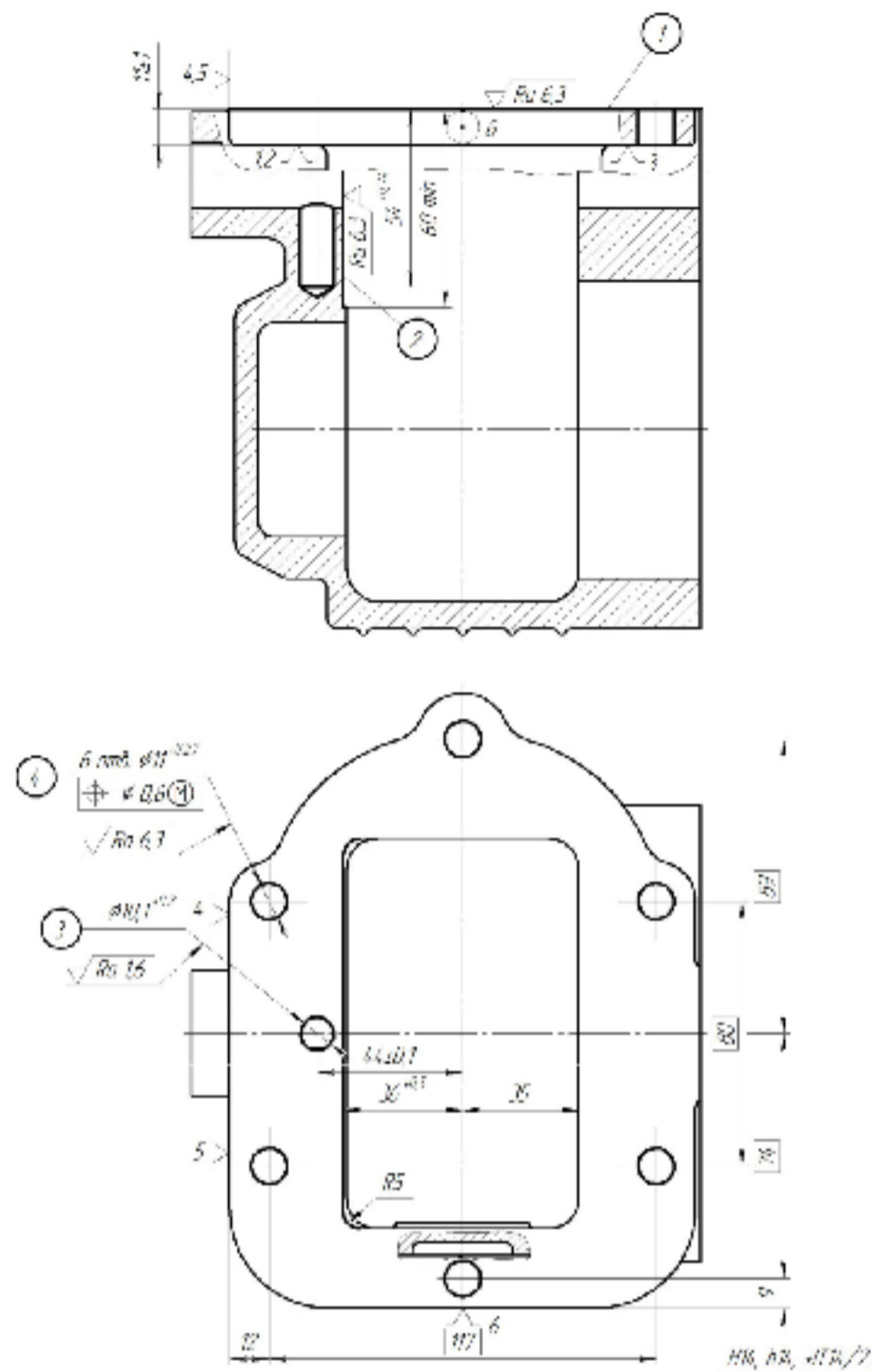
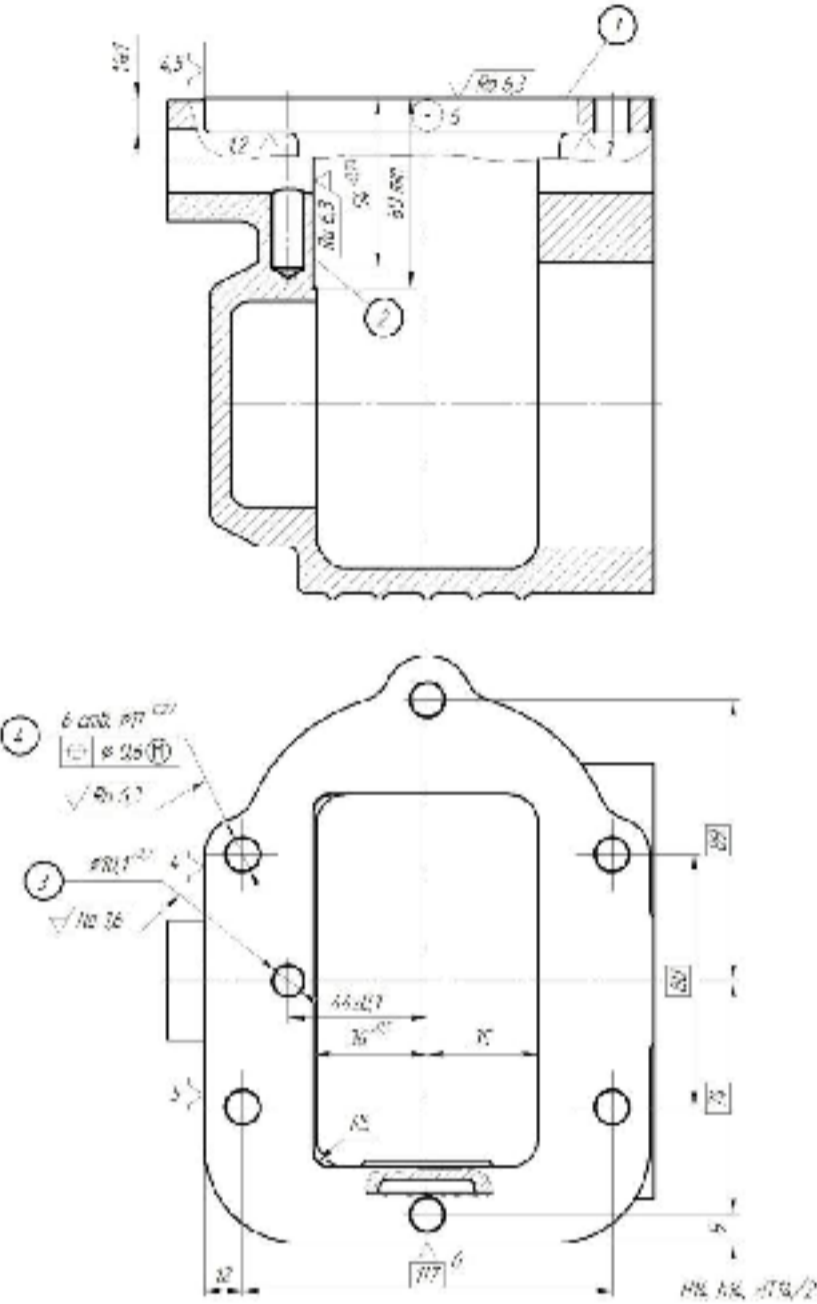
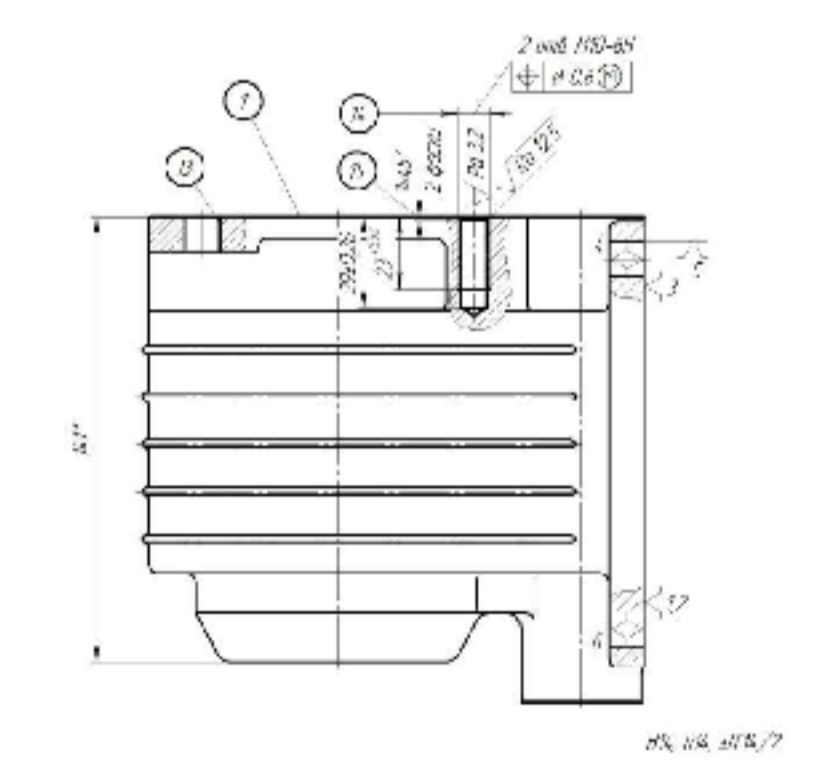


Рисунок 2.6 – Чорнові технологічні бази (операція 005)

2.6 Розробка варіантів маршруту механічної обробки удосконаленого технологічного процесу

Варіанти розроблених маршрутів механічної обробки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010» показані в табл. 2.9-2.10.

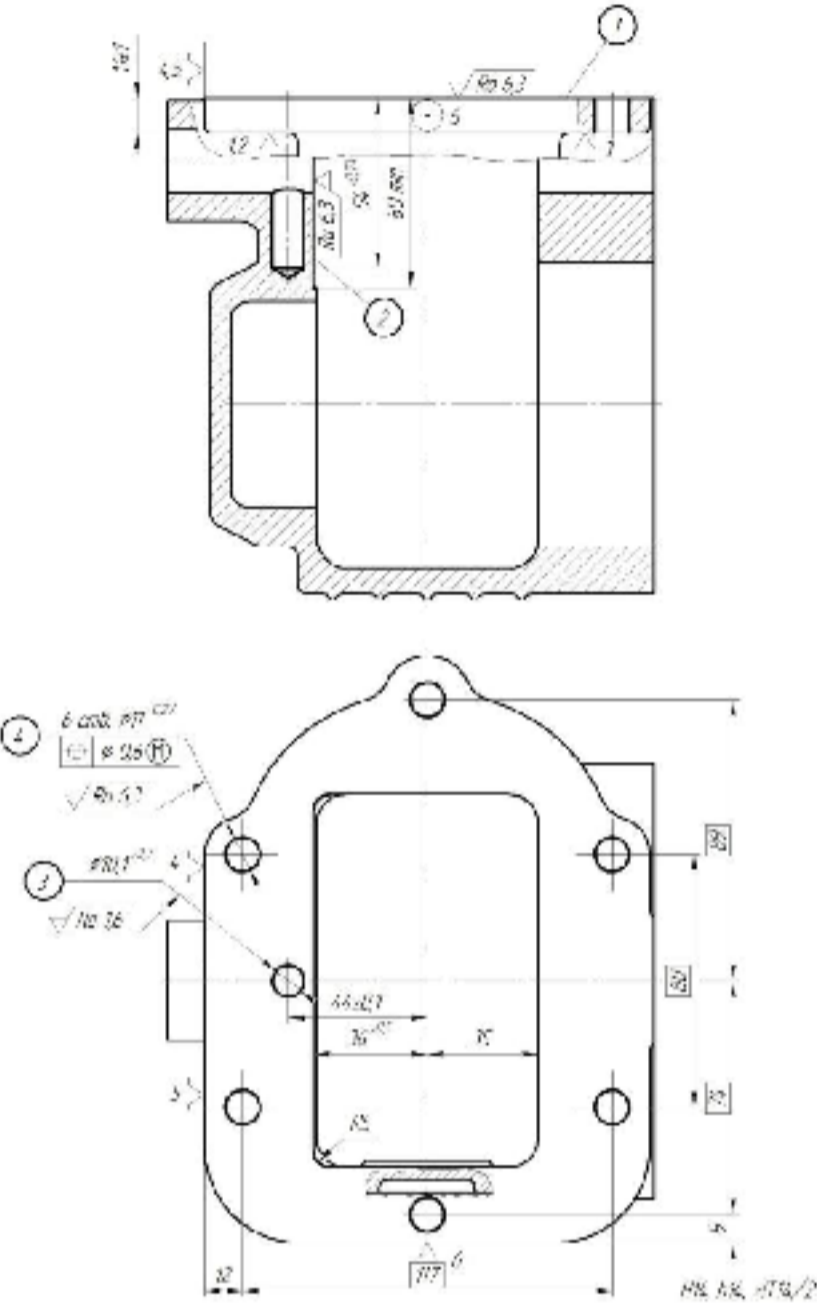
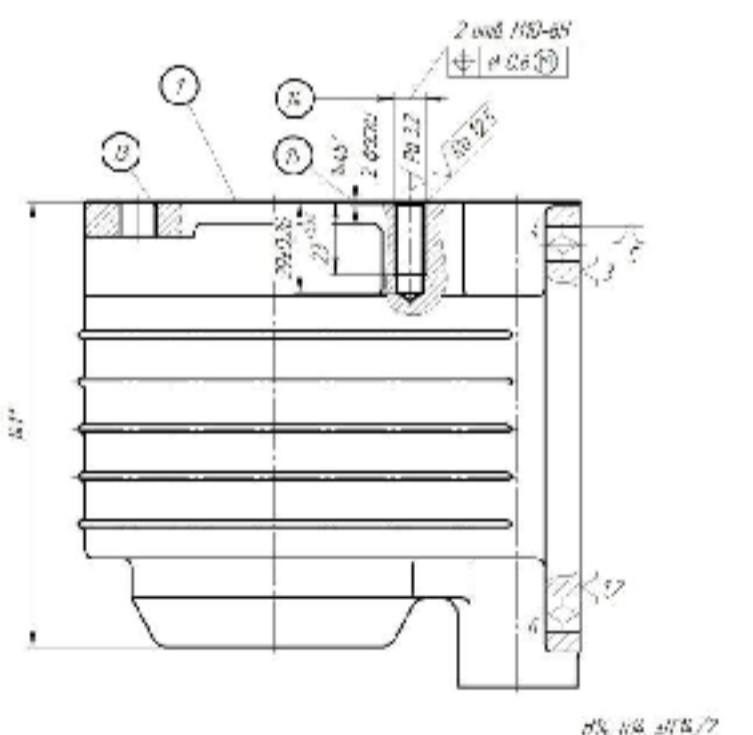
Таблиця 2.9 – Маршрут механічної обробки (I варіант)

№ оп-ції	Назва операції, зміст переходів	Ескіз обробки, схеми визначення	Тип обладнання
005	<p>Вертикально-фрезерна з ЧПК</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити заготовку, закріпити. 2. Фрезерувати площину 1 попередньо. 3. Фрезерувати площину 1 остаточно. 4. Фрезерувати поверхню 2 попередньо. 5. Фрезерувати поверхню 2 остаточно. 6. Центрувати отв. 3 та 6 отв. 4. 7. Свердлити отв. 3. 8. Розвернути отв. 3. 9. Свердлити 6 отв. 4. 10. Зняти заготовку. 		Вертикально-фрезерний з ЧПК ЛТ76СМФ3
010	<p>Комбінована з ЧПК</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити заготовку, закріпити. 2. Фрезерувати площину 1 попередньо. 3. Фрезерувати площину 1 остаточно. 4. Фрезерувати фаску 2, отвір 3, фаску 4, отвір 5 одноразово. 5. Фрезерувати канавку 6 одноразово. 6. Розточити отвір 3 попередньо. 7. Розточити отвір 3 попередньо. 8. Розточити отвір 3 остаточно. 9. Розточити отвір 5 попередньо. 10. Розточити отвір 5 попередньо. 11. Розточити отвір 5 остаточно. 12. Розточити отвір 7 попередньо. 13. Розточити отвір 7 попередньо. 14. Розточити отвір 7 остаточно. 15. Фрезерувати фаску 8, отвір 9, торці 10 одноразово. 16. Розточити отвір 9 попередньо з підвісним торцем 10 одноразово. 17. Розточити отвір 9 остаточно. 		Вертикальний лазерний з ЧПК HAAS VF-7

Продовження таблиці 2.9

№ оп-ції	Назва операції, зміст переходів	Ескіз обробки, схема базування	Тип обладнання
	<p>18. Розточити отвір 11 попередньо з підняттям торця 12 однією стороною</p> <p>19. Розточити отвір 11 остаточно</p> <p>20. Центрувати 2 отв. 13 та 2 отв. 14.</p> <p>21. Свердлити 2 отв. 13.</p> <p>22. Свердлити 2 отв. 14.</p> <p>23. Зенкувати фаску 15 в 2 отв. 14.</p> <p>24. Нарізати різьбу в 2 отв. 14.</p> <p>25. Підвернути шліф на 180°</p> <p>26. Розточити отвір 16 попередньо</p> <p>27. Розточити отвір 16 попередньо</p> <p>28. Розточити отвір 16 остаточно</p> <p>29. Фрезерувати площину 11 однією стороною</p> <p>30. Фрезерувати фаску 18, отвір 19, торць 20 однією стороною</p> <p>31. Розточити отвір 19 попередньо з підняттям торця 20 однією стороною</p> <p>32. Розточити отвір 19 остаточно</p> <p>33. Дати деталь</p>		

Таблиця 2.10 – Маршрут механічної обробки (II варіант)

№ оп-ції	Назва операції, зміст переходів	Ескіз обробки, схеми визубиння	Тип обладнання
005	<p>Вертикально-фрезерна з ЧПК</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити заготовку, закріпити. 2. Фрезерувати площину 1 попередньо. 3. Фрезерувати площину 1 остаточно. 4. Фрезерувати поверхню 2 попередньо. 5. Фрезерувати поверхню 2 остаточно. 6. Центрувати отв. 3 та 6 отв. 4. 7. Свердлити отв. 3. 8. Розвернути отв. 3. 9. Свердлити 6 отв. 4. 10. Зняти заготовку. 		Вертикально-фрезерний з ЧПК ЛТ76СМФ03
010	<p>Вертикально-фрезерна з ЧПК</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити заготовку, закріпити. 2. Фрезерувати площину 1 попередньо. 3. Фрезерувати площину 1 остаточно. 4. Фрезерувати фаску 2 отвір 3, фаску 4, отвір 5 одноразово. 5. Фрезерувати канавку 6 одноразово. 6. Розточити отвір 3 попередньо. 7. Розточити отвір 3 попередньо. 8. Розточити отвір 3 остаточно. 9. Розточити отвір 5 попередньо. 10. Розточити отвір 5 попередньо. 11. Розточити отвір 5 остаточно. 12. Розточити отвір 7 попередньо. 13. Розточити отвір 7 попередньо. 14. Розточити отвір 7 остаточно. 15. Фрезерувати фаску 8, отвір 9, торць 10 одноразово. 16. Розточити отвір 9 попередньо з підвісним торцем 10 одноразово. 17. Розточити отвір 9 остаточно. 		Вертикально-фрезерний з ЧПК ЛТ76СМФ03

Продовження таблиці 2.10

№ оп-ції	Назва операції, зміст переходів	Ескіз обробки, схема базування	Тип обладнання
	<p>18. Розточити отвір 11 попередньо з підтриманням торця 12 одноразово.</p> <p>19. Розточити отвір 11 остаточно.</p> <p>20. Центрувати 2 отв. 13 та 2 отв. 14.</p> <p>21. Свердлими 2 отв. 13.</p> <p>22. Свердлими 2 отв. 14.</p> <p>23. Зенкувати фаски 15 в 2 отв. 14.</p> <p>24. Парувати різьбу в 2 отв. 14.</p> <p>25. Зняти заготовку.</p>		
015	<p>Вертикально-фрезерний з ЧПК</p> <p>1. Встановити заготовку, закріпити.</p> <p>2. Розточити отвір 1 попередньо.</p> <p>3. Розточити отвір 1 попередньо.</p> <p>4. Розточити отвір 1 остаточно.</p> <p>5. Фрезерувати площину 2 одноразово.</p> <p>6. Фрезерувати фаску 3, отвір 4, торця 5 одноразово.</p> <p>7. Розточити отвір 4 попередньо з підтриманням торця 5 одноразово.</p> <p>8. Розточити отвір 4 остаточно.</p> <p>9. Зняти деталь.</p>		<p>Боротиско-фрезерний з ЧПК ГТ76.0М03</p>

2.7 Аналіз техніко-економічних показників варіантів технологічних процесів за мінімумом приведених витрат

Операційна технологічна собівартість механічної обробки [2, 5]:

$$C_o = \frac{C_{n-в} \cdot T_{шт-к}}{60 \cdot k_B} \text{ [грн.]}, \quad (2.17)$$

де $C_{n-в}$ – приведені годинні витрати роботи верстата, грн./год.;

$T_{шт-к}$ – штучно-калькуляційний час;

$k_B = 1,3$ – коефіцієнт виконання норм.

Виконано нормування операцій для варіантів маршруту механічної обробки. Результати розрахунку за наближеними формулами основного часу показано в таблицях 2.11-2.13.

Таблиця 2.11 – Основний час обробки (I варіант ТП)

Номер, назва операції	Основний час виконання переходу T_o , хв.
005 Вертикально-фрезерна з ЧПК	4,34
010 Комбінована з ЧПК	16,57

Таблиця 2.12 – Основний час (II варіант ТП)

Номер, назва операції	Основний час виконання переходу T_o , хв.
005 Вертикально-фрезерна з ЧПК	4,34
010 Вертикально-фрезерна з ЧПК	12,05
015 Вертикально-фрезерна з ЧПК	4,52

Таблиця 2.13 – Штучно-калькуляційний часу для операцій варіантів ТП

Операції, переходи	T_o , хв.	φ_k	$T_{шт-к}$, хв.
1	2	3	4
I варіант ТП			
005 Вертикально-фрезерна з ЧПК	4,34	1,51	6,55
010 Комбінована з ЧПК	16,57	1,3	21,54

Продовження таблиці 2.13

1	2	3	4
II варіант ТП			
005 Вертикально-фрезерна з ЧПК	4,34	1,51	6,55
010 Вертикально-фрезерна з ЧПК	12,05	1,51	18,2
015 Вертикально-фрезерна з ЧПК	4,52	1,51	6,83

Таблиця 2.14 – Технологічна собівартість операцій

Тип верстату	$T_{шт-к}$, хв.	$C_{п-с}$, грн./хв.	C_o , грн.
I варіант ТП			
ЛТ260МФ3	6,55	80,7	6,78
HAAS VF-2	21,54	88,0	24,3
Всього			31,08
II варіант ТП			
ЛТ260МФ3	6,55	80,7	6,78
ЛТ260МФ3	18,2	80,7	18,83
ЛТ260МФ3	6,83	80,7	7,07
Всього			32,68

В результаті порівняння маршрутів обробки за мінімумом приведених витрат встановлено, що I варіант ТП кращий, ніж II. Річний економічний ефект:

$$E = (C_{o2} - C_{o1}) \cdot N_p \text{ [грн.]}, \quad (2.18)$$

$$E = (32,68 - 31,08) \cdot 4500 = 7200 \text{ (грн.)}$$

Тобто, доцільно використовувати I із запропонованих маршрутів механічної обробки.

2.8 Розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу [5]

2.8.1 Вибір розташування технологічних розмірів

Розташування технологічних розмірів показано на рис. 2.7.

Операція 005. Технологічні розміри B_1 , B_2 забезпечують одержання розміру $K_3 = 11 \pm 1$ мм, виконується принцип суміщення баз.

Операція 010. Технологічні розміри B_3 , B_4 , B_5 і B_6 – виконується обробка з одного установка і забезпечуються розміри $K_1 = 77 \pm 0,08$ мм і $K_4 = 86 \pm 0,435$ мм. Технологічний розмір B_7 забезпечує одержання розміру $K_2 = 20 \pm 0,02$ мм, виконується принцип суміщення баз.

2.8.2 Попереднє визначення допусків технологічних розмірів

Таблиці 2.15 – Допуски розмірів вихідної заготовки і технологічних розмірів

Вихідна заготовка			
Розмір	Спосіб виготовлення	Клас розмірної точності	Допуск, мм
$Z_1 = 77$	Лиття в ПГФ з машинним формуванням суміші	9	1,9
$Z_2 = 17$			1,1
Механічна обробка			
Технологічний розмір	Спосіб обробки	Квалітет точності	Допуск, мм
B_1	Фрезерування попереднє	14	0,43
B_2	Фрезерування остаточне	14	0,43
B_3	Фрезерування однократне	14	0,87
B_4	Розточування попереднє	12	0,35
B_5	Розточування попереднє	11	0,22
B_6	Розточування остаточне	10	0,14
B_7	Зенкерування	14	0,52

2.8.3 Розмірна схема технологічного процесу

Розмірну схему технологічного процесу показано на рис. 2.7.

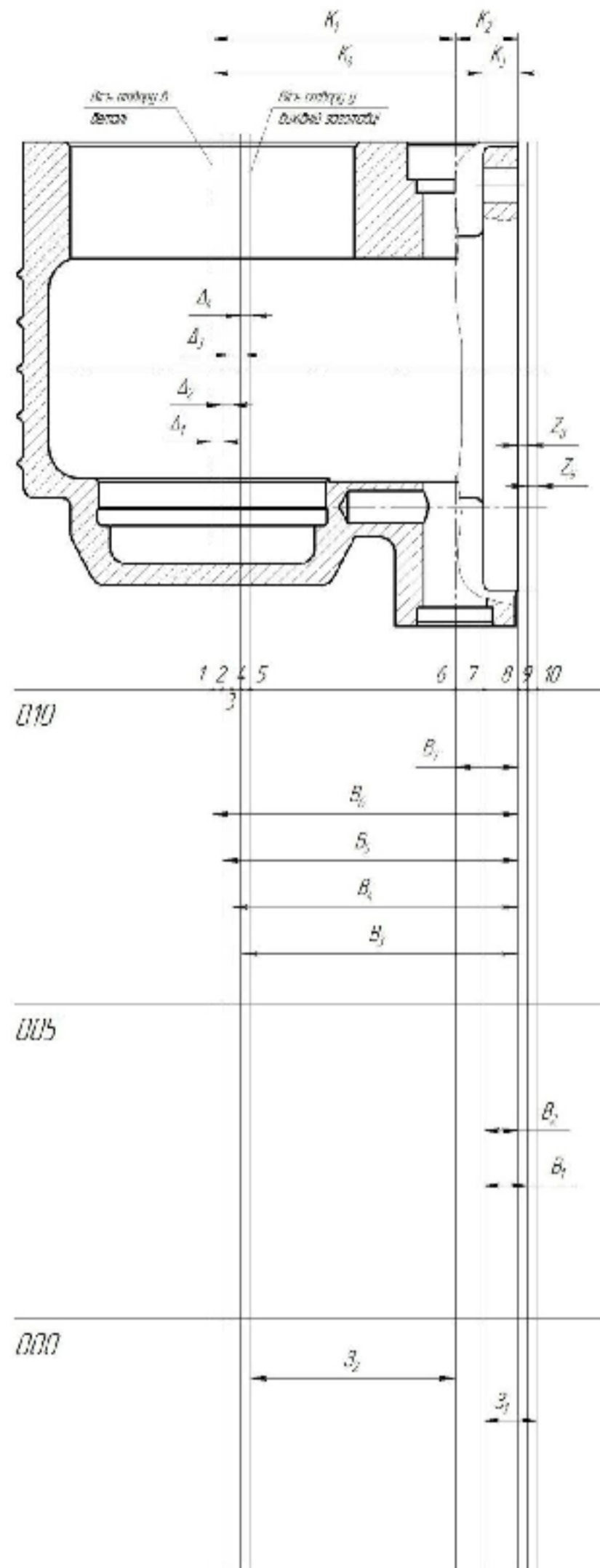


Рисунок 2.7 – Розмірна схема технологічного процесу

2.8.4 Похідний, вихідний граф-дерева, суміщений граф

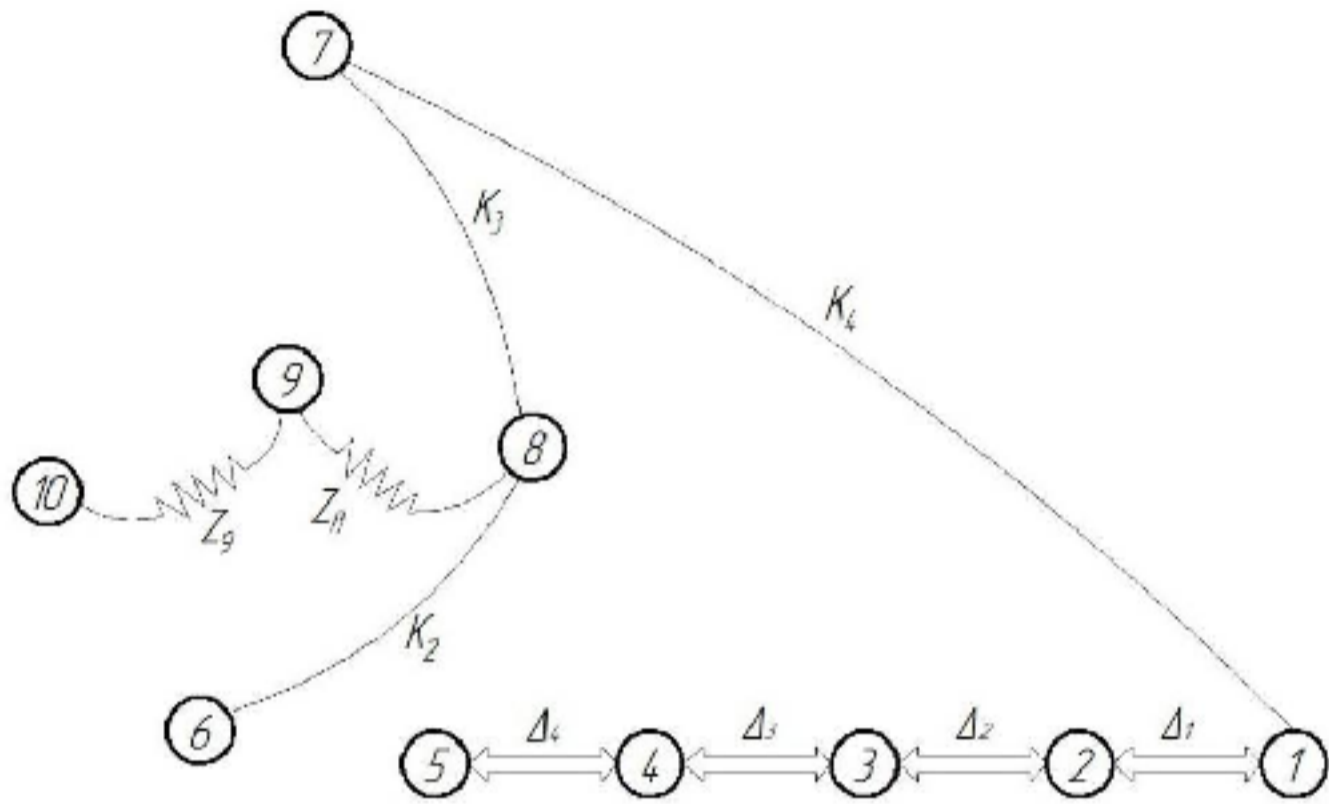


Рисунок 2.8 – Вихідний граф-дерево

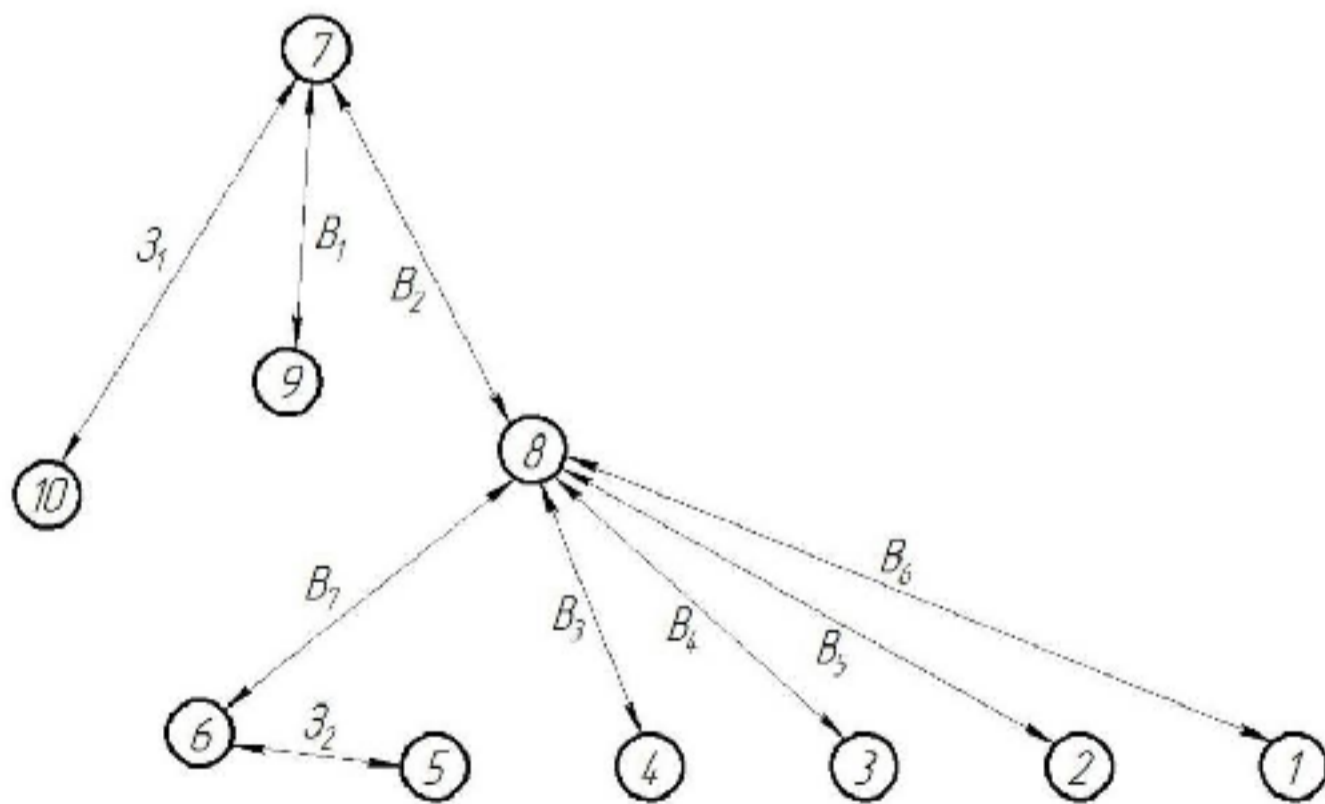


Рисунок 2.9 – Похідний граф-дерево

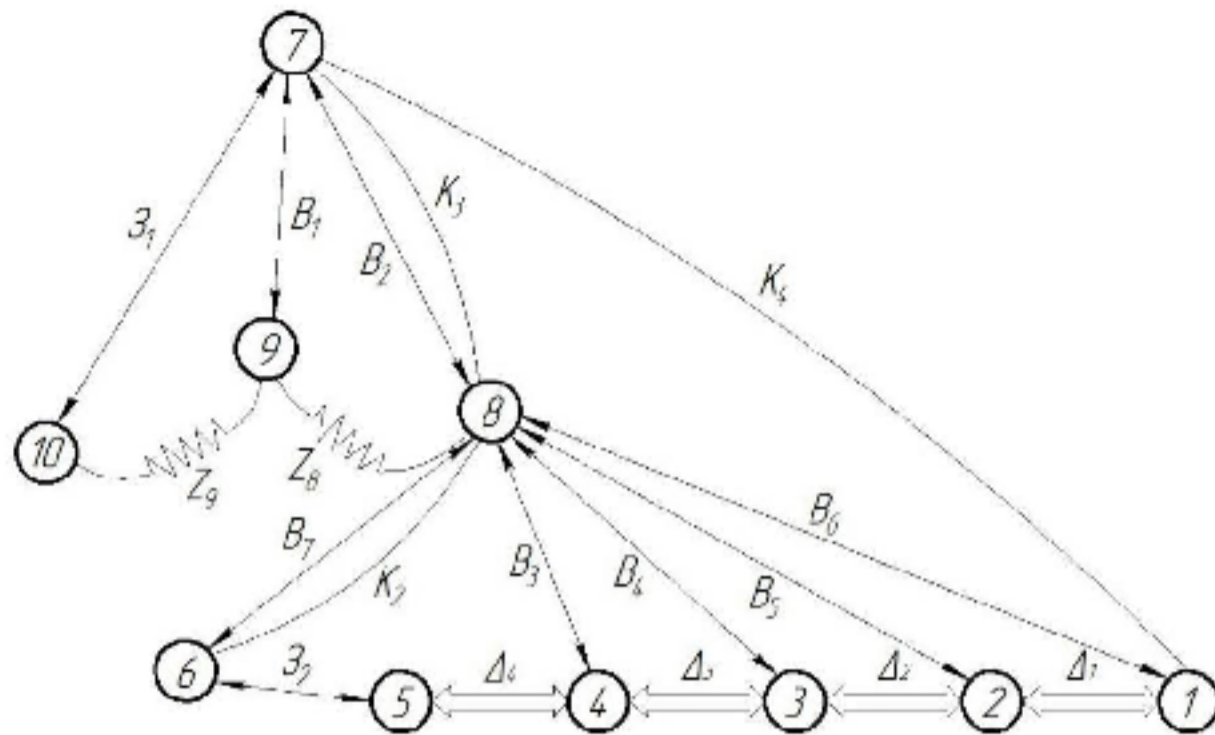


Рисунок 2.10 – Суміщений граф (граф технологічних розмірних ланцюгів)

2.8.5 Таблиця рівнянь технологічних розмірних ланцюгів

Таблиця 2.16 – Рівняня технологічних розмірних ланцюгів

№ п/п	Розрахункове рівняння	Вихідне рівняння	Ланка, що визначається
1	2	3	4
1	$-K_2 + B_7 = 0$	$K_2 = B_7$	B_7
2	$-K_3 + B_2 = 0$	$K_3 = B_2$	B_2
3	$-Z_8 - B_2 + B_1 = 0$	$Z_8 = B_1 - B_2$	B_1
4	$-Z_9 - B_1 + Z_1 = 0$	$Z_9 = Z_1 - B_1$	Z_1
5	$-K_4 + B_6 - B_2 = 0$	$K_4 = B_6 - B_2$	B_6
6	$-\Delta_1 + B_6 - B_5 = 0$	$\Delta_1 = B_6 - B_5$	B_5
7	$-\Delta_2 + B_5 - B_4 = 0$	$\Delta_2 = B_5 - B_4$	B_4
8	$-\Delta_3 + B_4 - B_3 = 0$	$\Delta_3 = B_4 - B_3$	B_3
9	$-\Delta_4 + B_3 - B_7 - Z_2 = 0$	$\Delta_4 = B_3 - B_7 - Z_2$	Z_2

2.8.6 Визначення проміжних мінімальних припусків на механічну обробку плоских поверхонь (за нормативами)

Вибрані значення мінімальних припусків зведено у таблицю 2.17.

Таблиця 2.17 – Значення Z_{\min} для обробки плоских поверхонь

Позначення припуску	Спосіб обробки, під час виконання якої знімається припуск	Кількісне значення мінімального припуску, мм
Z_9	Фрезерування попереднє	1,0
Z_8	Фрезерування остаточне	0,25

2.8.7 Визначення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки, максимальних припусків, корекція допусків технологічних розмірів

$$1. K_2 = B_7;$$

$$B_7 = K_2 = 20 \pm 0,02 \text{ мм.}$$

$$2. K_3 = B_2;$$

$$B_2 = K_3 = 11 \pm 1 \text{ мм.}$$

$$3. Z_8 = B_1 - B_2;$$

$$Z_{8\min} = B_{1\min} - B_{2\max};$$

$$B_{1\min} = Z_{8\min} + B_{2\min} = 0,25 + 10 = 10,25 \text{ (мм);}$$

$$B_{1\max} = B_{1\min} + T(B_1) = 10,25 + 0,43 = 10,68 \text{ (мм);}$$

$$Z_{8\max} = B_{1\max} - B_{2\min} = 10,68 - 10 = 0,68 \text{ (мм).}$$

$$4. Z_9 = 3_1 - B_1;$$

$$Z_{9\min} = 3_{1\min} - B_{1\max};$$

$$3_{1\min} = Z_{9\min} + B_{1\min} = 1,0 + 10,25 = 11,25 \text{ (мм);}$$

$$3_{1\max} = 3_{1\min} + T(3_1) = 11,25 + 1,9 = 13,15 \text{ (мм);}$$

$$Z_{9\max} = 3_{1\max} - B_{1\min} = 13,15 - 10,25 = 2,9 \text{ (мм).}$$

$$5. K_{4\min} = B_{6\min} - B_{2\max};$$

$$B_{6\min} = K_{4\min} + B_{2\min} = 85,565 + 10 = 95,565 \text{ (мм);}$$

$$B_{6\max} = B_{6\min} + T(B_6) = 95,565 + 0,14 = 95,705 \text{ (мм);}$$

$$B_{6\text{ном}} = 95,635 \pm 0,07 \text{ мм.}$$

Перевіримо можливість забезпечення необхідної точності розміру K_4

$$K_{4\max} = B_{6\max} - B_{2\min} = 95,705 - 10 = 85,705 \text{ (мм).}$$

Поле розсіювання розміру K_4

$\delta(K_4) = K_{4\max} - K_{4\min} = 85,705 - 85,565 = 0,14$ (мм) $< T(K_4) = 0,87$ мм – умова виконується, точність розміру K_4 забезпечується.

$$6. \Delta_1 = B_6 - B_5;$$

$$(\Delta_1)_{\text{ном}} = (\Delta_1)_{\text{сер}} = 0;$$

$$B_{6\text{ном}} = B_{6\text{сер}} = B_{5\text{ном}} = B_{5\text{сер}} = 95,635 \text{ мм};$$

$$B_{5\text{ном}} = 95,635 \pm 0,11 \text{ мм}.$$

$$7. \Delta_2 = B_5 - B_4;$$

$$(\Delta_2)_{\text{ном}} = (\Delta_2)_{\text{сер}} = 0;$$

$$B_{5\text{ном}} = B_{5\text{сер}} = B_{4\text{ном}} = B_{4\text{сер}} = 95,635 \text{ мм};$$

$$B_{4\text{ном}} = 95,635 \pm 0,175 \text{ мм}.$$

$$8. \Delta_3 = B_4 - B_3;$$

$$(\Delta_3)_{\text{ном}} = (\Delta_3)_{\text{сер}} = 0;$$

$$B_{4\text{ном}} = B_{4\text{сер}} = B_{3\text{ном}} = B_{3\text{сер}} = 95,635 \text{ мм};$$

$$B_{3\text{ном}} = 95,635 \pm 0,435 \text{ мм}.$$

$$9. \Delta_4 = B_3 - B_7 - 3_2;$$

$$(\Delta_4)_{\text{ном}} = (\Delta_4)_{\text{сер}} = 0;$$

$$B_{3\text{сер}} - B_{7\text{сер}} - 3_{2\text{сер}} = 0;$$

$$3_{2\text{сер}} = B_{3\text{сер}} - B_{7\text{сер}} = 95,635 - 20 = 75,635 \text{ (мм)};$$

$$3_{2\text{ном}} = 75,635 \pm 0,55 \text{ мм}.$$

Результати розрахунків зводено у таблиці 2.18-2.19.

Таблиця 2.18 – Значення припусків, мм

Припуски		Z_8	Z_9
Граничні значення	Z_{\min}	0,25	1,0
	Z_{\max}	0,68	2,9

Таблиця 2.19 – Результати розмірного аналізу, мм

Поначення розміру	Граничні значення розмірів		Допуск	Номінальний розмір	Значення розміру в технологічному документі	Значення розміру на кресленні вихідної заготовки
	min розмір	max розмір				
B ₁	10,25	10,68	0,43	10,68	10,68 _{-0,43}	-
B ₂	10	11	2,0	11	11±1	-
B ₃	95,2	96,07	0,87	95,635	95,635±0,435	-
B ₄	95,46	95,81	0,35	95,635	95,635±0,175	-
B ₅	95,525	95,745	0,22	95,635	95,635±0,11	-
B ₆	95,565	95,705	0,14	95,635	95,635±0,07	-
B ₇	19,98	20,02	0,04	20	20±0,02	-
Z ₁	11,25	13,15	1,9	12,2	-	12,2±0,95
Z ₂	75,085	76,185	1,1	75,635	-	75,635±0,55

2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів

2.9.1 Визначення розрахунково-аналітичним методом припусків і технологічних розмірів на механічну обробку поверхні $\varnothing 72H7^{(+0,030)}$ [2, 5]

Заготовкою для данної деталі є вилівок. Обробка проводиться в спеціальному пристосуванні при встановленні заготовки на площину і два пальці (круглий та зрізаний).

Маршрут обробки отвору $\varnothing 72H7^{(+0,030)}$ складається з чотирьох переходів розточування:

- чорнового;
- напівчистового;
- чистового;
- тонкого.

Мінімальний проміжний припуск для обробки циліндричної поверхні [2, 5]:

$$2Z_{i\min} = 2(R_{Z_{i-1}} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{sd}^2}) \text{ [мкм]}, \quad (2.19)$$

де i – порядковий номер виконуваного технологічного переходу; $R_{z_{i-1}}$, h_{i-1} , ρ_{i-1} – відповідно висота мікронерівностей, глибина дефектного шару та просторові відхилення оброблюваної поверхні (відносно технологічних баз), які утворились на технологічному переході, що передусе виконуваному; ε_{ei} – похибка встановлення заготовки у верстатний пристрій, яка виникає на виконуваному технологічному переході.

Згідно з [2] сумарне значення R_z і h складає 600 мкм. Після першого технологічного переходу h для заготовок деталей із сірого чавуну не враховується в подальших розрахунках.

Сумарне значення просторових відхилень

$$\rho_{заг} = \sqrt{\rho_{жол}^2 + \rho_{зм}^2} \text{ [мкм]}, \quad (2.20)$$

де $\rho_{жол}$ – відхилення поверхні вихідної заготовки від правильної геометричної форми (циліндричності), спричинені жолобленням, мкм;

$\rho_{зм}$ – зміщення осі отвору поверхні вихідної заготовки відносно технологічних баз, мкм.

Жолоблення отвору складає

$$\rho_{жол} = \sqrt{(\Delta_{жс} \cdot D)^2 + (\Delta_{жс} \cdot L)^2} \text{ [мкм]}, \quad (2.21)$$

де $\Delta_{жс}$ – питоме жолоблення;

D і L – відповідно діаметр і довжина отвору.

Згідно з [2] прийнято $\Delta_{жс} = 0,7$ мкм/мм.

Отже,

$$\rho_{жол} = \sqrt{(0,7 \cdot 72)^2 + (0,7 \cdot 26)^2} = 54 \text{ (мкм)}.$$

Для визначення величини $\rho_{зм}$ розглянемо ескіз обробки на першій операції.

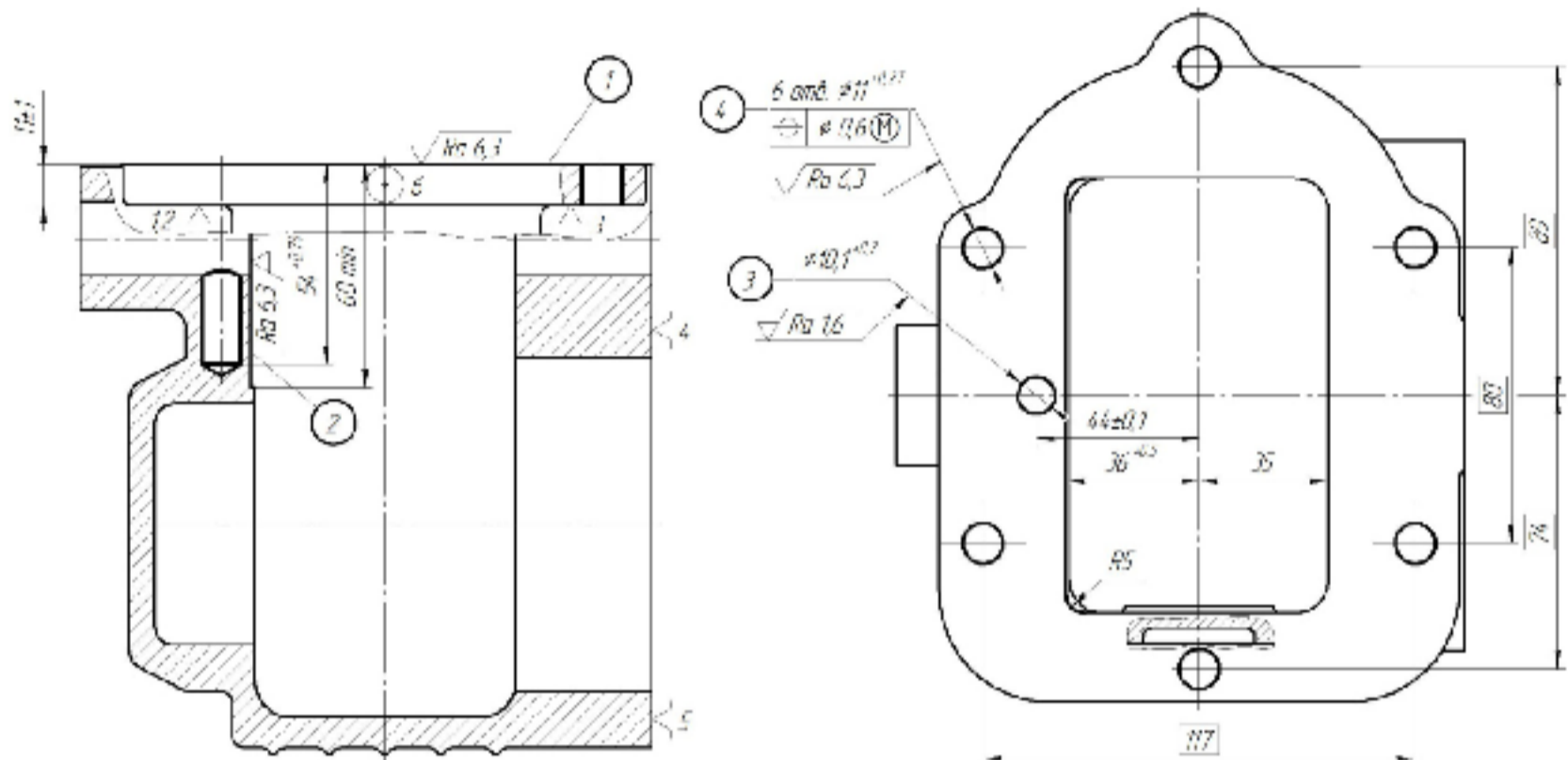


Рисунок 2.11 – Ескіз обробки і схема базування на операції обробки чистових баз (005 операція)

Вісь отвору у вихідній заготовці пов'язана з чистовими технологічними базами (площиною основи отвором) розмірами $(A_{40})_{\Sigma}$ і $(A_{77})_{\Sigma}$. Тому знайдемо $\rho_{зм}$ як середньоквадратичне значення сумарних похибок механічної обробки.

$$\rho_{зм} = \sqrt{(\varepsilon_{\Sigma 40})^2 + (\varepsilon_{\Sigma 77})^2} \text{ [МКМ]}. \quad (2.22)$$

Величини знайдені $\varepsilon_{\Sigma 40}$ та $\varepsilon_{\Sigma 77}$ за спрощеною формулою визначення сумарної похибки механічної обробки [5]:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \omega^2} \text{ [МКМ]}, \quad (2.23)$$

де ε_{δ} – похибка базування, мкм; ω – середньостатистична точність способу механічної обробки, мкм.

Похибки базування на розміри $\varepsilon_{\Sigma 40}$ і A_{77} визначені за допомогою побудови відповідних розмірних ланцюгів.

Похибка базування на розмір 40 мм склала 1000 мкм, а на розмір 75 мм відповідно 2000 мкм

Оскільки фрезерування площини основи виконується за два переходи, і забезпечує 10 квалітет точності [2], то точність розміру 75 для 10 квалітету складає 120 мкм.

Таким чином,

$$\varepsilon_{\Sigma 75} = \sqrt{2000^2 + 120^2} = 2004 \text{ (мкм)}.$$

Тоді

$$\rho_{\Sigma 75} = \sqrt{1016^2 + 2004^2} = 2247 \text{ (мкм)};$$

$$\rho_{\Sigma 75} = \sqrt{54^2 + 2247^2} = 2247,65 \text{ (мкм)} \approx 2248 \text{ (мкм)}.$$

Залишкове значення просторового відхилення після чорнового розточування складе

$$\rho_1 = 0,05 \cdot \rho_{\Sigma 75} = 0,05 \cdot 2248 = 112 \text{ (мкм)};$$

- після напівчистового розточування

$$\rho_2 = 0,05 \cdot \rho_1 = 0,05 \cdot 112 = 5,62 \text{ (мкм)} \approx 6 \text{ (мкм)};$$

- після чистового розточування

$$\rho_3 = 0,05 \cdot \rho_2 = 0,05 \cdot 6 = 0,3 \text{ (мкм)} \approx 0;$$

- після тонкого розточування

$$\rho_4 = 0,05 \cdot \rho_3 = 0,05 \cdot 0,3 = 0,015 \text{ (мкм)} \approx 0.$$

Похибка устанавлення на операції 010 визначена за методикою [5].

Похибка устанавлення для першого переходу обробки отвору $\varnothing 72H7$ (чорнового розточування) склала 103 мкм.

Для другого переходу

$$\varepsilon_{e2} = 0,05 \cdot 103,4 = 5 \text{ (мкм)};$$

Для третього переходу

$$\varepsilon_{e3} = 0,05 \cdot 5 = 0,25 \text{ (мкм)} \approx 0.$$

Мінімальний припуск для чорнового розточування

$$2Z_{\min 1} = 2 \cdot (600 + \sqrt{2248^2 + 103^2}) = 2 \cdot 2850 \text{ (мкм)}.$$

- для напівчистового розточування

$$2Z_{\min 2} = 2 \cdot (50 + \sqrt{112^2 + 5^2}) = 2 \cdot 162 \text{ (мкм)}.$$

- для чистового розточування

$$2Z_{\min 3} = 2 \cdot (30 + \sqrt{6^2 + 0^2}) = 2 \cdot 38 \text{ (мкм)}.$$

- для тонкогорозточування

$$2Z_{\min 4} = 2 \cdot (20 + \sqrt{0^2 + 0^2}) = 2 \cdot 20 \text{ (мкм)}.$$

Далі за методикою [2] для всіх переходів механічної обробки визначені розрахункові розміри, граничні значення технологічних розмірів і розмірів вихідної заготовки, прийняті граничні значення проміжних і загальних припусків. Ці параметри зведені у таблицю 2.30.

Таблиця 2.20 – Результати визначення припусків для обробки отвору $\varnothing 72H7^{(+0,030)}$

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 72H7^{(+0,030)}$	Елементи припуска, мм				Розрахункові елементи		Допуск δ , мкм	Граничні значення технолог. розмірів, мм		Граничні значення припусків, мкм		
	R_z	h	ρ	ε_σ	$2Z_{\min}^{cp}$, мкм	d_p , мм		D_{\min}	D_{\max}	$2Z_{\min}^{cp}$	$2Z_{\max}^{cp}$	
Заготовка	600		2248	-	-	65,89	2000	63,89	65,89	-	-	
розточування чорнове	50	-	112	103	2·2850	71,59	460	71,13	71,59	2·2850	2·3620	
розточування напвічистове	30	-	6	5	2·162	71,914	120	71,794	71,914	2·162	2·332	
розточування чистове	20	-	-	-	2·38	71,99	46	71,944	71,99	2·38	2·75	
розточування тонке	3	-	-	-	2·20	72,03	30	72,0	72,03	2·20	2·28	
Всього											6140	8110

З використанням методики [2] перевірено правильність отриманих результатів.

$$2Z_{\max}^{cp} - 2Z_{\min}^{cp} = \delta_{i-1} - \delta_i;$$

$$2Z_{\max 4}^{cp} - 2Z_{\min 4}^{cp} = 56 - 40 = 16 \text{ (мкм);}$$

$$\delta_3 - \delta_4 = 46 - 30 = 16 \text{ (мкм);}$$

$$2Z_{\max 3}^{cp} - 2Z_{\min 3}^{cp} = 150 - 76 = 74 \text{ (мкм);}$$

$$\delta_2 - \delta_3 = 120 - 46 = 74 \text{ (мкм);}$$

$$2Z_{\max 2}^{cp} - 2Z_{\min 2}^{cp} = 664 - 324 = 340 \text{ (мкм);}$$

$$\delta_1 - \delta_2 = 460 - 120 = 340 \text{ (мкм);}$$

$$2Z_{\max 1}^{cp} - 2Z_{\min 1}^{cp} = 7240 - 5700 = 1540 \text{ (мкм);}$$

$$\delta_{заг} - \delta_1 = 2000 - 460 = 1540 \text{ (мкм).}$$

Отже, розрахунок припусків виконано правильно.

2.9.2 Визначення за нормативами проміжних мінімальних припусків і технологічних розмірів на механічну обробку інших циліндричних поверхонь.

Таблиця 2.21 – Нормативний вибір припусків та міжопераційних розмірів на для обробки отвору $\varnothing 90H7^{(+0,035)}$

Технологічні переходи	Вибраний мінімальний припуск $2Z_{\min}$, мм	Розрахунковий розмір d_p , мм	Допуск δ , мкм				
				d_{\min}	d_{\max}	$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$
Заготовка	-	85,74	2800	82,94	85,74	-	-
Розточування чорнове	1,5	88,74	540	88,2	88,74	1,5	5,26
Розточування напівчистове	0,5	89,74	140	89,6	89,74	0,5	1,4
Розточування чистове	0,1	89,935	54	89,881	89,935	0,1	0,281
Розточування тонке	0,05	90,035	35	90	90,035	0,05	0,119

2.10 Призначення режимів різання

Розглянуто приклад аналітичного розрахунку режимів різання для чорнового фрезерування поверхні основи лап довжиною 186 мм і шириною 150 мм.

Виберемо різальний інструмент згідно з [9, 10, 12]. Вибираємо торцеву насадну фрезу із вставними ножами, оснащені пластинами з твердого сплаву ВК8 (за ГОСТ 22087-76) з $D = 50$ мм, $B = 36$ мм, $d = 32$ мм, $z = 5$ мм.

Визначимо глибину різання t . Згідно з [5], глибина різання t під час визначення швидкості різання приймалась рівною середньому припуску. Під час визначення сили різання і потужності різання глибина різання приймалась рівною максимальному припуску.

Граничні значення припусків визначені як результат виконання розмірного аналізу технологічного процесу. Відповідно до даних таблиці 2.18 для чорнового фрезерування середній припуск складає 2 мм, а максимальний 2,9 мм.

Величину подачі S визначено відповідно до [10]. Для чавуну при потужності верстата 5,5 кВт діапазон подач в мм/зуб при чорновому фрезеруванні: $S_z = 0,14-0,24$ мм/зуб. Прийнято $S_z = 0,2$ мм/зуб.

Величина швидкості різання при фрезеруванні може бути розрахована за залежністю [10]:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z^p} K_v \text{ [м/хв]}, \quad (2.28)$$

де T – стійкість інструменту, 180 хв.;

D – діаметр фрези, 50 мм.

C_v, x, y, m, q, u, p – коефіцієнти і показники степеня у формулі (2.28)

Згідно з [10] вони складають:

$$C_v=445; x=0,15; y=0,35; m=0,32; q=0,2; u=0,2; p=0;$$

K_v – загальний поправковий коефіцієнт, який є добутком декількох коефіцієнтів, які враховують реальні умови механічної обробки. Для наявних технологічних умов цей коефіцієнт склав 0,85.

Отже, швидкість різання:

$$V = \frac{445 \cdot 50^{0,2}}{180^{0,32} \cdot 3,44^{0,14} \cdot 0,2^{0,35} \cdot 39^{0,2} \cdot 6^0} \cdot 0,85 = 131,2 \text{ (м/хв.)}$$

Визначимо частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 131,2}{3,14 \cdot 6} = 835,7 \text{ (об/хв.)}$$

Корегувати значення n за паспортними даними верстата мод. ЛТ260МФ3 не має необхідності, так як головний привод має безступінчасте регулювання частоти обертання шпинделя.

Визначаємо силу різання:

$$P_z = \frac{10C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z^p}{D^q \cdot n^w} K_{mp} \text{ [H]}, \quad (2.31)$$

де $z = 6$ – кількість зубів фрези;

$n=836$ – частота обертання фрези;

$t=2,9$ –глибина різання;

$S_z=0,2$ – подача на зуб.

Згідно з [9] коефіцієнти та показники степеня складають:

$$C_p=54,5; x=0,9; y=0,74; w=0; q=1,0; u=1,0.$$

Поправковий коефіцієнт K_{mp} для чавуну, який враховує вплив твердості оброблювального матеріалу на силові залежності:

$$K_{mp} = \left(\frac{190}{HB} \right)^n = \left(\frac{190}{190} \right)^{1,0/0,55} = 1,0, \quad (2.32)$$

де $n_y = 1,0$ – показник степеня.

Сила різання:

$$P_z = \frac{10 \cdot 54,5 \cdot 3,44^{0,9} \cdot 0,2^{0,74} \cdot 39^1 \cdot 6^1}{50^{1,0} \cdot 835,2^0} \cdot 1 = 471,34 \text{ (H)}.$$

Крутний момент при фрезеруванні

$$M_{sp} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100} = \frac{471,34 \cdot 50}{2 \cdot 100} = 117,8 \text{ (H}\cdot\text{м)}, \quad (2.33)$$

де D – діаметр фрези.

Потужність різання визначено за формулою:

$$N_e = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{471,34 \cdot 131,2}{1020 \cdot 60} = 1,01 \text{ (кВт)}. \quad (2.34)$$

Визначено потужність різання:

$$N_p = \frac{N_e}{\eta} = \frac{1,01}{0,8} = 1,26 \text{ (кВт)}, \quad (2.35)$$

де $\eta = 0,8$ – коефіцієнт, що враховує втрати на тертя у вузлах верстата.

$N_p < N_e$ ($1,26 < 5,5$) – обробка є можливою ($N_e = 5,5$ кВт потужність приводу головного руху верстата моделі ЛТ260МФ3).

Визначаємо величину основного часу, що витрачаються на обробку:

$$T_o = \frac{L_p}{S} \text{ [хв]}, \quad (2.36)$$

де S – хвилинна подача;

$$S = S_z \cdot n \cdot z \text{ [мм/хв]}, \quad (2.37)$$

де $S_z = 0,2$ – подача на зуб фрези;

$n = 406,6$ об/хв. – число обертів шпинделя;

$z = 10$ – число зубців фрези;

$$S = 0,2 \cdot 855,7 \cdot 6 = 1002,8 \text{ (мм/хв)},$$

де L_p – довжина робочого ходу столу;

$$L_p = L_{рез} + y + L_{дон}, \quad (2.38)$$

де $L_{рез} = 184$ мм – довжина різання;

$y = 14$ згідно [9] – довжина підводу, врізання і перебігу інструмента;

$L_{дон} = 0$ – додаткова довжина ходу.

$$L_p = 184 + 14 + 0 = 198 \text{ (мм)}.$$

Отже, основний час для попереднього фрезерування буде дорівнювати [9, 10]:

$$T_o = \frac{198}{1002,8} \cdot 2 = 0,39 \text{ (хв.)}$$

В таблиці 2.22 наведені результати визначення (за нормативами) режимів різання для решти переходів [13].

Таблиця 2.22 – Режими різання

Назва операції, переходів	Глибина різання t, мм	Подача S, мм/об	Частота обертання шпинделя n, об/хв	Швидкість різання V, м/хв.
1	2	3	4	5
005 Вертикально-фрезерна з ЧПК				
Фрезерувати поверхню 1 попередньо	5,5	0,3	800	164
Фрезерувати поверхню 1 остаточно	0,5	0,3	1000	204
Фрезерувати поверхню 2 попередньо	0,6	0,3	800	25
Фрезерувати поверхню 2 остаточно	0,4	0,3	1000	32
Центрувати отв. 3 та 6 отв. 4	2,5	0,25	800	13
Свердлити отв. 3	4,9	0,25	800	25
Розвернути отв. 3	0,15	0,25	800	26
Свердлити 6 отв. 4	5,5	0,55	800	28
010 Комбінована з ЧПК				
Фрезерувати поверхню 1 попередньо	3,5	0,2	323,8	122
Фрезерувати поверхню 1 остаточно	1,4	0,15	390	147
Фрезерувати фаску 2, отвір 3, фаску 4, отвір 5 одноразово	0,4	0,1	456	172,3
Фрезерувати канавку 6 одноразово	2,5	0,3	2360	351,3
Розточити отвір 3 попередньо	1,8	0,2	2420	375,4
Розточити отвір 3 попередньо	0,4	0,15	2510	393,5
Розточити отвір 3 остаточно	0,1	0,1	2600	410,3
Розточити отвір 5 попередньо	1,8	0,2	2420	375,4
Розточити отвір 5 попередньо	0,4	0,15	2510	393,5
Розточити отвір 5 остаточно	0,1	0,1	2600	410,3
Розточити отвір 7 попередньо	1	0,2	2420	49,8
Розточити отвір 7 попередньо	0,12	0,15	2510	97

Продовження таблиці 2.22

1	2	3	4	5
Розточити отвір 7 остаточно	0,08	0,1	2600	97
Фрезерувати фаску 8, отвір 9, торець 10 одноразово	0,4	0,1	456	172,3
Розточити отвір 9 попередньо з підрізанням торця 10 одноразово	0,4	0,1	456	172,3
Розточити отвір 9 остаточно	0,12	0,15	980	191,4
Розточити отвір 11 попередньо з підрізанням торця 12 одноразово	0,4	0,1	456	172,3
Розточити отвір 11 остаточно	0,12	0,15	980	191,4
Центрувати 2 отв. 13 та 2 отв. 14	-	0,2	1020	25,6
Свердлити 2 отв. 13	5,5	0,2	1000	28
Свердлити 2 отв. 14	4,5	0,2	1000	26
Зенкувати фаски 15 в 2 отв. 14	1	0,15	800	19,8
Нарізати різьбу в 2 отв. 14	-	1,25	625	15,7
Повернути стіл на 180°	-	-	-	-
Розточити отвір 7 попередньо	1	0,2	2420	49,8
Розточити отвір 7 попередньо	0,12	0,15	2510	97
Розточити отвір 7 остаточно	0,08	0,1	2600	97
Фрезерувати площину 17 одноразово	1,4	0,15	390	147
Фрезерувати фаску 18, отвір 19, торець 20 одноразово	0,4	0,1	456	172,3
Розточити отвір 19 попередньо з підрізанням торця 20 одноразово	0,12	0,15	980	191,4
Розточити отвір 19 остаточно	0,08	0,1	1110	217,8

2.11 Математичне моделювання технологічного процесу та оптимізація режимів різання

Оптимізацію режимів різання проведемо на ПК за допомогою програми [5] для таких видів механічної обробки:

- розточування попереднє поверхні $\varnothing 90H7^{(+0,035)}$ (операція 005).

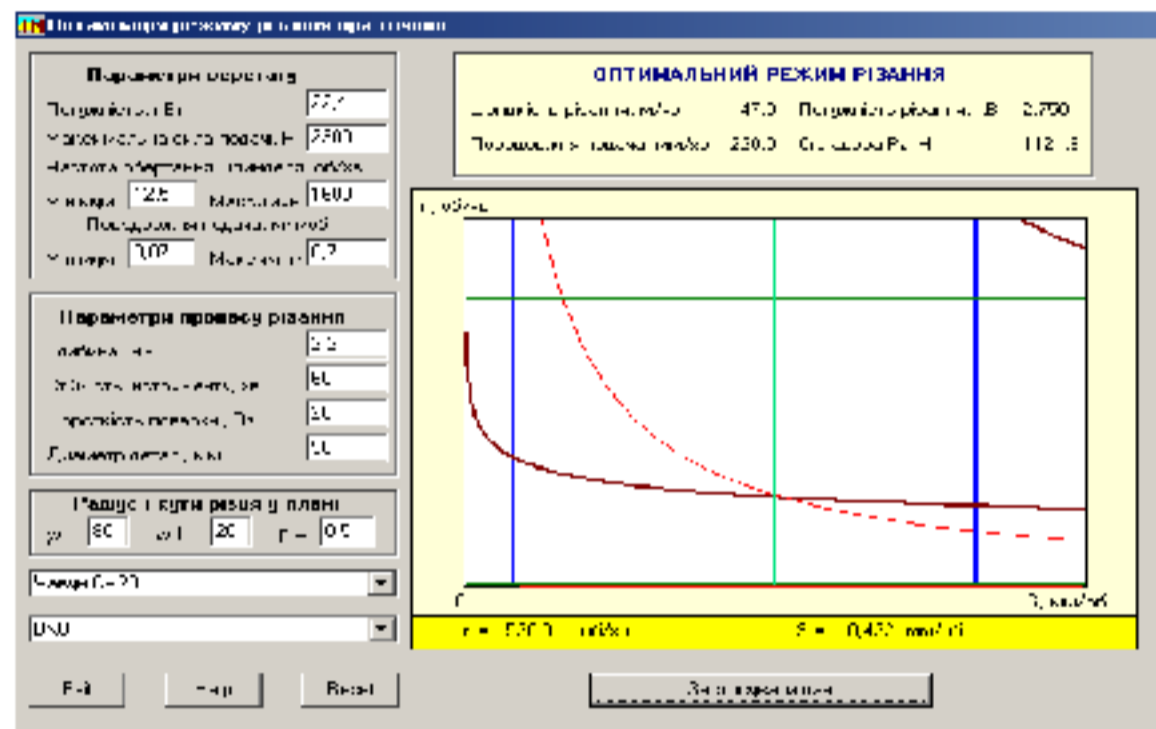


Рисунок 2.12 – Результат оптимізації режимів різання при попередньому розточуванні поверхні $\varnothing 90H7^{(+0,035)}$ (операція 010)

2.12 Визначення технічних норм часу

Операція 005 Вертикально-фрезерна з ЧПК.

Верстат: ЛТ260МФ3.

Маса заготовки $m_3 = 5,64$ кг.

Штучно-калькуляційний час [12, 13]:

$$T_{шт-к} = T_{шт} + \frac{T_{п-з}}{n} \text{ [хв.]}, \quad (2.39)$$

де $T_{п-з}$ – підготовчо-заклучний час, хв.;

n – кількість деталей в партії настройки, шт.;

$T_{шт}$ – штучний час, хв.;

$$T_{шт} = T_o + T_d + T_{обс,відп} \text{ [хв.]}, \quad (2.40)$$

де T_o – основний час, хв.;

T_d – допоміжний час, хв.;

$T_{обс,відп}$ – час обслуговування та відпочинку, хв.

Основний час:

$$T_o = \frac{L \cdot i}{S \cdot n} \text{ [хв.]}, \quad (2.41)$$

де L – довжина робочого ходу супорта;

S – подача;

i – число перебігу;

n – частота обертання.

Основний час на виконання переходів.

Перехід 2. Фрезерувати поверхню 1 попередньо: $T_{o2} = \frac{186 \cdot 1}{0,3 \cdot 800} = 0,77 \text{ (хв.)}$

Перехід 3. Фрезерувати поверхню 1 остаточно: $T_{o3} = \frac{186 \cdot 1}{0,3 \cdot 1000} = 0,62 \text{ (хв.)}$

Перехід 4. Фрезерувати поверхню 1 попередньо: $T_{o4} = \frac{70 \cdot 1}{0,3 \cdot 800} = 0,29 \text{ (хв.)}$

Перехід 5. Фрезерувати поверхню 1 остаточно: $T_{o5} = \frac{70 \cdot 1}{0,3 \cdot 1000} = 0,23 \text{ (хв.)}$

Перехід 6. Центрувати отв. 3 та 6 отв. 4: $T_{o6} = 7 \cdot \frac{5 \cdot 1}{0,25 \cdot 800} = 0,18 \text{ (хв.)}$

Перехід 7. Свердлити отв. 3: $T_{o7} = \frac{54 \cdot 1}{0,25 \cdot 800} = 0,27 \text{ (хв.)}$

Перехід 8. Розвернути отв. 3: $T_{os} = \frac{54 \cdot 1}{0,25 \cdot 800} = 0,27$ (хв.)

Перехід 9. Свердлити 6 отв. 4: $T_{o9} = 6 \cdot \frac{11 \cdot 1}{0,25 \cdot 800} = 0,33$ (хв.)

Основний час

$$\Sigma T_{o005} = 0,77 + 0,62 + 0,29 + 0,23 + 0,18 + 0,27 + 0,27 + 0,33 = 2,96 \text{ (хв.)}$$

Допоміжний час

$$T_D = t_{уст.} + t_{закр.} + t_{упр.} \text{ [хв.],} \quad (2.42)$$

де $t_{уст.} = 0,07$ хв. – час установлення, закріплення, розкріплення, зняття деталі;

$t_{закр.} = 0,024$ хв. – час закріплення, відкріплення заготовки;

$t_{упр.}$ – час на управління верстатом – включення, виключення верстата; підведення, відведення інструменту; заміну інструменту;

$$t_{упр.} = t_{вкл. \dots викл.} + t_{підв. \dots відв.} + t_{змін. інстр.} = 2 \cdot 0,01 + 4 \cdot 0,04 + 4 \cdot 0,01 + 6 \cdot 0,015 = 0,31 \text{ (хв.)}$$

Тоді

$$T_D = 0,07 + 0,024 + 0,31 = 0,4 \text{ (хв.)}$$

Оперативний час

$$T_{оп} = T_o + T_D \text{ [хв.],} \quad (2.43)$$

$$T_{оп} = 2,96 + 0,4 = 3,36 \text{ (хв.)}$$

Час на обслуговування та відпочинок складає 7% від оперативного часу

$$T_{обс. \dots відп.} = 0,07 \cdot T_{оп} = 0,07 \cdot 3,36 = 0,24 \text{ (хв.)}$$

Штучний час

$$T_{шт} = 2,96 + 0,4 + 0,24 = 3,6 \text{ (хв.)}$$

Підготовчо-заключний час $T_{п-з} = 34$ хв. – час на налагодження інструменту, пристосування; на одержання інструменту, документації, пристосування.

Тоді

$$T_{шт-к} = 3,6 + 34/106 = 3,92 \text{ (хв.)}$$

Результати розрахунків норм часу представлені у таблиці 2.23.

Таблиця 2.23 – Технічні норми часу

Назва операції	Основний час T_o , хв.	Коефіцієнт φ_k	Штучно- калькуляційний час $T_{шт-к}$, хв.
005 Вертикально- фрезерна з ЧПК	2,96	1,32 (фактичний) 1,51 (табличний)	3,92
010 Комбінована з ЧПК	16,57	1,3	21,54

2.13 Висновки

Удосконалено технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010». Результати цієї роботи дозволяють зробити такі висновки:

- якісний та кількісний аналіз технологічності показав, що деталь «Корпус АЦ.60.01.010» є технологічною;
- розрахунок коефіцієнта закріплення операцій показав, що тип виробництва є середньосерійним;
- встановлено, що найдоцільнішими способами виготовлення вихідної заготовки є лиття в піщано-глинисті форми з ручним та машинним формуванням

суміші. Розрахунки показали, що економічно вигідніше виготовляти заготовку литтям в піщано-глинисті форми з машинним формуванням суміші, оскільки вартість заготовки при цьому складе 311,44 грн., що менше у порівнянні з ручним формуванням суміші – 330,31 грн.;

- вибрано способи і кількість переходів обробки поверхонь заготовки деталі «Корпус АЦ.60.01.010», обґрунтовано вибір чистових та чорнових технологічних баз та розроблено два удосконалені варіанти маршруту механічної обробки з використанням високопродуктивних верстатів з ЧПК;

- вибрано кращий з розроблених удосконалених маршрутів механічної обробки за мінімумом приведених витрат;

- проведено розмірно-точнісне моделювання (розмірний аналіз) технологічного процесу;

- розраховано припуски та технологічні розміри;

- визначено режими різання і пронормовані операції технологічного процесу.

3 АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ТОЧНІСТЬ РОЗМІРІВ МІЖ ОСЯМИ ГОЛОВНИХ ОТВОРІВ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ І БАЗОВИМИ ПЛОЩИНАМИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬСЯ РОЗТОЧУВАННЯМ НА БАГАТОЦІЛЬОВОМУ ВЕРСТАТІ

3.1 Постановка задачі дослідження

Одним з важливим показників якості корпусних деталей є точність розміру між площиною, що є основною конструкторською базою, і одним з головних отворів, який найчастіше є допоміжною конструкторською базою. В залежності від службового призначення деталі допуск на цей розмір є досить жорстким і зазвичай знаходиться в межах від 0,004 до 0,1 мм. Окрім того, розташування головних отворів відносно базової площини регламентується вимогою кутового розташування (паралельності або перпендикулярності) найчастіше в межах п'ятого або шостого ступеня точності. Тому складає певний практичний інтерес виявлення тих технологічних факторів, які найсуттєвіше впливають на поле розсіювання цих розмірів і, відповідно, на сумарну похибку механічної обробки. Слід зазначити, що базові площини найчастіше обробляються на одній з попередніх операцій і тому похибка установа може чинити помітний вплив на сумарну похибку обробки стосовно розмірів між осями головних отворів корпусних деталей і базовими площинами. Це пояснюється тим, що сили затискання заготовки мають забезпечувати незмінне положення заготовки як під час фінішної її, так і під час чорнової обробки.

Метою роботи є виявлення і порівняння рівнів впливу елементарних похибок на сумарну похибку розмірів, що поєднують осі головних отворів з базовими площинами корпусних деталей в процесі виготовлення цих деталей на багатоцільових верстатах з ЧПК.

Для досягнення мети роботи поставлені такі завдання:

- спроектувати технологічний процес механічної обробки;

- визначити величини елементарних похибок, що виникають під час тонкого розточування головного отвору і впливають на поле розсіювання розмірів, що поєднують осі головних отворів з базовими площинами корпусних деталей в процесі виготовлення цих деталей на багатоцільових верстатах з ЧПК;
- проаналізувати вплив елементарних похибок на сумарну похибку;
- сформулювати висновки за результатами дослідження.

3.2 Результати дослідження

Дослідження виконувалось на прикладі технологічного процесу виготовлення деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010» в умовах середньосерійного виробництва.

Прийнято, що обробка здійснюється за таких початкових умов: операція виконується на п'ятикоординатному оброблювальному центрі HAAS VF-2TR; матеріал деталі – сірий чавун СЧ20; вихідна заготовка – виливок в піщано-глинисті форми з машинним формуванням суміші (9 клас точності згідно з ГОСТ 26645-85); заготовка встановлюється на чисто оброблену площину лап на дві опорні пластини верстатного пристрою із закріпленням за допомогою двох гвинтових затискачів (прихоплювачів). Ескіз обробки показаний на рис. 3.1.

Досліджувався вплив технологічних факторів на точність розміру $20 \pm 0,02$ мм, що поєднує отвір $\varnothing 20H8$ мм з базовою площиною. Згідно з маршрутом механічної обробки передбачена обробка вказаного отвору на трьох переходах (чорновому, чистовому і тонкому розточуванні) з одного установа. Аналізувався вказаних факторів на точність розміру $20 \pm 0,02$ мм, який має забезпечуватись на завершальному переході обробки отвору.

Відомо [15], що необхідною умовою роботи без браку під час виконання певного технологічного переходу механічної обробки партії заготовок деталей на настроєному верстаті є забезпечення співвідношення

$$\varepsilon_{\Sigma} \leq T \text{ [мкм]}, \quad (3.1)$$

де ε_{Σ} – сумарна похибка обробки, яка дорівнює полю розсіювання розмірів, отриманих в результаті механічної обробки партії заготовок;

T – допуск забезпечуваного розміру.

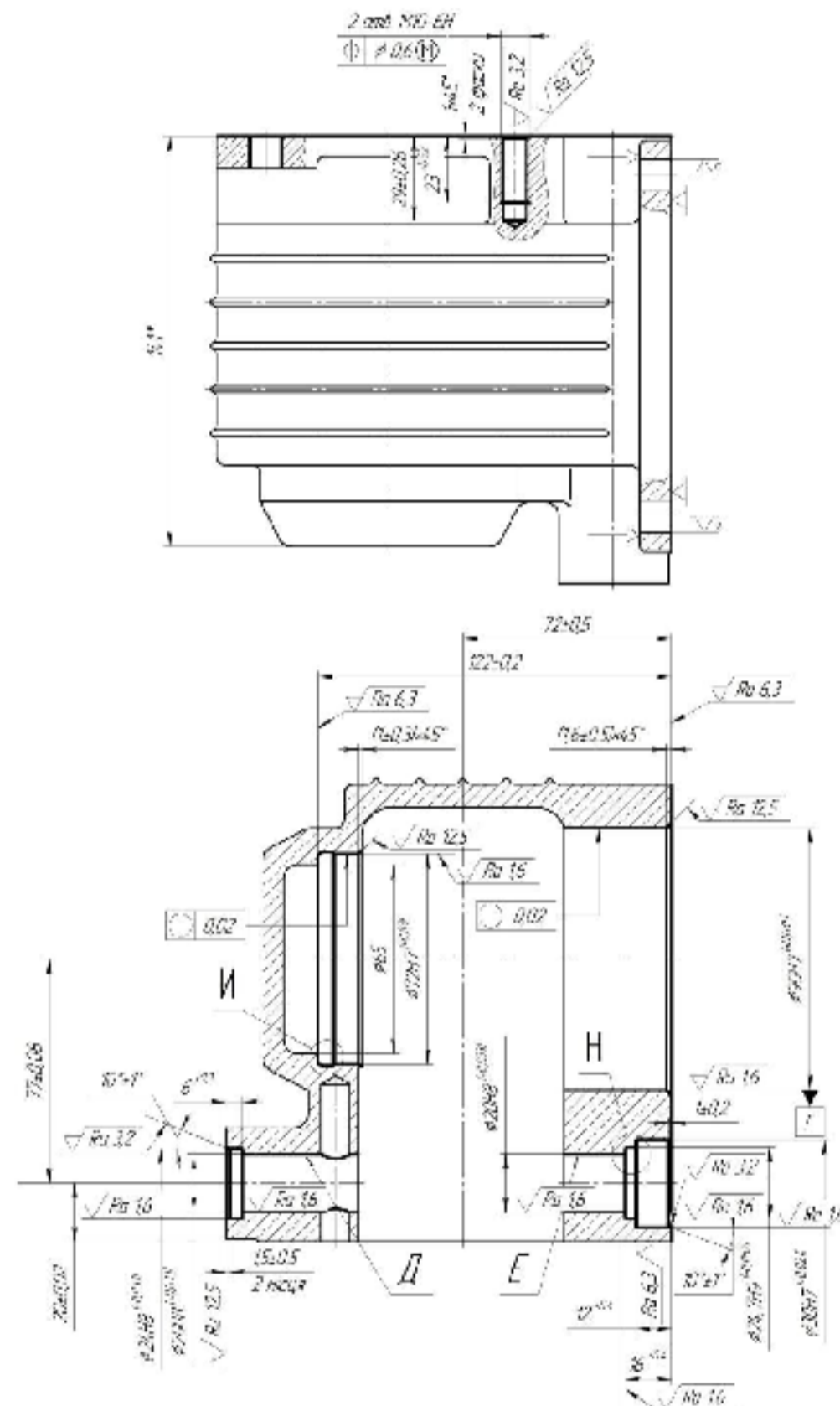


Рисунок 3.1 – Ескіз обробки

Згідно з [16] прийнято, що для лінійних розмірів, які координують розташування осі обробленого отвору відносно площини (вимірювальної бази) за умови отримання цих розмірів в процесах обробки на верстатах з ЧПК, сумарна похибка визначається за формулою

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{1}{K} \sqrt{(K_1 \varepsilon_y)^2 + (K_2 \varepsilon_{\text{пд}})^2 + (K_3 \varepsilon_{\text{н}})^2 + (K_4 \varepsilon_{\text{п.і}})^2 + (K_5 \varepsilon_{\text{і}})^2 + (K_6 \varepsilon_{\text{в}})^2 + (K_7 \varepsilon_{\text{т}})^2} \text{ [мкм]}, \quad (3.2)$$

де $\frac{1}{K}$ – коефіцієнт, що залежить від бажаної імовірності роботи без браку;

$K_1 \dots K_7$ – коефіцієнти, значення яких залежить від виду закону розподілу відповідних елементарних похибок;

ε_y – похибка установлення заготовки у верстатний пристрій;

$\varepsilon_{\text{пд}}$ – похибка, що спричиняється пружними деформаціями технологічної системи під дією сил різання;

$\varepsilon_{\text{н}}$ – похибка настроєння;

$\varepsilon_{\text{п.і}}$ – похибка позиціювання, яка виникає під час гальмування робочого органу верстата в кінці його швидкого переміщення у початкову точку;

$\varepsilon_{\text{і}}$ – похибка, що зумовлена розмірним зносом різального інструмента;

$\varepsilon_{\text{в}}$ – похибка, що спричиняється геометричною неточністю верстата;

$\varepsilon_{\text{т}}$ – похибка, що спричиняється тепловими деформаціями технологічної системи.

Під час дослідження послідовно визначено всі елементарні похибки, а потім і сумарну похибку розміру $20 \pm \text{мм}$, що виникають при тонкому розточуванні отвору $\text{Ø}20\text{H}8 \text{ мм}$.

Похибку установлення визначено за формулою [17]:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2} \text{ [мкм]}, \quad (3.3)$$

де ε_6 – похибка базування;

ε_3 – похибка закріплення;

$\varepsilon_{\text{пр}}$ – похибка положення заготовки у верстатному пристрої.

Похибка базування ε_6 за вибраної схеми установлення відсутня, оскільки забезпечується принцип суміщення баз.

Похибку закріплення ε_3 визначається за формулою [17]

$$\varepsilon_3 = y_{\max} - y_{\min} \text{ [мкм]}, \quad (3.4)$$

де y_{\max} і y_{\min} – відповідно максимальне і мінімальне зміщення вимірювальної бази під дією сили затискання.

Розсіювання положень вимірювальної бази спричиняється коливаннями значень сили затискання, шорсткості і твердості поверхні площини, яка є технологічною базою у різних заготовок партії. Оскільки на операції, що розглядається, виконується як попередня, так і остаточна обробка, то необхідне мінімальне значення сили затискання визначалась з урахуванням сили різання, що виникає під час першого переходу обробки (чорнового розточування) отвору $\varnothing 90$ мм (див. рис. 3.1).

Найбільше і найменше зміщення вимірювальної бази визначались за емпіричними формулами [17]. Для випадку встановлення заготовки на опорні пластини ці формули такі

$$y_{\max} = \left(\frac{Q_{\max}}{9,8F} \right)^{0,6} (0,776 + 0,053F + 0,016Rz_{\max} - 0,0045HB_{\min}) \text{ [мкм]}; \quad (3.5)$$

$$y_{\min} = \left(\frac{Q_{\min}}{9,8F} \right)^{0,6} (0,776 + 0,053F + 0,016Rz_{\min} - 0,0045HB_{\max}) \text{ [мкм]}, \quad (3.6)$$

де Q_{\max} і Q_{\min} – найбільше і найменше значення сили, яка діє з боку кожного із затискачів на заготовку, Н;

F — площа опорної пластини, см^2 ;

Rz_{\max} і Rz_{\min} – найбільша і найменша висота мікронерівностей на поверхні технологічної бази, мкм;

HB_{\max} і HB_{\min} – найбільша і найменша твердість (за Брінеллем) поверхні технологічної бази.

Необхідну для надійного затискання заготовки силу Q визначено за формулою [9]

$$Q = \frac{K}{n_3 \cdot f} \sqrt{P_x^2 + P_z^2} \text{ [Н]}, \quad (3.7)$$

де P_x і P_z – складові сили різання – відповідно осьова і окружна;

K – коефіцієнт запасу;

n_3 – кількість прихоплювачів;

f – коефіцієнт тертя між площиною заготовки і опорною пластиною.

Складові сили різання P_z і P_x визначались за емпіричними формулами [9]

$$P_x = 10C_{P_x} t^x s^{y_x} v^n K_{P_x} \text{ [Н]}, \quad (3.8)$$

$$P_z = 10C_{P_z} t^x s^{y_z} v^n K_{P_z} \text{ [Н]}, \quad (3.9)$$

де t – глибина різання, мм;

s – подача, мм/об;

v – швидкість різання, м/хв;

K_{P_x} , K_{P_z} – коефіцієнти, величини яких залежать від геометричних параметрів різальної частини інструмента;

Кількісні значення коефіцієнтів і показників степеня, визначено за [9]. Для даних технологічних умов ці значення склали: $C_{P_x} = 46$; $C_{P_z} = 92$; $x = 1$; $y_x = 0,4$; $y_z = 0,75$; $n = 0$; $K_{P_x} = 1,17$; $K_{P_z} = 0,89$.

Оскільки на операції, що розглядається, виконується як попереднє, так і остаточне розточування, то необхідне мінімальне значення сили затискання Q_{\min} визначалась з урахуванням сили різання, яка виникає під час чорнового розточування за умови зрізання максимального припуску.

Отже, розрахунок ε_3 виконувався за таких режимів різання, параметрів оброблюваної заготовки, значень складових сили різання і граничних значень сили затискання: $t = z_{\max} = 3,62$ мм, $s = 0,5$ мм/об; $F = 16$ см²; $Rz_{\max} = 12$ мкм; $Rz_{\min} = 9$ мкм; $HB_{\max} = 200$; $HB_{\min} = 150$; $K = 2,3$; $n_s = 2$; $f = 0,1$.

Підставивши у формули (3.8) і (3.9) прийняті і вибрані значення коефіцієнтів та показників, отримаємо

$$P_x = 10 \cdot 46 \cdot 3,6^1 \cdot 0,5^{0,4} \cdot 1,17 = 1476 \text{ (Н)};$$

$$P_z = 10 \cdot 92 \cdot 3,6^1 \cdot 0,5^{0,75} \cdot 0,89 = 1770 \text{ (Н)}.$$

Мінімальна необхідна сила затискання на кожному із затискачів, визначена за формулою (3.7) складе

$$Q_{\min} = \frac{2,3}{2 \cdot 0,1} \sqrt{1476^2 + 1770^2} = 26564 \text{ (Н)}.$$

Максимальна сила затискання, яка може виникати на затискачах через коливання сил ручного затискання складе $Q_{\max} = 1,3 \cdot Q_{\min} = 1,3 \cdot 26564 = 34533$ (Н).

За формулами (3.5) і (3.6) знайдемо

$$y_{\max} = \left(\frac{34533}{9,8 \cdot 16} \right)^{0,6} (0,776 + 0,053 \cdot 16 + 0,016 \cdot 12 - 0,0045 \cdot 150) = 35 \text{ (мкм)};$$

$$y_{\min} = \left(\frac{26564}{9,8 \cdot 16} \right)^{0,6} (0,776 + 0,053 \cdot 16 + 0,016 \cdot 9 - 0,0045 \cdot 200) = 22 \text{ (мкм)}.$$

За формулою (3.3) визначено, що $\varepsilon_3 = 35 - 22 = 13$ (мкм).

Похибка $\varepsilon_{\text{пр}}$ визначалась за формулою [17]

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{yc}}^2 + \varepsilon_{\text{zy}}^2 + \varepsilon_{\text{пв}}^2} \text{ [мкм]}, \quad (3.10)$$

де ε_{yc} , ε_{zy} , $\varepsilon_{\text{пв}}$ — відповідно похибки, спричинені: неточністю виготовлення і складання установочних елементів пристрою; зносом цих елементів; неточністю установлення пристрою на верстат.

Вважалась, що похибка ε_{yc} у випадку, який розглядається, відсутня оскільки вона може бути зкомпенсована під час настроювання на розмір обробки розташування осі обертання розточувальної оправки.

Похибку ε_{zy} визначено за емпіричною формулою [17]

$$\varepsilon_{\text{zy}} = \beta \sqrt{N} \text{ [мкм]}, \quad (3.11)$$

де β – коефіцієнт, який залежить від виду опор і умов контакту;

N – кількість контактів заготовки з опорами верстатного пристрою.

Згідно з [17] для прийнятих технологічних умов $\beta = 0,2$. Прийmemo, що $N = 106$ шт. Тоді ε_{zy} складатиме 2 мкм.

Оскільки зазор у напрямі отримуваного розміру між основними конструкторськими базами пристрою і допоміжними конструкторськими базами верстата відсутній, то у випадку, що розглядається $\varepsilon_{\text{пв}} = 0$. Таким чином, $\varepsilon_{\text{пр}} = \varepsilon_{\text{zy}} = 2$ мкм.

Підставивши визначені значення складових похибки установлення в (3.3), отримаємо $\varepsilon_y = 14$ мкм.

Похибка, що зумовлена пружними деформаціями елементів технологічної системи під дією сили різання ($\varepsilon_{\text{нд}}$) може впливати на точність розміру $20 \pm 0,02$ мм, якщо має місце помітна нерівномірність припуску і, відповідно, глибини різання в радіальному або осьовому напрямках. Але оскільки розглядається останній перехід (тонке розточування) то вважалось, що нерівномірність

припуску незначна і нею можна знехтувати. Таким чином, можна прийняти, що $\varepsilon_{\text{пд}} \approx 0$.

Похибка $\varepsilon_{\text{н}}$ визначалася з урахуванням того, що для точної обробки верстата з ЧПК настроюються з використанням методу пробних заготовок. Згідно з [15], $\varepsilon_{\text{н}}$ визначалась за формулою

$$\varepsilon_{\text{н}} = 1,2\sqrt{(\varepsilon_{\text{р}})^2 + (\varepsilon_{\text{вм}})^2 + (\varepsilon_{\text{зм}})^2} \text{ [мкм]}, \quad (3.12)$$

де $\varepsilon_{\text{р}}$ – похибка регулювання положення інструмента;

$\varepsilon_{\text{вм}}$ – похибка вимірювання;

$\varepsilon_{\text{зм}} = \varepsilon_{\text{п.д}} / \sqrt{m}$ – похибка, замовлена зміщенням центра групування розмірів спробних заготовок відносно середини поля розсіювання в момент настроювання;
 m – кількість пробних заготовок.

Похибку $\varepsilon_{\text{р}}$ прийнято рівною точності позиціювання $\Delta_{\text{п}}$. Для верстата HAAS VF-2TR $\Delta_{\text{п}}$ складає 0,005 мм. Таким чином, прийнято, що $\varepsilon_{\text{р}} = 5$ мкм.

Похибку $\varepsilon_{\text{вм}}$ прийнято рівною 1 мкм. Оскільки $\varepsilon_{\text{пд}} \approx 0$, то і $\varepsilon_{\text{зм}} \approx 0$. Таким чином, згідно з (3.12) $\varepsilon_{\text{н}} = 5$ мкм.

Під час обробки на багатоцільових верстатах з ЧПК після завершення чергового переходу відбувається заміна інструмента в шпинделі з подальшим його швидким переміщенням у початкову точку (позиціюванням). Під час гальмування робочого органу верстата в кінці цього переміщення виникає похибка позиціювання $\varepsilon_{\text{п.і.}}$. Прийнято, що $\varepsilon_{\text{п.і.}} = 5$ мкм.

Оскільки розмірний знос різального інструмента (різцевої вставки розточувальної оправки) у випадку, що розглядається, не впливає на розташування осі обробленого отвору, то, відповідно, похибка, що зумовлена розмірним зносом різального інструмента $\varepsilon_{\text{з}} = 0$.

Похибку ε_b за даних технологічних умов спричиняє непаралельність площини столу до напрямку руху шпіндельної головки. Згідно з [9], ця похибка визначена за формулою

$$\varepsilon_b = Cl/L_{\phi} \text{ [мкм]}, \quad (3.13)$$

де C – допустиме відхилення від паралельності площини столу і напрямку руху шпіндельної головки в межах базової довжини L_{ϕ} .

Прийнявши згідно з [9], що $C = 3$ мкм, $L_{\phi} = 250$ мм, за формулою (3.13) з урахуванням знайдено $\varepsilon_b \approx 1$ мкм.

Похибка, що зумовлена тепловими деформаціями технологічної системи згідно з [9] складає близько 15% від суми інших похибок, тобто

$$\varepsilon_T = 0,15(\varepsilon_y + \varepsilon_{п.д} + \varepsilon_n + \varepsilon_{п.і} + \varepsilon_i + \varepsilon_b) \text{ [мкм]}. \quad (3.14)$$

Ця похибка під час обробки на сучасних багатоцільових верстатах з ЧПК зазвичай дещо менша, ніж на верстатах з ручним керуванням завдяки використанню рясного охолодження оброблюваної заготовки у закритій робочій зоні верстата. З урахуванням цього ε_T визначена за формулою (3.14), але коефіцієнт перед виразом в дужках зменшений з 0,15 до 0,1.

Таким чином, $\varepsilon_T = 3$ мкм.

За формулою (3.2) визначено величину сумарної похибки обробки ε_{Σ} , яка склала 17 мкм.

За результатами розрахунків побудована діаграма (рис. 3.2) розподілу величин елементарних похибок і сумарної похибки, що впливають на точність тонкого розточування отвору $\text{Ø}20\text{H}8$ мм стосовно розміру $20 \pm 0,02$ між віссю цього отвору і базовою площиною [18].

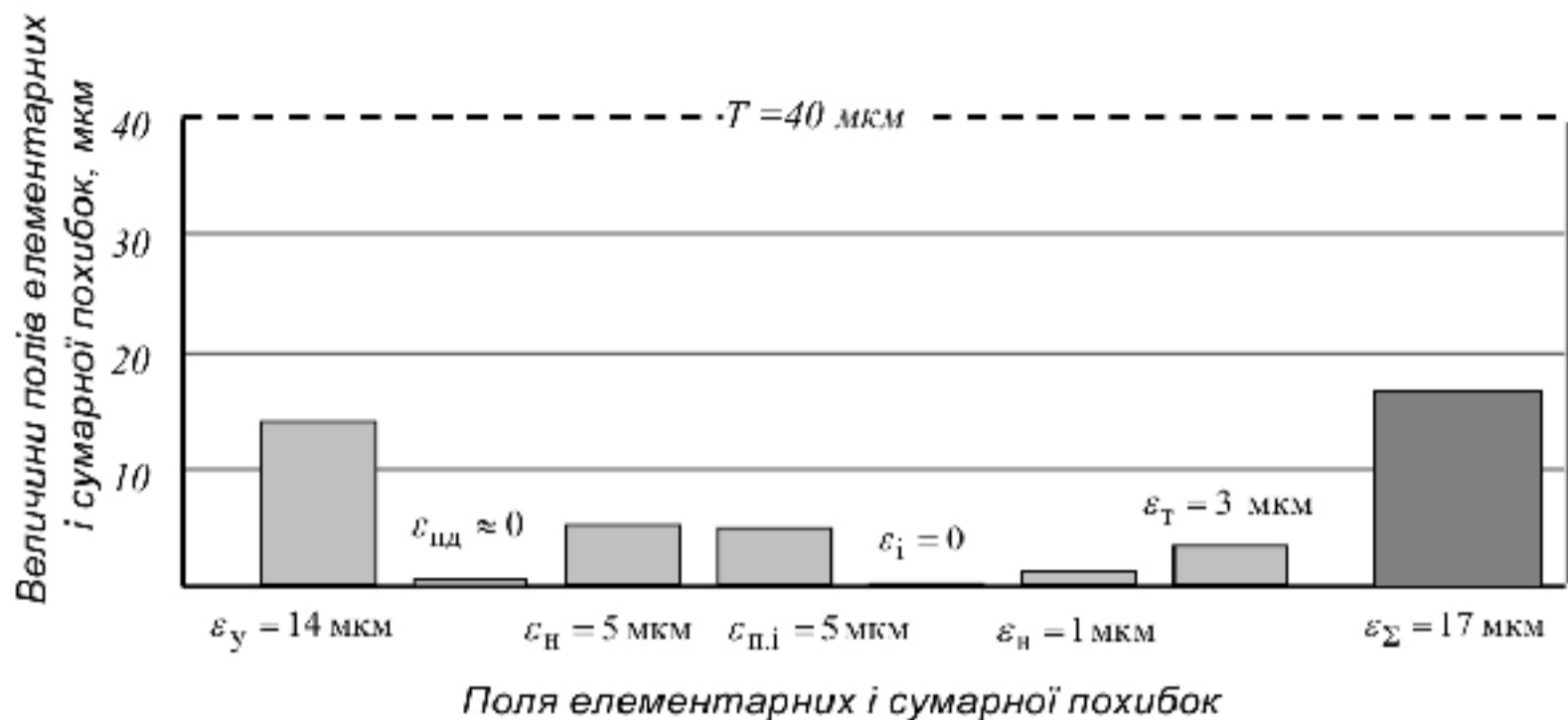


Рисунок 3.2 – Поля елементарних похибок і сумарної похибки, що виникають під час тонкого розточування отвору $\varnothing 20H8$ мм стосовно розміру $20 \pm 0,02$ мм між віссю цього отвору і базовою площиною

3.3 Висновки

1. На прикладі обробки заготовки корпусної деталі на багатоцільовому свердлильно-фрезерно-розточувальному верстаті з ЧПК моделі HAAS VF-2TR виконано кількісний аналіз впливу технологічних факторів на сумарну похибку (поле розсіювання) розміру, що поєднує вісь одного з головних отворів з базовою площиною.

2. Встановлено, що найсуттєвіший вплив на точність обробки мають похибка установлення, похибка настроєння і похибка, що зумовлена неточністю позиціювання при підведенні різального інструмента (розточувальної оправки) до початкової точки.

3. Обробка на верстаті з ЧПК моделі HAAS VF-2TR гарантовано забезпечує задану точність розміру $20 \pm 0,02$ мм, оскільки сумарна похибка обробки склала 17 мкм.

4. Результати дослідження можуть бути використані для аналізу наявних та проектування нових технологічних процесів механічної обробки і у навчальному процесі.

4 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС АЦ.60.01.010»

4.1 Розрахунок приведеної програми

Приведена програма визначається за формулою [4, 19]

$$N_{np} = N_{пред} + \sum_{i=1}^n N_i \cdot K_{при} \text{ [шт.]}, \quad (4.1)$$

де $N_{пред}$ – програма випуску представника; N_i – програма випуску деталей, якими довантажуються верстати; $K_{при}$ – коефіцієнт приведення деталей, якими довантажуються верстати.

Алгоритм розрахунку коефіцієнтів приведення представлено в [4, 19].

Таблиця 4.1 – Характеристика деталей приведеної програми

Деталі	Маса, кг	Програма, шт.	IT / Ra									
			6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Корпус АЦ.60.01.010 (розрахунковий представник)	3,9	4500	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
			-	3	3	1	-	-	-	-	-	33
			0,63	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	-	-	
			-	-	9	-	4	14	13	-	-	
Корпус 1	1,5	45000	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
			1	-	3	-	4	-	4	-	18	
			0,63	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	-	-	
			1	-	-	3	4	4	18	-	-	
Корпус 2	7,5	450	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
			-	2	2	4	2	-	2	-	26	
			0,63	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	-	-	
			-	-	2	2	6	2	26	-	-	
Корпус 3	1,5	4000	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
			-	1	-	3	-	-	5	1	8	
			0,63	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	-	-	
			-	-	1	-	7	4	6	-	-	

- Для деталі «Корпус 1».

Коефіцієнт приведення по масі

$$K_1 = \sqrt[3]{\left(\frac{1,5}{3,9}\right)^2} = 0,39.$$

Коефіцієнт приведення по програмі випуску

$$K_2 = \left(\frac{4500}{45000}\right)^{0,15} = 0,71.$$

Середня шорсткість розрахункового представника

$$\bar{R}_{a.p.p.} = \frac{1,6 \cdot 9 + 3,2 \cdot 4 + 6,3 \cdot 14 + 12,5 \cdot 13}{40} = 8,0 \text{ (мкм)}.$$

Середня точність розрахункового представника

$$\bar{T}_{p.p.} = \frac{7 \cdot 3 + 8 \cdot 3 + 9 \cdot 1 + 14 \cdot 33}{40} = 13,07.$$

Середня шорсткість розглядуваної деталі

$$\bar{R}_{a3} = \frac{0,63 \cdot 1 + 2,5 \cdot 3 + 3,2 \cdot 4 + 6,3 \cdot 4 + 12,5 \cdot 18}{30} = 9,04 \text{ (мкм)}.$$

Середня точність розглядуваної деталі

$$\bar{T}_3 = \frac{6 \cdot 1 + 8 \cdot 3 + 10 \cdot 4 + 12 \cdot 4 + 14 \cdot 18}{30} = 12,13.$$

Коефіцієнт приведення по складності

$$K_3 = \frac{(9,04)^{\alpha_1}}{(8,0)^{\alpha_1}} \cdot \frac{(12,13)^{\alpha_2}}{(13,07)^{\alpha_2}} = \frac{0,94}{0,97} \cdot \frac{0,89}{0,8} = 1,08.$$

Коефіцієнт приведення

$$K_{np} = 0,39 \cdot 0,71 \cdot 1,08 = 0,3.$$

- Для деталі «Корпус 2».

Коефіцієнт приведення по масі

$$K_1 = \sqrt[3]{\left(\frac{7,5}{3,9}\right)^2} = 1,92.$$

Коефіцієнт приведення по програмі випуску

$$K_2 = \left(\frac{4500}{450}\right)^{0,15} = 1,41.$$

Середня шорсткість розглядуваної деталі

$$\bar{R}_{a2} = \frac{1,6 \cdot 2 + 2,5 \cdot 2 + 3,2 \cdot 6 + 6,3 \cdot 2 + 12,5 \cdot 26}{38} = 9,6 \text{ (мкм)}.$$

Середня точність розглядуваної деталі

$$\bar{T}_2 = \frac{7 \cdot 2 + 8 \cdot 2 + 9 \cdot 4 + 10 \cdot 2 + 12 \cdot 2 + 14 \cdot 26}{38} = 12,47.$$

Коефіцієнт приведення по складності

$$K_3 = \frac{(9,6)^{\alpha_1}}{(8,0)^{\alpha_1}} \cdot \frac{(12,47)^{\alpha_2}}{(13,07)^{\alpha_2}} = \frac{0,97}{0,97} \cdot \frac{0,847}{0,8} = 1,06.$$

Коефіцієнт приведення

$$K_{np} = 1,92 \cdot 1,41 \cdot 1,06 = 2,87.$$

- Для деталі «Корпус 3».

Коефіцієнт приведення по масі

$$K_1 = \sqrt[3]{\left(\frac{1,5}{3,9}\right)^2} = 0,39.$$

Коефіцієнт приведення по програмі випуску

$$K_2 = \left(\frac{4500}{4000}\right)^{0,15} = 1,02.$$

Середня шорсткість розглядуваної деталі

$$\bar{R}_{a.p.p.} = \frac{1,6 \cdot 1 + 3,2 \cdot 7 + 6,3 \cdot 4 + 12,5 \cdot 6}{18} = 6,9 \text{ (мкм)}.$$

Середня точність розглядуваної деталі

$$\bar{T}_{p.p.p.} = \frac{7 \cdot 1 + 9 \cdot 3 + 12 \cdot 5 + 13 \cdot 1 + 14 \cdot 8}{18} = 12,17.$$

Коефіцієнт приведення по складності

$$K_3 = \frac{(6,9)^{\alpha_1}}{(8,0)^{\alpha_1}} \cdot \frac{(12,7)^{\alpha_2}}{(13,07)^{\alpha_2}} = \frac{0,98}{0,97} \cdot \frac{0,898}{0,8} = 1,14.$$

Коефіцієнт приведення

$$K_{np} = 0,39 \cdot 1,02 \cdot 1,14 = 0,45.$$

Отже, приведена програма

$$N_{прив} = 4500 + 45000 \cdot 0,3 + 450 \cdot 2,87 + 4000 \cdot 0,45 = 21092 \text{ (шт.)}$$

Таблиця 4.2 – Розрахунок приведеної програми

Найменування виробу	Річний випуск, шт.	Маса одного виробу, кг	Коефіцієнт приведення				Приведена програма, шт.
			по масі	по серійності	по складності	загальний	на річний випуск
Корпус АЦ.60.01.010	4500	3,9	1,0	1,0	1,0	1,0	4500
Корпус 1	45000	1,5	0,39	0,71	1,08	0,3	13500
Корпус 2	450	7,5	1,92	1,41	1,06	2,87	1292
Корпус 3	4000	1,5	0,39	1,02	1,14	0,45	1800

Σ 21092 шт.

4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження

Згідно [4, 19] розрахункова кількість верстатів:

$$C_p = \frac{N \cdot T_{шт-к}}{60 \cdot \Phi_o}, \quad (4.2)$$

де N – приведена програми випуску; $T_{шт-к}$ – штучно-калькуляційний час, хв.; Φ_0 – дійсний фонд часу роботи верстата, год.

Кількість верстатів необхідних для обробки деталі «Корпус АЦ.60.01.010»:

$$\text{операція 005} \quad C_{p005} = \frac{3,92 \cdot 4500}{60 \cdot 3890} = 0,07;$$

$$\text{операція 010} \quad C_{p010} = \frac{21,54 \cdot 4500}{60 \cdot 3890} = 0,42.$$

Кількість верстатів необхідних для обробки приведеної програми:

$$\text{операція 005} \quad C_{p005} = \frac{3,92 \cdot 21092}{60 \cdot 3890} = 0,35;$$

$$\text{операція 010} \quad C_{p010} = \frac{21,54 \cdot 21092}{60 \cdot 3890} = 1,95.$$

Приймаємо 1 верстат на 005 операції та 2 верстати на 010 операції.

Тоді коефіцієнти завантаження відповідно складатимуть:

$$\eta_z = \frac{C_p}{C_{np}}, \quad (4.3)$$

де C_p – розрахункова кількість верстатів; C_{np} – прийнята кількість верстатів.

$$\text{Операція 005:} \quad \eta_{z005} = \frac{0,35}{1} = 0,35.$$

$$\text{Операція 010:} \quad \eta_{z010} = \frac{1,95}{2} = 0,975.$$

Середній коефіцієнт завантаження обладнання:

$$\eta_{\text{сер}} = \frac{0,35 + 0,975}{2} = 0,66.$$

Коефіцієнт використання обладнання за основним часом:

$$\eta_o = \frac{T_o}{T_{\text{ит-к}}}. \quad (4.4)$$

Операція 005: $\eta_{o005} = \frac{2,96}{3,92} = 0,76.$

Операція 010: $\eta_{o010} = \frac{16,57}{21,54} = 0,77.$

Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом:

$$\eta_{\text{сер}} = \frac{0,76 + 0,77}{2} = 0,765.$$

4.3 Побудова графіків завантаження обладнання

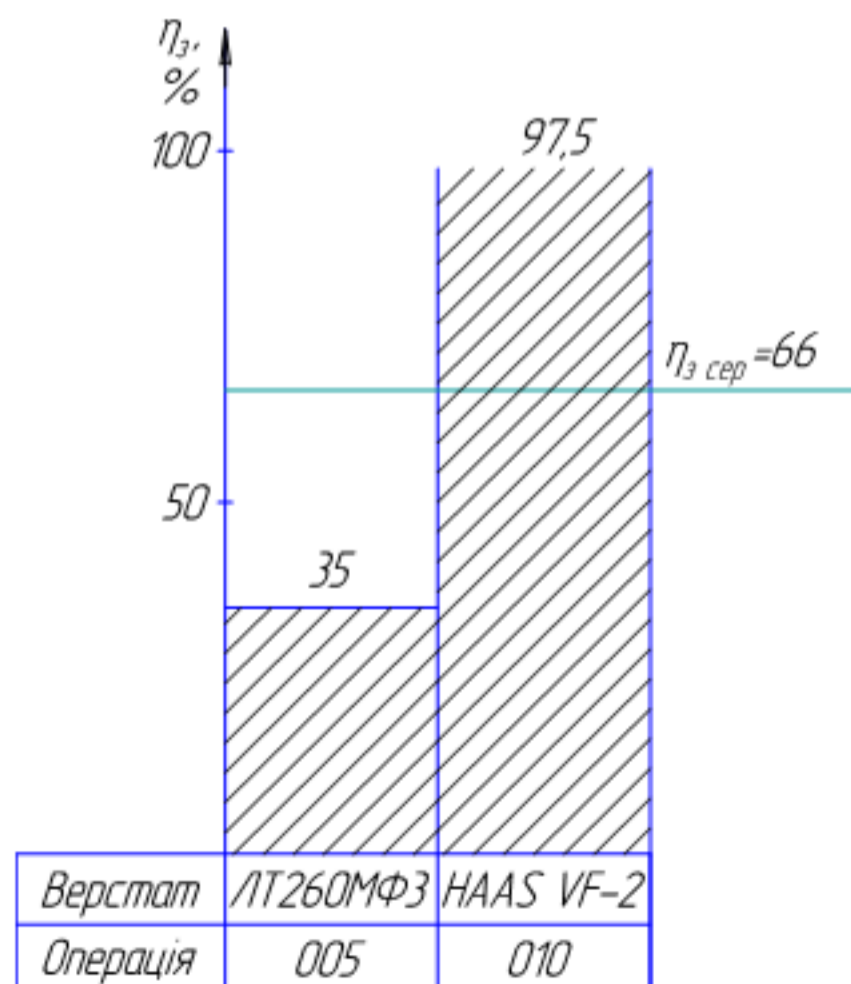


Рисунок 4.1 – Графік завантаження обладнання

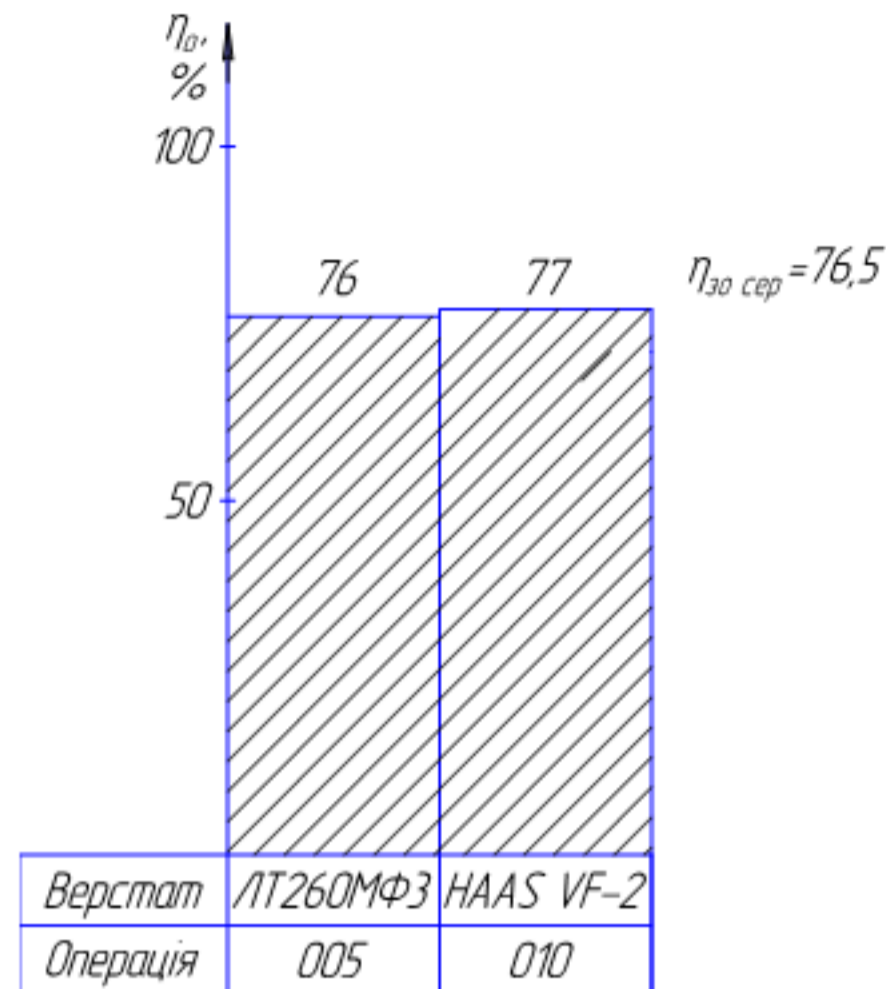


Рисунок 4.2 – Графік використання обладнання за основним часом

Коефіцієнт завантаження обладнання є нижчим нормативного значення для серійного виробництва (0,75-0,85) за рахунок низького завантаження верстату на 005 операції. Цей верстат може бути довантажений обробкою подібних деталей, що дасть можливість підвищити коефіцієнт завантаження.

4.4 Розрахунок кількості працівників на дільниці

Кількість робітників-верстатників дільниці механічного цеху [4, 19]:

$$P_i = \frac{\Phi_o \cdot C_{np} \cdot \eta_3 \cdot \eta_o}{\Phi_a \cdot K_m}, \quad (4.5)$$

де Φ_a – ефективний річний фонд роботи верстатника, $\Phi_a = 1840$ год.;

Φ_o – ефективний фонд роботи верстата, $\Phi_o = 3890$ год.;

C_{np} – прийнята кількість верстатів, шт.;

K_m – коефіцієнт багатостатного обслуговування, $K_m = 1,0 \dots 2,2$;

η_3, η_0 – коефіцієнти завантаження.

$$P_{005} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,35 \cdot 0,76}{1840 \cdot 1} = 0,56; \quad P_{np005} = 1;$$

$$P_{010} = \frac{2 \cdot 3890 \cdot 0,975 \cdot 0,77}{1840 \cdot 2} = 1,59; \quad P_{np010} = 2.$$

Кількість основних робітників складає 3 чоловіка

Кількість допоміжних робітників:

$$P_{дон} = (0,2 \dots 0,25) \cdot 3 = 0,6 \dots 0,75.$$

Приймаємо 1 допоміжного робітника.

Кількість ІТР:

$$P_{ИТР} = (0,16 \dots 0,22) \cdot 3 = 0,48 \dots 0,66.$$

Приймаємо 1 чоловіка.

Кількість службовців:

$$P_{служ} = (0,009 \dots 0,019) \cdot 3 = 0,027 \dots 0,057.$$

Приймаємо 1 чоловіка.

Кількість МОП

$$P_{МОП} = (0,01 \dots 0,02) \cdot 6 = 0,06 \dots 0,12.$$

Приймаємо 1 чоловіка.

Всі працівники (крім основних робітників-верстатників) обслуговують ще інші дільниці.

Отримані дані занесемо до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Відомість складу працюючих дільниці

Категорії працюючих	Розрахункова кількість	Прийнята кількість
Основні робітники-верстатники	2,15	3
Допоміжні робітники	0,6...0,75	1
ІТР	0,48...0,66	1
СКП	0,027...0,057	1
МОП	0,06...0,12	1

4.5 Висновки

Виконано проектування елементів дільниці для реалізації удосконаленого технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010». Розраховано приведену програму для роботи дільниці в середньосерійному виробництві, яка складає 21092 шт. (проектується дільниця, на якій вироблятиметься 4 подібні деталі). Верстат на 005 операції завантажений не достатньо, тому він може бути довантажений обробкою подібних деталей.

5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС АЦ.60.01.010»

5.1 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Кришка АЦ.60.01.010»

5.1.1 Капітальні вкладення на удосконалення технологічного процесу

Капітальні вкладення на удосконалення технологічного процесу K , складаються з відповідних витрат і розраховують за такою формулою [3]:

$$K = Z_o + Z_{дод} + Z_n + B_{буд} + B_{обл} + B_{тр} + B_{осн} + B_{инв} + B_{пу} + B_{не} + B_{оз} \text{ [грн.]}, \quad (5.1)$$

де Z_o – основна заробітна плата розробників, грн.; $Z_{дод}$ – додаткова заробітна плата розробників, грн.; Z_n – нарахування на заробітну плату розробників, грн.; $B_{буд}$ – вартість будівлі, що її займає діляниця, грн.; $B_{обл}$ – початкова вартість технологічного обладнання, грн.; $B_{тр}$ – початкова вартість транспортних засобів, грн.; $B_{осн}$ – початкова вартість інструменту, оснащення великої вартості, вимірювальних та регулювальних приладів, грн.; $B_{инв}$ – вартість виробничого та господарчого інвентарю, грн.; $B_{пу}$ – вартість програм управління, грн.; $B_{не}$ – передвиробничі витрати, грн.; $B_{оз}$ – вартість оборотних засобів, грн.

5.1.2 Основна заробітна плата розробників

Витрати на основну заробітну плату розробників (Z_o) розраховують за формулою:

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p} \text{ [грн.]}, \quad (5.2)$$

де k – кількість посад розробників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного розробника, грн.;

t_i – число днів роботи конкретного розробника, грн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p = 22$ дні.

Таблиця 5.1 – Витрати на заробітну плату розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.	Прим.
Керівник проекту	9500	431,82	10	4318,2	
Інженер-технолог	8500	386,36	8	3090,91	
Інженер-конструктор	8500	386,36	8	3090,91	
Економіст	8500	386,36	2	772,72	
Всього				Z_o	11272,74

5.1.3 Додаткова заробітна плата розробників

Додаткова заробітна плата розраховується як 10...12% від основної заробітної плати розробників за формулою:

$$Z_{\text{доп}} = H_{\text{доп}} \cdot Z_o \text{ [грн.]}, \quad (5.3)$$

де $H_{\text{доп}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати.

$$Z_{\text{доп}} = 0,1 \cdot 11272,74 = 1127,274 \approx 1127,3 \text{ (грн.)}$$

5.1.4 Єдиний страховий внесок розробників (ЄСВ)

Єдиний страховий внесок розробників Z_n розраховується як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати розробників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_{\text{доп}}) \cdot H_{zn} \text{ [грн.]}, \quad (5.4)$$

де H_{zn} – норма нарахування на заробітну плату розробників.

$$Z_n = (11272,74 + 1127,274) \cdot 0,22 = 2728 \text{ (грн.)}$$

5.1.5 Вартість будівлі, що її займає ділянка

У нашому випадку не передбачається будівництво ділянки, тому ми розрахуємо вартість переобладнання існуючої ділянки. В цьому випадку можна обчислити витрати на переобладнання власних старих приміщень для облаштування удосконаленого технологічного процесу за формулою:

$$B_{\text{буд.}} = C_{\text{пл}} \cdot S_{\text{заг}} \text{ [грн.]}, \quad (5.5)$$

де $C_{\text{пл}}$ – приблизна вартість переобладнання 1 м² власних приміщень ($C_{\text{пл}} \approx 200 \dots 1000 \text{ грн./м}^2$);

$S_{\text{заг}}$ – загальна площа виробничої ділянки, м².

$$B_{\text{буд.}} = 600 \cdot 86 = 51600 \text{ (грн.)}$$

5.1.6 Початкова вартість технологічного обладнання

Балансову вартість нового обладнання розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{обл}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i \text{ [грн.]}, \quad (5.6)$$

де C_i – ціна придбання одиниці обладнання даного виду, марки, грн.;

$C_{\text{пр.і}}$ – прийнята кількість одиниць обладнання відповідного найменування, які встановлені на ділянці, шт.;

K_i – коефіцієнт, що ураховує доставку, монтаж, налагодження обладнання тощо, ($K_i = 1,10 \dots 1,12$; для промислових роботів $K_i = 1,3 \dots 1,5$);

k – кількість найменувань обладнання встановленого на дільниці.

Таблиця 5.2 – Вартість обладнання

№	Найменування обладнання	Ціна, грн.	Кількість	K_i	Вартість, грн.
1	П'ятикоординатний оброблювальний центр HAAS VF-2TR	2000000	1	1,1	2200000
Всього					2200000

Придбаний верстат був у використанні.

Реалізуємо верстати, що були на базовій дільниці:

- 4 верстати ЛТ260МФ3 – $4 \cdot 200000 = 800000$ (грн.)

Всього реалізовано верстатів на 800000 грн.

Отже, витрати на обладнання

$$B_{обл} = 2200000 - 800000 = 1400000 \text{ (грн.)}$$

5.1.7 Початкова вартість транспортних засобів

Для організації технологічного процесу додаткові транспортні засоби не плануються, тому їх вартість розраховувати не будемо.

5.1.8 Початкова вартість інструменту, оснащення великої вартості, вимірювальних та регулювальних приладів

При укрупнених розрахунках витрати на інструмент і інше технологічне оснащення приймаються у відсотках від вартості основного технологічного обладнання і складають у серійному виробництві загального машинобудування – 10...15%.

Вартість інструментів і технологічного оснащення ($B_{мо}$) розраховують за формулою:

$$B_{мо} = B_{обл} \cdot \frac{K_n}{100\%} \text{ [грн.]}, \quad (5.7)$$

де $B_{обл}$ – балансова вартість обладнання, грн.;

K_n – нормативний відсоток витрат в залежності від типу виробництва;

$$B_{то} = 1400000 \cdot 0,10 = 140000 \text{ (грн.)}$$

Вартість оснастки великої вартості ($B_{осв}$) становить 20...30% вартості інструменту і технологічного оснащення, і розраховується за формулою:

$$B_{осв} = (0,2...0,3) \cdot B_{то} \text{ [грн.]}; \quad (5.8)$$

$$B_{осв} = 140000 \cdot 0,25 = 35000 \text{ (грн.)}$$

Вартість контрольно-вимірювальних і регулювальних приладів ($B_{ксп}$), не закріплених за окремими робочими місцями і обслуговуючих одночасно всю ділянку, встановлюють пропорційно вартості інструменту і технологічного оснащення в межах 6...12% та розраховують за формулою:

$$B_{ксп} = (0,06...0,12) \cdot B_{то} \text{ [грн.]}; \quad (5.9)$$

$$B_{ксп} = 0,1 \cdot 140000 = 14000 \text{ (грн.)}$$

Загальна вартість інструменту, оснащення великої вартості, вимірювальних та регулювальних приладів ($B_{осн}$) визначається за формулою:

$$B_{осн} = B_{то} + B_{осв} + B_{ксп} \text{ [грн.]}; \quad (5.10)$$

$$B_{осн} = 140000 + 35000 + 14000 = 189000 \text{ (грн.)}$$

5.1.9 Вартість виробничого та господарчого інвентарю

Розрахунки не ведуться адже інвентар залишається той самий що і до удосконалення.

5.1.10 Вартість програм керування

Вартість програм керування для обладнання з ЧПК (B_{ny}) становить 5...10% вартості додатково придбаного технологічного обладнання з ЧПУ і розраховується за формулою:

$$B_{ny} = (0,05...0,1) \cdot B_{обл} \text{ [грн.];} \quad (5.11)$$

$$B_{ny} = 0,1 \cdot 1400000 = 140000 \text{ (грн.)}$$

5.1.11 Величина передвиробничих витрат

Так як передвиробничі витрати – це частина одноразових (пускових) витрат, що пов'язані із підготовкою та освоєнням виробництва. В даному випадку вони не враховуються, так як виробництво існує і виконується його модернізація.

5.1.12 Величина оборотних засобів

Оборотні засоби – це сукупність оборотних фондів виробництва і фондів обігу, що беруть участь у виробничому процесі. В існуючому виробничому процесі вони є в наявності і тому при удосконаленні окремих операцій технологічного процесу дільниці вони можуть не враховуватися.

Отже, величина капітальних вкладень на удосконалення технологічного процесу складе:

$$K = 11272,74 + 1127,274 + 2728 + 51600 + 1400000 + 189000 + 140000 = 1795728,01 \text{ (грн.)}$$

5.2 Розрахунок виробничої собівартості одиниці продукції

5.2.1 Сировина та матеріали

Для визначення потреби в матеріалах окрім їх номенклатури необхідно мати норми витрат матеріалів на одиницю продукції.

Вартість витрат на матеріал заготовки деталі типу «Кришка АЦ.60.01.010» складає 311,44 грн. (див. розділ 2).

5.2.2 Розрахунок витрат на силову електроенергію

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховують за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{enl}}{\eta_i} \text{ [грн.]}, \quad (5.12)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеній i -й технологічній операції, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на визначеній i -й технологічній операції при виготовленні одного виробу, год.;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, $C_e = 2,99$ грн.;

K_{enl} – коефіцієнт, що враховує використання потужності на визначеній i -й технологічній операції, $K_{enl} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i = 0,96$.

Проведені розрахунки бажано звести до таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Витрати на електроенергію

Найменування операції, верстат	Встановлена потужність, кВт	Тривалість обробки, год.	Сума, грн.
005 Вертикально-фрезерний з ЧПК ЛТ260МФ3	5,5	0,049	0,67
010 Вертикальний багатоцільовий верстат з ЧПК HAAS VF-2	22,4	0,276	15,4
Всього			Σ 16,07

5.2.3 Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт розраховують за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i \text{ [грн.],} \quad (5.13)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн./год;

t_i – час роботи робітника на визначеній i -й технологічній операції при виготовленні одного виробу, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}} \text{ [грн.],} \quad (5.14)$$

де M_M – розмір мінімальної місячної заробітної плати, $M_M = 5000$ грн. (на 01.11.2020 р.);

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду;

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств машинобудування до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 22$ дні;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C = (5000 \cdot 1,35 \cdot 1,5) / (22 \cdot 8) = 57,53 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 5.4 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування операцій, верстат	Тривалість операції, год.	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
005 Вертикально- фрезерна з ЧПК, ЛТ260МФ3	0,049	3	1,35	57,53	2,82
010 Комбінована з ЧПК, HAAS VF-2	0,276	3	1,35	57,53	15,88
Всього					Σ 18,7

5.2.4 Додаткова заробітна плата робітників

Розраховується як 10...12% від основної заробітної плати робітників:

$$Z_{\text{дод}} = H_{\text{дод}} \cdot Z_p \text{ [грн.]}, \quad (5.15)$$

де $H_{\text{дод}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати.

$$Z_{\text{дод}} = 0,1 \cdot 18,7 = 1,87 \text{ (грн.)}$$

5.2.5 Єдиний страховий внесок робітників (ЄСВ)

Єдиний страховий внесок робітників Z_n розраховується як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати виробничих робітників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_{\text{дод}}) \cdot H_{zn} \text{ [грн.]}, \quad (5.16)$$

де H_{zn} – норма нарахування на заробітну плату робітників.

$$Z_n = (18,7 + 1,87) \cdot 0,22 = 4,53 \text{ (грн.)}$$

5.2.6 Розрахунок загальновиробничих статей витрат

Величину загальновиробничих витрат розраховують за формулою:

$$B_{\text{заг}} = H_{\text{за}} \cdot Z_p \text{ [грн.];} \quad (5.17)$$

$$B_{\text{заг}} = 2,5 \cdot 18,7 = 46,75 \text{ (грн.)}$$

Сума всіх калькуляційних статей витрат утворює виробничу собівартість виробу.

Таблиця 5.5 – Собівартість виготовлення виробу

Стаття витрат	Умовне позначення	Сума, грн.	Примітка
Витрати на матеріали на одиницю продукції, грн.	M	311,44	
Витрати на силову електроенергію, грн.	B_e	16,07	
Витрати на основну заробітну плату робітників, грн.	Z_p	18,7	
Витрати на додаткову заробітну плату робітників, грн.	$Z_{\text{дод}}$	1,87	
Витрати на єдиний соціальний внесок, грн.	Z_n	4,53	
Загальновиробничі витрати, грн.	$B_{\text{заг}}$	46,75	
Всього	S_e	399,36	

5.3 Розрахунок ціни реалізації нового виробу

5.3.1 Нижня межа ціни

Ціна реалізації виробу розраховується за формулою:

$$C_{\text{нп}} = S_e \cdot \left(1 + \frac{P}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{w}{100}\right) \text{ [грн.],} \quad (5.18)$$

де $C_{\text{нп}}$ – нижня межа ціни реалізації виробу, грн.;

S_e – виробнича собівартість виробу, грн.;

P – нормативний рівень рентабельності, рекомендується приймати $P = 5...20\%$;

w – ставка податку на додану вартість, за станом на 01.11.2020 року, $w = 20\%$.

Необхідність врахування податку на додану вартість виникає у зв'язку з тим, що коли буде встановлюватись верхня межа ціни, а потім договірна ціна, то ціна базового виробу зазвичай містить цей податок.

$$C_{\text{впр}} = 399,36 \cdot (1+0,2) \cdot (1+0,2) = 575,08 \text{ (грн.)}$$

5.3.2 Верхня межа ціни

Верхня межа ціни ($C_{\text{впр}}$) захищає інтереси споживача і визначається тією ціною, яку споживач готовий сплатити за продукцію з кращою споживчою якістю.

Параметри якості продукції закладено в конструкторській документації, тому, при удосконаленні технологічного процесу, якість кінцевого продукту не змінюється $C_{\text{впр}} = 575,08$ грн.

5.4 Розрахунок величини чистого прибутку

При удосконаленні технологічного процесу розрахунок величини чистого прибутку, який отримає виробник протягом одного року, розраховується за формулою:

$$П = \left\{ \left[C_{\text{дого}} - \frac{(C_{\text{дого}} - M) \cdot f}{100} - S_{\text{в}} - \frac{q \cdot S_{\text{в}}}{100} \right] \cdot \left[1 - \frac{h}{100} \right] \right\} \cdot N \text{ [грн.]}, \quad (5.19)$$

де $C_{\text{дого}}$ – договірна ціна реалізації виробу, грн.;

M – вартість матеріальних ресурсів, які були придбані виробником для виготовлення одиниці виробу, грн.;

$S_{\text{в}}$ – виробнича собівартість виробу, грн.;

f – зустрічна ставка податку на додану вартість, $f = 16,67\%$;

h – ставка податку на прибуток, $h = 18\%$;

q – норматив, який визначає величину адміністративних витрат, витрат на збут та інші операційні витрати, $q = 5...10\%$;

N – число виробів, які планується реалізувати за рік, шт.

$$\begin{aligned} \Pi &= \left\{ \left[575,08 - \frac{(575,08 - 311,44) \cdot 16,67}{100} - 399,36 - \frac{10 \cdot 399,36}{100} \right] \cdot \left[1 - \frac{18}{100} \right] \right\} \cdot 21092 = \\ &= 1588330,4 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

5.5 Оцінювання ефективності інноваційного рішення

При оцінці ефективності інноваційних проектів передбачається розрахунок таких важливих показників, як: чистий дисконтний дохід (інтегральний ефект); внутрішня норма дохідності (прибутковості); індекс прибутковості; термін окупності.

5.5.1 Розрахунок чистого дисконтний доходу

Дане удосконалення передбачає одноразові капітальні вкладення, тому NPV можна визначити за формулою:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{\Pi_t}{(1+d)^t} - K \text{ [грн.]}, \quad (5.20)$$

де Π_t – прибуток отриманий від реалізації відповідної кількості нової продукції у t -му році функціонування проекту, грн.;

K – величина капітальних вкладень у розробку інноваційного рішення (проект), грн.;

d – норма дисконту, величина якої залежить від рівня ризику, рівня банківської ставки по вкладам, рівня інфляції;

n – термін протягом якого продукція реалізовуватиметься на ринку (термін функціонування проекту), років;

t – відповідний рік функціонування проекту, в якому очікується прибуток, грн.

$$NPV = \frac{1588330,4}{(1+0,2)^1} + \frac{1588330,4}{(1+0,2)^2} + \frac{1588330,4}{(1+0,2)^3} + \frac{1588330,4}{(1+0,2)^4} - 1795728,01 =$$

$$= 2316037,8 \text{ (грн.)}$$

Враховуючи, що $NPV > 0$, то проект можна рекомендувати до реалізації.

5.5.2 Розрахунок внутрішньої норми доходності

Мінімальне можливе значення внутрішньої норми доходності проекту IRR_{MIN} розраховується такою формулою:

$$IRR_{MIN} = \sqrt[n]{\frac{\sum_{t=1}^n (\Pi_t + A_t)}{K}} - 1, \quad (5.21)$$

де Π_t – прибуток отриманий від реалізації відповідної кількості нової продукції у t -му році функціонування проекту, грн.;

A_t – амортизаційні відрахування у t -му році функціонування проекту на обладнання, яке безпосередньо було використано для розробки інноваційного рішення, грн.;

K – величина капітальних вкладень у розробку інноваційного рішення (проект), грн.;

n – термін протягом якого продукція реалізовуватиметься на ринку (термін функціонування проекту), років;

t – відповідний рік функціонування проекту, в якому очікується прибуток, грн.

$$IRR_{MIN} = \sqrt[4]{\frac{1588330,4 + 1588330,4 + 1588330,4 + 1588330,4}{1795728,01}} - 1 = 0,37.$$

5.5.3 Розрахунок терміну окупності

Термін окупності капітальних вкладень (або додаткових капітальних вкладень) розраховується за формулою:

$$T_o = \frac{\Delta K(K)}{П} \text{ [років]}, \quad (5.22)$$

де K – величина капітальних вкладень для розробки нової технології грн.,
 ΔK – величина додаткових капітальних вкладень для модернізації технології, грн.,

$П$ – прибуток, отриманий виробником за 1 рік продажу продукції, виробленої з застосуванням нового технологічного процесу, грн.

$$T_o = \frac{1795728,01}{1588330,4} = 1,13 \text{ (року)}.$$

5.6 Висновки

Визначено капітальні витрати на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Кришка АЦ.60.01.010», які включають витрати на основну і додаткову заробітну плату розробників та робітників, амортизацію обладнання, витрати на електроенергію, матеріали тощо.

За результатами всіх розрахунків виявлено, що для впровадження удосконаленого технологічного процесу потрібно 1795728,01 грн. капітальних вкладень. Прибуток за рік виробника складе 1588330,4 грн., термін окупності 1,13 року.

Отже, удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Кришка АЦ.60.01.010» доцільне для впровадження.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Аналіз умов праці [20, 21]

При виконанні робіт в зоні механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010» виникають небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- фізичні: рухомі машини та механізми; розлиті на підлогу рідини; підвищена температура поверхонь агрегатів; гострі кромки та шорсткість поверхні; підвищена запиленість; загазованість повітря; мікроклімат, який не відповідає нормативам; недостатня освітленість; підвищений рівень шуму і вібрації в приміщенні; ультрафіолетове випромінювання при проведенні короткочасного підварювання безпосередньо на робочих постах; враження електричним струмом;

- хімічні: відпрацьовані гази та розчинники;

- психо-фізіологічні: монотонність праці.

6.2 Організаційно-технічні рішення щодо безпечних умов праці

Згідно санітарним нормам $V = 15 \text{ м}^3/\text{люд}$, $S = 4,5 \text{ м}^2/\text{люд}$. Реальні показники площі і об'єму знаходяться в межах допустимих значень.

Виробнича санітарія складається із визначення необхідних параметрів, розглянемо їх.

6.2.1 Мікроклімат

Дана зона виробництва відноситься до категорії робіт – Пб. В зоні виготовлення гідроімпульсного пристрою для вібраційного точіння оптимальні та допустимі значення параметрів мікроклімату, наведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Значення параметрів мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, °С		Відносна вологість		Швидкість повітря	
		діюча	допустима	діюча	допустима	діюча	допустима
холодний	П б	15-20	15-21	55-65	<75	0,2-0,4	<0,4
теплий	П б	15-20	15-21	60-75	<75	0,2-0,4	0.2-0.5

Теплове опромінення не перевищує нормативне 100 Вт/м² - при опроміненні не більше 25% поверхні тіла людини.

Максимальна допустима для роботи температура поверхонь $\leq 45^{\circ}\text{C}$.

Вентиляція зони приточно-витяжна з механічним та природним сполуканням. Система вентиляції дозволяє підтримувати концентрацію шкідливих речовин в межах, які не перевищують гранично-допустимі.

Система опалення виконується з умов забезпечення температури повітря в приміщенні в холодний і перехідні періоди року на рівні $+ 16^{\circ}\text{C}$.

Опалення централізоване, в якості теплоносія – гаряча вода з температурою $+80\dots+95^{\circ}\text{C}$. Джерелом теплопостачання є ТЕС. Опалення здійснюється трубами $d = 100$ мм, система опалення – двухтрубна з верхньою розводною, тупікова.

6.2.2 Виробниче освітлення

В приміщенні зони є природне та штучне освітлення, які нормуються.

Нормативне значення природнього освітлення:

$$e^4 = e^3 \cdot m \cdot c = 1; \quad (6.1)$$

де e – нормативне значення КПО для 3-го світлового поясу;

m – коефіцієнт світлового клімату;

c – коефіцієнт сонячності.

Нормативне значення штучного освітлення $E = 200$ лк (для загального освітлення). Згідно норм і правив роботи по виготовленню пристроїв в механічному цеху відносяться до IV розряду зорових робіт і нормативні значення приведені в таблиці 6.3.

Таблиця 6.2 – Значення кількісних показників освітлення

Характер зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення	Характеристика фону	Штучне освітлення	Періодне освітлення
					Лк	КПО, %
						Бічне
Середня робота	0,5-1	IVб	Великий	Світлий	500	1,5

Штучне освітлення проводиться світильниками з лампами розжарення. Вони забезпечують усунення сліпучої дії джерела світла. Освітленість проходів в виробничому приміщенні повинна складати – 75 Лк. Світильники місцевого освітлення живляться від мережі напругою 36 В, загального 220 В. Всі світильники повинні мати заземлення і бути герметичними по ступені захисту IP65. Отже вибираємо лампи ЛБ 20-4 з потужністю 20 Вт і світловим потоком $\Phi = 1180$ тривалістю горіння $10 \cdot 10^3$ годин.

6.2.3 Виробничий шум

В робочій зоні має місце широкополосний шум, що виходить від роботи обладнання. Для широкополосного шуму встановлені допустимі рівні звукового тиску в активних полосах частот, рівні звукового тиску на робочих. Для ослаблення шуму, який поширюється з приміщення назовні, використаємо звукоізоляцію огорожуючих конструкцій.

Таблиця 6.3 – Допустимі рівні шуму на робочих місцях

Рівні звукового тиску в дБ в активних смугах з середньгеометричними частотами, Гц									Рівні звуку ДБ/А	
									нормат.	діючий
31,5	62	125	250	500	103	2 103	4103	8 103	80	70 А
107	90	87	82	78	75	73	71	69		

В зоні відновлення робочих поверхонь прокатних валків прокатного стану працівник підпадає під дію шкідливих вібрацій не всю зміну, а тільки коли

працюють обладнання та інструмент. В середньому загальній технологічній вібрації підлягає на протязі 150 хв, а локальній – 100 хв.

6.2.4 Виробничі вібрації

Від роботи інструменту, систем вентиляції та іншого виробничого обладнання на працюючих може виникати вібрація. Вібрація характеризується такими показниками як віброшвидкість, віброприскорення, рівень віброшвидкості, рівень віброприскорення.

Вібрації знижуються при використанні амортизаторів, змащувальних матеріалів та реактивних гасників пульсації. Особливе значення в боротьбі з вібрацією мають фундаменти виробничих будівель, а також фундаменти під устаткуванням. На робітників може діяти локальна і загальна вібрація. Локальна передається через руки, загальна через підошви ніг.

Таблиця 6.4 – Нормативні рівні звукового тиску на ділянці згідно ГОСТ 12.1.012- 90

Робочі місця	Рівні звукового тиску в дБ у октавних смугах із середньгеометричними частинами Гц									Еквівалентний рівень звуку дБ(А)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виконання всіх видів робіт на постійних місцях у виробничих заходах	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Загальна вібрація категорії “а”, критерій оцінки – границя зниження продуктивності. Норми вібрацій приведено в таблиці 6.5.

Для зниження вібрації використовуємо спеціальні звукопоглинаючі кожухи і конструкції коло робочого місця, заключаєм у звукопоглинаючі кожухи шумні вузли агрегатів(редуктора. цепні передачі).

Таблиця 6.5 – Норми вібрацій

Вид вібрації	Категорія вібрації	Напрямок дій	Нормативні коректовані по частоті та еквівалентні значення			
			Віброприскорення		Віброшвидкість	
			a_{HM}/c^2	L_{aH} дБ	$V_H \cdot 10^{-2}$ м/с	L_{vH} дБ
Локальна		X_n, Y_n, Z_n	2,0	125	2,0	112
Загальна	3 типа		0,1	100	0,2	90

Для зменшення вібрації машини і верстати встановлюють на фундаменті, заглибленому нижче фундамента стін, ізолюваному від землі повітряними розривами, чи на спеціальних амортизаторах із сталених пружин.

Для зниження вібрації при роботі з пневматичними і електричними машинами використовуємо рукоятки з вібропоглинаючими чи автоматизуючими пристроями.

В приміщенні зони є медична настінна аптечка з необхідною кількістю ліків, бинтів, вати та жгута. Робітники отримують: бавовняний комбінезон, рукавиці, черевики, засоби індивідуального захисту та миючі аптечні засоби.

При проведенні робіт випромінюються невидимі ультрафіолетові промені, які оказують шкідливий вплив на сітчатку і рогову оболонку очей.

Для захисту очей від цієї шкідливої дії використовують щітки і шоломи з захисним склом. Їх виготовляють з фісри чорного матового кольору.

Електрозварювальні роботи виконують в спеціальних кабінах. Стіни кабіни окрашують в матовий колір, що містить окис цинку, ця краска інтенсивно поглинає ультрафіолетове випромінювання.

6.3 Організаційно-технічні рішення щодо забезпечення безпечної роботи

6.3.1 Техніка безпеки

В зоні механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010» технологічне обладнання, пристосування підлягають технологічному періодичному огляду. Особи, що працюють віком старше 18 років, які пройшли спеціальне навчання та інструктажі з ТБ та ПБ.

Для колективного захисту від дії електричного струму напругою 280/220 В передбачено занулення (захисне заземлення), ізоляція та недоступність струмонесучих частин.

6.3.2 Електробезпека

Приміщення дільниці відноситься до приміщень з особливою небезпекою.

Характеризується: наявністю струмопровідної підлоги, можливість одночасного дотику працівника до металевих конструкцій приміщення, які мають з'єднання із землею та із металевими корпусами обладнання.

Для захисту працівника від ураження електричним струмом передбачаємо:

- занулення всіх неструмоведучих частин обладнання;
- встановлення захисного вимикання;
- ізоляція та прокладка всіх електрокабелів в металевих трубах;
- використання інструментів з ручками із ізолюючого матеріалу.

6.4 Пожежна безпека

Зона виготовлення гідроімпульсного пристрою для вібраційного точіння відноситься до категорії В. Будівельні конструкції та елементи приміщення виготовлені з негорючих матеріалів і мають II ступінь вогнестійкості.

Основні причини можливих пожеж:

- відкритий вогонь та іскри, коли не передбачено спец. засобів захисту;
- паління на робочих місцях;
- самозапалення промасляних обтирочних матеріалів;
- короткі замикання в електромережах;
- негерметичність систем живлення автомобілів;
- короткі замикання акумуляторних батарей;
- загоряння бензину при відкритих пробках бензобаку;
- порушення правил ПБ;

- розряди блискавки на приміщення.

Запобігання виникнення пожежі досягається наступними шляхами:

- запобігання заборони застосування відкритого вогню та паління на робочих місцях;
- встановлення в електромережах струмового захисту (плавкі вставки, автомати);
- прокладенням електропроводки в металевих трубах;
- ремонтом систем живлення двигунів у відповідних місцях;
- відключенням або зняттям з авто акумуляторної батареї;
- виконанням правил ПБ;
- спорожненням ящиків від промасляного ганчір'я кожної зміни;
- встановленням на території блискавкозахисту II категорії.

У приміщенні передбачено такі первинні засоби пожежогасіння:

- | | |
|--|---|
| - вогнегасники хімічні пінні ОХП-10 | 2 |
| - вогнегасники порошкові ОП-5 | 2 |
| - ящики з піском (0,5 м ³) і лопатою | 2 |
| - пожежні крани, продуктивність 3,3 л/с | 1 |

На території підприємства витримуються протипожежні розриви між будівлями, спорудами та групами автомобілів в зоні їх зберігання.

Для пожежогасіння на території підприємства передбачені пожежні гідранти, продуктивністю 15 л/с і пожежні резервуари.

6.5 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Оцінка безпеки роботи системи ЧПК верстатного обладнання дільниці механічної обробки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010» в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

6.5.1 Дія електромагнітних та іонізуючих випромінювань електронні пристрої

Дія електромагнітного імпульсу характеризується генерацією дуже короткого (сотні наносекунд), але інтенсивного електромагнітного випромінювання, яке розповсюджується від джерела з інтенсивністю, що зменшується, у відповідності з теорією електромагнетизму. Створюване імпульсом поле може бути достатньо потужним, щоб спричинити виникнення короткочасних перенапружень в електричних провідниках, таких як дроти або провідні доріжки друкованих схем.

Це може спричинити необоротні пошкодження широкого спектру електричного і електронного обладнання, особливо комп'ютерів і радіо або радарних приймачів. Залежно від електромагнітної стійкості електроніки, вона може бути необоротно пошкоджена або, іншими словами, електрично знищена. Комп'ютери, використовувані в системах обробки даних, комунікаційних системах, системах відображення інформації, системах промислового контролю, включаючи системи сигналізації автомобільних і залізних доріг, і комп'ютери, вбудовані у військове устаткування, таке, як сигнальні процесори, системи контролю польотів, цифрові системи контролю двигунів є потенційно уразливими до дії ЕМІ.

Джерелами іонізуючих випромінювань є радіоактивних елементи і їх ізотопи, ядерні реактори, прискорювачі заряджених частинок та ін. Рентгенівські установки і високовольтні джерела постійного струму відносяться до джерел рентгенівського випромінювання.

Дія іонізуючих випромінювань на елементну базу радіоелектронних пристроїв та інформаційних систем як правило викликає зміну практично всіх електричних і експлуатаційних характеристик їх елементів. Цей процес залежить від протікання процесів іонізації і порушення структури матеріалів зі зміною перехідних струмів в р-п переходах транзисторів, вольт-амперних характеристик напівпровідникових діодів, опорів транзисторів, ємностей конденсаторів, тощо.

Наслідком дії іонізуючих випромінювань на електронні системи може бути миттєва втрата працездатності при критичних рівнях радіації або розвиток відновлюваних чи невідновлюваних змін через деякий час після початку опромінення при рівнях радіації значно нижчих від критичних.

Сучасне обладнання загального та промислового призначення містить в собі значну кількість електронного обладнання, тому необхідно приділяти достатньо уваги питанням збереження його функціональності в умовах дії іонізуючого та електромагнітного випромінювань.

6.5.2 Оцінка безпеки роботи системи ЧПК верстатного обладнання дільниці механічної обробки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010» в умовах дії електромагнітних випромінювань

Оцінити безпеку роботи системи ЧПК в умовах дії електромагнітних можна за допомогою коефіцієнта безпеки

$$K_B = 20 \lg \frac{U_D}{U_{B(\Gamma)}},$$

де U_D – допустиме коливання напруги живлення системи, В;

$U_{B(\Gamma)}$ – напруга створена електромагнітним випромінюванням, відповідно, у вертикальних чи горизонтальних струмопровідних частинах системи ЧПК, В.

Безпечною робота системи ЧПК в умовах дії електромагнітних випромінювань буде у випадку, коли $K_{B\min} \geq 40$ дБ.

Допустиме коливання напруги живлення для системи ЧПК складає

$$U_D = U_{\text{ж}} + \frac{U_{\text{ж}}}{100} \cdot N = 18 + \frac{18}{100} \cdot 2 = 18,36(\text{В}),$$

де $U_{\text{ж}} = 18$ В – номінальна напруга живлення системи;

$N = 5\%$ – допустимі відхилення напруги.

Основна частина струмопровідних елементів системи ЧПК розміщена в

горизонтальній площині, їх максимальна довжина між елементами становить близько 0,5 м.

Допустима величина наведеної електромагнітним полем напруги в горизонтальних струмопровідних частинах системи ЧПК

$$K_{\text{вг}} = 20 \lg \frac{U_{\text{д}}}{U_{\text{г}}}$$

Тоді

$$40 = 20 \lg \frac{U_{\text{д}}}{U_{\text{г}}}, \quad \frac{U_{\text{д}}}{U_{\text{г}}} = 10^{\frac{40}{20}}$$

$$U_{\text{г}} = \frac{U_{\text{д}}}{10^{\frac{40}{20}}} = \frac{18,36}{100} = 0,1836 \text{ (В)}$$

Звідки максимально допустиме значення вертикальної складової напруженості електричного поля

$$E_{\text{в}} = \frac{U_{\text{г}}}{l_{\text{г}}} = \frac{0,1836}{0,5} = 0,3672 \text{ В/м}$$

Система ЧПК верстатного обладнання, що використовується в технологічному процесі розміщена в захисних корпусах товщина яких складає в середньому $t = 0,1$ см і вище.

Використання сталевго екрана такої товщини забезпечує перехідне гасіння енергії електричного поля

$$A = 5,2 \cdot t \cdot \sqrt{f} = 5,2 \cdot 0,1 \cdot \sqrt{15000} = 63,7 \text{ Дб.}$$

де $f = 15000$ – власна частота екрана.

Оскільки перехідне гасіння енергії електричного поля також можна

розрахувати, як

$$A = 20 \log \frac{E_{\text{вex}}}{E_B} \text{ Дб},$$

де $E_{\text{вex}}$ – вертикальна складова напруження електричного полі на вході в екран, то

$$E_{\text{вex}} = E_B \cdot 10^{\frac{A}{20}} = 0,3672 \cdot 10^{\frac{63,7}{20}} = 554,25 \text{ В}.$$

Отже, безпечна робота системи ЧПК верстатного обладнання дільниці механічної обробки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010» в умовах дії електромагнітних випромінювань буде забезпечена, якщо значення вертикальної складової напруженості електричного поля не перевищуватиме 554,25 В/м.

6.5.3 Оцінка безпеки роботи системи ЧПК верстатного обладнання дільниці механічної обробки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010» в умовах дії іонізуючих випромінювань

Критерієм, що дозволяє оцінити безпеку роботи системи ЧПК в умовах дії іонізуючих випромінювань, є максимальне значення потужності дози, яка може зумовити виникнення змін в елементній базі системи не порушуючи її працездатність в цілому.

Аналіз принципової схеми системи ЧПК показав, що елементами без яких неможливе її нормальне функціонування є: інтегральні схеми, транзистори, конденсатори, резистори, діоди, діелектричні матеріали, кварцові елементи, магнітні матеріали, мікросхеми індуктивності та напівпровідники.

Граничне значення потужності дози гамма-випромінювання для системи за довідниковими даними складає $p_{\text{сп}} = 10^4 \text{ Р/с}$.

Таблиця 6.6 – Визначення граничної дози іонізуючих випромінювань для системи ЧПК верстатного обладнання дільниці механічної обробки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010»

Елементи і матеріали системи ЧПК	Границя стійкості елементів системи ЧПК, $p_{гр.i}$, Р/с	Границя стійкості для системи ЧПК в цілому, $p_{гр}$, Р/с
Транзистори, діоди	10^5	10 ⁴
Інтегральні схеми, напівпровідники	10^4	
Конденсатори, індуктивності	10^5	
Резистори	10^6	
Діелектричні матеріали	10^4	
Мікросхеми	10^4	
Магнітні матеріали	10^7	
Кварцові елементи	10^{10}	

Граничне значення потужності дози іонізуючого випромінювання визначається за формулою

$$p_{гр} = p_{зв} \cdot K_{нос} \cdot K_{над} = 10^4 \cdot 10 \cdot 0,95 = 9,5 \cdot 10^4 \text{ Р/с},$$

де $p_{зв}$ – мінімальне значення рівня радіації, що може спричинити початок зворотних змін в елементах системи ЧПК;

$K_{нос} = 10$ – коефіцієнт послаблення радіації;

$K_{над} = 0,9 \cdot 0,95$ – коефіцієнт надійності роботи.

Проведений розрахунок показав, що безпечна робота системи ЧПК верстатного обладнання дільниці механічної обробки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010» в умовах дії іонізуючих випромінювань буде забезпечена, якщо в умовах експлуатації потужність дози іонізуючих випромінювань не перевищуватиме $9,5 \cdot 10^4$ Р/с.

6.5.4 Висновки

Проведені розрахунки з оцінки безпеки роботи системи ЧПК верстатного обладнання дільниці механічної обробки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010» в

умовах дії іонізуючих та електромагнітних випромінювань дають змогу зробити висновок, що система працюватиме безпечно в умовах дії цих чинників, якщо інтенсивності впливу іонізуючого та електромагнітного випромінювань не перевищуватимуть, відповідно, $9,5 \cdot 10^4$ Р/с і 554,25 В/м.

6.6 Висновки

В розділі «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» проаналізовано умови праці на дільниці механічної обробки, розглянуті організаційно-технічні рішення з гігієни праці, виробничої санітарії, забезпечення безпечної роботи, виконано розрахунок достатності природного освітлення, а також визначено області працездатності системи ЧПК верстатного обладнання в умовах дії іонізуючих випромінювань.

ВИСНОВКИ

В роботі удосконалено технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010». За результатами роботи можна зробити такі висновки.

1. В розділі огляду технології виготовлення деталі типу «Корпус» проведено аналіз типових технологічних процесів, базового технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010», оцінені їх позитивні сторони, внесені пропозиції щодо удосконалення технологічного процесу механічної обробки.

2. Запропоновано два варіанти виготовлення заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010», а саме лиття в піщано-глинисті форми з ручним та машинним формуванням суміші. Техніко-економічні розрахунки показали, що економічно доцільніше виготовляти заготовку литтям в піщано-глинисті форми з машинним формуванням суміші, оскільки вартість заготовки при цьому складає 311,44 грн., що менше у порівнянні з ручним формуванням – 330,31 грн.

3. Розроблено два варіанта удосконаленого технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010» з використанням високопродуктивних верстатів з ЧПК. Проведено їх техніко-економічне порівняння, вибрано за мінімумом приведених витрат кращий варіант. Проведені розрахунки припусків, режимів різання, норм часу на операції.

4. В науковій частині роботи виконано аналіз точності обробки на прикладі остаточного (тонкого) розточування головного отвору в заготовці корпусної деталі «Корпус АЦ.60.01.010» на багатоцільовому свердлильно-фрезерно-розточувальному верстаті HAAS VF-2TR. Розглянуто розмір, що поєднує вісь отвору з базовою площиною. Це дозволило виявити, проаналізувати і узагальнити рівень впливу технологічних факторів на точність таких розмірів і визначити сумарну похибку обробки. Встановлено, що найсуттєвіший вплив на точність обробки мають похибка установлення, похибка настроєння і похибка, що

зумовлена неточністю позиціювання при підведенні різального інструмента (розточувальної оправки) до початкової точки. Обробка на верстаті з ЧПК моделі HAAS VF-2TR гарантовано забезпечує задану точність розміру $20 \pm 0,02$ мм, оскільки сумарна похибка обробки склала 17 мкм.

5. Спроековано дільницю механічної обробки; приведена програма для роботи дільниці в середньосерійному виробництві складає $N_{прив} = 21092$ шт.

6. Економічні розрахунки підтвердили доцільність удосконалення ТП та дільниці механічної обробки заготовки деталі «Корпус АЦ.60.01.010», визначені капітальні вкладення – 1795728,01 грн., одержаний прибуток – 1588330,4 грн., термін окупності вкладень – 1,13 року.

7. Розроблені заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях на дільниці механічної обробки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Обработка металлов резанием. Справочник технолога. / А. А. Панов, В. В. Аникин, Н. Г. Бойм [и др.] ; под общ. ред. А. А. Панова. – М. : Машиностроение, 1988. – 736 с.
2. Горбацевич А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения : учебное пособие / А. Ф. Горбацевич, В. А. Шкред. – М. : ООО ИД «Альянс», 2007. – 256 с.
3. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень в машинобудуванні : навчальний посібник / В. В. Кавецький, В. О. Козловський. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 100 с.
4. Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні : практикум / Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський, В. В. Савуляк, О. В. Сердюк. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 148 с.
5. Дерібо О. В. Технологія машинобудування. Курсове проектування : навчальний посібник. / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, В. П. Пурдик. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 123 с.
6. Руденко П. А. Проектирование и производство заготовок в машиностроении / П. А. Руденко, Ю. А. Харламов, В. М. Плескач. – К. : Вища школа, 1991. – 247 с.
7. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки: навчальний посібник / Ж. П. Дусанюк, О. П. Шиліна, С. В. Репінський, С. В. Дусанюк. – Вінниця : ВНТУ, 2009. – 199 с.
8. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку : ГОСТ 26645-85. – [Чинний від 1987-07-01] М. : Изд-во стандартов, 1987. – 53 с.
9. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 1 / В. Б. Борисов, Е. И. Борисов, В. Н. Васильев [и др.]; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – 656 с.

10. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 2 / Ю. А. Абрамов, В. Н. Андреев, Б. И. Горбунов [и др.]; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – 496 с.

11. О. В. Дерібо Основи технології машинобудування. Частина 2. Практикум : навчальний посібник / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. І. Сухоруков. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 116 с.

12. Барановський Ю. В. Режимы резания металлов: Справочник. Ю. В. Барановський, Л. А. Брахман, Ц. З. Бродский [и др.] ; / под ред. Ю. В. Барановського. – М. : Машиностроение, 1972. – 407 с.

13. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с программным управлением. Часть I. Нормативы времени. – М. : Экономика, 1990. – 206 с.

14. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с программным управлением. Часть II. Нормативы режимов резания. – М. : Экономика, 1990. – 473 с.

15. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1 : навчальний посібник / О. В. Дерібо – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 125 с.

16. Комиссаров В. И. Точность, производительность и надежность в системе проектирования технологических процессов / В. И. Комиссаров, В. И. Леонтьев. – М. : Машиностроение, 1985. – 224 с.

17. Корсаков В. С. Основы конструирования приспособлений в машиностроении / Корсаков В. С. – М. : Машиностроение, 1974. – 288 с.

18. Аналіз впливу технологічних факторів на точність розмірів між осями головних отворів корпусних деталей і базовими площинами, що забезпечуються розточуванням на багатоцільовому верстаті [Електронний ресурс] / О. В. Дерібо, М. В. Нікітюк // Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2021)»,

м. Вінниця, 01-14 травня 2021 р. – 2021. – Режим доступу : – <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2021/paper/view/10958>.

19. Мельников Г. Н. Проектирование механосборочных цехов. Учебник для студентов машиностроит. специальностей вузов / Г. Н. Мельников, В. П. Вороненко ; под ред. А. М. Дальского. – М. : Машиностроение, 1990. – 352 с.

20. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» в дипломних проектах і роботах студентів технічних спеціальностей / Уклад. І. В. Віштак. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 45 с.

21. Безопасность труда в промышленности / К. Н. Ткачук, П. Я. Галушко, Р. В. Саборно [и др.] – К. : Техника, 1982. – 228 с.

ДОДАТКИ

1 Підстави для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

а) актуальність розробки обумовлена тим, що в сучасних умовах розвитку машинобудівної галузі необхідно приймати прогресивні інженерні рішення при проектуванні технологічних процесів механічної обробки деталей виробів з метою забезпечення їх точності, надійності, довговічності, економічності;

б) наказ про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

2 Мета і призначення МКР

а) мета – удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010» шляхом застосування прогресивних технологічних процесів з використанням високопродуктивного обладнання, сучасного підходу до вибору верстатів, інструментів, оснащення, що забезпечить необхідну якість деталей при скороченні часу обробки, зменшенні необхідної кількості обладнання, працюючих, площ, енерговитрат, собівартості виробу;

б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

3 Джерела розробки: завдання на МКР, дане технічне завдання, довідникова та технічна література, існуючий аналог.

4 Вхідні дані для виконання МКР

При виконанні МКР в якості вхідних даних було задано:

- деталь типу «Корпус АЦ.60.01.010»;
- річна програма випуску розрахункового представника – 4500 шт.;
- приведена програма – 21092 шт.;
- матеріал деталі – СЧ20 ГОСТ 1412-85;
- серійність виробництва – середньосерійне;
- необхідність розгляду альтернативних варіантів виготовлення заготовки деталі та вибору найбільш оптимальної;
- необхідність проектування альтернативних варіантів технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі «Корпус АЦ.60.01.010» на базі автоматизованого обладнання з вибором оптимального варіанту.

5 Вимоги до виконання МКР

МКР повинна бути виконана в задані терміни згідно завдання, затвердженого кафедрою ТАМ та замовником (якщо тема виконана за завданням підприємства).

При виконанні МКР забезпечити прийняття прогресивних інженерних рішень, що забезпечать досягнення поставленої мети.

Магістерська кваліфікаційна робота повинна складатися з 2-х частин:

1-а частина – розрахунково-пояснювальна записка;

2-а частина – графічна.

Склад кожного розділу (частини) наведений у рекомендованому змісті та основних вимогах до оформлення МКР, розроблених та затверджених кафедрою технологій та автоматизації машинобудування (ТАМ) Вінницького національного технічного університету (ВНТУ).

6 Етапи та стадії розробки

Магістерська кваліфікаційна робота складається з 4 основних частин:

- спеціальна;
- економічна частина;
- охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях;
- графічна.

На кожну частину, завдання видає викладач відповідної кафедри, контролює процес роботи та візує виконану роботу підписом у бланку завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Основні теоретичні та практичні дослідження проведені попередниками	02.09.20 р.	22.10.20 р.	Формування задачі досліджень, розділ 1 ПЗ
2	Огляд технології виготовлення деталі типу «Корпус»	02.09.20 р.	22.10.20 р.	Об'єкт дослідження, розділ 1
3	Спеціальна частина Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010». Аналіз впливу технологічних факторів на точність розмірів між осями головних отворів корпусних деталей і базовими площинами, що забезпечуються розточуванням на багатоцільовому верстаті. Розрахунок елементів ділянки механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010».	05.10.20 р.	25.11.20 р.	розділ 2, 3, 4 публікація результатів
4	Підготовка економічної частини	05.10.20 р.	25.11.20 р.	розділ 5, апробація
5	Підготовка розділу з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях	05.10.20 р.	25.11.20 р.	розділ 6
6	Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу та презентації	05.10.20 р.	04.12.20 р.	пояснювальна записка

Загальне керівництво магістерською кваліфікаційною роботою здійснює викладач випускної кафедри, він же керує виконанням спеціальної частини.

7 Економічні показники: термін окупності; мінімальна ціна; річна потреба в продукції; економічна перевага в порівнянні з іншими.

8 Матеріали, що подаються до захисту МКР

Пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстративні матеріали, відгук наукового керівника, рецензія.

9 Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів графічної та розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні Державної екзаменаційної комісії, яка затверджена наказом ректора.

10 Вимоги до оформлення МКР

Вимоги викладені в «Положенні про порядок підготовки магістрів у Вінницькому національному технічному університеті» з урахуванням змін, що подані у бюлетені ВАК України № 9-10, 2011 р.

11 Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом

Відсутні.

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту

ЗАТВЕРЖДУЮ
керівник МКР: к.т.н., проф. каф. ТАМ

_____ Дерібо О. В.

« ____ » _____ 202_ р.

Технічне завдання

на удосконалення технологічного процесу та дільниці механічної обробки

Найменування та область застосування

Удосконалений технологічний процес та дільниця механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010» призначена для механічної обробки поверхонь деталі згідно з кресленням, а також забезпечувати вимоги до точності деталі, що вказані в розділі «Технічні вимоги».

Дільниця механічної обробки повинна відповідати умовам безпечної роботи, передбаченими ГОСТ 12.2.029-77. Обладнання дільниці передбачається експлуатувати в приміщенні механоскладального цеху.

Підстава для проектування

Проектування дільниці механічної обробки деталі і удосконалення існуючого ТП механічної обробки на підставі технічного завдання до МКР, складеного керівником і затвердженого кафедрою ТАМ.

Мета і призначення розробки

Метою МКР є удосконалення існуючого базового ТП механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010» і проектування дільниці механічної обробки на базі сучасних технологій, обладнання і на основі наукової організації праці.

Джерела розробки

- Дійсне технічне завдання.
- Креслення деталі і заготовки.
- Базова маршрутна технологія механічної обробки деталі «Корпус АЦ.60.01.010».
- Єдина система конструкторської та технічної документації.
- Загальні правила по розробці технологічних процесів вибір засобів технологічної оснастки згідно ГОСТ 14.301-83.

Технічні показники

Вхідні дані для проектування дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010»:

- річний об'єм випуску деталей – $N_p = 4500$ шт.;
- маса деталі – $m_d = 3,9$ кг;
- матеріал заготовки – СЧ20 ГОСТ 1412-85.

Технічні вимоги на деталь вказані в робочому кресленні, що додається до дійсного технічного завдання.

Виробнича дільниця служить для розміщення на ній верстатів, транспортних ліній, завантажувальних пристроїв, пристосувань та іншого допоміжного обладнання.

Верстати в лінії повинні бути розташовані у відповідності з технологічним процесом механічної обробки.

Дільниця повинна бути спроектована відповідно до вимог безпеки праці і пожежної безпеки.

Вимоги до забезпеченості використання дільниці механічної обробки, спроектованої на основі розробленого технологічного процесу

Спроектowana дільниця механічної обробки повинна передбачати безпечність праці. Верстати, та пристосування на дільниці мають бути розташовані таким чином, щоб вони не заважали роботі працівників, тобто рухомі елементи верстатів (затискні ручки, захисні щити, які відокремлюють працівника від небезпечних зон верстатів) не повинні перекривати зону руху працівників. Проходи між верстатами повинні бути спроектовані з врахуванням того, що там можуть бути тимчасові склади для заготовок та напівфабрикатів, та візків, які транспортують заготовки в процесі обробки деталей, але це не повинно заважати рухатись робітнику.

Умови експлуатації, вимоги до технічного обслуговування і ремонту

Дільниця механічної обробки має цехову ремонтну базу і технічне обслуговування та ремонт здійснювати згідно правил ППР. Кінцеву підналадку і регулювання виконувати після обробки пробних заготовок.

Економічні показники.

До економічних показників входять:

- термін окупності;
- собівартість одиниці продукції;
- величина капітальних вкладень;
- економічна перевага в порівнянні з іншими.

Стадії та етапи розробки.

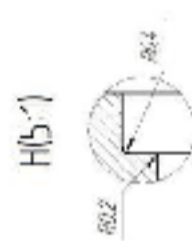
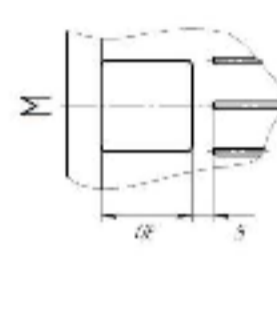
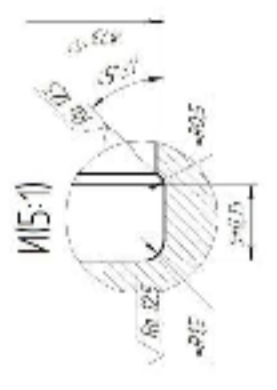
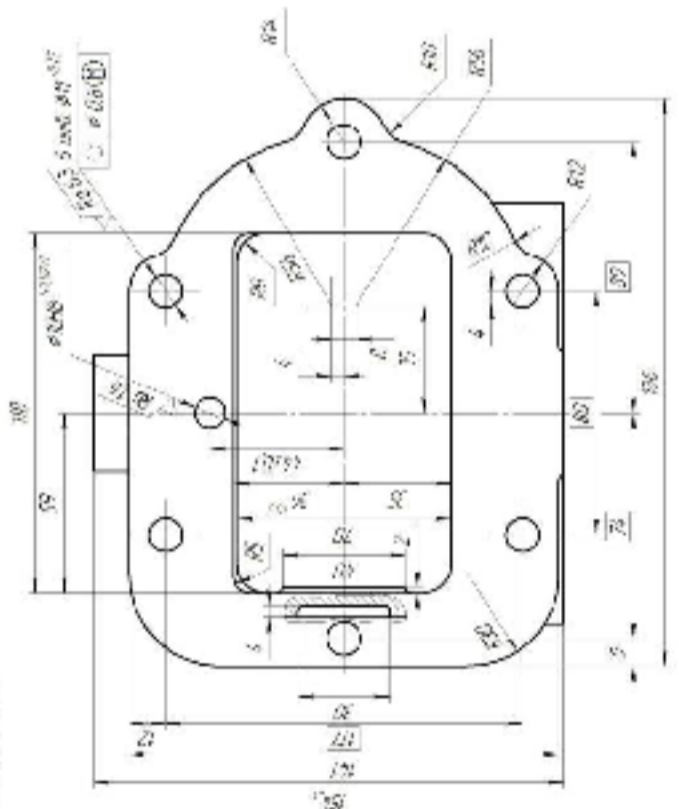
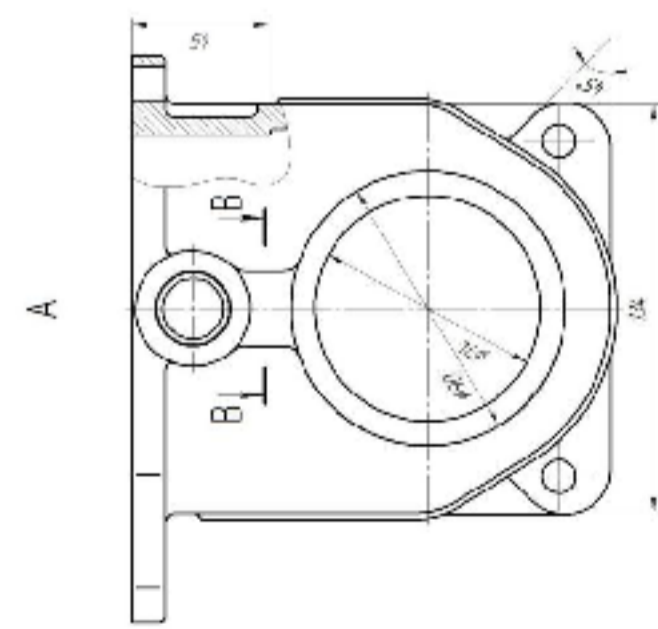
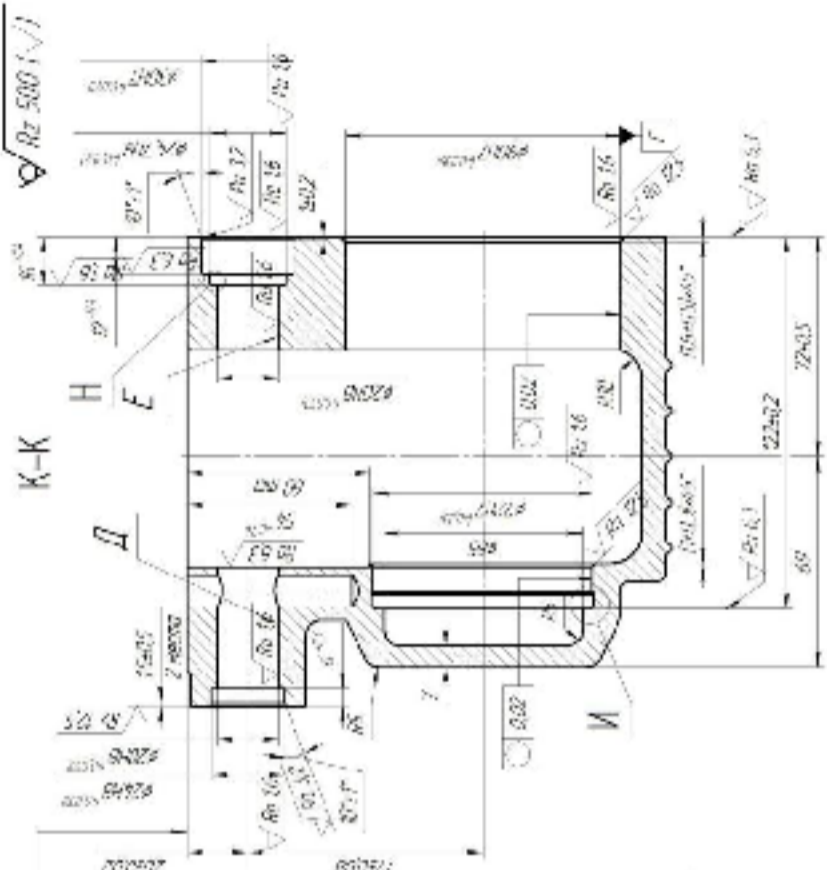
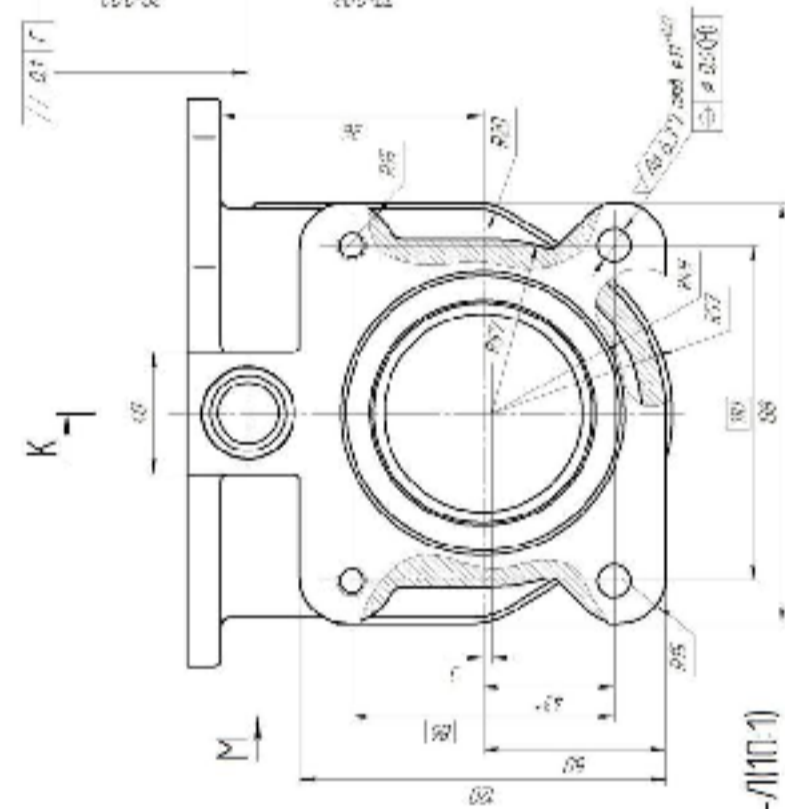
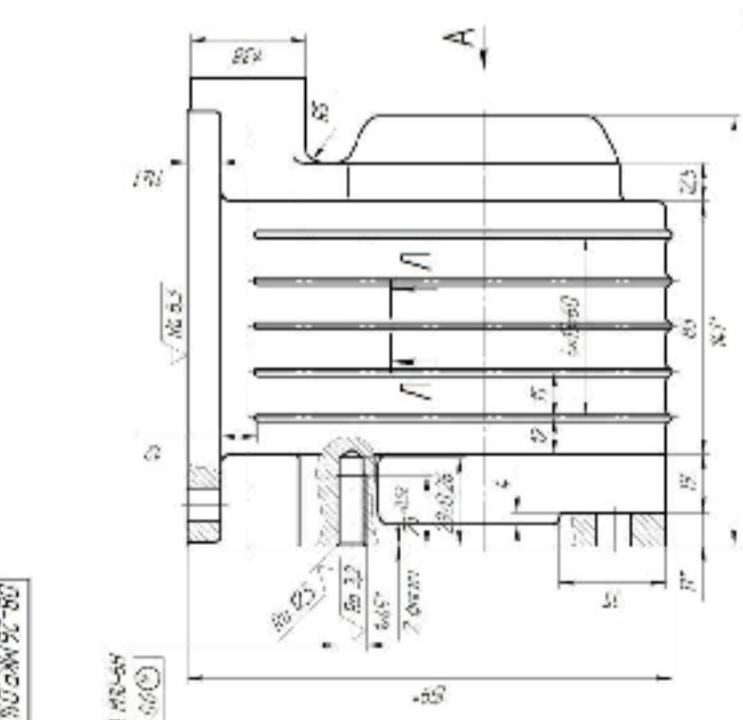
Зміст розділів МКР і терміни їх виконання згідно дійсного ТЗ і положення кафедри по оцінці рівня і ритмічності виконання роботи.

Додаток Б

Графічна частина

ГОСТ 10013-82

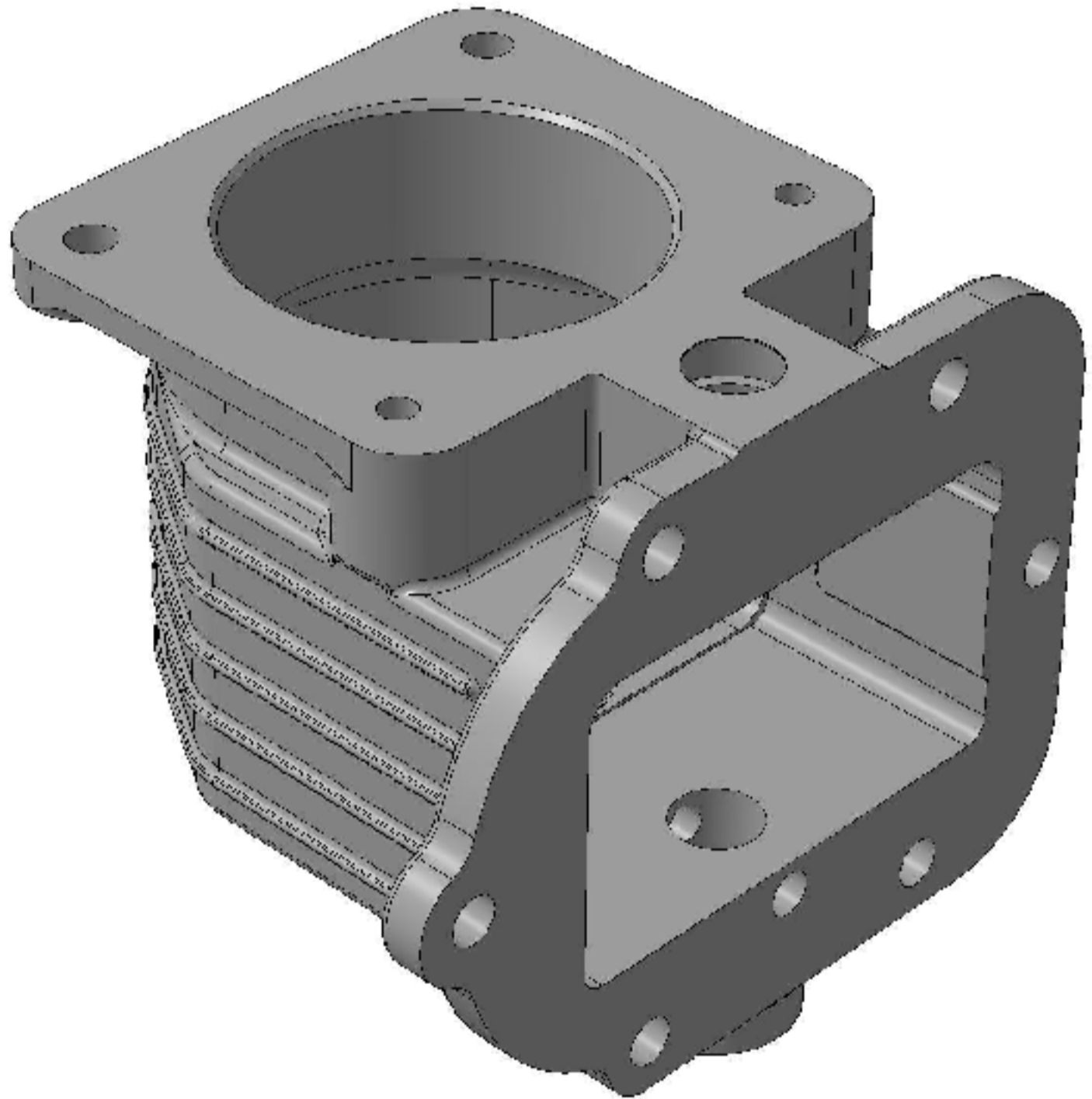
2 град. H15-14
 ± 0.001
 ± 0.0005



1. Изготовить корпус из чугуна СЧ 15.
2. Обработать корпус по рис. 1, 2, 3, 4.
3. Проверить корпус по рис. 1, 2, 3, 4.
4. Обработать корпус по рис. 1, 2, 3, 4.
5. Изготовить корпус из чугуна СЧ 15.
6. Проверить корпус по рис. 1, 2, 3, 4.

08-26.ММ.Ф.014.001001	
Исполнитель	Кинько
Проверенный	А.С.С.С.С.
Дата	11
Лист	1
Контур	1
Спецификация	СЧ 15
Спецификация	СЧ 15
Спецификация	СЧ 15

3D-модель деталі



Маршрут механічної обробки деталі "Корпус АЦ.60.01.010"

№ оп-ції	Назва операції, зміст переходів	Ескіз обробки, схема устанавлення	Тип обладнання
005	<p style="text-align: center;">Вертикально-фрезерна з ЧПК</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити заготовку, закріпити. 2. Фрезерувати площину 1 поперейньо в розмір $115_{-0,15}^{+0,1}$ мм. 3. Фрезерувати площину 1 остаточно в розмірі згідно з ескізом. 4. Фрезерувати пав. 2 поперейньо в розмір $35,4_{-0,05}^{+0,07}$ мм. 5. Фрезерувати пав. 2 остаточно згідно з ескізом. 6. Центрувати отв. 3 та 6 отв. 4 в розмірі $\varnothing 5$ мм, $l=2$ мм. 7. Свердлити отв. 3 в розмір $\varnothing 9,8_{-0,2}^{+0,2}$ мм. 8. Розвернути отв. 3 згідно з ескізом. 9. Свердлити 6 отв. 4 згідно з ескізом. 10. Зняти заготовку. 		Вертикально-фрезерний з ЧПК ПТ260МФ3
010	<p style="text-align: center;">Комбінована з ЧПК</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити заготовку, закріпити. 2. Фрезерувати площину 1 поперейньо в розмір $142_{-0,1}$ мм. 3. Фрезерувати площину 1 остаточно згідно з ескізом. 4. Фрезерувати фаску 2, отв. 3 в розмір $\varnothing 88,2_{-0,14}^{+0,14}$ мм, фаску 4, одноразова, отв. 5 в розмір $\varnothing 71,13_{-0,16}^{+0,16}$ мм. 5. Фрезерувати канавку 6 одноразово згідно з ескізом. 6. Розточити отв. 3 поперейньо в розмір $\varnothing 89,6_{-0,16}^{+0,16}$ мм. 7. Розточити отв. 3 поперейньо в розмір $\varnothing 89,881_{-0,054}^{+0,054}$ мм. 8. Розточити отв. 3 остаточно згідно з ескізом. 9. Розточити отв. 5 поперейньо в розмір $\varnothing 71,794_{-0,12}^{+0,12}$ мм. 10. Розточити отв. 5 поперейньо в розмір $\varnothing 71,944_{-0,046}^{+0,046}$ мм. 11. Розточити отв. 5 остаточно згідно з ескізом. 		Вертикально-догатаційний з ЧПК HAAS VF-2

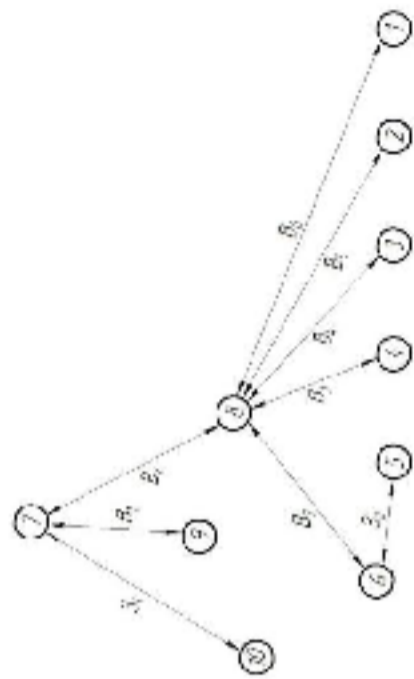
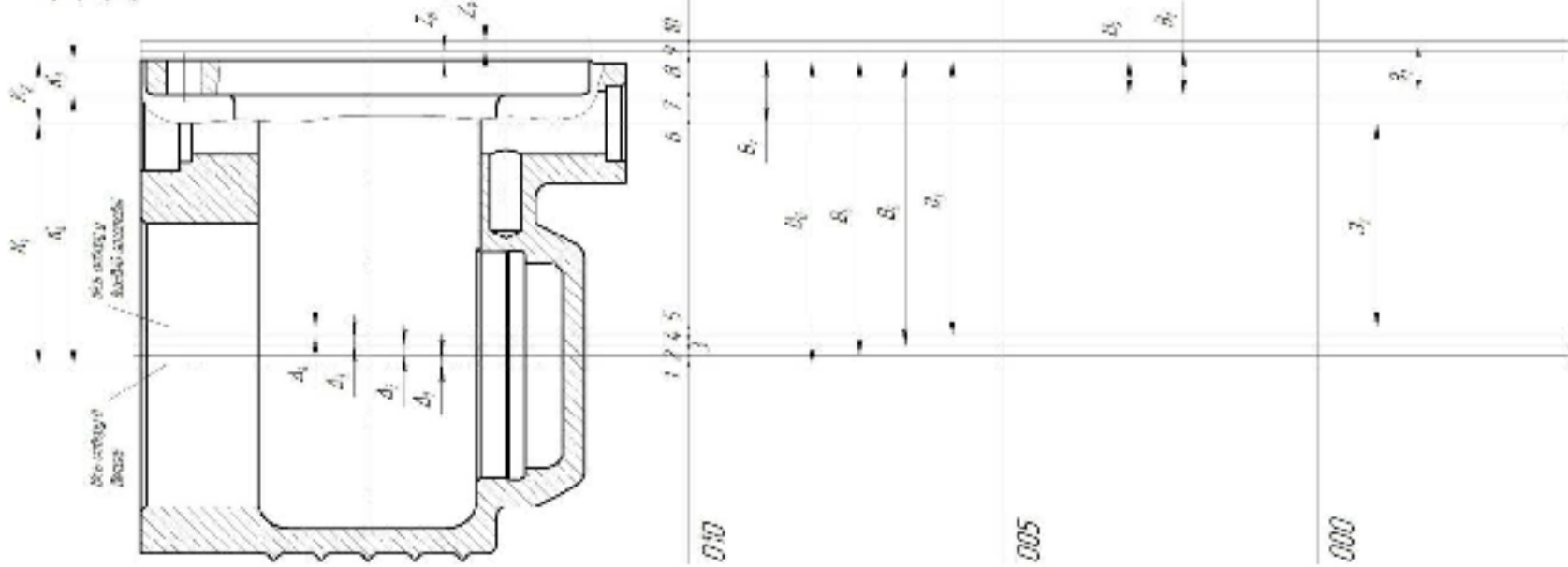
Маршрут механічної обробки деталі "Корпус АЦ.60.01.010" (продовження)

№ оп-ції	Назва операції, зміст переходів	Ескіз обробки, схема устанавлення	Тип обладнання
	<p>12. Розточити отвір 7 попередньо в розмір $\phi 18,8^{+0,021}$ мм.</p> <p>13. Розточити отвір 7 попередньо в розмір $\phi 19,8^{+0,03}$ мм.</p> <p>14. Розточити отвір 7 остаточно згідно з ескизом.</p> <p>15. Фрезерувати фаску 8, отвір 9, торці 10 одноразово згідно з ескизом.</p> <p>16. Розточити отвір 9 попередньо в розмір $\phi 29,8^{+0,031}$ мм з підрізанням торця 10 одноразово згідно з ескизом.</p> <p>17. Розточити отвір 9 остаточно згідно з ескизом.</p> <p>18. Розточити отвір 11 попередньо в розмір $\phi 24,2^{+0,004}$ мм з підрізанням торця 12 одноразово.</p> <p>19. Розточити отвір 11 остаточно.</p> <p>20. Центрувати 2 отв. 13 та 2 отв. 14 в розмірі $\phi 5$ мм $\pm 0,02$ мм.</p> <p>21. Свердлити 2 отв. 13 згідно з ескизом.</p> <p>22. Свердлити 2 отв. 14.</p> <p>23. Зенкувати фаски 15 в 2 отв. 14.</p> <p>24. Нарізати різьбу в 2 отв. 14.</p> <p>25. Повернути стіл на 180°.</p> <p>26. Розточити отвір 16 попередньо в розмір $\phi 18,8^{+0,021}$ мм.</p> <p>27. Розточити отвір 16 попередньо в розмір $\phi 19,8^{+0,03}$ мм.</p> <p>28. Розточити отвір 16 остаточно згідно з ескизом.</p> <p>29. Фрезерувати площину 17 одноразово згідно з ескизом.</p> <p>30. Фрезерувати фаску 18 отвір 19 в розмір $\phi 22,8^{+0,03}$ мм торці 20 одноразово згідно з ескизом.</p> <p>31. Розточити отвір 19 попередньо в розмір $\phi 23,8^{+0,032}$ мм з підрізанням торця 20 одноразово.</p> <p>32. Розточити отвір 19 остаточно згідно з ескизом.</p> <p>33. Зняти деталь.</p>		

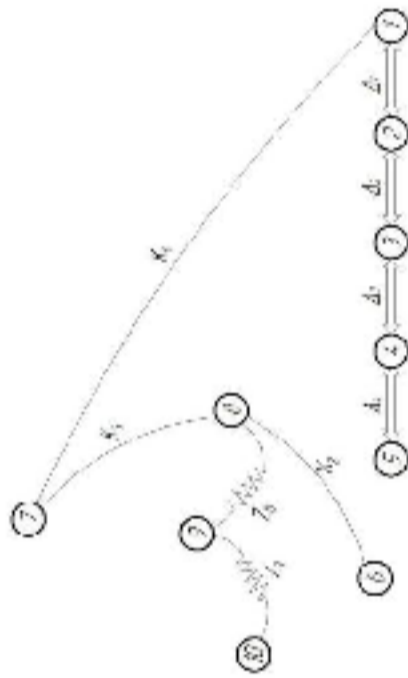
Розмірний аналіз технологічного процесу

Розмірна схема технологічного процесу

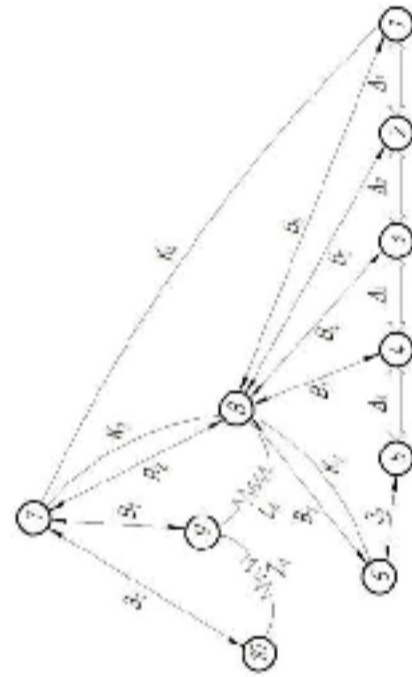
$F_1 = 772,028 \text{ мм}$
 $F_2 = 302,007 \text{ мм}$
 $F_3 = 15,1 \text{ мм}$
 $F_4 = 480,015 \text{ мм}$



Початковий граф-ліс



Вихідний граф-ліс



Сумарний граф

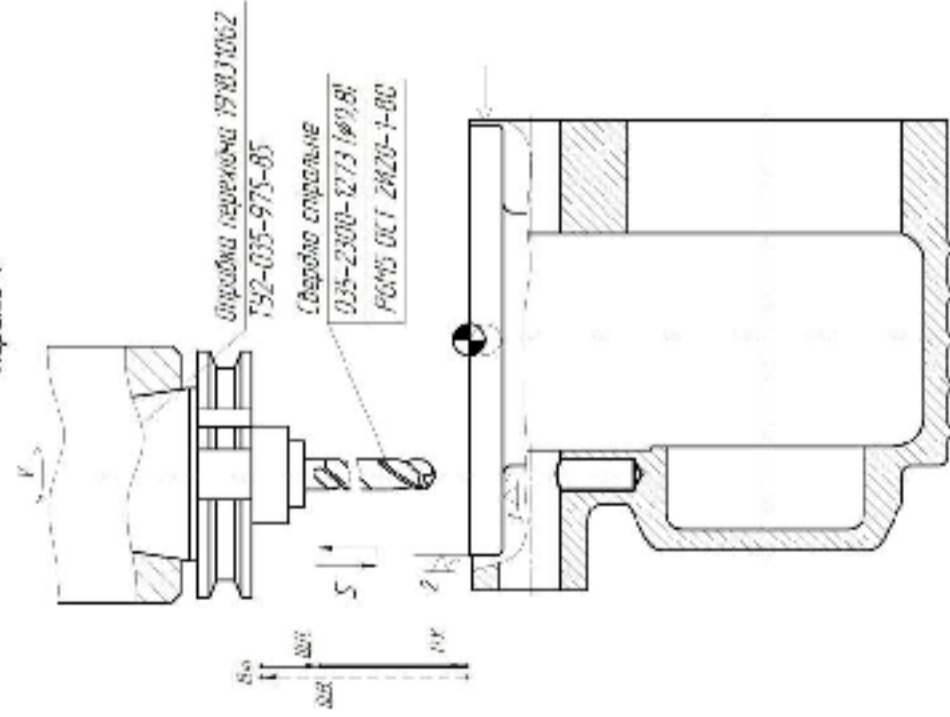
Значення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки та їх стандартів, мм

Вихідний розмір	Технологічні розміри		Довжина	Висновок	Значення розміру з урахуванням допусків	Значення розміру з урахуванням допусків заготовки
	пос. розмір	нп. розмір				
d_1	82,25	82,00	0,13	82,00	82,00 \pm 0,13	-
d_2	30	0	20	0	0	-
d_3	95,2	95,07	0,07	95,05	95,05 \pm 0,15	-
d_4	95,06	95,01	0,05	95,05	95,05 \pm 0,125	-
d_5	95,54	95,745	0,22	95,65	95,65 \pm 0,11	-
d_6	95,003	95,705	0,70	95,05	95,05 \pm 0,07	-
d_7	20,09	20,02	0,04	20	20 \pm 0,02	-
L_1	11,25	10,8	0,9	0,2	-	10,2 \pm 0,95
L_2	25,005	26,005	0,1	25,05	-	25,05 \pm 0,15

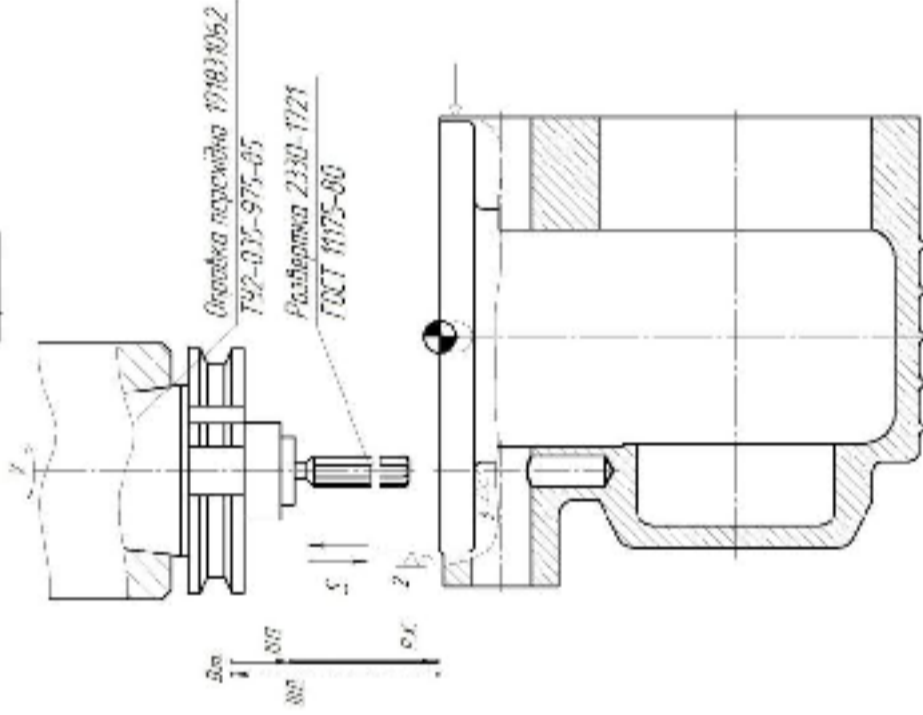
Значення припусків, мм

Вид процесу	Z_1	Z_2
Групування	0,25	0,10
Виконання	0,68	0,29

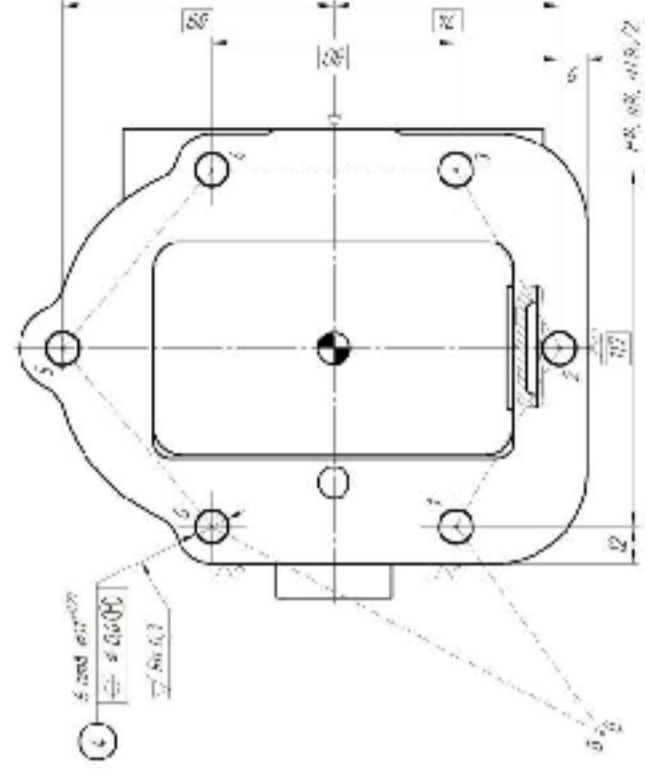
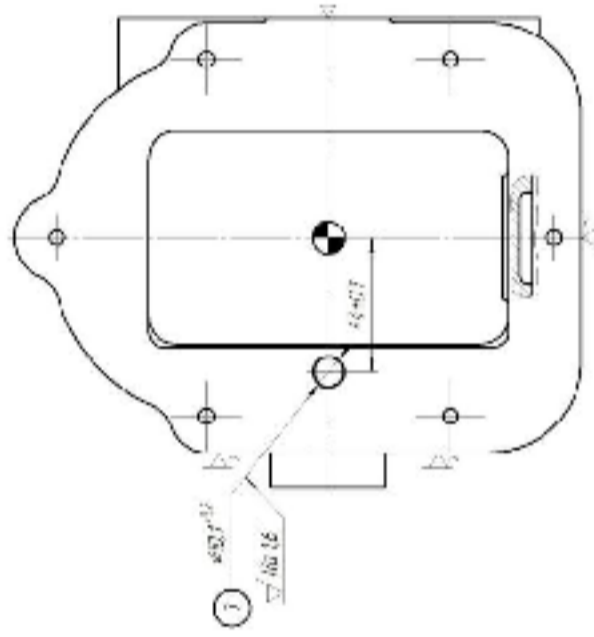
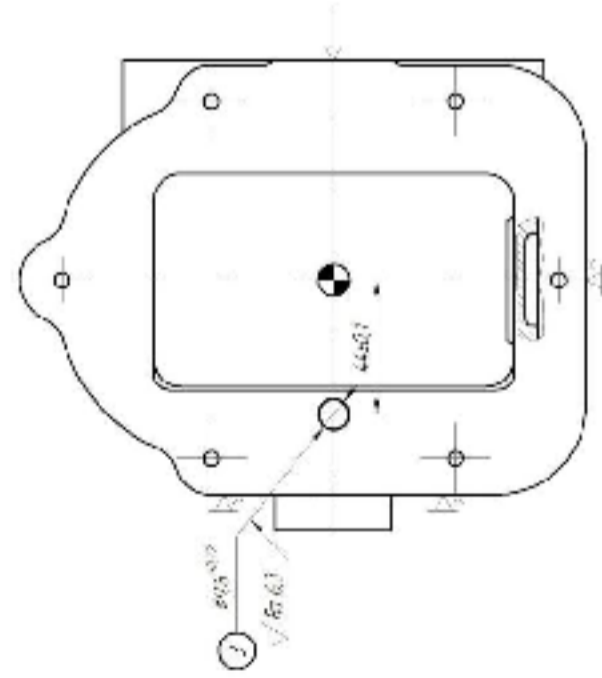
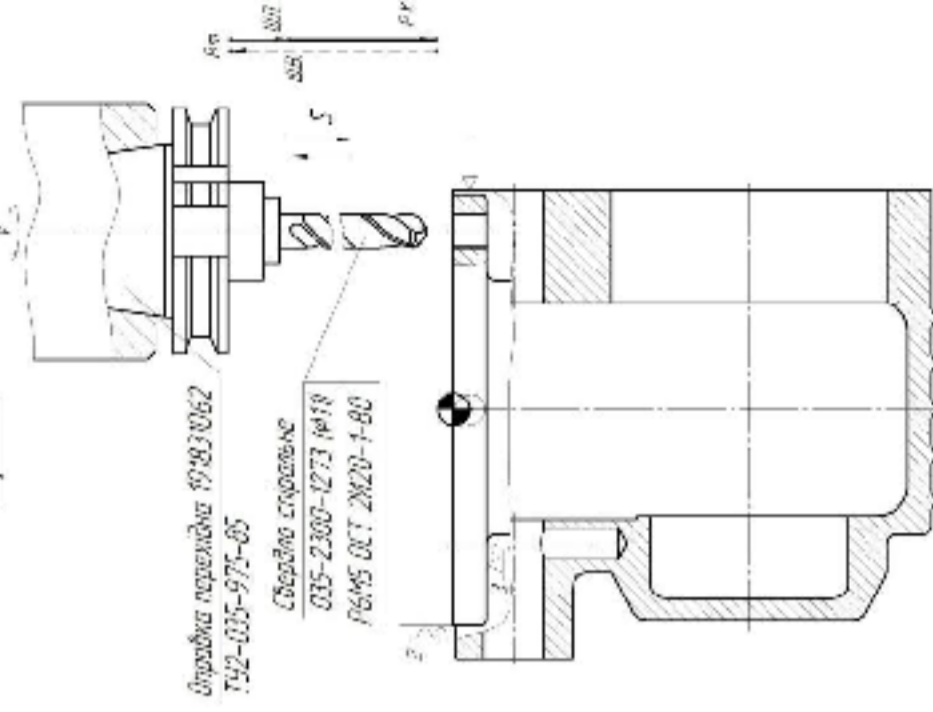
Перекіт 7



Перекіт 8



Перекіт 9



АНАЛІЗ ПЛІВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ТОЧНІСТЬ РОЗМІРІВ МІЖ ОСЯМИ ГОЛОВНИХ ОТВОРІВ КОРНУСНИХ ДІЄТАЛЕЙ І БАЗОВИМИ ПЛОЩИНАМИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬСЯ РОЗТОЧУВАННЯМ НА БАГАТОЦІЛЬОВОМУ ВЕРСТАТІ

(продовження)

Похибка $\varepsilon_{\text{пр}}$ визначалась за формулою

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{ус}}^2 + \varepsilon_{\text{зр}}^2 + \varepsilon_{\text{пв}}^2} \quad [\text{МКМ}], \quad (5)$$

Вважалась, що похибка $\varepsilon_{\text{ус}}$ у випадку, який розглядається, відсутня оскільки вона може бути зкомпенсована під час настроювання на розмір обробки розташування осі обертання розточувальної оправки.

Похибку $\varepsilon_{\text{зр}}$ визначено за емпіричною формулою

$$\varepsilon_{\text{зр}} = \beta \sqrt{N} = 2 \quad (\text{МКМ}). \quad (6)$$

Оскільки зазор у напрямку отриманого розміру між основними конструкторськими базами пристрою і допоміжними конструкторськими базами верстата відсутній, то у випадку, що розглядається $\varepsilon_{\text{цб}} = 0$. Таким чином, $\varepsilon_{\text{пр}} = \varepsilon_{\text{зр}} = 2$ МКМ. Підставивши визначені значення складових похибки установлення в (3), отримуємо $\varepsilon_{\text{у}} = 14$ МКМ.

Похибка $\varepsilon_{\text{н}}$ визначалась за формулою

$$\varepsilon_{\text{н}} = 1,2 \sqrt{(\varepsilon_{\text{р}})^2 + (\varepsilon_{\text{ем}})^2 + (\varepsilon_{\text{зм}})^2} \quad [\text{МКМ}]; \quad (7)$$

$\varepsilon_{\text{р}} = 5$ МКМ.

Прийнято, що похибка позиціонування $\varepsilon_{\text{пі}}$ – 5 МКМ.

Похибка, що зумовлена розмірним зносом різального інструмента $\varepsilon_{\text{з}} = 0$.

Похибку $\varepsilon_{\text{в}}$ за даних технологічних умов спричиняє непаралельність площини столу до напрямку руху шпиндельної головки. Ця похибка визначена за формулою

$$\varepsilon_{\text{в}} = Cl/L_5 \quad [\text{МКМ}]; \quad (8)$$

$\varepsilon_{\text{в}} \approx 1$ МКМ.

**АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ТОЧНІСТЬ РОЗМІРІВ МІЖ ОСЯМИ ГОЛОВНИХ ОТВОРІВ
КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ І БАЗОВИМИ ПЛОЩИЩАМИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬСЯ РОЗТОЧУВАШЯМ ПІА
БАГАТОЦІЛЬОВОМУ ВЕРСТАТІ**
(продовження)

Похибка, що зумовлена тепловими деформаціями технологічної системи складає близько 15% від суми інших похибок, тобто

$$\varepsilon_T = 0,15(\varepsilon_y + \varepsilon_{пл} + \varepsilon_F + \varepsilon_{T,i} + \varepsilon_i + \varepsilon_R) \text{ [мкм];} \quad (9)$$

$$\varepsilon_T = 3 \text{ мкм.}$$

Сумарна похибка обробки

$$\varepsilon_{\Sigma} = 17 \text{ мкм;}$$

$\varepsilon_{\Sigma} < T = 40 \text{ мкм}$ – необхідна точність обробки забезпечуватиметься.

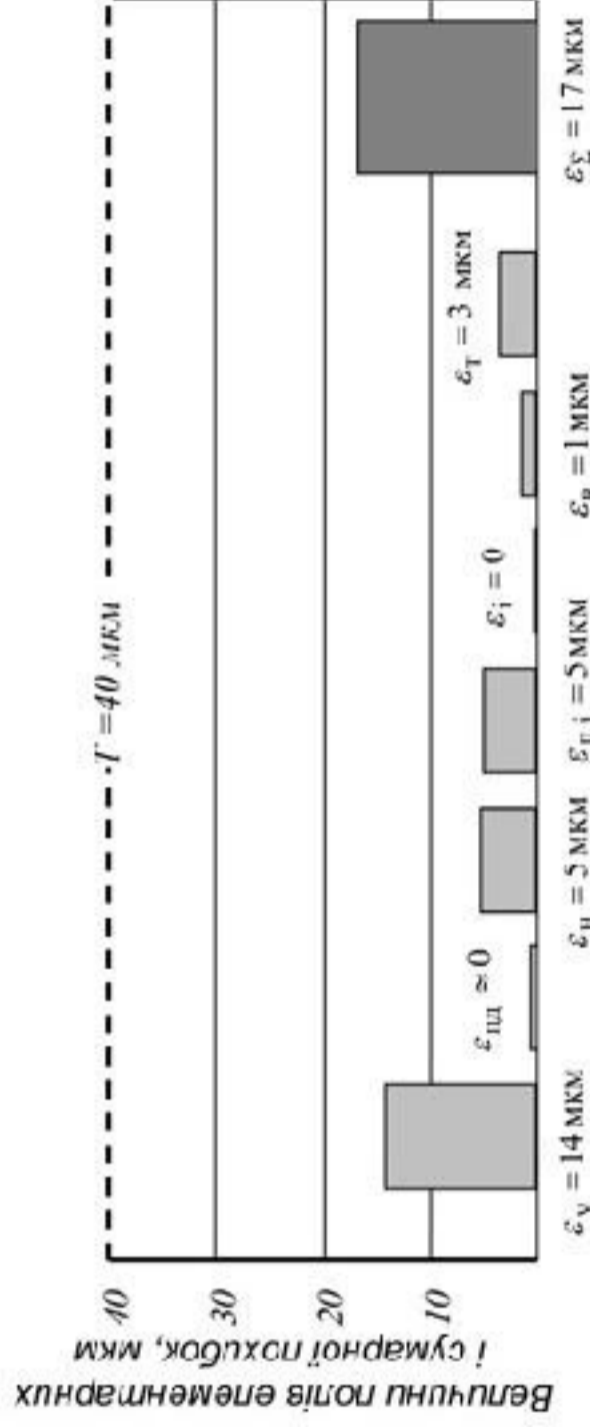


Рисунок 2 – Поля элементарных похибок і сумарної похибки, що виникають під час тонкого розточування отвору $\varnothing 20H8$ мм стосовно розміру $20+0,02$ мм між віссю цього отвору і базовою площиною

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ТОЧНІСТЬ РОЗМІРІВ МІЖ ОСЯМИ ГОЛОВНИХ ОТВОРІВ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ І БАЗОВИМИ ПЛОЩИНАМИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬСЯ РОЗТОЧУВАННЯМ НА

БАГАТОЦІЛЬОВОМУ ВЕРСТАТІ

(продовження)

Висновок

1. На прикладі обробки заготовки корпусної деталі на багатоцільовому свердлильно-фрезерно-розточувальному верстаті з ЧПК моделі HAAS VF-2TR виконано кількісний аналіз впливу технологічних факторів на сумарну похибку (поле розсіювання) розміру, що поєднує вісь одного з головних створів з базовою площинною.
2. Встановлено, що найсуттєвіший вплив на точність обробки мають похибка установлення, похибка настроєння і похибка, що зумовлена неточністю позиціонування при підведенні різального інструмента (розточувальної оправки) до початкової точки.
3. Обробка на верстаті з ЧПК моделі HAAS VF-2TR гарантовано забезпечує задану точність розміру $20 \pm 0,02$ мм, оскільки сумарна похибка обробки склала 17 мкм.
4. Результати дослідження можуть бути використані для аналізу наявних та проектування нових технологічних процесів механічної обробки і у навчальному процесі.

Техніко-економічні показники

<i>Техніко-економічні показники</i>	<i>Базовий маршрут</i>	<i>Удосконалений маршрут</i>
<i>Маса деталі, кг</i>	<i>3,9</i>	<i>3,9</i>
<i>Річна програма випуску, шт.</i>	<i>4500</i>	<i>4500</i>
<i>Приведена програма випуску, шт.</i>	<i>21092</i>	<i>21092</i>
<i>Маса заготовки, кг</i>	<i>5,99</i>	<i>5,64</i>
<i>Коефіцієнт точності маси заготовки</i>	<i>0,65</i>	<i>0,69</i>
<i>Собівартість заготовки, грн.</i>	<i>330,31</i>	<i>311,44</i>
<i>Кількість верстатів, шт.</i>	<i>5</i>	<i>3</i>
<i>Середній коефіцієнт завантаження обладнання, $\eta_{зсер}$</i>	<i>54%</i>	<i>66%</i>
<i>Середній коефіцієнт використання за основним часом, $\eta_{зосер}$</i>	<i>52%</i>	<i>76,5%</i>
<i>Кількість основних робітників</i>	<i>6</i>	<i>3</i>
<i>Середній розряд робітників</i>	<i>4</i>	<i>3</i>
<i>Виробнича площа, м²</i>	<i>158</i>	<i>86</i>
<i>Собівартість одиниці продукції, грн.</i>	<i>575,08</i>	<i>399,36</i>
<i>Капітальні вкладання, грн.</i>	<i>–</i>	<i>1795728,01</i>
<i>Економічний ефект, грн.</i>	<i>–</i>	<i>1588330,4</i>
<i>Термін окупності, років</i>	<i>–</i>	<i>1,13</i>