

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

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

Дільниця механічної обробки деталі типу «Корпус 12М»

08-64.МКР.09.00.00.000.ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, групи
1ПМ-21м спеціальності 131 –
«Прикладна механіка»

Маслов Я.В. 

Керівник: к.т.н., доцент

Савуляк В.В.

 02.12.2025
Опонент: к.т.н., доцент

Цимбал С.В.

 08.12.2025

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ТАМ

 д.т.н., проф. Козлов Л.Г.

(прізвище та ініціали)

« 13 » 12 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 року

Вінницький національний технічний університет
Факультет Машинобудування та транспорту
Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 13-Механічна інженерія
Спеціальність – 131 – Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма – Технології машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТАМ
д.т.н., проф. Козлов Л.Г.

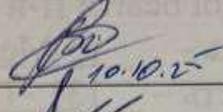
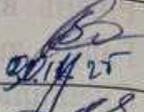
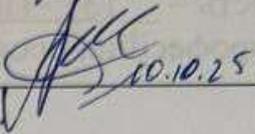
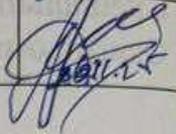
16 жовтня 2025 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Маслову Ярославу Васильовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема магістерської кваліфікаційної роботи (МКР): Дільниця механічної обробки деталі типу «Корпус 12М»
керівник МКР доц., к.т.н. Савуляк В.В.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ВНТУ від "24" вересня 2025 року №313
- Строк подання студентом МКР: 2 грудня 2025 року
- Вихідні дані до МКР: креслення деталі «Корпус 12М», програма випуску деталі N = 5500
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Формування працездатності деталі «Корпус 12М»; 2. Проектування дільниці механічної обробки деталі «Корпус 12М»; 3. Економічна частина
- Перелік ілюстративного матеріалу:
1. Креслення деталі «Корпус 12М» (базова конструкція); 2. Креслення деталі «Корпус 12М» (оптимізована конструкція); 3. Креслення заготовки деталі «Корпус 12М». 4. Маршрут механічної обробки деталі «Корпус 12М». 5. Розмірний аналіз технологічного процесу. 6. Карта налагоджень на одну з операцій. 6. План розташування обладнання на дільниці.

6. Консультанти розділів МКР

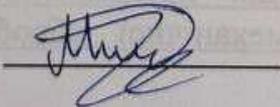
| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------------------|---|---|---|
| | | завдання видав | завдання пр |
| Спеціальна частина | К.т.н., доц. Савуляк В.В. |  10.10.25 |  20.11.25 |
| Економічна частина | К.т.н., проф. Лесько О.Й. |  10.10.25 |  20.11.25 |

7. Дата видачі завдання «_10_»_жовтня_2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

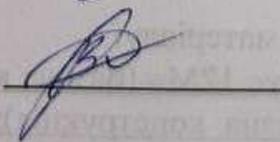
| № з/п | Назва етапів МКР | Строк виконання етапів МКР | При |
|-------|---|----------------------------|------|
| 1 | Визначення об'єкту та предмету дослідження | 15.10.2025 | В.В. |
| 2 | Аналіз відомих рішень, постановка задач | 20.10.2025 | В.В. |
| 3 | Техніко-економічне обґрунтування методів Досліджень | 23.10.2025 | В.В. |
| 4 | Розв'язання поставлених задач | 25.11.2025 | В.В. |
| 5 | Формулювання висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів | 30.11.2025 | В.В. |
| 6 | Виконання розділу «Економічна частина» | 26.11.2025 | В.В. |
| 7 | Попередній захист МКР | 02.12.2025 | В.В. |
| 8 | Перевірка роботи на плагіат | 03.12.2025 | В.В. |
| 9 | Нормоконтроль МКР | 06.12.2025 | В.В. |
| 10 | Рецензування МКР | 08.12.2025 | В.В. |
| 11 | Захист МКР | 20.12.2025 | В.В. |

Студент



Маслов Я.В.

Керівник МКР



Савуляк В.В.

ЗМІСТ

| | |
|--|-----|
| АНОТАЦІЯ | 8 |
| ABSTRACT | 10 |
| ВСТУП | 12 |
| РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ДЕТАЛІ «КОРПУС 12М» НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ТОПОЛОГІЇ, НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ТА ВТОМНОЇ МІЦНОСТІ | 16 |
| 1.1 Аналіз умов роботи та вимог до деталі «Корпус 12М» | 16 |
| 1.1.1 Функціональне призначення «Корпусу 12М» у складі механізму | 16 |
| 1.1.2 Характер навантаження, що діє на корпус | 18 |
| 1.1.3 Режим роботи механізму та циклічність навантаження | 20 |
| 1.1.4 Критичні зони та концентрація напружень | 22 |
| 1.1.5 Формулювання вимог до деталі «Корпус 12М» | 24 |
| 1.2 Критерії працездатності корпусної деталі | 26 |
| 1.3 Алгоритм вибору матеріалу та заготовки деталі «Корпус 12М» | 31 |
| 1.4 Чисельне моделювання напружено-деформованого стану в ANSYS | 41 |
| 1.5 Параметричний аналіз та оптимізація геометрії | 51 |
| 1.6 Визначення параметрів циклу напружень | 61 |
| 1.7 Втомний розрахунок деталі «Корпус 12М» | 64 |
| РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ «КОРПУС 12М» | 69 |
| 2.1 Аналіз технологічності конструкції деталі | 69 |
| 2.2 Вибір способу отримання заготовки | 72 |
| 2.3 Розроблення маршруту механічної обробки | 75 |
| 2.4 Вибір обладнання та інструменту | 81 |
| 2.5 Нормування часу механічної обробки | 86 |
| 2.6 Формування складу обладнання дільниці | 90 |
| 2.7 Розрахунок чисельності персоналу та виробничих площ | 94 |
| РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА | 120 |
| 3.1 Обґрунтування виробничої програми | 120 |

| | |
|---|------------|
| 3.2 Розрахунок капітальних витрат | 123 |
| 3.3 Розрахунок собівартості виготовлення деталі | 128 |
| 3.4 Оцінка економічної доцільності та терміну окупності | 129 |
| ВИСНОВКИ | 133 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ | 136 |
| ДОДАТКИ | 138 |
| Додаток А – Акт перевірки на плагіат | 139 |
| Додаток Б – Технічне завдання | 140 |
| Додаток В – Ілюстративна частина | 142 |

АНОТАЦІЯ

УДК 621.7

Маслов Я.В. Дільниця механічної обробки деталі типу «Корпус 12М». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 131 – Прикладна механіка, освітня програма – технології машинобудування. Вінниця: ВНТУ, 2025. 141 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 32 назви, рис. 16; табл.39.

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена організації дільниці механічної обробки корпусної деталі «Корпус 12М» та обґрунтуванню технології її виготовлення з урахуванням вимог до працездатності, умов експлуатації й економічної ефективності виробництва.

У роботі проаналізовано конструкцію деталі та характер навантажень, що діють на корпус підшипникового вузла в процесі роботи. Визначено основні чинники, які впливають на напружено-деформований стан і втомну довговічність корпусної деталі. За допомогою чисельного моделювання методом скінченних елементів досліджено розподіл напружень і деформацій, виявлено критичні зони та встановлено вплив геометричних параметрів на стабільність посадкової поверхні. На основі параметричного аналізу виконано оптимізацію геометрії корпусу, що дозволило знизити рівень концентрації напружень і підвищити жорсткість деталі без суттєвого збільшення її маси.

Технологічна частина роботи містить розроблення маршрутів механічної обробки основних поверхонь деталі, вибір заготовки та обґрунтування складу обладнання дільниці механічної обробки. Проведено нормування часу виконання технологічних операцій, визначено потребу в обладнанні, чисельність виробничого персоналу та необхідні виробничі площі.

В економічному розділі виконано розрахунок собівартості виготовлення деталі «Корпус 12М», визначено обсяг капітальних витрат на створення дільниці механічної обробки та оцінено доцільність впровадження запропонованих технологічних рішень з економічної точки зору.

У графічній частині подано робочі креслення деталі «Корпус 12М», схему дільниці механічної обробки, маршрути механічної обробки, а також результати чисельного аналізу напружено-деформованого стану.

Ключові слова: дільниця механічної обробки, корпусна деталь, корпус 12М, технологічний процес, напружено-деформований стан, втомна міцність, оптимізація геометрії, собівартість виготовлення, економічна доцільність.

ABSTRACT

UDC 621.7

Maslov Ya.V. Machining section of a part of the "Housing 12M" type. Master's qualification work in specialty 131 - Applied mechanics, educational program - mechanical engineering technologies. Vinnitsa, VNTU, 2025. 141 p.

In Ukrainian language. Bibliographer.: 32 titles, fig. 16; tabl.39.

The master's thesis is devoted to the design of a machining section for the production of the housing part "Housing 12M" and to the justification of technological and economic solutions for its manufacture under serial production conditions.

The structural features of the housing part and the operating loads acting on the bearing assembly are analyzed. Key factors influencing the stress-strain state and fatigue performance of the housing are identified. Finite element analysis is used to investigate stress and deformation distributions, determine critical zones, and assess the effect of geometric parameters on the stability of the bearing seat. Based on a parametric study, the geometry of the housing is optimized in order to reduce stress concentration and improve stiffness without a significant increase in mass.

The technological part of the thesis includes the development of machining routes for the main functional surfaces, justification of the blank type, and selection of equipment for the machining section. Time standards for technological operations are determined, and the required number of machines, production personnel, and floor space is calculated.

In the economic section, the manufacturing cost of the "Housing 12M" is calculated, capital investments required for organizing the machining section are estimated, and the economic feasibility of the proposed technological solutions is evaluated.

The graphical part of the work presents detailed drawings of the "Housing 12M", the layout of the machining section, machining routes, and the results of finite element simulations of stresses and deformations.

Keywords: machining section, housing part, machining process, stress-strain state, fatigue strength, geometric optimization, manufacturing cost.

ВСТУП

Сучасні умови розвитку машинобудівної галузі характеризуються необхідністю підвищення ефективності виробничих процесів за одночасного зменшення капітальних та експлуатаційних витрат. Особливо актуальним це питання є для малих і середніх машинобудівних підприємств, які не мають можливості інвестувати значні кошти у високовартісне спеціалізоване обладнання, але водночас повинні забезпечувати конкурентоспроможну собівартість і стабільну якість продукції.

Одним із шляхів підвищення ефективності виробництва є раціональна організація ділянок механічної обробки, орієнтованих на виготовлення відповідальних деталей із застосуванням типового універсального та обмеженої кількості спеціалізованого обладнання. При цьому особливе значення має поєднання конструкторських рішень деталі з технологією її виготовлення, що дозволяє зменшити трудомісткість операцій, кількість переналагоджень, витрати матеріалу та часу обробки.

Корпусні деталі машинобудування, зокрема корпуси підшипникових вузлів, належать до категорії відповідальних елементів, що визначають працездатність і ресурс механізму в цілому. Такі деталі мають складну геометрію, підвищені вимоги до точності посадкових поверхонь і працюють в умовах циклічних навантажень. Це зумовлює необхідність не лише забезпечення міцності та втомної довговічності, а й вибору раціональної технології механічної обробки, адаптованої до умов конкретної виробничої ділянки.

Актуальність теми

В умовах конкурентного ринку підприємство може підвищити прибутковість продукції за рахунок:

1. збільшення ціни реалізації, що є обмеженим через конкуренцію;
2. збільшення обсягів виробництва;
3. зниження собівартості виготовлення при збереженні якості.

Найбільш ефективною є третя стратегія, яка реалізується шляхом оптимізації технологічних процесів, раціонального завантаження обладнання, зменшення трудомісткості та матеріалоємності виготовлення деталей. Для цього необхідно на етапі проєктування виробництва обґрунтовано формувати склад обладнання дільниці механічної обробки, маршрути обробки деталей, норми часу та чисельність персоналу.

Організація дільниці механічної обробки корпусних деталей потребує комплексного підходу, який поєднує:

- аналіз конструкції деталі з точки зору технологічності;
- вибір раціональних методів отримання заготовки;
- розроблення маршрутів механічної обробки;
- оцінку впливу конструктивних параметрів на працездатність деталі;
- економічне обґрунтування доцільності виготовлення деталі в умовах даного підприємства.

Саме така багатоваріантна задача, що поєднує технологічні, конструктивні та економічні аспекти, визначає актуальність обраної теми магістерської роботи.

Мета і завдання роботи

Метою магістерської роботи є проєктування дільниці механічної обробки корпусної деталі «Корпус 12М» з обґрунтуванням технології виготовлення, параметрів працездатності деталі та економічної доцільності її виробництва.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно розв'язати такі завдання:

1. проаналізувати конструкцію та умови роботи деталі «Корпус 12М» з точки зору технологічності та працездатності;
2. розробити маршрут механічної обробки основних поверхонь деталі;
3. обґрунтувати вибір заготовки та обладнання для дільниці механічної обробки;
4. виконати чисельний аналіз напружено-деформованого стану деталі з метою підтвердження її працездатності;

5. провести параметричний аналіз геометрії деталі та визначити раціональні конструктивні параметри;
6. виконати нормування часу на основні технологічні операції;
7. визначити необхідну кількість обладнання, виробничих площ і персоналу дільниці;
8. розрахувати собівартість виготовлення деталі «Корпус 12М»;
9. оцінити економічну доцільність організації дільниці механічної обробки в умовах заданої програми випуску.

Об'єкт і предмет дослідження

Об'єктом дослідження є дільниця механічної обробки корпусних деталей машинобудування.

Предметом дослідження є технологічні процеси механічної обробки, конструктивні параметри та економічні показники виготовлення деталі «Корпус 12М».

Методи дослідження

У роботі застосовано методи технологічного аналізу, нормування праці та економічних розрахунків. Аналіз напружено-деформованого стану та деформацій деталі виконано методом скінченних елементів у програмному середовищі ANSYS. Розрахунок собівартості виготовлення та економічної ефективності здійснено на основі чинних методик техніко-економічного обґрунтування виробництва.

Наукова новизна одержаних результатів

Наукова новизна роботи полягає в комплексному поєднанні результатів чисельного аналізу працездатності корпусної деталі з вибором раціональної технології її механічної обробки та параметрів виробничої дільниці. Установлено взаємозв'язок між геометричними параметрами деталі, напружено-деформованим станом і трудомісткістю механічної обробки.

Практичне значення одержаних результатів

Практичне значення роботи полягає в можливості використання отриманих рішень при проектуванні дільниць механічної обробки корпусних деталей.

Розроблені технологічні маршрути, норми часу та економічні розрахунки можуть бути використані в умовах малих і середніх машинобудівних підприємств.

Особистий внесок здобувача

Основні результати, технологічні та економічні розрахунки виконані здобувачем самостійно. Мета і завдання дослідження узгоджені з науковим керівником.

Апробація результатів роботи

Основні результати роботи доповідалися на науково-технічних конференціях і семінарах університету.

Публікації

За матеріалами магістерської роботи опубліковано тези доповідей у матеріалах науково-технічних конференцій.

1. ФОРМУВАННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ «КОРПУСУ 12М» НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ТОПОЛОГІЇ, НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ТА ВТОМНОЇ МІЦНОСТІ

1.1 Аналіз умов роботи та вимог до «Корпусу 12М»

1.1.1 Функціональне призначення «Корпусу 12М» у складі механізму

«Корпус 12М» є відповідальною корпусною деталлю механізму, призначеною для розміщення та фіксації підшипникового вузла і забезпечення просторової стабільності взаємного розташування елементів обертального з'єднання. Основною функцією корпусу є передача зовнішнього навантаження від підшипника до несучих елементів конструкції з одночасним збереженням геометричної точності посадкової поверхні.

На відміну від валів та осей, корпусні деталі не працюють у режимі безпосереднього обертання, однак вони сприймають циклічні навантаження, обумовлені обертанням вала та проходженням тіл кочення через навантажену зону підшипника. Саме тому для корпусів підшипникових вузлів визначальним є не статична міцність, а втомна довговічність у локальних зонах концентрації напружень [1–3].

«Корпус 12М» має посадковий отвір $\text{Ø}52\text{H}7$, точність і стабільність якого безпосередньо впливають на працездатність підшипника, рівень контактних напружень та загальний ресурс вузла. Таким чином, «Корпус 12М» виконує не лише силову, але й геометрично-стабілізуючу функцію, що накладає підвищені вимоги до жорсткості та втомної міцності матеріалу [4].

1.1.2 Характер навантаження, що діє на корпус

Навантаження на «Корпус 12М» передається через зовнішнє кільце підшипника і має переважно радіальний характер. У загальному випадку сила, що сприймається корпусом, є змінною в часі та просторово локалізованою, оскільки контакт між тілом кочення та доріжкою відбувається в обмеженому секторі [5].

Для даного механізму характерним є місцевий тип навантаження, при якому навантажена зона корпусу залишається фіксованою в просторі, а циклічність

напружень зумовлена проходженням тіл кочення через цю зону. Такий режим є найбільш несприятливим з точки зору втомної міцності, оскільки одна й та сама ділянка матеріалу піддається повторному навантаженню з високою частотою [6, 7].

1.1.3 Режим роботи механізму та циклічність навантаження

Вважатимемо, що механізм, у складі якого працює «Корпус 12М», функціонує в режимі тривалого обертання з номінальною частотою:

$$n = 1000 \text{ об/хв.}$$

За таких умов кожна точка матеріалу корпусу в зоні контакту з підшипником зазнає циклічного навантаження з частотою, близькою до частоти обертання вала. У межах одного циклу напруження змінюються від нульового значення до максимального і знову зменшуються до нуля, що відповідає циклу типу стиск–розвантаження з коефіцієнтом асиметрії:

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} = 0. \quad (1.1)$$

Такий цикл характеризується наявністю ненульового середнього напруження, що істотно знижує втомну міцність матеріалу порівняно із симетричним циклом [8, 9].

З урахуванням безперервного режиму роботи за рік кількість циклів навантаження становить:

$$\begin{aligned} N_{рік} &= n \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 \text{ [циклів]}, \\ N_{рік} &= 1000 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 \approx 5,26 \cdot 10^8 \text{ (циклів)}. \end{aligned} \quad (1.2)$$

Вважаємо, що мінімальний термін роботи механізму становить 5 років. Отже, необхідна кількість циклів для забезпечення мінімального терміну служби дорівнює:

$$N_{сл} = 5 \cdot N_{рік} = 5 \cdot 5,26 \cdot 10^8 = 2,63 \cdot 10^9 \text{ (циклів)}.$$

Таким чином, «Корпус 12М» працює в області багатоциклової втоми, де навіть відносно невисокі напруження можуть призвести до руйнування при тривалій експлуатації [10].

1.1.4 Критичні зони та концентрація напружень

Геометрія «Корпусу 12М» містить характерні елементи, що сприяють локальній концентрації напружень, зокрема:

- перехід від посадкового отвору Ø52Н7 до масиву корпусу;
- галтелі та заокруглення з радіусом на зовнішній поверхні;
- зміни товщини стінок.

Як показують дослідження корпусних деталей підшипникових вузлів, саме такі зони є найбільш імовірними місцями зародження втомних тріщин [11, 12]. Навіть при достатньому запасі за статичною міцністю локальні піки напружень можуть перевищувати допустимі значення для багатоциклової роботи (рис.1.1).

1.1.5 Формулювання вимог до деталі «Корпус 12М»

На основі аналізу умов роботи деталі можна сформулювати такі ключові вимоги до неї:

1. Забезпечення втомної довговічності при кількості циклів не менше $2,63 \cdot 10^9$.
2. Обмеження пружних деформацій посадкової поверхні Ø52Н7 до рівня, який не порушує працездатність підшипникового вузла, що становить 50% від допуску на розмір посадкової поверхні, тобто 0,015 мм.
3. Стабільність геометрії посадкового отвору протягом усього терміну служби за рахунок рівномірного розподілу навантаження по поверхні.
4. Технологічна придатність матеріалу, що забезпечує прогнозовані механічні та втомні властивості в критичній зоні та дозволяє отримати заготовку форми наближеної до кінцевої деталі.

Зазначені вимоги визначають подальшу логіку дослідження, а саме необхідність:

- чисельного аналізу напружено-деформованого стану;
- параметричної оптимізації геометрії;
- втомного розрахунку з урахуванням концентрації напружень;
- обґрунтованого вибору матеріалу та технології виготовлення заготовки.

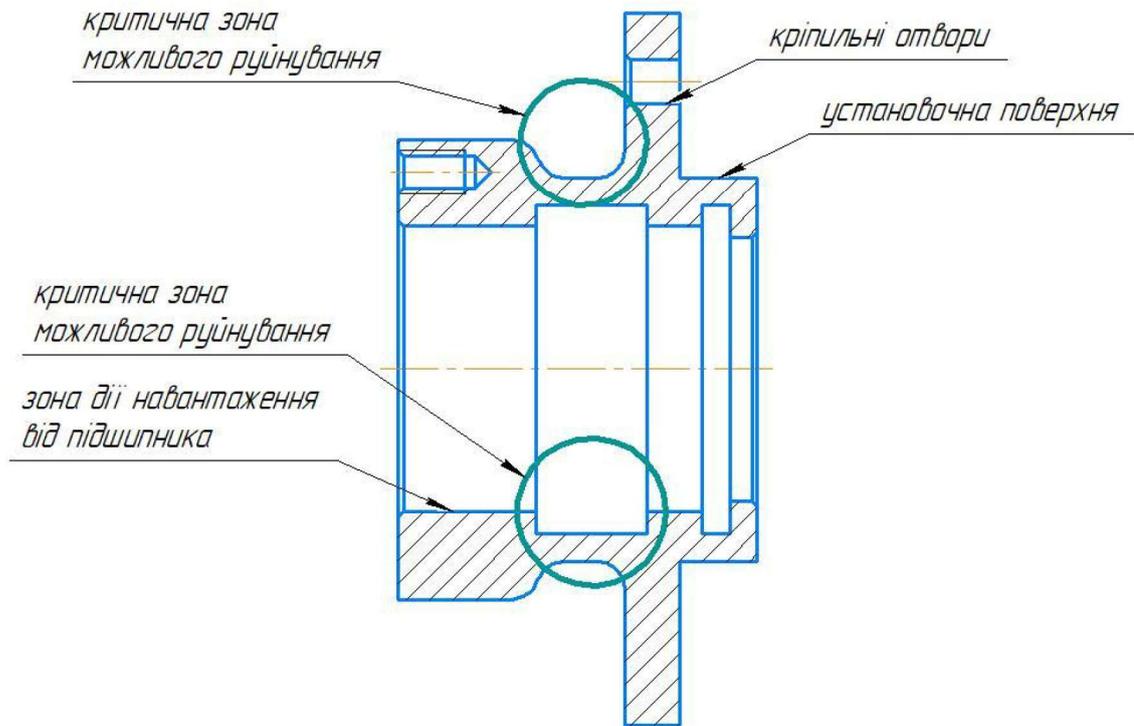


Рисунок 1.1 – Небезпечні зони з точки зору втомного руйнування деталі «Корпус 12М»

1.2 Критерії працездатності корпусної деталі

1.2.1 Критерій міцності корпусу

Критерій міцності є базовим і необхідним, але недостатнім для оцінювання працездатності корпусної деталі. Його виконання гарантує відсутність миттєвого руйнування при дії максимального експлуатаційного навантаження, однак не дає інформації щодо довговічності при циклічній роботі [13].

Для «Корпусу 12М» перевірка міцності здійснюється за умовою, що максимальні еквівалентні напруження σ_{max} , отримані в результаті чисельного аналізу, не перевищують допустимих напружень $\sigma_{дон}$ для матеріалу:

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{доп} . \quad (1.3)$$

Для конструкційних матеріалів допустиме напруження, як правило, пов'язується з межею текучості:

$$\sigma_{доп} = \sigma_{0.2} n_s, \quad (1.4)$$

де $\sigma_{0.2}$ – умовна межа текучості матеріалу;

n_s – коефіцієнт запасу міцності.

Для більшості конструкційних сталей у корпусних деталях приймають ($n_s = 1,5-2$) [14]. В таблиці 1.1 показані допустимі напруження з урахуванням запасу міцності для різних матеріалів, які прийнятні для виготовлення деталі даної форми, за умови серійного виробництва.

З огляду на те, що для «Корпусу 12М» максимальні еквівалентні напруження для різних матеріалів, за результатами FEM-аналізу, становлять не більше 72 МПа, умова міцності виконується з великим запасом для всіх розглянутих сталей.

Таблиця 1.1 – Розрахунок допустимих напружень для різних матеріалів

| Матеріал (приклад) | Умовна межа текучості матеріалу $\sigma_{0.2}$, МПа | Коеф. запасу (n) | Допустима міцність $\sigma_{доп}$, МПа |
|--|--|------------------|---|
| Сталі конструкційні | | | |
| Сталь S235 | 235 | 1,5 | 156,7 |
| Сталь S355 | 355 | 1,5 | 236,7 |
| Сталь 45 (С45), (залежить від термообробки) | 355 | 1,5 | 236,7 |
| Сталь 40Х (40Cr), (після гартування і відпуску) | 540 | 1,5 | 360,0 |
| Алюмінієві сплави (міжнародні позначення та їх українські аналоги) | | | |
| Al 6061-T6 (АД33Т1) | 276 | 1,5 | 184,0 |
| Al 6082-T6 (АД35Т1) | 260 | 1,5 | 173,3 |
| Al 2024-T3 (Д16АТ) | 324 | 1,5 | 216,0 |

| Матеріал (приклад) | Умовна межа текучості матеріалу $\sigma_{0.2}$, МПа | Коеф. запасу (n) | Допустима міцність $\sigma_{доп}$, МПа |
|-------------------------|--|------------------|---|
| Al 7075-T6 (B95T1) | 503 | 1,5 | 335,3 |
| Al 5083-H116 (AMг5М) | 215 | 1,5 | 143,3 |
| Чавуни | | | |
| Високоміцний чавун ВЧ40 | 250 | 1,5 | 166,7 |
| Високоміцний чавун ВЧ50 | 320 | 1,5 | 213,3 |
| Ковкий чавун КЧ35-10 | 240 | 1,5 | 160,0 |

Таким чином, критерій міцності не є визначальним для подальшого вибору матеріалу, але слугує попередньою перевіркою допустимості конструктивного рішення.

1.2.2 Критерій жорсткості та обмеження деформацій

На відміну від валів, для корпусних деталей особливо важливим є критерій жорсткості, оскільки надмірні пружні деформації можуть призвести до порушення геометрії посадкових поверхонь, навіть за умов виконання критерію міцності [15].

Для «Корпусу 12М» критичною є стабільність посадкового отвору $\text{Ø}52\text{H}7$, відхилення форми або розмірів якого може викликати:

- нерівномірний розподіл контактних напружень у підшипнику;
- локальні перевантаження тіл кочення;
- прискорене накопичення втомних пошкоджень [16].

У загальному вигляді критерій жорсткості формується як обмеження максимальних переміщень:

$$u_{max} \leq u_{доп}, \quad (1.5)$$

де u_{max} – максимальне переміщення в зоні посадкової поверхні;

$u_{доп}$ – допустиме переміщення, визначене з умов роботи підшипника.

Значення $u_{доп}$ визначається допуском Н7 та рекомендаціями виробників підшипників і зазвичай становить частки сотих міліметра [17]. В нашій роботі

прийняли, що воно має становити не більше 50% від допуску Н7, що становить 0,015 мм.

1.2.3 Критерій втомної довговічності

Основним і визначальним критерієм працездатності «Корпусу 12М» є критерій втомної довговічності. Це обумовлено тим, що деталь працює в умовах багаточиклового навантаження при наявності локальної концентрації напружень [8, 10].

Втомна довговічність визначається умовою:

$$N \geq N_{сл}, \quad (1.6)$$

де N – розрахункове число циклів до руйнування;

$N_{сл}$ – необхідний ресурс, $N_{сл} = 2,6 \cdot 10^9$ циклів.

Для врахування впливу середнього напруження в асиметричному циклі використовується лінійний критерій Гудмана:

$$\frac{\sigma_\alpha}{\sigma_{-1}} + \frac{\sigma_m}{\sigma_B} \leq 1, \quad (1.7)$$

де σ_α – амплітудне напруження;

σ_m – середнє напруження;

σ_{-1} – границя витривалості при симетричному циклі;

σ_B – тимчасовий опір матеріалу [9, 18].

Саме за цим критерієм у подальших підрозділах здійснюється порівняння матеріалів і остаточний вибір базового варіанта.

1.2.4 Технологічні та експлуатаційні критерії

До технологічних критеріїв працездатності «Корпусу 12М» належать:

- можливість отримання заготовки з прогнозованими властивостями;
- оброблюваність матеріалу до точності Н7;

- мінімізація залишкових напружень після виготовлення [21].

Експлуатаційні критерії включають:

- стабільність властивостей при тривалій роботі;
- ремонтпридатність;
- повторюваність ресурсу в серійному виробництві.

Ці критерії не є визначальними самі по собі, однак використовуються як фільтр при остаточному виборі матеріалу та технології заготовки.

1.2.5 Узагальнення критеріїв працездатності

На основі викладеного можна зробити висновок, що працездатність «Корпусу 12М» визначається не одним, а сукупністю взаємопов'язаних критеріїв, серед яких визначальними є:

- втомна довговічність;
- стабільність геометрії посадкової поверхні;
- прогнозованість властивостей матеріалу та заготовки.

Саме така багатокритеріальна постановка задачі відповідає сучасним підходам до проєктування деталей і визначає подальшу структуру дослідження в межах даної магістерської роботи [22].

1.3 Алгоритм вибору матеріалу та заготовки «Корпусу 12М»

1.3.1 Постановка задачі вибору матеріалу корпусної деталі

Вибір матеріалу для «Корпусу 12М» у межах даної роботи розглядається як інженерна оптимізаційна задача, у якій матеріал та технологія отримання заготовки мають забезпечити виконання всіх критеріїв працездатності, сформульованих у підрозділі 1.2, за мінімальних технологічних і експлуатаційних ризиків [23].

На відміну від деталей, що працюють переважно на статичне навантаження, корпусні деталі підшипникових вузлів працюють у режимі багатоциклової втоми при локальній концентрації напружень, що істотно звужує множину допустимих

матеріалів. Тому вибір матеріалу не може базуватися лише на довідкових значеннях міцності, а повинен враховувати:

- реальний напружено-деформований стан;
- характер циклу напружень;
- стан поверхні та технологію заготовки;
- стабільність геометрії посадкових поверхонь у часі [9, 10].

З урахуванням цього задача вибору матеріалу формулюється як багатокритеріальна, де визначальним є не максимальний запас міцності, а забезпечення заданого ресурсу при прогнозованих властивостях матеріалу.

1.3.2 Вихідні дані та обмеження для вибору матеріалу

Визначимо розрахункове навантаження на поверхню деталі, за умови що на неї встановлено підшипник 6206 з габаритними розмірами $30 \times 62 \times 16$. Для однорядного радіального кулькового (серія 62) підшипника базова статична вантажопідйомність у провідних каталогах $\approx 11.2\text{--}11.3$ кН.

Для безударного режиму зазвичай беруть запас по статистиці близьким до 1, тоді, за умови відсутності осьового навантаження максимально допустима величина радіального навантаження становитиме 11 кН.

Отже, кількісними та якісними вихідними даними для алгоритму вибору матеріалу є результати аналізу умов роботи, отримані у попередніх підрозділах:

- розрахункове навантаження: $F = 11$ кН;
 - максимальне еквівалентне напруження в критичній зоні – визначається для оптимальної форми деталі після оптимізаційного пошуку і залежить від виду матеріалу (алюмінієвий сплав, конструкційна сталь, чавун – див. п.1.3.3).
- Конкретні значення встановлені нижче в розділі 1;

- характер навантаження: місцеве, циклічне;
- тип циклу: стиск–розвантаження, $R = 0$;
- необхідний ресурс до втомного руйнування: $N_{cl} = 2,6 \cdot 10^9$ циклів.

До обмежень задачі належать:

- забезпечення стабільності форми посадкового отвору $\text{Ø}52\text{H}7$ – максимальна направлена деформація посадкової поверхні, не більше 0,015 мм;
- можливість отримання заготовки з мінімальними дефектами в критичній зоні;
- технологічна придатність матеріалу для серійного виготовлення [14, 21].

1.3.3 Формування множини допустимих матеріалів

На першому етапі алгоритму формується множина потенційно допустимих матеріалів, які традиційно застосовуються для корпусних деталей машинобудування:

- алюмінієві ливарні сплави;
- сірі та високоміцні чавуни;
- конструкційні вуглецеві сталі;
- конструкційні леговані сталі.

Початковий відбір здійснюється за двома базовими ознаками:

1. здатність матеріалу працювати в умовах багатоциклової втоми;
2. можливість забезпечення жорсткості, достатньої для стабільності посадкової поверхні [1, 4].

За результатами цього етапу алюмінієві сплави можуть бути виключені з розгляду через недостатню жорсткість і обмежену втомну міцність при асиметричному циклі навантаження, в той час як чавуни та конструкційні сталі мають вищу ймовірність отримати прийняття для подальшої детальної оцінки.

1.3.4 Система критеріїв оцінювання матеріалів

Для порівняльного оцінювання матеріалів застосовується система взаємопов'язаних критеріїв, сформованих відповідно до методики, викладеної в тезах та сучасних підходів до проектування корпусних деталей [22, 24].

1) Критерій втомної міцності

Критерій втомної міцності є визначальним і формулюється у вигляді умови виконання критерію Гудмана (1.7). Матеріали, для яких умова не виконується з урахуванням коефіцієнта запасу, виключаються з подальшого розгляду.

2) Критерій жорсткості

Жорсткість матеріалу оцінюється за модулем пружності та впливом на деформацію посадкового отвору Ø52H7. Матеріал вважається допустимим, якщо деформації не призводять до порушення умов роботи підшипникового вузла [15, 17].

Згідно з цим критерієм матеріали з низьким модулем пружності або підвищеною схильністю до повзучості не рекомендуються для «Корпусу 12М».

3) Критерій стабільності властивостей

Цей критерій враховує чутливість матеріалу до:

- внутрішніх дефектів заготовки;
- розкиду механічних властивостей;
- локальних концентраторів напружень [11, 20].

Матеріали, для яких властивості істотно залежать від якості заготовки (наприклад, литі матеріали), розглядаються з обмеженнями або потребують додаткових заходів контролю.

4) Технологічний критерій

Технологічний критерій включає:

- можливість отримання заготовки з прогнозованою структурою;
- оброблюваність до точності H7;
- мінімізацію залишкових напружень після виготовлення [21].

Матеріал вважається технологічно придатним, якщо існує стандартний і відпрацьований маршрут виготовлення заготовки для корпусних деталей.

1.3.5 Алгоритм вибору матеріалу та заготовки

На основі сформованих критеріїв алгоритм вибору матеріалу та заготовки для «Корпусу 12М» реалізується у такій послідовності:

1. Визначення критичної зони та параметрів циклу напружень за результатами FEM-аналізу.

2. Попередній відбір матеріалів за умовою статичної міцності.

3. Оптимізаційний пошук найкращої форми деталі, яка мінімізує напруження в критичних зонах і деформацію посадкової поверхні.

4. Розрахунок ефективних параметрів циклу напружень з урахуванням концентрації та стану поверхні.

5. Перевірка матеріалів за критерієм Гудмана та оцінка втомної довговічності.

6. Оцінка технологічності та прогнозованості властивостей заготовки.

7. Остаточний вибір матеріалу та рекомендованої технології отримання заготовки.

Такий алгоритм забезпечує логічний зв'язок між результатами чисельного аналізу, втомного розрахунку та технологічних рішень.

1.4 Чисельне моделювання напружено-деформованого стану «Корпусу 12М» у середовищі ANSYS

1.4.1 Мета та завдання чисельного аналізу

Чисельне моделювання «Корпусу 12М» виконано з метою отримання достовірної картини напружено-деформованого стану деталі при реальному експлуатаційному навантаженні та виявлення зон локальної концентрації напружень, які визначають втомну довговічність корпусу.

Основними завданнями FEM-аналізу є:

- визначення розподілу еквівалентних напружень у корпусі;
- локалізація критичної точки з максимальними напруженнями;
- оцінка рівня деформацій посадкового отвору Ø52H7;
- формування вихідних даних для параметричного аналізу та втомного розрахунку.

Застосування методу скінченних елементів для корпусних деталей є загальноприйнятим інструментом сучасного машинобудівного проєктування та дозволяє врахувати складну геометрію, реальні граничні умови та неоднорідний розподіл напружень.

1.4.2 Геометрична модель «Корпусу 12М»

Геометрична модель «Корпусу 12М» побудована на основі конструкторського креслення деталі з урахуванням усіх конструктивно значущих елементів, що впливають на напружений стан:

- посадкового отвору $\text{Ø}52\text{H}7$;
- перехідних галтелей з радіусом 2,5-5 мм;
- змін товщини стінок;
- опорних і базових поверхонь.

При побудові моделі свідомо не виконувалося спрощення геометрії в зоні посадкового отвору та перехідних радіусів, оскільки саме ці елементи формують концентрацію напружень і визначають втомну довговічність деталі. Допустимі спрощення застосовувалися лише до другорядних елементів, які не беруть участі в передачі навантаження. Загальний вигляд моделі показано на рисунку 1.2.

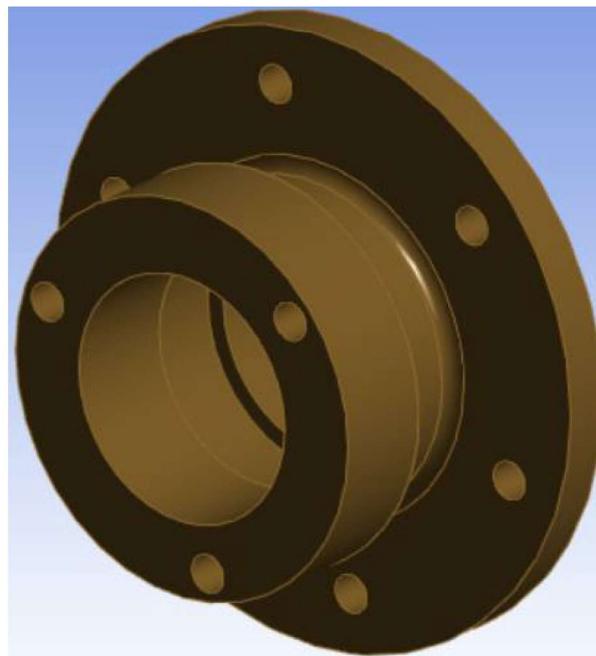


Рисунок 1.2 – Вигляд спрощеної моделі в системі Ansys

1.4.3 Вибір типу розрахунку та матеріальної моделі

Для аналізу напружено-деформованого стану деталі «Корпус 12М» застосовано лінійно-пружну постановку задачі, що є обґрунтованим з огляду на те, що рівень робочих напружень істотно нижчий за межу текучості обраних конструкційних сталей.

Матеріал у FEM-моделі задається ізотропним і однорідним, що відповідає умовам застосування деформованих заготовок зі сталі. Основні матеріальні параметри:

- модуль пружності (E);
- коефіцієнт Пуассона (μ).

Такий підхід широко використовується при попередньому аналізі деталей і забезпечує достатню точність для визначення зон концентрації напружень.

1.4.4 Граничні умови та схема навантаження

Граничні умови моделі сформовано таким чином, щоб максимально відтворити реальні умови роботи корпусу в складі механізму.

Закріплення корпусу реалізовано через фіксацію опорних поверхонь, що відповідають місцям контакту з несучими елементами конструкції. Обмеження переміщень задавалися з урахуванням можливості передачі навантаження без надмірного перевизначення системи [21] (рис. 1.3).

Навантаження прикладалося до внутрішньої поверхні посадкового отвору $\text{Ø}52\text{H}7$ у вигляді еквівалентного розподіленого тиску, що відповідає радіальному навантаженню від підшипника. Такий спосіб задання навантаження дозволяє коректно відобразити місцевий характер напружень у зоні контакту та уникнути нереалістичних пікових значень, характерних для точкового прикладання сили [5, 22]. Загальна сила навантаження прийнята максимально можливому статичному навантаженню, що сприймає радіальний однорядний підшипник 6206 і дорівнює 11 кН.

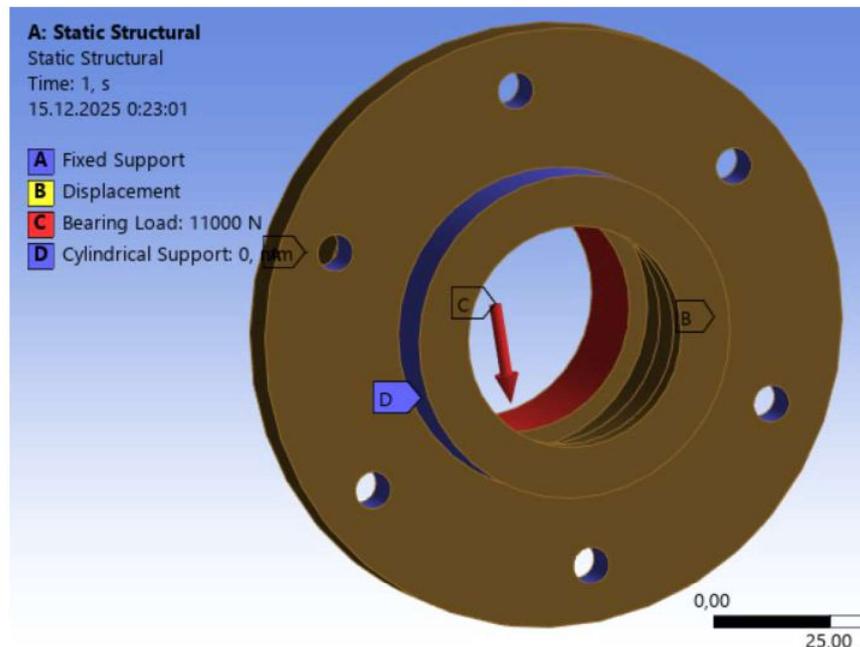


Рисунок 1.3 – Схема прикладання навантаження та закріплення деталі

1.4.7 Результати чисельного аналізу напружень

За результатами FEM-розрахунку встановлено, що максимальні напруження локалізуються в зоні переходу від посадкового отвору $\text{Ø}52\text{H}7$ до масиву корпусу, що збігається з теоретично прогнозованими зонами концентрації напружень у корпусних деталях [11, 12] (рис. 1.4).

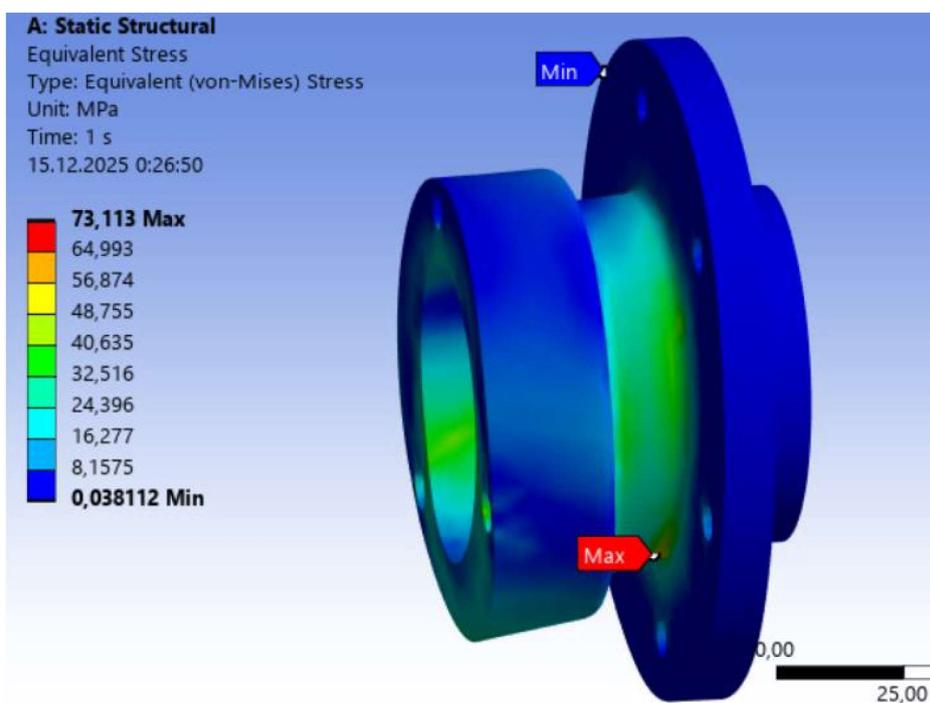


Рисунок 1.4 – Розподіл напружень по об'єму деталі

Розподіл напружень має виражений локальний характер, при цьому значна частина об'єму корпусу працює при напруженнях, істотно нижчих за максимальні. Це підтверджує доцільність подальшої параметричної оптимізації геометрії з метою зменшення локальних піків напружень без істотного збільшення маси деталі.

1.4.8 Аналіз деформацій посадкового отвору

Окрім аналізу напружень, у ході чисельного розрахунку оцінено поле переміщень у зоні посадкового отвору $\text{Ø}52\text{H}7$. Характер деформацій вказує на тенденцію до локальної овалізації отвору під дією навантаження, що підтверджує необхідність врахування жорсткості матеріалу та оптимізації геометрії корпусу з метою мінімізації деформацій посадкової поверхні [16, 17] (рис. 1.5). При цьому слід мати на увазі, що на рисунку 1.5 деформації мають від'ємний знак, оскільки мають напрямок протилежний до осі Y.

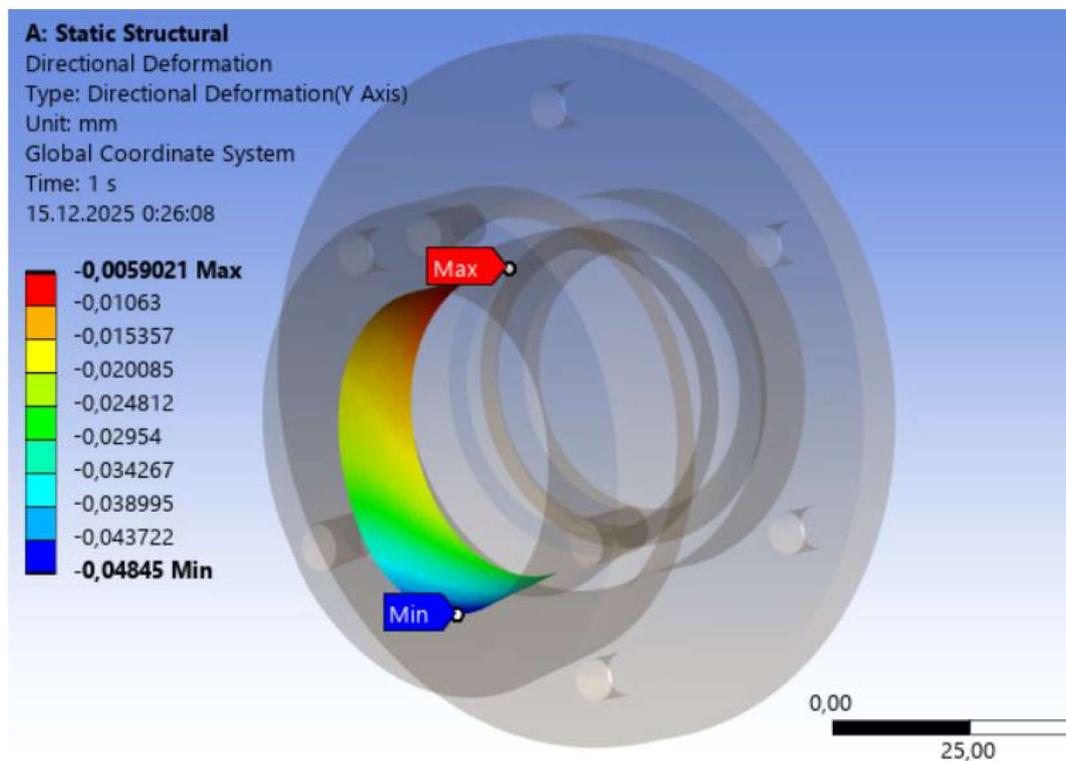


Рисунок 1.5 – Розподіл деформацій по посадковій поверхні 50H7

За результатами чисельного моделювання встановлено, що:

- «Корпус 12М» працює в області пружних деформацій;
- визначальними з точки зору працездатності є локальні піки напружень;
- критична зона повністю збігається з областю, що визначає втомну довговічність деталі.

Отримані результати є вихідною базою для подальшого параметричного аналізу та оптимізації геометрії корпусу, які розглядаються в наступному підрозділі.

1.5 Параметричний аналіз та оптимізація геометрії деталі «Корпус 12М»

1.5.1 Необхідність параметричного аналізу корпусної деталі

Результати чисельного аналізу, наведені в підрозділі 1.4, показали, що напружено-деформований стан «Корпусу 12М» має виражений локальний характер, а максимальні еквівалентні напруження зосереджені в зовнішній зоні переходу від посадкового отвору $\varnothing 52H7$ до масиву корпусу та зоні внутрішньої вільної поверхні.

У зв'язку з цим подальше підвищення працездатності «Корпусу 12М» не може бути досягнуте лише шляхом вибору матеріалу. Необхідним є цілеспрямований вплив на геометрію деталі, що дозволяє зменшити концентрацію напружень, підвищити жорсткість критичної зони та забезпечити стабільність посадкової поверхні при циклічному навантаженні.

Параметричний аналіз і оптимізація геометрії виконуються з метою:

- зниження максимальних еквівалентних напружень;
- зменшення пружних деформацій посадкового отвору;
- забезпечення мінімальності маси деталі.

1.5.2 Вибір змінних параметрів геометрії

Для проведення параметричного аналізу визначено набір геометричних параметрів, які мають найбільший вплив на напружений стан корпусу в критичній

зоні. До таких параметрів віднесено (рис. 1.6):

- радіус перехідних галтелей між посадковим отвором і масивом корпусу ($R_{галт}$). Діапазон зміни – 2-5 мм;
- радіус вільної внутрішньої поверхні корпусу в зоні отвору ($R_{вн}$). Діапазон зміни – 27-32 мм;
- довжина потовщення біля кріпильних різьбових отворів ($L_{зовн.підш}$). Діапазон зміни – 20-31 мм;
- ширина посадкової поверхні ($L_{підш}$). Діапазон зміни – 25-40 мм.
- Радіус кола, по якому розміщено кріпильні отвори ($R_{кріп}$). Діапазон зміни – 51-60 мм.

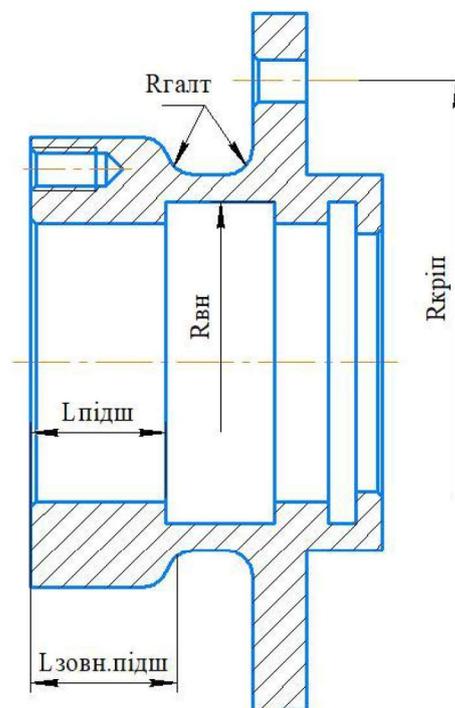


Рисунок 1.6 – Параметри деталі «Корпус 12М», що враховувались в оптимізації

1.5.3 Організація параметричного дослідження в ANSYS

Параметричний аналіз геометрії «Корпусу 12М» виконано в середовищі ANSYS Workbench із використанням модуля DesignXplorer, який дозволяє автоматизувати проведення серії чисельних експериментів і встановити залежності між геометричними параметрами та вихідними характеристиками.

Як вихідні параметри (відгуки) обрано:

- максимальні еквівалентні напруження в критичній зоні (σ_{\max});
- максимальні переміщення в зоні посадкового отвору.

Для дослідження впливу параметрів застосовано метод планування чисельного експерименту (DOE), що дозволяє отримати репрезентативну вибірку результатів при обмеженій кількості розрахунків. Результати розрахунків для різних геометричних параметрів деталі представлені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Результати чисельного експерименту

| L _{зовн.підш} , мм | R _{вн} , мм | L _{підш} , мм | R _{галт} , мм | σ_{\max} , МПа | u _{max} , мм |
|-----------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 26,500 | 30,000 | 31,000 | 3,500 | 53,7 | -0,0010 |
| 26,500 | 30,000 | 31,000 | 3,500 | 54,9 | -0,0010 |
| 26,500 | 30,000 | 31,000 | 3,500 | 48,5 | -0,0011 |
| 20,000 | 30,000 | 31,000 | 3,500 | 59,5 | -0,0009 |
| 33,000 | 30,000 | 31,000 | 3,500 | 59,2 | -0,0011 |
| 26,500 | 27,000 | 31,000 | 3,500 | 41,4 | -0,0007 |
| 26,500 | 33,000 | 31,000 | 3,500 | 96,8 | -0,0035 |
| 26,500 | 30,000 | 22,000 | 3,500 | 61,8 | -0,0024 |
| 26,500 | 30,000 | 40,000 | 3,500 | 41,1 | -0,0002 |
| 26,500 | 30,000 | 31,000 | 2,000 | 51,9 | -0,0012 |
| 26,500 | 30,000 | 31,000 | 5,000 | 48,7 | -0,0009 |
| 24,658 | 29,150 | 28,450 | 3,925 | 47,2 | -0,0011 |
| 24,658 | 29,150 | 28,450 | 3,075 | 58,3 | -0,0012 |
| 28,342 | 29,150 | 28,450 | 3,075 | 50,6 | -0,0012 |
| 28,342 | 29,150 | 28,450 | 3,925 | 47,4 | -0,0012 |
| 24,658 | 30,850 | 28,450 | 3,075 | 83,0 | -0,0018 |
| 24,658 | 30,850 | 28,450 | 3,925 | 68,7 | -0,0017 |
| 28,342 | 30,850 | 28,450 | 3,925 | 58,3 | -0,0017 |
| 28,342 | 30,850 | 28,450 | 3,075 | 68,6 | -0,0019 |
| 24,658 | 29,150 | 33,550 | 3,075 | 53,0 | -0,0006 |
| 24,658 | 29,150 | 33,550 | 3,925 | 48,3 | -0,0006 |
| 28,342 | 29,150 | 33,550 | 3,925 | 47,8 | -0,0006 |
| 28,342 | 29,150 | 33,550 | 3,075 | 64,6 | -0,0007 |
| 24,658 | 30,850 | 33,550 | 3,925 | 67,3 | -0,0008 |

| | | | | | |
|--------|--------|--------|-------|------|---------|
| 24,658 | 30,850 | 33,550 | 3,075 | 71,2 | -0,0009 |
| 28,342 | 30,850 | 33,550 | 3,075 | 72,8 | -0,0009 |
| 28,342 | 30,850 | 33,550 | 3,925 | 66,1 | -0,0009 |

1.5.4 Результати оптимізації геометрії корпусу

За результатами оптимізації встановлено оптимальні геометричні параметри деталі (рис.1.7).

| | Candidate Point 1 | Candidate Point 2 | Candidate Point 3 |
|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| P3 - R_zakr_zovrn (mm) | 59.921 | 58.914 | 56.287 |
| P4 - W_zovrn_pidsh (mm) | 20.46 | 21.684 | 20.46 |
| P5 - R_vnytr_viln (mm) | 27.001 | 27.002 | 27.001 |
| P6 - W_pidsh (mm) | 39.118 | 39.96 | 39.296 |
| P12 - R_zaokr (mm) | 4.9491 | 4.8187 | 4.9491 |

Рисунок 1.7 – Оптимальні геометричні параметри деталі

Як видно з рисунку 1.7, всі кращі кандидати мають близькі за значенням оптимальні геометричні параметри. Таким чином приймемо наступні розміри:

- діаметр розташування зовнішніх кріпильних отворів – 60 мм;
- радіус перехідних галтелей між посадковим отвором і масивом корпусу – 5 мм;
- радіус вільної внутрішньої поверхні корпусу в зоні отвору – 27 мм;
- довжина потовщення біля кріпильних різьбових отворів – 21 мм;
- ширина посадкової поверхні – 40 мм.

Розрахунок максимальних напружень для прийнятих значень деталі показав, що вони слабо залежать від обраного матеріалу і коливається в межах 26 – 35 МПа (рис. 1.8).

Водночас, з результатів оптимізації видно, що посадкова зона підшипника набула максимальної довжини, а радіус вільної внутрішньої поверхні – мінімальної, тому доцільно припустити, що виконання внутрішньої порожнини одноступінчатою дозволить ще більше знизити рівень пікових напружень, що видно, зокрема, з рисунка 1.9.

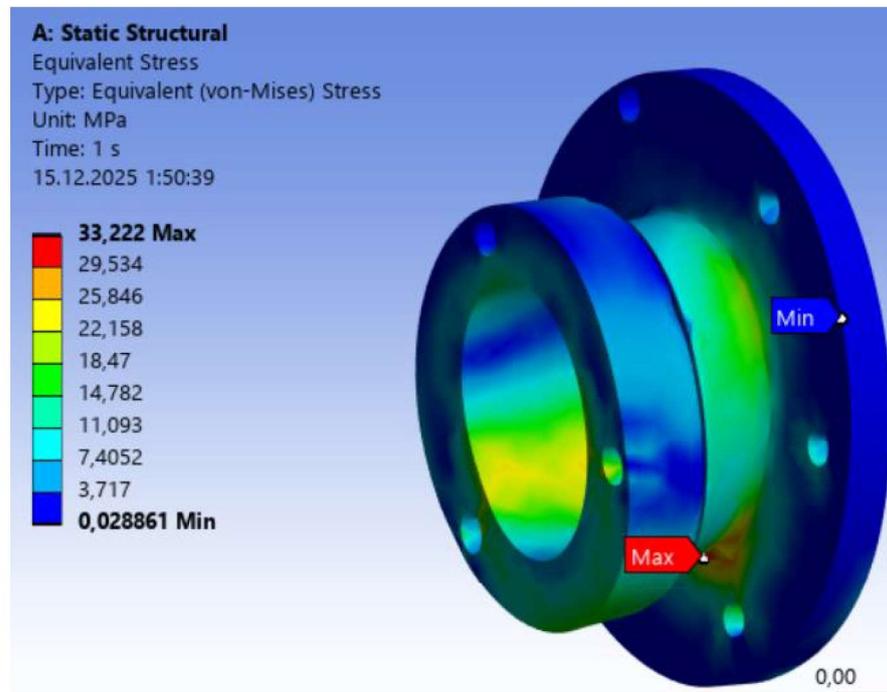


Рисунок 1.8 – Розподіл максимальних напружень по деталі оптимізованої конструкції

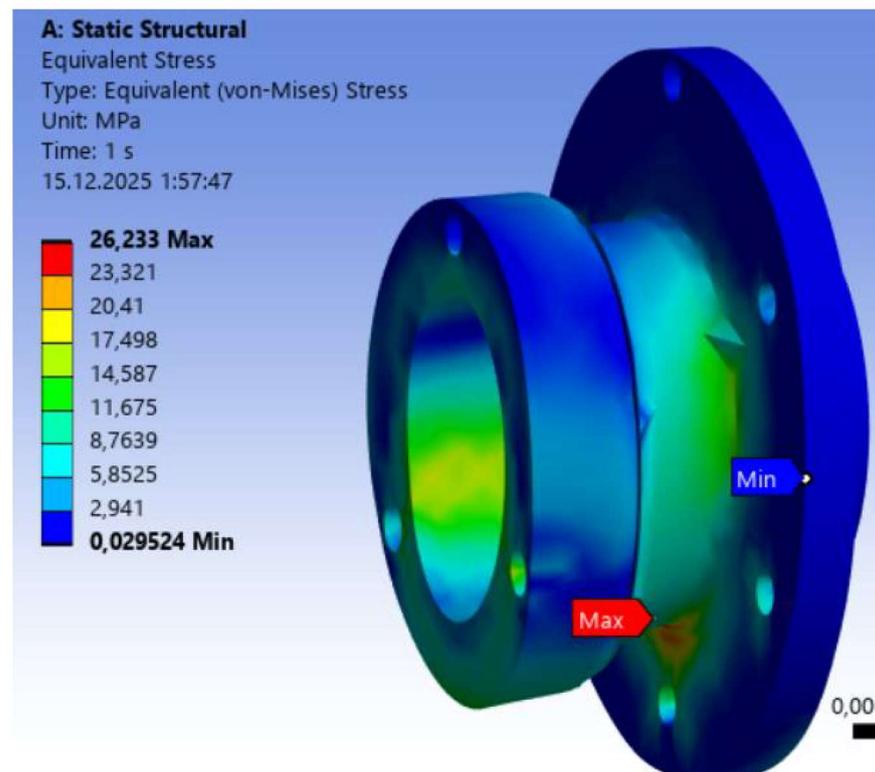


Рисунок 1.9 – Розподіл максимальних напружень по деталі оптимізованої конструкції зі спрощеною внутрішньою частиною

Таким чином, з проведених досліджень видно, що раціональна модифікація геометрії «Корпусу 12М» дозволяє:

- зменшити максимальні еквівалентні напруження в критичній зоні;
- знизити рівень пружних деформацій посадкового отвору;
- покращити рівномірність розподілу напружень у масиві корпусу.

Отримані результати підтверджують, що оптимізація геометрії є ефективним інструментом підвищення працездатності корпусних деталей і повинна розглядатися спільно з вибором матеріалу та технології заготовки.

1.6 Визначення параметрів циклу напружень «Корпусу 12М»

На основі значень σ_{\max} і σ_{\min} визначаються основні параметри циклу напружень у критичній точці «Корпусу 12М».

Амплітудне напруження

$$\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2 \text{ [МПа]}. \quad (1.8)$$

Середнє напруження

$$\sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min})/2 \text{ [МПа]}. \quad (1.9)$$

Коефіцієнт асиметрії циклу розраховується за (1.1) та для нашого випадку становить 0.

Результати розрахунку параметрів циклу для оптимізованої та спрощеної деталі показані в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Параметри циклу напружень

| Конструкція деталі | Максимальне напруження циклу, МПа | Мінімальне напруження циклу, МПа | Амплітудне напруження, МПа | Середнє напруження, МПа | Коефіцієнт асиметрії |
|-----------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------|
| Оптимізована | 33 | 0 | 16,5 | 16,5 | 0 |
| Оптимізована спрощена | 26 | 0 | 13 | 13 | 0 |

Отриманий цикл є несиметричним і характеризується наявністю значного середнього напруження, що негативно впливає на втомну міцність матеріалу порівняно із симетричним циклом [9, 18].

Як зазначено в підрозділі 1.1, для «Корпус 12М» характерний місцевий тип навантаження, за якого навантажена зона залишається фіксованою в просторі. У цьому випадку кожен прохід тіла кочення відповідає повному циклу напружень для однієї й тієї ж ділянки матеріалу [5–7].

Це означає, що еквівалентна кількість циклів для критичної точки матеріалу дорівнює фактичній кількості обертів механізму. Такий режим є найбільш несприятливим з точки зору втомної довговічності і потребує застосування консервативних підходів при оцінці ресурсу [6].

Отримані параметри циклу напружень є основою для виконання повного втомного розрахунку «Корпусу 12М», який розглядається в наступному підрозділі.

1.7 Втомний розрахунок деталі «Корпус 12М»

Втомний розрахунок «Корпусу 12М» виконується з метою визначення відповідності деталі вимогам до ресурсу при багатоцикловому навантаженні, параметри якого встановлено в підрозділі 1.6. З огляду на те, що рівень робочих напружень істотно нижчий за межу текучості матеріалу, а кількість циклів перевищує (10^7) , розрахунок виконується в області високочислової втоми із застосуванням підходів, заснованих на S–N кривих (кривих Вьолера) [8–10].

Для врахування асиметрії циклу напружень використовується лінійний критерій Гудмана, який широко застосовується в інженерній практиці для оцінки втомної міцності конструкційних сталей при ненульовому середньому напруженні [9, 18].

Вихідні дані для втомного розрахунку «Корпусу 12М» узагальнено в таблиці 1.4.

Наявність перехідних галтелей і зміни товщини стінок у корпусі 12М

призводить до локальної концентрації напружень. Для кількісного врахування цього ефекту вводиться ефективний коефіцієнт концентрації напружень (K_f), який визначається за формулою [11, 12]:

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad (1.10)$$

де K_t – теоретичний коефіцієнт концентрації напружень;

q – коефіцієнт чутливості матеріалу до концентрації (таблиця 1.5).

Для галтелі радіусом ($r = 5$) мм у корпусній деталі прийнято $K_t = 1,5$.

Таблиця 1.4 – Узагальнені вихідні дані для втомного розрахунку

| Конструкція | σ_{\max} , МПа | σ_{\min} , МПа | σ_a , МПа | σ_m , МПа | Тип навантаження | r , мм | Стан поверхні | Коеф. стану поверхні $k_{пов}$ |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------|------------------|-----------------------------------|
| Оптимізована | 33 | 0 | 16,5 | 16,5 | місцеве | 5 | литво | 1,4 |
| Оптимізована | 33 | 0 | 16,5 | 16,5 | місцеве | 5 | поковка | 1,1 |
| Оптимізована спрощена | 26 | 0 | 13,0 | 13,0 | місцеве | 5 | литво | 1,4 |
| Оптимізована спрощена | 26 | 0 | 13,0 | 13,0 | місцеве | 5 | поковка | 1,1 |

Таблиця 1.5 – Розрахунок коефіцієнту концентрації напружень

| Клас матеріалу | Типовий представник | Коефіцієнт чутливості до концентрації q | Ефективний коефіцієнт концентрації | Характеристика матеріалу щодо концентрації |
|------------------------|------------------------|---|--|--|
| Алюмінієві сплави | Al 6061-T6, AlSi7Mg | 0,75–0,80 | 1,38–1,40 | Низька чутливість до концентраторів, але відсутність границі витривалості |
| Конструкційні сталі | Сталь 45, 40X | 0,85–0,90 | 1,43–1,45 | Висока чутливість до концентраторів, наявна границя витривалості |

| | | | | |
|----------------|---------------------|---|------------------------------------|---|
| Клас матеріалу | Типовий представник | Коефіцієнт чутливості до концентрації q | Ефективний коефіцієнт концентрації | Характеристика матеріалу щодо концентрації |
| Сірі чавуни | СЧ12, EN-GJL-150 | 0,80–0,85 | 1,40–1,43 | Помірна чутливість, крихка структура, дефекти графіту |

Ефективна амплітуда напружень з урахуванням концентрації та стану поверхні визначається за формулою:

$$\sigma_{a,eff} = \sigma_a \cdot K_f \cdot k_{нов} \text{ [МПа]} \quad (1.11)$$

Проводиться перевірка за критерієм Гудмана і коефіцієнт запасу

$$\Sigma_G = \frac{\sigma_{a,eff}}{\sigma_{-1}} + \frac{\sigma_m}{\sigma_B} \leq 1, n_f = \frac{1}{\Sigma_G}. \quad (1.12)$$

Таблиця 1.6 – Вихідні дані деяких матеріалів для розрахунку на втому

| Група | Матеріал (представник) | σ_B , МПа | Втомна характеристика для розрахунку (орієнтовне значення з літературних джерел) |
|---------------------|---|-------------------|--|
| Алюмінієві сплави | Al 6061-T6 | 310 | 96.5 МПа (повністю змінний цикл) |
| Алюмінієві сплави | Al 7075-T6 | 572 | 159 МПа (повністю змінний цикл) |
| Конструкційні сталі | Сталь 45 / С45 / AISI 1045 (типовий стан) | 570–700 (тип.) | |
| Сірі чавуни | EN-GJL-150 (аналог СЧ10–СЧ15 за міцністю) | ≥ 150 (клас) | орієнтир: ($\sigma_{-1} \approx 0.34R_m$) (для розтягу-стиску), |

В результаті розрахунку за виразами (1.11-1.12) та з урахуванням таблиць 1.3-1.6 визначимо критерій Гудмана та коефіцієнт запасу по втомній міцності для двох варіантів конструкції деталі (оптимізована і оптимізована спрощена), двох

варіантів стану поверхні (диття і поковка) та для різних матеріалів (алюмінієві сплави, конструкційні сталі, чавуни). Отримані результати зведені в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Зведені результати розрахунку параметрів втомної міцності

| Матеріал | Конструкція | Поверхня | K_f | $\sigma_{a,eff}$, МПа | Σ_G | n_f |
|------------------------|-------------|----------|-------|------------------------|------------|-------|
| Сталь 45 | А | литво | 1.45 | 33.50 | 0.156 | 6.40 |
| Сталь 45 | А | поковка | 1.45 | 26.32 | 0.129 | 7.77 |
| Сталь 45 | В | литво | 1.45 | 26.39 | 0.123 | 8.12 |
| Сталь 45 | В | поковка | 1.45 | 20.74 | 0.101 | 9.86 |
| Al 6061-T6 | А | литво | 1.40 | 32.34 | 0.388 | 2.57 |
| Al 6061-T6 | А | поковка | 1.40 | 25.41 | 0.317 | 3.16 |
| Al 6061-T6 | В | литво | 1.40 | 25.48 | 0.306 | 3.27 |
| Al 6061-T6 | В | поковка | 1.40 | 20.02 | 0.249 | 4.01 |
| Al 7075-T6 | А | литво | 1.40 | 32.34 | 0.232 | 4.31 |
| Al 7075-T6 | А | поковка | 1.40 | 25.41 | 0.189 | 5.30 |
| Al 7075-T6 | В | литво | 1.40 | 25.48 | 0.183 | 5.47 |
| Al 7075-T6 | В | поковка | 1.40 | 20.02 | 0.149 | 6.73 |
| Сірий чавун EN-GJL-150 | А | литво | 1.425 | 32.92 | 0.755 | 1.32 |
| Сірий чавун EN-GJL-150 | А | поковка | 1.425 | 25.86 | 0.617 | 1.62 |
| Сірий чавун EN-GJL-150 | В | литво | 1.425 | 25.94 | 0.595 | 1.68 |
| Сірий чавун EN-GJL-150 | В | поковка | 1.425 | 20.38 | 0.486 | 2.06 |

Примітка. Конструкція А – оптимізована. Конструкція В – оптимізована спрощена

Отриманий коефіцієнт запасу за втомою свідчить про те, що при заданих параметрах циклу напружень «Корпус 12М» зі сталі 45 та з алюмінієвого сплаву має значний запас втомної міцності. Проведемо оцінку кількості циклів до втомного руйнування для різних варіантів сталей і алюмінієвих сплавів з таблиці 1.7.

З урахуванням місцевого характеру навантаження та консервативного

підходу до оцінки кількості циклів можна обчислити кількість циклів до втомного руйнування:

$$N_f = \left(\frac{\sigma_{a.eff}}{A} \right)^{\frac{1}{b}}. \quad (1.13)$$

Таблиця 1.8 – Коефіцієнти A і b в формулі (1.13)

| Матеріал | b | A, МПа |
|------------------------|-------|--------|
| Al 6061-T6 | -0.09 | 585.38 |
| Al 7075-T6 | -0.09 | 964.50 |
| Сталь 45 (C45/1045) | -0.08 | 944.00 |
| Сірий чавун EN-GJL-150 | -0.10 | 255.61 |

За виразом (1.13) для трьох варіантів конструкції (базовий, оптимізований, оптимізований спрощений) та різних способів отримання заготовки деталі (лиття, поковка) проведено розрахунок кількості циклів до втомного руйнування (таблиці 1.9-1.11).

Таблиця 1.9 – Кількість циклів до втомного руйнування для оптимізованої конструкції деталі

| Матеріал | Поверхня | $\sigma_{a.eff}$, МПа | N_f , циклів | Еквівалент, років при частоті обертання 1000 об/хв |
|--------------------------|----------|------------------------|----------------------|--|
| Сталь 45 | литво | 34.45 | $5.67 \cdot 10^{15}$ | $1.08 \cdot 10^7$ |
| Сталь 45 | поковка | 27.06 | $8.27 \cdot 10^{16}$ | $1.57 \cdot 10^8$ |
| Al 6061-T6 | литво | 34.16 | $2.87 \cdot 10^{12}$ | $5.46 \cdot 10^3$ |
| Al 6061-T6 | поковка | 26.84 | $2.14 \cdot 10^{13}$ | $4.07 \cdot 10^4$ |
| Al 7075-T6 | литво | 33.30 | $2.27 \cdot 10^{14}$ | $4.33 \cdot 10^5$ |
| Al 7075-T6 | поковка | 26.16 | $1.70 \cdot 10^{15}$ | $3.23 \cdot 10^6$ |
| EN-GJL-150 (сірий чавун) | литво | 35.88 | $3.37 \cdot 10^8$ | 0.64 |
| EN-GJL-150 (сірий чавун) | поковка | 28.19 | $3.76 \cdot 10^9$ | 7.16 |

Таблиця 1.10 – Кількість циклів до втомного руйнування для оптимізованої спрощеної конструкції деталі

| Матеріал | Поверхня | $\sigma_{a.eff}$, МПа | N_f , циклів | Еквівалент, років при частоті обертання 1000 об/хв |
|-----------------------------|----------|------------------------|----------------------|--|
| Сталь 45 | литво | 26.97 | $8.58 \cdot 10^{16}$ | $1.63 \cdot 10^8$ |
| Сталь 45 | поковка | 21.20 | $1.25 \cdot 10^{18}$ | $2.37 \cdot 10^9$ |
| Al 6061-T6 | литво | 26.60 | $2.31 \cdot 10^{13}$ | $4.39 \cdot 10^4$ |
| Al 6061-T6 | поковка | 20.90 | $1.72 \cdot 10^{14}$ | $3.28 \cdot 10^5$ |
| Al 7075-T6 | литво | 26.07 | $1.75 \cdot 10^{15}$ | $3.32 \cdot 10^6$ |
| Al 7075-T6 | поковка | 20.49 | $1.30 \cdot 10^{16}$ | $2.48 \cdot 10^7$ |
| EN-GJL-150 (сірий чавун) | литво | 27.74 | $4.41 \cdot 10^9$ | 8.38 |
| EN-GJL-150 (сірий чавун) | поковка | 21.80 | $4.92 \cdot 10^{10}$ | 93.6 |

Таблиця 1.11 – Кількість циклів до втомного руйнування для базової конструкції деталі

| Матеріал | Поверхня | $\sigma_{a.eff}$, МПа | N_f , циклів | Еквівалент, років при частоті обертання 1000 об/хв |
|-----------------------------|----------|------------------------|----------------------|--|
| Сталь 45 | литво | 74.10 | $2.98 \cdot 10^{13}$ | $5.67 \cdot 10^4$ |
| Сталь 45 | поковка | 58.22 | $6.07 \cdot 10^{14}$ | $1.16 \cdot 10^6$ |
| Al 6061-T6 | литво | 71.54 | $3.46 \cdot 10^9$ | 6.58 |
| Al 6061-T6 | поковка | 56.21 | $5.04 \cdot 10^{10}$ | 95.9 |
| Al 7075-T6 | литво | 71.54 | $1.72 \cdot 10^{12}$ | $3.27 \cdot 10^3$ |
| Al 7075-T6 | поковка | 56.21 | $2.50 \cdot 10^{13}$ | $4.76 \cdot 10^4$ |
| EN-GJL-150 (сірий чавун) | литво | 72.82 | $1.75 \cdot 10^4$ | $3.33 \cdot 10^{-5}$ |
| EN-GJL-150 (сірий чавун) | поковка | 57.21 | $1.95 \cdot 10^5$ | $3.71 \cdot 10^{-4}$ |

Якщо провести аналогічний розрахунок для вихідного матеріалу Al8, то отримаємо, що еквівалентний термін роботи такого корпусу становитиме близько $9.75 \cdot 10^{-3}$ року. Звідки можна зробити висновок про доцільність оптимізації та заміни матеріалу в порівнянні з базовим варіантом.

Таким чином, ресурс корпусу за втомною міцністю перевищує мінімально необхідний термін служби 5 років [10, 22] для сталей і алюмінієвих корпусів для

спрощеної і оптимізованої конструкції, але для чавунів він недостатньо великий. В зв'язку з чим, для цієї деталі чавун в якості матеріалу заготовки не враховуємо.

При цьому алюмінієві сплави, як правило, не куються, тому ці варіанти відкидаються.

Отримані результати є основою для остаточного вибору матеріалу та технології виготовлення заготовки, що розглядається в наступному підрозділі.

1.8 Остаточний вибір матеріалу та технології виготовлення заготовки «Корпусу 12М»

Результати чисельного аналізу та параметричної оптимізації геометрії показали, що:

- максимальні еквівалентні напруження при навантаженні 11 кН в оптимізованому «Корпусі 12М» не перевищують 39 МПа, а в спрощеному – 33 МПа;
- критична зона локалізується в області переходу від зовнішньої необробленої поверхні до торця фланцю;
- оптимізація геометрії дозволяє знизити концентрацію напружень і зменшити деформації посадкової поверхні без істотного збільшення маси деталі.

Ці результати створюють сприятливі передумови для забезпечення високої втомної довговічності за умови правильного вибору матеріалу та заготовки.

Таким чином, залишається невирішена задача по забезпеченню форми посадкового місця під підшипник в процесі експлуатації.

Результати проведених розрахунків для сталі та алюмінієвого сплаву, виконані за допомогою FEM-моделей для оптимізованої та спрощеної конструкцій показані на рисунках 1.10-1.13 та в таблиці 1.12.

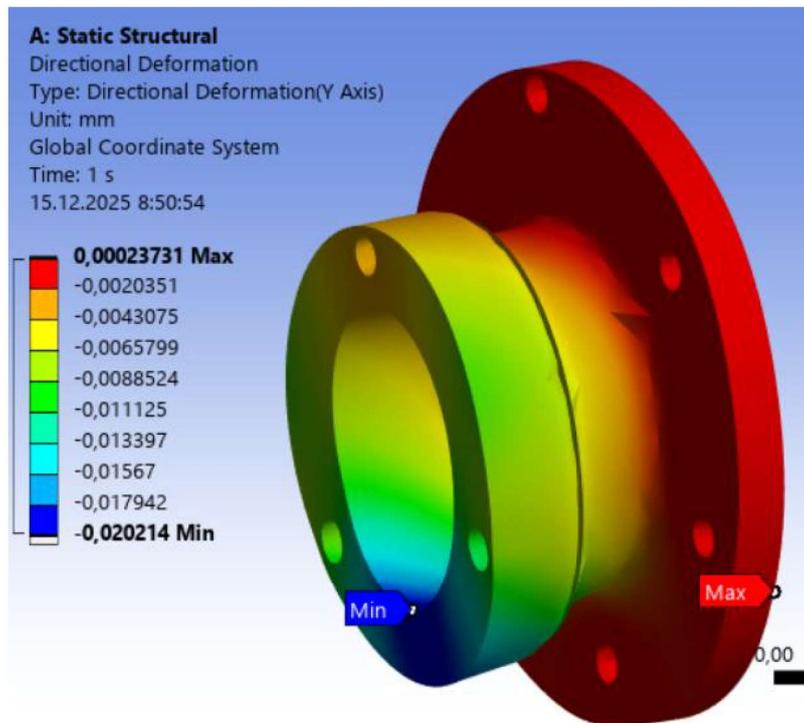


Рисунок 1.10 – Розподіл деформацій по деталі оптимізованої спрощеної конструкції з алюмінієвого сплаву

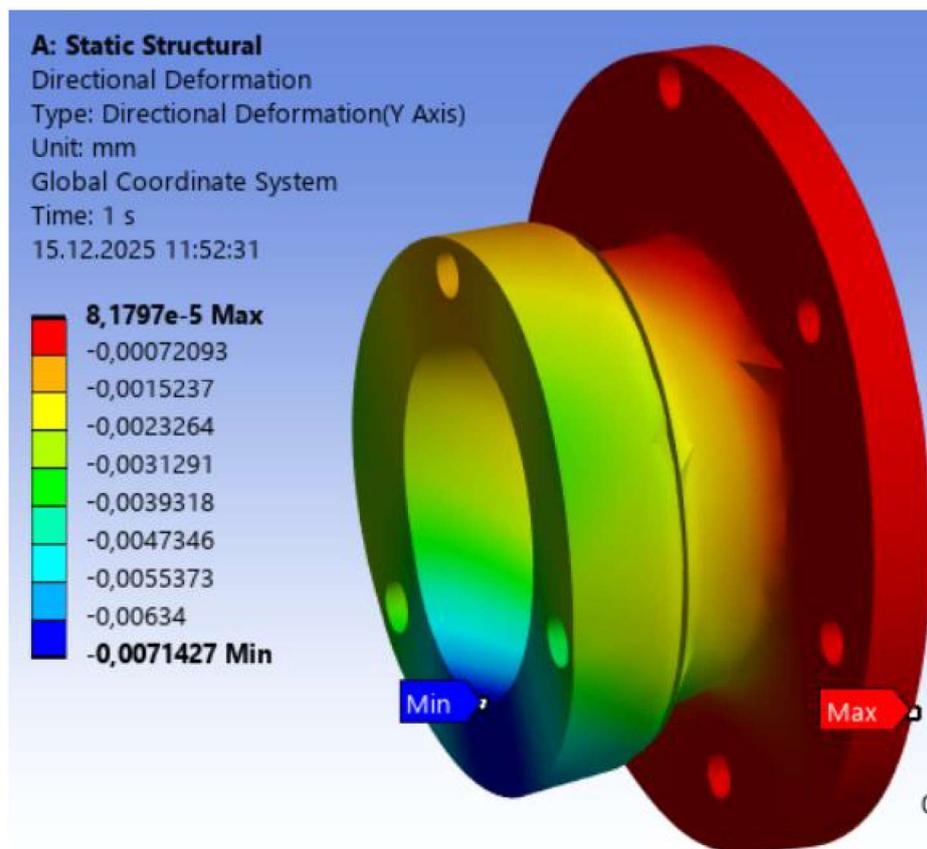


Рисунок 1.11 – Розподіл деформацій по деталі оптимізованої спрощеної конструкції з конструкційної сталі

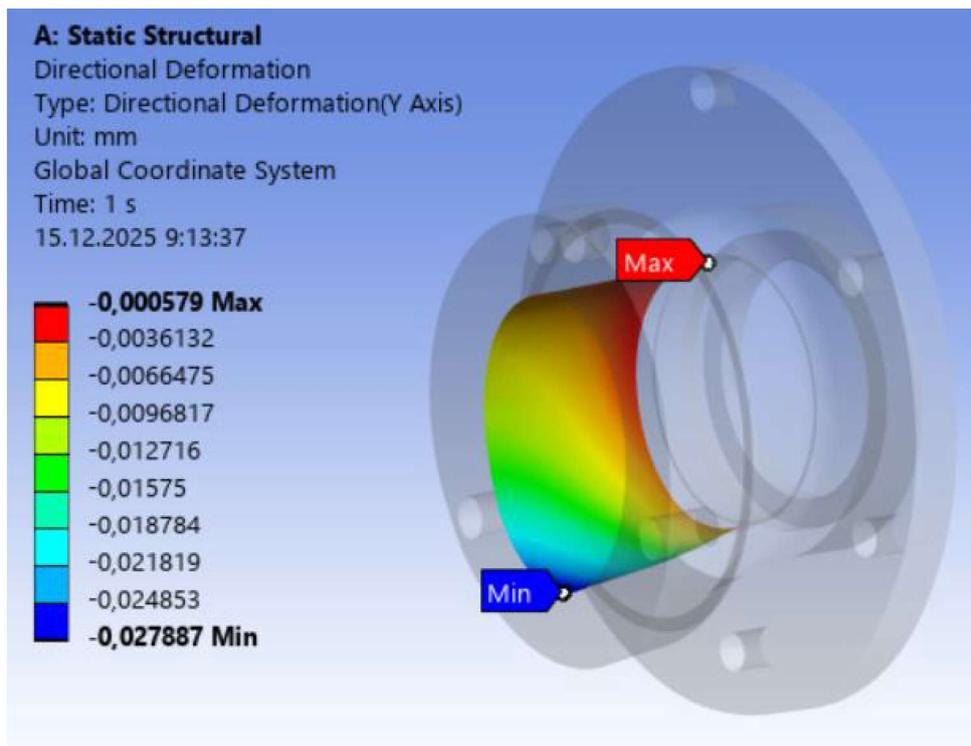


Рисунок 1.12 – Розподіл деформацій по посадковій поверхні деталі оптимізованої конструкції з алюмінієвого сплаву

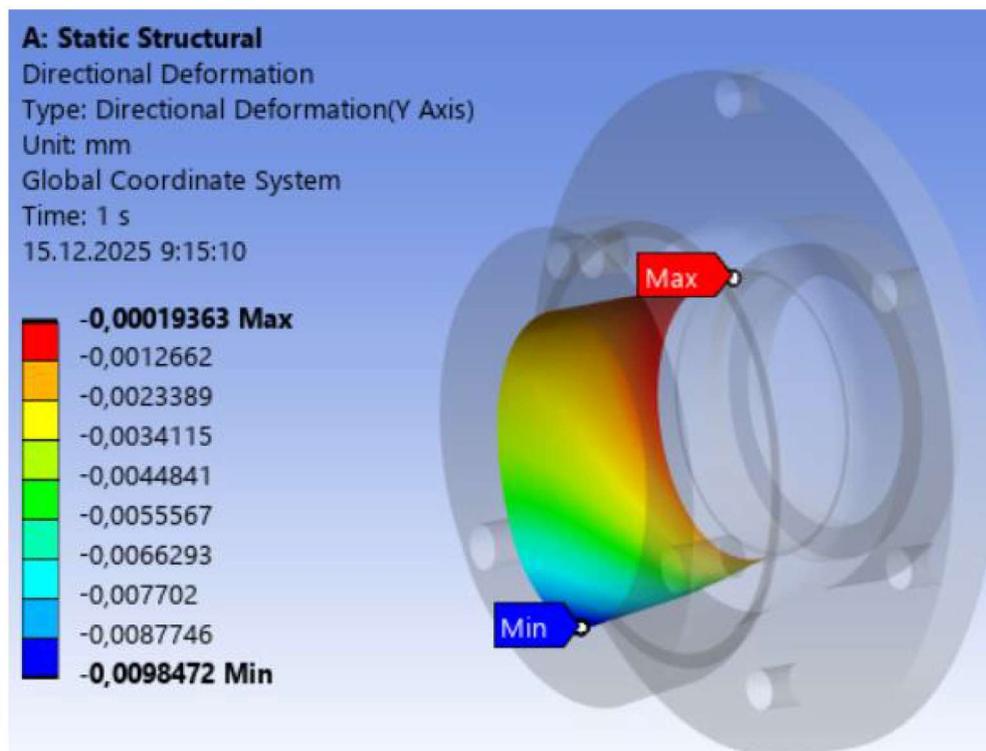


Рисунок 1.13 – Розподіл деформацій по посадковій поверхні деталі оптимізованої конструкції з конструкційної сталі

Таблиця 1.12 – Значення максимальних деформацій посадкового місця в напрямку навантаження

| Конструкція деталі | Максимальна деформація посадкового місця u_{max} , | |
|--|--|---------------------|
| | мм | |
| | Алюмінієвий сплав | Конструкційна сталь |
| Оптимізована конструкція деталі | 0,028 | 0,01 |
| Спрощена оптимізована конструкція деталі | 0,02 | 0,007 |

З урахуванням вимог до втомної міцності та стабільності геометрії посадкової поверхні найбільш доцільним матеріалом для отримання заготовки «Корпусу 12М» є конструкційна сталь типу сталь 45 або її ливарні варіанти. Для обрання способу отримання заготовки доцільно скористатись таблицею 1.13, яка дозволяє врахувати топологію деталі.

Таблиця 1.13 – Вплив топологічних елементів на придатність застосування технологій отримання заготовок

| Тип топології деталі | Рекомендовані технології отримання заготовки | Обмеження / особливості технології | Оптимальна серійність | Типові матеріали |
|---|---|---|-----------------------|--------------------------|
| Проста геометрія (паралелепіпед, диск, вал) | Прокат, кування, штампування, механічна обробка з заготовки | Мінімальні втрати матеріалу, проста обробка | Середня–масова | Сталь, мідь |
| Середня складність (ребристі, фланцеві, комбіновані поверхні) | Кування, лиття в кокіль, пресування, комбіноване виготовлення (адитивне + мех. обробка) | Вимагає точного базування та термообробки | Дрібносерійна–серійна | Сталь, алюмінієві сплави |

| Тип топології деталі | Рекомендовані технології отримання заготовки | Обмеження / особливості технології | Оптимальна серійність | Типові матеріали |
|--|--|--|------------------------|--------------------------------------|
| Складна форма (внутрішні порожнини, канали, виступи) | Лиття (піщане, під тиском), адитивне виготовлення (SLS, LPBF), ливарне моделювання | Висока вартість оснащення для лиття | Дрібносерійна | Алюміній, чавун, титан |
| Порожниста структура або решітчаста топологія | Адитивне виготовлення (SLM, EBM), лиття з виплавлених моделей | Неможливе кування; потребує контролю пористості | Одинична–дрібносерійна | Титан, алюміній |
| Тонкостінні оболонки | Пресування, штампування, лиття під тиском, формування листів | Обмеження по товщині (<3 мм), вимоги до жорсткості | Серійна–масова | Сталь, алюміній, полімери |
| Анізотропна або комбінована структура | Пресування, намотування, інфузія смол | Анізотропія властивостей, складне базування | Одинична–дрібносерійна | Композити |
| Високоточні поверхні (опорні, посадкові) | Лиття + мех. обробка, кування + токарна обробка | Вимагає припусків під механічну обробку | Серійна–масова | Сталь, чавун |
| Нетипова / біонічна топологія | Адитивне виготовлення (LPBF, binder jetting) | Висока собівартість, довгий цикл виготовлення | Одинична | Титан, полімери, порошкові матеріали |

Наша деталь містить, як високоточні поверхні, так і фланцеві поверхні. З урахуванням матеріалу деталі та серійності підходять лиття в кокіль та кування.

Висновки до розділу 1

У першому розділі магістерської роботи виконано комплексне дослідження впливу конструктивної топології, матеріалу та технології виготовлення заготовки на напружено-деформований стан і втомну довговічність «Корпусу 12М», що працює у складі підшипникового вузла при тривалому циклічному навантаженні.

1. На основі аналізу умов роботи встановлено, що «Корпус 12М» працює в режимі місцевого багатоциклового навантаження з асиметричним циклом типу стиск–розвантаження ($R = 0$) та високою частотою навантаження, обумовленою частотою обертання механізму 1000 об/хв. За таких умов визначальним фактором працездатності є не статична міцність, а втомна довговічність у локальній критичній зоні.
2. Сформульовано систему критеріїв працездатності «Корпусу 12М», яка включає критерії міцності, жорсткості, втомної довговічності, стабільності геометрії посадкової поверхні $\text{Ø}52\text{H}7$ та технологічної придатності матеріалу і заготовки. Показано, що лише багатокритеріальний підхід дозволяє коректно оцінити працездатність корпусної деталі при тривалій експлуатації.
3. Виконано чисельне моделювання напружено-деформованого стану «Корпусу 12М» у середовищі ANSYS Workbench. Встановлено, що при розрахунковому навантаженні 11 кН максимальні еквівалентні напруження локалізуються в зоні переходу від посадкового отвору $\text{Ø}52\text{H}7$ до масиву корпусу. Отримані результати підтвердили наявність локальної концентрації напружень, яка визначає втомну довговічність деталі.
4. Проведено параметричний аналіз і оптимізацію геометрії «Корпусу 12М» із використанням інструментів ANSYS DesignXplorer та Optimization. Показано, що раціональна модифікація геометрії перехідних зон і локального підсилення масиву корпусу дозволяє зменшити рівень концентрації напружень і деформації посадкової поверхні без істотного збільшення маси деталі.

5. Виконано повний втомний розрахунок «Корпусу 12М» з урахуванням концентрації напружень, стану поверхні та середнього напруження. Перевірка за критерієм Гудмана показала, що для конструкційної сталі 45 коефіцієнт запасу за втомною міцністю становить від приблизно 6,8 до 10, що забезпечує необхідний ресурс експлуатації з достатнім запасом на розкид властивостей матеріалу і технологічні фактори.
6. Проведено порівняльну оцінку можливих матеріалів корпусу з урахуванням методики, викладеної в тезах , згідно з якою ключову роль відіграє інтегрований підхід “топология – напружений стан – втома – технологія”. Показано, що чавуни не забезпечують необхідної втомної довговічності, а застосування алюмінієвих сплавів не дозволяє забезпечити нормальне функціонування підшипникового вузла, через недостатню жорсткість конструкції.
7. За сукупністю критеріїв остаточно обрано конструкційну вуглецеву сталь 45 як базовий матеріал «Корпусу 12М».

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз технологічності конструкції деталі

2.1.1 Якісний аналіз конструкції деталі

Деталь «Корпус 12М» використовується для установки на вертикально-свердлильний верстат і служить для заточування ріжучого інструмента в умовах дрібносерійного виробництва.

Деталь має ступінчасту зовнішню форму, утворену двома співвісними поверхнями обертання. Для надійного встановлення «Корпуса 12М» у складі вузла в його конструкції передбачені кріпильні отвори.

Основними конструкторськими базами є зовнішня циліндрична поверхня діаметром 70 гб, яка забезпечує правильне позиціонування деталі у вузлі, а також торцева поверхня діаметром 130 мм.

До допоміжних конструкторських баз відносяться поверхня діаметром 48 мм, лівий і правий торці діаметром 130 мм, кріпильні отвори діаметром 8 мм та різьбові отвори М8.

З урахуванням функціонального призначення поверхонь до них висуваються відповідні вимоги точності. Найвищі вимоги встановлюються для основних і допоміжних баз, які повинні оброблятися з точністю до 6-го квалітету та шорсткістю поверхні $R_a = 0,8$ мкм (для поверхні $\varnothing 70$ гб).

Інші поверхні, що виконують допоміжну роль при базуванні, допускається виготовляти з меншою точністю – за 14-м квалітетом та з параметром шорсткості $R_a = 6,3$ мкм.

Допуски на розміри точних поверхонь не ускладнюють технології виробництва і дають можливість використання типових технологічних процесів.

Позитивним потрібно рахувати те, що більшість поверхонь можна обробити за одну установку при закріпленні в трьохкулачковому самоцентрувальному патроні.

2.1.2 Кількісний аналіз

Для оцінювання технологічності конструкції деталі визначимо такі показники: коефіцієнт уніфікації, коефіцієнт точності обробки та коефіцієнт шорсткості поверхні.

Щоб розрахувати коефіцієнт уніфікації, складають таблицю всіх конструктивних параметрів, заданих на кресленні: лінійних, діаметральних і кутових розмірів, різьб, а також інших елементів (табл.2.1). Для кожного параметра фіксують його значення та позначають, чи належить він до уніфікованих (стандартизованих або типорозмірних) рішень. За підсумками аналізу дані переносять до зведеної таблиці.

Таблиця 2.1– Визначення коефіцієнту уніфікації

| Лінійні розміри | Діаметральні розміри | Кутові розміри | Шорсткість | Різь метрична |
|-------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| 14* (4 пов.) | Ø84 | 60° *(6 пов.) | 6,3 * (16 пов.) | M8 *(3 пов.) |
| 25* | Ø48* | | 0,8 * (3 пов.) | |
| 12* (9 пов.) | Ø60* (2 пов.) | | | |
| 10 * (2 пов.) | Ø72 | | | |
| 5* | Ø50H7 ^(+0,025) * | | | |
| 65 | Ø52H7 ^(+0,03) | | | |
| | Ø70g6 | | | |
| | R5 * (3 пов.) | | | |
| | Ø130* | | | |
| | Ø105* | | | |
| | Ø8 * (6 пов.) | | | |
| Σ _{заг.} = 18 | Σ _{заг.} = 19 | Σ _{заг.} = 6 | Σ _{заг.} =19 | Σ _{заг.} = 3 |
| Σ _{уніф.} = 17 | Σ _{уніф.} = 15 | Σ _{уніф.} = 6 | Σ _{уніф.} = 19 | Σ _{уніф.} = 3 |

Далі коефіцієнт уніфікації обчислюють за формулою

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

де Q_{ye} – сумарна кількість уніфікованих елементів;

Q_e – сумарна кількість всіх елементів.

$$K_{ye} = \frac{17 + 15 + 6 + 19 + 3}{18 + 19 + 6 + 19 + 3} = \frac{60}{65} = 0,92;$$

Таблиця 2.2– Визначення коефіцієнту точності обробки

| Квалітет | Кількість поверхонь | Розрахунок |
|-----------------|---------------------|------------|
| 6(Ø70g6) | 1 | 6·1=6 |
| 7 (Ø50H7,Ø52H7) | 2 | 7·2=14 |
| 14 | 16 | 14·19=266 |
| Сума | 19 | 286 |

$$K_{m.ч.} = 1 - \frac{1}{T_{cp}}, \quad (2.2)$$

де

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

де T_i – квалітет оброблюваних поверхонь даної деталі;

n_i – кількість поверхонь деталі з відповідною точністю.

$$T_{сее} = \frac{286}{19} = 15,01,$$

$$K_{m.ч.} = 1 - \frac{1}{15,01} = 0,92,$$

Таблиця 2.3 – Коефіцієнт шорсткості поверхні

| Шорсткість Ra, мкм | Кількість поверхонь | Розрахунок |
|---------------------------|---------------------|----------------|
| 0,8 (Ø70g6, Ø50H7,Ø52H7) | 3 | 0,8·3 = 2,4 |
| 6,3 | 16 | 6,3·16 = 100,8 |
| Сума | 19 | 103,2 |

$$K_{ш} = \frac{1}{Ш_{сеп}}, \quad (2.4)$$

де $Ш_{сеп}$ – усереднене значення шорсткості поверхонь, мкм.

$$Ш_{сеп} = \frac{\sum Ra_i \cdot n_i}{\sum n_i}, \quad (2.5)$$

де Ra_i – шорсткість оброблюваних поверхонь даної деталі, мкм;
 n_i – кількість поверхонь, для яких встановлено однакове числове значення параметра шорсткості Ra , мкм.

$$Ш_{сеп} = \frac{103,2}{19} = 5,4;$$

2.2 Попереднє визначення типу та організаційної форми виробництва

Визначення типу виробництва виконується за коефіцієнтом закріплення операції[1]:

$$K_{зо} = \frac{\sum O}{\sum P}, \quad (2.6)$$

де $\sum O$ – сумарна кількість операцій, що виконується на даному робочому місці;

$\sum P$ – сумарна кількість робочих місць для виконання операцій.

$$T_{шк} = T_0 \cdot \varphi_k \text{ [хв]}, \quad (2.7)$$

Таблиця 2.4 – Визначення основного і штучного часу

| № | Переходи | $T_0 \cdot 10^{-3}$, хв. | T_0 , хв. | φ_k | $T_{шт}$, хв. |
|---|--------------------------------------|---------------------------|---|-------------|----------------|
| 1 | Чорнове підрізання торцю, Ra 6,3 | $0,037(D^2-d^2)$ | $0,037 \cdot (130^2 \cdot 70^2) \cdot 10^{-3} = 0,44$ | 2,14 | 0,94 |
| 2 | Чорнове підрізання торцю, Ra 6,3 | $0,037(D^2-d^2)$ | $0,037 \cdot (84^2 \cdot 52^2) \cdot 10^{-3} = 0,16$ | 2,14 | 0,34 |
| № | Переходи | $T_0 \cdot 10^{-3}$, хв. | T_0 , хв. | φ_k | $T_{шт}$, хв. |
| 3 | Точити попередньо $\varnothing 52H7$ | 0,1dl | $0,1 \cdot 52 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 0,13$ | 2,14 | 0,28 |
| 4 | Свердління 3 отворів $\varnothing 8$ | 0,52dl | $3 \cdot 0,52 \cdot 8 \cdot 14 \cdot 10^{-3} = 0,17$ | 1,84 | 0,32 |
| 5 | Свердління 6 отворів $\varnothing 8$ | 0,52dl | $6 \cdot 0,52 \cdot 8 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 0,25$ | 1,84 | 0,46 |
| 6 | Розвертання чорнове $\varnothing 8$ | 0,43dl | $6 \cdot 0,43 \cdot 8 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 0,21$ | 1,84 | 0,39 |

Кількість верстатів для виконання кожного переходу механічної обробки визначається за формулами:

$$C_p = \frac{N_{np} \cdot T_{шк}}{60 \cdot F_d \cdot \eta_{zn}} \text{ [шт]}, \quad (2.9)$$

де F_d – дійсний річний фонд (2040 год.);

η_{zn} - нормативний коефіцієнт завантаження,

(одиничне-дрібносерійне 0,8-0,9, серійне 0,75-0,85, масове 0,65-0,75)

$$1) C_p = \frac{5500 \cdot 0,94}{60 \cdot 2040 \cdot 0,8} = 0,05 \text{ (шт)};$$

$$2) C_p = \frac{5500 \cdot 0,34}{60 \cdot 2040 \cdot 0,8} = 0,02 \text{ (шт)};$$

$$3) C_p = \frac{5500 \cdot 0,28}{60 \cdot 2040 \cdot 0,8} = 0,015(\text{шт});$$

$$4) C_p = \frac{5500 \cdot 0,32}{60 \cdot 2040 \cdot 0,8} = 0,018(\text{шт});$$

$$5) C_p = \frac{5500 \cdot 0,46}{60 \cdot 2040 \cdot 0,8} = 0,025(\text{шт});$$

$$6) C_p = \frac{5500 \cdot 0,39}{60 \cdot 2040 \cdot 0,8} = 0,022(\text{шт});$$

Визначення прийнятої кількості робочих місць. Заокруглюємо кількості верстатів до найбільшого більшого цілого числа.

$$1) P_1 = 1(\text{шт});$$

$$2) P_2 = 1(\text{шт});$$

$$3) P_3 = 1(\text{шт});$$

$$4) P_4 = 1(\text{шт});$$

$$5) P_5 = 1(\text{шт});$$

$$6) P_6 = 1(\text{шт});$$

Визначаємо фактичний коефіцієнт завантаження

$$\eta_{зф} = \frac{C_p}{P}. \quad (2.10)$$

$$1) \eta_{зф} = \frac{C_p}{P} = \frac{0,05}{1} = 0,05;$$

$$2) \eta_{зф} = \frac{C_p}{P} = \frac{0,02}{1} = 0,02;$$

$$3) \eta_{зф} = \frac{C_p}{P} = \frac{0,015}{1} = 0,015;$$

$$4) \eta_{зф} = \frac{C_p}{P} = \frac{0,018}{1} = 0,018;$$

$$5) \eta_{зф} = \frac{C_p}{P} = \frac{0,025}{1} = 0,025;$$

$$6) \eta_{зф} = \frac{C_p}{P} = \frac{0,022}{1} = 0,022;$$

Визначаємо кількість операції, що виконуються на одному робочому місці

$$O = \frac{\eta_{зн}}{\eta_{зф}}. \quad (2.11)$$

$$1) O = \frac{\eta_{зн}}{\eta_{зф}} = \frac{0,8}{0,05} = 16;$$

$$2) O = \frac{\eta_{зн}}{\eta_{зф}} = \frac{0,8}{0,02} = 40;$$

$$3) O = \frac{\eta_{зн}}{\eta_{зф}} = \frac{0,8}{0,015} = 53;$$

$$4) O = \frac{\eta_{зн}}{\eta_{зф}} = \frac{0,8}{0,006} = 44;$$

$$5) O = \frac{\eta_{zn}}{\eta_{zf}} = \frac{0,8}{0,025} = 32;$$

$$6) O = \frac{\eta_{zn}}{\eta_{zf}} = \frac{0,8}{0,022} = 36;$$

Визначаємо коефіцієнт завантаження обладнання:

$$K_{zo} = \frac{16 + 40 + 53 + 44 + 32 + 36}{1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1} = 36,3$$

Виходячи з умови $20 < K_{z,o} \leq 40$ – дрібносерійне виробництво

Обґрунтування вибору між груповою та потоковою формами організації виробництва здійснюється на основі порівняння необхідного добового обсягу випуску продукції N_{δ} з розрахунковою добовою продуктивністю Q_{δ} .

У випадку, коли виконується нерівність $N_{\delta} < Q_{\delta}$, застосування потокової лінії є економічно та технологічно недоцільним, оскільки її продуктивність перевищує фактичну потребу у випуску виробів. За таких умов раціональнішим є використання групової форми організації робіт.

$$N_{\delta} = \frac{N_{p.np.}}{254} [\text{шт}]. \quad (2.12)$$

$$N_{\delta} = \frac{5500}{254} = 21,6 (\text{шт}).$$

Визначимо добовий випуск поточної лінії:

$$Q_{\delta} = \frac{F_{\delta}}{T_{um-k.cer}} \cdot \eta_z [\text{шт}]. \quad (2.13)$$

де

$$T_{um-k.cer} = \frac{\sum T_{икп}}{n} [\text{хв}], \quad (2.14)$$

$$T_{\text{штк}} = \frac{0,94 + 0,34 + 0,28 + 0,32 + 0,46 + 0,39}{6} = 0,45 \text{ (хв)},$$

$$Q_d = \frac{952}{0,45} \cdot 0,8 = 1692 \text{ (шт)}.$$

Виходячи з умови $N_d < Q_d = 21,6 < 1692$ – використовуємо групову лінію.

За умов використання групової форми організації виробництва визначається кількість деталей у партії. Розрахунок розміру партії здійснюється за формулою (2.15):

$$n = \frac{N_{np} \cdot a}{254} \text{ [шт]}. \quad (2.15)$$

де a – періодичність запуску деталей у виробництво, яка може приймати значення $a=3, 6, 12, 24$.

$$n = \frac{5500 \cdot 24}{254} = 520 \text{ (шт)}.$$

На основі отриманого значення розраховується розрахункова кількість змін, необхідних для обробки всієї партії деталей на основних робочих місцях, що визначається відповідною залежністю.

$$c = \frac{T_{\text{шт-к.сер}} \cdot n}{476 \cdot 0,8} = \frac{0,45 \cdot 520}{476 \cdot 0,8} = 0,61.$$

Далі встановлюється така кількість деталей у партії, яка забезпечує повне завантаження обладнання на основних операціях протягом цілого числа змін:

$$n_{np} = \frac{476 \cdot 0,8 \cdot c_{np}}{T_{\text{шт-к.сер}}} = \frac{476 \cdot 0,8 \cdot 1}{0,45} = 846 \text{ (шт)}.$$

За результатами розрахунків приймається розмір партії, що становить 846 шт.

Висновок: з урахуванням обсягу випуску та прийнятого розміру партії виробництво деталей належить до дрібносерійного, а раціональною формою організації робіт є групова.

2.3 Вибір способу виготовлення заготовки

2.3.1 Вибір двох альтернативних способів виготовлення заготовки

Орієнтуючись на аналіз, проведений в попередньому розділі, робоче креслення деталі, масу та серійність виробництва встановлюємо метод одержання заготовки – лиття, так як деталь виготовляється з матеріалу сталь 45Л ГОСТ 977-88. Головними перевагами сталі 45Л є достатньо висока міцність і жорсткість, добра в'язкість та зносостійкість, а також задовільні ливарні властивості, що забезпечують отримання заготовок складної форми без значних внутрішніх дефектів. Сталь 45Л добре піддається механічній обробці різанням і термічній обробці (нормалізація, загартування з відпуском), що дозволяє цілеспрямовано регулювати її механічні властивості. Матеріал характеризується помірною вартістю та широкою доступністю у виробництві.

Сталь 45Л широко застосовується в машинобудуванні для виготовлення литих корпусних деталей, кришок, фланців, важелів, маточин, зубчастих коліс, елементів опор і вузлів, що працюють під дією статичних та змінних навантажень за відсутності агресивних корозійних середовищ.

Таблиця 2.5 – Хімічний склад сталі 45Л

| Хімічний елемент | C, % | Si, % | Mn, % | S, %, не більше | P, %, не більше |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------------|-----------------|
| Вміст у сталі 45Л | 0,42–0,50 | 0,17–0,37 | 0,50–0,80 | 0,045 | 0,045 |

З урахуванням матеріалу, конструктивних особливостей деталі та серійності виробництва як альтернативні способи виготовлення заготовки розглядаються такі методи лиття:

Лиття в піщано-глинисті форми

Лиття в піщано-глинисті форми є найбільш поширеним і технологічно простим способом отримання заготовок зі сталі 45Л. Формування внутрішніх порожнин і ступінчастих отворів здійснюється за допомогою піщаних стрижнів. Метод забезпечує можливість отримання заготовок складної конфігурації при відносно невисоких витратах на модельну оснастку.

Даний спосіб характеризується задовільною точністю та підвищеною шорсткістю поверхонь, що зумовлює необхідність призначення порівняно великих припусків на механічну обробку. Лиття в піщано-глинисті форми є доцільним для одиничного, дрібносерійного та середньосерійного виробництва корпусних деталей машинобудування.

Лиття в піщані форми з холоднотвердіючих сумішей (ХТС)

Лиття з використанням холоднотвердіючих сумішей дозволяє підвищити точність і якість поверхні заготовок у порівнянні з традиційним піщано-глинистим литтям. Завдяки більшій міцності форм і стрижнів досягається стабільність геометричних параметрів, що особливо важливо для деталей з посадочними поверхнями під підшипники.

Застосування ХТС сприяє зменшенню припусків на механічну обробку та скороченню машинного часу, однак потребує більшої собівартості та жорсткішого дотримання технологічних режимів. Даний спосіб є доцільним для середньосерійного виробництва деталей підвищеної точності.

Таблиця 2.6 – Порівняльна характеристика способів отримання заготовки ЛИТТЯМ

| Показник | Лиття в піщано-глинисті форми | Лиття в форми з ХТС |
|--------------------|-------------------------------|---------------------|
| Матеріал заготовки | Сталь 45Л | Сталь 45Л |

| | | |
|-------------------------------|--|---|
| Показник | Лиття в піщано-глинисті форми | Лиття в форми з ХТС |
| Складність форми деталі | Висока, реалізується за допомогою стрижнів | Висока, зі стабільною геометрією |
| Розмірна точність | ІТ13–ІТ15 | ІТ11–ІТ13 |
| Шорсткість поверхні, Ra | 12,5–25 | 6,3–12,5 |
| Припуски на обробку | Підвищені | Зменшені |
| Ймовірність ливарних дефектів | Середня | Знижена |
| Вартість модельної оснастки | Низька | Середня |
| Собівартість заготовки | Низька | Середня |
| Доцільна серійність | Одиничне, дрібно- та середньосерійне | Середньосерійне |
| Сфера застосування | Корпусні деталі загального призначення | Деталі з підвищеними вимогами до точності |

Для виготовлення заготовки з сталі 45Л найбільш економічно доцільним є лиття в піщано-глинисті форми, яке приймається як базовий варіант. Як альтернативний спосіб з підвищеними показниками точності та якості поверхні доцільно розглядати лиття в форми з холоднотвердіючих сумішей.

2.3.2 Розрахунок розмірів заготовки для обох способів її виготовлення

Призначення припусків (табличних) на механічну обробку та розрахунок граничних розмірів заготовок.

Таблиця 2.8 – Вибір вихідних параметрів заготовки, що характеризують її точність

| Вихідні дані | Лиття в піщано-глинисті форми | | Лиття в форми з ХТС | |
|-------------------------|-------------------------------|----------|---------------------|----------|
| | Згідно ГОСТ | Прийнято | Згідно ГОСТ | Прийнято |
| Клас розмірної точності | 7–12 | 10 | 7–11 | 9 |

| Вихідні дані | Лиття в піщано-глинисті форми | | Лиття в форми з ХТС | |
|------------------------------------|-------------------------------|-------|---------------------|---------|
| Ступінь жолоблення | 5–8 | 7 | 4–7 | 6 |
| Ступінь точності поверхонь виливка | 11–18 | 14 | 9–14 | 11 |
| Шорсткість поверхонь виливка | Ra 25–50 | Ra 25 | Ra 6,3–12,5 | Ra 12,5 |
| Клас точності маси виливка | 7Г–14Г | 10Г | 6Г–12Г | 8Г |
| Ряд припусків на механічну обробку | 5–8 | 6 | 4–6 | 4 |

2.3.3 Вибір припусків

На ділянках виливка, де формування отворів, заглиблень, внутрішніх порожнин та інших елементів конструкції ливарними методами є ускладненим або недоцільним, передбачають виконання напусків, які згодом видаляються під час механічної обробки.

Таблиця 2.9 – Визначення допусків та припусків (для 1-ого варіанту)

| Лиття в піщано-глинисті форми: | | | | | | | |
|--------------------------------|--------|------|------|-------|------|------|------|
| Розрахункові розміри | ∅ 70g6 | ∅ 48 | ∅ 84 | ∅ 130 | 65 | 14 | 10 |
| Допуски: | | | | | | | |
| розмірів | 2,0 | 2,4 | 2,4 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,4 |
| зміщення по площині роз'єму | – | – | – | – | – | – | – |
| зміщення через перекіс стержня | | | | | | | |
| Нерівностей маси | – | 1,0 | – | – | – | – | – |
| Загальний допуск | 1,0 | | | | | | |
| | 32,0% | | | | | | |
| Розрахункові розміри | ∅ 70g6 | ∅ 48 | ∅ 84 | ∅ 130 | 65 | 14 | 10 |
| Припуски: | 2,20 | 3,20 | 3,20 | 2,20 | 2,20 | 2,40 | 2,00 |
| мінімальний | | | | | | | |
| Розрахункові розміри | 0,6 | | | | | | |
| | ∅ 70g6 | ∅ 48 | ∅ 84 | ∅ 130 | 65 | 14 | 10 |

Продовження таблиці 2.9

| | Кількість переходів механічної обробки | | | | | | |
|--|--|-------|-----|------|------|------|-----|
| | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| за точністю розмірів | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| за відхиленнями форми і взаємного розміщення поверхонь | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| прийнята кількість переходів | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Загальний припуск | 3,6 | 3,4 | 2,5 | 3,0 | 2,1 | 1,8 | 2,5 |
| Розміри заготовки | Ø77,2 | Ø41,2 | Ø89 | Ø136 | 69,2 | 13,6 | 15 |

Таблиця 2.10 – Визначення допусків та припусків (для 2-ого варіанту)

| Показник | Ø70 g6 | Ø48 | Ø84 | Ø130 | 65 | 14 | 10 |
|---|--------|------|------|------|-------|------|------|
| Розрахункові розміри | 70 | 48 | 84 | 130 | 65 | 14 | 10 |
| Допуск розміру, мм | 2,2 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,2 | 1,4 | 1,2 |
| Допуск форми/розміщення, мм | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Зміщення по площині роз'єму, мм | – | – | – | – | – | – | – |
| Зміщення через перекис стержня, мм | – | 0,80 | – | – | – | – | – |
| Допуск нерівностей (мікронерівності), мм | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 |
| Клас точності маси | - | - | - | - | - | - | - |
| Допуск маси | - | - | - | - | 10,0% | - | - |
| Загальний допуск, мм | 2,40 | 2,40 | 2,40 | 2,40 | 2,40 | 1,6 | 1,4 |
| Показник | Ø70 g6 | Ø48 | Ø84 | Ø130 | 65 | 14 | 10 |
| К-ть переходів за точністю розмірів | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| К-ть переходів за формою/взаємним розміщенням | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Прийнята к-ть переходів | 4 | 2 | 1 | 3 | 1 | 2 | 2 |
| Загальний припуск Z, мм (на сторону) | 3,4 | 2,6 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 2,0 | 1,8 |

| | | | | | | | |
|-------------------|--------|-------|-------|--------|------|------|------|
| Показник | Ø70 g6 | Ø48 | Ø84 | Ø130 | 65 | 14 | 10 |
| Розміри заготовки | Ø76,8 | Ø42,8 | Ø87,8 | Ø133,8 | 68,8 | 18,0 | 13,6 |

Мінімальна товщина стінки вилівка призначається з урахуванням забезпечення необхідної міцності деталі, а також відповідності технологічним вимогам обраного способу лиття.

Приведений габарит деталі визначається за формулою

$$N = (2L + B + H) / 4, \quad (2.16)$$

$$N = (2 * 0,65 + 0,84 + 0,13) / 4 = 0,86$$

де L , B , H – відповідно довжина, ширина, висота деталі

Отриманому значенню приведенного габариту відповідає нормативна мінімальна товщина стінки вилівка $\delta = 6$ мм.

Порівняння цього значення з фактичною мінімальною товщиною стінок, яка становить $\delta = 6,6$ мм для лиття у форми з холоднотвердіючих сумішей та $\delta = 8,3$ мм для лиття в піщано-глинисті форми, дає підстави зробити висновок про відповідність конструктивних розмірів вилівка допустимим значенням.

Заповнення числових даних у наведених вище таблицях здійснювалося у такій послідовності:

1. Клас розмірної точності.

Залежно від технологічного процесу, найбільшого габаритного розміру деталі та типу сплаву визначається нормативний діапазон значень. З урахуванням середньосерійного типу виробництва з рекомендованих за ГОСТ 26645-85 значень обираються середні. У результаті прийнято:

- 10 – для лиття в піщано-глинисті форми;
- 9 – для лиття у форми з холоднотвердіючих сумішей.

2. Ступінь жолоблення елементів вилівка.

Обирається залежно від співвідношення найменшого та найбільшого розмірів елементів деталі, типу ливарної форми та наявності термічної

обробки. За максимального розміру 130 мм і мінімального 12 мм співвідношення становить 0,09. Термічна обробка не передбачена.

Прийнято:

- 7 – для лиття в піщано-глинисті форми;
- 6 – для лиття у форми з ХТС.

3. Ступінь точності поверхонь виливка.

Вибирається відповідно до технології лиття, габаритних розмірів виливка та типу сплаву. У результаті прийнято:

- 14 – для лиття в піщано-глинисті форми;
- 10 – для лиття у форми з ХТС.

4. Шорсткість поверхонь виливка.

Призначається згідно з прийнятим ступенем точності поверхонь. Враховуючи обрані значення, встановлено:

- $R_a = 40$ мкм та $R_a = 16$ мкм – для піщано-глинистих форм;
- $R_a = 12,5$ мкм – для форм з ХТС.

5. Клас точності маси виливка.

Визначається залежно від способу лиття та номінальної маси виливка (до 1 кг). Прийнято:

- 10 – для лиття в піщано-глинисті форми;
- 8 – для лиття у форми з ХТС.

6. Ряд припусків.

Узгоджується зі ступенем точності поверхонь виливка. Прийнято:

- 6 – для піщано-глинистих форм;
- 4 – для форм з ХТС.

7. Допуски розмірів виливка.

Вибираються відповідно до номінальних розмірів деталі та прийнятих класів розмірної точності.

8. Допуски форми та взаємного розміщення поверхонь.

Призначаються з урахуванням номінальних розмірів і ступеня жолоблення. За номінальний розмір нормованої ділянки приймається найбільший розмір

відповідного елемента виливка.

9. Допуски зміщення по площині роз'єму.

Приймаються на рівні класу розмірної точності виливка за номінальним розміром найтоншої стінки, що виходить на площину роз'єму напівформ.

10. Допуски зміщення через перекіс стержня.

При формуванні отворів приймаються на 1–2 класи точніше класу розмірної точності виливка за номінальним розміром відповідної стінки.

11. Допуски маси.

Призначаються залежно від маси виливка та класу точності маси. Орієнтовну масу заготовки визначають за масою деталі та коефіцієнтом використання матеріалу:

- для піщано-глинистих форм $\gamma=0,8$;

- для форм з ХТС $\gamma=0,85$.

12. Допуски нерівностей.

Визначаються залежно від ступеня точності поверхонь, тобто від призначеної шорсткості.

13. Загальний допуск.

Приймається з урахуванням сумарного впливу допусків розмірів і допусків форми та розміщення поверхонь.

14. Мінімальний припуск.

Призначається згідно з обраним рядом припусків і є однаковим для всіх оброблюваних поверхонь. Він забезпечує усунення нерівностей і дефектів литої поверхні відповідно до ГОСТ 26645-85.

2.3.4 Оформлення ескізу заготовки

Технічні вимоги записуються на кресленні заготовки над штампом.

Згідно отриманих розмірів лиття в піщано-глинисті форми заготовка буде мати такі параметри:

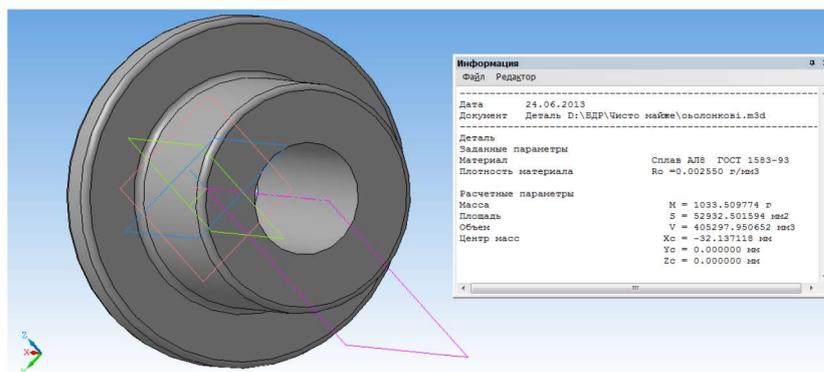


Рисунок 2.4 – 3D модель заготовки литої в холодно тверднучі форми форми

| | |
|----------|-------------------------------------|
| Матеріал | Сталь 45Л ГОСТ 977-88 |
| Маса | $M = 3,2$ кг |
| Об'єм | $V = 405279.789070$ мм ³ |

2.4 Розрахунок маси та коефіцієнту точності маси заготовки

Коефіцієнт точності маси:

$$K_{TM} = \frac{Q_{дет}}{Q_{заг}}, \quad (2.17)$$

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

$Q_{заг}$ – маса заготовки, кг.

Для лиття у піщано-глинисті форми коефіцієнт точності маси:

$$K_{TM} = \frac{1,73}{3,37} = 0,51.$$

Для лиття у холодно тверднучі форми коефіцієнт точності маси:

$$K_{TM} = \frac{1,73}{3,2} = 0,54.$$

2.3.6 Техніко-економічне порівняння двох варіантів одержання заготовок та вибір найраціональнішого

Вартість заготовки є важливим економічним показником, що безпосередньо впливає на собівартість виготовлення деталі та виробу в цілому. Для литих заготовок її визначають за розрахунковою формулою:

$$C_{заг.лит} = \frac{(Q_{заг} \cdot C_{л} \cdot K_{Т} \cdot K_{М} \cdot K_{С} \cdot K_{В} \cdot K_{П})}{1000} - \frac{(Q_{заг} - Q_{дет}) \cdot C_{відх}}{1000}, [\text{гр.о}] \quad (2.18)$$

де $C_{л}$ – базова вартість 1 т заготовок, грн;

$K_{Т}$, $K_{М}$, $K_{С}$, $K_{В}$, $K_{П}$ – коефіцієнти, що залежать відповідно від класу точності вилівка, марки матеріалу, групи складності, маси і об'єму виробництва заготовок.

Таблиця 2.11 – Значення коефіцієнтів

| Коефіцієнт | Лиття в холодно тверднучі форми | Лиття в піщано-глинисті форми |
|------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| $C_{л}$, гр.о | 15550 | 13100 |
| $K_{Т}$ | 0,62 | 0,54 |
| $K_{М}$ | 4,64 | 5,72 |
| $K_{С}$ | 1 | 1 |
| $K_{В}$ | 0,99 | 0,99 |
| $K_{П}$ | 1 | 1 |
| $C_{відх}$, грн | 6500 | 6500 |

Вартість литої заготовки при литті в оболонкові форми :

$$C_{заг.лит} = \frac{(1,033 \cdot 15550 \cdot 0,62 \cdot 4,64 \cdot 1 \cdot 0,99 \cdot 1)}{1000} - \frac{(1,033 - 0,593) \cdot 6500}{1000} = 42,77 \text{ (грн).}$$

Вартість литої заготовки при литті в піщано-глинисті форми:

$$C_{\text{заг. лит}} = \frac{(1,130 \cdot 13100 \cdot 0,54 \cdot 5,72 \cdot 1 \cdot 0,99 \cdot 1)}{1000} - \frac{(1,130 - 0,593) \cdot 6500}{1000} = 41,7 \text{ (грн).}$$

Отже, вартість заготовки при литті в піщано-глинисті форми менша ніж при литті в холодно тверднучі форми.

Висновок: з обрахунків видно, що доцільнішим способом одержання заготовки для даної деталі буде лиття в піщано-глинисті форми, оскільки він дешевший.

2.4 Розробка маршруту механічної обробки

2.4.1 Вибір технологічних методів обробки поверхонь з підвищеними вимогами до точності. Визначення кількості стадій механічної обробки циліндричної поверхні Ø70g6

Окремі поверхні деталі, залежно від їх функціонального призначення, беруть участь у забезпеченні працездатності виробу, у зв'язку з чим до них висувуються підвищені вимоги щодо розмірної точності, параметрів шорсткості та фізико-механічних властивостей поверхневого шару. Досягнення зазначених показників можливе шляхом застосування раціонально підібраних методів механічної обробки.

Вибір технологічних операцій здійснюється з урахуванням геометричних параметрів деталі, точності та якості вихідної заготовки, властивостей матеріалу, а також наявного обладнання й умов виробництва. Кожен із цих чинників безпосередньо впливає на кількість і послідовність переходів механічної обробки.

Оскільки заготовка деталі виготовляється методом лиття в піщано-глинисті форми, що характеризується відносно низькою початковою точністю (приблизно 14-й квалітет), а розглядувана зовнішня циліндрична поверхня формується шляхом точіння, виникає необхідність встановлення обґрунтованої кількості переходів механічної обробки для досягнення заданих параметрів точності та шорсткості.

У подальшому виконується розрахунок кількості переходів механічної обробки для циліндричної поверхні діаметром $\varnothing 70$ з полем допуску g6.

Загальне уточнення:

$$\varepsilon = \frac{T_3}{T_d} = \frac{T_3}{T_1} \cdot \frac{T_1}{T_2} \dots \frac{T_{i-1}}{T_i} \dots \frac{T_n}{T_d} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \dots \varepsilon_i \dots \varepsilon_n = \prod_1^n \varepsilon_i,$$

де ε - загальне уточнення;

ε_i - окремі ступені уточнення;

n – число ступенів обробки;

T_d, T_3, T_i – допуски досліджуваного параметра встановлюються окремо для готової деталі, вихідної заготовки та кожного етапу механічної обробки.

Згідно ГОСТ 26645 – 85 та розрахунків допуск розміру вилівка на розмір $\varnothing 70$ g6 $T_B = 3,6$ мм.

Згідно робочого креслення допуск деталі для даного розміру $T_d = 0,039$ мм.

Загальне уточнення:

$$\varepsilon = \frac{T_B}{T_d} = \frac{3,6}{0,039} = 92;$$

Приймаємо ступені уточнення на переходи механічної обробки:

на перший $\varepsilon_1 = 5$; на другий $\varepsilon_2 = 4$;

Знаходимо третій та четвертий ступінь:

$$\varepsilon_3 = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2} = \frac{92}{5 \cdot 4} = 4,6$$

$$\varepsilon_4 = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3} = \frac{92}{4 \cdot 4,6} = 5$$

В залежності від ступенів уточнення механічної обробки отримаємо такі допуски на відповідних переходах:

$$T_1 = \frac{T_3}{\varepsilon_1} = \frac{3,6}{5} = 0,72\text{мм};$$

$$T_2 = \frac{T_1}{\varepsilon_2} = \frac{0,72}{4} = 0,18\text{мм};$$

$$T_3 = \frac{T_2}{\varepsilon_3} = \frac{0,18}{4,6} = 0,04\text{мм}.$$

$$T_4 = \frac{T_3}{\varepsilon_4} = \frac{0,04}{7} = 0,008\text{мм}.$$

Отже, для отримання необхідних параметрів даної поверхні необхідно провести точіння попереднє, напівчистове точіння, чистове точіння, тонке точіння. Аналітичним способом виконані розрахунки на всі інші точні поверхні.

Таблиця 2.9 – Визначення способів і кількості ступенів механічної обробки

| Поверхневий розмір | Загальне уточнення, ε | Кількість ступенів механічної обробки | Значення ступенів механічної обробки | Допуск, мм | Вид механічної обробки | Квалітет |
|--------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--|---|---|--------------------|
| $\varnothing 70g6$ | 92 | 4 | $\varepsilon_1 = 5$ $\varepsilon_2 = 4$ $\varepsilon_3 = 4,6$ $\varepsilon_4 = 5$ | $T_1 = 0,72$ $T_2 = 0,18$ $T_3 = 0,04$ $T_4 = 0,008$ | Попереднє точіння напівчистове точіння чистове точіння тонке точіння | 12 10 8 6 |
| $\varnothing 50H7$ | 104 | 3 | $\varepsilon_1 = 5$ $\varepsilon_2 = 4$ $\varepsilon_3 = 5,2$ | $T_1 = 0,52$ $T_2 = 0,13$ $T_3 = 0,025$ | Попереднє точіння напівчистове точіння чистове точіння | 12 10 7 |
| $\varnothing 52H7$ | 104 | 3 | $\varepsilon_1 = 5$ $\varepsilon_2 = 4$ $\varepsilon_3 = 5,2$ | $T_1 = 0,52$ $T_2 = 0,13$ $T_3 = 0,025$ | Попереднє точіння напівчистове точіння чистове точіння | 12 10 7 |

Продовження таблиці 2.9

| Поверхневий розмір | Загальне уточнення, ϵ | Кількість ступенів механічної обробки | Значення ступенів механічної обробки | Допуск, мм | Вид механічної обробки | Квалітет |
|--------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--|--|---|---------------|
| $25^{+0,052}$ | 44 | 2 | $\epsilon_1 = 5$ $\epsilon_2 = 3,5$ $\epsilon_3 = 2,2$ | $T_1 = 0,46$ $T_2 = 0,13$ $T_3 = 0,06$ | Попереднє точіння напівчистове точіння чистове точіння | 12 10 9 |
| M8-7H | - | - | - | - | свердління нарізання різі | 12 |

2.4.2 Вибір чистових та чорнових технологічних баз

Одним із ключових і водночас найбільш відповідальних етапів проектування технологічних процесів механічної обробки є обґрунтований вибір технологічних і вимірювальних баз. Саме від коректності цього вибору значною мірою залежать досягнення заданої розмірної точності, забезпечення правильного взаємного розташування поверхонь деталі, конструктивна складність технологічного оснащення, а також загальний рівень продуктивності процесу обробки заготовок.

Вихідними даними для вибору баз слугують робоче креслення деталі, технічні умови на її виготовлення, тип і геометричні характеристики заготовки, стан її поверхонь, а також запланований рівень механізації й автоматизації виробництва. При призначенні чистових технологічних баз основною вимогою є мінімізація похибок базування, що безпосередньо впливають на формування точних розмірів і взаємне положення поверхонь.

У випадку, коли всі поверхні деталі підлягають механічній обробці, задача вибору баз з необроблених поверхонь втрачає актуальність, оскільки такі поверхні відсутні. Натомість задача забезпечення точності взаємного розташування може бути ефективно розв'язана за умови, що форма вихідної заготовки є максимально наближеною до конфігурації готової деталі, тобто основні поверхні формуються

шляхом знімання припусків, а не значних напусків. Якщо ж заготовка отримана із сортового прокату або вільним куванням і має істотні напуски, які необхідно видалити на попередніх операціях, вибір технологічних баз на першій операції здійснюється передусім із міркувань забезпечення надійності та стійкості встановлення заготовки у верстатному пристрої.

Схема базування за чистовими технологічними базами наведена на рисунку 2.5.

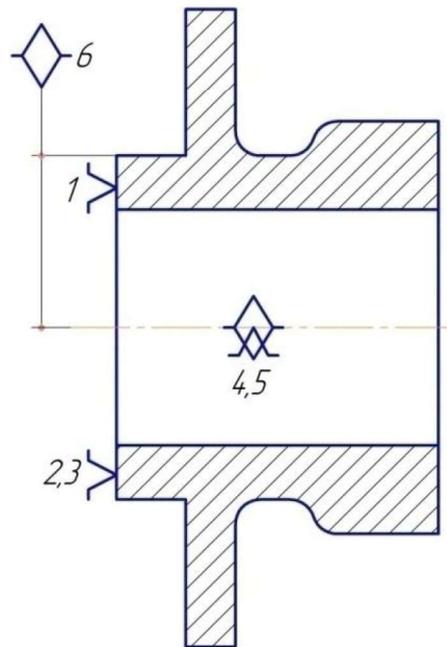


Рисунок 2.5 – Схема розташування чистових баз

Під час вибору чорнових технологічних баз основну увагу приділяють забезпеченню коректної розмірної прив'язки між обробленими та необробленими поверхнями або створенню умов для рівномірного знімання мінімального припуску з відповідних поверхонь на етапі чистової обробки. Схема розташування чорнових баз подана на рисунку 2.6.

2.4.3 Проектування маршруту механічної обробки з розробкою змісту операцій, попереднім вибором верстатів та зображенням схем базування

Функціональне призначення поверхонь деталі визначає рівень вимог, що висуваються до них за показниками точності, шорсткості та стану поверхневого шару. Досягнення цих вимог забезпечується застосуванням раціонально підібраних технологічних методів механічної обробки. Вибір відповідних методів здійснюється з урахуванням габаритних розмірів деталі, характеру та точності вихідної заготовки, фізико-механічних властивостей матеріалу, наявного верстатного обладнання та інших виробничих чинників.

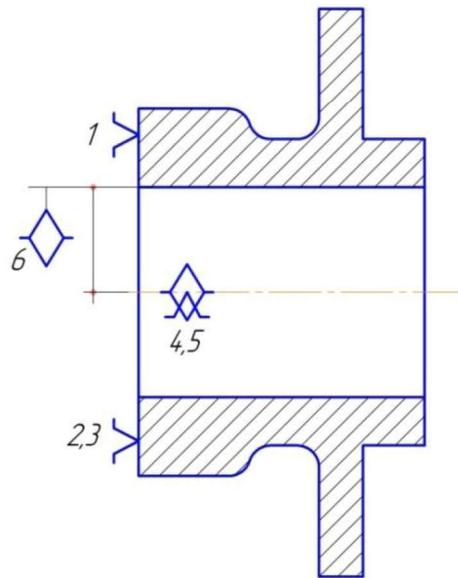


Рисунок 2.6 – Схема розташування чорнових баз

Для обробки отвору деталі обрано методи механічної обробки з урахуванням необхідності забезпечення підвищених вимог до взаємного розташування поверхонь. Зокрема, для гарантування паралельності осі отвору відносно базової площини в межах 0,02 мм прийнято виконання обробки отвору методом розточування у три етапи: чорнове, чистове та тонке. Відповідно до рекомендацій літературних джерел [10], тонке розточування забезпечує досягнення заданої точності діаметрального розміру (IT7) та необхідного рівня шорсткості поверхні (Ra 1,6).

При цьому виходять з принципу поетапного підвищення точності обробки, згідно з яким кожному методу остаточної обробки передують один або кілька менш точних попередніх технологічних переходів, що забезпечують поступове наближення до заданих експлуатаційних параметрів.

2.5 Розмірний аналіз технологічного процесу

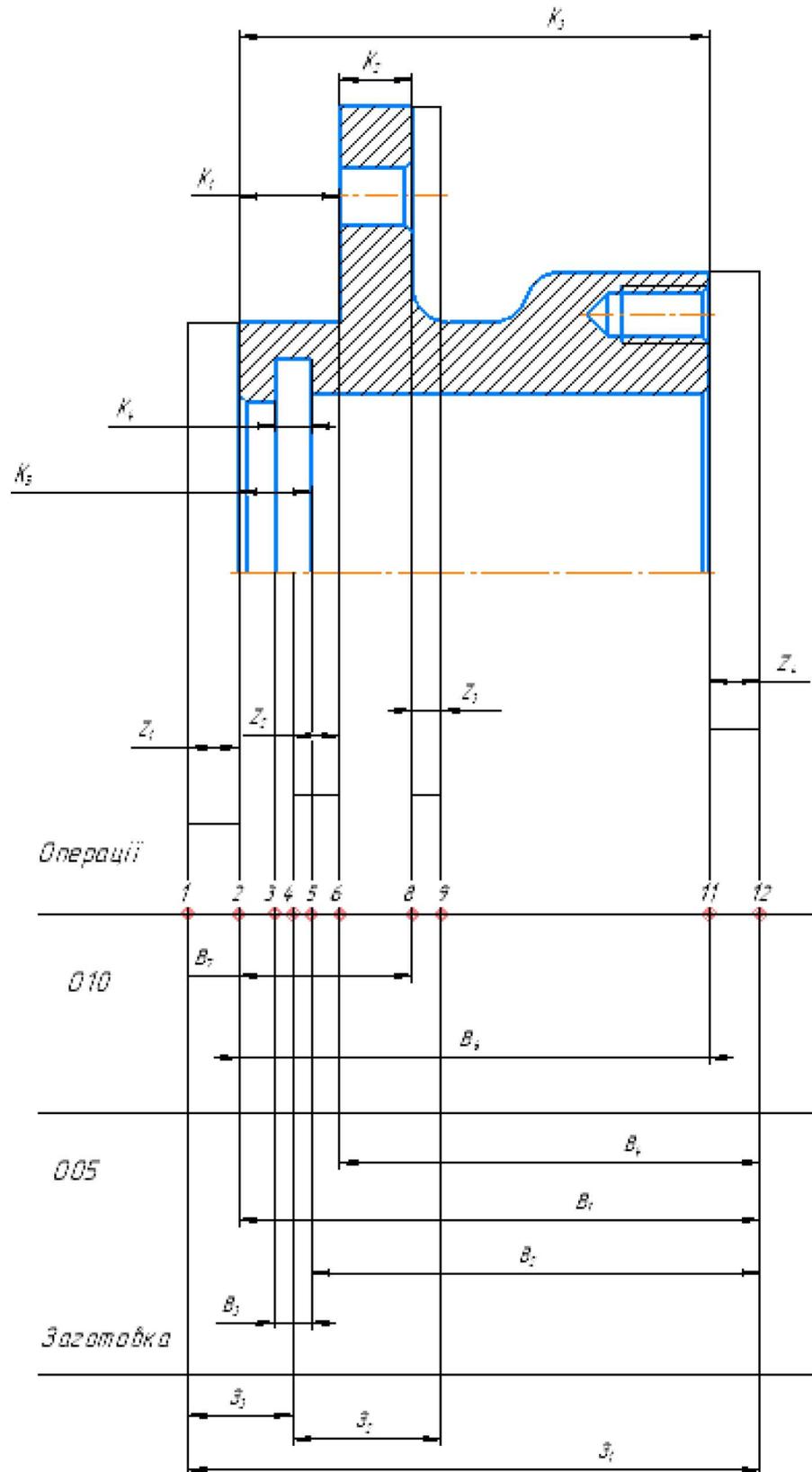


Рисунок 2.7 – Розмірна схема технологічного процесу

2.4.3 Похідний, вихідний графи-дерева, суміщений граф.

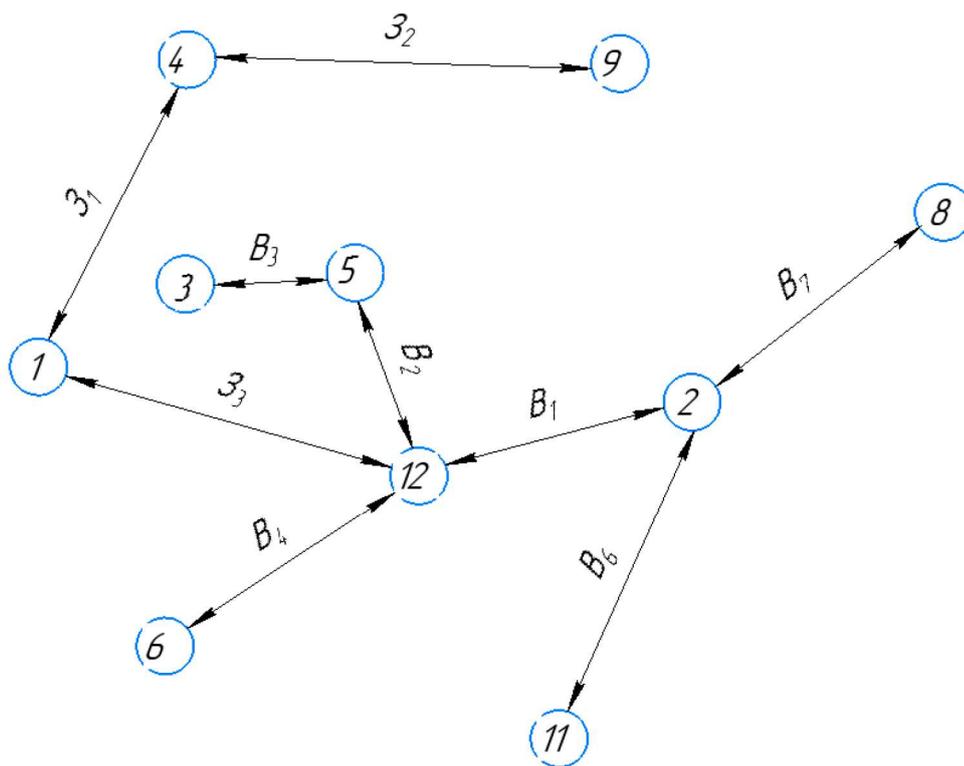


Рисунок 2.8 – Похідний граф

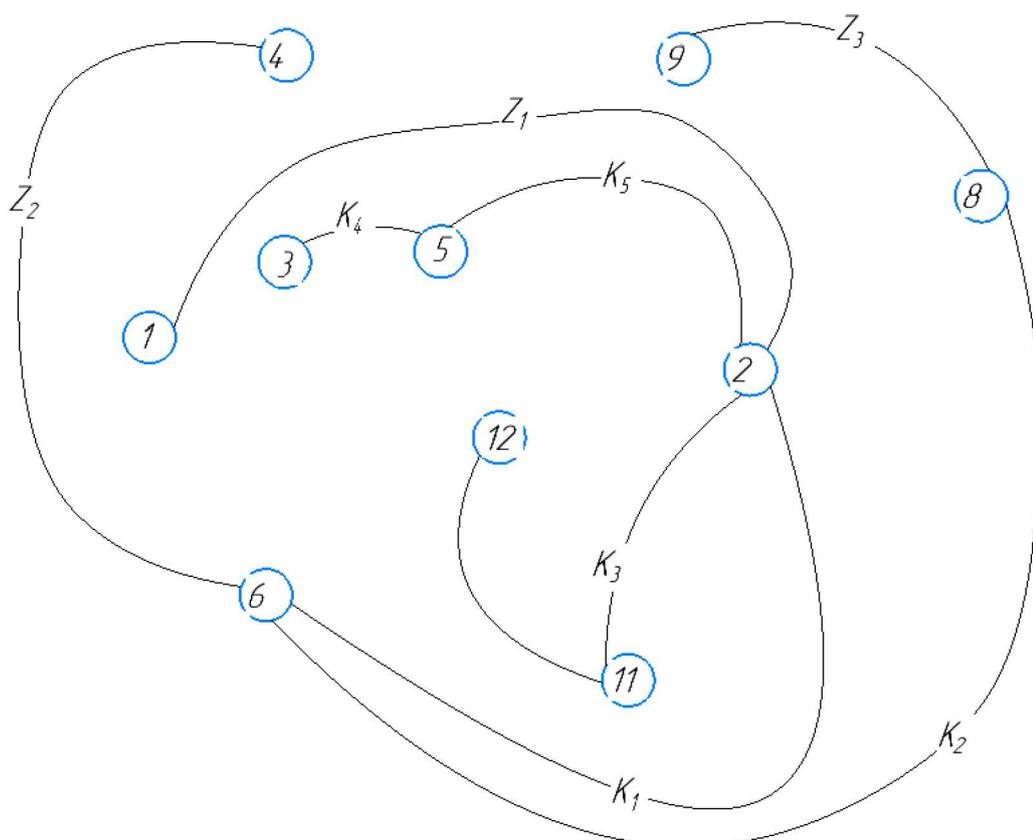


Рисунок 2.9 – Вихідний граф

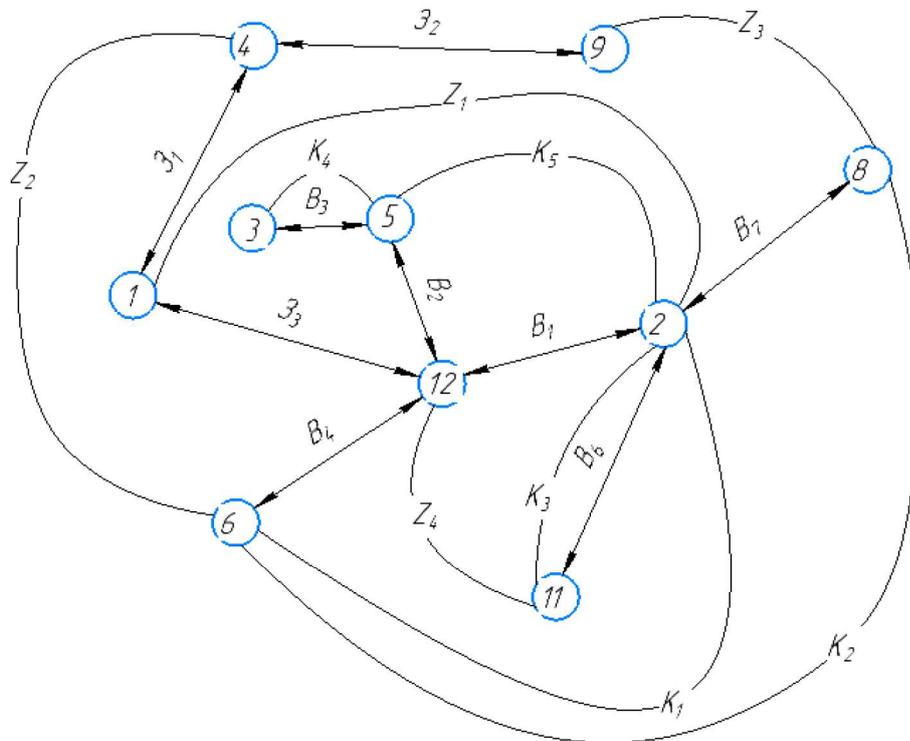


Рисунок 2.10 – Суміщений граф

2.4.4 Визначення проміжних мінімальних припусків на механічну обробку плоских поверхонь

За допомогою нормативних таблиць [3] визначаємо значення мінімальних проміжних припусків на обробку плоских поверхонь.

Таблиця 2.11 – Мінімальні проміжні припуски на обробку плоских поверхонь

| Призначення припуску | Спосіб обробки поверхні, в ході якої знімається припуск | Кількісне значення мінімального припуску, мм |
|----------------------|---|--|
| Z_1 | Однократне точіння | 1,1 |
| Z_2 | Однократне точіння | 1,1 |
| Z_3 | Однократне точіння | 1,1 |
| Z_4 | Однократне точіння | 1,1 |

2.4.5 Таблица рівнянь технологічних розмірів ланцюгів.

Таблиця 2.12 – Рівняння технологічних розмірних ланцюгів

| № | Розрахункове | Вихідне рівняння | Розмір, що визначається |
|-----|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1. | $Z_1 - B_1 - Z_1 = 0$ | $Z_1 = B_1$ | Z_1 |
| 2. | $B_1 - Z_4 - K_3 = 0$ | $Z_4 = B_1 - K_3$ | B_1 |
| 3. | $B_1 - K_5 - B_2 = 0$ | $K_5 = B_1 - B_2$ | B_2 |
| 4. | $B_3 - K_4 = 0$ | $K_4 = B_3$ | B_3 |
| 5. | $B_1 - B_4 - K_1 = 0$ | $K_1 = B_1 - B_4$ | B_4 |
| 6. | $B_6 - K_3 = 0$ | $K_3 = B_6$ | B_6 |
| 7. | $B_7 - K_1 - K_2 = 0$ | $K_1 = B_7 - K_2$ | B_7 |
| 8. | $B_6 - B_8 - K_7 = 0$ | $K_7 = B_6 - B_8$ | B_8 |
| 9. | $K_1 - Z_2 + Z_1 - Z_3 = 0$ | $K_1 = Z_3 - Z_2 + Z_1$ | Z_3 |
| 10. | $Z_2 + Z_3 + K_2 - Z_2 = 0$ | $K_2 = Z_3$ | Z_2 |

2.4.5 Визначення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки, максимальних припусків, корекція (за необхідністю) допусків технологічних розмірів і (або) маршруту механічної обробки.

Розв'яжемо рівняння технологічних ланцюгів:

Рівняння 1:

$$Z_{4\text{мін}} = B_{1\text{мін}} - K_{3\text{макс}}$$

$$B_{1\text{мін}} = K_{3\text{мін}} + Z_{4\text{мін}}$$

$$B_{1\text{мін}} = 64,26 + 1,1 = 65,36 \text{ (мм)}$$

$$B_{1\text{макс}} = B_{1\text{мін}} + T(B_1) = 65,36 + 0,74 = 66,1 \text{ (мм)}$$

$$Z_{4\text{макс}} = B_{1\text{макс}} - K_{3\text{мін}} = 66,1 - 64,26 = 1,84 \text{ (мм)}$$

Рівняння 2:

$$Z_{1\text{мін}} = Z_{3\text{мін}} - B_{1\text{макс}}$$

$$Z_{3\text{мін}} = B_{1\text{мін}} + Z_{1\text{мін}}$$

$$Z_{3\text{мін}} = 65,36 + 1,1 = 66,46 \text{ (мм)}$$

$$Z_{3\text{макс}} = Z_{3\text{мін}} + T(Z_3) = 66,46 + 2,2 = 68,66 \text{ (мм)}$$

$$Z_{1\text{макс}} = Z_{1\text{макс}} - B_{1\text{мін}} = 67,2 - 65,36 = 1,84 \text{ (мм)}$$

Рівняння 3:

$$K_5 = B_1 - B_2$$

$$B_{2\text{мін}} = B_{1\text{мін}} - K_{5\text{макс}} = 65,36 - 10 = 55,36 \text{ (мм)}$$

$$B_{2\text{макс}} = B_{2\text{мін}} + T(B_2) = 55,36 + 0,36 = 55,72 \text{ (мм)}$$

Рівняння 4:

$$K_4 = B_3$$

$$B_3 = K_4 = 5^{+0,3} \text{ (мм)}$$

Рівняння 5:

$$K_1 = B_1 - B_4$$

$$B_{4\text{мін}} = B_{1\text{мін}} - K_{1\text{макс}} = 65,36 - 14 = 51,36 \text{ (мм)}$$

$$B_{4\text{макс}} = B_{4\text{мін}} + T(B_4) = 51,36 + 0,43 = 51,79 \text{ (мм)}$$

Рівняння 6:

$$K_3 = B_6$$

$$B_6 = K_3 = 65_{-0,74} \text{ (мм)}$$

Рівняння 7:

$$K_1 = B_7 - K_2$$

$$B_{7\text{мін}} = K_{1\text{мін}} + K_{2\text{мін}} = 13,57 + 9,64 = 23,21 \text{ (мм)}$$

$$B_{7\text{макс}} = K_{1\text{макс}} + K_{2\text{макс}} = 14 + 10 = 24 \text{ (мм)}$$

Рівняння 8:

$$K_7 = B_6 - B_8$$

$$B_{8\text{мін}} = B_{6\text{мін}} - K_{7\text{макс}} = 64,26 - 25,052 = 39,208 \text{ (мм)}$$

$$B_{8\text{макс}} = B_{6\text{макс}} - K_{7\text{мін}} = 65 - 25 = 40 \text{ (мм)}$$

Рівняння 9:

$$K_1 = Z_3 - Z_2 + Z_1$$

$$Z_{3\text{макс}} = K_{1\text{макс}} - Z_{2\text{мін}} + Z_{1\text{макс}} = 14 - 1,1 + 1,84 = 14,74 \text{ (мм)}$$

$$Z_{3\text{мін}} = Z_{3\text{макс}} - T(Z_3) = 14,74 - 1,4 = 13,34 \text{ (мм)}$$

$$Z_{2\text{макс}} = K_{1\text{макс}} - Z_{3\text{мін}} + Z_{1\text{макс}} = 14 - 13,34 + 1,84 = 2,5 \text{ (мм)}$$

Рівняння 10:

$$K_2 = Z_2 - Z_2 + Z_3$$

$$Z_{2\text{мін}} = K_{2\text{мін}} + Z_{2\text{мін}} + Z_{3\text{мін}} = 9,64 + 1,1 + 1,1 = 11,84 \text{ (мм)}$$

$$Z_{2\text{макс}} = Z_{2\text{мін}} + T(Z_2) = 11,84 + 1,2 = 13,04 \text{ (мм)}$$

$$Z_{3\text{макс}} = Z_{2\text{макс}} - Z_{2\text{мін}} - K_{2\text{мін}} = 13,04 - 1,1 - 9,64 = 2,3 \text{ (мм)}$$

Таблиця 2.13 – Максимальні припуски

| Призначення припуску | Кількісне значення максимального припуску, мм |
|----------------------|---|
| Z ₁ | 1,84 |
| Z ₂ | 2,5 |
| Z ₃ | 2,3 |
| Z ₄ | 1,84 |

Таблиця 2.14 – Значення технологічних розмірів, розміри вихідної заготовки та допуски цих розмірів

| Позначення розміру | Граничні значення розмірів | | Допуск, мм | Значення розміру у технологічному документі, мм | Значення розміру на кресленні вихідної заготовки, мм |
|--------------------|----------------------------|-------------------------|------------|---|--|
| | Мінімальний розмір, мм | Максимальний розмір, мм | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| B ₁ | 65,36 | 66,1 | 0,74 | 65,36 ^{+0,74} | – |
| B ₂ | 55,36 | 55,72 | 0,36 | 55,36 ^{+0,36} | – |
| B ₃ | 5 | 5,3 | 0,3 | 5 ^{+0,3} | – |
| B ₄ | 51,36 | 51,79 | 0,43 | 51,36 ^{+0,43} | – |
| B ₆ | 64,26 | 65 | 0,74 | 65 _{-0,74} | – |
| B ₇ | 23,21 | 24 | 0,79 | 24 _{-0,79} | – |
| B ₈ | 39,208 | 40 | 0,792 | 40 _{-0,792} | – |
| Z ₁ | 66,46 | 68,66 | 2,2 | – | 67,6±1,1 |
| Z ₂ | 11,84 | 13,04 | 1,2 | – | 13,04 _{-1,2} |
| Z ₃ | 13,34 | 14,74 | 1,4 | – | 14,74 _{-1,4} |

Висновок: Рівняння в більшості складаються з 2-3 ланок, що є оптимальним варіантом, за винятком Z₂, Z₃, тому, що конструктивні розміри проставлені

нераціонально. Загалом, можна вважати технологічний процес оптимальним.

2.6 Визначення припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричної поверхні $\varnothing 70g6$

Для циліндричної поверхні діаметром $\varnothing 70$ з полем допуску $g6$ визначаються припуски та технологічні розміри з урахуванням прийнятого маршруту механічної обробки. Згідно з обраним технологічним процесом, обробка даної поверхні здійснюється послідовно за такими переходами: попереднє точіння (кілька стадій) та остаточне точіння.

При розрахунку припусків виходять з того, що для зовнішніх і внутрішніх поверхонь мінімальний припуск на механічну обробку визначається за нормативною залежністю, яка враховує початкову точність заготовки, похибки базування, відхилення форми та розташування поверхні, а також параметри шорсткості, що повинні бути забезпечені на відповідному етапі обробки.

Мінімальний припуск на обробку визначається за формулою:

$$2Z_{i \min} = 2(R_{zi-1} + T_{zi-1} + \rho_{i-1}) [\text{мкм}], \quad (2.18)$$

де R_z - висота мікро нерівностей шару, мкм;

T - глибина дефектного шару мкм;

ρ - сума просторових відхилень, мкм;

ε - похибка установки, мкм.

Сумарне значення просторових відхилень

$$\rho = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{кор}^2} [\text{мкм}], \quad (2.19)$$

де $\rho_{кор}$ - загальна кривизна заготовки $\rho_{кор}=400$ мкм

$\rho_{зм}$ - похибка зміщення форми роз'ємну, $\rho_{зм}=0$ мм.

$$\rho = \sqrt{400^2 + 0^2} = 400 \text{ (мкм)},$$

$$\rho_1 = K_y \cdot \rho \text{ [мм]}, \quad (2.20)$$

$$\rho_1 = 0,06 \cdot 400 = 24 \text{ (мкм)},$$

$$\rho_2 = 0,04 \cdot 58 = 1 \text{ (мкм)}.$$

Дані розрахунків зводимо в таблицю 2.15.

Таблиця 2.15 – Проміжні припуски і технологічні розміри на механічну обробку циліндричної поверхні $\varnothing 70g6$

| Маршрут обробки $\varnothing 70g6$ | Елементи припуски | | | Розрах. розміри | | Допуски, мм | Прийняті розміри | | Граничні припуски | |
|---------------------------------------|-------------------|------|--------|-------------------|----------------|----------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| | R _z | T | ρ | 2z _{min} | d _p | | d _{min} | d _{max} | 2z _{min} | 2z _{max} |
| Заготовка | 150 | 2200 | 400 | - | 73,81 | 3000 | 73,81 | 76,81 | - | - |
| Точіння попереднє | 50 | 50 | 24 | 2524 | 70,486 | 460 | 70,486 | 70,946 | 2500 | 4064 |
| Точіння попереднє | 30 | 30 | 1 | 300 | 70,186 | 120 | 70,186 | 70,306 | 300 | 640 |
| Точіння попереднє | 10 | 20 | - | 124 | 70,062 | 30 | 70,062 | 70,092 | 122 | 214 |
| Точіння остаточне | 10 | 20 | - | 60 | 70 | 19 | 70,002 | 70,021 | 60 | 71 |

Проводимо розрахунки мінімальних припусків

$$2Z_{1\min} = 2(2200 + 150 + 400) = 5500 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{2\min} = 2(50 + 50 + 25) = 300 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{3\min} = 2(30 + 30 + 1) = 122 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{4\min} = 2(10 + 20) = 60 \text{ (мкм)}.$$

Визначаємо мінімальні технологічні розміри

$70,002+0,06=70,062$ (мм);
 $70,062+0,122=70,186$ (мм);
 $70,186+0,3=70,486$ (мм);
 $70,486+5,5=75,986$ (мм).

Визначаємо найбільші технологічні розміри

$70,002+0,019=70,021$ (мм);
 $70,062+0,03=70,092$ (мм);
 $70,186+0,12=70,306$ (мм);
 $70,486+0,46=70,946$ (мм);
 $73,81+3=76,81$ (мм).

Максимальні припуски (Z_{\min})

$70,062-70,002=0,06$ (мм);
 $70,186-70,062=0,124$ (мм);
 $70,486-70,186=0,3$ (мм);
 $73,01-70,486=2,5$ (мм).

Мінімальні припуски (Z_{\max})

$70,092-70,021=0,071$ (мм);
 $70,306-70,092=0,214$ (мм);
 $70,946-70,306=0,64$ (мм);
 $76,81-70,946=4,064$ (мм).

2.7 Визначення режимів різання при різних методах механічної обробки

Операція 005. Токарна.

Модель верстата – МК6801Ф3

Ескіз механічної обробки (див. табл. 2.10)

Перехід 2

Точити поверхню 2 попередньо

Ріжучий інструмент: Різець прохідний Т5К10; переріз державки 16×25 мм.

$\gamma=120$; $\lambda=6$; $\varphi=45^\circ$; $r=1$ мм.

Глибину різання t [мм] визначаємо відносно припуску визначеного при проектуванні заготовки за формулою:

$$t_{\text{чорн}}=0,7 \cdot z \text{ [мм]} \quad (2.21)$$
$$t_{\text{чорн}}=0,7 \cdot 2,5=1,75 \text{ (мм)}$$

Подачу S [мм/об] приймаємо згідно паспортних даних верстата 0,05-2 мм/об: $S=0,5$ мм/об

Швидкість різання визначається за формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \text{ [м/хв]} \quad (2.22)$$

Вибираємо коефіцієнти для розрахунку швидкості різання:

$C_v = 420$; $y = 0.2$; $x = 0.15$; $m = 0.2$; $T = 60$.

Розрахунок швидкості різання:

$$V = \frac{420}{60^{0,2} \cdot 1,75^{0,15} \cdot 0,5^{0,2}} = 191 \text{ (м/хв)}$$

Визначення частоти обертання заготовки:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \text{ [об/хв]} \quad (2.23)$$
$$n = \frac{1000 \cdot 191}{3,14 \cdot 50} = 1216 \text{ (об/хв)}$$

Приймаємо за паспортними даними верстата $n=1250$ об/хв, тоді дійсну швидкість різання знаходимо за формулою

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n_g}{1000} \text{ [М/ХВ]} \quad (2.24)$$
$$V = \frac{3,14 \cdot 50 \cdot 1000}{1250} = 125 \text{ (М/ХВ)}$$

Сила різання P_z визначається за формулою:т

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_{mp} \text{ [Н]} \quad (2.25)$$

Вибираємо коефіцієнти для розрахунку сили різання:

$$C_p = 300; \quad x = 1; \quad y = 0.75; \quad n = -0.15.$$

$$\text{Поправковий коефіцієнт: } K_{mp} = 1$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 0,84^1 \cdot 0,5^{0,75} \cdot 188^{-0,15} \cdot 1 = 683 \text{ (Н)}$$

Потужність різання

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} \text{ [кВт]} \quad (2.26)$$

$$N = \frac{683 \cdot 188}{1020 \cdot 60} = 2,11 \text{ (кВт)}$$

Ефективна потужність верстата на шпинделі:

$$N_B = N_{дв} \cdot \eta \text{ [кВт]}, \quad (2.27)$$

$$N_B = 11 \cdot 0,85 = 9,4 \text{ (кВт)}$$

$$N_B = 9,4 \text{ кВт} > N = 2,11 \text{ кВт}$$

Умови по обробці різанням (потужності) виконуються.

Решту розрахунків вносимо до таблиці 2.17

Таблиця 2.17 – Режимів різання

| Операції | переходи | Розрахункові розміри | Глибина різання | Режимирізання | | |
|----------|----------|-------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | D/B | t, мм | S ^{мм/об} | V ^{м/хв.} | n ^{об/хв} |
| 005 | 1 | Ø70g6 | 3,5 | 0,1 | 125 | 1000 |
| | 2 | 12 | 3 | 0,3 | 125 | 1000 |
| | 3 | Ø130 | 3 | 0,3 | 125 | 1000 |
| | 4 | 67 | 2 | 0,3 | 125 | 1000 |
| | 5 | Ø48 | 3 | 0,5 | 125 | 1000 |
| | 6 | 60 | 9 | 0,5 | 125 | 1000 |
| | 7 | Ø52H7 | 5,5 | 0,2 | 125 | 1000 |
| | 8 | 10 | 4 | 0,5 | 125 | 1000 |
| | 9 | Ø60 | 9 | 0,5 | 125 | 1000 |
| | 10 | 2x45° | 2 | 0,2 | 125 | 1000 |
| 010 | 1 | Ø84 | 4 | 0,5 | 125 | 1000 |
| | 2 | 10 | 2 | 0,5 | 125 | 1000 |
| | 3 | 65 | 2 | 0,5 | 125 | 1000 |
| | 4 | 52H7 | 5,5 | 0,2 | 125 | 1000 |
| | 5 | 25 | 4 | 0,5 | 125 | 1000 |
| | 6 | 60 | 9 | 0,5 | 125 | 1000 |
| | 7 | 2x45° | 2 | 0,2 | 125 | 1000 |
| 015 | 1 | Ø4 | 5 | 0,15 | 11 | 440 |
| | 2 | Ø4 | 5 | 0,15 | 11 | 440 |
| | 3 | Ø8 | 10 | 0,15 | 11 | 440 |
| | 4 | Ø6 | 17 | 0,15 | 11 | 440 |
| | 5 | Ø8 | 2 | 0,15 | 11 | 440 |
| | 6 | Ø6 | 2 | 0,15 | 11 | 440 |
| | 7 | M8 | 14 | 1,5 | 11 | 90 |

2.8 Визначення технічних норм часу для всіх операцій

Визначення норм часу виконують за розрахунком часу переміщення інструменту по вибраній траєкторії (наведена на карті налагодження) за формулою

$$t_{TP} = \sum_{i=1}^n t_{P.X.} + \sum_{j=1}^m t_{X.X.}, [\text{хв}] \quad (2.30)$$

де $t_{P.X.}$ – час виконання робочого ходу траєкторії;

n – кількість робочих ходів;

$t_{X.X.}$ – час виконання холостого ходу траєкторії;

m – кількість холостих ходів;

Для всіх переходів основний час визначають за такою формулою:

$$t_{P.X.} = \frac{L_{P.X.}}{S_{X.в.}} [\text{хв}] \quad (2.31)$$

де $L_{P.X.}$ – довжина траєкторії робочого ходу (переміщення виконані на робочій подачі), мм;

$S_{X.в.}$ – хвилинна подача робочих переміщень, мм/хв.

де X,Y,Z– координати інструмента.

Час холостих ходів визначають за такою формулою для всіх переходів:

$$t_{X.X.} = \frac{L_{X.X.}}{S_{X.в.X.}}, [\text{хв}] \quad (2.32)$$

де $L_{X.X.}$ – довжина траєкторії холостого ходу (переміщення виконані на подачі швидких переміщень), мм;

$S_{X.в.X.}$ – хвилинна подача подача швидких переміщень, мм/хв.

$$L = \sqrt{(X_i - X_{i-1})^2 + (Y_i - Y_{i-1})^2 + (Z_i - Z_{i-1})^2} [\text{мм}]. \quad (2.33)$$

Розрахуємо основний час для операції 005

$$L_1 = \sqrt{(37,5 - 37,5)^2 + (37,5 - 37,5)^2 + (75 - 170)^2} = 95(\text{мм.})$$

$$L_2 = \sqrt{(37,5 - 37,5)^2 + (37,5 - 37,5)^2 + (51 - 75)^2} = 24(\text{мм.})$$

$$L_3 = \sqrt{(36,5 - 37,5)^2 + (36,5 - 37,5)^2 + (75 - 51)^2} = 26(\text{мм.})$$

$$L_4 = \sqrt{(36,5 - 36,5)^2 + (36,5 - 36,5)^2 + (75 - 51)^2} = 24(\text{мм.})$$

$$S_{\text{хв}} = S \cdot n = 0,2 \cdot 1250 = 250 \text{мм/хв}$$

Для 1 переходу основний час визначають за такою формулою:

$$t_{\text{р.х.}} = \frac{L_{\text{р.х.}}}{S_{\text{х.в.}}} = \frac{96}{250} = 0,384 (\text{хв.})$$

де: $L_{\text{р.х.}} = 24 + 24 + 24 + 24 = 96$ – довжина траєкторії робочого ходу, (переміщення виконані на робочій подачі), мм;

$S_{\text{хв}} = 250$ – хвилинна подача робочих переміщень, мм/хв.

Час холостих ходів визначають за такою формулою для 1 переходу:

$$t_{\text{х.х.}} = \frac{L_{\text{х.х.}}}{S_{\text{хв.х.}}} = \frac{172}{8000} = 0,021 (\text{хв.})$$

де: $L_{\text{х.х.}} = 95 + 26 \cdot 2 + 25 = 172$ – довжина траєкторії холостого ходу (переміщення виконані на подачі швидких переміщень), мм;

$S_{\text{хв.х.}} = 8000$ – хвилинна подача подача швидких переміщень, мм/хв.

Також потрібно врахувати час автоматичної зміни інструмента, величина якого наведена в технічних характеристиках, $t = 0,025 \text{хв.}$

Для визначення часу, що витрачається на зміну інструментів, можна

скористатися формулою:

$$t_{3M}=t \cdot i, [\text{хв}]. \quad (2.34)$$

де t – час зміни одного інструмента, хв;

i – кількість використаних на операції інструментів.

$$t_{3M}=0,025 \cdot 8=0,2 \text{ (хв)}$$

Для всіх переходів основний час визначають за такою формулою:

$$\begin{aligned} t_{P.X.} &= t_{P.X1.} + t_{P.X2.} + t_{P.X3.} + t_{P.X4.} + t_{P.X5.} + t_{P.X6.} + t_{P.X7.} \dots + t_{P.X10.} = \\ &0,384 + 0,452 + 0,168 + 0,282 + 0,128 + 0,08 + 0,224 + 0,096 + 0,08 + 0,016 = 1,908(\text{хв.}) \end{aligned}$$

де: $t_{P.X1-10}$ – час робочих ходів (для 1- 10 переходів), хв.;

Час холостих ходів визначають за такою формулою:

$$\begin{aligned} t_{X.X.} &= t_{X.X1.} + t_{X.X2.} + t_{X.X3.} + t_{X.X4.} + t_{X.X5.} + t_{X.X6.} + t_{X.X7.} \dots t_{X.X10.} = \\ &0,021 + 0,014 + 0,008 + 0,009 + 0,003 + 0,001 + 0,004 + 0,002 + 0,002 + 0,017 \\ &= 0,081(\text{хв.}) \end{aligned}$$

де: $t_{X.X1-10}$ – час холостих ходів (для 1-10 переходів), хв.;

Отже, час на виконання холостих ходів та інших допоміжних операцій можна визначити за формулою:

$$\sum_{j=1}^m t_{X.X.} = t_{X.X.} + t_{3M} = 0,081 + 0,2 = 0,281(\text{хв})$$

де: $t_{3M} = 0,2$ – час зміни інструменту, хв.;

Визначення норм часу виконують за розрахунком часу переміщення

інструменту по вибраній траєкторії за формулою:

$$t_{TP} = \sum_{i=1}^n t_{P.X.} + \sum_{j=1}^m t_{X.X.} = 1,908 + 0,281 = 2,189(\text{хв.})$$

де $t_{P.X.}$ – час виконання робочого ходу траєкторії;

n – кількість робочих ходів;

$t_{X.X.}$ – час виконання холостого ходу траєкторії;

m – кількість холостих ходів;

Отже загальна кількість часу затраченого на виконання операції 005 складає
 $t_{\Sigma} = 2,189$ (хв.)

Розрахуємо основний час для операції 010

$$S_{XB} = S \cdot n = 0,2 \cdot 1250 = 250 \text{ мм/хв}$$

Для 1 переходу основний час визначають за такою формулою:

$$t_{P.X.} = \frac{L_{p.x.}}{S_{x.в.}} = \frac{92}{250} = 0,368 \text{ (хв.)}$$

де: $L_{p.x.} = 46 + 46 =$ – довжина траєкторії робочого ходу, (переміщення виконані на робочій подачі), мм;

$S_{XB} = 250$ – хвилинна подача робочих переміщень, мм/хв.

Час холостих ходів визначають за такою формулою для 1 переходу:

$$t_{X.X.} = \frac{L_{x.x.}}{S_{xв.x.}} = \frac{146}{8000} = 0,018 \text{ (хв.)}$$

де: $L_{x.x.} = 100 + 46 = 146$ – довжина траєкторії холостого ходу (переміщення виконані на подачі швидких переміщень), мм;

$S_{\text{хв.х}} = 8000$ – хвилинна подача подача швидких переміщень, мм/хв.

Також потрібно врахувати час автоматичної зміни інструмента, величина якого наведена в технічних характеристиках, $t = 0,025$ хв.

Для визначення часу, що витрачається на зміну інструментів, можна скористатися формулою:

$$t_{\text{зм}} = t \cdot i, [\text{хв}]. \quad (2.35)$$

де t – час зміни одного інструмента, хв;

i – кількість використаних на операції інструментів.

$$t_{\text{зм}} = 0,025 \cdot 8 = 0,2 \text{ (хв)}$$

Для всіх переходів основний час визначають за такою формулою:

$$\begin{aligned} t_{\text{р.х.}} &= t_{\text{р.х1.}} + t_{\text{р.х2.}} + t_{\text{р.х3.}} + t_{\text{р.х4.}} + t_{\text{р.х5.}} + t_{\text{р.х6.}} + t_{\text{р.х7.}} = \\ &0,368 + 0,329 + 0,271 + 0,390 + 0,072 + 0,178 + 0,012 = 1,36 \text{ (хв.)} \end{aligned}$$

де: $t_{\text{р.х1-7}}$ – час робочих ходів (для 1-7 переходів), хв.;

Час холостих ходів визначають за такою формулою:

$$\begin{aligned} t_{\text{х.х.}} &= t_{\text{х.х1.}} + t_{\text{х.х2.}} + t_{\text{х.х3.}} + t_{\text{х.х4.}} + t_{\text{х.х5.}} + t_{\text{х.х6.}} + t_{\text{х.х7.}} = \\ &0,018 + 0,009 + 0,008 + 0,011 + 0,002 + 0,002 + 0,014 = 0,046 \text{ (хв.)} \end{aligned}$$

де: $t_{\text{х.х1-7}}$ – час холостих ходів (для 1-7 переходів), хв.;

Отже, час на виконання холостих ходів та інших допоміжних операцій можна визначити за формулою:

$$\sum_{j=1}^m t_{X.X.} = t_{X.X.} + t_{zm} = 0,046 + 0,2 = 0,246(\text{хв})$$

де: $t_{zm} = 0,2$ – час зміни інструменту, хв.;

Визначення норм часу виконують за розрахунком часу переміщення інструменту по вибраній траєкторії за формулою:

$$t_{TP} = \sum_{i=1}^n t_{P.X.} + \sum_{j=1}^m t_{X.X.} = 1,36 + 0,246 = 1,606(\text{хв.})$$

де $t_{P.X.}$ – час виконання робочого ходу траєкторії;

n – кількість робочих ходів;

$t_{X.X.}$ – час виконання холостого ходу траєкторії;

m – кількість холостих ходів;

Отже загальна кількість часу затраченого на виконання операції 005 складає $t_{\Sigma} = 1,606$ (хв.)

Розрахуємо основний час для операції 015

$$S_{XB} = S \cdot n = 0,4 \cdot 1000 = 400\text{мм/хв}$$

Для 1 переходу основний час визначають за такою формулою:

$$t_{P.X.} = \frac{L_{p.x.}}{S_{x.в.}} = \frac{15}{66} = 0,227(\text{хв.})$$

де: $L_{p.x.} = 15$ – довжина траєкторії робочого ходу, (переміщення виконані на робочій подачі), мм;

$S_{XB} = 66$ – хвилинна подача робочих переміщень, мм/хв.

Час холостих ходів визначають за такою формулою для 1 переходу:

$$t_{X.X.} = \frac{L_{x.x.}}{S_{xв.x.}} = \frac{1191,8}{4800} = 0,248 \text{ (хв.)}$$

де: $L_{x.x.} = 55 \cdot 12 + 52,55 \cdot 6 + 103,4 + 112,9 = 1191,8$ – довжина траєкторії холостого ходу (переміщення виконані на подачі швидких переміщень), мм;

$S_{xв.x.} = 4800$ – хвилинна подача подача швидких переміщень, мм/хв.

Також потрібно врахувати час автоматичної зміни інструмента, величина якого наведена в технічних характеристиках, $t = 0,33$ хв.

Для визначення часу, що витрачається на зміну інструментів, можна скористатися формулою:

$$t_{3М} = t \cdot i, \text{ [хв]}. \quad (2.36)$$

де t – час зміни одного інструмента, хв;

i – кількість використаних на операції інструментів.

$$t_{3М} = 0,025 \cdot 8 = 0,2 \text{ (хв)}$$

Для всіх переходів основний час визначають за такою формулою:

$$t_{P.X.} = t_{P.X1.} + t_{P.X2.} + t_{P.X3.} + t_{P.X4.} + t_{P.X5.} + t_{P.X6.} + t_{P.X7.} = \\ 0,227 + 0,11 + 0,9 + 0,63 + 0,18 + 0,09 + 0,22 = 2,35 \text{ (хв.)}$$

де: $t_{P.X1-7}$ – час робочих ходів (для 1-7 переходів), хв.;

Час холостих ходів визначають за такою формулою:

$$t_{X.X.} = t_{X.X1.} + t_{X.X2.} + t_{X.X3.} + t_{X.X4.} + t_{X.X5.} + t_{X.X6.} + t_{X.X7.} = \\ 0,248 + 0,190 + 0,248 + 0,190 + 0,248 + 0,190 + 0,190 = 1,5 \text{ (хв.)}'$$

де: $t_{X.X1-3}$ – час холостих ходів (для 1-7 переходів), хв.;

Отже, час на виконання холостих ходів та інших допоміжних операцій

можна визначити за формулою:

$$\sum_{j=1}^m t_{X.X.} = t_{X.X.} + t_{zm} + t_3 + t_P = 1,5 + 1,5 + 0,2 + 0,2 = 3,4(\text{хв})$$

де: $t_{zm} = 1,5$ – час зміни інструменту, хв.;

$t_3 = 0,2$ – час затискання заготовки в пристосуванні, хв.;

$t_{роз} = 0,2$ – час розтискання заготовки в пристосуванні, хв.;

Визначення норм часу виконують за розрахунком часу переміщення інструменту по вибраній траєкторії за формулою:

$$t_{TP} = \sum_{i=1}^n t_{P.X.} + \sum_{j=1}^m t_{X.X.} = 2,35 + 3,4 = 5,75(\text{хв.})$$

де $t_{P.X.}$ – час виконання робочого ходу траєкторії;

n – кількість робочих ходів;

$t_{X.X.}$ – час виконання холостого ходу траєкторії;

m – кількість холостих ходів;

Отже загальна кількість часу затраченого на виконання операції 015 складає $t_{\Sigma} = 5,75$ (хв.)

Норма часу виконання операцій на верстатах з числовим програмним керуванням формується як сума підготовчо-заключного та штучного часу й визначається за відповідною розрахунковою формулою:

$$T_{\text{шт-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n}. [\text{хв}] \quad (2.37)$$

Норма штучного часу визначається за розрахунковою залежністю:

$$T_{\text{шт}} = (T_o + T_d) \cdot \left(1 + \frac{a_{\text{тех}} + a_{\text{орг}} + a_{\text{відп}}}{100}\right). [\text{хв}] \quad (2.38)$$

де T_o – основний час;

T_d – допоміжний час;

$a_{\text{тех}}$, $a_{\text{орг}}$, $a_{\text{відп}}$ – відповідно відсоткові надбавки на технічне обслуговування робочого місця, організаційні потреби та регламентовані перерви.

Допоміжний час на операцію механічної обробки визначається за узагальненою формулою, яка враховує всі дії робітника, пов'язані з виконанням переходів:

$$T_d = \left(T_1 + \sum_{i=1}^n T_{2_i} + \sum_{j=1}^k T_{3_j} + \sum_{u=1}^m T_{4_u} + \sum_{y=1}^p T_{5_y} \right) K_d, [\text{хв}]$$

де T_1 – час на встановлення заготовки у верстатний пристрій та її знімання;

T_2 – час на підготовку одного переходу або час, пов'язаний з виконанням переходу;

T_3 – час на змінювання режимів роботи верстата;

T_4 – час на встановлення інструмента в робочу позицію;

$T_{d.\text{вим}}$ – час на контрольні вимірювання в процесі виконання операції;

ϕ – поправковий коефіцієнт на допоміжний час, що залежить від розміру партії деталей;

n – кількість переходів;

k , m , p – кількість дій робітника, спрямованих відповідно на змінювання режимів роботи верстата, встановлення інструмента та проведення контрольних вимірювань.

Підготовчо-заклучний час визначається як сума складових, що забезпечують підготовку та завершення операції:

$$T_{\text{пз}} = T_{\text{пз1}} + T_{\text{пз2}} + T_{\text{пз.обр}} \quad (2.39)$$

де $T_{\text{пз1}}$ – час, необхідний для організаційної підготовки виконання операції;

$T_{пз2}$ – час на налагодження верстата, пристосувань та допоміжного оснащення;

$T_{пз.обр}$ – час, відведений на виконання пробної обробки деталі.

Для операції 015 основний час становить $T_0=2,35$ хв. До складу допоміжного часу входять: час на встановлення та зняття заготовки $T_1=0,10$ хв; час, пов'язаний з підготовкою переходу, $T_2=0,40$ хв; час на змінювання режимів роботи верстата $T_3=0,05$ хв; час на встановлення інструмента в робочу позицію $T_4=0,06$ хв; час на виконання контрольних вимірювань у процесі обробки $T_{д.вим}=0,50$ хв. Поправковий коефіцієнт, що враховує вплив розміру партії деталей на допоміжний час, прийнято рівним $\varphi=0,8$.

$$T_{д} = (0,1 + 0,2 + 0,05 + 0,06 + 0,5) \cdot 0,8 = 0,888 \text{ (хв)};$$

Час на обслуговування робочого місця та регламентований відпочинок встановлюється у відсотковому відношенні до основного і допоміжного часу та формується з урахуванням умов виконання операції. До його складу входять такі складові: фізичні зусилля працівника при масі оброблюваних заготовок у межах 5–15 кг – 1 %; нормальний темп роботи – 1 %; середній рівень монотонності операцій – 2 %; нормальні температурні умови виробничого середовища – 1 %; незначна забрудненість повітря – 1 %; низький рівень нервового напруження – 2 %; підвищений рівень виробничого шуму – 2 %; час на технічне обслуговування робочого місця – 1 %; час на організаційне обслуговування робочого місця – 1 %.

Сумарна величина надбавок на обслуговування робочого місця та відпочинок становить відповідний відсоток, який враховується при визначенні норми штучного часу

$$a_{тех} + a_{орг} + a_{відп} = 1\% + 1\% + 2\% + 1\% + 1\% + 2\% + 2\% + \% + 1\% = 12\%$$

Штучний час розраховуємо за формулою

$$T_{\text{шт}} = (2,35 + 0,888) \cdot \left(1 + \frac{12}{100}\right) = 3,6 \text{ (хв)}.$$

Згідно з формулою 2.39 визначаємо: час на організаційну підготовку $T_{\text{пз1}} = 12$; час на наладку верстата, пристосування та ін.

$$T_{\text{пз2}} = 8 + 1,7 + 0,15 + 0,15 + 1 + 2,5 + 0,9 + 0,2 = 14,6 \text{ (хв)}.$$

Час на пробну обробку деталі

$$T_{\text{пр.обр}} = 4,3 \text{ хв}$$

$$T_{\text{пз}} = 12 + 14,6 + 4,3 = 30,9 \text{ хв}.$$

Штучно-калькуляційний час при партії деталей для наладок $n=520$ шт.

$$T_{\text{шт-к}} = 3,6 + \frac{30,9}{520} = 3,65 \text{ хв}.$$

Інші розрахунки занесемо у зведену таблицю 2.18.

Таблиця 2.18 – Технічні норми часу

| № операції | Перехід | T_o , хв | T_d , хв | $T_{\text{шт}}$, хв | $T_{\text{шт-к}}$, хв |
|------------|---------|----------------|----------------|----------------------|------------------------|
| 005 | 1 | 0,384 | 0,021 | 2,227 | 2,286 |
| | 2 | 0,452 | 0,014 | | |
| | 3 | 0,168 | 0,008 | | |
| | 4 | 0,282 | 0,009 | | |
| | 5 | 0,128 | 0,003 | | |
| | 6 | 0,08 | 0,001 | | |
| | 7 | 0,224 | 0,004 | | |
| | 8 | 0,096 | 0,002 | | |
| | 9 | 0,08 | 0,002 | | |
| | 10 | 0,016 | 0,017 | | |
| | | $\Sigma=1,908$ | $\Sigma=0,081$ | | |

Продовження таблиці 2.18

| № операції | Перехід | T_o , хв | T_d , хв | $T_{шт}$, хв | $T_{шт-к}$, хв |
|------------|---------|---------------|----------------|---------------|-----------------|
| 010 | 1 | 0,368 | 0,018 | 1,574 | 1,634 |
| | 2 | 0,329 | 0,009 | | |
| | 3 | 0,271 | 0,008 | | |
| | 4 | 0,39 | 0,011 | | |
| | 5 | 0,072 | 0,002 | | |
| | 6 | 0,178 | 0,002 | | |
| | 7 | 0,012 | 0,014 | | |
| | | $\Sigma=1,36$ | $\Sigma=0,046$ | | |
| 015 | 1 | 0,227 | 0,248 | 3,6 | 3,65 |
| | 2 | 0,11 | 0,19 | | |
| | 3 | 0,9 | 0,248 | | |
| | 4 | 0,63 | 0,19 | | |
| | 5 | 0,18 | 0,248 | | |
| | 6 | 0,09 | 0,19 | | |
| | 7 | 0,22 | 0,19 | | |
| | | $\Sigma=2,35$ | $\Sigma=1,5$ | | |

3 РОЗРАХУНОК ТА ПЛАНУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ

3.1 Уточнення виробничої програми [13]

Таблиця 3.1 – Вихідні дані типових деталей

| Деталі | Маса | Програма | Точність/Шорсткість | | | | | | | | | |
|------------|------|----------|---------------------|------|-----|-----|-----|-----|------|----|----|--|
| | | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | |
| Корпус 12М | 1,7 | 5500 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | |
| | | | - | - | 2 | - | 3 | 7 | 33 | - | 6 | |
| | | | 0,8 | 1,25 | 1,6 | 2,5 | 3,2 | 6,3 | 12,5 | - | - | |
| | | | - | - | 7 | - | 4 | 36 | 4 | - | - | |
| Корпус 1 | 1,8 | 10000 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | |
| | | | - | - | 2 | 1 | 4 | 5 | 25 | - | 10 | |
| | | | 0,8 | 1,25 | 1,6 | 2,5 | 3,2 | 6,3 | 12,5 | - | - | |
| | | | - | - | 2 | - | 5 | 30 | 10 | - | - | |
| Корпус 2 | 2,8 | 5000 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | |
| | | | - | - | 3 | - | 4 | 7 | 31 | - | 11 | |
| | | | 0,8 | 1,25 | 1,6 | 2,5 | 3,2 | 6,3 | 12,5 | - | - | |
| | | | - | - | 8 | 5 | 4 | 31 | 8 | - | - | |
| Корпус 3 | 2,2 | 3000 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | |
| | | | 2 | | 2 | 3 | | | 1 | 21 | 2 | |
| | | | 0,8 | 1,25 | 1,6 | 2,5 | 3,2 | 6,3 | 12,5 | - | - | |
| | | | - | - | 2 | - | 3 | 6 | 18 | | - | |

$N_{р.пр}$ – програма випуску розрахункового представника;

N_1, N_2, N_3 – програма випуску по кожному з найменувань деталей;

$N_{пр}$ – програма випуску.

Приведену програму випуску можна розрахувати за формулою:

$$N_{пр} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot K_{пр.i} \text{ [шт]}, \quad (3.1)$$

Усі деталі, що входять до групи, приводяться до деталі-представника шляхом використання єдиного коефіцієнта приведення:

$$K_{пр} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (3.2)$$

де K_1 – коефіцієнт приведення по масі;

K_2 – коефіцієнт приведення по серійності;

K_3 – коефіцієнт приведення по складності.

$$K_1 = \sqrt[3]{(m_i / m_{np})^2}, \quad (3.3)$$

де m_i – маса i -тої деталі; m_{np} – маса представника.

$$K_2 = \left(\frac{N_{np}}{N_i} \right)^\alpha, \quad (3.4)$$

де N_{np} і N_i - програма випуску відповідно деталі (виробу) - розрахункового представника і розглядуваної деталі (виробу);

α – показник степені ($\alpha = 0,15$ для об'єктів легкого і середнього машинобудування, $\alpha = 0,2$ для об'єктів важкого машинобудування).

$$K_3 = K_{31} \cdot K_{32}, \quad (3.5)$$

де K_{31} - коефіцієнт, що враховує різницю в точності оброблюваних поверхонь деталей;

K_{32} - коефіцієнт, що враховує різницю в шорсткості оброблюваних поверхонь деталей.

$$K_{31} = \left(\frac{\overline{K_{mi}}}{\overline{K_{mnp}}} \right)^{\alpha_1}, \quad (3.6)$$

$$K_{32} = \left(\frac{\overline{R_i}}{\overline{R_{np}}} \right)^{\alpha_2}, \quad (3.7)$$

$\overline{K_m}$ і $\overline{K_{mnp}}$ - середні значення якості точності поверхонь деталі, що розглядається і деталі-розрахункового представника;

$\overline{R_i}$ і $\overline{R_{np}}$ - середні значення параметра R_a шорсткості поверхонь деталі, що розглядається і деталі-розрахункового представника;

Таблиця 3.2 – Визначення програми випуску відносно розрахункового представника

| Програма випуску | Маса, кг | K_1 | K_2 | K_3 | $K_{np.}$ | $N_{np.}$ |
|------------------|----------|-------|-------|-------|-----------|-----------|
| $N_{p.np.}=5500$ | 0,593 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 23500 |
| $N_1=10000$ | 0,6 | 1,01 | 0,93 | 0,986 | 0,83 | |
| $N_2=5000$ | 1 | 1,41 | 1,02 | 1,005 | 1,3 | |
| $N_3=3000$ | 0,8 | 1,22 | 1,09 | 1 | 0,83 | |

3.2 Визначення кількості обладнання

3.2.1 Розрахунок кількості верстатів

$$C_p = \frac{N_{np} \cdot T_{шк}}{60 \cdot F_{\delta}} [\text{шт}], \quad (3.8)$$

де F_{δ} – дійсний річний фонд обладнання;

N_{np} – приведена річна програма випуску деталей;

$T_{шк}$ – штучно-калькуляційний час.

Таблиця 3.3 – Розрахунок кількості верстатів

| № Операції | Назва операції | Розрахункова кількість верстатів | Прийнята кількість верстатів |
|------------|----------------|---|------------------------------|
| 005 | Токарна | $C_{p005} = \frac{T_{шт-к.р.пр005} \cdot N_{пр}}{F_{\delta} \cdot m \cdot 60} = \frac{2,286 \cdot 23500}{3890 \cdot 60} = 0,23;$ | 1 |
| 010 | Токарна | $C_{p010} = \frac{T_{шт-к.р.пр010} \cdot N_{пр}}{F_{\delta} \cdot m \cdot 60} = \frac{1,634 \cdot 23500}{3890 \cdot 60} = 0,16;$ | 1 |
| 015 | Свердлильна | $C_{p015} = \frac{T_{шт-к.р.пр015} \cdot N_{пр}}{F_{\delta} \cdot m \cdot 60} = \frac{3,65,1 \cdot 23500}{3890 \cdot 60} = 0,36;$ | 1 |

4.2.2 Розраховуємо коефіцієнт завантаження обладнання:

$$\eta_z = \frac{C_p}{C_{пр}}, \quad (3.9)$$

де C_p – кількість розрахункового обладнання;

$C_{пр}$ – кількість прийнятого обладнання.

Операція 005:

$$\eta_z = \frac{0,23}{1} = 0,23;$$

Операція 010:

$$\eta_z = \frac{0,16}{1} = 0,16;$$

Операція 015:

$$\eta_z = \frac{0,36}{1} = 0,36;$$

Середній коефіцієнт завантаження обладнання:

$$\eta_3 = \frac{0,23 + 0,16 + 0,36}{1 + 1 + 1} = 0,25$$

Графік завантаження обладнання показаний на рисунку 3.1

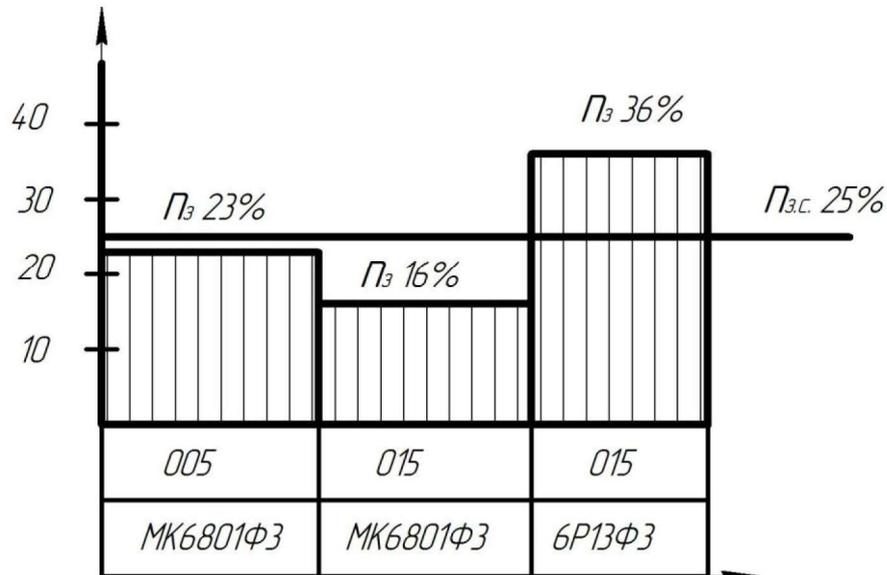


Рисунок 3.1 – Графік завантаження обладнання

3.2.3 Розраховуємо коефіцієнт використання обладнання за основним часом

$$\eta_{оз} = \frac{t_{осн}}{T_{шт.к}}, \quad (3.10)$$

де $t_{осн}$ – основний час, хв;

$T_{шт.к}$ – штучно калькуляційний час, хв.

Операції 005:

$$\eta_{оз} = \frac{1,908}{2,227} = 0,85;$$

Операції 010:

$$\eta_{оз} = \frac{1,36}{1,634} = 0,83;$$

Операція 015:

$$\eta_{oz} = \frac{2,35}{3,65} = 0,64 ;$$

Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом

$$\eta_{oz} = \frac{1,908 + 1,36 + 2,35}{2,227 + 1,634 + 3,65} = 0,74 ;$$

Графік використання обладнання показаний на рисунку 3.2

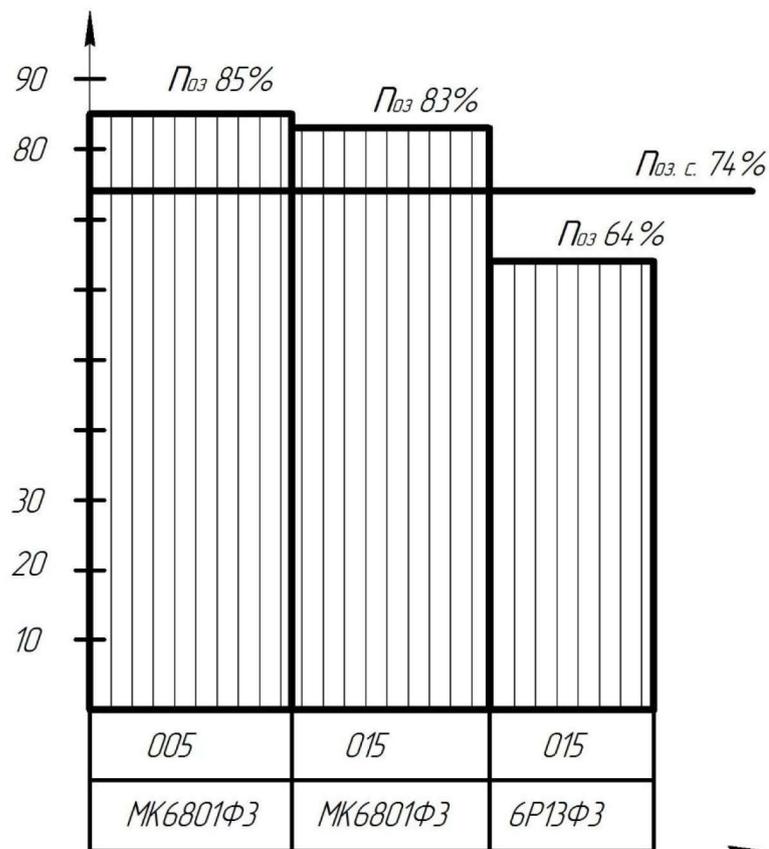


Рисунок 3.2 – Графік використання обладнання за основним часом

Аналіз графіка завантаження обладнання показує, що верстати, задіяні на операціях 005, 010 та 015, мають резерв виробничої потужності. Для досягнення нормативно рекомендованого рівня їх завантаження доцільним є додаткове залучення до обробки інших деталей, не включених до приведеної виробничої програми.

Водночас аналіз використання обладнання за основним машинним часом свідчить, що тривалість виконання операцій перебуває в допустимих межах. Це підтверджує обґрунтованість прийнятого маршруту механічної обробки та коректність його технологічної побудови.

Таблиця 3.4 – Кількість обладнання та коефіцієнти завантаження і використання верстатів за основним часом

| № операції | Назва операцій | Розрахункова кількість верстатів | Прийнята кількість верстатів $C_{пр.шт.}$, шт | $\eta_{з.і}$ | $\eta_{з.сер.}$ | $\eta_{о.і}$ | $\eta_{о.сер.}$ |
|------------|----------------|----------------------------------|---|--------------|-----------------|--------------|-----------------|
| 005 | токарна | 0,23 | 1 | 0,23 | 0,25 | 0,85 | 0,74 |
| 010 | токарна | 0,16 | 1 | 0,16 | | 0,83 | |
| 015 | свердлильна | 0,36 | 1 | 0,36 | | 0,64 | |

3.3 Розрахунок кількості робітників на дільниці

Кількість основних робітників може бути визначена:

$$P = \frac{T_{шт-к.} \cdot N_{пр.}}{F_{д.роб.} \cdot K_{б} \cdot 60} \text{ [чол]}, \quad (3.11)$$

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

F_p – ефективний річний фонд часу робітника годин, $F_p = 3890$;

K_m – коефіцієнт багатостатного обслуговування - середнє число верстатів, що обслуговується одним робітником;

$N_{пр}$ – річна програма випуску деталей даного найменування шт..

$$P_1 = \frac{23500 \cdot 2,227}{3890 \cdot 60 \cdot 1} = 0,224(p), \text{ приймаємо кількість робітників 1.}$$

$$P_2 = \frac{23500 \cdot 1,364}{3890 \cdot 60 \cdot 1} = 0,13 \text{ (р)}, \text{ приймаємо кількість робітників 1.}$$

$$P_3 = \frac{23500 \cdot 3,65}{3890 \cdot 60 \cdot 1} = 0,36 \text{ (р)}, \text{ приймаємо кількість робітників 2.}$$

Результати виконаних розрахунків свідчать, що рівень завантаження основних робітників не перевищує 50 %, у зв'язку з чим доцільним є організація багатOVERстатного обслуговування.

Окрім основного виробничого персоналу, на дільниці функціонують допоміжні робітники, до складу яких належать працівники, що забезпечують технічне обслуговування дільниць і виробничих ліній, зокрема транспортні робітники, ремонтний персонал, інструментальники та працівники складського господарства. Чисельність допоміжного персоналу, як правило, визначається у відсотковому відношенні до кількості основних робітників і становить орієнтовно 20–25 %.

$$P_{\text{доп}} = 3 \cdot (0,2 \dots 0,25) = 0,6 \dots 0,75 \text{ (р)},$$

До складу інженерно-технічного персоналу належать керівники та спеціалісти, зокрема начальники цехів і їх заступники, технологи, майстри та економісти. Чисельність інженерно-технічних працівників визначається залежно від кількості встановленого обладнання та приймається у відсотковому відношенні до загальної кількості верстатів у цеху. Для механоскладальних цехів рекомендований діапазон становить 15–24 % від сумарної кількості прийнятого обладнання.

$$P_{\text{доп}} = 3 \cdot (0,15 \dots 0,24) = 0,45 \dots 0,72 \text{ (р)},$$

Чисельність інженерно-технічних працівників приймається рівною одній особі.

До категорії службовців належать працівники бухгалтерії, касири, персонал відділу постачання, а також секретарі та інший адміністративний персонал. Їх чисельність визначається у відсотковому відношенні до кількості основних

виробничих робітників і, як правило, перебуває в межах 0,1–2 %.

$$P_{\text{доп}} = 3 \cdot (0,001 \dots 0,02) = 0,003 \dots 0,06 (p),$$

Чисельність службових працівників приймається рівною одній особі, яка працює за системою аутсорсинга.

Чисельність молодшого обслуговуючого персоналу встановлюється у відсотковому відношенні до загальної кількості працівників і, як правило, становить 1–2 %.

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

Чисельність молодшого обслуговуючого персоналу приймається рівною одній особі. Аналіз розрахункових даних свідчить про недостатній рівень завантаження цього персоналу, у зв'язку з чим доцільним є його залучення до виконання додаткових робіт на інших виробничих дільницях або використовувати роботу за договором.

Таблиця 3.5 – Відомість працюючих зведена

| Працюючі (категорія) | Загальна кількість | Розподіл по професіям | Розподіл по змінам |
|---------------------------------|-----------------------|--------------------------|------------------------------------|
| Основні робітники | 3 | Токарі –2 | 1 в першу зміну 1 в другу зміну |
| | | Фрезерувальник – 1 | |
| Допоміжні | 1 | Контролер – 1 | |
| ІТР | 1 | Майстер – 1 | |
| Службовці | 1 | Бухгалтер – 1 | |
| Молодший обслуговуючий персонал | 1 | Прибиральник – 1 | |

3.4 Розробка плану розташування обладнання

Розміщення верстатного обладнання на виробничих дільницях і механічних лініях визначається обраною організаційною формою виробничого процесу, протяжністю дільниць, кількістю та типами верстатів, характером міжопераційного транспорту, способом видалення стружки, а також низкою інших технологічних і планувальних чинників.

3.4.1 Вибір будівельних параметрів виробничого приміщення

Перед розробленням планування обладнання необхідно обґрунтувати основні будівельні параметри приміщення, зокрема сітку колон і висоту прольоту. Сітка колон визначається шириною прольоту L та кроком колон t , а висота прольоту H – відстанню від рівня підлоги до нижньої поверхні несучих конструкцій перекриття.

Зазначені параметри вибирають із уніфікованого ряду типових значень з урахуванням вимог раціонального розміщення обладнання. Ширина прольоту повинна забезпечувати можливість компактного та зручного розташування кратної кількості рядів верстатів, як правило від двох до чотирьох, залежно від габаритних розмірів обладнання та прийнятої схеми його розміщення.

З урахуванням наведених вимог прийнято ширину прольоту, що відповідає поперечному розміру приміщення, $L=18$ м, а крок колон у поздовжньому напрямку – $t = 6$ м.

Висоту до головки підкранової рейки H_1 визначають на основі розрахунку загальної висоти прольоту з урахуванням габаритів підйомно-транспортного обладнання та технологічних вимог. Висота прольоту визначається за відповідною розрахунковою формулою:

$$H_1 = h_1 + h_2 + h_3 + h_4[\text{м}], \quad (3.15)$$

де h_1 – максимальна висота обладнання, для даного цеху це вертикально-

протяжний верстат моделі 6P13PФ3 з висотою 2760 мм;

h_2 – мінімальна відстань між обладнанням і вантажем, приймаємо 500 мм;

h_3 - висота транспортованого вантажу, приймаємо, мм;

$$h_3 = h_1 + 1000 [\text{м}], \quad (3.16)$$

$$h_3 = 2760 + 1000 = 3760 \text{ (мм)}$$

h_4 – висота крану, 1000 мм.

$$H_1 = 2760 + 500 + 3760 + 1000 = 8020 \text{ (мм)}.$$

Стандартне значення H_1 складає 8160 мм, і відповідно висота цеху до нижнього пояса ферми $H = 10800$ мм.

В якості несучих конструкцій приймаємо залізобетонну полігональну форму прольотом 18 м.

4 ЕКОНОМІКА ВИРОБНИЦТВА

4.1 Оцінювання експертами потенціалу використання технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус підшипника»

Технологічний аудит виконують з метою визначення та аналізу комерційної перспективності розробки, створеної в результаті проведення науково-технічних досліджень. Його основним завданням є оцінка потенціалу практичного впровадження та можливостей подальшої комерціалізації отриманих результатів.

Для проведення аудиту було залучено трьох незалежних експертів. Вони здійснили оцінювання комерційного потенціалу розробки за дванадцятьма критеріями, перелік і зміст яких наведено в таблиці 4.1. Оцінювання виконувалося на основі експертних суджень із подальшим узагальненням результатів.

Таблиця 4.1 – Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

| Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою) | | | | | |
|--|---|---|-------------------------------------|----------------------------------|---|
| Критерій | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Технічна здійсненність концепції: | | | | | |
| 1 | Достовірність концепції не підтверджена | Концепція підтверджена експертними висновками | Концепція підтверджена розрахунками | Концепція перевірена на практиці | Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах |

Продовження таблиці 4.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------------------|--|---|---|---|--|
| Ринкові переваги (недоліки): | | | | | |
| 2 | Багато аналогів на малому ринку | Мало аналогів на малому ринку | Кілька аналогів на великому ринку | Один аналог на великому ринку | Продукт не має аналогів на великому ринку |
| 3 | Ціна продукту значно вища за ціни аналогів | Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів | Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів | Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів | Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів |
| 4 | Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів | Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів | Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів | Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів | Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів |
| 5 | Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів | Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів | Експлуатаційні витрати на рівні їх витрат аналогів | Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів | Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів |
| Ринкові перспективи | | | | | |
| 6 | Ринок малий і не має позитивної динаміки | Ринок малий, але має позитивну динаміку | Середній ринок з позитивною динамікою | Великий стабільний ринок | Великий ринок з позитивною динамікою |
| 7 | Активна конкуренція компаній на ринку | Активна конкуренція | Помірна конкуренція | Незначна конкуренція | Конкуренція немає |

Продовження таблиці 4.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------|---|---|---|---|---|
| Практична здійсненність | | | | | |
| 8 | Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї | Необхідно наймати фахівців або витратити кошти та час на навчання наявних фахівців | Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату | Необхідне незначне навчання фахівців | Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї |
| 9 | Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні | Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні | Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є | Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є | Не потребує додаткового фінансування |
| 10 | Необхідна розробка нових матеріалів | Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі | Потрібні дорогі матеріали | Потрібні досяжні та дешеві матеріали | Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві |
| 11 | Термін реалізації ідеї більший за 10 років | Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років | Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років | Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років | Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років |

Продовження таблиці 4.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----|--|---|--|--|---|
| 12 | Необхідна розробка документів та отримання дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту | Отримання документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу | Отримання документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу | Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту | Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту |

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки зведено в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

| Критерії | Експерти | | |
|--|------------------------------|---------------------|---------------------|
| | Експерт 1 | Експерт 2 | Експерт 3 |
| | Бали, виставлені експертами: | | |
| 1 | 2 | 3 | 2 |
| 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 2 | 2 | 2 |
| 4 | 1 | 2 | 1 |
| 5 | 3 | 3 | 2 |
| 6 | 2 | 2 | 2 |
| 7 | 3 | 3 | 4 |
| 8 | 2 | 2 | 2 |
| 9 | 4 | 3 | 3 |
| 10 | 3 | 2 | 2 |
| 11 | 4 | 4 | 2 |
| 12 | 4 | 2 | 3 |
| Сума балів | СБ ₁ =32 | СБ ₂ =30 | СБ ₃ =27 |
| Середньоарифметична сума балів СБ – 29 | | | |

Згідно таблиці 4.2 розробка має рівень комерційного потенціалу вище середнього.

Водночас слід зазначити, що розглянуте інноваційне рішення проєктується, розраховується та впроваджується виключно в межах конкретного підприємства. У зв'язку з цим його практичне використання передбачається лише на даному виробництві і не орієнтоване на безпосередню реалізацію як окремого товару на зовнішньому ринку.

У цій магістерській роботі під час оцінювання якості продукції доцільно визначати як абсолютний, так і відносний рівні якості. Абсолютний рівень якості інноваційного виробу встановлюється шляхом розрахунку вибраних показників без їх прямого порівняння з аналогічними параметрами інших виробів. Для цього необхідно чітко окреслити зміст основних функцій, які повинне забезпечувати інноваційне рішення, сформулювати вимоги замовника, а також врахувати умови експлуатації.

На основі цих вихідних даних визначаються ключові параметри, що використовуються для розрахунку коефіцієнта технічного рівня виробу. Обрана система параметрів має достатньо повно відображати споживчі властивості інноваційного продукту, зокрема його функціональне призначення, надійність, ефективність використання ресурсів, рівень стандартизації та інші суттєві характеристики. Значення всіх показників для кожного параметра узагальнюються та подаються в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Основні параметри інноваційного рішення

| Параметри | Абсолютне значення параметра | | | Коефіцієнт вагомості параметра |
|--|------------------------------|---------|-------|--------------------------------|
| | краще | середнє | гірше | |
| Зовнішній вигляд | | 6 | | 10% |
| Точність розмірів | 9 | | | 25% |
| Відповідність технологічній документації | 10 | | | 20% |
| Наявність заусенців | 9 | | | 25% |
| Важкість виконання | | | 5 | 20% |

Визначимо абсолютний рівень інноваційного рішення за формулою:

$$K_{я.а.} = \sum P_{Hi} \cdot \alpha_i = 6 \cdot 0,1 + 9 \cdot 0,25 + 10 \cdot 0,2 + 9 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,2 = 8,1. \quad (4.1)$$

де P_{Hi} – числове значення i -го параметру інноваційного рішення;

n – кількість параметрів інноваційного рішення, що прийняті для оцінки;

α_i – коефіцієнт вагомості відповідного параметра.

Далі визначимо відносний рівень якості окремих параметрів інноваційного рішення, порівнюючи його показники з абсолютними показниками якості аналогу і занесемо їх у відповідну колонку таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Основні параметри товару та конкурентів

| Показник | Варіанти | | Відносний показник якості | Коефіцієнт вагомості параметра |
|--|-----------|-------------------|---------------------------|--------------------------------|
| | Конкурент | Новий | | |
| Зовнішній вигляд | Гірший | Кращий | 1,3 | 0,1 |
| Точність розмірів | Гірша | Краща | 1,25 | 0,25 |
| Відповідність технологічній документації | Непона | Повна | 1,15 | 0,2 |
| Наявність заусенців | Присутня | Частково присутня | 1,1 | 0,25 |
| Важкість виконання | Легко | Важко | 0,86 | 0,2 |
| Економія на втратах від браку | 10 грн | 30 грн | - | - |

Відносний рівень якості інноваційного рішення визначаємо за формулою:

$$K_{я.в.} = \sum q_i \cdot \alpha_i, \quad (4.2)$$

$$K_{я.в.} = 1,3 \cdot 0,1 + 1,25 \cdot 0,25 + 1,15 \cdot 0,2 + 1,1 \cdot 0,25 + 0,86 \cdot 0,2 = 1,12$$

Відносний коефіцієнт показника якості інноваційного рішення більший одиниці, це означає, що інноваційний продукт якісніший базового товару-конкурента на 12%.

Конкурентоспроможність продукції – це комплексна багатоаспектна характеристика товару, що визначає його переваги на ринку порівняно з аналогічними товарами-конкурентами як за ступенем відповідності конкретній потребі, так і за витратами на їх задоволення.

Загальний показник конкурентоспроможності інноваційного рішення (K) з урахуванням вище зазначених груп показників можна визначити за формулою:

$$K = \frac{I_{т.п.}}{I_{е.п.}} \quad (4.3)$$

де $I_{т.п.}$ – індекс технічних параметрів (відносний рівень якості інноваційного рішення); $I_{е.п.}$ – індекс економічних параметрів.

Індекс економічних параметрів визначається за формулою:

$$I = \frac{\sum P_{н.е.}}{\sum P_{б.е.}} \quad (4.4)$$

де $P_{Неі}$, $P_{Беі}$ – економічні параметри відповідно нового та базового товарів.

Якщо $K > 1$, то інноваційне рішення вважається більш конкурентоспроможним, ніж товар-конкурент; якщо $K < 1$, то рівень конкурентоспроможності інноваційного рішення є нижчим, ніж у товару-конкурента; якщо $K = 1$, то ця ситуація інтерпретується як тотожність рівнів конкурентоспроможності обох товарів.

Оскільки індекс технічних параметрів дорівнює відносному рівню якості нашого інноваційного продукту, то він буде рівним 1,12. За формулою (4.4) розрахуємо індекс економічних параметрів інноваційного рішення:

$$I = \frac{17,8}{20} = 0,89$$

Тоді, користуючись формулою 4.3, розрахуємо загальний показник конкурентоспроможності:

$$K = \frac{1,12}{0,89} = 1,26$$

Оскільки $K > 1$ ($K = 1,26$), то запропоноване виготовлення деталі «Корпус підшипника» є більш доцільним і конкурентоспроможним в порівнянні з аналогами.

4.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на розробку технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус підшипника»

Розрахунок капітальних витрат на розробку або модернізацію технологічного процесу, включає розрахунок таких основних статей витрат [36]: основна заробітна плата, додаткова зарплата, нарахування на зарплату, вартість обладнання, витрати на оренду і облаштування приміщення, додаткові інструменти та пристосування, накладні витрати.

Основна заробітна плата розробників, яка розраховується за формулою [36]:

$$Z_0 = \frac{M \cdot t}{T_p} \quad (\text{грн.}) \quad (4.5)$$

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

t_i - число днів роботи конкретного розробника, грн.;

T_p - середнє число робочих днів в місяці, $T_p = 21 \dots 23$ дні.

В 2025 році величини окладів коливаються в межах 18000 ÷ 40000 грн. Зроблені розрахунки зводимо до таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Результати розрахунку основної заробітної

| Найменування посади | Місячний посадовий оклад, грн. | Оплата за робочий день, грн | Число днів роботи | Витрати на заробітну плату, грн |
|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------------------|
| Керівник проекту | 35000 | 1591 | 9 | 14 319 |
| Інженер-конструктор I категорії | 25000 | 1136 | 12 | 13632 |
| Інженер-технолог вищ. категорії | 25000 | 1136 | 12 | 13632 |
| Всього | | | | 27264 |

Додаткова заробітна плата розробників.

Додаткова заробітна плата розраховується як 10...12% від основної заробітної плати розробників за формулою [37]:

$$Z_{\text{дод}} = N_{\text{дод}} Z_o, \text{ [грн]} \quad (4.6)$$

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

$$Z_d = 27264 \cdot 0,1 = 2726,4 \text{ (грн).}$$

Нарахування на заробітну плату розробників.

Нарахування на заробітну плату розробників Z_n розраховується як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати розробників:

$$N_3 = (27264 + 2726,4) \cdot 0,22 = 6597,88 \text{ (грн).}$$

Вартість обладнання визначається за прейскурантом гуртових цін на металорізальні верстати або за даними базового підприємства за відпускними і

договірними цінами. До балансової вартості обладнання окрім преїскурантної вартості верстатів входять витрати на їх транспортування і монтаж на ділянці, ці витрати приймаються в розмірі 10...12% від вартості обладнання.

Балансову вартість нового обладнання розраховують за формулою:

$$V_{\text{обл}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i, [\text{грн}] \quad (4.7)$$

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, ($K_i = 1,10...1,12$);

k – кількість найменувань обладнання встановленого на ділянці. Зроблені розрахунки зводимо до таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Вартість обладнання

| Найменування обладнання | Ціна, грн | Кількість | Вартість, грн | Примітка |
|---|-----------|-----------|---------------|----------|
| Токарно-револьверний верстат з ЧПК МК6801Ф3 | 400 000 | 1 | 400 000 | $K=1.12$ |
| Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК 6P13PФ3 | 250 000 | 1 | 250 000 | |
| Всього | | | 650 000 | 728 000 |

Витрати на оренду або придбання приміщень для облаштування технологічного процесу визначаються, як добуток потрібної площі на вартість оренди 1 м². В якості індикативної вартості можна прийняти вартість оренди – 40000 грн. за 100 м² площі виробничого приміщення. Вартість облаштування приміщення під нове виробництво розраховують за формулою:

$$B_{\text{буд.}} = C_{\text{пл}} \cdot S_{\text{заг}} = 100 \cdot 1000 = 100\,000 \text{ (грн)}. \quad (4.8)$$

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

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

Додаткові інструменти та пристосування для впровадження даного виробництва.

Витрати на придбання нового інструменту можна розрахувати за формулою:

$$O = \sum_1^n C_i \cdot N_i \cdot K_i, \text{ [грн.]} \quad (4.9)$$

де: C_i – ціна придбання інструменту даного виду, марки, грн.;

N_i – кількість однотипного виду інструменту, шт.;

K_i – коефіцієнт, що ураховує доставку, налагодження інструменту тощо, $K_i = 1,1$;

n – кількість видів інструменту.

Зроблені розрахунки зводимо до таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Витрати на інструмент

| Найменування інструменту | Ціна, грн | Кількість | Вартість, грн | Примітка |
|--------------------------|-----------|-----------|---------------|----------|
| Різець прохідний | 265.0 | 8 | 2120 | $K=1,1$ |
| Різець підрізний | 253.0 | 5 | 1265 | |
| Свердло центрувальне | 155.0 | 4 | 620 | |
| Свердло спіральне | 120 | 4 | 480 | |
| Всього | | | 4005 | 4405,5 |

Інші витрати (накладні витрати) – приймаються, як 250% від суми основної заробітної плати розробників.

$$I = 27264 \cdot 250 / 100\% = 68\,160 \text{ (грн)}.$$

Сума всіх попередніх статей дає капітальні витрати на організацію виробництва – К.

$$K = 27\,264 + 2726,4 + 6597,88 + 728\,000 + 40\,000 + 100\,000 + 4405,5 + 68\,160 = 977\,153,78 \text{ (грн)}.$$

4.3 Розрахунок виробничої собівартості одиниці продукції

Розрахунок виробничої собівартості одиниці продукції передбачає визначення таких статей витрат: витрати на матеріали, витрати на комплектуючі та напівфабрикати, витрати на силову електроенергію, витрати на основну заробітну плату, додаткова заробітна плата робітників, нарахування на заробітну плату робітників, загальновиробничі витрати.

Витрати на матеріали

Якщо вихідні заготовки виробів, які в подальшому потребують механічної обробки, виготовлені на підприємстві у відповідних виробничих підрозділах заготівельного виробництва (ливарних, пресових цехах або дільницях тощо), то вартість основного матеріалу з урахуванням утилізації відходів визначається за формулою [38]:

$$M_j = S_{\text{заг}j} - V_j \cdot \text{Ц}_{\text{в}j}, \text{ [грн]} \quad (4.10)$$

де $S_{\text{заг}j}$ – виробнича собівартість заготовки, грн.

V_i - маса відходів i -го найменування, кг (гр.);

Ц_v - ціна відходів i -го найменування, грн./кг; n - кількість видів матеріалів.

Таблиця 4.8 – Витрати на матеріали

| Найменування матеріалу, марка, тип, сорт | Ціна за 1 кг, грн. | Витрачено, кг | Величина відходів, кг | Ціна відходів, грн./кг | Возвратні відходи, грн, (-) | Вартість витраченого матеріалу, грн. | Примітка |
|--|--------------------|---------------|-----------------------|------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|----------|
| Сталь 45Л | 26,53 | 3,4 | 1 | 4,00 | 4 | 86.2 | К=1.1 |
| Всього | | | | | | | 94.82 |

Витрати на силову електроенергію

Електрична енергія на дільниці витрачається на живлення електродвигунів, електронагрівальних приладів, які використовуються при виготовленні продукції, апаратури.

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховують за формулою:

$$B_e = B \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}, [\text{грн}] \quad (4.11)$$

де B - вартість 1 кВт-години електроенергії. В 2025 році $B=10,5$ грн./кВт.

Π – установлена потужність обладнання, кВт;

Φ – фактична кількість годин роботи обладнання по виготовленню одного виробу, год.;

K_{Π} – коефіцієнт використання потужності, $K_{\Pi} < 1$ (прийmemo 96%).

Результати розрахунку витрат на електроенергію покажемо у вигляді таблиці 4.9.

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) розраховуються на основі норм часу, які необхідні для виконання технологічних операцій по виготовленню одного виробу [38]:

$$Z_p = \sum_1^n t_i \cdot C_i \cdot K_c, [\text{грн}] \quad (4.12)$$

де t_i – трудомісткість на виконання технологічної операції, год;

n – число робіт по видах та розрядах;

K_c – коефіцієнт співвідношень ($K_c = 1 \div 5$);

C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду:

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_i}{T_p \cdot T_{zm}}, [\text{грн/год}] \quad (4.13)$$

де M_m - мінімальна місячна оплата праці, грн. $M_m = 8000$ грн.;

K_i – тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду;

T_p – число робочих днів в місяці. Приблизно $T_p = 22$.

T_{zm} – тривалість зміни, $T_{zm} = 8$ год.

Таблиця 4.9 – Розраховані витрати на електроенергію

| Обладнання | Потужність, кВт/год | Нормо- години, год. | Сума, кВт |
|--|------------------------|------------------------|-----------|
| Токарно-револьверний верстат з ЧПК МК6801Ф3 (1 шт.) | 11 | 0,2 | 0,2 |
| Вертикально-фрезерний з ЧПК 6P13PФ2 | 17 | 0,1 | 1,5 |
| Всього споживана потужність, кВт | | | 1,7 |
| Вартість споживаної електроенергії, грн. | | | 17,85 |

Зроблені розрахунки зводимо до таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – Витрати на заробітну плату

| Вид обладнання | Трудомісткість, н-годин | Розряд роботи | Погодиннатарифна ставка,грн. | Величина оплати,грн |
|--------------------------------|----------------------------|------------------|---------------------------------|------------------------|
| Токарно- револьверний з ЧПК | 0,2 | 3 | 92,05 | 18,41 |
| Вертикально-фрезерний з ЧПК | 0,1 | 3 | 92,05 | 9,21 |
| Всього | | | | 27,62 |

Додаткова заробітна плата робітників.

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

$$З_д = 27,62 \cdot 0,1 = 2,76 \text{ (грн)}.$$

Нарахування на заробітну плату робітників.

Нарахування на заробітну плату розробників $З_н$ розраховується як 22 % від суми основної та додаткової заробітної плати розробників за формулою:

$$З_н = (З_о + З_{дод}) \cdot Н_{зп}, \text{ [грн]} \quad (4.14)$$

де $Н_{зп}$ – норма нарахування на заробітну плату розробників.

$$Н_з = (27,62 + 2,76) \cdot 0,22 = 6,68 \text{ (грн)}.$$

Загальновиробничі статті витрат.

Загальновиробничі витрати (в відсотках до основної заробітної плати основних робітників) для механічного устаткування складають 250 ... 280%. Прийmemo 250%. Тоді:

$$ЗВ = 27,62 \cdot 250\% / 100\% = 69,05 \text{ (грн)}.$$

Сума всіх попередніх статей утворює виробничу собівартість одиниці продукції:

$$S = 94,82 + 17,85 + 27,62 + 2,76 + 6,88 + 69,05 = 218,98 \text{ (грн)}.$$

4.4 Розрахунок терміну окупності капітальних вкладень

Економічний ефект від впровадження модернізованого технологічного

процесу розраховується за формулою:

$$E = (S_1 - S_2) \cdot N, [\text{грн}] \quad (4.15)$$

де S_1 – виробнича собівартість виготовленої продукції конкурента (926 грн.); S_2 – виробнича собівартість виготовленої продукції власного виробництва; N – обсяги виготовлення продукції.

Тоді величина економічного ефекту складе:

$$E = (270 - 218,98) \cdot 23500 = 1\,198\,970 \text{ (грн.)}$$

Термін окупності капітальних вкладень розраховують за формулою:

$$T_o = \frac{K(\Delta K)}{\Pi}, [\text{років}] \quad (4.16)$$

де K (або ΔK) – капітальні вкладення або додаткові капітальні вкладення, необхідні для реалізації нового технологічного процесу, нової дільниці, цеха тощо, або для їх модернізації, грн.; E – економічний ефект від впровадження нового технологічного процесу.

$$T_o = 977\,153,78 / 1\,198\,970 = 0,81 \text{ (року)}$$

Термін окупності організації виробництва складає 0,81 року, що менше нормативного терміну окупності, який складає 3 – 5 років, а величина економічного ефекту складе 1 198 970 грн. Тому виробництво деталей типу «Корпус підшипника» є економічно доцільним.

ВИСНОВКИ

1. У ході аналізу умов роботи деталі «Корпус 12М» встановлено, що вона працює в умовах місцевого циклічного навантаження з коефіцієнтом асиметрії циклу $R = 0$ при частоті обертання вала $n = 1000$ об/хв. За таких умов річна кількість циклів навантаження становить $5,26 \cdot 10^8$, а необхідний ресурс для мінімального терміну служби 5 років – не менше $2,63 \cdot 10^9$ циклів, що відповідає області багатоциклової втоми.

2. За результатами чисельного аналізу напружено-деформованого стану при максимальному радіальному навантаженні $F = 11$ кН (підшипник 6206) встановлено, що максимальні еквівалентні напруження в базовій конструкції корпусу не перевищують 72 МПа, що значно нижче допустимих напружень для всіх розглянутих конструкційних сталей, чавунів та алюмінієвих сплавів при коефіцієнті запасу $n = 1,5$. Таким чином, критерій статичної міцності для деталі не є визначальним.

3. Визначено, що ключовим фактором працездатності «Корпусу 12М» є жорсткість посадкової поверхні $\varnothing 52H7$. Гранично допустима деформація цієї поверхні, прийнята на рівні 0,015 мм (50 % від допуску H7), не перевищується для оптимізованої геометрії деталі. Максимальні переміщення в зоні посадкового отвору за результатами FEM-аналізу для конструкційних сталей становлять 0,006–0,014 мм, що забезпечує стабільну роботу підшипникового вузла.

4. Параметричний аналіз геометрії корпусу, виконаний у середовищі ANSYS Workbench з використанням планування чисельного експерименту, показав істотний вплив радіусів галтелей, ширини посадкової поверхні та геометрії внутрішньої порожнини на рівень напружень. Оптимізація геометрії дозволила знизити максимальні еквівалентні напруження в критичній зоні до 26–35 МПа з 72 МПа, тобто більш ніж у 2 рази порівняно з базовою конструкцією.

5. За результатами оптимізації прийнято раціональні геометричні параметри деталі: радіус перехідних галтелей 5 мм, радіус внутрішньої вільної поверхні в зоні отвору 27 мм і ширина посадкової поверхні 40 мм (замінено в конструкції на

суцільну поверхню без уступів), діаметр кола розташування кріпильних отворів 60 мм. Такі параметри забезпечують зменшення концентрації напружень і підвищення рівномірності їх розподілу в масиві корпусу.

6. Розроблені маршрути механічної обробки деталі «Корпус 12М» дозволяють отримати необхідну точність посадкового отвору Ø52H7 з використанням типового універсального обладнання. Нормування часу показало можливість забезпечення виробничої програми $N = 5500$ деталей на рік без перевантаження обладнання та персоналу.

7. Розрахунок параметрів ділянки механічної обробки показав, що прийнята структура обладнання, чисельність персоналу та виробничі площі є достатніми для виконання заданої програми випуску з резервом по завантаженню, що створює передумови для розширення номенклатури оброблюваних деталей.

8. В економічному розділі встановлено, що основними складовими собівартості виготовлення деталі «Корпус 12М» є витрати машинного часу та матеріалу. Проведені розрахунки підтвердили економічну доцільність організації ділянки механічної обробки за умови серійного виробництва з програмою 5500 шт/рік.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кіндрачук М. В., Черняк Я. П., Корнієнко А. П. Деталі машин : підручник. – Київ : НТУУ «КПІ», 2014. – 496 с.
2. Білик С. І., Ковальчук М. В. Основи розрахунку машин і механізмів : навч. посіб. – Львів : Львівська політехніка, 2016. – 312 с.
3. Shigley J. E., Mischke C. R., Budynas R. G. Mechanical Engineering Design. – 9th ed. – New York : McGraw-Hill, 2011. – 1056 p.
4. Juvinall R. C., Marshek K. M. Fundamentals of Machine Component Design. – 6th ed. – Hoboken : Wiley, 2017. – 912 p.
5. Harris T. A., Kotzalas M. N. Rolling Bearing Analysis. – 5th ed. – Boca Raton : CRC Press, 2006. – 1080 p.
6. Palmgren A. Ball and Roller Bearing Engineering. – 3rd ed. – Philadelphia : SKF Industries, 1959. – 300 p.
7. ISO 281:2007. Rolling bearings – Dynamic load ratings and rating life. – Geneva : ISO, 2007.
8. Stephens R. I., Fatemi A., Stephens R. R., Fuchs H. O. Metal Fatigue in Engineering. – 2nd ed. – New York : Wiley-Interscience, 2001. – 496 p.
9. Suresh S. Fatigue of Materials. – 2nd ed. – Cambridge : Cambridge University Press, 1998. – 679 p.
10. Schijve J. Fatigue of Structures and Materials. – 2nd ed. – Dordrecht : Springer, 2009. – 623 p. – DOI: 10.1007/978-1-4020-6808-9.
11. Peterson R. E. Stress Concentration Factors. – 2nd ed. – New York : Wiley, 1974. – 560 p.
12. Pilkey W. D., Pilkey D. F. Peterson's Stress Concentration Factors. – 3rd ed. – Hoboken : Wiley, 2008. – 560 p.
13. ASM Handbook. Vol. 19. Fatigue and Fracture. – Materials Park, OH : ASM International, 1996. – 2740 p.
14. ASM Handbook. Vol. 1. Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys. – Materials Park, OH : ASM International, 1990. – 1120 p.

15. Bathe K. J. Finite Element Procedures. – Upper Saddle River : Prentice Hall, 1996. – 1037 p.
16. Zienkiewicz O. C., Taylor R. L. The Finite Element Method. Vol. 1. – 6th ed. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2005. – 736 p.
17. Budynas R. G., Nisbett J. K. Shigley's Mechanical Engineering Design. – 10th ed. – New York : McGraw-Hill, 2015. – 1136 p.
18. Dowling N. E. Mechanical Behavior of Materials. – 4th ed. – Boston : Pearson, 2013. – 960 p.
19. Oberg E., Jones F. D., Horton H. L., Ryffel H. H. Machinery's Handbook. – 30th ed. – New York : Industrial Press, 2016. – 3000 p.
20. Callister W. D., Rethwisch D. G. Materials Science and Engineering: An Introduction. – 9th ed. – Hoboken : Wiley, 2014. – 992 p.
21. Ковальчук М. В., Білик С. І. Технологія машинобудування. Заготовки : навч. посіб. – Львів : Львівська політехніка, 2015. – 368 с.
22. Маслов Я.В., Кухар Д.А., Савуляк В.В. Вплив топології та матеріалу корпусних деталей на напружено-деформований стан і втомну довговічність: тези доповідей /Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2026), м. Вінниця, 20–26 черв. 2026 р. — Вінниця : ВНТУ, 2026. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2026/paper/view/26858/22059>
23. ISO 76:2006. Rolling bearings – Static load ratings. – Geneva : ISO, 2006.
24. ANSYS® Academic Research Mechanical User's Guide. – Canonsburg, PA : ANSYS Inc., 2022.
25. ANSYS® Workbench Theory Guide. – Canonsburg, PA : ANSYS Inc., 2022.
26. Дусанюк Ж.П. Методичні вказівки до виконання контрольних робіт з дисципліни "Проектування механоскладальних дільниць та цехів " для студентів заочної форми навчання спеціальностей "Технологія машинобудування" та "Менеджмент організацій машинобудування" / Ж.П. Дусанюк, С.В. Дусанюк – Вінниця: ВДТУ, 2002 – 58 с.

27. Добрянський С.С., Малафєєв Ю.М., Пуховський Є.С. Проектування і виробництво заготовок / підручник. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 353 с.
28. Технологічні основи машинобудування. [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С.С. Добрянський, Ю.М. Малафєєв; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.
29. Технологія машинобудування. Курсове проектування : навчальний посібник. / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, В. П. Пурдик. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 123 с.
30. Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні [Текст] : практикум / Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський, В. В. Савуляк, О. В. Сердюк. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 148 с.
31. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень [Текст] : навчальний посібник / В. В. Кавецький, І. В. Причєпа, Л. О. Нікіфорова. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 137 с.
32. Кавецький В. В., Козловський В. О. Економічне обґрунтування інноваційних рішень в машинобудуванні. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень в машинобудуванні [Текст] : навчальний посібник / В. В. Кавецький, В. О. Козловський. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 100 с.

ДОДАТКИ

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Дільниця механічної обробки деталі типу «Корпус 12М»

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ кафедра технологій та автоматизації машинобудування
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism (КП1) 14,41 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту.
- У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- У роботі виявлено ознаки академічного плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

| | |
|------------------------------|----------|
| _____ | _____ |
| (прізвище, ініціали, посада) | (підпис) |
| _____ | _____ |
| (прізвище, ініціали, посада) | (підпис) |

Особа, відповідальна за перевірку _____ Сердюк О.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

| | |
|----------------|------------------------------|
| Керівник _____ | _____ <u>Савуляк В.В.</u> |
| (підпис) | (прізвище, ініціали, посада) |
| Здобувач _____ | _____ <u>Маслов Я.В.</u> |
| (підпис) | (прізвище, ініціали) |

Додаток А
Технічне завдання

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

зав. кафедри ТАМ

д.т.н., проф. Л.Г.Козлов

(підпис)

« ____ » _____ 2025 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на магістерську кваліфікаційну роботу
ДІЛЬНИЦЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС 12М»
08-64.МКР.07.00.000.ТЗ

Керівник роботи: к.т.н., доцент каф. ТАМ

Савуляк В.В.

« ____ » _____ 2025 р.

Виконавець: студент 2 курсу, групи 1ПМ-20м

спеціальності 131 – «Прикладна механіка»

Маслов Я.В.

« ____ » _____ 2025 р.

Вінниця ВНТУ 2025

1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи:

а) актуальність розробки обумовлена тим, що в сучасних умовах розвитку машинобудування 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) Метою магістерської роботи є проектування дільниці механічної обробки корпусної деталі «Корпус 12М» з обґрунтуванням технології виготовлення, параметрів працездатності деталі та економічної доцільності її виробництва;

б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

3. Джерела розробки для виконання МКР

Джерела розробки: завдання на магістерську кваліфікаційну роботу, дане технічне завдання, довідникова та технічна література, креслення деталі «Корпус 12М» з сплаву Ал-8 (мас 0,6 кг);

- річна програма випуску розрахункового представника – 5500 шт.;

4. Вимоги до виконання МКР

МКР повинно використовувати математичні моделі, схеми та рішення, адекватність яких підтверджена попередніми дослідженнями, обґрунтованими висновками, експериментальними даними.

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).

Додаток Б
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
ДІЛЬНИЦЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС
12М»

5. Етапи МКР та очікувані результати

| № етапу | Назва етапу | Термін виконання | | Очікувані результати |
|---------|---|------------------|------------|--|
| | | початок | кінець | |
| 1 | Основні теоретичні та практичні дослідження проведені попередниками | 10.10.2025 | 30.11.2025 | Формування задачі досліджень, розділ 1 |
| 2 | Методика теоретичних (експериментальних) досліджень об'єкту вивчення | 10.10.2025 | 1.12.2025 | Об'єкт дослідження, розділ 1 |
| 3 | Математичне моделювання та аналіз результатів дослідження | 30.10.2025 | 3.12.2025 | розділ 2, публікація результатів |
| 4 | Підготовка економічної частини | 10.10.2025 | 30.05.2025 | розділ 3, апробація |
| 5 | Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу та презентації | 1.12.2025 | 5.12.2025 | пояснювальна записка |

6 Економічні показники: термін окупності; економічний ефект.

7. Матеріали, що подаються до захисту МКР

Пояснювальна записка МКР і ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту МКР на кафедрі, відзив наукового керівника, відзив опонента, анотації до МКР українською та іноземною мовами, довідка про відповідність оформлення МКР діючим вимогам, довідка про результати перевірки на плагіат.

8. Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів науково-дослідницької частини МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Представлення МКР на захист відбувається після проходження попереднього захисту на засіданні кафедральної комісії та її позитивного висновку. Готова робота, з усіма

необхідними компонентами і підписами подається на кафедри за два дні до захисту. Захист МКР відбувається на засіданні Державної екзаменаційної комісії, затвердженої наказом ректора.

9. 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, 2011р. та на основі ДСТУ 3008:2015.

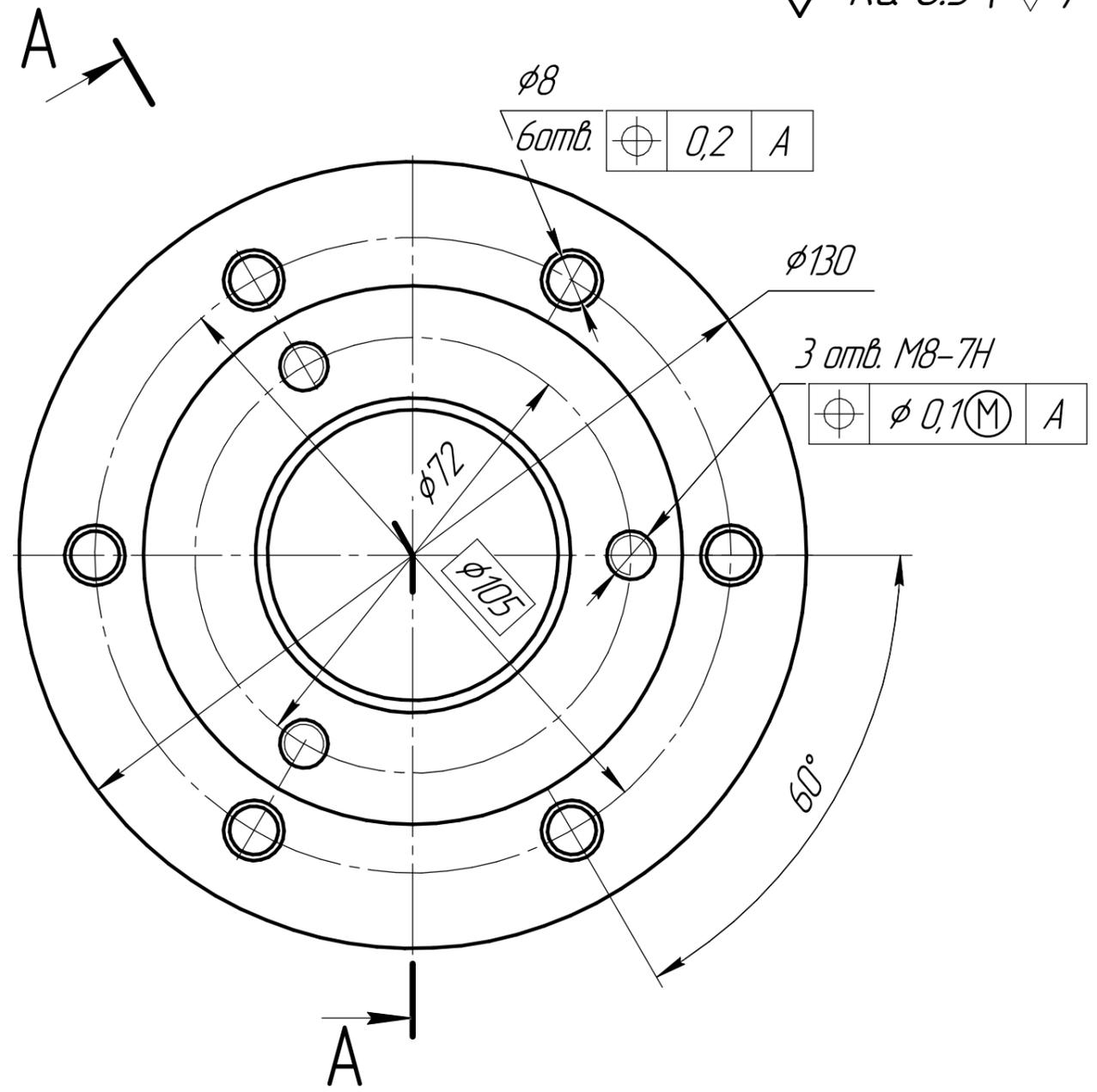
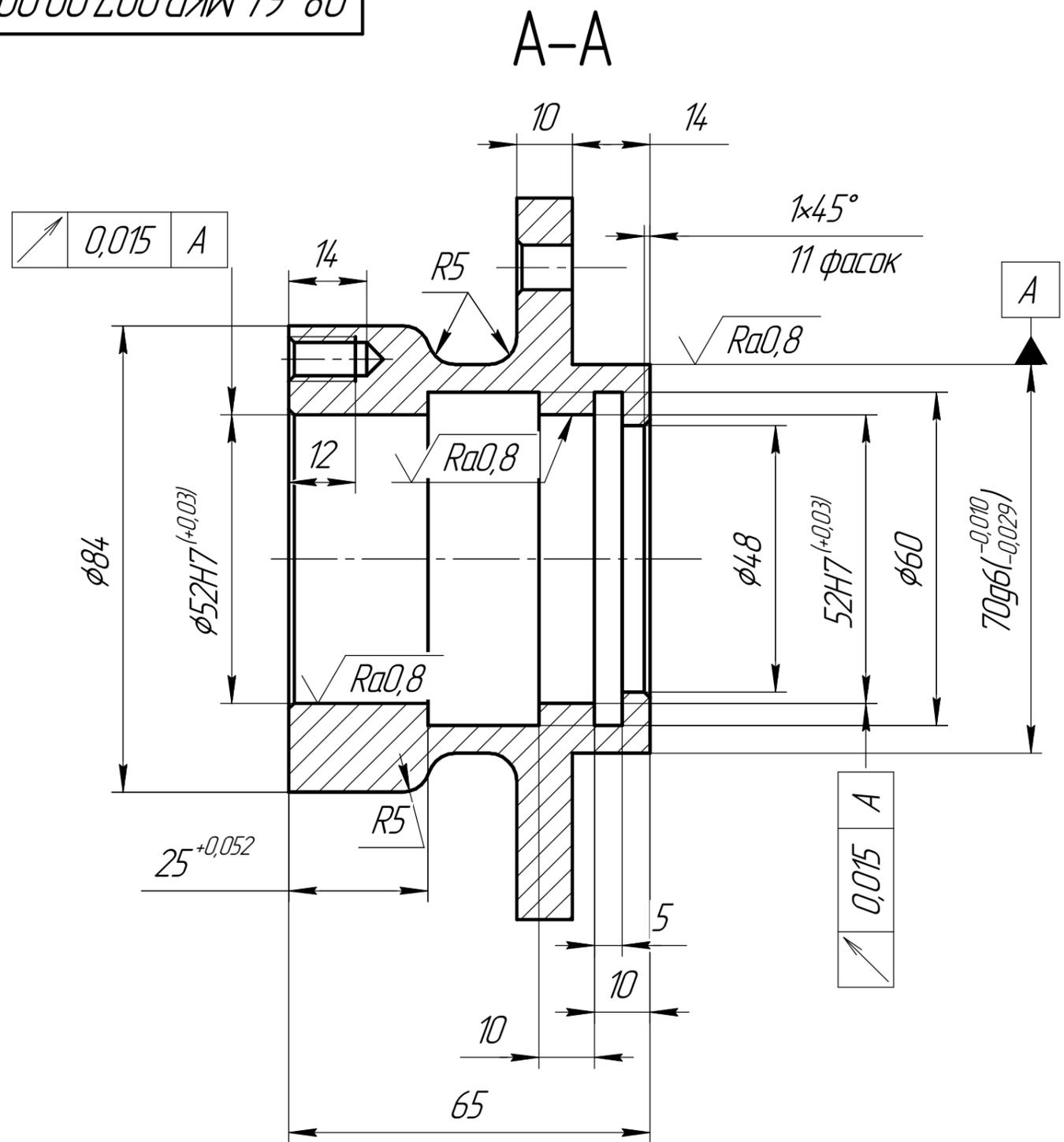
10. Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом

Вимоги відсутні.

Додаток Б
Графічна частина

08-64.МКР.007.00.001

$\sqrt{Ra\ 6.3}$ (✓)



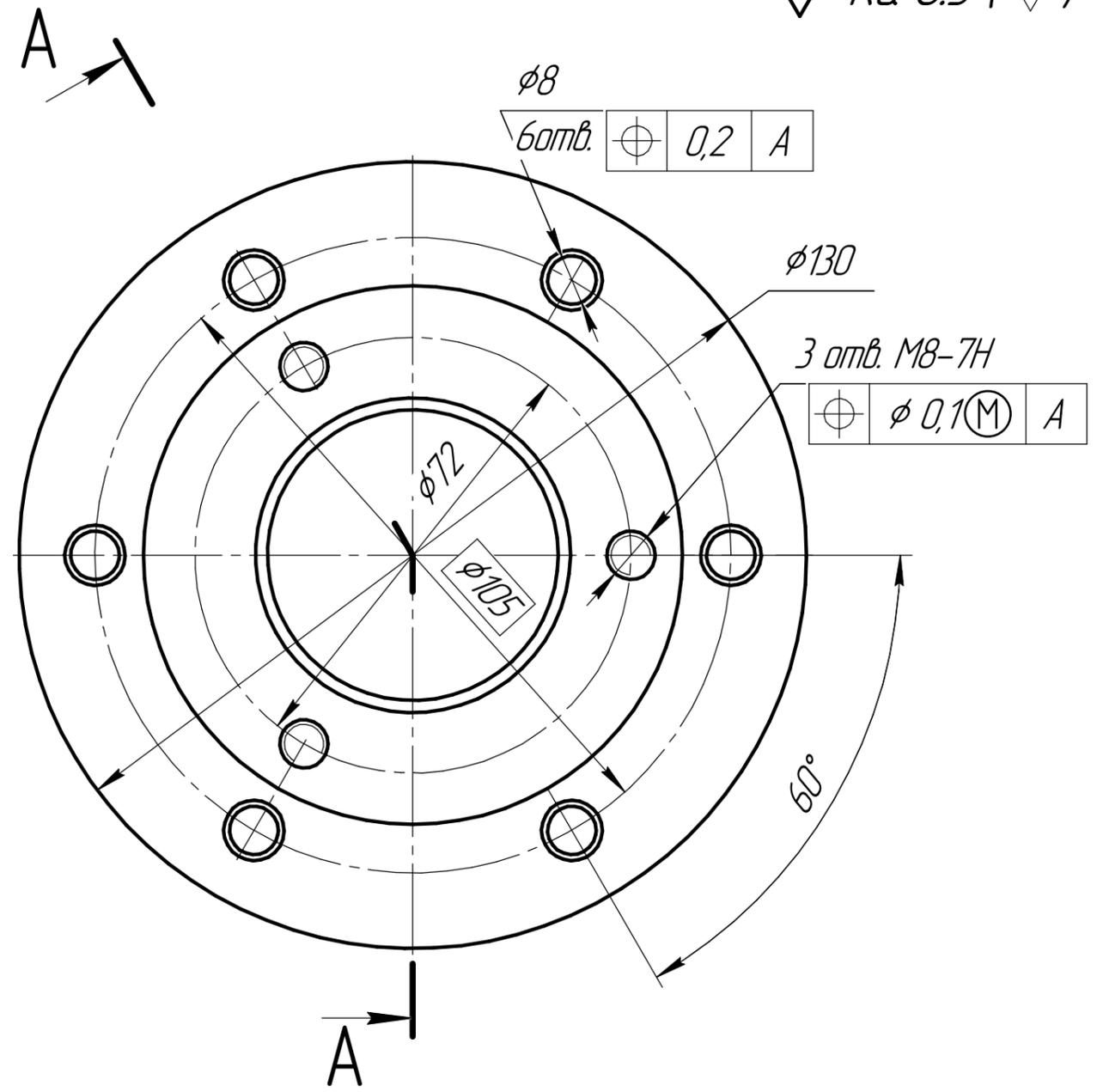
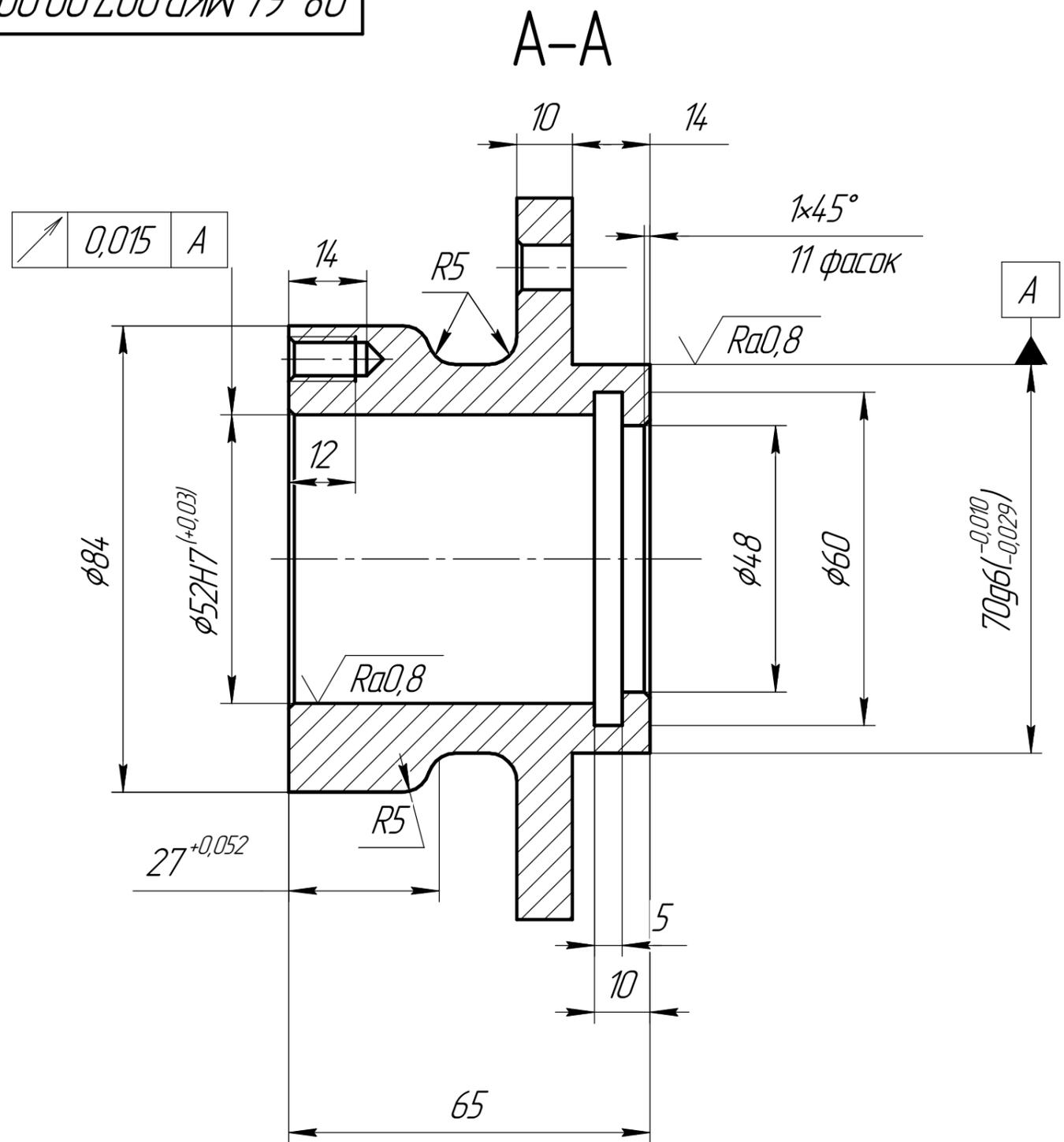
Перв. примен.
Справ. №
Подп. и дата
Изм. № дробл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Изм. № подл.

1. Не вказані радіуси 0,5 мм
2. Невказані граничні відхилення по H14, h14, $\pm \frac{IT14}{2}$

| | | | | | | | | |
|----------|------|--------------|-------|-----------------------------|---|---------------------|--------|---------|
| | | | | 08-64.МКР.007.00.001 | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Корпус 12М (базовий варіант) | Лист | Масса | Масштаб |
| Разраб. | | Маслов Я.В. | | 02.12.25 | | | 0,6 | 1:1 |
| Проб. | | Савуляк В.В. | | 02.12.25 | | Лист | Листов | 1 |
| Т.контр. | | | | | А/І-8 ГОСТ 1583-93 | ВНТУ зр. 1ПМ-24М | | |
| Н.контр. | | Сердюк О.В. | | 02.12.25 | Копировал | | | |
| Утв. | | Козлов Л.Г. | | 02.12.25 | Формат А3 | | | |

08-64.МКР.007.00.001

$\sqrt{Ra\ 6.3}$ (✓)



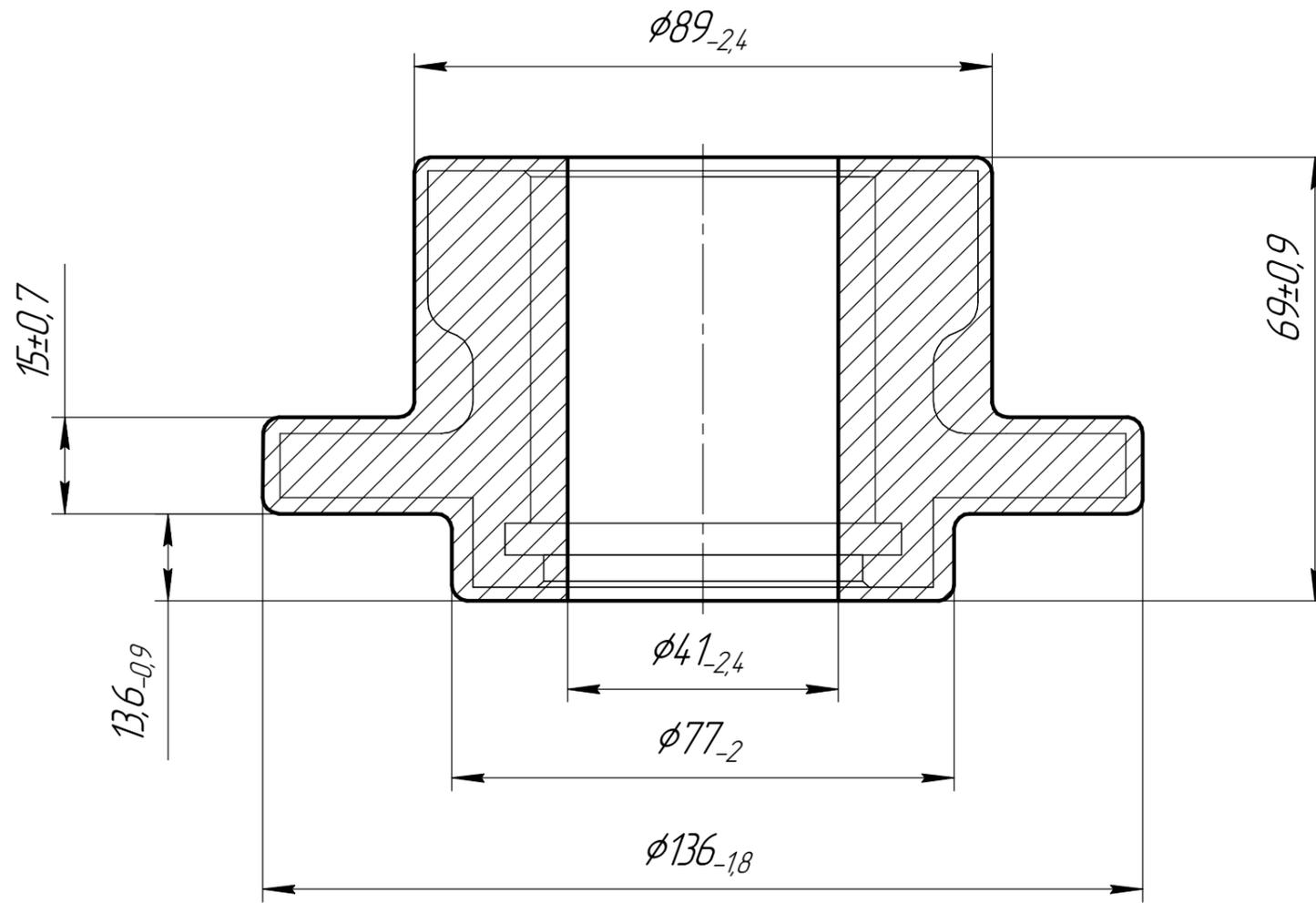
| | |
|---------------|--|
| Перв. примен. | |
| Справ. № | |
| Подп. и дата | |
| Инд. № дюрл. | |
| Взам. инв. № | |
| Подп. и дата | |
| Инд. № подл. | |

1. Не вказані радіуси 0,5 мм
 2. Невказані граничні відхилення по H14, h14, $\pm \frac{IT14}{2}$

| | | | | | | | | |
|----------|------|--------------|-------|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------|--------|---------|
| | | | | 08-64.МКР.007.00.001 | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Корпус 12М (вдосконалений) | Лист | Масса | Масштаб |
| Разраб. | | Маслов Я.В. | | 02.12.25 | | | 1,8 | 1:1 |
| Проб. | | Савуляк В.В. | | 02.12.25 | | Лист | Листов | 1 |
| Т.контр. | | | | | Сталь 45Л ГОСТ 977-88 | ВНТУ зр. 1ПМ-24М | | |
| Н.контр. | | Сердюк О.В. | | 02.12.25 | Копировал Формат А3 | | | |
| Утв. | | Козлов Л.Г. | | 02.12.25 | | | | |

08-64.МКР.007.00.002

✓ Ra 40 (✓)



1. Точність виливків 10-7-14-10, Зм 0,32 ГОСТ 1583-93.
2. Невказанні радіуси заокруглень 16 мм.
3. Невказані формувальні нахил 0°34'-1°36'.

4. Твердість матеріалу заготовки НВ 50-60.

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--------------------------------|----------|---------|
| | | | | | 08-64.МКР.007.00.002 | | |
| | | | | | Корпус 12М | | |
| | | | | | (піщано-глиниста форма) | | |
| | | | | | Лист | Масса | Масштаб |
| | | | | | | 3,37 | 1:1 |
| | | | | | Лист | Листов 1 | |
| | | | | | Сталь 45Л ГОСТ 977-88 | | |
| | | | | | ВНТУ | | |
| | | | | | ст. гр. 1ПМ-24М | | |
| | | | | | Формат А3 | | |

Копировал

Формат А3

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инд. № дюрл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инд. № подл.

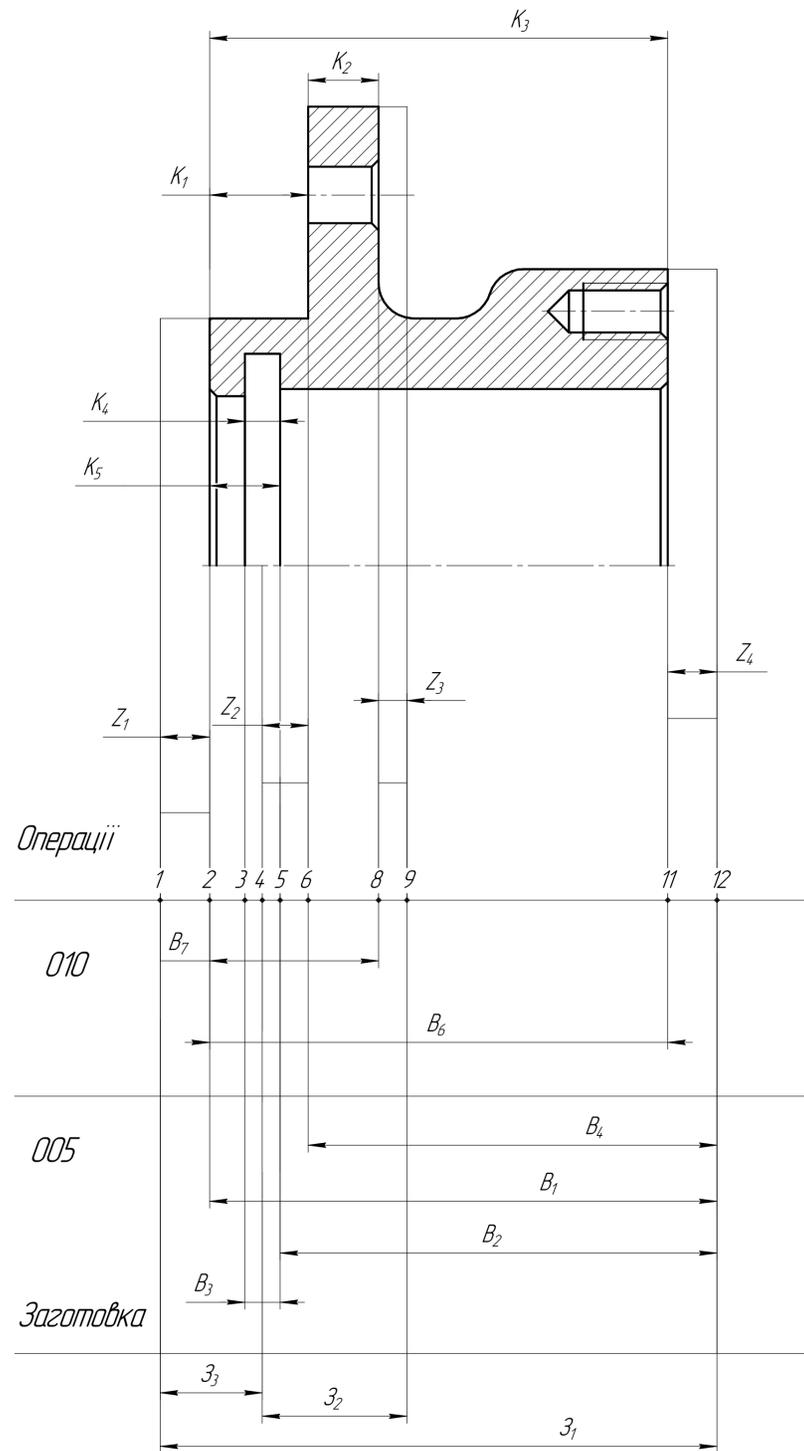
Маршрут механічної обробки (модернізований)

| № | Назва і зміст операції | Ескіз обробки зі схемою установки | Тип і модель верстата |
|-----|---|-----------------------------------|---|
| 005 | <p>Токарна з ЧПК</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити, закріпити заготовку. 2. Підрізати поверхню 1 однократно. 2. Точити поверхню 2 попередньо. 3. Підрізати торець 3 однократно. 4. Точити поверхню 4 однократно. 5. Точити поверхню 2 попередньо. 6. Точити поверхню 2 попередньо. 7. Точити поверхню 2 остаточно. 8. Точити поверхню 5 однократно. 9. Точити канавку 6 однократно. 10. Зняти заготовку. | | <p>Токарний патронно-центрувальний верстат з ЧПК МК6801Ф3</p> |
| 010 | <p>Токарна з ЧПК</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити, закріпити заготовку. 2. Точити поверхню 1 попередньо. 3. Точити поверхню 1 остаточно. 4. Підрізати торець 2 попередньо. 5. Підрізати торець 2 остаточно. 6. Підрізати торець 3 попередньо. 7. Точити поверхню 3 остаточно. 8. Точити поверхню 4 попередньо. 9. Точити поверхню 4 попередньо. 10. Точити поверхню 4 попередньо. 11. Точити поверхню 4 остаточно. 11. Зняти заготовку. | | <p>Токарний патронно-центрувальний верстат з ЧПК МК6801Ф3</p> |
| 015 | <p>Вертикально-фрезерна з ЧПК</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити, закріпити заготовку. 2. Центрувати 6 отворів 1 3. Центрувати 3 отвора 2 4. Свердлити 6 отворів 1. 5. Свердлити 3 отвори 2. 4. Зенкувати фаски в отворах 2 та 1. 5. Нарізати різь М8, 3 отворам 2. 6. Зняти деталь. | | <p>Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК 6Р13Ф3</p> |

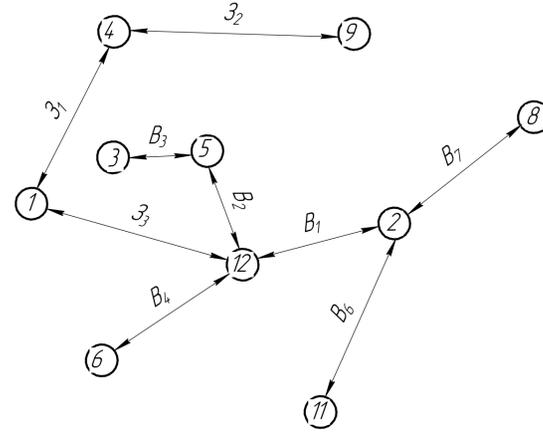
Лист № 1
Лист № 2
Лист № 3
Лист № 4
Лист № 5
Лист № 6
Лист № 7
Лист № 8
Лист № 9
Лист № 10
Лист № 11
Лист № 12
Лист № 13
Лист № 14
Лист № 15
Лист № 16
Лист № 17
Лист № 18
Лист № 19
Лист № 20

| | | | |
|----------------------------|--------------|-------|-----------------|
| 08-64.МКР.007.00.100 П/1 | | | |
| Лист | № док. | Лист | Дата |
| Разраб. | Маслов Я.В. | 02/25 | |
| Проб. | Сабуняк В.В. | 02/25 | |
| Т.контр. | | | |
| Н.контр. | Сердюк О.В. | 02/25 | |
| Этп. | Козлов А.Г. | 02/25 | |
| Маршрут механічної обробки | | | Лист |
| | | | Листов 1 |
| | | | ВНТУ |
| | | | ст. гр. 11М-24М |
| | | | Формат А1 |

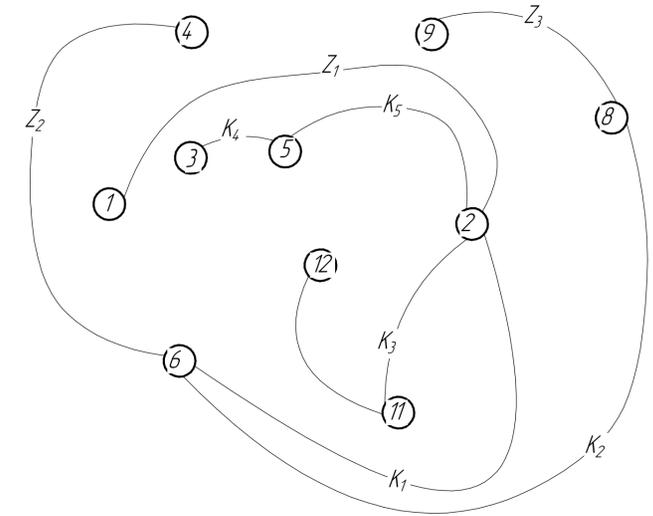
Розмірна схема технологічного процесу



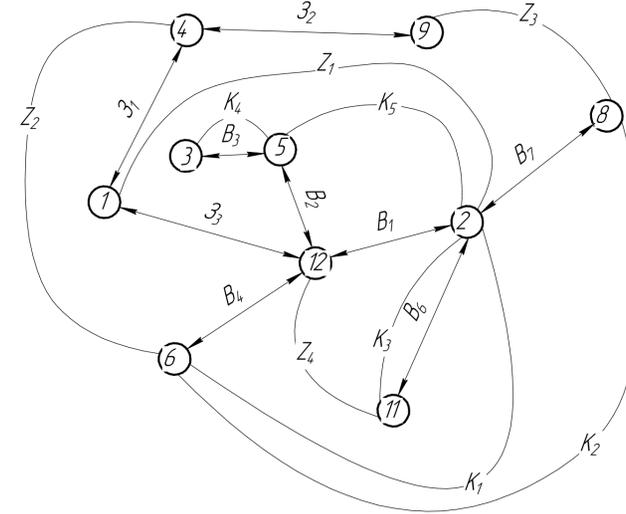
Похідний граф



Вихідний граф



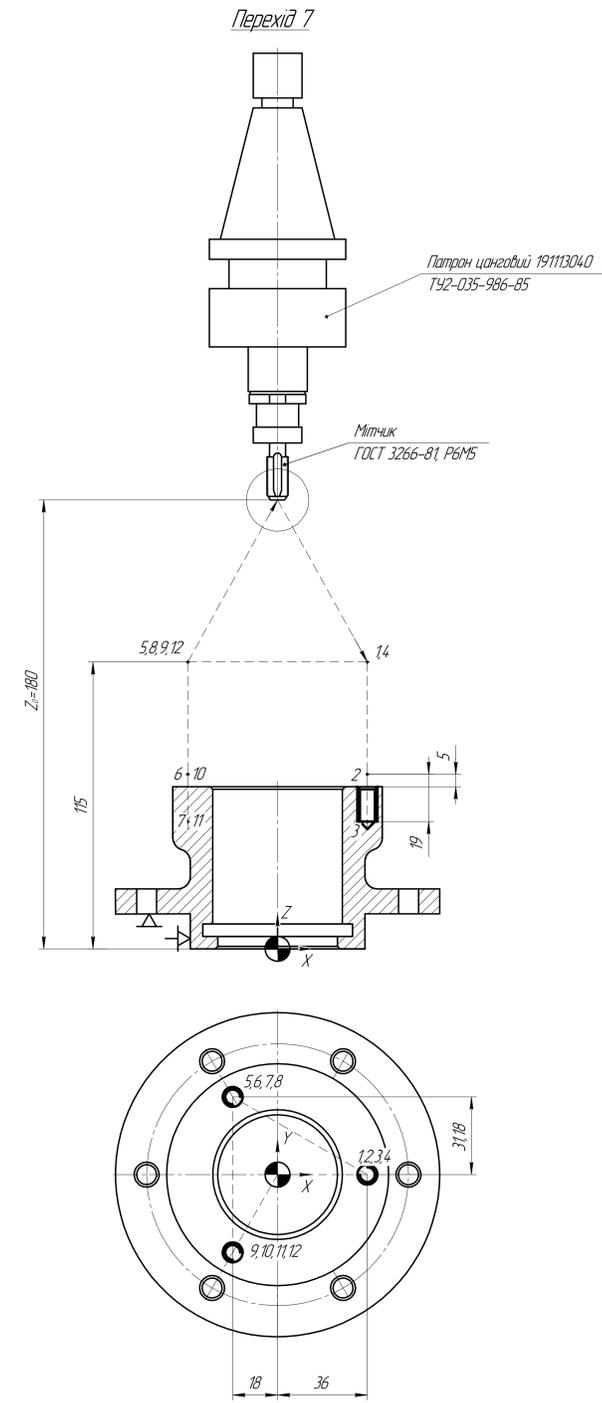
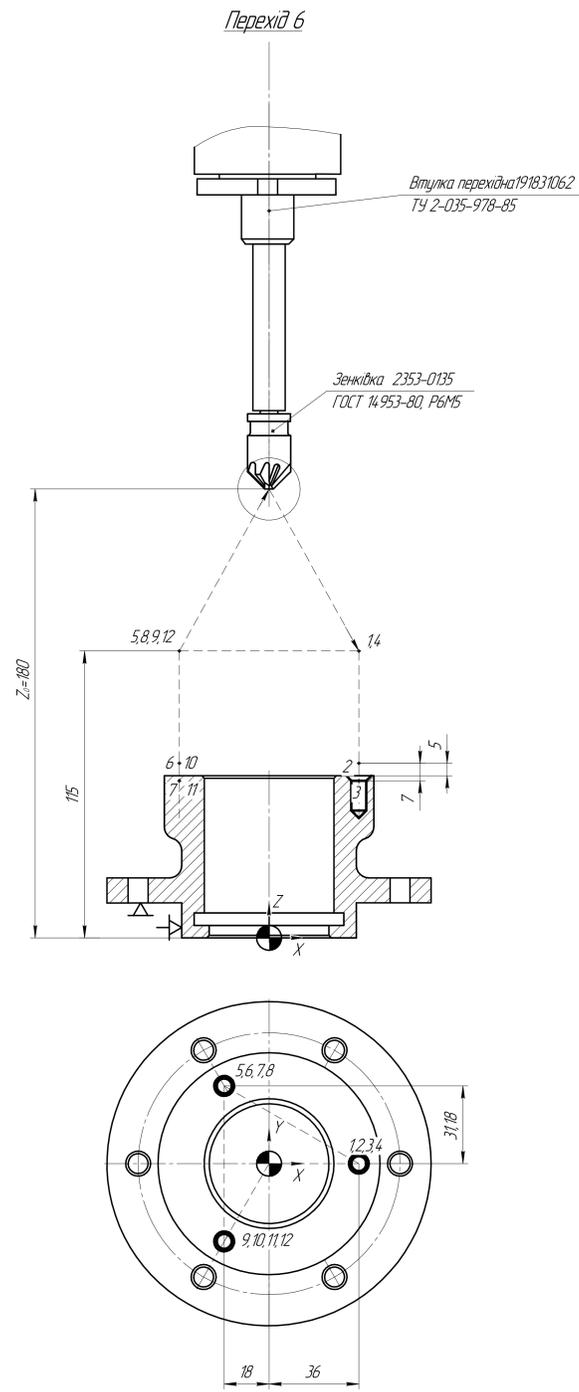
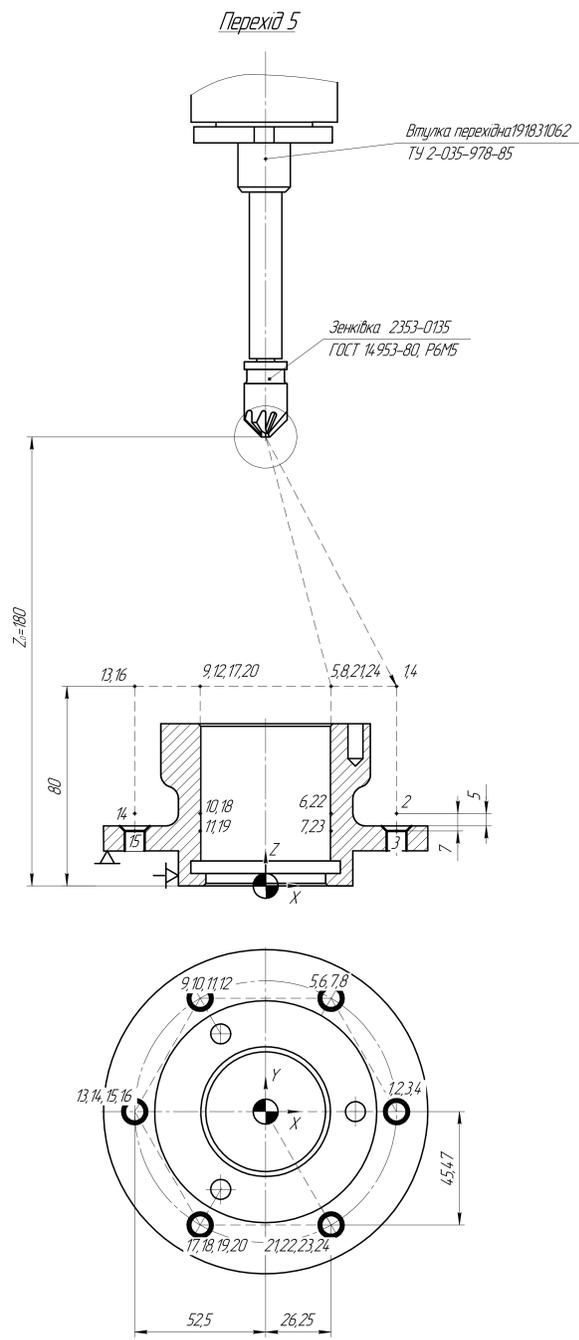
Суміщений граф

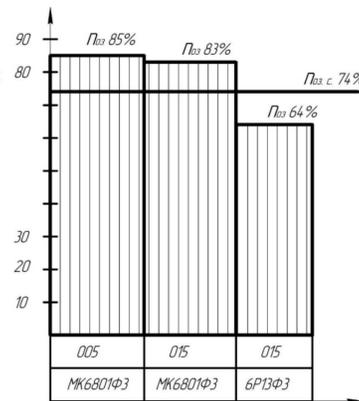
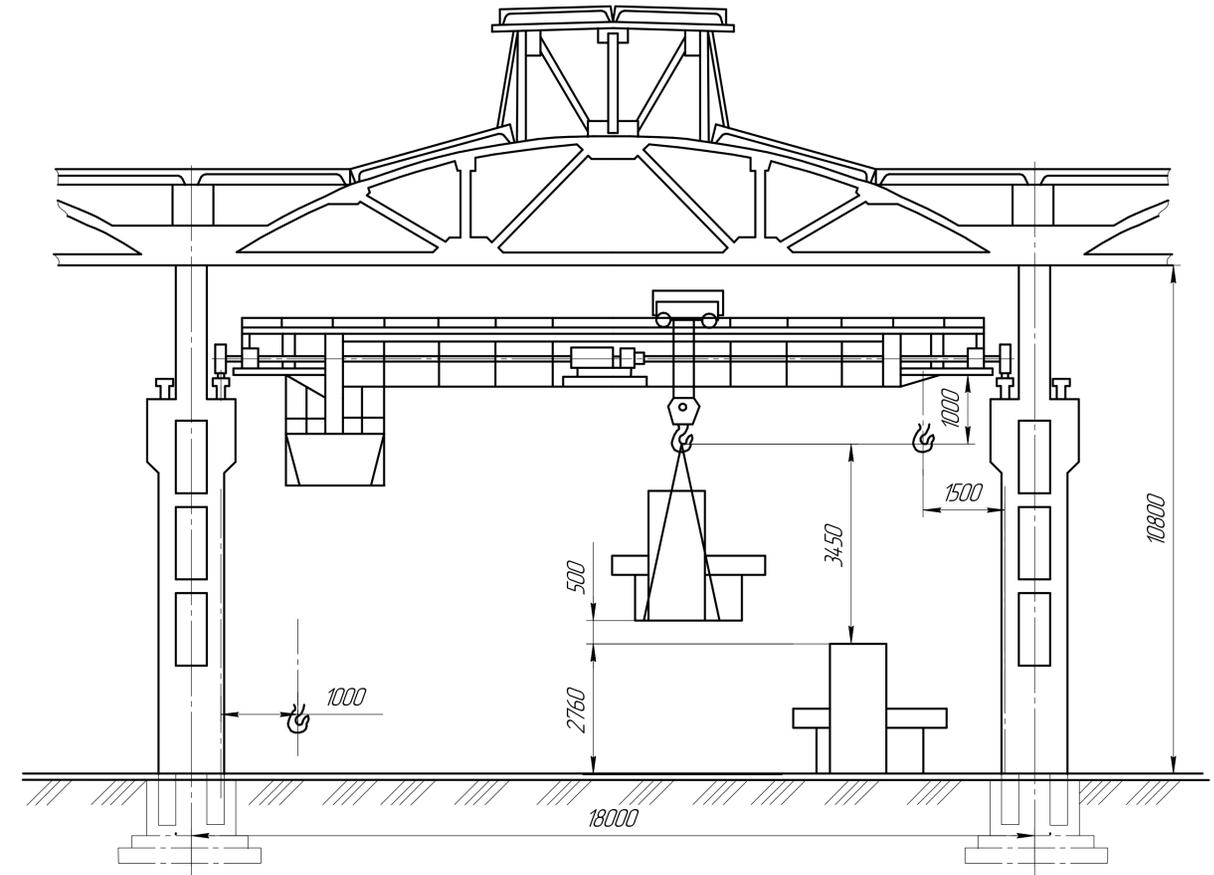
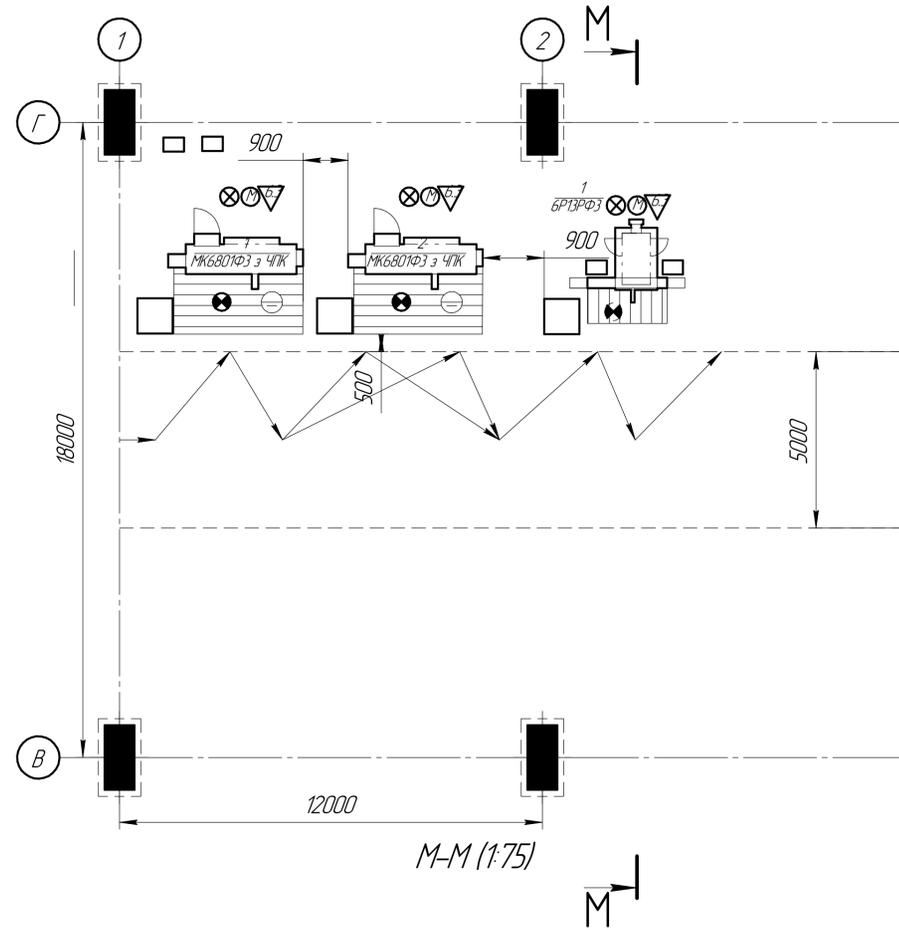


Таблиця технологічних розмірів, допусків і розмірів заготовки

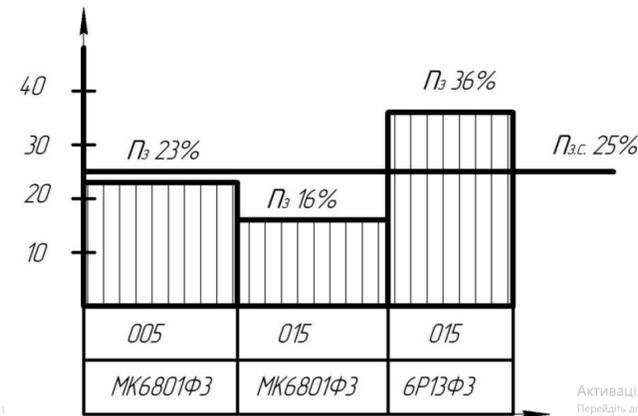
| Позначення розміру | Граничні значення розмірів | | Допуск, мм | Значення розміру у технологічному документі, мм | Значення розміру на кресленні вихідної заготовки, мм |
|--------------------|----------------------------|-------------------------|------------|---|--|
| | Мінімальний розмір, мм | Максимальний розмір, мм | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| B_1 | 65,36 | 66,1 | 0,74 | $65,36^{+0,74}$ | — |
| B_2 | 55,36 | 55,72 | 0,36 | $55,36^{+0,36}$ | — |
| B_3 | 5 | 5,3 | 0,3 | $5^{+0,3}$ | — |
| B_4 | 51,36 | 51,79 | 0,43 | $51,36^{+0,43}$ | — |
| B_6 | 64,26 | 65 | 0,74 | $65_{-0,74}$ | — |
| B_7 | 23,21 | 24 | 0,79 | $24_{-0,79}$ | — |
| B_8 | 39,208 | 40 | 0,792 | $40_{-0,792}$ | — |
| Z_1 | 66,46 | 68,66 | 2,2 | — | $67,6 \pm 1,1$ |
| Z_2 | 11,84 | 13,04 | 1,2 | — | $13,04_{-1,2}$ |
| Z_3 | 13,34 | 14,74 | 1,4 | — | $14,74_{-1,4}$ |

| | | | | | | |
|---|--------------|--------|-------|-----------|---------|---------|
| 08-64.МКР.007.00.300 П/1 | | | | Лист | Масштаб | Масштаб |
| Розмірний аналіз технологічного процесу | | | | Лист | Листов | 1 |
| Викр. | Лист | № док. | Подп. | Дата | | |
| Розроб. | Маслов Я.В. | | | 02.02.25 | | |
| Проб. | Савуляк В.В. | | | 02.02.25 | | |
| Т.контр. | | | | | | |
| Н.контр. | Сердюк О.В. | | | 02.02.25 | | |
| Утв. | Козлов Л.Г. | | | 02.02.25 | | |
| ВНТУ | | | | ІПМ-24м | | |
| Формат А1 | | | | Копірабат | | |





Графік використання обладнання за основним часом



Графік завантаження обладнання

Технічна характеристика ділянки

- Площа ділянки (м²)
виробнича - 800м²
- Кількість працюючих (чол)
робітників основних - 3
допоміжних - 2
ІТР - 2
МОП - 1
службовців - 1
- Верстатів - 3

| 08-64.МКР.007.00.000 В3 | | | | Лист | Масштаб |
|-------------------------|--------------|-------|----------|----------------------------|----------|
| Взам. Лист | № док.м. | Підп. | Дата | Ділянка механічної обробки | 1:100 |
| Розроб. | Маслав Я.В. | | 02.02.25 | | |
| Проб. | Савуляк В.В. | | 02.02.25 | Лист | Листів 1 |
| І.контр. | | | | ВНТУ, ст. 1ПМ-24М | |
| Н.контр. | Сердюк О.В. | | 02.02.25 | Копірабел | |
| Утв. | Козлов Л.Г. | | 02.02.25 | Формат А1 | |