

Вінницький національний технічний університет  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет машинобудування та транспорту  
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування  
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

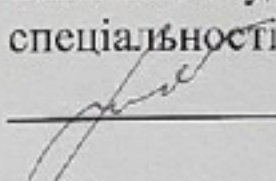
## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

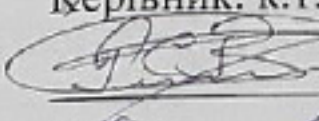
«Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки  
деталі типу “Корпус підшипників 7-011.05.001”»

08-64.МКР.018.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2-го курсу, гр. 2ПМ-23м  
спеціальності 131 – «Прикладна механіка»

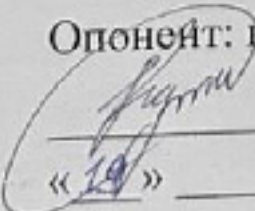
  
Артур АНДРЕЄВ

Керівник: к.т.н., доцент каф. ТАМ

  
Сергій РЕПІНСЬКИЙ

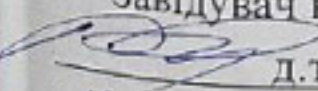
«18» 12 2024 р.

Опонець: к.т.н., доцент каф. АТМ

  
Володимир КУЖЕЛЬ

«18» 12 2024 р.

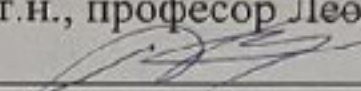
Допущено до захисту  
Завідувач кафедри ТАМ

  
д.т.н., проф. Леонід КОЗЛОВ

«19» 12 2024 р.

Вінниця ВНТУ – 2024 рік

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., професор Леонід КОЗЛОВ  
  
« 24 » 09 2024 р.

### ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Андрееву Артуру Ігоровичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення технологічного процесу механічної обробки  
заготовки деталі типу «Корпус підшипників 7-011.05.001»

керівник роботи Репінський Сергій Володимирович, к.т.н., доцент,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від « 17 » 09 2024 року № 310.

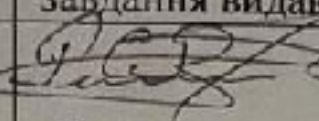
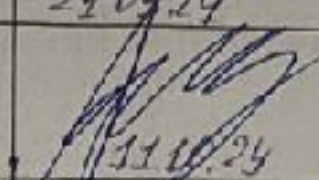
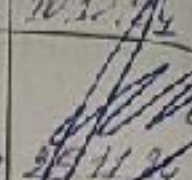
2. Строк подання студентом роботи: 17.12.2024р.

3. Вихідні дані до роботи: креслення деталі «Корпус підшипників 7-011.05.001»;  
базовий маршрут механічної обробки; річна програма випуску 3 200 шт.; довідкова  
література

4. Зміст текстової частини: анотації; вступ; огляд технології виготовлення деталей  
типу «Корпус»; удосконалення технологічного процесу механічної обробки деталі  
типу «Корпус підшипників 7-011.05.001»; проектування верстатного пристосування  
для багатоцільового верстата з ЧПК; розрахунок елементів дільниці механічної  
обробки деталі типу «Корпус підшипників 7-011.05.001»; економічне обґрунтування  
удосконалення технологічного процесу механічної обробки деталі типу «Корпус  
підшипників 7-011.05.001»; висновки; список використаних джерел; додатки

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):  
деталь «Корпус підшипників 7-011.05.001» (A2); корпус підшипників (заготовка)  
(A2); маршрут механічної обробки (A1); розмірний аналіз технологічного процесу  
(A1); карта налагоджень (операція 010) (A1); пристосування верстатне (A1);  
розмірний аналіз конструкції пристосування на точність (A1); план дільниці  
механічної обробки (A1); техніко-економічні показники (A1)

## 6. Консультанти розділів роботи

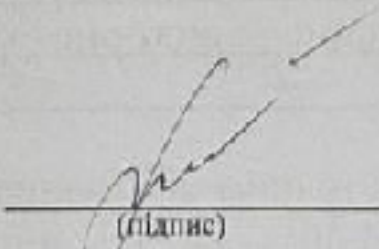
| Розділ             | Прізвище, ініціали та посада консультанта   | Підпис, дата                                                                                    |                                                                                                 |
|--------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                    |                                             | завдання видав                                                                                  | завдання виконав                                                                                |
| Спеціальна частина | Сергій РЕПІНСЬКИЙ,<br>доцент кафедри ТАМ    | <br>24.09.24 | <br>10.12.24 |
| Економічна частина | Олександр ЛЕСЬКО,<br>завідувач кафедри ЕПВМ | <br>11.10.24 | <br>25.11.24 |

7. Дата видачі завдання « 24 » 09 2024 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

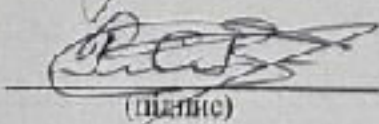
| № з/п | Назва етапів МКР                                                                    | Строк виконання етапів МКР | Прим. |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------|
| 1     | Визначення об'єкту та предмету дослідження                                          | 25.10.2024                 |       |
| 2     | Аналіз відомих рішень, постановка задач                                             | 25.10.2024                 |       |
| 3     | Техніко-економічне обґрунтування методів досліджень                                 | 30.10.2024                 |       |
| 4     | Розв'язання поставлених задач                                                       | 20.11.2024                 |       |
| 5     | Формулювання висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів | 22.11.2024                 |       |
| 6     | Виконання розділу «Економічна частина»                                              | 25.11.2024                 |       |
| 7     | Попередній захист МКР                                                               | 10.12.2024                 |       |
| 8     | Перевірка роботи на плагіат                                                         | 14.12.2024                 |       |
| 9     | Нормоконтроль МКР                                                                   | 16.12.2024                 |       |
| 10    | Опонування МКР                                                                      | 18.12.2024                 |       |
| 11    | Захист МКР                                                                          | 23.12.2024                 |       |

Студент

  
(підпис)

Артур АНДРЕЄВ

Керівник роботи

  
(підпис)

Сергій РЕПІНСЬКИЙ

## АНОТАЦІЯ

УДК 621.9

Андреев А. І. Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипників 7-011.05.001». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 131 – прикладна механіка, освітня програма – технології машинобудування. Вінниця : ВНТУ, 2024. 136 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 24 назв; рис.: 28; табл. 41.

У магістерській кваліфікаційній роботі удосконалено технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипників 7-011.05.001». У загальній частині роботи проведено огляд технологій виготовлення деталі типу «Корпус», обґрунтована доцільність удосконалення існуючого технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипників 7-011.05.001».

В технологічній частині виконано варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки; розроблено варіанти маршруту механічної обробки деталі типу «Корпус підшипників 7-011.05.001» з використанням верстатів з ЧПК та вибрано кращий з них за мінімумом приведених витрат; проведено розмірно-точнісне моделювання удосконаленого технологічного процесу; визначено режими різання та технічні норми часу; спроектовано верстатне пристосування для багатоцільового верстата з ЧПК; встановлено вимоги до ланки замикання під час розмірного аналізу конструкції верстатного пристосування; розраховано приведену програму, кількість обладнання та працівників для удосконаленої ділянки механічної обробки.

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

Ключові слова: технологічний процес, механічна обробка, заготовка, деталь, верстатний пристрій, ділянка механічної обробки.

## ABSTRACT

Andreiev A. I. Improvement of the technological process of mechanical processing of the workpiece of the type «Bearing housing 7-011.05.001». Master's qualification work in specialty 131 – applied mechanics, educational program – mechanical engineering technology. Vinnytsia : VNTU, 2024. 136 p.

In Ukrainian language. Bibliographer: 24 titles; fig.: 28; tabl. 41.

In the master's qualification work, the technological process of machining a workpiece of the type «Bearing housing 7-011.05.001» was improved. In the general part of the work, a review of the technologies for manufacturing a workpiece of the type "Housing" was conducted, the feasibility of improving the existing technological process of machining a workpiece of the type «Bearing housing 7-011.05.001» was substantiated.

In the technological part, a variant selection and a feasibility study of the method of manufacturing the workpiece were performed; variants of the route for machining a workpiece of the type «Bearing housing 7-011.05.001» using CNC machines were developed and the best one was selected based on the minimum reduced costs; dimensional and precision modeling of the improved technological process was performed; cutting modes and technical time standards were determined; a machine tool fixture for a multi-purpose CNC machine tool was designed; requirements for the locking link during the dimensional analysis of the design of the machine tool fixture were established; The given program, the number of equipment and workers for the improved machining section were calculated.

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

Key words: technological process, mechanical processing, workpiece, part, machine tool, mechanical processing section.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ВСТУП</b>                                                                                                             | <b>7</b>  |
| <b>1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «КОРПУС»</b>                                                             | <b>9</b>  |
| 1.1 Характеристика об'єкту виробництва, його службове призначення та технічні умови на виготовлення                      | 9         |
| 1.2 Загальний огляд існуючих технологічних процесів обробки деталі типу «Корпус»                                         | 12        |
| 1.3 Вибір та критичний аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі                                        | 13        |
| 1.4 Характеристика удосконалених технологічних процесів                                                                  | 14        |
| <b>2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ПІДШИПНИКІВ 7-011.05.001»</b> | <b>17</b> |
| 2.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі                                                                         | 17        |
| 2.2 Попереднє визначення типу виробництва і форми організації робіт                                                      | 20        |
| 2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки                                  | 27        |
| 2.4 Вибір методів, послідовності та числа переходів для обробки окремих поверхонь                                        | 39        |
| 2.5 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чорнових та чистових технологічних баз                                 | 41        |
| 2.6 Розробка варіантів маршруту механічної обробки удосконаленого технологічного процесу                                 | 44        |
| 2.7 Аналіз техніко-економічних показників варіантів технологічних процесів за мінімумом приведених витрат                | 47        |
| 2.8 Розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу                                                                 | 52        |
| 2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів                                                                      | 60        |
| 2.10 Призначення режимів різання                                                                                         | 69        |
| 2.11 Математичне моделювання технологічного процесу та оптимізація режимів різання                                       | 69        |
| 2.12 Визначення технічних норм часу                                                                                      | 71        |

|                                                                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>3 ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ БАГАТОЦІЛЬОВОГО ВЕРСТАТА З ЧПК</b>                                                                             | 78  |
| 3.1 Початкові дані для проектування пристосування                                                                                                              | 78  |
| 3.2 Варіантний вибір схем базування та установки заготовки                                                                                                     | 78  |
| 3.3 Розробка конструктивної схеми пристосування                                                                                                                | 79  |
| 3.4 Розрахунок зусилля закріплення                                                                                                                             | 83  |
| 3.5 Аналіз похибки установки заготовки в пристосуванні                                                                                                         | 88  |
| 3.6 Розмірне моделювання та аналіз конструкції пристосування на точність                                                                                       | 93  |
| 3.7 Силловий розрахунок пристосування                                                                                                                          | 97  |
| 3.8 Опис роботи пристосування                                                                                                                                  | 100 |
| <b>4 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ПІДШИПНИКІВ 7-011.05.001»</b>                                              | 101 |
| 4.1 Розрахунок приведеної програми                                                                                                                             | 101 |
| 4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження                                                                                                 | 105 |
| 4.3 Побудова графіків завантаження обладнання                                                                                                                  | 107 |
| 4.4 Розрахунок кількості працівників на дільниці                                                                                                               | 108 |
| <b>5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ПІДШИПНИКІВ 7-011.05.001»</b>                | 111 |
| 5.1 Оцінювання експертами комерційного потенціалу розробки                                                                                                     | 111 |
| 5.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипників 7-011.05.001» | 118 |
| 5.3 Розрахунок виробничої собівартості одиниці продукції                                                                                                       | 124 |
| 5.4 Розрахунок ціни реалізації нового виробу                                                                                                                   | 127 |
| 5.5 Розрахунок величини чистого прибутку                                                                                                                       | 128 |
| 5.6 Оцінювання ефективності інноваційного рішення                                                                                                              | 129 |
| <b>ВИСНОВКИ</b>                                                                                                                                                | 132 |
| <b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>                                                                                                                              | 134 |
| Додаток А (обов'язковий). Протокол перевірки навчальної роботи                                                                                                 | 137 |
| Додаток Б (обов'язковий). Ілюстративна частина                                                                                                                 | 138 |

## ВСТУП

**Актуальність.** При проектуванні технологічних процесів (ТП) механічної обробки деталей і складанні з них механізмів і машин в теперішній час серйозна увага приділяється питанням, пов'язаних з випуском якісних виробів при високому темпі їх виробництва і оптимальної собівартості. Зазначені параметри виробів в умовах серійного виробництва досягаються за рахунок механізації і автоматизації ТП з використанням для механообробки верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК), а для збирання – механізованих і автоматизованих комплексів або ліній.

**Мета і завдання дослідження.** Метою магістерської кваліфікаційної роботи (МКР) є удосконалення технологічного процесу та ділянки механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипників 7-011.05.001».

При цьому повинні бути вирішені такі **завдання**:

- проведення огляду технології виготовлення деталей типу «Корпус»;
- техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки;
- удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипників 7-011.05.001» на основі варіантного підходу;
- розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу;
- визначення режимів різання та норм часу удосконаленого технологічного процесу;
- проектування верстатного пристосування для операції;
- розрахунок та планування удосконаленої ділянки механічної обробки;
- економічні розрахунки доцільності удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипників 7-011.05.001»;
- розробка заходів з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

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

**Предмет дослідження** – удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипників 7-011.05.001».

**Методи дослідження.** Метод теорії розмірних ланцюгів при виконанні розмірно-точнісного моделювання ТП механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипників 7-011.05.001»; метод лінійного програмування (симплекс-метод) при визначенні оптимальних режимів різання.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

- Отримав подальший розвиток алгоритм дослідження показників точності розмірів, які є ланками замикання під час розмірно-точнісного аналізу верстатного пристрою, на основі використання рівнянь, що визначають величину сумарної похибки механічної обробки та елементарних похибок.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в удосконаленні технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипників 7-011.05.001» та ділянки для його реалізації.

**Запропоновані рішення:**

- вибір оптимального варіанту заготовки деталі «Корпус підшипників 7-011.05.001» з урахуванням можливостей підприємства;
- удосконалений технологічний процес механічної обробки з використанням автоматизованого обладнання з ЧПК з його економічним обґрунтуванням;
- спроектовано верстатне пристосування для виконання переходів механічної обробки на 010 операції на багатоцільовому верстаті з ЧПК;
- при виконанні розмірно-точнісного аналізу верстатного пристрою, встановлено вимоги до показників точності розмірів, які є ланками замикання. Запропоновано послідовність встановлення цих показників на основі аналізу рівнянь, що визначають величину сумарної похибки механічної обробки та елементарних похибок;
- удосконалений план ділянки механічної обробки.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення й результати роботи доповідалися й обговорювалися на XXIV-ій Міжнародній науково-технічній конференції АС ПГП «Промислова гідравліка і пневматика» (м. Київ, 19-20 грудня 2024 р.).

## 1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «КОРПУС»

1.1 Характеристика об'єкту виробництва, його службове призначення та технічні умови на виготовлення

Деталь «Корпус підшипників 7-011.05.001» є складовою частиною конвеєра. Деталь «Корпус підшипників 7-011.05.001» 1 входить до конструкції блока ділильного конвеєра (рис. 1.1).

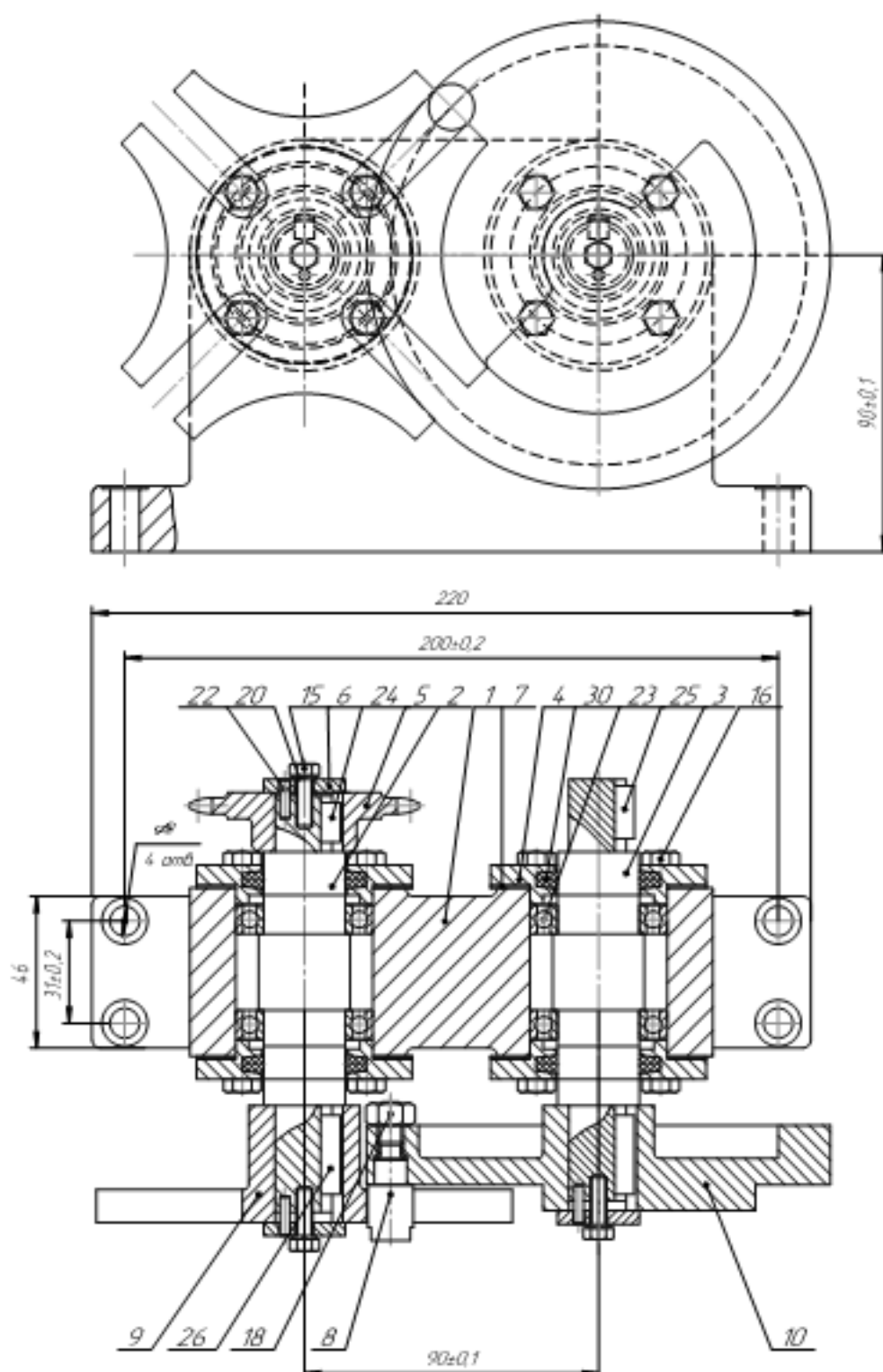


Рисунок 1.1 – Вузол «Блок ділильний»

Деталь призначена для встановлення і розташування валів 2, 3, які встановлюються на підшипники 23, при цьому підшипники 23 встановлені у

внутрішні циліндричні поверхні деталі «Корпус підшипників» 1,  $\varnothing 42H7^{(+0,025)}$ , підшипники кріпляться за допомогою кришок 4, які фіксують підшипники з торця. Потім на вал 3 встановлюється водило 10, яке закріплюється на валу 3 за допомогою шпонки 26, болта 15 і штифта 22, водило 10 з'єднано з «мальтійським хрестом» 9, за допомогою пальця 8 і гайки 18, водило слугує для передачі крутного моменту на «мальтійський хрест» 9. На вал 2 встановлюється «мальтійський хрест» 9, який закріплений на валу 2 за допомогою шпонки 26, болта 15 і штифта 22, «мальтійський хрест» 9 призначений для передачі крутного моменту на зірочку 5, яка встановлена на валу 2 і закріплена за допомогою шпонки 24, болта 15 і штифта 22, зірочка 5 призначена для передачі крутного моменту на інші виконавчі ланки конвеєра, за допомогою ланцюга.

Задана деталь «Корпус підшипників 7-011.05.001», виготовляється із сірого чавуну СЧ18 ГОСТ 1412-85.

Аналіз робочого креслення деталі показав, що виконавчими поверхнями деталі «Корпус підшипників 7-011.05.001» є два однакові отвори  $\varnothing 42H7^{(+0,025)}$ , в яких в подальшому встановлюються підшипники 23, а на підшипники встановлюються вали 2, 3.

Внутрішня поверхня деталі  $\varnothing 42H7^{(+0,025)}$  є досить точною, має низьку шорсткість  $R_a = 1,6$  мкм.

Основні конструкторські бази деталі – це поверхня підшви корпусу, за рахунок якої корпус базується і виконує своє службове призначення, та чотири кріпильні отвори, за рахунок яких деталь корпус кріпиться у вузлі болтами.

Допоміжні конструкторські бази деталі – це внутрішні циліндричні поверхні  $\varnothing 42H7^{(+0,025)}$ , на які встановлюються підшипники 23, 16 кріпильних отворів М6-7Н, які дають змогу за рахунок болтів приєднати кришки 4 до корпусу 1, бокові торці корпусу  $51 \pm 0,1$ , які контактують з кришками 4.

У відповідності до призначення поверхонь, до них ставляться такі вимоги: найбільш точними є виконавчі поверхні деталі. До них ставиться вимога обробки по 7 квалітету з шорсткістю  $R_a = 1,6$  мкм  $\varnothing 42H7^{(+0,025)}$ .

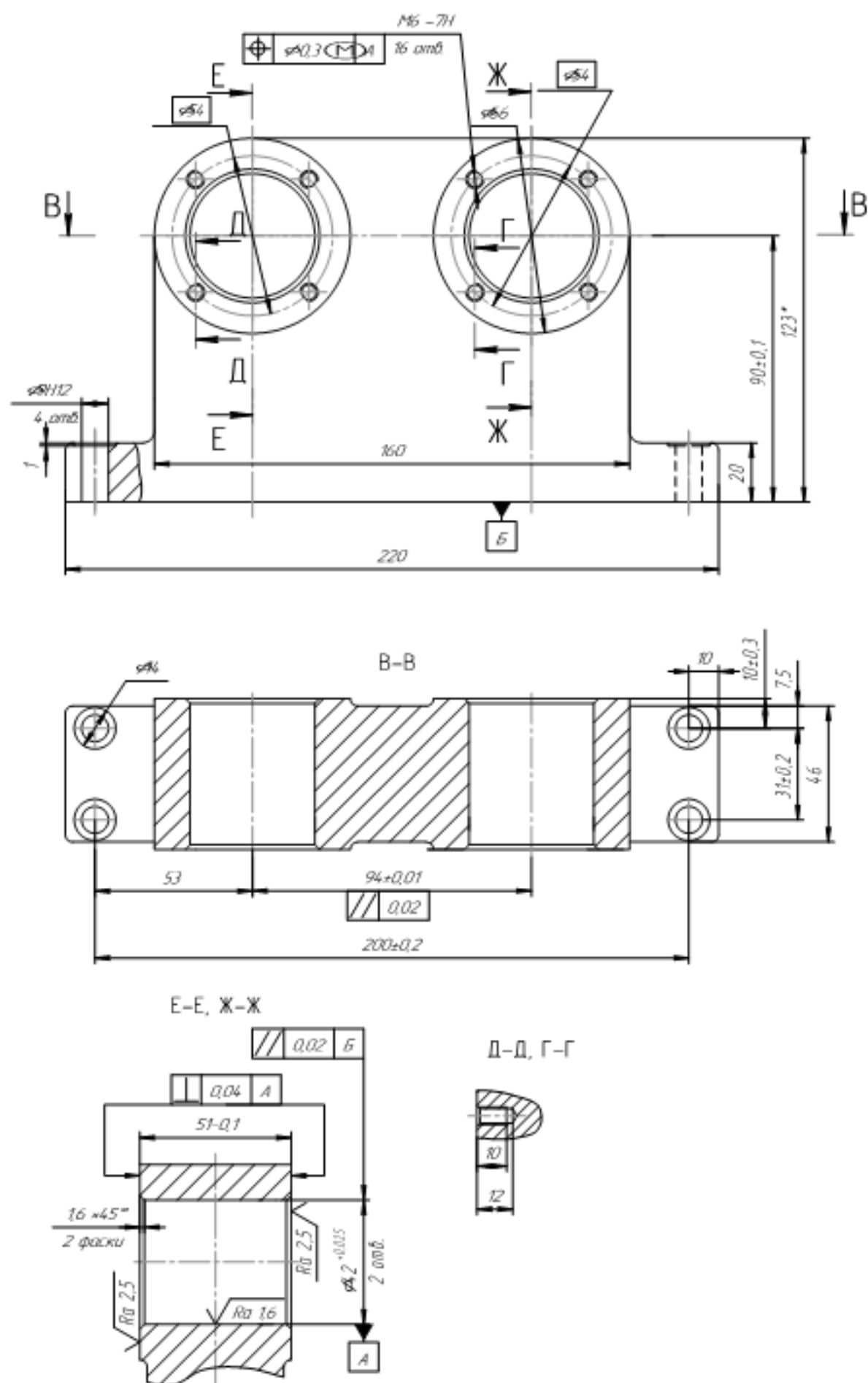


Рисунок 1.2 – Деталь «Корпус підшипників 7-011.05.001»

Інші поверхні, що слугують допоміжними конструкторськими базами повинні мати такі характеристики: кріпильні отвори М6-7Н повинні мати після механічної обробки 7 клас точності різьби. Бокові торці корпусу  $51 \pm 0,1$  повинні бути оброблені згідно 11 квалітету з шорсткістю  $R_a = 2,5 \text{ мкм}$ . Чотири наскрізні отвори  $\varnothing 9$ , повинні мати після механічної обробки 12 квалітет.

Поставлені вимоги щодо взаємного розміщення поверхонь:

- перпендикулярність двох паралельно розташованих торців  $51 \pm 0,1$  з точністю 0,04 мкм до бази А;
- паралельність двох отворів  $\varnothing 42H7^{(+0,025)}$  з точністю  $\varnothing 0,02$  мкм до бази Б;
- допуск позиційний 16-и отворів М6-Н7 з точністю  $\varnothing 0,3$  до бази А.
- взаємна паралельність осей двох отворів  $\varnothing 42H7^{(+0,025)}$  – 0,02 мкм.

## 1.2 Загальний огляд існуючих технологічних процесів обробки деталі типу «Корпус»

Деталь «Корпус підшипників 7-011.05.001» відноситься до класу корпусних. При обробці доцільно застосовувати високопродуктивне обладнання, верстати з ЧПК, багатоцільові верстати тощо, оснащення може бути стандартним або спеціалізованим [1-8].

На першій операції технологічного процесу (ТП) необхідно обробляти базові поверхні – площину основи і чотири кріпильні отвори  $\varnothing 9$ , які в подальшому будуть служити технологічними базами. Базування заготовки можна здійснювати по необробленим чорновим базам.

Після обробки базових поверхонь здійснюється фрезерна, розточувальна та свердлильна обробка всіх зовнішніх і внутрішніх поверхонь деталі. Після чистової обробки проводиться доводочні операції: обробка різьбових отворів, канавок, фасок і т. ін.

Фінішною операцією може бути остаточне розточування. При остаточному розточуванні можна досягнути 6-7 квалітет точності і шорсткість поверхонь шорсткістю Ra 0,8-1,6 мкм.

Таблиця 1.1 – Технологічна схема виготовлення деталей типу «Корпус»  
(варіант 1)

| Номер операції | Назва і короткий зміст операції, технологічні бази                                                                                                  | Верстат                |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| 005            | Свердлильно-фрезерна з ЧПК<br>Фрезерування площини та кріпильних отворів, що в подальшому використовуються як чистові бази                          | Фрезерний з ЧПК        |
| 010            | Фрезерна<br>Фрезерування всі площин та торців. Технологічні бази – поверхня та отвори оброблені на операції 005                                     | Фрезерний з ЧПК        |
| 015            | Розточувальна<br>Розточування отворів та канавок. Технологічні бази – площина і два отвори, оброблені на операції 005                               | Розточувальний         |
| 020            | Свердлильна<br>Свердління, зенкерування та розвертання всіх кріпильних отворів. Технологічні бази – площина і два отвори, оброблені на операції 005 | Свердлильний           |
| 025            | Проміжний контроль                                                                                                                                  |                        |
| 030            | Термічна обробка                                                                                                                                    |                        |
| 035            | Шліфувальна<br>Шліфування площин. Технологічні бази – площина і два отвори, або отвір і торець.                                                     | Шліфувальний           |
| 040            | Внутрішньошліфувальна<br>Шліфування отворів. Площина, яка оброблена на операції 040 та 2 отвори.                                                    | Внутрішньошліфувальний |
| 045            | Кінцевий контроль                                                                                                                                   |                        |

### 1.3 Вибір та критичний аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі

В базовому технологічному процесі використовується універсальне обладнання, це призводить до значних затрат часу на налагодження верстатів, крім того для їх обслуговування необхідно використовувати робітників високих розрядів, тоді як використавши верстат із ЧПК, можна зменшити кількість верстатів, які будуть виконувати ці переходи, а відповідно і площі, які займаються обладнанням. Крім того, зменшиться необхідна кваліфікація робітників, а отже буде економія заробітної плати. Внаслідок неможливості

обробляти більше однієї поверхні на фрезерних і свердлильних верстатах, виникає похибка базування на взаємне розміщення поверхонь.

Таблиця 1.2 – Технологічна схема виготовлення деталей типу «Корпус підшипників 7-011.05.001» (варіант 2) (базовий ТП)

| №   | Назва операції            | Обладнання                      |
|-----|---------------------------|---------------------------------|
| 005 | Вертикально-фрезерна      | Вертикально-фрезерний 6М13П     |
| 010 | Радіально-свердлильна     | Радіально-свердлильний 2М55     |
| 015 | Горизонтально-фрезерна    | Горизонтально-фрезерний 6Р81    |
| 020 | Радіально-свердлильна     | Радіально-свердлильний 2М55     |
| 025 | Координатно-розточувальна | Координатно-розточувальний 2431 |
| 030 | Горизонтально-фрезерна    | Горизонтально-фрезерний 6Р81    |
| 035 | Координатно-розточувальна | Координатно-розточувальний 2431 |
| 040 | Внутрішньо-шліфувальна    | Внутрішньо-шліфувальний 3К229В  |
| 045 | Радіально-свердлильна     | Радіально-свердлильний 2М55     |

#### 1.4 Характеристика удосконалених технологічних процесів

##### 1.4.1 Основні пропозиції щодо побудови технологічних процесів

Програма випуску деталі складає 3200 шт. за рік, але оскільки при такому обсязі верстати будуть недовантаженими, то очевидно дільниця буде використовуватися і для виготовлення інших подібних деталей. Приведена програма складатиме близько 30000 деталей на рік. Оскільки верстати мають легко і швидко переналагоджуватися на випуск іншої продукції, то пропонується використовувати обладнання із числовим програмним керуванням (ЧПК). Зокрема першу операцію можна виконувати на фрезерному верстаті з ЧПК моделі 6Р13РФ3, що дозволить обробити чистові технологічні бази на одній операції. Операція 010 буде виконуватися на горизонтальному свердлильно-фрезерно-розточувальному верстаті моделі HAAS EC-1600, що дозволить обробити інші площини та отвори. Операція 015 буде виконуватися на вертикально-свердлильному верстаті моделі 2Р135Ф2, що дозволить обробити чотири заглиблення, під кріпильні елементи для монтування даної деталі в вузлі. На фрезерному верстаті з ЧПК буде профрезеровано підшву деталі і оброблено

отвори, використовувати верстат з ЧПК в даному випадку доцільно оскільки при використанні верстата з ЧПК є можливість обробити площину і отвори з одного установа, це значно скорочує час на переустановку деталі. На верстаті HAAS EC-1600 буде виконано обробка торців з двох боків, обробка 16 отворів, та розточування двох отворів і нарізання в цих отворах фаски, тому використання багатоцільового верстата з поворотним столом є доцільним, оскільки є змога обробити всі перераховані поверхні з одного установа, що значно скорочує час і забезпечує задані вимоги по точності. На останній операції буде виконано чотири заглиблення, для цього буде використано вертикально-свердлильний верстат з ЧПК.

На основі технологічного аналізу деталі розробимо два технологічних процеси таблиця 1.3, 1.4 і в подальшому порівняємо їх і виберемо кращий (детальні розрахунки наведено в розділі 2).

Таблиця 1.3 – Перший варіант удосконаленого технологічного процесу

| №   | Назва операції      | Обладнання                                                                  |
|-----|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 005 | Фрезерна з ЧПК      | Вертикально-фрезерний з ЧПК<br>6P13PФ3                                      |
| 010 | Багатоцільова з ЧПК | Горизонтально-свердлильно-<br>фрезерно-розточувальний з ЧПК<br>HAAS EC-1600 |

Таблиця 1.4 – Другий варіант удосконаленого технологічного процесу

| №   | Назва операції                                      | Обладнання                                                          |
|-----|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 005 | Фрезерна з ЧПК                                      | Вертикально-фрезерний з ЧПК<br>ГФ2171М                              |
| 010 | Вертикальний свердлильно-<br>фрезерно-розточувальна | Вертикальний свердлильно-фрезерно-<br>розточувальний з ЧПК ЛФ260МФ3 |
| 015 | Радіально-свердлильна                               | Вертикально-свердлильний 2A53                                       |

#### 1.4.2 Характеристика ділянки механічної обробки

В зв'язку з тим, що існуюча (базова) ділянка механічної обробки деталі «Корпус підшипників 7-011.05.001» є універсальною для всіх типів деталей, тому потрібно розробити спеціалізовану ділянку для корпусних деталей відповідно

удосконаленому маршруту механічної обробки і яка буде характеризуватися досить високим ступенем автоматизації.

Існуюча площа ділянки 280 м<sup>2</sup>; кількість верстатів 9 шт.; кількість робітників 18 чоловік.

При використанні удосконаленого маршруту механічної обробки зменшиться площа ділянки, оскільки зменшиться кількість верстатів, які є недовантаженими а також зменшиться кількість проміжних складів заготовок, що створюються біля кожного робочого місця. Крім того, значно знизиться кваліфікація робітників, оскільки верстати із ЧПК можуть обслуговуватися робітниками другого чи третього розряду, зменшиться також і кількість робітників, оскільки, зменшиться кількість верстатів і робітник може обслуговувати два верстати з ЧПК.

## **2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ПІДШИПНИКІВ 7-011.05.001»**

### **2.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі**

Деталь «Корпус підшипників 7-011.05.001» (рис. 1.2) виготовлено із сірого чавуна СЧ18 литтям, тому конфігурація зовнішнього контуру та внутрішніх поверхонь не викликають значних труднощів при отриманні заготовки. Але навіть при цьому формування повинно виконуватись з застосуванням стержнів, що утворюють внутрішні порожнини. Нетехнологічно лиття отворів діаметром 9 мм, тому ці отвори слід обробляти в суцільному матеріалі.

До внутрішніх оброблюваних поверхонь ( $\varnothing 42H7^{(+0,025)}$ ) ставляться вимоги обробки по 7 квалітету. Ці отвори повинні бути виконані в межах вказаних відхилень і з точністю до 0,025 мм. Спосіб досягнення вказаної точності – три переходи чорнової обробки і один перехід чистової. Також потрібно забезпечити паралельність цих двох отворів відносно бази Б з точністю 0,02 мкм, а також взаємну паралельність осей цих отворів з точністю 0,02 мкм.

Нетехнологічними є отвори (М6-Н7) – так як вони не наскрізні. Форма і розміщення отворів зручні для обробки з однієї сторони вилівка. Тобто з однієї сторони можливо обробити тільки 8 отворів. Обробку з одного установа можливо забезпечити, якщо при обробці використовувати верстат з поворотним столом.

В даній деталі слід звернути увагу на те, що при обробці бокових торців розмір ( $51 \pm 0,1$ ), потрібно забезпечити шорсткість поверхні 2,5. Обробка торців може проводитись тільки з двох сторін одночасно або з перестановкою деталі на різних операціях, також є варіант використати пристосування з поворотним столом, цей варіант буде більш доцільним.

Інші оброблювані поверхні з точки зору забезпечення точності і шорсткості не виявляють технологічних труднощів, дозволяють проводити обробку напрохід

і дають можливість обробляти декілька деталей одночасно високопродуктивними методами.

Технологічність деталі будемо оцінювати за допомогою таких кількісних показників [1, 9].

Коефіцієнт уніфікації [1, 9]:

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

де  $Q_{ye}$  – кількість уніфікованих елементів;  $Q_e$  – загальна кількість елементів

Таблиця 2.1 – Коефіцієнт уніфікації

| Розміри              |          |              |          |         |          |          |          |        |          | Шорсткість |       |
|----------------------|----------|--------------|----------|---------|----------|----------|----------|--------|----------|------------|-------|
| Лінійні              |          | Діаметральні |          | Радіуси |          | Різьбові |          | Кутові |          |            |       |
| $P_L$                | $P_{LV}$ | $P_D$        | $P_{DV}$ | $P_R$   | $P_{RV}$ | $P_P$    | $P_{PV}$ | $P_K$  | $P_{KV}$ | $Ш$        | $Ш_y$ |
| 1                    | 2        | 3            | 4        | 5       | 6        | 7        | 8        | 9      | 10       | 11         | 12    |
| 53                   | +        | Ø54×2        | -        | 2,5×10  | +        | 6×16     | +        | 45×4   | +        | 1,6×2      | +     |
| 123                  | -        | Ø9×4         | +        |         |          |          |          |        |          | 2,5×4      | +     |
| 90                   | +        | Ø42×2        | +        |         |          |          |          |        |          | 3,2        | +     |
| 20                   | +        | Ø14×4        | +        |         |          |          |          |        |          | 6,3×16     | +     |
| 160                  | +        | Ø66×2        | -        |         |          |          |          |        |          |            |       |
| 220                  | +        |              |          |         |          |          |          |        |          |            |       |
| 31                   | -        |              |          |         |          |          |          |        |          |            |       |
| 1,6×4                | +        |              |          |         |          |          |          |        |          |            |       |
| 94                   | -        |              |          |         |          |          |          |        |          |            |       |
| 51                   | -        |              |          |         |          |          |          |        |          |            |       |
| 46                   | -        |              |          |         |          |          |          |        |          |            |       |
| 12×16                | +        |              |          |         |          |          |          |        |          |            |       |
| 200                  | +        |              |          |         |          |          |          |        |          |            |       |
| 10×18                | +        |              |          |         |          |          |          |        |          |            |       |
| 7,5                  | +        |              |          |         |          |          |          |        |          |            |       |
| 1                    | +        |              |          |         |          |          |          |        |          |            |       |
| 51                   | 46       | 14           | 10       | 10      | 10       | 16       | 16       | 4      | 4        | 23         | 23    |
| Q <sub>ye</sub> =109 |          |              |          |         |          |          |          |        |          |            |       |
| Q <sub>e</sub> =118  |          |              |          |         |          |          |          |        |          |            |       |

$$K_y = \frac{109}{118} = 0,92 > 0,6 .$$

Отже, за даним показником деталь є технологічною.

Коефіцієнт точності [1, 9]:

$$K_{\tau} = 1 - \frac{1}{T_{\varphi}}; \quad T_{\varphi} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{n_i}, \quad (2.2)$$

де  $T_{\varphi}$  – квалітет точності і-го розміру;

$n_i$  – кількість розмірів з квалітетом  $T_i$ .

Таблиця 2.2 – Коефіцієнт точності

| Квалітет | Лінійні розміри                                                  | Кількість поверхонь | Розрахунок |
|----------|------------------------------------------------------------------|---------------------|------------|
| 6        | 94±0,01;                                                         | 1                   | 6×1=6      |
| 7        | ø42H7 <sup>(+0,025)</sup> ;<br>ø42H7 <sup>(+0,025)</sup> ; M6-H7 | 18                  | 18×7=126   |
| 11       | 90±0,1; 51-0,1                                                   | 2                   | 11×2=22    |
| 12       | 31±0,2; 200±0,2;<br>Ø9H12                                        | 6                   | 12×6=72    |
| 13       | Ø54±0,2; Ø54±0,2                                                 | 2                   | 13×2=26    |
| 14       | Всі інші                                                         | 37                  | 37×14=518  |
|          |                                                                  | 66                  | 770        |

$$T_{\varphi} = \frac{770}{66} = 11,66 ;$$

$$K_{\tau} = 1 - \frac{1}{11,66} = 0,91 > 0,8 .$$

Отже, за даним показником деталь є технологічною.

Коефіцієнт шорсткості [1, 9]:

$$K_{\omega} = \frac{1}{\omega_{\varphi}}; \quad \omega_{\varphi} = \frac{\sum \omega_i \cdot n_i}{n_i}, \quad (2.3)$$

де  $Ш_i$  – шорсткість  $i$ -ої поверхні;

$n_i$  – кількість поверхонь з шорсткістю  $Ш_i$ .

Таблиця 2.3 – Коефіцієнт шорсткості

| Шорсткість | Лінійні розміри                                               | Кількість поверхонь | Розрахунок           |
|------------|---------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|
| 1,6        | $\varnothing 42H7^{(+0,025)}$ ; $\varnothing 42H7^{(+0,025)}$ | 2                   | $1,6 \cdot 2 = 3,2$  |
| 2,5        | $51 \pm 0,1$                                                  | 4                   | $2,5 \cdot 4 = 10$   |
| 6,3        | Всі інші                                                      | 60                  | $6,3 \cdot 60 = 378$ |
| Всього:    |                                                               | 66                  | 391,2                |

$$Ш_{\text{ср}} = \frac{391,2}{66} = 5,93 ;$$

$$K_{\text{ш}} = 1/5,93 = 0,17 < 0,32.$$

Отже, за даним показником деталь є технологічною.

За параметрами точності деталь є технологічною.

## 2.2 Попереднє визначення типу виробництва і форми організації робіт

Тип виробництва визначається коефіцієнтом закріплення операцій [1, 9].

Визначення основних переходів механічної обробки:

- Фрезерування чорнове площини основа  $220 \times 46$ .
- Фрезерування чистове площини основа  $220 \times 46$ .
- Фрезерування чорнове торців  $66 \times 51_{-0,1}$ .
- Фрезерування чистове торців  $66 \times 51_{-0,1}$ .
- Свердління отворів  $\varnothing 6-H7$ .
- Розточування чорнове отворів  $\varnothing 42H7^{(+0,025)}$ .
- Розточування чорнове отворів  $\varnothing 42H7^{(+0,025)}$ .
- Розточування чорнове отворів  $\varnothing 42H7^{(+0,025)}$ .
- Розточування чистове отворів  $\varnothing 42H7^{(+0,025)}$ .

Визначення штучно-калькуляційного часу для кожного переходу здійснюється за формулою:

$$T_{\text{шт} - \kappa.} = T_o \cdot \varphi_{\kappa} \text{ [хв.]}, \quad (2.4)$$

- $T_{o1} = 6 \cdot l = 6 \cdot 220 \cdot 10^{-3} = 1,32 \text{ (хв.)};$
- $T_{o2} = 4 \cdot l = 4 \cdot 220 \cdot 10^{-3} = 0,88 \text{ (хв.)};$
- $T_{o3} = (4 \cdot l) \cdot 2 = (4 \cdot 66 \cdot 10^{-3}) \cdot 2 = 0,528 \text{ (хв.)};$
- $T_{o4} = (0,52 \cdot d \cdot l) \cdot 16 = (0,52 \cdot 6 \cdot 12 \cdot 10^{-3}) \cdot 16 = 0,599 \text{ (хв.)};$
- $T_{o5} = (0,18 \cdot d \cdot l) \cdot 2 = (0,18 \cdot 42 \cdot 51 \cdot 10^{-3}) \cdot 2 = 0,771 \text{ (хв.)};$
- $T_{o6} = (0,2 \cdot d \cdot l) \cdot 2 = (0,2 \cdot 42 \cdot 51 \cdot 10^{-3}) \cdot 2 = 0,857 \text{ (хв.)};$
- $T_{o7} = (0,3 \cdot d \cdot l) \cdot 2 = (0,3 \cdot 42 \cdot 51 \cdot 10^{-3}) \cdot 2 = 1,285 \text{ (хв.)};$
- $T_{o8} = (0,05 \cdot d \cdot l) \cdot 2 = (0,05 \cdot 42 \cdot 51 \cdot 10^{-3}) \cdot 2 = 0,214 \text{ (хв.)};$
- $\varphi_{\kappa1} = 1,84 ; \quad T_{\text{шт} - \kappa.} = 1,84 \cdot 1,32 = 2,43 \text{ (хв.)};$
- $\varphi_{\kappa2} = 1,84 ; \quad T_{\text{шт} - \kappa.} = 1,84 \cdot 0,88 = 1,62 \text{ (хв.)};$
- $\varphi_{\kappa3} = 1,84 ; \quad T_{\text{шт} - \kappa.} = 1,84 \cdot 0,792 = 1,46 \text{ (хв.)};$
- $\varphi_{\kappa4} = 1,84 ; \quad T_{\text{шт} - \kappa.} = 1,84 \cdot 0,528 = 0,97 \text{ (хв.)};$
- $\varphi_{\kappa5} = 1,72 ; \quad T_{\text{шт} - \kappa.} = 1,72 \cdot 0,599 = 1,03 \text{ (хв.)};$
- $\varphi_{\kappa6} = 3,25 ; \quad T_{\text{шт} - \kappa.} = 3,25 \cdot 0,771 = 2,51 \text{ (хв.)};$
- $\varphi_{\kappa7} = 3,25 ; \quad T_{\text{шт} - \kappa.} = 3,25 \cdot 0,857 = 2,79 \text{ (хв.)};$
- $\varphi_{\kappa8} = 3,25 ; \quad T_{\text{шт} - \kappa.} = 3,25 \cdot 1,285 = 4,18 \text{ (хв.)};$
- $\varphi_{\kappa9} = 3,25 ; \quad T_{\text{шт} - \kappa.} = 3,25 \cdot 0,214 = 0,7 \text{ (хв.)}$

Розрахунок кількості верстатів визначається за формулою [1, 9]:

$$C_p = \frac{N_{\text{пр}} \cdot T_{\text{шт} - \kappa.}}{60 \cdot \Phi_{\delta} \cdot \eta_{\text{з.н.}}}, \quad (2.5)$$

де  $N_{\text{пр}}$  – приведена програма випуску;

$\Phi_{\text{д}} = 3890$  год. – дійсний річний фонд часу (при двозмінній роботі).

$\eta_{\text{н.н.}} = 0,85$  – нормативний коефіцієнт завантаження верстатів (для дрібносерійного виробництва).

$$- C_{P1} = \frac{3200 \cdot 2,43}{60 \cdot 3890 \cdot 0,85} = 0,04 ; \quad C_{\text{пр}} = 1 ;$$

$$- C_{P2} = \frac{3200 \cdot 1,62}{60 \cdot 3890 \cdot 0,85} = 0,026 ; \quad C_{\text{пр}} = 1 ;$$

$$- C_{P3} = \frac{3200 \cdot 1,46}{60 \cdot 3890 \cdot 0,85} = 0,024 ; \quad C_{\text{пр}} = 1 ;$$

$$- C_{P4} = \frac{3200 \cdot 0,97}{60 \cdot 3890 \cdot 0,85} = 0,016 ; \quad C_{\text{пр}} = 1 ;$$

$$- C_{P5} = \frac{3200 \cdot 1,03}{60 \cdot 3890 \cdot 0,85} = 0,017 ; \quad C_{\text{пр}} = 1 ;$$

$$- C_{P6} = \frac{3200 \cdot 2,51}{60 \cdot 3890 \cdot 0,85} = 0,04 ; \quad C_{\text{пр}} = 1 ;$$

$$- C_{P7} = \frac{3200 \cdot 2,79}{60 \cdot 3890 \cdot 0,85} = 0,045 ; \quad C_{\text{пр}} = 1 ;$$

$$- C_{P8} = \frac{3200 \cdot 4,18}{60 \cdot 3890 \cdot 0,85} = 0,067 ; \quad C_{\text{пр}} = 1 ;$$

$$- C_{P9} = \frac{3200 \cdot 0,7}{60 \cdot 3890 \cdot 0,85} = 0,011 ; \quad C_{\text{пр}} = 1 .$$

Фактичний коефіцієнт завантаження обладнання:

$$\eta_{\text{з.ф.}} = \frac{C_{Pj}}{C_{\text{пр}}} ; \quad (2.6)$$

$$- \eta_{\text{з.ф.1}} = \frac{0,04}{1} = 0,04 ; \quad - \eta_{\text{з.ф.2}} = \frac{0,026}{1} = 0,026 ;$$

$$- \eta_{\text{з.ф.3}} = \frac{0,024}{1} = 0,024 ; \quad - \eta_{\text{з.ф.4}} = \frac{0,016}{1} = 0,016 ;$$

$$\begin{aligned}
 - \eta_{\text{з.ф.5}} &= \frac{0,017}{1} = 0,017 ; & - \eta_{\text{з.ф.6}} &= \frac{0,04}{1} = 0,04 ; \\
 - \eta_{\text{з.ф.7}} &= \frac{0,045}{1} = 0,045 ; & - \eta_{\text{з.ф.8}} &= \frac{0,067}{1} = 0,067 ; \\
 - \eta_{\text{з.ф.9}} &= \frac{0,011}{1} = 0,011 .
 \end{aligned}$$

Визначення кількості операцій:

$$O = \frac{\eta_{\text{з.м.}}}{\eta_{\text{з.ф.}}} , \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned}
 - O_1 &= \frac{0,85}{0,04} = 21,25 \approx 22 ; & - O_2 &= \frac{0,85}{0,026} = 32,7 \approx 33 ; \\
 - O_3 &= \frac{0,85}{0,024} = 35,4 \approx 36 ; & - O_4 &= \frac{0,85}{0,016} = 53,15 \approx 54 ; \\
 - O_5 &= \frac{0,85}{0,017} = 50 ; & - O_6 &= \frac{0,85}{0,04} = 21,25 \approx 22 ; \\
 - O_7 &= \frac{0,85}{0,045} = 18,9 \approx 19 ; & - O_8 &= \frac{0,85}{0,067} = 12,7 \approx 13 ; \\
 - O_9 &= \frac{0,85}{0,011} = 77,3 \approx 78 .
 \end{aligned}$$

Обираємо найбільш характерні числа для розрахунку коефіцієнта закріплення операції.

Визначення коефіцієнта закріплення операцій [1, 9]:

$$K_{\text{з.о.}} = \frac{\sum O}{\sum P} , \quad (2.8)$$

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

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

$$K_{3.0} = \frac{\sum O}{\sum P} = \frac{22 + 33 + 36 + 54 + 50 + 22 + 19 + 13 + 78}{9} = 36,7,$$

що відповідає дрібносерійному виробництву, оскільки, коефіцієнт закріплення знаходиться в межах від 20 до 40.

Результати розрахунків оформленні у вигляді зведеної таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Дані для розрахунку коефіцієнта закріплення операції

| Перехід мех. обробки елементарної поверхні деталі     | $t_0 \cdot 10^{-3}$ , хв. |           | $\Phi_K$ | $T_{шт-к}$ , хв. | $C_p$ | $C_{рп, P}$ | $\eta_{з.ф}$ | О  | $K_{3.0}$ |
|-------------------------------------------------------|---------------------------|-----------|----------|------------------|-------|-------------|--------------|----|-----------|
|                                                       | Формула                   | Результат |          |                  |       |             |              |    |           |
| 1. Фрезерування чорнове площини основа                | 6l                        | 1320      | 1,84     | 2,43             | 0,04  | 1           | 0,04         | 22 | 36,7      |
| 2. Фрезерування чистове площини основа                | 4l                        | 880       | 1,84     | 1,62             | 0,026 | 1           | 0,026        | 33 |           |
| 3. Фрезерування чорнове торців                        | 6l×2                      | 792       | 1,84     | 1,46             | 0,024 | 1           | 0,024        | 36 |           |
| 4. Фрезерування чистове торців                        | 4l×2                      | 528       | 1,84     | 0,97             | 0,016 | 1           | 0,016        | 54 |           |
| 5. Свердління отворів Ø6                              | 0,52dl ×16                | 599       | 1,72     | 1,03             | 0,017 | 1           | 0,017        | 50 |           |
| 6. Розточування чорнове отворів Ø42 <sup>+0,025</sup> | 0,18dl ×2                 | 771       | 3,25     | 2,51             | 0,04  | 1           | 0,04         | 22 |           |
| 7. Розточування чорнове отворів Ø42 <sup>+0,025</sup> | 0,18dl ×2                 | 857       | 3,25     | 2,79             | 0,045 | 1           | 0,045        | 19 |           |
| 8. Розточування чорнове отворів Ø42 <sup>+0,025</sup> | 0,18dl ×2                 | 1285      | 3,25     | 4,18             | 0,067 | 1           | 0,067        | 13 |           |
| 9. Розточування чистове отворів Ø42 <sup>+0,025</sup> | 0,18dl ×2                 | 214       | 3,25     | 0,7              | 0,011 | 1           | 0,011        | 78 |           |

Визначення форми організації роботи

Середньодобовий випуск виробів визначається за формулою:

$$N_c = \frac{N}{254} \text{ [шт.]}, \quad (2.9)$$

де 254 – кількість робочих днів в році.

$$N_c = \frac{N}{254} = \frac{3200}{254} = 13 \text{ (вироби за рік).}$$

Добова продуктивність визначається за формулою:

$$Q_c = \frac{\Phi_c}{T_{\text{шт-к.ср}}} \eta_z \text{ [шт.]}, \quad (2.10)$$

де  $\Phi_c$  – добовий фонд часу роботи обладнання (при двозмінному режимі роботи дорівнює 952 хв.);

$\eta_z$  – коефіцієнт завантаження обладнання (0,6);

$T_{\text{шт-к.ср}}$  – середня трудомісткість операцій механічної обробки,

$$T_{\text{шт-к.ср}} = \frac{\sum_i^n T_{\text{шт-к}}}{n} = \frac{2,43 + 1,62 + 1,46 + 0,97 + 1,03 + 2,51 + 2,79 + 4,18 + 0,7}{9} = 1,97 \text{ (хв.)};$$

$$Q_c = \frac{\Phi_c}{T_{\text{шт-к.ср}}} \eta_z = \frac{952}{1,97} \cdot 0,85 = 410,8 \text{ (шт.)} \text{ Приймаємо } 411 \text{ шт.}$$

Так як  $N_c < Q_c$  при умові завантаження її на 85%, то застосування однономенклатурної початкової лінії недоцільно. Тому приймається групова форма організації роботи.

Кількість деталей у партії визначається за формулою:

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

де  $t$  – періодичність запуску деталей у виробництво (для дрібносерійного виробництва  $t = 12..18$  днів).

$$n = \frac{3200 \cdot 15}{254} = 188,97 \approx 189 \text{ (дет.)}$$

Розрахункова кількість змін на обробку всієї партії деталей:

$$C_{зм} = \frac{T_{\text{ном} - \text{к.ср}} \cdot n}{476 \cdot \eta_z}, \quad (2.12)$$

де 476 – дійсний фонд роботи обладнання протягом однієї зміни;

$\eta_{зм}$  – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання ( $\eta_{зм} = 0,75-0,85$ ).

$$C_{зм} = \frac{1,97 \cdot 189}{476 \cdot 0,8} = 0,92.$$

Прийнята кількість змін:  $C_{зм.пр.} = 1$  зміна.

Кількість деталей в партії:

$$n_{пр} = \frac{476 \cdot \eta_z \cdot C_{зм.пр.}}{T_{\text{ном} - \text{к.ср}}} \text{ [шт.]}, \quad (2.13)$$

$$n_{пр} = \frac{476 \cdot 0,85 \cdot 1}{1,97} = 205,4 \approx 206 \text{ (шт.)}$$

Висновок: тип виробництва – дрібносерійний, форма організації роботи – групова, кількість деталей в партії – 206 шт.

## 2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки

### 2.3.1 Вибір двох альтернативних способів виготовлення заготовки.

Орієнтуючись на робоче креслення деталі, масу та серійність виробництва встановлюємо метод виготовлення заготовки – лиття, так як деталь виготовляється з матеріалу СЧ18, який має добрі ливарні властивості.

Можливі способи лиття [10-14]:

- в піщано-глинисті форми;
- в оболонкові форми;
- лиття в облицьований кокіль (металеві форми).

Для виготовлення заготовок деталей даного типорозміру і дрібносерійного типу виробництва найбільш оптимальними будуть лиття в оболонкові форми (значна економія матеріалу, менші витрати праці на обробку виливка та незначні витрати формувальних матеріалів, високий коефіцієнт точності маси заготовки) та піщано-глинисті форми (простота виготовлення, просте й недороге оснащення, дешеві та прості матеріали для формування, універсальність).

### 2.3.2 Розрахунок розмірів заготовки для двох способів її виготовлення

- Вибір вихідних параметрів заготовки, що характеризують її точність [11, 12]

Клас розмірної точності виливка призначаємо враховуючи спосіб лиття, найбільший габаритний розмір виливка (220 мм), тип матеріалу – СЧ18:

- при литті в піщано-глинисті форми: (8-13т) 11;
- при литті в оболонкові форми: (8-13т) 10.

Ступінь жолоблення елементів виливка призначаємо згідно відношення найменшого розміру елемента виливка до найбільшого (товщини або висоти до довжини елемента виливка). Найбільший розмір – 220 мм, найменший – 20 мм

для лиття в піщано-глинисті форми, 11 мм-в оболонкові форми. Отже, відношення –  $20/220 = 0,09$ ;  $20/220 = 0,09$ . Також враховуємо кількість використання форми:

- при литті в піщано-глинисті форми: (5-8) 7;
- при литті в оболонкові форми: (5-8) 6.

Таблиця 2.5 – Вихідні дані для обох варіантів заготовок

| Вихідні дані                         | Лиття в піщано-глинисті форми |          | Лиття в оболонкові форми |          |
|--------------------------------------|-------------------------------|----------|--------------------------|----------|
|                                      | Згідно ГОСТ 26645-85          | Прийнято | Згідно ГОСТ 26645-85     | Прийнято |
| 1                                    | 2                             | 3        | 4                        | 5        |
| Клас розмірної точності              | 8-13т                         | 11       | 8-13т                    | 10       |
| Ступінь жолоблення елементів виливки | 5-8                           | 7        | 5-8                      | 6        |
| Ступінь точності поверхні виливка    | 10-17                         | 13       | 8-14                     | 11       |
| Шорсткість поверхонь виливка         | Ra                            | 32       | Ra                       | 20,0     |
| Клас точності маси                   | 7т-14                         | 11       | 7т-14                    | 10       |
| Ряд припусків                        | 5-8                           | 6        | 4-7                      | 5        |

Ступінь точності поверхонь виливка призначаємо з врахуванням способу лиття, найбільшого габаритного розміру виливка (220 мм) і матеріал СЧ18:

- при литті в піщано-глинисті форми: (10-17) 13;
- при литті в оболонкові форми: (8-14) 11.

Шорсткість поверхонь виливка призначаємо, враховуючи прийнятий ступінь точності поверхонь виливка:

- при литті в піщано-глинисті форми: 32 мкм;
- при литті в оболонкові форми: 20,0 мкм.

Клас точності маси виливка призначаємо, враховуючи спосіб лиття, номінальну масу виливка : від 1 до 10 кг для обох способів і тип матеріалу СЧ18.

- при литті в піщано-глинисті форми: (7т-14) 11;
- при литті в оболонкові форми: (7т-14) 10.

Доцільно приймати таким же як і клас розмірної точності.

Ряд припусків призначаємо з врахуванням ступеня точності поверхні.

- при литті в піщано-глинисті форми: (5-8) 6;
- при литті в оболонкові форми: (4-7) 5.

Таблиця 2.6 – Допуски та припуски (при литті в оболонкові форми)

| Лиття в оболонкові форми                             | 90±0,1h14                              | 20h14 | 51±0,1h14 | Ø42H7 <sup>(+0,025)</sup> | 123h14 |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------|-----------|---------------------------|--------|
| 1                                                    | 2                                      | 3     | 4         | 5                         | 6      |
| Допуски розмірів                                     | 2,8                                    | 2,0   | 2,4       | 2,4                       | 3,2    |
| Допуски форми чи розміщення                          | 0,4                                    | 0,4   | 0,4       | 0,4                       | 0,4    |
| Зміщення по площині роз'єму                          | -                                      | 2,0   | 2,4       | -                         | -      |
| Допуск на перекіс стержня                            | -                                      | -     | -         | 1,1                       | -      |
| Допуски маси                                         | 12%                                    |       |           |                           |        |
| Допуски нерівностей                                  | 0,5                                    |       |           |                           |        |
| Загальний допуск                                     | 3,20                                   | 3,20  | 2,40      | 2,40                      | 3,20   |
| Припуск мінімальний                                  | 0,5                                    |       |           |                           |        |
|                                                      | Кількість переходів механічної обробки |       |           |                           |        |
| По точності розмірів                                 | 2                                      | 1     | 2         | 4                         | 1      |
| По відхиленням форми, взаємного розміщення поверхонь | -                                      | -     | 1         | 2                         | -      |
| Прийнята кількість переходів                         | 2                                      | 1     | 2         | 4                         | 1      |
| Розміри заготовки                                    | 92,4                                   | 22,4  | 56,6      | Ø35,2                     | 125,4  |

Допуск розмірів, враховуючи клас розмірної точності (лиття в оболонкові форми – 10, в піщано-глинисті форми – 11) і номінальний розмір на який призначаємо допуск.

Допуск форми і розміщення – враховуючи ступінь жолоблення (лиття в оболонкові форми – 6, в піщано-глинисті форми – 7) і номінальний розмір нормованої ділянки.

Допуск нерівностей – враховуємо ступінь точності поверхні виливка (лиття в оболонкові форми – 11, в піщано-глинисті форми – 13).

Допуск маси – залежно від класу точності маси виливка (лиття в оболонкові форми – 10, в піщано-глинисті форми – 11).

Таблиця 2.7 – Допуски та припуски (при литті в піщано-глинисті форми)

| Лиття в піщано-глинисті форми                        | $\emptyset 42H7^{(+0,025)}$ | $90\pm 0,1$ | 20   | $51\pm 0,1$ | 123   |
|------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------|------|-------------|-------|
| 1                                                    | 2                           | 3           | 4    | 5           | 6     |
| Допуски розмірів                                     | 4,0                         | 4,4         | 3,2  | 4,0         | 5,0   |
| Допуски форми чи розміщення                          | 0,50                        | 0,50        | 0,50 | 0,50        | 0,50  |
| Зміщення по площині роз'єму                          | -                           | 2,8         | 2,8  | -           | 2,8   |
| Допуск на перекіс стержня                            | 1,8                         | -           | -    | -           | -     |
| Допуски маси                                         | 16                          | 12          | 16   | 12          | 10    |
| Допуски нерівностей                                  | 0,80                        |             |      |             |       |
| Загальний допуск                                     | 5,0                         | 6,4         | 5,0  | 4,0         | 6,4   |
| Припуск мінімальний                                  | 0,6                         |             |      |             |       |
| Припуск загальний                                    | 5,3                         | 3,4         | 3,4  | 4,8         | 3,4   |
| По точності розмірів                                 | 4                           | 3           | 1    | 3           | 1     |
| По відхиленням форми, взаємного розміщення поверхонь | 2                           | -           | -    | 1           | -     |
| Прийнята кількість переходів                         | 4                           | 3           | 1    | 3           | 1     |
| Розміри заготовки                                    | $\emptyset 31,4$            | 93,4        | 23,4 | 60,6        | 126,4 |

При литті в піщано-глинисті форми і оболонкові форми площа роз'ємну буде проходити вздовж заготовки рис. 2.1. Для якого допуск вибираємо враховуючи клас розмірної точності виливка по номінальному розміру найбільш тонкої зі стінок виливка, який виходить на роз'єм.

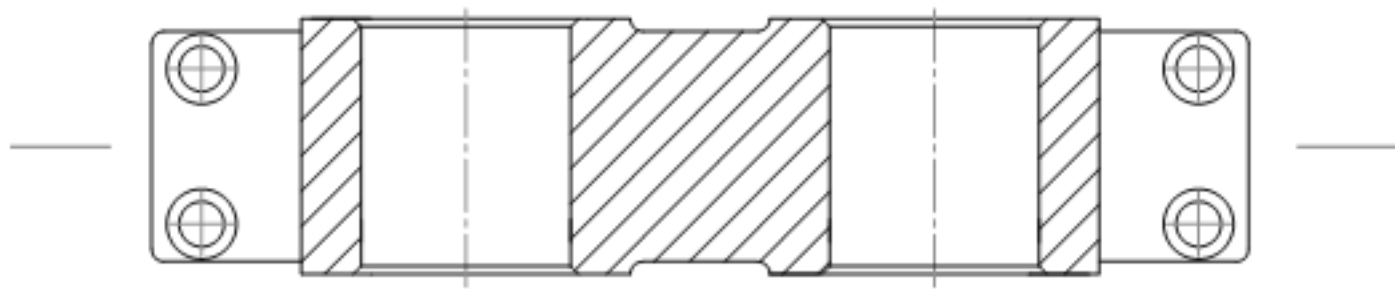


Рисунок 2.1 – Площина роз'єму

Допуск на перекіс стержня встановлюється для діаметральних розмірів, що формуються за допомогою стержнів. Призначається на 1, 2 класи точніше класу розмірної точності по номінальному розміру найбільш тонкої зі стінок вилівка, які формуються за участю стержня.

При литті в оболонкові форми допуски на перекіс стержня буде такий:

$\varnothing 42^{+0,025}$  буде 1,1 – оскільки мінімальна товщина стінки буде  $(123 - 90) - \frac{42}{2} = 12$  (мм).

При литті в піщано-глинисті форми допуски на перекіс стержня буде такий:

$\varnothing 42^{+0,025}$  буде 1,8 – оскільки мінімальна товщина стінки буде  $(123 - 90) - \frac{42}{2} = 12$  (мм).

Загальний допуск призначаємо, враховуючи допуск розмірів і допуск форми і розміщення поверхні.

- Вибір припусків

Мінімальний припуск призначаємо залежно від ряду припусків:

- при литті в оболонкові форми (для ряду припусків 5) – 0,5 мм;
- при литті в піщано-глинисті форми (для ряду припусків 6) – 0,6 мм.

Кількість переходів механічної обробки визначаємо в залежності від необхідної точності розмірів оброблюваної деталі.

- по точності розмірів вибираємо в залежності від допуску розміру вилівка і співвідношення між допусками розмірів деталі і вилівка:

- лиття в оболонкові форми: для розміру 123 допуск розмірів вилівка 3,2 мм, допуск розмірів деталі 1,0 мм, співвідношення  $1/3,2 = 0,31$ , отже, 1 перехід (чорнова обробка). Аналогічно вибираємо для всіх інших розмірів:

$$\varnothing 42^{+0,025} - 0,025/2,4 = 0,010 \rightarrow 4 \text{ переходи (тонка обробка);}$$

$$90 \pm 0,1 - 0,2/2,8 = 0,07 \rightarrow 2 \text{ переходи (напівчистова обробка);}$$

$$20 - 0,52/2,0 = 0,26 \rightarrow 1 \text{ перехід (чорнова обробка);}$$

$51 \pm 0,1 - 0,2/2,4 = 0,08 \rightarrow 2 \text{ переходи (напівчистова обробка)}$  – оскільки розмір  $51 \pm 0,1$  обробляється з двох сторін, то на цей розмір призначаємо 4 переходи, 2 переходи на обробку однієї сторони і 2 переходи на обробку другої сторони;

- лиття в піщано-глинисті форми: для розміру 123 допуск розмірів вилівка 5,0 мм, допуск розмірів деталі 1,0 мм, співвідношення  $1,0/5,0 = 0,2$ , отже, 1 перехід (чорнова обробка). Аналогічно вибираємо для всіх інших розмірів:

$$\varnothing 42^{+0,025} - 0,025/4 = 0,00625 \rightarrow 4 \text{ переходи (тонка обробка);}$$

$$90 \pm 0,1 - 0,2/4,4 = 0,045 \rightarrow 3 \text{ переходи (чистова обробка);}$$

$$20 - 0,52/3,2 = 0,16 \rightarrow 1 \text{ перехід (чорнова обробка);}$$

$$51 \pm 0,1 - 0,2/4,0 = 0,05 \rightarrow 3 \text{ переходи (чистова обробка);}$$

$$123 - 1,0/5,0 = 0,2 \rightarrow 1 \text{ перехід (чорнова обробка);}$$

- по відхиленням форми, взаємного розміщення поверхонь вибираємо в залежності від допуску розміру вилівка і співвідношення між допусками форми і розміщення деталі і вилівка:

лиття в оболонкові форми для розмірів:

$$51 \pm 0,1 - 0,2/0,4 = 0,5 \rightarrow 1 \text{ перехід (чорнова обробка);}$$

$$\varnothing 42^{+0,025} - 0,025/0,4 = 0,0625 \rightarrow 2 \text{ переходи (напівчистова обробка);}$$

лиття в піщано-глинисті форми для розмірів:

$$51 \pm 0,1 - 0,2/0,5 = 0,4 \rightarrow 1 \text{ перехід (чорнова обробка);}$$

$$\varnothing 42^{+0,025} - 0,025/0,5 = 0,05 \rightarrow 2 \text{ переходи (напівчистова обробка);}$$

Загальний припуск призначаємо, враховуючи загальний допуск вилівка, від кінцевої обробки і ряд припуску. При литті в оболонкові форми для розміру 123: загальний допуск 3,20 мм, чорнова обробка, ряд припусків 5  $\rightarrow$  загальний припуск становить 2,4 мм. Аналогічно вибираємо і для інших розмірів.

- Розрахунок розмірів заготовки

При литті в оболонкові форми:

$$\varnothing 42^{+0,025} - (3,4 \cdot 2) = 35,2 \text{ (мм)};$$

$$90 + 2,4 = 92,4 \text{ (мм)};$$

$$20 + 2,4 = 22,4 \text{ (мм)};$$

$$51 + (2,8 \cdot 2) = 56,6 \text{ (мм)};$$

$$123 + 2,4 = 125,4 \text{ (мм)}.$$

При литті в піщано-глинисті форми:

$$\varnothing 42 - (5,3 \cdot 2) = \varnothing 31,4 \text{ (мм)}.$$

$$20 + 3,4 = 23,4 \text{ (мм)};$$

$$123 + 3,4 = 126,4 \text{ (мм)};$$

$$51 + (4,8 \cdot 2) = 60,6 \text{ (мм)};$$

$$90 + 3,4 = 93,4 \text{ (мм)}.$$

- Вибір товщини стінок, радіусів заокруглень, нахилів та інших конструктивних елементів литої заготовки

Мінімальну товщину стінок вибираємо за номограмою за значенням приведенного габариту  $N$  в залежності від матеріалу, маси виливка і способу лиття [11, 12]:

$$N = (2l + b + h) / 3 = (2 \cdot 220 + 51 + 123) / 3 = 0,204 \text{ (мм)}, \quad (2.14)$$

тоді при литті в оболонкові форми – 7 мм; при литті в піщано-глинисті – 7 мм.

Враховуючи те, що мінімальна товщина стінки 12 мм буде  $12 > 7$ . Тому забезпечується необхідна розрахункова міцність і жорсткість.

Радіуси заокруглень, вибираємо в залежності від співвідношення  $(S + S_1) / 2$  і від матеріалу виливка [11, 12].

Таблиця 2.8 – Радіуси заокруглень при литті в оболонкові форми

| $\frac{(s + s_1)}{2}$ | Кут між спряженими елементами | Радіус заокруглень |
|-----------------------|-------------------------------|--------------------|
| $(220+56,6)/2=138,3$  | $90^0$                        | 4                  |
| $(56,6+125,4)/2=91$   | $90^0$                        | 10                 |

Таблиця 2.9 – Радіуси заокруглень при литті в піщано-глинисті форми

| $\frac{(s + s_1)}{2}$ | Кут між спряженими елементами | Радіус заокруглень |
|-----------------------|-------------------------------|--------------------|
| $(220+60,6)/2=140,3$  | $90^0$                        | 5                  |
| $(60,6+126,4)/2=93,5$ | $90^0$                        | 10                 |

Формувальні нахили:

- при литті в оболонкові форми:

$$h_n = 35,2/2 \text{ мм} - 1^036';$$

$$h_n = 56,6/2 \text{ мм} - 1^009'.$$

- при литті в піщано-глинисті форми:

$$h_n = 31,4/2 \text{ мм} - 1^036';$$

$$h_n = 60,6/2 \text{ мм} - 1^009'.$$

Мінімальний розмір литих отворів залежить від товщини стінки і може бути визначено за формулою [11, 12]:

$$d_{\min} = d_0 + 0,1S \text{ [мм]}, \quad (2.15)$$

де  $d_0$  – вихідний діаметр;  $S$  – товщина стінки, мм.

Вихідний діаметр вибирається в залежності від матеріалу виливка (СЧ18):

$d_0 = 10$  мм. При товщині стінки для розміру  $\varnothing 42^{+0,025}$  мм – 12 мм знайдемо  $d_{\min}$ :

$$d_{\min} = 10 + 0,1 \cdot 12 = 11,2 \text{ (мм) (для } \varnothing 42H7^{(+0,025)} \text{ мм)}.$$

Отвори заготовки під  $\varnothing 42H7^{(+0,025)}$  мм можна лити.

### 2.3.3 Оформлення ескізів двох варіантів заготовки

З урахуванням отриманих розмірів заготовок та обраних конструктивних параметрів показано ескізи заготовки (рис. 2.2-2.3).

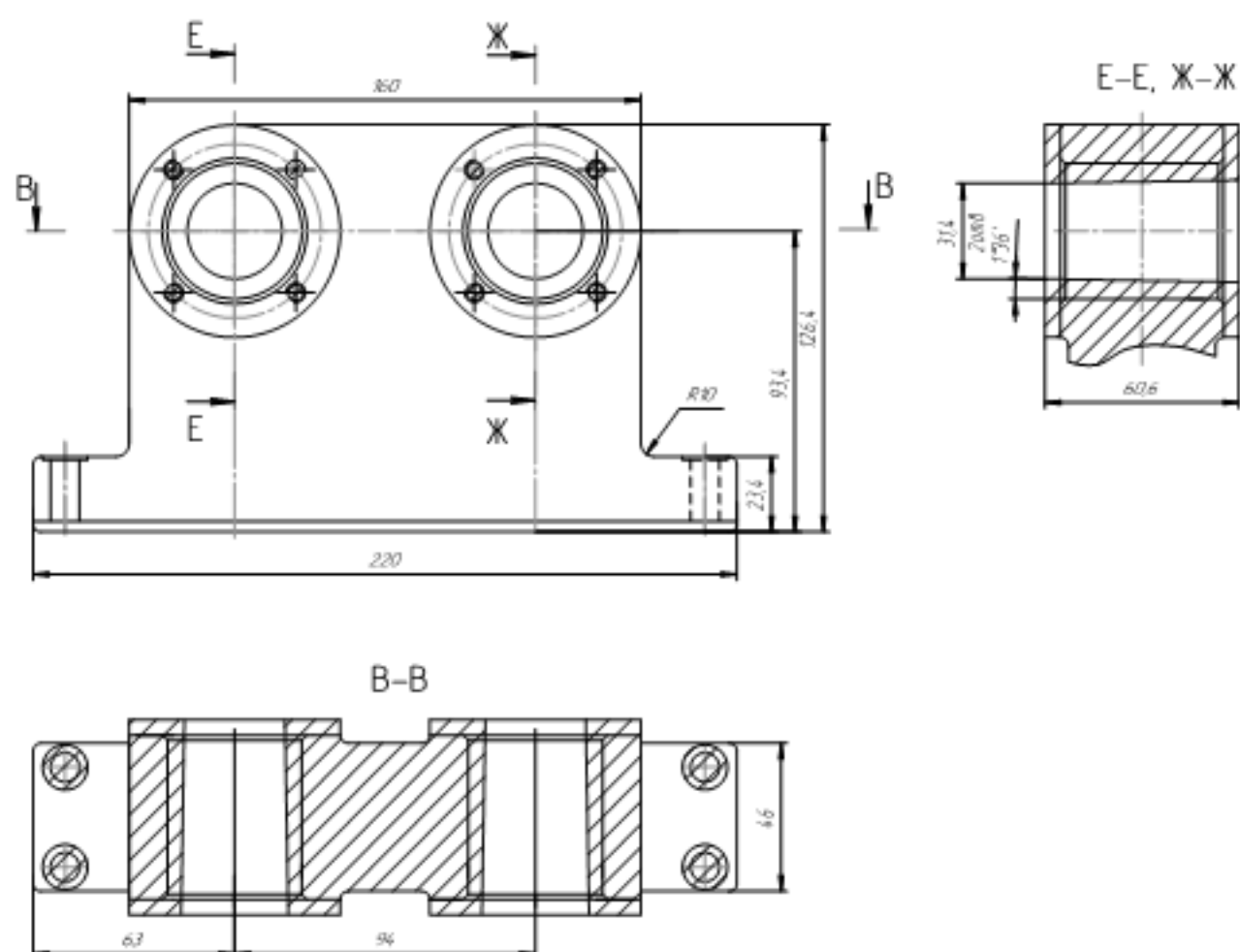


Рисунок 2.2 – Заготовка виготовлена литтям в піщано-глинисті форми

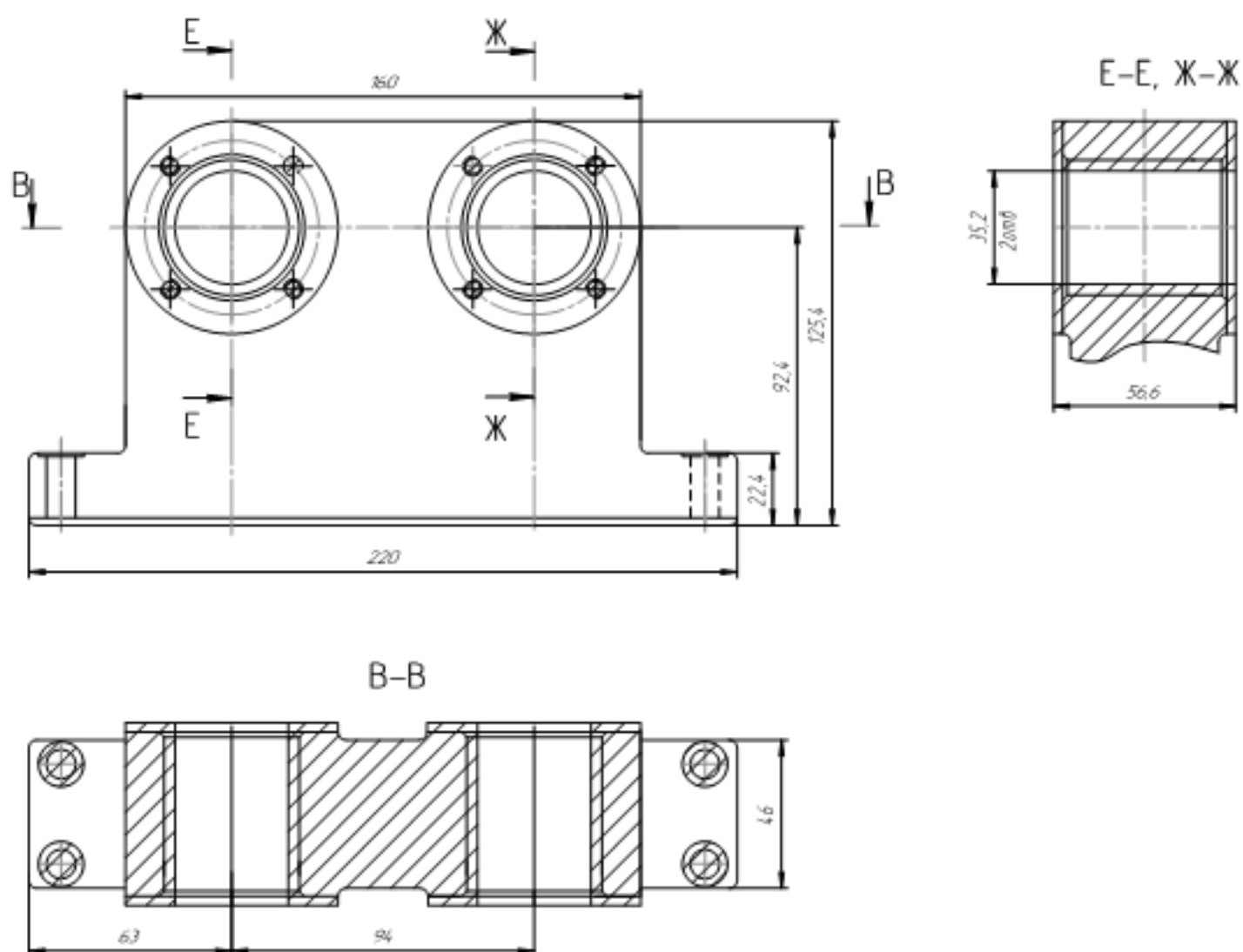


Рисунок 2.3 – Заготовка виготовлена литтям в оболонкові форми

### 2.3.4 Розрахунок маси і коефіцієнтів точності маси для двох варіантів заготовки

Коефіцієнт точності маси заготовки:

$$\gamma = \frac{Q_{\text{дет}}}{Q_{\text{заг}}}, \quad (2.16)$$

де  $Q_{\text{дет}}$  – маса деталі;  $Q_{\text{заг}}$  – маса заготовки.

Масу заготовки для двох варіантів визначаємо за допомогою створених 3D-моделей.

При виготовленні заготовки литтям в піщано-глинисті форми маса заготовки складає 8,2 кг (рис. 2.4).

|          |                                         |
|----------|-----------------------------------------|
| Об'єм    | $V = 1141,686 \text{ см}^3$ ;           |
| Матеріал | СЧ18 ГОСТ 1412-85;                      |
| Густина  | $\rho = 7,2 \text{ г/см}^3$ ;           |
| Маса     | $Q_{\text{заг}} = 8220,1392 \text{ г.}$ |

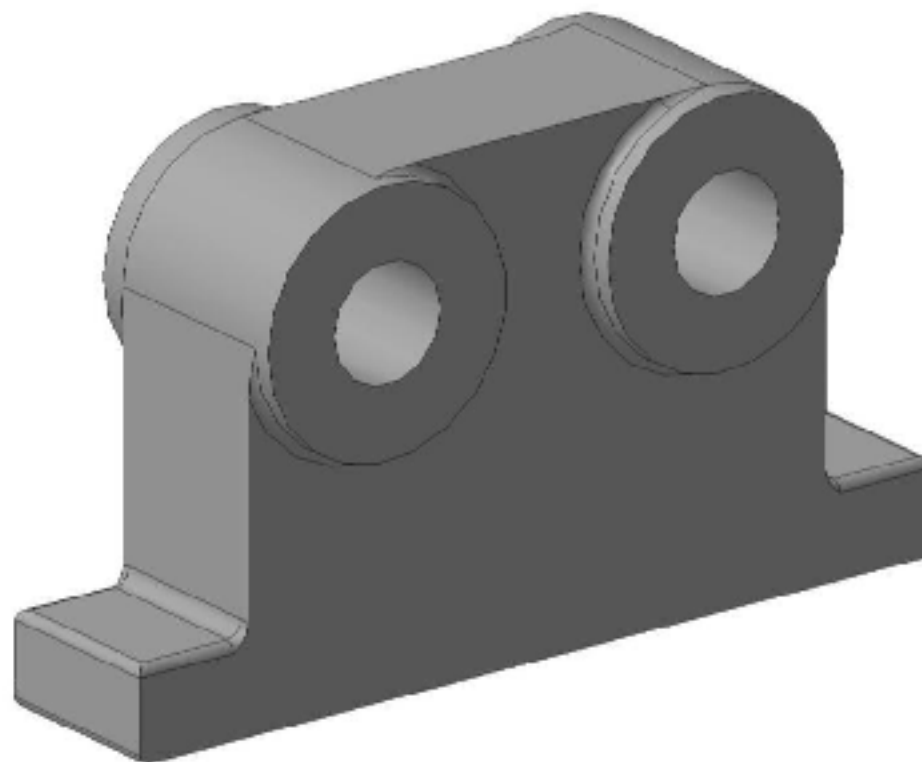


Рисунок 2.4 – 3D-модель заготовки виготовленої литтям в піщано-глинисті форми

Відповідно коефіцієнт точності маси заготовки:

$$\gamma_1 = 6,5/8,2 = 0,79.$$

При виготовленні заготовки литтям в оболонкові форми маса заготовки складає 7,5 кг (рис. 2.5).

|          |                                         |
|----------|-----------------------------------------|
| Об'єм    | $V = 1041,576 \text{ см}^3$ ;           |
| Матеріал | СЧ18 ГОСТ 1412-85;                      |
| Густина  | $\rho = 7,2 \text{ г/см}^3$ ;           |
| Маса     | $Q_{\text{заг}} = 7499,3472 \text{ г.}$ |

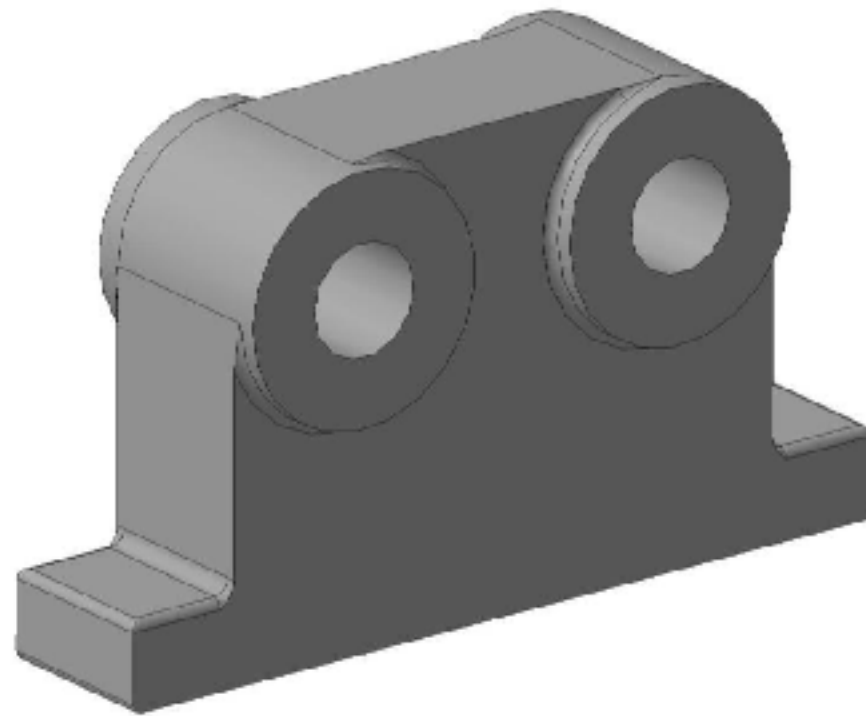


Рисунок 2.5 – 3D-модель заготовки виготовленої литтям в оболонкові форми

Відповідно коефіцієнт точності маси заготовки:

$$\gamma_2 = 6,5/7,5 = 0,87.$$

Отже, коефіцієнт точності маси заготовки при литті в оболонкові форми більший ніж при литті в піщано-глинисті форми, тобто менше матеріалу буде йти у стружку.

2.3.5 Техніко-економічне порівняння двох варіантів заготовки і вибір найраціональнішого

Вартість литої заготовки визначаємо за формулою [11]:

$$C_{\text{заг}} = \frac{S_i}{1000} \cdot Q_{\text{заг}} \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_{\Pi} - (Q_{\text{заг}} - Q_{\text{дем}}) \frac{S_{\text{відх}}}{1000}, [\text{грн.}] \quad (2.17)$$

де  $S_i$  – базова вартість 1 т заготовок грн., вибираємо враховуючи спосіб одержання литої заготовки;

$K_T$  – коефіцієнт, що враховує клас точності заготовок, вибираємо враховуємо спосіб лиття, матеріал заготовки і клас розмірної точності;

$K_M$  – коефіцієнт, що враховує матеріал заготовки. Враховуємо спосіб лиття і марку матеріалу;

$K_C$  – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки. Дана деталь не складної конфігурації і можна віднести до 2 групи складності, також враховуємо спосіб лиття і матеріал заготовки;

$K_B$  – коефіцієнт, що враховує масу заготовки. Вибираємо згідно способу лиття, маси виливка, матеріалу виливка;

$K_{\Pi}$  – коефіцієнт, що залежить від об'єму виробництва, тобто розміру річної програми випуску заготовок. Попередньо визначаємо групу серійності в залежності від способу лиття, маси виливків і об'єму виробництва. При литті в піщано-глинисту-форму і облицьовану форму – 2 група серійності;

$S_{\text{відх}}$  – ціна однієї тонни відходів (стружки), грн.

Таблиця 2.10 – Значення коефіцієнтів для обох способів лиття [11]

| Коефіцієнти | Лиття в оболонкові форми | Лиття піщано-глинисті форми |
|-------------|--------------------------|-----------------------------|
| $S_i$       | 34400                    | 25600                       |
| $K_T$       | 1                        | 1                           |
| $K_M$       | 1                        | 1                           |
| $K_C$       | 1                        | 1                           |
| $K_B$       | 1,14                     | 1,2                         |
| $K_{\Pi}$   | 0,78                     | 0,84                        |

Лиття в оболонкові форми:

$$C_{\text{зар}1} = \left( \frac{34400}{1000} \cdot 7,499 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,14 \cdot 0,78 \right) - (7,499 - 6,455) \frac{1880}{1000} = 227,42 \text{ (грн.)}$$

Лиття піщано-глинисті форми:

$$C_{\text{зар}2} = \left( \frac{25600}{1000} \cdot 8,220 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 0,76 \right) - (8,220 - 6,455) \frac{1880}{1000} = 148,6 \text{ (грн.)}$$

Загальний економічний:

$$E = (C_{\text{зар}1} - C_{\text{зар}2}) \cdot N \text{ [грн.]}, \quad (2.18)$$

$$E = (227,42 - 148,6) \cdot 3200 = 152224 \text{ (грн.)}$$

Тобто економічно доцільніше використовувати лиття в піщано-глинисті форми.

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

Визначення кількості ступенів механічної обробки виконується на основі розрахунків за формулою [1, 9]:

$$\varepsilon = \frac{T_3}{T_d} = \frac{T_3}{T_1} \cdot \frac{T_1}{T_2} \cdot \dots \cdot \frac{T_{i-1}}{T_i} \cdot \dots \cdot \frac{T_n}{T_d} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \dots \cdot \varepsilon_i \cdot \dots \cdot \varepsilon_n = \prod_{i=1}^n \varepsilon_i, \quad (2.19)$$

де  $\varepsilon$  – загальне уточнення;  $\varepsilon_i$  – окремі ступені уточнення;  $n$  – число ступенів обробки;  $T_d$ ,  $T_3$ ,  $T_i$  – допуски параметра, що розглядається відповідно для деталі, заготовки та окремого ступеня обробки.

Для розміру  $\varnothing 40\text{H}7^{(+0,025)}$  загальне уточнення буде рівне:

$$\varepsilon = \frac{T_{\text{заг}}}{T_{\text{дет}}} = \frac{4000}{25} = 160 ,$$

де  $T_{\text{заг}} = 4000$  мкм – допуск заготовки;  $T_{\text{дет}} = 25$  мкм – допуск деталі;  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3 \dots$  – окремі уточнення;  $T_1, T_2, T_3 \dots$  – допуски після технологічних переходів.

Приймаємо  $n = 4$  ступені механічної обробки, призначивши

$$\varepsilon_1 = 6; \varepsilon_2 = 4; \varepsilon_3 = 3,6; \varepsilon_4 = 1,85.$$

Тоді

$$T_1 = \frac{4000}{6} = 666,666 \text{ (мкм)} \quad (\approx \text{IT14});$$

$$T_2 = \frac{666,66}{4} = 166,665 \text{ (мкм)} \quad (\approx \text{IT11});$$

$$T_3 = \frac{166,665}{3,6} = 46,296 \text{ (мкм)} \quad (\approx \text{IT8});$$

$$T_4 = \frac{46,296}{1,85} = 25 \text{ (мкм)} \quad (\text{IT7}).$$

Приймаємо наступні переходи механічної обробки даної поверхні: розточування попереднє; розточування попереднє; розточування попереднє; розточування остаточне.

Таблиця 2.11 – Визначення способів і кількості ступенів механічної обробки

| Поверхневий розмір | Загальне уточнення          | Кількість ступенів механічної обробки                                                 | Допуск                                                   | Квалітет           | Вид механічної обробки                                                                 |
|--------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Ø42H7              | $\varepsilon=4,0/0,025=160$ | $\varepsilon_1=6$<br>$\varepsilon_2=4$<br>$\varepsilon_3=3,6$<br>$\varepsilon_4=1,85$ | $T_1=0,666$<br>$T_2=0,166$<br>$T_3=0,046$<br>$T_4=0,025$ | 14<br>11<br>8<br>7 | Розточування попер.<br>Розточування попер.<br>Розточування попер.<br>Розточення остат. |

Для усіх поверхонь визначимо кількість переходів і способи та методи попередньої та остаточної механічної обробки.

Згідно креслення деталі та прийнятої заготовки необхідно обробити такі поверхні: чотири отвори  $\varnothing 9$ , два бокових торця  $51 \pm 0,1$ , шістнадцять отворів М6-7Н та нарізати різьбу в цих отворах, також необхідно виконати два отвори  $\varnothing 42^{+0,025}$ , чотири заглиблення  $\varnothing 14$ , обробити основу деталі 220 мм, для досягнення необхідної точності.

Для забезпечення цих параметрів точності розмірів деталі, які вказані на кресленні, будемо обробляти ці поверхні наступним чином:

- чотири отвори  $\varnothing 9$  мм – центрувати, свердлити, розвернути, цекувати чотири заглиблення;
- шістнадцять отворів М6-7Н – центрувати, свердлити, нарізати різьби;
- фрезерувати попередньо та остаточно два торця  $51 \pm 0,1$ ;
- фрезерувати попередньо та остаточно основу деталі 220.

Кількість переходів і способи та методи попередньої та остаточної механічної обробки прийняті враховуючи допуски заготовки, та допуски готової деталі (за кресленням деталі), попередньо за таблицями визначивши квалітет на розміри деталі.

## 2.5 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чорнових та чистових технологічних баз

На рис. 2.6 представлена схема чистових технологічних баз.

Це базування на площину і два пальця. Крім того в подальшому для мінімізації похибки базування буде використовуватися верстат з поворотним столом, це дасть змогу обробляти поверхні з одного установа.

Проведемо аналіз похибки базування, яка може виникати під час обробки:

$$\varepsilon_{\text{М6-7Н}} = 0, \varepsilon_{\varnothing 42^{+0,025}} = 0, \varepsilon_{\varnothing 54} = \varepsilon_{\varnothing 66} = 0 \text{ – діаметральні розміри;}$$

$$\varepsilon_{51 \pm 0,1} = 0, \varepsilon_{94 \pm 0,01} = 0 \text{ – обробка з одного установа;}$$

$$\varepsilon_{620} = 0, \varepsilon_{90 \pm 0,01} = 0, \varepsilon_{123} = 0 \text{ – виконується принцип співпадання баз.}$$

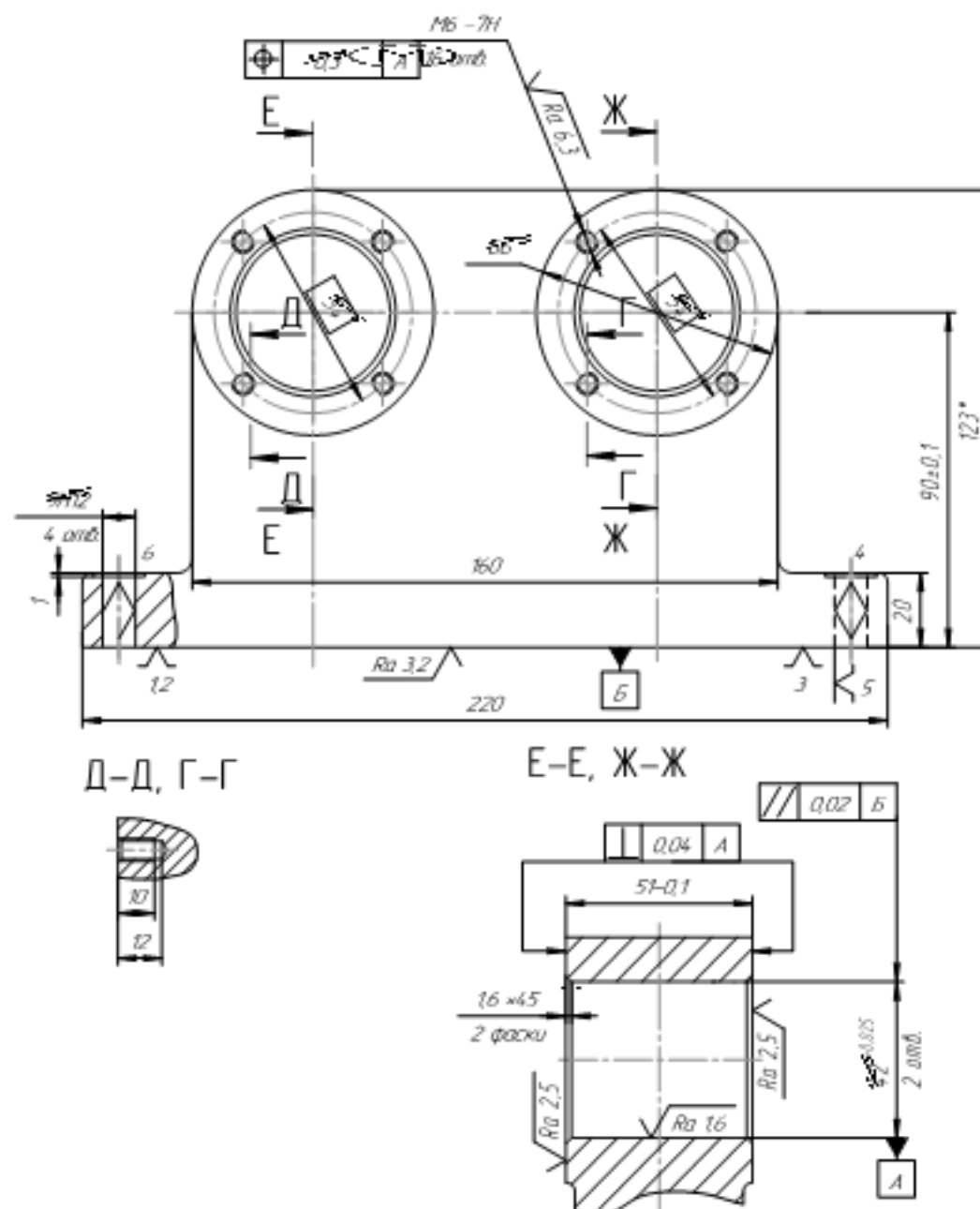


Рисунок 2.6 – Схема чистових технологічних баз

Чорнові бази – поверхні заготовки, які використовуються на першій операції механічної обробки під час обробки чистових баз.

Під час вибору чорнових технологічних баз розв’язується:

- перша задача – це забезпечення розмірної прив’язки оброблених поверхонь з необробленими.
- друга задача – це зняття рівномірного припуску з головних отворів  $\text{Ø}42\text{H}7^{(+0,025)}$ .

На першій операції обробляються чистові бази, тобто ті технологічні бази, які будуть використовуватись на наступних операціях.

На рис. 2.7-2.8 представлені схеми чорнових технологічних баз.

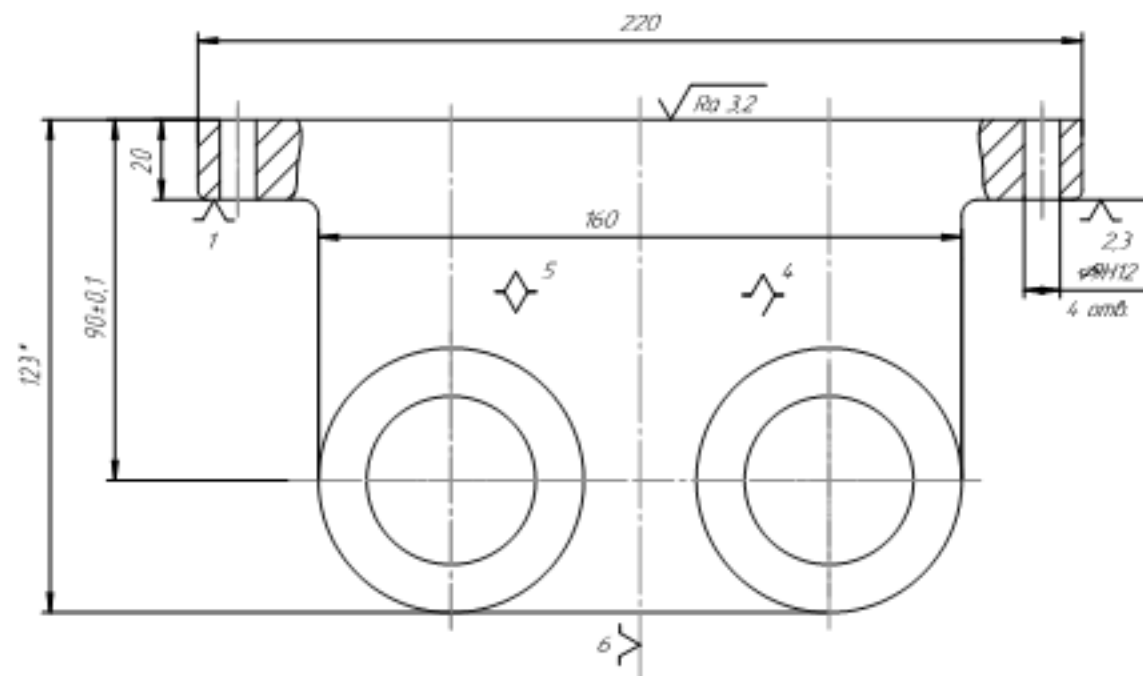


Рисунок 2.7 – Схема чорнових технологічних баз (перший варіант)

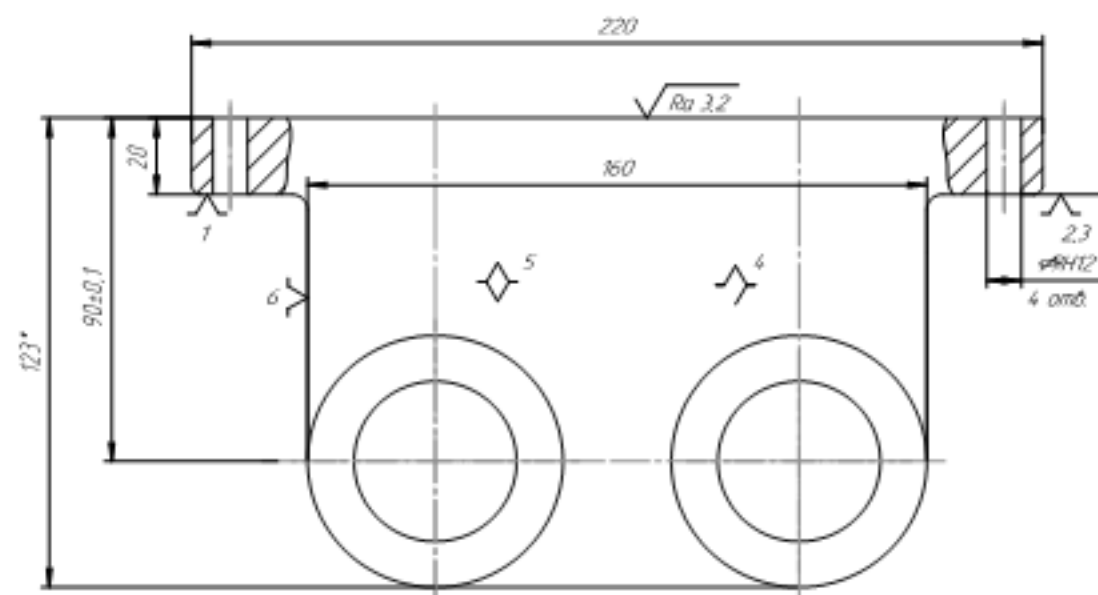


Рисунок 2.8 – Схема чорнових технологічних баз (другий варіант)

При першому варіанті схеми чорнових технологічних баз ми базуємо заготовку в призму, таким чином забезпечуємо само центрування заготовки, за рахунок чого, ми зменшуємо час на установку заготовки, також при такій схемі базування можлива установка типових деталей, без переналагодження, та в подальшому при виконанні технологічного процесу і базуванні заготовки на чотири отвори Ø9H12, які просвердлені симетрично, забезпечується зняття рівномірного припуску з головних отворів Ø42H7<sup>(+0,025)</sup>.

Другий варіант базування гірший, оскільки така схема базування не забезпечує симетричного свердління чотирьох отворів Ø9H12, а отже не буде вирішуватись друга задача.

Отже, враховуючи що перший варіант кращий ніж другий, приймаємо перший варіант.

При запропонованій схемі базування, виконується зв'язок оброблюваних і необроблюваних поверхонь.

## 2.6 Розробка варіантів маршруту механічної обробки удосконаленого технологічного процесу

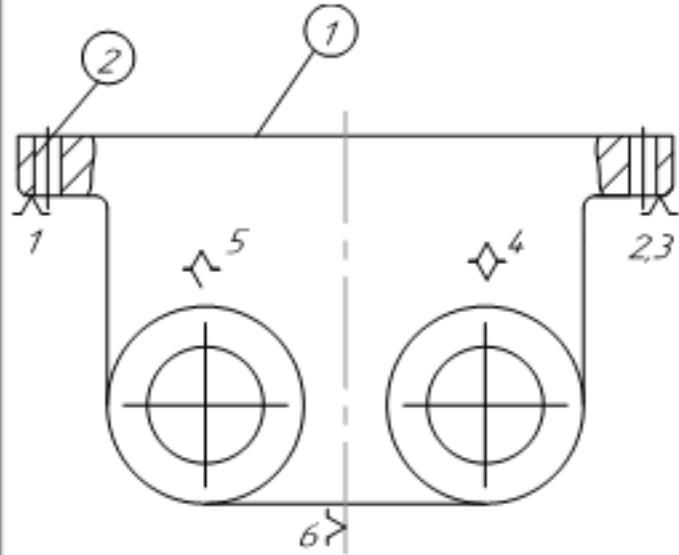
Таблиця 2.12 – Маршрут механічної обробки (варіант 1)

| №   | Назва операції та переходи                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Ескіз обробки, схема базування | Модель верстату                                                     |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 1   | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 3                              | 4                                                                   |
| 005 | <p><b>Фрезерна з ЧПК</b></p> <p>1. Встановити і закріпити заготовку.<br/>                 2. Фрезерувати поверхню 1 попередньо.<br/>                 3. Фрезерувати поверхню 1 остаточно.<br/>                 4. Центрувати чотири отвори 2.<br/>                 5. Свердлити чотири отвори 2.<br/>                 6. Розвернути чотири отвори 2.<br/>                 7. Зняти заготовку.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                | <p>Вертикально-фрезерний верстат<br/>з ЧПК 6P13PФ3</p>              |
| 010 | <p><b>Багатоцільова з ЧПК</b></p> <p>1. Встановити і закріпити заготовку.<br/>                 2. Фрезерувати поверхню 1 попередньо.<br/>                 3. Повернути стіл на 180°.<br/>                 4. Фрезерувати поверхню 2 попередньо.<br/>                 5. Центрувати вісім отворів 3.<br/>                 6. Повернути стіл на 180°.<br/>                 7. Центрувати вісім отворів 3.<br/>                 8. Свердлити вісім отворів 3.<br/>                 9. Повернути стіл на 180°.<br/>                 10. Свердлити вісім отворів 3.<br/>                 11. Нарізати різь в восьми отворах 3.<br/>                 12. Повернути стіл на 180°.<br/>                 13. Нарізати різь в восьми отворах 3.</p> |                                | <p>Горизонтальний багатоцільовий верстат з ЧПК<br/>HAAS EC-1600</p> |

Продовження таблиці 2.12

| 1 | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 3 | 4 |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|
|   | 14. Розточити дві фаски 5 та два отвори 4 попередньо.<br>15. Повернути стіл на $180^\circ$ .<br>16. Розточити дві фаски 6 та два отвори 4 попередньо.<br>17. Фрезерувати поверхню 1 остаточно.<br>18. Повернути стіл на $180^\circ$ .<br>19. Фрезерувати поверхню 2 остаточно.<br>20. Розточити два отвори 4 попередньо.<br>21. Розточити два отвори 4 остаточно.<br>22. Повернути стіл на $90^\circ$ .<br>23. Цекувати чотири заглиблення 7.<br>24. Зняти деталь. |   |   |

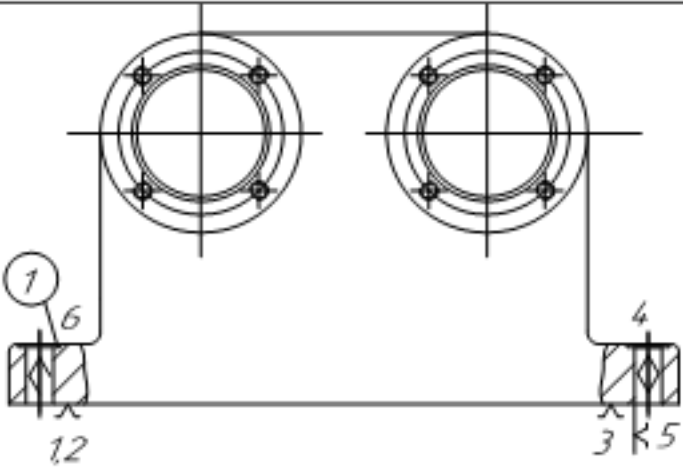
Таблиця 2.13 – Маршрут механічної обробки (варіант 2)

| №   | Назва операції та переходи                                                                                                                                                                                                                                                     | Ескіз обробки, схема базування                                                        | Модель верстату                                |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1   | 2                                                                                                                                                                                                                                                                              | 3                                                                                     | 4                                              |
| 005 | <b>Фрезерна з ЧПК</b><br><br>1. Встановити і закріпити заготовку.<br>2. Фрезерувати поверхню 1 попередньо.<br>3. Фрезерувати поверхню 1 остаточно.<br>4. Центрувати чотири отвори 2.<br>5. Свердлити чотири отвори 2.<br>6. Розвернути чотири отвори 2.<br>7. Зняти заготовку. |  | Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК<br>ГФ2171М |

Продовження таблиці 2.13

| 1   | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 3                                                                                            | 4                                                                                       |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 010 | <p>Багатоцільова з ЧПК</p> <p>Установ 1</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Фрезерувати поверхню 1 попередньо.</li> <li>3. Центрувати вісім отворів 3.</li> <li>4. Свердлити вісім отворів 3.</li> <li>5. Нарізати різь в восьми отворах 3.</li> <li>6. Розточити дві фаски 5 та два отвори 4 попередньо.</li> <li>7. Розточити два отвори 4 попередньо.</li> <li>8. Фрезерувати поверхню 1 остаточно.</li> <li>9. Зняти заготовку.</li> </ol> <p>Установ 2 (поворот заготовки на 180°)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>10. Встановити і закріпити заготовку.</li> <li>11. Фрезерувати поверхню 2 попередньо.</li> <li>12. Центрувати вісім отворів 3.</li> <li>13. Свердлити вісім отворів 3.</li> <li>14. Нарізати різь у восьми отворах 3.</li> <li>15. Розточити дві фаски 6 та два отвори 4 попередньо.</li> <li>16. Розточити два отвори 4 остаточно.</li> <li>17. Фрезерувати поверхню 2 остаточно.</li> <li>18. Зняти заготовку.</li> </ol> | <p>Technical drawing showing the part and its features (1-6) and section lines A-A, B-B.</p> | <p>Багатоцільовий вертикальний свердлильно-фрезерно-розточувальний верстат ЛФ260МФ3</p> |

Продовження таблиці 2.13

| 1   | 2                                                                                                                                         | 3                                                                                   | 4                                             |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 015 | <p>Радіально-свердлильна</p> <p>1. Встановити і закріпити заготовку.</p> <p>2. Цекувати чотири заглиблення 1.</p> <p>3. Зняти деталь.</p> |  | <p>Радіально-свердильний<br/>Верстат 2A53</p> |

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

Критерієм оптимальності при порівнянні двох варіантів механічної обробки є цехова собівартість операцій механічної обробки, яка визначається за формулою [1]:

$$C_{\text{с}} = \frac{C_{\text{п-г}} \cdot T_{\text{шт-к}}}{60 \cdot K_{\text{в}}} \text{ [грн.]}, \quad (2.20)$$

де  $C_{\text{п-г}}$  – цехові годинні приведені витрати, грн./год.;

$K_{\text{в}}$  – коефіцієнт виконання норм, що приймається рівним 1,3;

$T_{\text{шт-к}}$  – штучно-калькуляційний час на виконання операції, хв.

В запропонованих варіантах технологічного процесу використовуються різні верстати. Тому необхідно визначити штучно-калькуляційний час обробки  $T_{\text{шт-к}}$  та цехові годинні приведені витрати  $C_{\text{п-г}}$ .

Штучно-калькуляційний час обробки  $T_{\text{шт-к}}$  визначено за формулами наближеного нормування і приведено в табл. 2.14-2.15.

Таблиця 2.14 – Основний та штучно-калькуляційний час обробки за першим варіантом маршруту механічної обробки

| №<br>п/п | Склад операції                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Розрахункова формула $T_{\text{осн.}} \cdot 10^{-3}$ , хв.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                         |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 4                                                                                                       |
| 005      | Фрезерна з ЧПК<br><br>2. Фрезерувати поверхню 1 попередньо.<br>3. Фрезерувати поверхню 1 остаточно.<br>4. Центрувати чотири отвори 2.<br>5. Свердлити чотири отвори 2.<br>6. Розвернути чотири отвори 2.                                                                                                                                                                                    | $T_{o2} = 6 \cdot l = 6 \cdot 220 \cdot 10^{-3} = 1,32 \text{ (хв.)};$<br>$T_{o3} = 4 \cdot l = 4 \cdot 220 \cdot 10^{-3} = 0,88 \text{ (хв.)};$<br>$T_{o4} = (0,52 \cdot d \cdot l) \cdot 4 = (0,52 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 10^{-3}) \cdot 4 = 0,05 \text{ (хв.)};$<br>$T_{o5} = (0,52 \cdot d \cdot l) \cdot 4 = (0,52 \cdot 9 \cdot 20 \cdot 10^{-3}) \cdot 4 = 0,374 \text{ (хв.)};$<br>$T_{o6} = (0,43 \cdot d \cdot l) \cdot 4 = (0,43 \cdot 9 \cdot 20 \cdot 10^{-3}) \cdot 4 = 0,31 \text{ (хв.)};$<br>$\Sigma T_{\text{осн.}} = 2,624 \text{ хв.}$                                                                                              | $\Sigma T_{\text{шт-к}} = \Sigma T_{\text{осн.}} \cdot \Phi_K = 2,624 \cdot 1,84 = 4,83 \text{ (хв.)}$  |
| 010      | Багатоцільова з ЧПК<br><br>2. Фрезерувати поверхню 1 попередньо.<br>4. Фрезерувати поверхню 2 попередньо.<br>5. Центрувати вісім отворів 3.<br>7. Центрувати вісім отворів 3.<br>8. Свердлити вісім отворів 3.<br>10. Свердлити вісім отворів 3.<br>11. Нарізати різь в восьми отворах 3.<br>13. Нарізати різь в восьми отворах 3.<br>14. Розточити дві фаски 5 та два отвори 4 попередньо. | $T_{o2} = (6 \cdot l) = (6 \cdot 66 \cdot 10^{-3}) = 0,396 \text{ (хв.)};$<br>$T_{o4} = (6 \cdot l) = (6 \cdot 66 \cdot 10^{-3}) = 0,396 \text{ (хв.)};$<br>$T_{o5,7} = (0,52 \cdot d \cdot l) \cdot 16 = (0,52 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 10^{-3}) \cdot 16 = 0,125 \text{ (хв.)};$<br>$T_{o8,10} = (0,52 \cdot d \cdot l) \cdot 16 = (0,52 \cdot 6 \cdot 12 \cdot 10^{-3}) \cdot 16 = 0,599 \text{ (хв.)};$<br>$T_{o11,13} = (0,4 \cdot d \cdot l) \cdot 16 = (0,4 \cdot 6 \cdot 10 \cdot 10^{-3}) \cdot 16 = 0,384 \text{ (хв.)};$<br>$T_{o14} = (0,18 \cdot d \cdot l) \cdot 2 = (0,18 \cdot 42 \cdot 51 \cdot 10^{-3}) \cdot 2 = 0,771 \text{ (хв.)};$ | $\Sigma T_{\text{шт-к}} = \Sigma T_{\text{осн.}} \cdot \Phi_K = 5,567 \cdot 2,27 = 12,64 \text{ (хв.)}$ |

Продовження таблиці 2.14

| 1 | 2                                                                                                                                                                                                                                                                | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 4 |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
|   | 16. Розточити дві фаски 6 та два отвори 4 попередньо.<br>17. Фрезерувати поверхню 1 остаточно.<br>19. Фрезерувати поверхню 2 остаточно.<br>20. Розточити два отвори 4 попередньо.<br>21. Розточити два отвори 4 остаточно.<br>23. Цекувати чотири заглиблення 7. | $T_{o16} = (0,2 \cdot d \cdot l) \cdot 2 = (0,2 \cdot 42 \cdot 51 \cdot 10^{-3}) \cdot 2 = 0,857 \text{ (хв)};$<br>$T_{o17} = (4 \cdot l) = (4 \cdot 66 \cdot 10^{-3}) = 0,264 \text{ (хв)};$<br>$T_{o19} = (4 \cdot l) = (4 \cdot 66 \cdot 10^{-3}) = 0,264 \text{ (хв)};$<br>$T_{o20} = (0,3 \cdot d \cdot l) \cdot 2 = (0,3 \cdot 42 \cdot 51 \cdot 10^{-3}) \cdot 2 = 1,285 \text{ (хв)};$<br>$T_{o21} = (0,05 \cdot d \cdot l) \cdot 2 = (0,05 \cdot 42 \cdot 51 \cdot 10^{-3}) \cdot 2 = 0,214 \text{ (хв)};$<br>$T_{o23} = (0,21 \cdot d \cdot l) \cdot 4 = (0,21 \cdot 14 \cdot 1 \cdot 10^{-3}) \cdot 4 = 0,012 \text{ (хв)};$<br>$\Sigma T_{\text{осн.}} = 5,567 \text{ хв.}$ |   |

Таблиця 2.15 – Основний та штучно-калькуляційний час обробки за другим варіантом маршруту механічної обробки

| № п/п | Склад операції                                                                                                                                                                                                  | Розрахункова формула $T_{\text{осн.}} \cdot 10^{-3}$ , хв.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                       |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | 2                                                                                                                                                                                                               | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 4                                                                                                     |
| 005   | <b>Фрезерна з ЧПК</b><br><br>2. Фрезерувати поверхню 1 попередньо.<br>3. Фрезерувати поверхню 1 остаточно.<br>4. Центрувати чотири отвори 2.<br>5. Свердлити чотири отвори 2.<br>6. Розвернути чотири отвори 2. | $T_{o2} = 6 \cdot l = 6 \cdot 220 \cdot 10^{-3} = 1,32 \text{ (хв)};$<br>$T_{o3} = 4 \cdot l = 4 \cdot 220 \cdot 10^{-3} = 0,88 \text{ (хв)};$<br>$T_{o4} = (0,52 \cdot d \cdot l) \cdot 4 = (0,52 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 10^{-3}) \cdot 4 = 0,05 \text{ (хв)};$<br>$T_{o5} = (0,52 \cdot d \cdot l) \cdot 4 = (0,52 \cdot 9 \cdot 20 \cdot 10^{-3}) \cdot 4 = 0,3744 \text{ (хв)};$<br>$T_{o6} = (0,43 \cdot d \cdot l) \cdot 4 = (0,43 \cdot 9 \cdot 20 \cdot 10^{-3}) \cdot 4 = 0,31 \text{ (хв)};$<br>$\Sigma T_{\text{осн.}} = 2,934 \text{ хв.}$ | $\Sigma T_{\text{шт-к}} = \Sigma T_{\text{осн.}} \cdot \Phi_k = 2,934 \cdot 1,84 = 5,4 \text{ (хв.)}$ |

Продовження таблиці 2.15

| 1   | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 4                                                                                                       |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 010 | <p>Багатоцільова з ЧПК</p> <p>2. Фрезерувати поверхню 1 попередньо.</p> <p>3. Центрувати вісім отворів 3.</p> <p>4. Свердлийти вісім отворів 3.</p> <p>5. Нарізати різь в восьми отворах 3.</p> <p>6. Розточити дві фаски 5 та два отвори 4 попередньо.</p> <p>7. Розточити два отвори 4 попередньо.</p> <p>8. Фрезерувати поверхню 1 остаточно.</p> <p>11. Фрезерувати поверхню 2 попередньо.</p> <p>12. Центрувати вісім отворів 3.</p> <p>13. Свердлийти вісім отворів 3.</p> <p>14. Нарізати різь у восьми отворах 3.</p> <p>15. Розточити дві фаски 6 та два отвори 4 попередньо.</p> <p>16. Розточити два отвори 4 остаточно.</p> <p>17. Фрезерувати поверхню 2 остаточно.</p> | $T_{o2,11} = (6 \cdot l) = (6 \cdot 66 \cdot 10^{-3}) = 0,396 \text{ (хв)};$ $T_{o3,12} = (0,52 \cdot d \cdot l) \cdot 16 = (0,52 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 10^{-3}) \cdot 16 = 0,125 \text{ (хв)};$ $T_{o4,13} = (0,52 \cdot d \cdot l) \cdot 16 = (0,52 \cdot 6 \cdot 12 \cdot 10^{-3}) \cdot 16 = 0,599 \text{ (хв)};$ $T_{o5,14} = (0,4 \cdot d \cdot l) \cdot 16 = (0,4 \cdot 6 \cdot 10 \cdot 10^{-3}) \cdot 16 = 0,384 \text{ (хв)};$ $T_{o6,15} = (0,18 \cdot d \cdot l) \cdot 2 = (0,18 \cdot 42 \cdot 51 \cdot 10^{-3}) \cdot 2 = 0,771 \text{ (хв)};$ $T_{o7,16} = (0,3 \cdot d \cdot l) \cdot 2 = (0,3 \cdot 42 \cdot 51 \cdot 10^{-3}) \cdot 2 = 1,285 \text{ (хв)};$ $T_{o8,17} = (4 \cdot l) = (4 \cdot 66 \cdot 10^{-3}) = 0,264 \text{ (хв)};$ $\Sigma T_{\text{осн.}} = 5,555 \text{ хв.}$ | $\Sigma T_{\text{шт-к}} = \Sigma T_{\text{осн.}} \cdot \Phi_K = 5,555 \cdot 2,27 = 12,61 \text{ (хв.)}$ |
| 015 | <p>Радіально-свердлильна</p> <p>2. Цекувати чотири заглиблення 1.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | $T_{o2} = (0,21 \cdot d \cdot l) \cdot 4 = (0,21 \cdot 14 \cdot 1 \cdot 10^{-3}) \cdot 4 = 0,012 \text{ (хв.)};$ $\Sigma T_{\text{осн.}} = 0,012 \text{ хв.}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | $\Sigma T_{\text{шт-к}} = \Sigma T_{\text{осн.}} \cdot \Phi_K = 0,012 \cdot 1,75 = 0,021 \text{ (хв.)}$ |

Технологічна собівартість операції 005, що виконується на верстаті фрезерному з ЧПК верстаті 6P13PФ3:

$$C_0 = \frac{83,1 \cdot 4,83}{60 \cdot 1,3} = 4,94 \text{ (грн.)}$$

Аналогічно розраховується технологічна собівартість усіх інших операцій. Технологічна собівартість операції технологічних процесів механічної обробки наведена в табл. 2.16.

Таблиця 2.16 – Технологічна собівартість

| Тип верстату   | Штучно-калькуляційний час обробки $T_{шт-к}$ , хв. | Годинні приведені витрати $C_{г-г}$ , грн./год. | Технологічна собівартість $C_0$ , грн. |
|----------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Перший варіант |                                                    |                                                 |                                        |
| 6P13PФ3        | 4,83                                               | 83,1                                            | 5,15                                   |
| HAAS EC-1600   | 12,64                                              | 87,1                                            | 14,11                                  |
| Всього         |                                                    |                                                 | 19,26                                  |
| Другий варіант |                                                    |                                                 |                                        |
| ГФ2171М        | 5,4                                                | 87,2                                            | 6,04                                   |
| ЛФ260МФ3       | 12,61                                              | 86,3                                            | 13,97                                  |
| 2A53           | 0,021                                              | 62,6                                            | 0,017                                  |
| Всього         |                                                    |                                                 | 20,01                                  |

Отже, при використанні першого варіанту технологічного процесу технологічна собівартість операцій виготовлення деталі складатиме 19,26 грн., а при використанні другого варіанту – 20,01 грн. Економічний ефект складатиме:

$$E = (20,01 - 19,26) \cdot 3200 = 2396,27 \text{ (грн.)}$$

Отже, деталь виготовлена за першим із запропонованих технологічних процесів буде мати меншу собівартість у порівнянні із деталлю виготовленою за другим варіантом маршруту технологічної обробки.

## 2.8 Розмірно-точносне моделювання технологічного процесу

### 2.8.1 Вибір розташування технологічних розмірів

Технологічні розміри слід розташовувати таким чином, що мінімізувати похибку базування і забезпечити можливість його контролю універсальним інструментом [1].

Технологічний розмір  $Z_1$  розміщений таким чином, що він пов'язує між собою основу деталі, та виступ за рахунок якого деталь фіксується в вузлі, таким чином, мінімізує похибку базування та дозволяє досить зручно його контролювати (наприклад, штангенциркулем). Технологічний розмір  $Z_2$  розміщений таким чином, що він пов'язує між собою основу деталі, та вісь отвору у вихідній заготовці, таким чином, мінімізує похибку базування та дозволяє досить зручно його контролювати (наприклад, штангенциркулем).

Технологічні розміри відповідно  $B_1$ ,  $B_2$  відкладені від однієї поверхні, що дозволяє виключити похибку базування на ці розміри взагалі, оскільки вони виконуються з одного установу, мінімальна похибка відносного розташування поверхонь, а також забезпечується зручність їх вимірювання.

Технологічні розміри відповідно  $B_3$ ,  $B_4$ ,  $B_5$ ,  $B_6$  відкладені від одного торця, що дозволяє виключити похибку базування на ці розміри взагалі, оскільки вони виконуються з одного установу, мінімальна похибка відносного розташування поверхонь, а також забезпечується зручність їх вимірювання.

Розміри заготовки розташовані таким чином, щоб забезпечити легкість їх контролю універсальним інструментом.

При розташуванні усіх розмірів, враховувалося те, що технологічні розмірні ланцюги мають бути найкоротші, це у свою чергу мінімізує похибку базування. Розміщення технологічних розмірів показана на рис. 2.9.

### 2.8.2 Попереднє визначення допусків технологічних розмірів

Допуски на технологічні розміри призначаються згідно довідника, для відповідного розміру за відповідним квалітетом. Допуски на всі розміри зведені в табл. 2.17.

Таблиця 2.17 – Попередні допуски технологічних розмірів

| Розмір     | B <sub>1</sub> | B <sub>2</sub> | B <sub>3</sub> | B <sub>4</sub> | B <sub>5</sub> | B <sub>6</sub> | З <sub>1</sub> | З <sub>2</sub> |
|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Квалітет   | 15             | 14             | 14             | 11             | 9              | 8              | 17             | 17             |
| Допуск, мм | 0,84           | 0,52           | 0,87           | 0,22           | 0,087          | 0,04           | 2,1            | 3,5            |

Визначені допуски використовуються при подальших розрахунках технологічних розмірів.

Таблиця 2.18 – Конструкторські розміри

| Конструкторський розмір | K <sub>1</sub> | K <sub>2</sub> |
|-------------------------|----------------|----------------|
|                         | 14             | 7              |
| Допуск, мм              | 0,52           | 0,04           |

### 2.8.3 Розмірна схема технологічного процесу

Одним із перших етапів розмірного аналізу є побудова розмірної схеми технологічного процесу.

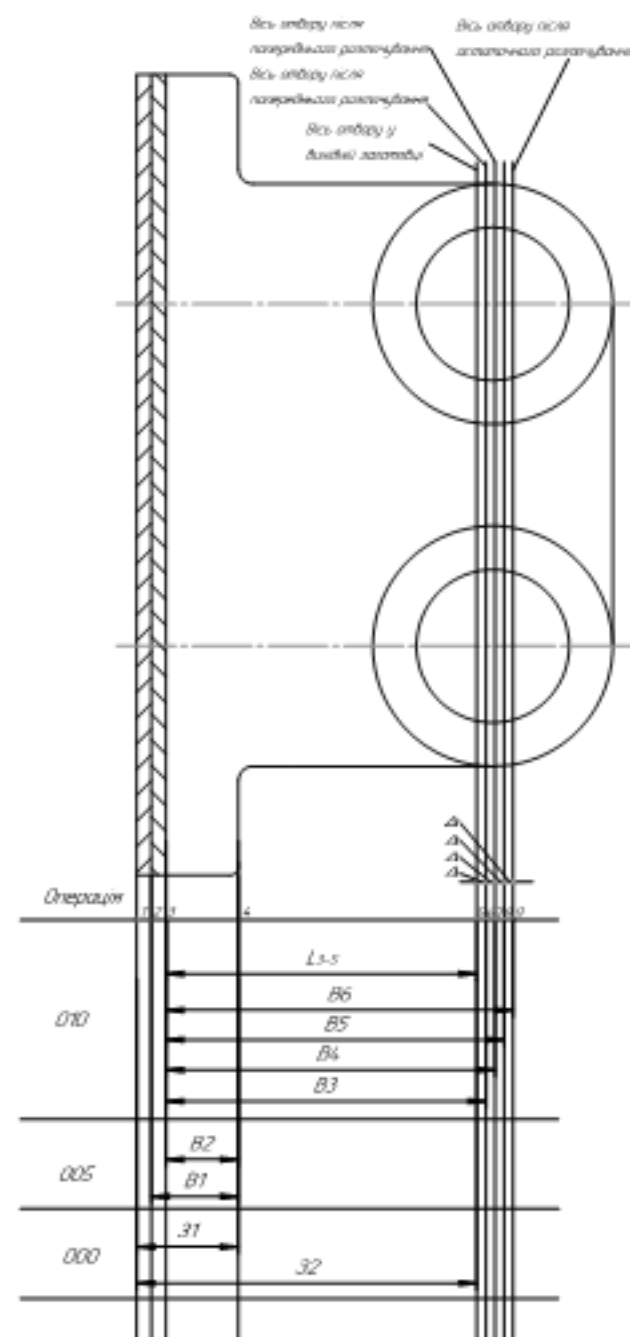


Рисунок 2.9 – Розмірна схема технологічного процесу

## 2.8.4 Похідний, вихідний граф-дерева, суміщений граф

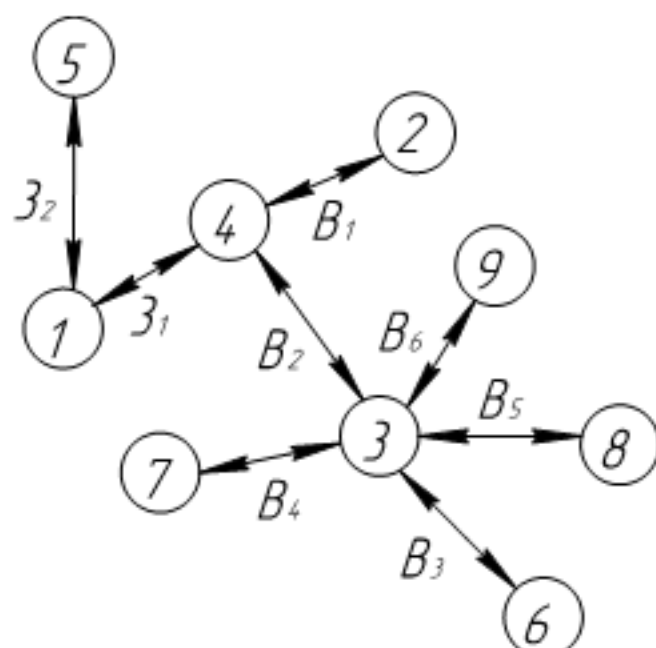


Рисунок 2.10 – Похідний граф-дерево

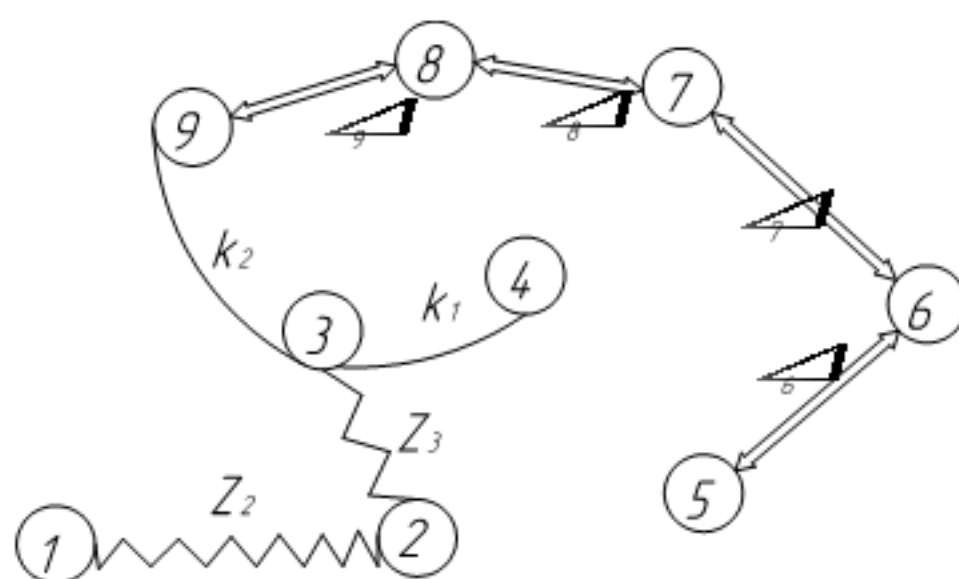


Рисунок 2.11 – Вихідний граф-дерево

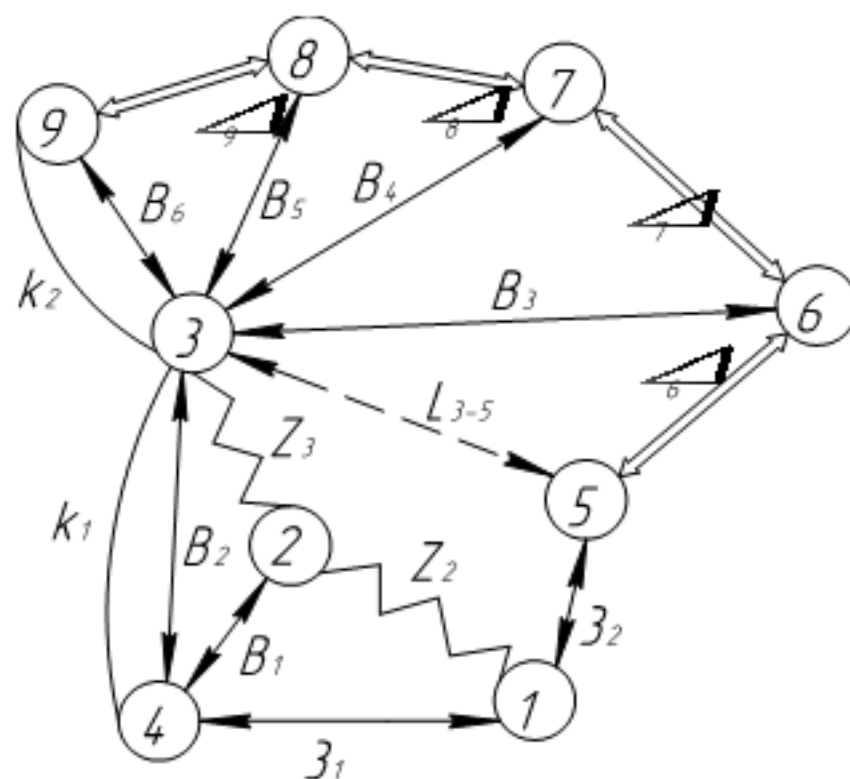


Рисунок 2.12 – Суміщений граф-дерево

### 2.8.5 Визначення проміжних мінімальних припусків на механічну обробку плоских поверхонь

Для проведення необхідних розрахунків в подальшому необхідно визначити проміжні мінімальні припуски за довідником. При цьому, оскільки в даному випадкові розглядаються лише торці, які входять в один діапазон, то мінімальний припуск буде [3].

Таблиця 2.19 – Значення мінімальних припусків

| Припуск                                           | $z_2$                  | $z_3$                |
|---------------------------------------------------|------------------------|----------------------|
| Спосіб обробки                                    | Попереднє фрезерування | Чистове фрезерування |
| Значення мінімального припуску ( $z_{\min}$ ), мм | 1,2                    | 0,25                 |

### 2.8.6 Таблиця рівнянь технологічних розмірних ланцюгів

Використовуючи граф-дерева, записано розрахункові рівняння для розрахунку значень всіх розмірів, які занесені до таблиці 2.20.

Таблиця 2.20 – Рівняння для розрахунку розмірних технологічних ланцюгів

| № п/п | Розрахункове                            | Вихідне рівняння                   | Розмір, що визначається |
|-------|-----------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| 1     | $-K_1 + B_2 = 0$                        | $K_1 = B_2$                        | $B_2$                   |
| 2     | $-K_2 + B_6 = 0$                        | $K_2 = B_6$                        | $B_6$                   |
| 3     | $-z_3 + B_1 - B_2 = 0$                  | $z_3 = B_1 - B_2$                  | $B_1$                   |
| 4     | $-z_2 + z_1 - B_1 = 0$                  | $z_2 = z_1 - B_1$                  | $z_1$                   |
| 5     | $-\Delta_9 - B_5 + B_6 = 0$             | $\Delta_9 = B_6 - B_5$             | $B_5$                   |
| 6     | $-\Delta_8 - B_4 + B_5 = 0$             | $\Delta_8 = B_5 - B_4$             | $B_4$                   |
| 7     | $-\Delta_7 - B_3 + B_4 = 0$             | $\Delta_7 = B_4 - B_3$             | $B_3$                   |
| 8     | $-\Delta_6 - z_2 + z_1 - B_2 + B_3 = 0$ | $\Delta_6 = z_1 - z_2 - B_2 + B_3$ | $z_2$                   |

### 2.8.7 Визначення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки, максимальних припусків

Відповідно до наведених вище рівнянь знаходимо значення технологічних розмірів.

$$1. K_1 = B_2. \text{ Звідки знаходимо } B_2 = K_1 = 20_{-0,52} \text{ (мм.)}$$

$$2. K_2 = B_6. \text{ Звідки знаходимо } B_6 = K_2 = 90 \pm 0,02 \text{ (мм.)}$$

$$3. z_{3 \min} = B_{1 \min} - B_{2 \max} [\text{мм}].$$

$$B_{1 \min} = B_{2 \max} + z_{3 \min} = 20 + 0,25 = 20,25 \text{ (мм.)}$$

$$B_{1 \max} = B_{1 \min} + T(B_1) = 20,25 + 0,84 = 21,09 \text{ (мм.)}$$

$$z_{3 \max} = B_{1 \max} - B_{2 \min} = 21,09 - 19,48 = 1,61 \text{ (мм.)}$$

$$3_1 = 21,09_{-0,84} \text{ мм.}$$

$$4. z_{2 \min} = 3_{1 \min} - B_{1 \max} [\text{мм}].$$

$$3_{1 \min} = B_{1 \max} + z_{2 \min} = 21,09 + 1,2 = 22,29 \text{ (мм.)}$$

$$3_{1 \max} = 3_{1 \min} + T(3_1) = 22,29 + 2,1 = 24,39 \text{ (мм.)}$$

$$z_{2 \max} = 3_{1 \max} - B_{1 \min} = 24,39 - 20,25 = 4,14 \text{ (мм.)}$$

$$3_1 = 24,39_{-2,1} \text{ мм.}$$

$$5. \Delta_9 = B_6 - B_5 [\text{мм}].$$

Для визначення значення ланки замикання цього рівняння вважатимемо, що в номіналі вісь отвору у заготовці після третього попереднього розточування і вісь отвору у заготовці після остаточного розточування співпадають. З урахуванням цього запишемо

$$(\Delta_9)_{\text{ном}} = (\Delta_9)_{\text{сер}} = 0,$$

де  $(\Delta_9)_{\text{ном}}$  і  $(\Delta_9)_{\text{сер}}$  – відповідно номінальне й середнє значення зміщення осі 8 відносно осі 9. Таким чином,

$$B_{6 \text{ ном}} = B_{6 \text{ сер}} = B_{5 \text{ ном}} = B_{5 \text{ сер}} = 90 \text{ (мм.)}$$

Вважаючи, що поле допуску розміру  $B_5$  розташоване симетрично відносно  $B_{5 \text{ сер}}$ , запишемо  $B_5 = 90 \pm 0,0435 \text{ мм.}$

$$6. \Delta_8 = B_5 - B_4 [\text{мм}].$$

Для визначення значення ланки замикання цього рівняння вважатимемо, що в номіналі вісь отвору у заготовці після другого попереднього розточування і вісь

отвору у заготовці після третього попереднього розточування співпадають. З урахуванням цього запишемо

$$(\Delta_8)_{\text{ном}} = (\Delta_8)_{\text{сер}} = 0 ,$$

де  $(\Delta_8)_{\text{ном}}$  і  $(\Delta_8)_{\text{сер}}$  – відповідно номінальне й середнє значення зміщення осі 7 відносно осі 8. Таким чином,

$$B_{5 \text{ ном}} = B_{5 \text{ сер}} = B_{4 \text{ ном}} = B_{4 \text{ сер}} = 90 \text{ (мм)}.$$

Вважаючи, що поле допуску розміру  $B_4$  розташоване симетрично відносно  $B_{4 \text{ сер}}$ , запишемо  $B_4 = 90 \pm 0,11 \text{ мм}$ .

$$7. \Delta_7 = B_4 - B_3 [\text{мм}].$$

Для визначення значення ланки замикання цього рівняння вважатимемо, що в номіналі вісь отвору у заготовці після другого попереднього розточування і вісь отвору у заготовці після першого розточування співпадають. З урахуванням цього запишемо

$$(\Delta_7)_{\text{ном}} = (\Delta_7)_{\text{сер}} = 0 ,$$

де  $(\Delta_7)_{\text{ном}}$  і  $(\Delta_7)_{\text{сер}}$  – відповідно номінальне й середнє значення зміщення осі 6 відносно осі 7. Таким чином,

$$B_{4 \text{ ном}} = B_{4 \text{ сер}} = B_{3 \text{ ном}} = B_{3 \text{ сер}} = 90 \text{ (мм)}.$$

Вважаючи, що поле допуску розміру  $B_3$  розташоване симетрично відносно  $B_{3 \text{ сер}}$ , запишемо  $B_3 = 90 \pm 0,435 \text{ мм}$ .

$$8. \Delta_6 = Z_1 - Z_2 - B_2 + B_3 [\text{мм}].$$

Вважатимемо, що в номіналі вісь отвору у вихідній заготовці і вісь отвору у заготовці після першого попереднього розточування також співпадають. З урахуванням цього запишемо

$$\Delta_{6 \text{ ном}} = \Delta_{6 \text{ сгр}} = 0.$$

Таким чином,

$$Z_{1 \text{ сгр}} - Z_{2 \text{ сгр}} - B_{2 \text{ сгр}} - B_{3 \text{ сгр}} = 0$$

і

$$Z_{2 \text{ сгр}} = Z_{1 \text{ сгр}} - B_{2 \text{ сгр}} + B_{3 \text{ сгр}}.$$

$$Z_{1 \text{ сгр}} = \frac{Z_{1 \text{ max}} + Z_{1 \text{ min}}}{2} = \frac{24,39 + 22,29}{2} = 23,34 \text{ (мм)}.$$

Звідки

$$B_{2 \text{ сгр}} = \frac{B_{2 \text{ max}} + B_{2 \text{ min}}}{2} = \frac{20 + 19,48}{2} = 19,74 \text{ (мм)}.$$

$$B_{3 \text{ сгр}} = 90 \text{ мм (допуск розміру } B_3 \text{ симетричний)}.$$

$$Z_{2 \text{ сгр}} = 23,34 - 19,74 + 90 = 93,6 \text{ (мм)}.$$

$$Z_2 = 93,6 \pm 1,75 \text{ мм}.$$

З використанням отриманих значень розмірів можна знайти поле розсіювання  $\delta(L_{3-5})$  дійсних значень розміру  $L_{3-5}$  між технологічною установною базою (площиною 3) і віссю отвору 5 у вихідній заготовці (див. рис. 2.7). Це поле розсіювання може бути використане під час визначення однієї із складових мінімального припуску на попереднє розточування отвору розрахунково-аналітичним способом, а саме просторового відхилення ( $\rho$ ) поверхні, що обробляється, відносно базової поверхні заготовки.

За рекомендаціями для прикладу, що розглядається, значення  $\rho$  може бути визначене за формулою

$$\rho = \sqrt{\rho_{\text{жол}}^2 + \rho_{\text{зм}}^2} \text{ [мкм]}, \quad (2.21)$$

де  $\rho_{\text{жол}}$  – жолоблення отвору,  $\rho_{\text{зм}}$  – зміщення осі отвору у вихідній заготовці відносно технологічних баз.

Значення  $\rho_{\text{зм}}$  у даному випадку може бути визначене за формулою

$$\rho = \sqrt{[(\rho_{\text{зм}})_x]^2 + [(\rho_{\text{зм}})_z]^2} \text{ [мм]}, \quad (2.22)$$

де  $(\rho_{\text{зм}})_x$  і  $(\rho_{\text{зм}})_z$  – відповідно зміщення осі отвору у горизонтальному й вертикальному напрямках.

Очевидно, що  $(\rho_{\text{зм}})_z = \delta(L_{3-5})$ .

З суміщеного графа (див. рис.2.9) випливає, що

$$-L_{3-5} + B_2 - Z_1 + Z_2 = 0 \text{ [мм]}.$$

Записавши це рівняння відносно ланки замикання  $L_{3-5}$ , отримаємо

$$L_{3-5} = B_2 - Z_1 + Z_2 \text{ [мм]}.$$

Оскільки розгляданий розмірний ланцюг має три складових ланки, то для визначення поля розсіювання ланки замикання  $\delta(L_{3-5})$  можна скористатись імовірнісним методом. В цьому випадку можна записати

$$(\rho_{\text{зм}})_z = \delta(L_{3-5}) = t \sqrt{[\lambda(B_2)T(B_2)]^2 + [\lambda(Z_1)T(Z_1)]^2 + [\lambda(Z_2)T(Z_2)]^2} \text{ [мкм]}, \quad (2.23)$$

де  $t$  – коефіцієнт, який залежить від бажаної імовірності  $P$  роботи без брака,  $\lambda(B_2)$ ,  $\lambda(Z_1)$ ,  $\lambda(Z_2)$  – коефіцієнти відносно розсіювання, які залежать від закону розподілу дійсних значень розмірів  $B_1$ ,  $Z_1$  і  $Z_2$ .

Прийmemo  $t=3$ . При цьому  $P=0,27\%$ . Вважатимемо, що розподіл дійсних значень всіх розмірів підпорядковується закону нормального розподілу. При цьому  $\lambda(B_2) = \lambda(Z_1) = \lambda(Z_2) = 0,333$ .

Підставивши прийняті значення коефіцієнтів і допусків, отримаємо:

$$(\rho_{3M})_z = \delta(L_{3-5}) = 3,5 \text{ мм}.$$

Для визначення величини  $(\rho_{3M})_x$  потрібно виконати розмірний аналіз у напрямку осі x.

Отже визначено технологічні розміри при механічній обробці, припуски та розміри заготовки, на їх основі можна розробляти технологічний процес та усю документацію пов'язану із ним. Результати розрахунків записано в таблицю 2.21.

Таблиця 2.21 – Технологічні розміри, розміри заготовки та припуски

| Розмір  | B <sub>1</sub> | B <sub>2</sub> | B <sub>3</sub> | B <sub>4</sub> | B <sub>5</sub> | B <sub>6</sub> |
|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Min     | 20,25          | 19,48          | 89,565         | 89,89          | 89,9565        | 89,98          |
| Max     | 21,09          | 20             | 90,435         | 90,11          | 90,0435        | 90,02          |
| Розмір  | 3 <sub>1</sub> |                | 3 <sub>2</sub> |                |                |                |
| Min     | 22,29          |                | 91,85          |                |                |                |
| Max     | 24,39          |                | 95,35          |                |                |                |
| Припуск | Z <sub>2</sub> |                | Z <sub>3</sub> |                |                |                |
| Min     | 1,2            |                | 0,25           |                |                |                |
| Max     | 4,14           |                | 1,161          |                |                |                |

## 2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів

2.9.1 Аналітичний розрахунок проміжних припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричної поверхні  $\varnothing 42H7^{(+0,025)}$ .

Вихідні дані.

Заготовка – виливок в піщано-глинисті форми.

Технологічний маршрут обробки: розточування попереднє; розточування попереднє; розточування попереднє; розточування остаточно.

Обробка виконується за один установ.

Базування виконується по площині основи (розмір 220 мм) та двох отворах  $\varnothing 9H12$  (попередньо обробленими).

Розрахунок припусків на обробку отвору  $\varnothing 42H7^{(+0,025)}$  наведено в таблиці 2.24, в якій послідовно записано технологічний маршрут обробки і всі значення елементів припуску.

Визначення значень  $R_z$  і  $T$  проводимо відповідно до даних наведених в табл. 2.9, для заготовки  $R_z + T = 600$  мкм. При попередньому розточуванні приймаємо  $R_z = T = 50$  мкм, а на наступному переході відповідно  $R_z = T = 30$  мкм, при чистовому розточуванні приймаємо –  $R_z = 20$  мкм,  $T = 25$  мкм, та при тонкому розточуванні  $R_z = 5$  мкм,  $T = 15$  мкм [1].

Сумарне значення просторових відхилень визначається:

$$\rho_{\Sigma} = \sqrt{\rho_{\text{жол}}^2 + \rho_{\text{зм}}^2} \text{ [мкм]}, \quad (2.24)$$

де  $\rho_{\text{жол}}$  – просторові відхилення спричинені жолобленням;

$\rho_{\text{зм}}$  – відхилення за рахунок зміщення поверхні з якої знімається припуск, під час самої обробки, відносно технологічних баз.

Жолоблення отвору необхідно враховувати як в діаметральному, так і основному його перерізі, тому:

$$\rho_{\text{жол}} = \sqrt{(\Delta k \cdot d)^2 + (\Delta k \cdot l)^2} = \sqrt{(0,7 \cdot 42)^2 + (0,7 \cdot 51)^2} = 46 \text{ (мкм)}, \quad (2.25)$$

де  $\Delta k = 0,7$  мкм/мм – питоме жолоблення вилівка;

$d = 42$  мм;  $l = 51$  мм (відповідно діаметр і довжина отвору) – за кресленням;

При визначенні  $\rho_{\text{зм}}$  в даному випадку слід приймати до уваги точність розміщення базової поверхні, які використані при даній схемі установки і отриманих на попередніх операціях, відносно поверхні, що обробляється в даній установці поверхні.

Допуск на розмір 90 для вилівка 1-го класу – 400 мкм. При попередньому та остаточному фрезеруванні можливо досягти 11-го квалітету є допуском 0,22 мм, тобто,  $\delta = (0,4 + 0,22) / 2 = 0,31$ .

Допуск на розмір 63 для виливка 1-го класу приймаємо згідно таблиці 400 мкм.

Враховуючи, що сумарне зміщення отвору в виливку відносно зовнішньої її поверхні представляє геометричну суму в двох взаємно перпендикулярних площинах, отримуємо

$$\rho_{\text{сн}} = \sqrt{(\delta_{90} / 2)^2 + (\delta_{63} / 2)^2} = \sqrt{200^2 + 200^2} = 283 \text{ (мкм)}, \quad (2.26)$$

де  $\delta_{90}$  і  $\delta_{63}$  – допуски на розміри 90 і 63 по класу точності, відповідному даному виливку згідно таблиці.

Таким чином, сумарне значення просторового відхилення заготовки

$$\rho_3 = \sqrt{46^2 + 283^2} = 286 \text{ (мкм)}.$$

При подальших переходах механічної обробки:

$$\rho_n = k \cdot \rho_{n-1} \text{ [мкм]}; \quad (2.27)$$

$$\rho_1 = 0,06 \cdot \rho_3 = 0,06 \cdot 286 = 17,16 \text{ (мкм)},$$

$$\rho_2 = 0,04 \cdot \rho_3 = 0,05 \cdot 17,16 = 0,858 \text{ (мкм)}.$$

Похибка установки  $\varepsilon_y$  на переході, що виконується при визначенні проміжного припуску характеризується зміщенням оброблюваної поверхні, яке повинно компенсуватися додатковою складовою, що входить до складу проміжного припуску:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_{\theta}^2 + \varepsilon_z^2 + \varepsilon_{np}^2} \text{ [мм]}, \quad (2.28)$$

де  $\varepsilon_{\delta}$  – похибка базування;  $\varepsilon_z$  – похибка закріплення;  $\varepsilon_{np}$  – похибка положення заготовки в пристосуванні,  $\varepsilon_{np} = \left( \frac{1}{3} \cdots \frac{1}{10} \right) T$  [мм].

Похибка установки при попередньому розточуванні

Похибка базування в даному випадку виникне за рахунок перекосу заготовки в горизонтальній площині при установці її на штирі пристосування. Перекіс при цьому виникає із-за зазорів між найбільшим діаметром установочних отворів і найменшим діаметром штирів.

Найбільший зазор між отворами і штирями:

$$S_{\max} = \delta_A + \delta_B + S_{\min} \text{ [мм]}, \quad (2.29)$$

де  $\delta_A$  – допуск на отвір 9H12:  $\delta_A = 150 \text{ мкм} = 0,15 \text{ мм}$ ;

$\delta_B$  – допуск на діаметр штиря:  $\delta_B = 150 \text{ мкм} = 0,15 \text{ мм}$ ;

$S_{\min}$  – мінімальний зазор між діаметрами штиря і отвору:  $S_{\min} = 0,13 \text{ мм}$ .

Тоді найбільший кут повороту заготовки на штирях може бути знайдений із співвідношення найбільшого зазору при повороті в одну сторону від середнього положення до відстані між базовими отворами:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{0,15 + 0,15 + 0,13}{\sqrt{200^2 + 31^2}} = 0,002 \text{ .}$$

Похибка базування на довжині обробляемого отвору:

$$\varepsilon_{\delta} = l \cdot \operatorname{tg} \alpha = 51 \cdot 0,002 = 0,102 \text{ (мм)} = 102 \text{ (мкм)}. \quad (2.30)$$

Похибка закріплення заготовки [1]  $\varepsilon_z = 150 \text{ мкм}$ .

Похибка положення заготовки в пристосуванні  $\varepsilon_{np} = \frac{1}{6} \cdot 150 = 25 \text{ (мкм)} [1]$ .

Тоді похибка установки при попередньому розточуванні (чорновому):

$$\varepsilon_{y1} = \sqrt{102^2 + 150^2 + 25^2} = 183 \text{ (мкм)}.$$

Остаточна похибка установки при чистовому розточуванні

$$\varepsilon_{y2} = 0,05 \varepsilon_1 + \varepsilon_{ind} \approx 9 \text{ (мкм)}.$$

Так, як попереднє і остаточне розточування виконується з одного установка, то  $\varepsilon_{ind} = 0$ .

Розрахунок мінімальних значень міжопераційних припусків:

$$2Z_{i\min} = 2 \cdot (R_{Zi-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}) \text{ [мкм]}, \quad (2.31)$$

Мінімальний припуск під розточування:

Попереднє розточування:

$$2Z_{1\min} = 2 \cdot (600 + \sqrt{286^2 + 183^2}) = 1879 \text{ (мкм)}.$$

Попереднє розточування:

$$2Z_{2\min} = 2 \cdot (50 + 50 + 17,16) = 234 \text{ (мкм)}.$$

Попереднє розточування:

$$2Z_{3\min} = 2 \cdot (30 + 30 + 0,858) = 122 \text{ (мкм)}.$$

Остаточне розточування:

$$2Z_{4\min}=2\cdot(20+25+9) = 108 \text{ (мкм)}.$$

При остаточному точінні маємо отримати розмір вказаний на креслені:  
 $d = 42,025 \text{ мм}.$

Тоді:

для попереднього остаточного розточування:

$$d_3 = 42,025 - 0,108 = 41,917 \text{ (мм)};$$

для попереднього розточування:

$$d_2 = 41,917 - 0,122 = 41,795 \text{ (мм)};$$

для попереднього розточування:

$$d_1 = 41,795 - 0,234 = 41,561 \text{ (мм)};$$

для заготовки:

$$d_3 = 41,561 - 1,879 = 39,682 \text{ (мм)}.$$

Так, для остаточного розточування значення допуску складає 25 мкм, для попереднього остаточного розточування – 62 мкм (9 квалітет), для попереднього розточування – 160 мкм (11 квалітет), для попереднього розточування 390 мкм (13 квалітет), для заготовки – 620 мкм (14 квалітет).

Для остаточного розточування найбільший граничний розмір – 42,025 мкм, найменший –  $42,025 - 0,025 = 42 \text{ (мм)}$ ; для попереднього остаточного розточування найбільший граничний розмір – 41,917 мм, найменший –  $41,917 - 0,062 = 41,855 \text{ (мм)}$ ; для попереднього розточування найбільший граничний розмір – 41,795 мм, найменший –  $41,795 - 0,16 = 41,635 \text{ (мм)}$ ; для попереднього розточування найбільший граничний розмір – 41,561 мм, найменший  $41,561 - 0,39 = 41,171 \text{ (мм)}$

для заготовки найбільший граничний розмір – 39,682 мм, найменший – 39,682–0,62 = 39,062 (мм).

Мінімальні граничні значення припусків.

Для остаточного розточування:

$$2 Z_{\min 4}^{op} = 42,025 - 41,917 = 0,108 \text{ мм} = 108 \text{ (мкм)};$$

$$2 Z_{\max 4}^{op} = 42 - 41,855 = 0,145 \text{ мм} = 145 \text{ (мкм)}.$$

Для попереднього остаточного розточування:

$$2 Z_{\min 3}^{op} = 41,917 - 41,795 = 0,122 \text{ мм} = 122 \text{ (мкм)};$$

$$2 Z_{\max 3}^{op} = 41,855 - 41,635 = 0,22 \text{ мм} = 220 \text{ (мкм)}.$$

Для попереднього розточування:

$$2 Z_{\min 2}^{op} = 41,795 - 41,561 = 0,234 \text{ мм} = 234 \text{ (мкм)};$$

$$2 Z_{\max 2}^{op} = 41,635 - 41,171 = 0,464 \text{ мм} = 464 \text{ (мкм)}.$$

Для попереднього розточування:

$$2 Z_{\min 1}^{op} = 41,561 - 39,682 = 1,879 \text{ мм} = 1879 \text{ (мкм)};$$

$$2 Z_{\max 1}^{op} = 41,171 - 39,062 = 2,109 \text{ мм} = 2109 \text{ (мкм)}.$$

Всі результати проведених розрахунків записано в таблицю 2.22.

Таблиця 2.22 – Розрахунок припусків і граничних розмірів по технологічним переходам на обробку отвору

| Технологічні<br>переходи<br>обробки<br>поверхні<br>$\varnothing 42H7^{(+0,025)}$ | Елементи<br>припуску, мкм |    |        |                 | Розра-<br>хунко-<br>вий<br>при-<br>пуск<br>$2Z_{\min}$ ,<br>мкм | Розра-<br>хунко-<br>вий<br>розмір<br>$d_p$ ,<br>мм | До-<br>пуск<br>$\delta$ ,<br>мкм | Граничний<br>розмір,<br>мм |            | Граничне<br>значення<br>припусків,<br>мкм |             |
|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----|--------|-----------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|------------|-------------------------------------------|-------------|
|                                                                                  | $R_z$                     | T  | $\rho$ | $\varepsilon_y$ |                                                                 |                                                    |                                  | $D_{\min}$                 | $D_{\max}$ | $2Z_{\min}$                               | $2Z_{\max}$ |
| Заготовка                                                                        | 600                       |    | 286    |                 |                                                                 | 39,682                                             | 620                              | 39,062                     | 39,682     |                                           |             |
| Розточування:                                                                    |                           |    |        |                 |                                                                 |                                                    |                                  |                            |            |                                           |             |
| попереднє                                                                        | 50                        | 50 | 17,16  | 183             | 1879                                                            | 41,561                                             | 390                              | 41,171                     | 41,561     | 1897                                      | 2109        |
| попереднє                                                                        | 30                        | 30 | 0,858  | 9               | 234                                                             | 41,795                                             | 160                              | 41,635                     | 41,795     | 234                                       | 464         |
| попереднє                                                                        | 20                        | 25 | -      | 0               | 122                                                             | 41,917                                             | 62                               | 41,855                     | 41,917     | 122                                       | 220         |
| остаточне                                                                        | 5                         | 15 | -      | 0               | 108                                                             | 42,025                                             | 25                               | 42                         | 42,025     | 108                                       | 115         |
|                                                                                  |                           |    |        |                 |                                                                 |                                                    |                                  |                            |            | $\Sigma$                                  | 2343        |
|                                                                                  |                           |    |        |                 |                                                                 |                                                    |                                  |                            |            |                                           | 2908        |

Загальні припуски  $Z_{0\min}$  і  $Z_{0\max}$  визначаємо сумуючи проміжні припуски:

$$2Z_{0\min} = 1879 + 234 + 122 + 108 = 2343 \text{ (мкм);}$$

$$2Z_{0\max} = 2109 + 464 + 220 + 115 = 2908 \text{ (мкм).}$$

Виконуємо перевірку вірності виконаних розрахунків:

$$2Z_{\max 1} - 2Z_{\min 1} = 2109 - 1879 = 230 \text{ (мкм);}$$

$$\delta_1 - \delta_2 = 620 - 390 = 230 \text{ (мкм);}$$

$$2Z_{\max 2} - 2Z_{\min 2} = 464 - 234 = 230 \text{ (мкм);}$$

$$\delta_2 - \delta_3 = 390 - 160 = 230 \text{ (мкм);}$$

$$2Z_{\max 3} - 2Z_{\min 3} = 220 - 122 = 98 \text{ (мкм);}$$

$$\delta_3 - \delta_4 = 160 - 62 = 98 \text{ (мкм).}$$

Отже, всі проведені розрахунки є правильними і не потребують уточнення.

Оскільки в даному випадку проливається тільки одна циліндрична поверхня це отвір  $\varnothing 42H7^{(+0,025)}$ , а всі інші циліндричні поверхні отримуються шляхом механічної обробки (свердління), то рахувати проміжні припуски немає потреби.

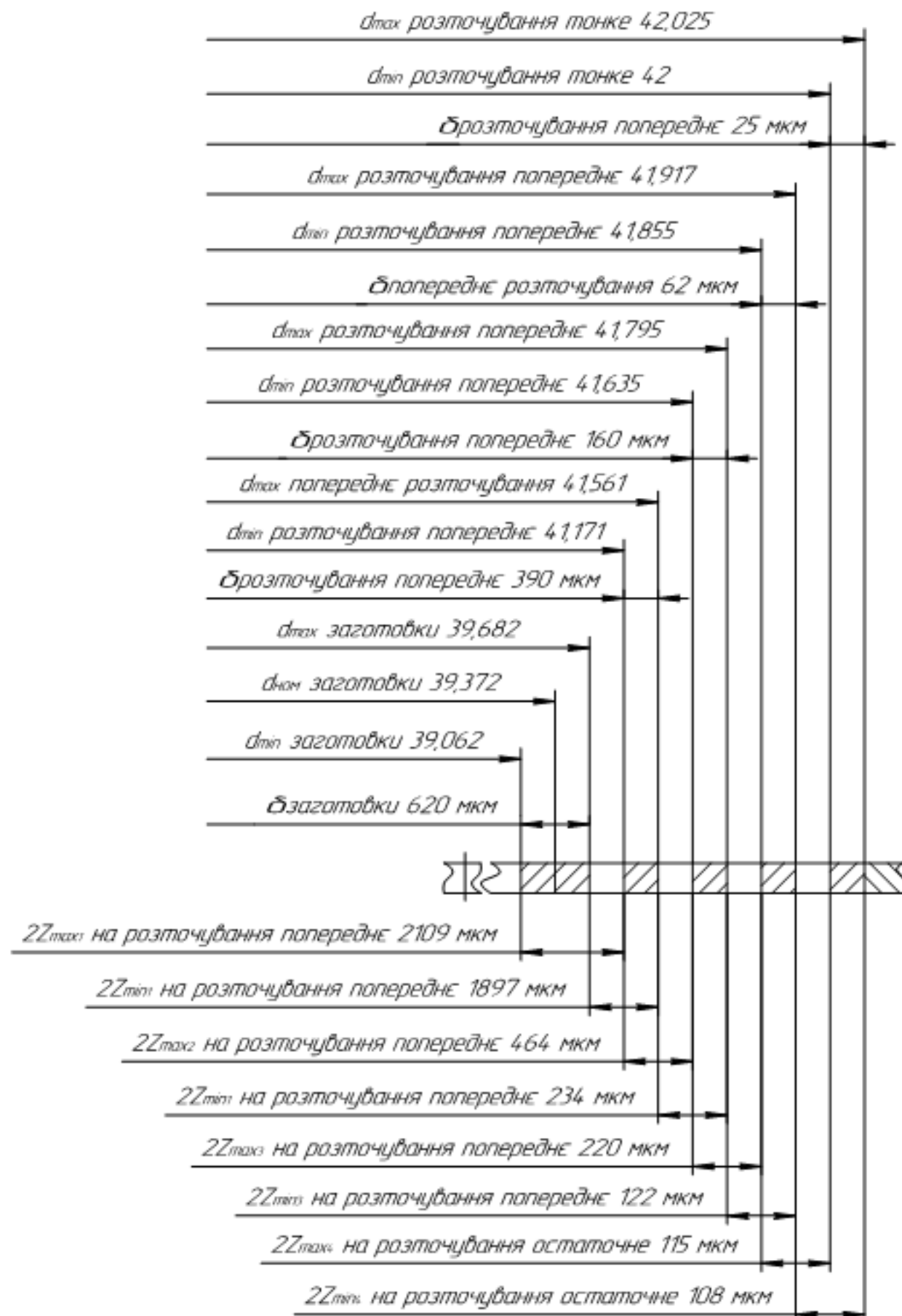


Рисунок 2.13– Схема графічного розташування припусків і допусків на обробку отвору  $\varnothing 42H7^{(+0,025)}$

## 2.10 Призначення режимів різання

В таблиці 2.23 наведені результати визначення (за нормативами) режимів різання на обробку конструкторських баз і кріпильних отворів для раніше розробленого маршруту механічної обробки даної деталі [15-17].

Таблиця 2.23 – Режими різання (за нормативами)

| Операції, переходи                    | Глибина різання, мм | Режими різання |         |          |
|---------------------------------------|---------------------|----------------|---------|----------|
|                                       |                     | S, мм/об       | V, м/хв | n, об/хв |
| 1                                     | 2                   | 3              | 4       | 5        |
| 005 Фрезерна з ЧПК                    |                     |                |         |          |
| Фрезерувати попередньо поверхню 1     | 2,5                 | 0,2            | 125,6   | 400      |
| Фрезерувати остаточно поверхню 1      | 0,9                 | 0,1            | 157     | 500      |
| Свердлити чотири отвори 2             | -                   | 0,25           | 39,6    | 1365     |
| 010 Багатоцільова з ЧПК               |                     |                |         |          |
| Фрезерувати попередньо поверхню 1     | 3                   | 0,32           | 125,6   | 400      |
| Фрезерувати попередньо поверхню 2     | 3                   | 0,32           | 125,6   | 400      |
| Центрувати 8 отворів 3                | 3,5                 | 0,15           | 26,38   | 1400     |
| Свердлити шістнадцять отворів 3       | 2,5                 | 0,15           | 26,38   | 1400     |
| Нарізати різь в шістнадцяти отворах 3 | 0,5                 | 1,5            | 15,07   | 800      |
| Розточити дві фаски 5                 | 1,6                 | 0,32           | 120,5   | 913,6    |
| Розточити два отвори 4 попередньо     | 2,5                 | 0,32           | 120,5   | 913,6    |
| Розточити дві фаски 6                 | 1,6                 | 0,3            | 158,3   | 1200     |
| Розточити два отвори 4 попередньо     | 1,5                 | 0,2            | 158,3   | 1200     |
| Фрезерувати остаточно поверхню 1      | 0,9                 | 0,12           | 157     | 500      |
| Фрезерувати остаточно поверхню 2      | 0,9                 | 0,12           | 157     | 500      |
| Розточити два отвори 4 попередньо     | 0,9                 | 0,2            | 171,4   | 1300     |
| Розточити два отвори 4 остаточно      | 0,4                 | 0,1            | 197,8   | 1500     |
| Цекувати чотири заглиблення           | 1                   | 0,15           | 39,56   | 900      |

## 2.11 Математичне моделювання технологічного процесу та оптимізація режимів різання

Оптимізацію режимів різання виконаємо за допомогою комп'ютерної програми [1].

В даному випадкові виконана оптимізація режимів різання для попереднього розточування отвору  $\varnothing 42H7^{(+0,025)}$  та для фрезерування попереднього (чорнового) для розміру 20; 123 мм.

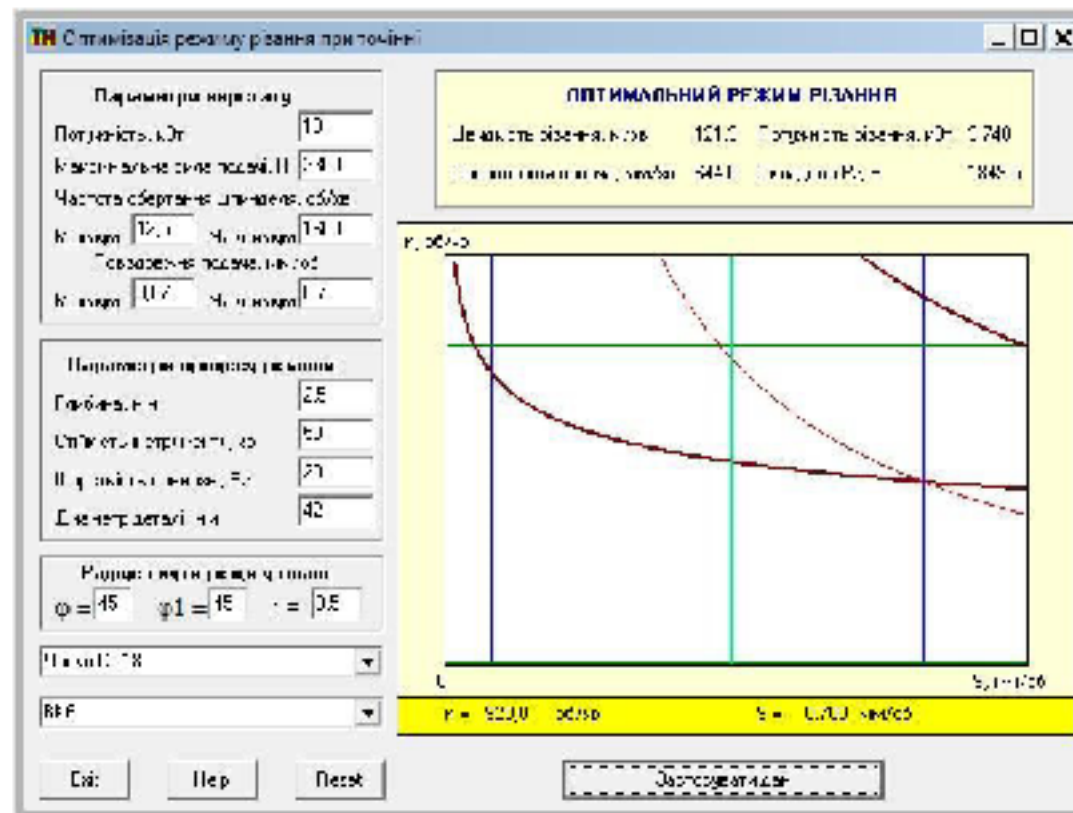


Рисунок 2.14 – Оптимізація режимів різання при розточуванні отвору  $\varnothing 42H7^{(+0,025)}$

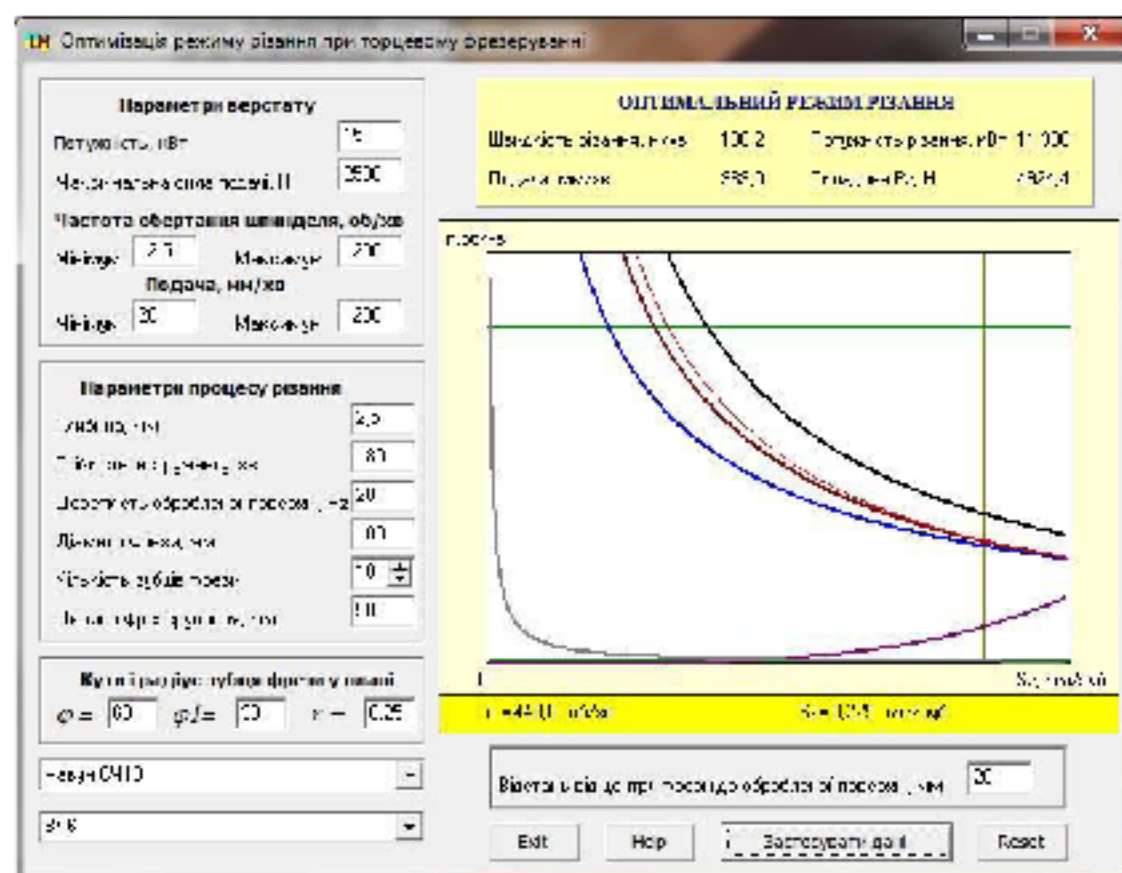


Рисунок 2.15 – Оптимізація режимів різання при фрезеруванні

Результати отримані за допомогою програми оптимізації (рис. 2.12-2.13) мають незначну розбіжність з прийнятими режимами різання. Таким чином, максимальна продуктивність обробки на верстатах з ЧПК буде забезпечена.

## 2.12 Визначення технічних норм часу

Норма штучного часу [15, 17]:

$$T_{шт} = T_0 + T_{доп} + T_{обс} + T_{відп} \text{ [хв.]}, \quad (2.32)$$

де  $T_0$  – основний технологічний час, хв.;  $T_{доп}$  – допоміжний час, хв.;  $T_{обс}$  – час на технічне і організаційне обслуговування робочого місця, хв.;  $T_{відп}$  – час на відпочинок і фізичні потреби робітника, хв.

Основний час буде машинно-автоматичним, якщо процес обробки здійснюється лише верстатом без безпосередньої участі робітника, або машинно-ручним, якщо процес зняття стружки здійснюється верстатом при безпосередньому керуванні інструментом або переміщенням деталі самим верстатником.

Допоміжний час  $T_{доп}$  визначається за нормативами і включає час на установку і зняття деталі, час, зв'язаний з переходом, час на заміну режиму роботи верстата і на заміну інструмента, час на контрольні вимірювання обробленої поверхні.

Величину  $T_{відп}$  визначають за нормативами.

Після визначення штучного часу визначається штучно-калькуляційний час:

$$T_{шт-к} = T_{шт} + \frac{T_{п-з}}{n} \text{ [хв.]}, \quad (2.33)$$

де  $T_{п-з}$  – підготовчо-заклучний час, хв.; підготовчо-заклучний час витрачається на знайомство з кресленням, наладку обладнання і пристроїв,

одержання їх зі складу і здачу після закінчення роботи і визначається за нормативами ;  $p$  – величина партії запуску, шт.;  $p = 27$  шт.

Для фрезерної операції з ЧПК 005 наведемо повний розрахунок технічної норми часу.

Операція 005 – Фрезерна з ЧПК.

Вихідні дані:

Деталь «Корпус підшипників 7-011.05.001». Матеріал – чавун сірий СЧ18 ГОСТ 1412-85. Заготовка – виливок. Маса деталі – 6,5 кг.

Обладнання – Фрезерний верстат моделі 6Р13РФ3.

Пристосування – спеціальне. Обробка – без охолодження.

Партія – 206 шт.

Організаційні умови:

- Отримання і здача інструмента виконується самим робітником.
- Заточування інструмента – централізоване.
- Планування робочого місця відповідає вимогам наукової організації праці.

Вимірювальний інструмент – штангенциркуль ЩЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-80.

Основний час визначаємо в залежності від виду механічної обробки, для операції 005:

- фрезерувати попередньо поверхню основа:

$$T_o = \frac{L_p}{S} \text{ [хв.]}, \quad (2.34)$$

де  $S$  – хвилинна подача;

$$S = s_z \cdot n \cdot z \text{ [мм/хв.]}, \quad (2.35)$$

$s_z = 0,2$  – подача на зуб фрези;  $n = 400$  об/хв. – число обертів шпинделя;  $z = 10$  – число зубців фрези;

$$S = 0,2 \cdot 400 \cdot 10 = 800 \text{ (мм/хв.)}$$

$L_p$  – довжина робочого ходу столу;

$$L_p = L_{\text{рез}} + y + L_{\text{доп}} \quad [\text{мм}], \quad (2.36)$$

$L_{\text{рез}} = 220$  мм – довжина різання;  $y = 14$  згідно [15, 17] – довжина підводу, врізання і перебігу інструмента;  $L_{\text{доп}} = 0$  – додаткова довжина ходу.

$$L_p = 220 + 14 + 0 = 234 \quad (\text{мм}).$$

Отже, основний час для попереднього фрезерування буде дорівнювати [15, 117]:

$$T_o = \frac{234}{800} = 0,29 \quad (\text{хв.})$$

- фрезерувати остаточно поверхню основа згідно формули (270):

$$T_o = \frac{234}{0,1 \cdot 500 \cdot 10} = 0,468 \quad (\text{хв.})$$

- Свердлити чотири отвори 9H12:

$$T_o = \frac{L \cdot i}{n \cdot s} = \frac{(20 + 6) \cdot 1}{1400 \cdot 0,2} \cdot 4 = 0,371 \quad (\text{хв.}) \quad (2.37)$$

Допоміжний час  $T_{\text{доп}}$  визначається для кожного переходу по елементам:

- допоміжний час на установку і зняття деталі  $t_{\text{уст}} = 0,15$  хв.;
- допоміжний час, пов'язаний з переходом – 0,22 хв.;
- час на прийоми, що пов'язані з переходом і не увійшли в комплекс;
- поставити і зняти захисний щиток огороження від стружки (шарнірний) – 0,07 хв.;
- час закріплення і відкріплення деталі – 0,04 хв.;

- час на контрольні вимірювання – 0,19 хв.

Всього:  $T_{\text{доп}} = 0,15 + 0,22 + 0,07 + 0,04 + 0,19 = 0,67$  (хв.)

Поправковий коефіцієнт на допоміжний час в залежності від характеру серійності робіт:  $K_{\text{т.в}} = 1,0$ .

Час на обслуговування робочого місця:  $a_{\text{обсл}} = 4\%$  від оперативного часу.

Час на відпочинок і фізичні потреби:  $a_{\text{відп}} = 4\%$  від оперативного часу.

Величина підготовчо-заключного часу складе:

- на налагодження верстата, інструмента і пристосування – 9 хв.;

- на отримання інструмента і пристосування до початку і здачу їх після закінчення обробки – 10 хв.

Всього:  $T_{\text{п.з.}} = 10 + 9 = 19$  (хв.)

Визначаємо норму штучного часу:

$$T_{\text{шт}} = (T_0 + T_{\text{доп}} \cdot K_{\text{т.в}}) \cdot \left( 1 + \frac{\alpha_{\text{обсл}} + \alpha_{\text{відп}}}{100} \right) =$$

$$= ((0,29 + 0,468 + 0,371) + 0,67 \cdot 1) \cdot \left( 1 + \frac{4 + 4}{100} \right) = 1,932 \quad (\text{хв.})$$

Визначаємо норму штучно-калькуляційного часу:

$$T_{\text{шт-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п.з.}}}{n} = 1,932 + \frac{19}{27} = 2,636 \quad (\text{хв.})$$

- Операція 010 – Багатоцільова з ЧПК.

Основний час визначаємо в залежності від виду механічної обробки, для операції 010:

- основний час для попереднього фрезерування розмір  $51 \pm 0,1$ , згідно формули (2.61), буде дорівнювати:

$$T_0 = \frac{66 + 14 + 0}{0,32 \cdot 400 \cdot 10} = 0,0625 \quad (\text{хв.})$$

Оскільки ми використовуємо верстат з поворотним столом і деталь обробляється з двох сторін основний час потрібно помножити на два.

$$T_o = 0,0625 \cdot 2 = 0,125 \text{ (хв.)};$$

- для свердління 16 отворів Ø6:

$$T_o = \frac{L \cdot i}{n \cdot s} = \frac{(12 + 2) \cdot 1}{1400 \cdot 0,15} \cdot 16 = 1,07 \text{ (хв.)};$$

- для нарізання різі в 16-и отворах Ø6:

$$T_o = \frac{L \cdot i}{n \cdot s} = \frac{(10 + 2) \cdot 1}{800 \cdot 1,5} \cdot 16 = 0,11 \text{ (хв.)};$$

- для розточування попереднього отвору  $\varnothing 42H7^{(+0,025)}$ :

$$T_o = \frac{L}{n \cdot s} = \frac{51 + 15}{913,6 \cdot 0,3} = 0,241 \text{ (хв.)};$$

- для розточування попереднього отвору  $\varnothing 42H7^{(+0,025)}$ :

$$T_o = \frac{L}{n \cdot s} = \frac{51 + 15}{1200 \cdot 0,2} = 0,275 \text{ (хв.)};$$

- для остаточного фрезерування розмір  $51 \pm 0,1$ :

$$T_o = \frac{66 + 14 + 0}{0,12 \cdot 500 \cdot 10} = 0,133 \cdot 2 = 0,266 \text{ (хв.)};$$

- для розточування попереднього отвору  $\varnothing 42H7^{(+0,025)}$ :

$$T_o = \frac{L}{n \cdot s} = \frac{51 + 15}{1300 \cdot 0,2} = 0,254 \text{ (хв.)};$$

- для розточування остаточного отвору  $\varnothing 42H7^{(+0,025)}$ :

$$T_o = \frac{L}{n \cdot s} = \frac{51 + 15}{1500 \cdot 0,1} = 0,44 \text{ (хв.)};$$

- для цекування  $\varnothing 14$

$$T_o = \frac{L}{n \cdot s} = \frac{1 + 3}{9000 \cdot 0,15} = 0,03 \text{ (хв.)}$$

Загальний основний час для всієї операції буде дорівнювати:

$$T_o = 0,125 + 1,07 + 0,11 + 0,241 + 0,275 + 0,266 + 0,254 + 0,44 + 0,03 = 2,781 \text{ (хв.)}$$

Допоміжний час  $T_{\text{доп}}$  визначається для кожного переходу по елементам:

- допоміжний час на установку і зняття деталі  $t_{\text{уст}} = 0,15$  хв.;
- допоміжний час, пов'язаний з переходом – 0,58 хв.;
- час на прийоми, що пов'язані з переходом і не ввійшли в комплекс;
- поставити і зняти захисний щиток огороження від стружки (шарнірний) – 0,07 хв.;
- час закріплення і відкріплення деталі – 0,04 хв.;
- час на контрольні вимірювання – 0,23 хв.

$$\text{Всього: } T_{\text{доп}} = 0,15 + 0,58 + 0,07 + 0,04 + 0,23 = 1,07 \text{ (хв.)}$$

Поправковий коефіцієнт на допоміжний час в залежності від характеру серійності робіт:  $K_{\text{т.в}} = 1,0$

Час на обслуговування робочого місця:  $a_{\text{обсл}} = 4\%$  від оперативного часу.

Час на відпочинок і фізичні потреби:  $a_{\text{відп}} = 4\%$  від оперативного часу.

Величина підготовчо-заключного часу складе:

- на налагодження верстата, інструмента і пристосування – 15 хв.;
- на отримання інструмента і пристосування до початку і здачу їх після закінчення обробки – 20 хв.

Всього:  $T_{п.з.} = 15 + 20 = 35$  (хв.)

Визначаємо норму штучного часу:

$$T_{шт} = (T_0 + T_{доп} \cdot K_{мв}) \cdot \left(1 + \frac{\alpha_{обс} + \alpha_{відв.}}{100}\right) = (2,781 + 1,07 \cdot 1) \cdot \left(1 + \frac{4 + 4}{100}\right) = 4,159 \quad (\text{хв.})$$

Визначаємо норму штучно-калькуляційного часу:

$$T_{шт-к} = T_{шт} + \frac{T_{п-з}}{n} = 4,159 + \frac{35}{206} = 4,33 \quad (\text{хв.})$$

Дані розрахунків занесено в таблицю 2.24.

Таблиця 2.24 – Зведена таблиця норм часу механічної обробки деталі «Корпус підшипників 7-011.05.001»

| № операції | Назва операції      | Основний час $T_0$ , хв. | Час автоматичної роботи (для верстатів з ЧПК), $T_a$ , хв. | Допоміжний час $T_{доп}$ , хв. | Оперативний час $T_{оп}$ , хв. | Час на технічне обслуговування і відпочинок, $T_{обсл} + T_{відп}$ , хв. | Штучний час $T_{шт}$ , хв. | Підготовчо-заключний час, $T_{п-з}$ , хв. | Норма штучно-калькуляційного часу $T_{шт-к}$ , хв. |
|------------|---------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 005        | Фрезерна з ЧПК      | 1,119                    | -                                                          | 0,67                           | 2,48                           | 0,20                                                                     | 1,932                      | 19                                        | 2,024                                              |
| 010        | Багатоцільова з ЧПК | 2,781                    | 3,60                                                       | 1,07                           | 6,26                           | 0,50                                                                     | 4,159                      | 35                                        | 4,33                                               |

### 3 ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ БАГАТОЦІЛЬОВОГО ВЕРСТАТА З ЧПК

#### 3.1 Початкові дані для проектування пристосування

Пристосування спеціальне для багатоцільового верстата з ЧПК (операція 010) згідно розробленого ТП механічної обробки.

Вихідні дані для пристосування:

- креслення деталі «Корпус підшипників 7-011.05.001»;
- річний об'єм випуску деталей  $N_p=3200$  шт.;
- маса деталі  $m=6,5$  кг;
- матеріал деталі СЧ 18 ГОСТ 1412-85;

#### 3.2 Варіантний вибір схем базування та установки заготовки

При повному базуванні заготовку необхідно лишити 6-ти ступенів вільності. Затискна сила забезпечує контакт із заготовкою і надає їй нерухомість.

Від правильного базування залежить точність механічної обробки, надійність і конструкція пристосування. Оптимальним варіантом вибору схеми базування є варіант з мінімальною похибкою базування, тобто коли  $\varepsilon_6=0$ .

Для нашої деталі на даній операції заготовку базуємо по обробленим поверхням. В якості установчої бази приймаємо центрові отвори. Опорною поверхнею є поверхня деталі.

Єдиним варіантом базування заготовки є базування деталі на площину та на два пальці.

$\varepsilon_{6M6-7H} = 0$ ,  $\varepsilon_{6\varnothing42^{+0.025}} = 0$ , ,  $\varepsilon_{6\varnothing54} = \varepsilon_{6\varnothing66} = 0$  – діаметральні розміри;

$\varepsilon_{651-0,1} = 0$  – обробка з одного установка;

$\varepsilon_{620} = 0$ ,  $\varepsilon_{690\pm0,02} = 0$ ,  $\varepsilon_{6123} = 0$  – виконується принцип співпадання баз.

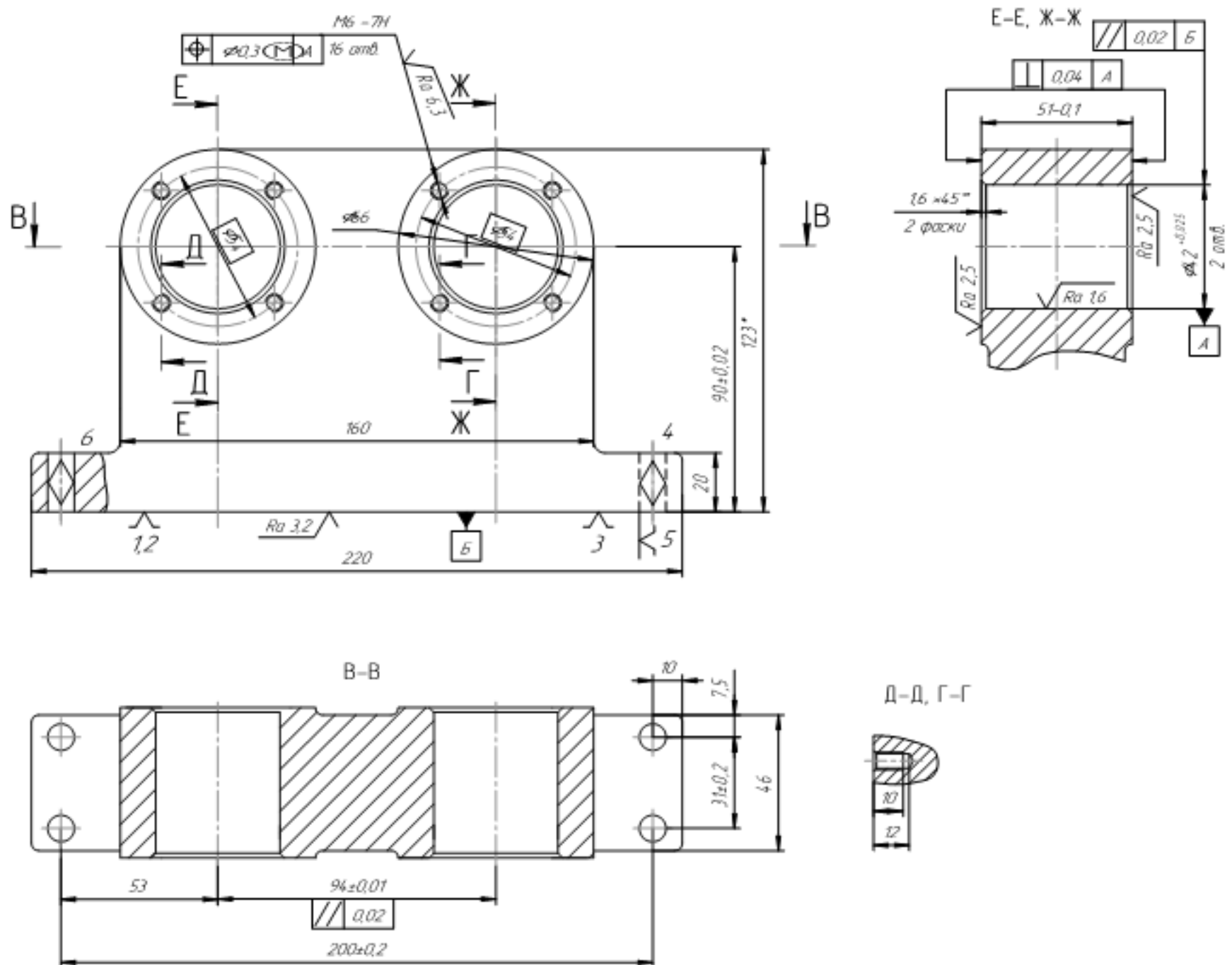


Рисунок 3.1 – Схема базування заготовки

### 3.3 Розробка конструктивної схеми пристосування

Пристосування розроблено на операцію, яка виконується на багатоцільовому верстаті з ЧПК моделі HAAS EC-1600.

Деталь встановлюється на два установчих пальця і площину.

Пальці запресовані в горизонтальну плиту, яка приєднана до основи пристосування за допомогою чотирьох гвинтів. Через отвори пристосування проходять тяги, які за допомогою різних шайб затискають деталь на пристосуванні. Тяги з'єднані з штоком пневмоциліндра шарнірним з'єднанням. Пневмоциліндр кріпиться на основі пристосування за рахунок 4 болтів. Кріплення пристосування здійснюється за допомогою 4 болтів.

Схема установки зображена на рисунку 3.2.

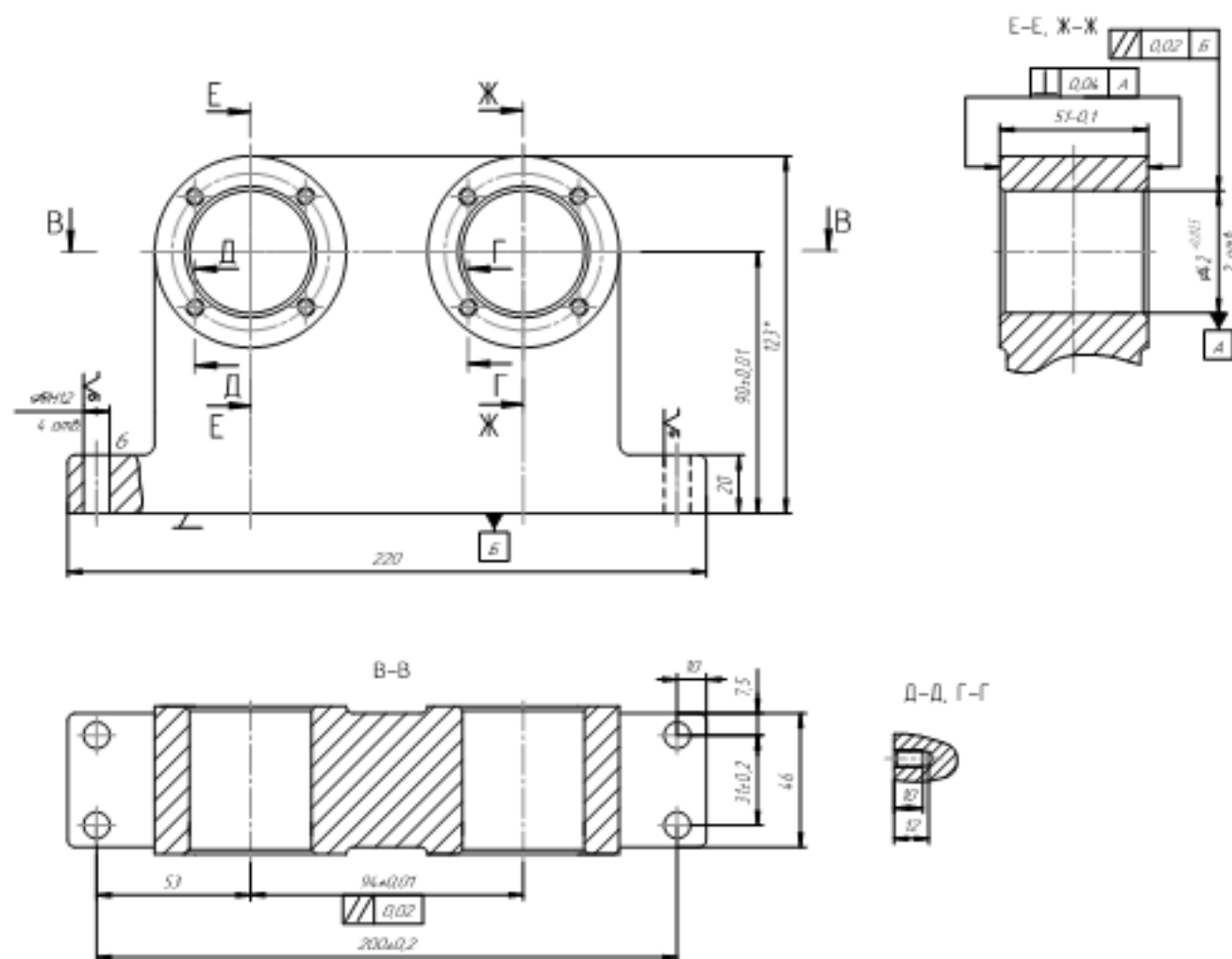


Рисунок 3.2 – Схема установки заготовки

Розрахунок розмірів опор:

Визначаємось з типом опорних елементів – кругла опора з плоскою поверхнею (1 шт.). Установочними елементами є циліндричний палець  $\varnothing 9f7$  та зрізаний палець  $\varnothing 9f7$ .

Діаметр круглої опори вибираємо в залежності від навантаження на одну опору. Граничне навантаження на одну опору  $D=10\text{мм} - 2\text{кН}$ ,  $D=16\text{мм} - 5\text{кН}$ . Для нашої заготовки, вибираємо круглу опору  $D=16\text{ мм}$  (1шт.)

Ескізи опорних та установочних елементів зображено на рисунок 3.3, рисунок 3.4, рисунок 3.5.

Технологічні бази деталі на попередній операції оброблені з достатньою точністю і низькою шорсткістю, тому в якості опори розглядаємо і вибираємо підшву заготовки.

В зв'язку з тим, що виробництво дрібносерійне, використано змінну плиту, для того, щоб забезпечити використання даного пристосування для інших типових деталей.

Для виключення трьох ступеней вільності, встановлюємо деталь на два пальці. Кожний з пальців позбавляє деталь двох ступеней вільності, тому один із пальців робимо зрізаним. Площини деталі будуть оброблюватись фрезою і можливий поворот деталі, тому в отвір  $\varnothing 9$  мм ставимо зрізаний палець, щоб зменшити коливання розмірів між осями отворів деталі та виключити поворот деталі, приймаємо згідно [18, 19]:

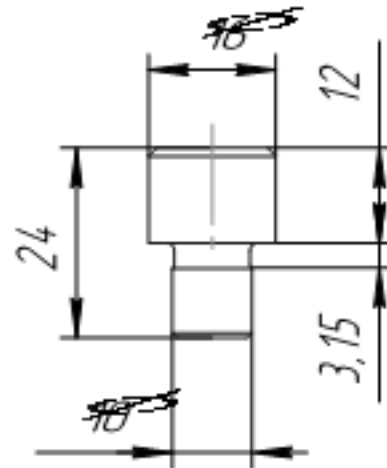


Рисунок 3.3 – Постійна опора 7034-0278 по ГОСТ 13440-68

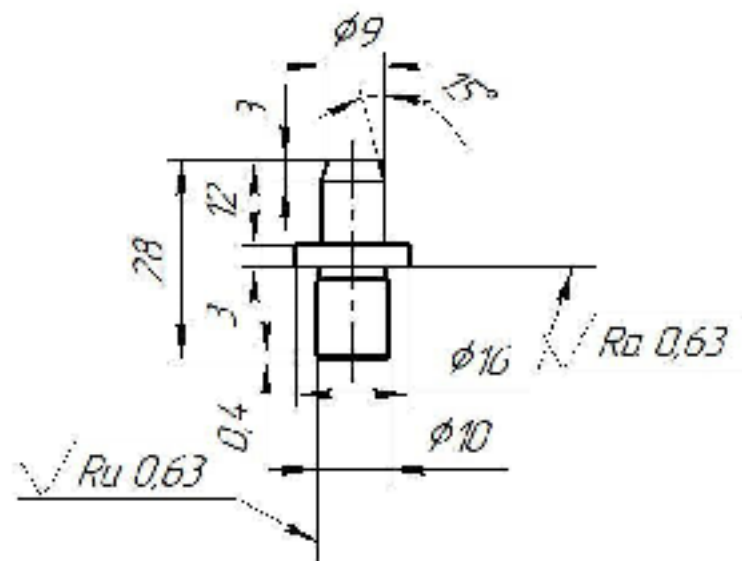


Рисунок 3.4 – Палець установчий циліндричний 7030-0905 по ГОСТ 12209-66\*

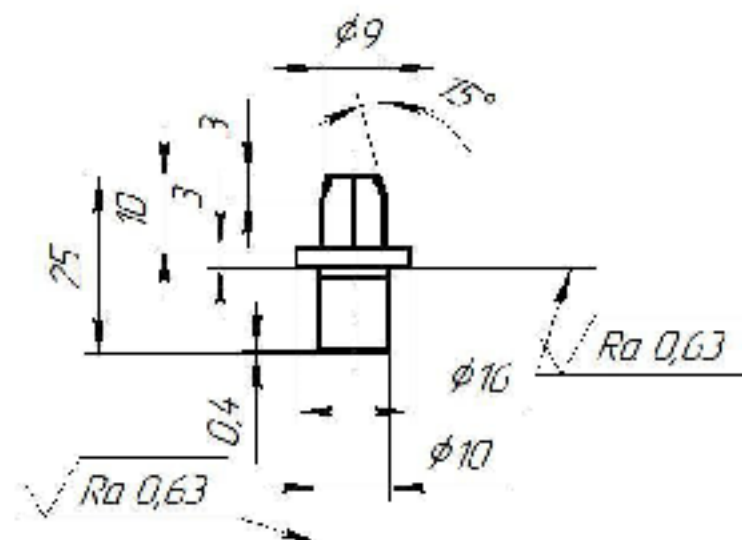


Рисунок 3.5 – Палець установчий зрізаний 7030-0925 по ГОСТ 12210-66\*

Установку заготовок на два циліндричні отвори з паралельними осями і перпендикулярну до них плоску поверхню застосовують при обробці корпусних деталей малих і середніх розмірів. Установчу плоску поверхню заготовки обробляють начисто, отвори під пальці по 7-му квалітету.

Установні пальці: вибираємо один циліндричний, що усуває дві степені вільності, другий палець вибираємо зрізаним, який усуває одну степінь вільності.

Конструкція затискного механізму повинна бути надійною і безпечною в роботі. Пристосування в цілому повинно бути компактним, простим по конструкції і зручним в обслуговуванні. Цим вимогам відповідає зажимний механізм пневматичного типу.

Монтується пристосування на столі верстата гвинтами M12×1,5.

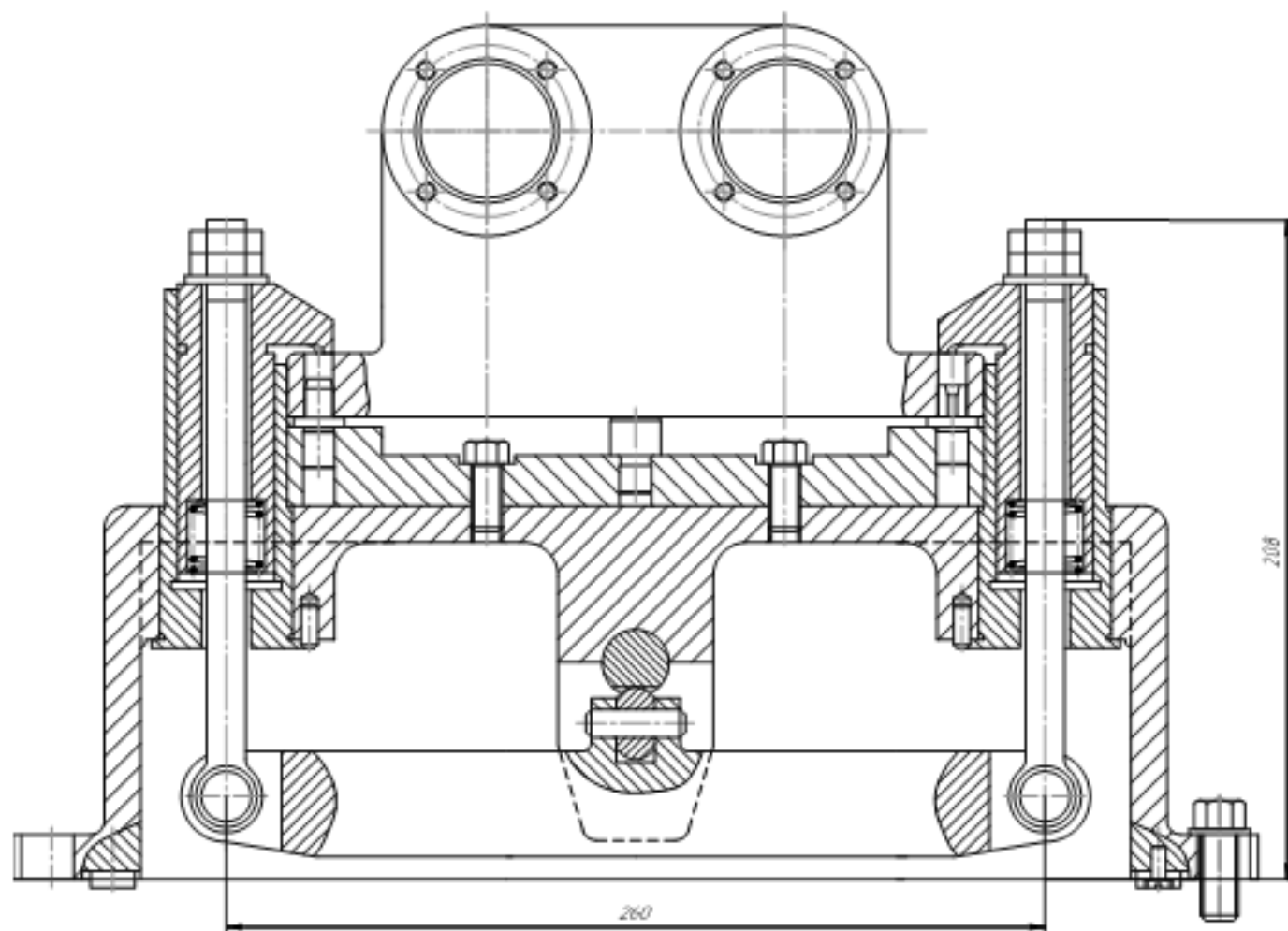


Рисунок 3.6 – Конструктивна схема верстатного пристосування

### 3.4 Розрахунок зусилля закріплення

#### Вибір типу затискного пристрою

Після визначення схеми установки проводимо вибір схеми закріплення і конструкцію затискного механізму.

В процесі закріплення сили зажиму не повинно порушуватись положення заготовки, яке вона отримала після базування.

Сили затиску повинні бути достатніми, щоб не виникало зміщення та вібрації заготовки.

Конструкція затискного механізму повинна бути простою, надійною і безпечною в роботі.

#### Визначення сили закріплення

На операції 010, горизонтально-свердлильно-фрезерно-розточувальній, фрезеруються торці з обох боків попередньо і остаточно  $\varnothing 66/51-0,1$ , свердляться 16 отворів, і нарізаються різі М6-7Н, розточуються два отвори чотири рази  $\varnothing 42^{+0.025}$ .

В зв'язку з тим, що найбільша сила на заготовку буде виникати при чорновому розточуванні, тому я розглядаю сили які будуть діяти на заготовку при чорновому розточуванні.

В процесі обробки отворів розточуванням, оброблювана заготовка знаходиться під дією крутного моменту різання  $M_p$ , сили  $P_z$  і осьової сили  $P_o$ .

При кріпленні заготовки в затискний механізм пневматичного типу, рисунок 3.7 не потрібно великого затискного зусилля. В цьому випадку сила затискання повинна забезпечити надійне притискання прихватів до заготовки тільки в момент початку розточування. Під дією крутного моменту різання  $M_p$  деталь намагається повернутися навколо осі. Цьому моменту протидіє момент тертя  $M_{тр}$ , що створюється осьовим зусиллям і силою закріплення  $Q$ .

Складаємо схему дії сил різання.

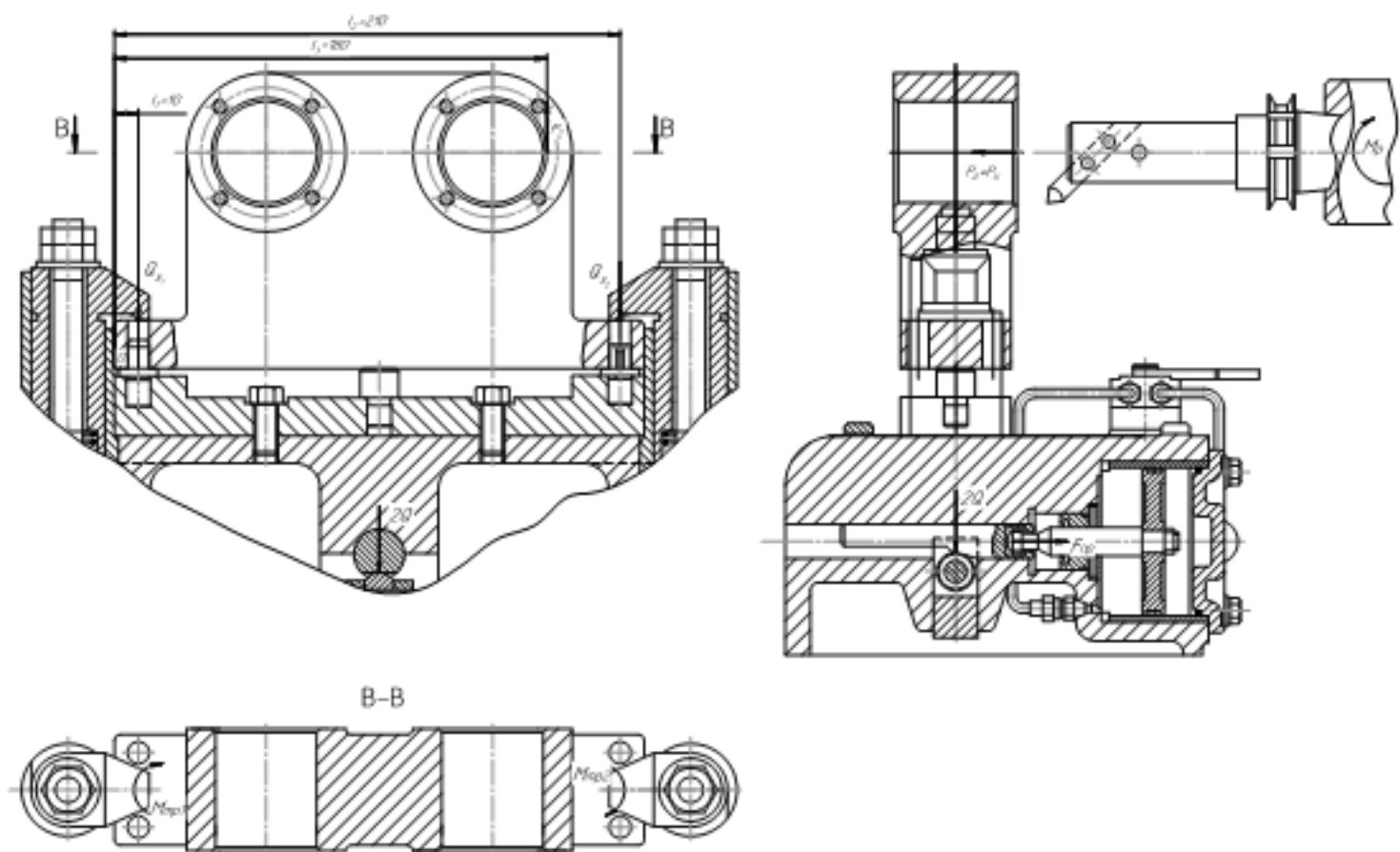


Рисунок 3.7 – Схема сил, що діють на заготовку при розточуванні

Розраховуємо силу закріплення:

Оскільки в нашому випадку на заготовку діють дві сили різання, це осьова сила  $P_O$  і сила  $P_Z$ , тому в нас буде два рівняння:

- Розглядаємо дію сили  $P_Z$ :

Складаємо рівняння моменту відносно точки O:

$$\begin{aligned} M_{\Sigma O} &= 0; \\ Q_{z_1} l_1 + Q_{z_2} l_2 - P_z l_3 &= 0; \end{aligned} \quad (3.1)$$

Оскільки сили  $Q_{z_1} = Q_{z_2}$ , то приймаємо, що  $Q_{z_1} = Q_{z_2} = Q$ .

$$Q(l_1 + l_2) = P_z l_3 \Rightarrow Q = \frac{P_z l_3}{(l_1 + l_2)}, [\text{Н}\cdot\text{м}]$$

де  $l_1, l_2, l_3$  – плечі, які ми беремо з креслення (рис. 3.7).

Розраховуємо силу  $P_z$ :

$$P_{Z,Y,X} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p, \text{ [H]} \quad (3.2)$$

де  $t=0,05 \div 3$  – глибина різання, мм.

Поправочні коефіцієнти і показники степенів:

$$C_p = 92 ; x = 1; y = 0,75; n = 0 ; \quad - \text{ для } P_z$$

$$C_p = 54 ; x = 0,9; y = 0,75; n = 0 ; \quad - \text{ для } P_y$$

$$C_p = 46 ; x = 1; y = 0,4; n = 0 ; \quad - \text{ для } P_x$$

$$K_p = K_{MP} \cdot K_{\varphi P} \cdot K_{\gamma P} \cdot K_{\lambda P} \cdot K_{\tau P}, \quad (3.3)$$

$$\text{де } K_{MP} = \left( \frac{HB}{190} \right)^n = \left( \frac{190}{190} \right)^{0,4 / 0,55} = 1 ;$$

$$K_{\varphi P} = 1,08 ;$$

$$K_{\gamma P} = 1,25 ; \quad - \text{ для } P_z ;$$

$$K_{\lambda P} = 1,0 ;$$

$$K_{\tau P} = 0,87 .$$

$$K_{\varphi P} = 1,3 ;$$

$$K_{\gamma P} = 2 ; \quad - \text{ для } P_y ;$$

$$K_{\lambda P} = 0,75 ;$$

$$K_{\tau P} = 0,66 .$$

$$K_{\varphi P} = 0,78 ;$$

$$K_{\gamma P} = 2 ; \quad - \text{ для } P_x ;$$

$$K_{\lambda P} = 1,07 ;$$

$$K_{\tau P} = 1 .$$

$S=0,3$  мм/об. – подача;

$V=120,48$  м/хв. – швидкість різання.

$$K_{pz} = 1 \cdot 1,08 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 0,87 = 1,17 ;$$

$$K_{py} = 1 \cdot 1,3 \cdot 2 \cdot 0,75 \cdot 0,66 = 1,29 ;$$

$$K_{px} = 1 \cdot 0,78 \cdot 2 \cdot 1,07 \cdot 1 = 1,67 .$$

$$\begin{aligned}
 P_z &= 10 \cdot 92 \cdot 2,5^1 \cdot 0,3^{0,75} \cdot 120 \cdot 48^0 \cdot 1,17 = 1090 \quad (H); \\
 P_y &= 10 \cdot 54 \cdot 2,5^{0,9} \cdot 0,3^{0,75} \cdot 120 \cdot 48^0 \cdot 1,29 = 643 \quad (H); \\
 P_x &= 10 \cdot 46 \cdot 2,5^1 \cdot 0,3^{0,4} \cdot 120 \cdot 48^0 \cdot 1,67 = 1152 \quad (H).
 \end{aligned}$$

Отже, сила закріплення буде дорівнювати:

$$Q = \frac{1090 \cdot 0,18}{(0,01 + 0,21)} = 892 \quad (H).$$

- Розглянемо осьову силу  $P_o$ :

$$\begin{aligned}
 P_o &= Q_{z_1} \cdot k + Q_{z_2} \cdot f_{\text{вр}} \Rightarrow \\
 \Rightarrow P_o &= Q(k + f_{\text{вр}}) \Rightarrow \\
 \Rightarrow Q &= \frac{P_o}{(k + f_{\text{вр}})},
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

де  $P_o = P_x = 1152 \quad H$  – осьова сила;

$K$  – коефіцієнт запасу.

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6, \tag{3.5}$$

$K_0$  – гарантований коефіцієнт запасу,  $K_0 = 1,5$ ;

$K_1$  – враховує нерівномірність припуску,  $K_1 = 1,2$ ;

$K_2$  – враховує зростання сили різання при затупленні інструмента,  $K_2 = 1$ ;

$K_3$  – враховує наявність переривчастого різання,  $K_3 = 1,0$ ;

$K_4$  – враховує умови стабільності сил закріплення, для ручного приводу  $K_4 = 1,3$ ;

$K_5$  – враховує зручність розташування рукояток керування,  $K_5 = 1,1$ ;

$K_6$  – враховує особливість розташування опор, їх форми та діючих сил,  $K_6 = 1,5$ .

Отже,

$$K = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 5,02$$

$f_{np} = 0,16$  – сила тертя.

Отже, сила закріплення буде дорівнювати:

$$Q = \frac{1152}{(5,02 + 0,16)} = 222,39 \text{ (H)}.$$

Сила на приводі становить:

$$F_{np} = \frac{2Q}{i_c}, \quad (3.6)$$

де  $i_c$  – передатне відношення сил:

$$i_c = \frac{[1 - \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_{np}) \cdot \operatorname{tg} \varphi_{2np}]}{[\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_{np}) + \operatorname{tg} \varphi_1]} = 2,9,$$

де  $\varphi$ ,  $\varphi_1$  – кути тертя відповідно по нахилений і горизонтальній поверхні клину;

$\varphi_{np} = \operatorname{arctg}(d/D) \operatorname{tg} \varphi$  – приведений кут тертя по нахилений поверхні клину;

$\varphi_{2np} = \operatorname{arctg}(3l/a) \operatorname{tg} \varphi_2$  – кут тертя одноопорного плунжера;

$\varphi = \varphi_1 = \varphi_2 = 5^\circ$ ;  $\varphi_{np} = \varphi_{1np} = 2^\circ$ ;  $\varphi_{2np} = 11^\circ$ ;

$D$  і  $d$  – відповідно зовнішній і внутрішній діаметри роликів ( $d/D = 0,5$ );

$a$  – довжина бокової опори плунжера;

$l$  – відстань від сили  $Q$  до середини бокової опори плунжера.

Отже, сила на приводі  $F_{np}$  дорівнює:

$$F_{np} = \frac{2 \cdot 892}{2,9} = 615 \text{ (H)}.$$

Хід плунжера знаходимо за формулою:

$$S(Q) = \Delta_{\text{гар}} + \Delta + Q/I + \Delta S(Q), \text{ [мм]} \quad (3.7)$$

де  $\Delta_{\text{гар}} = 0,4$  мм – гарантований зазор для вільної установки заготовки;

$\Delta$  – відхилення розміру заготовки, мм;

$I = 1000$  Н/мм – жорсткість механізму;

$\Delta S(Q) = 0,4$  мм – запас ходу плунжера, який враховує знос і похибки виготовлення механізму.

Тоді,

$$S(Q) = 0,4 + 0,06 + 892/1000 + 0,4 = 1,752 \text{ (мм)}.$$

Хід привода знаходимо за формулою:

$$S(F_{\text{пр}}) = S(Q) \cdot i_{\text{п}}, \text{ [мм]} \quad (3.8)$$

де  $i_{\text{п}} = 5,67$  – передатне відношення переміщень.

Отже,  $S(F_{\text{пр}}) = 1,752 \cdot 5,67 = 9,934 \text{ (мм)}$ .

### 3.5 Аналіз похибки установки заготовки в пристосуванні

- Визначення складових похибки установки

Похибка установки – це відхилення фактично-досягнутого положення заготовки або виробу від бажаного. За характером виявлення є випадковою.

$$E_y = \sqrt{E_{\text{с}}^2 + E_{\text{з}}^2 + E_{\text{пр}}^2} \text{ [мкм]}, \quad (3.9)$$

$E_y$  відсутня у випадках:

- коли розглядається діаметральний розмір;
- коли розмір або інший показник точності, на який визначається похибка установки, утворюється при обробці поверхонь, розташування яких координується цим розміром або показником точності, з одного установова.

Базування заготовки здійснюємо по площині і двом пальцям. Установка в спеціальному пристосуванні з пневмозажимом.

Проведемо розрахунки на точність для розміру 53. Необхідною умовою обробки є правило, коли сумарна похибка ( $\varepsilon_{\Sigma}$ ) повинна бути меншою, ніж допуск  $T_{\text{дет.}}$  на відповідний розмір  $\varepsilon_{\Sigma} < T_{\text{дет.}}$

Запас точності служить для компенсації зносу опорних елементів, зносу ріжучого інструменту, напрямних елементів і т. ін.

Сумарна похибка пристосування визначається за формулою [20-22]:

$$\varepsilon_{\text{пр}} \leq T - K_T \sqrt{(K_{T_1} \cdot \varepsilon_{\delta})^2 + \varepsilon_z^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_u^2 + \varepsilon_{n.u}^2 + (K_{T_2} \cdot \omega)^2}, \text{ [мкм]} \quad (3.10)$$

де  $T$  – допуск виконуємого розміру; для розміру 53 мм він складає 0,62 мм;

$K_T$  – коефіцієнт, який враховує відхилення розсіювання значень складових величин від закону нормального розподілення; приймаємо  $K_T = 1,0$  ( $K_T=1...1,2$ );

$K_{T1}$  – коефіцієнт, який враховує зменшення граничного значення похибки базування при роботі на налагоджених верстатах; приймаємо  $K_{T1}=0,8$  ( $K_{T1}=0,8...0,85$ );

$K_{T2}$  – коефіцієнт, який враховує частку похибки обробки в сумарній похибці, яка викликається факторами, не залежними від пристосування; приймаємо  $K_{T2}=0,6$  ( $K_{T2}=0,6...0,8$ );

$\omega$  – економічна точність обробки; приймаємо  $\omega = 0,1$  мм для розточування по 14-му квалітету;

$\varepsilon_{\delta}$  – похибка базування;

$\varepsilon_z$  – похибка закріплення;

$\varepsilon_y$  – похибка установлення пристосування на верстаті;

$\varepsilon_{\text{и}}$  – похибка деталі через зношення установних елементів пристосування;

$\varepsilon_{\text{п.и.}}$  – похибка від перекосу (зміщення) інструменту.

- Похибка базування

Похибка базування – відхилення фактично досягнутого положення заготовки чи виробу при базуванні від необхідного.  $E_6$  виникає при обробці заготовок у пристосуванні, якщо установча база не співпадає з вимірювальною. Це відбувається через те, що положення інструмента щодо установчої бази незмінне, а положення вимірювальної бази щодо установчої бази у партії заготовок змінюється в межах допуску  $T$ . Отже, у межах допуску  $T$  змінюється і одержуваний при обробці розмір. Таким чином, похибка базування чисельно дорівнює допуску на виконуваний розмір обробки.

В нашому випадку похибка базування складає:  $\varepsilon_6 = 25$  мкм.

- Похибка закріплення

Похибка закріплення – різниця між найбільшою та найменшою величиною проекцій зміщення вимірювальної бази на напрямок розміру, який виконується в результаті прикладання до заготовки сили закріплення.  $E_3$  в основному виникає в результаті зсуву заготовки під дією сили закріплення  $P$ , що викликає контактні деформації в місцях контакту заготовки з установчими елементами.

Величина  $E_3$  відносно невелика. При закріпленні заготовок середніх розмірів на точкові опори  $E_3$  не перевищує 100 мкм, а при установці чисто обробленою базою на планки – 10 мкм. Для партії заготовок  $E_3$  можна звести до нуля налагодженням верстата за умови, що величина  $E_3$  буде постійною.

Постійність  $E_3$  забезпечується однорідністю металу, якістю поверхні заготовки та особливою сталістю сили закріплення  $P$ , яка забезпечується механізованим приводом.

Деформації заготовки та корпусу пристосування не є похибкою закріплення – це наслідок похибки конструкції пристосування і до уваги не беруться, тому що при правильно сконструйованому пристосуванні вони практично відсутні.

Сила затиску направлена перпендикулярно розміру 53, а тому не впливає на розмір. Приймаємо  $\varepsilon_3 = 0$ .

- Похибка установлення пристосування на верстаті

Похибка установлення пристосування на верстаті, тобто похибка розташування посадочних поверхонь пристосування щодо посадочного місця верстата, що виникає при установці пристосування без вивірки на столі чи планшайбі шпинделя.

При розрахунку на точності похибка  $E_c$  враховується лише тоді, коли зсув посадочних поверхонь щодо посадочного місця верстата збігається з вихідним розміром чи має складову в його напрямку.  $E_c$  визначають як відстань між можливими крайніми положеннями посадочних поверхонь при установці пристосування, виміряна в напрямку вихідного розміру.

У дрібносерійному виробництві при періодичній зміні пристосувань на верстатах  $E_c$  перетворюється в некомпенсовану випадкову величину, що змінюється у визначених межах. При правильному виборі зазорів між спряженими елементами і рівномірному затягуванню кріпильних деталей величину  $E_c$  можна зменшити до 10...20 мкм.

$\epsilon_b = 0,01$  мм – за рекомендацією.

- Похибка зношення

Величина зносу залежить від програми випуску виробів, їхньої конструкції та розмірів, матеріалу й маси заготовки, стану її базової поверхні, а також умов установки заготовки в пристосування та її зняття. Найбільше зношуються опори, в яких контакт із заготовкою здійснюється по невеликій площині. Сильно зношуються бічні поверхні призм, що контактують із заготовкою по вузькій площині. Менш інтенсивно зношуються опорні пластини та круглі пальці. Неопрацьовані поверхні заготовок зношують установчі елементи більш інтенсивно, ніж оброблені. Швидкість зношування зростає зі збільшенням маси заготовки та величини її зсуву по опорах при установці в пристосування. Зношування нерівномірне в часі і має місцевий характер.

Для пальців  $E_n = U$ .

де  $U$  – лінійний знос установчих елементів пристосування;

$$U = \frac{NK_y (1 + 0,03 L) 0,79 t_m}{m - m_1 \cdot \Pi_1 - m_2 \cdot 0,1 Q / FNV} \text{ [мм]}, \quad (3.11)$$

де  $N$  – число встановлюваних заготовок;

$K_y$  – коефіцієнт, що враховує умови обробки;

$L$  – довжина шляху ковзання заготовки по опорах при досиланні її до упора, мм (визначається за умовами експлуатації пристосування);

$t_m$  – машинний час обробки заготовки в пристосуванні, хв.;

$m, m_1, m_2$  – коефіцієнти;

$\Pi_1$  – критерій зносостійкості;

$Q$  – навантаження на опору, Н;

$F$  – площа торкання опори з базовою поверхнею заготовки, мм<sup>2</sup>;

$HV$  – твердість матеріалу опори по Віккерсу.

Міжремонтний період  $\Pi$  заміни чи відновлення установчих елементів:

$$\Pi = \frac{12 K [N]}{N_p} \text{ [мм]}, \quad (3.12)$$

де  $K$  – коефіцієнт запасу, що враховує нестабільність зносу установчих елементів ( $K=0,8 \dots 0,85$ );

$[N]$  – допустиме число встановлюваних заготовок до граничного зносу установчих елементів;

$N_p$  – річна програма випуску деталей.

$$\varepsilon_n = 0,045 \text{ мм.}$$

Похибка від перекосу (зміщення) інструменту  $\varepsilon_{п.и.} = 0$ , тому що відсутні напрямні елементи для інструменту.

Підставляємо отримані значення параметрів у вихідну формулу (3.10):

$$\varepsilon_{np} \leq 0,62 - 1,0 \sqrt{(0,8 \cdot 0,025)^2 + 0,01^2 + 0,045^2 + (0,6 \cdot 0,1)^2} = 0,542 \text{ (мм)} - \text{умова виконується.}$$

Вибір розрахункових параметрів, що визначають точність пристосування:  
На даній операції нам необхідно отримати розмір  $53 \pm 0,31$ .

### 3.6 Розмірне моделювання та аналіз конструкції пристосування на точність

Точність виготовлення розмірів залежить від величини зазорів між установчими пальцями та отворами в деталі, які в свою чергу залежать від точності виготовлення. Призначені допуски перевіряємо виходячи з вимог до точності обробки. Для цього визначаємо максимальні бічні зміщення заготовки, а також максимальне кутове зміщення заготовки. В якості розрахункових параметрів вибираємо наступні:  $S_{\max \text{ ц}}$ ,  $S_{\max \text{ сп}}$  – максимальний зазор між циліндричним пальцем та відповідним отвором в заготовці та максимальний зазор між зрізаним пальцем і у відповідним отвором в заготовці.

Призначимо на діаметри пальців поле допуску  $f7$ .

Виконавчі розміри діаметрів пальців

$$d_{\text{ц}} = d_{\text{сп}} = 9 f7 = 9 \begin{smallmatrix} -0.013 \\ -0.028 \end{smallmatrix} = 8,987 \begin{smallmatrix} -0.015 \end{smallmatrix} \text{ мм.}$$

Максимальний зазор між пальцями та отворами

$$S_{\max \text{ ц}} = S_{\max \text{ сп}} = 0,15 + 0,028 = 0,178 \text{ (мм)}.$$

$D_{\text{сп}}$ ,  $D_{\text{ц}}$  – діаметри отворів під пальці в заготовці,  $D_{\text{ц}} = D_{\text{сп}} = 9^{+0,15} \text{ мм}$ ;

$L_{\partial} = 200 \text{ мм}$  – відстань між осями отворів;

$ITL_{\partial}$  – допуск відстані,  $ITL_{\partial} = \pm 0,2 \text{ мм}$ ;

$\omega_{\text{доп}}$ ,  $\gamma_{\text{доп}}$  – допустиме зміщення бічне та допустиме кутове зміщення,

$$\omega_{\text{доп}} = \pm 0,2 \text{ мм}, \gamma_{\text{доп}} = 5' ;$$

Отже, параметри, що визначають точність вибрані.

Розрахунок точності виготовлення деталей пристосування з використанням розмірного аналізу.

Максимальне бічне зміщення заготовки:

$$0,5 \cdot S_{\max \eta} = 0,5 \cdot S_{\max \varphi} = 0,5 \cdot 0,178 = 0,089 \text{ (мм)} < 0,2 \text{ мм} , \quad (3.13)$$

Отже умова  $\omega_{\text{доп}} \geq 0,5 \cdot S_{\max}$  виконується.

Максимальне кутове зміщення дорівнює

$$\gamma_{\max} = \arctg [0,5 \cdot (S_{\max \eta} + S_{\max \varphi}) / L] = \arctg [0,5 \cdot (0,178 + 0,178) / 200] = \arctg 0,00089 < 5' .$$

Отже умова  $\gamma_{\max} \leq \gamma_{\text{доп}}$  виконується

Розрахунковий діаметр зрізаного пальця

$$d_{\varphi \cdot p} = d_{\varphi \cdot \max} - 0,25 \cdot ITd_{\varphi} = 8,987 - 0,25 \cdot 0,015 = 8,983 \text{ (мм)} .$$

Розрахунковий діаметр отвору під зрізаний палець

$$D_{\varphi \cdot p} = D_{\varphi \cdot \min} + 0,25 \cdot ITD_{\varphi} = 9 + 0,25 \cdot 0,15 = 9,037 \text{ (мм)} ,$$

$$S_{\min \eta} = 0,015 \text{ мм} \quad ITL_{\eta} = 0,5 \cdot ITL_{\varphi} = 0,5 \cdot 0,2 = 0,1 \text{ (мм)} .$$

Розрахункове зміщення вісі зрізаного пальця

$$\varepsilon_{\varphi \cdot p} = 0,5(ITL_{\varphi} - S_{\max \eta}) + ITL_{\eta} = 0,5 \cdot (0,2 - 0,015) + 0,025 = 0,117 \text{ (мм)} .$$

По ГОСТ 12210-66 для пальців діаметром 9мм ширина стрічки  $b=3\text{мм}$ .  
Вона має задовольняти умові

$$b \leq 0,25 \cdot (D_{\varphi \cdot p} + d_{\varphi \cdot p}) \cdot (D_{\varphi \cdot p} - d_{\varphi \cdot p}) / \varepsilon_{\varphi \cdot p} .$$

$$3 \leq 0,25 \cdot (9,037 + 8,983) \cdot (9,037 - 8,983) / 0,117 \approx 693,85 \text{ (мм)}.$$

Отже умова виконується.

Отже всі допуски, що були прийняті в процесі розрахунку не жорсткі і тому прийнятні.

Деталі в пристосуванні виготовляють в межах необхідної точності з допусками на лінійні розміри і допусками розташування поверхонь (непаралельність, не перпендикулярність і т. ін.).

На верстатах нормальної точності (Н) методом шліфування і пригонки можна досягти точність 6....7 квалітету і 6...9 степенів точності непаралельності або не перпендикулярності.

Поле розсіювання замикаючої ланки  $\delta(A_\Sigma)$  дорівнює сумі допусків складових ланок ( $\Sigma T_i$ ). При методі повної взаємозамінності повинні виконуватись наступні вимоги:

$$\delta(A_\Sigma) \leq (T_{A_\Sigma}); \quad \delta_k(\alpha_\Sigma) \leq T_k(\alpha_\Sigma). \quad (3.14)$$

Замикаючий допуск непаралельності пристосування згідно креслення деталі складає 0,02 мм, забезпечуючи запас точності.

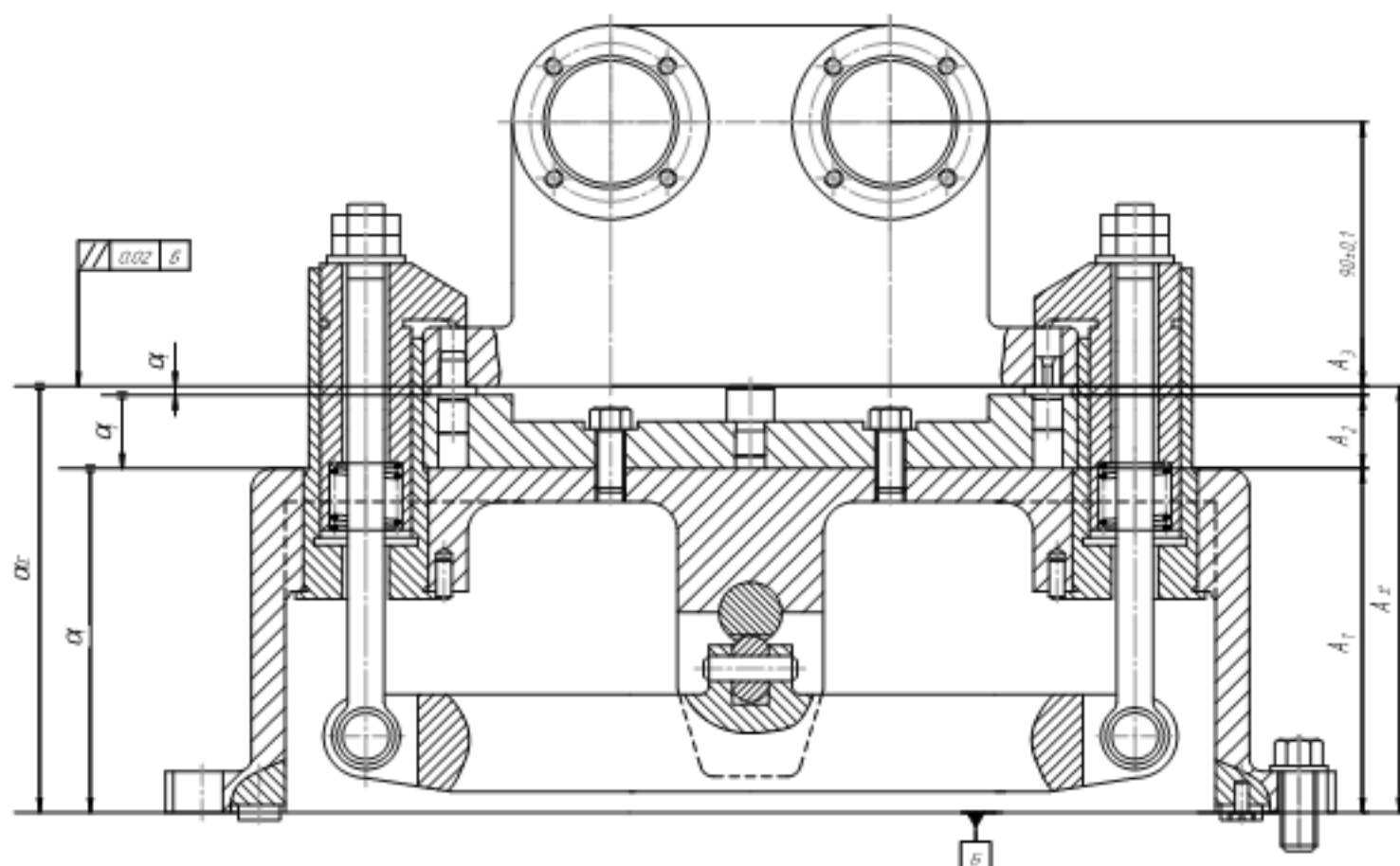


Рисунок 3.8 – Схема кутового на лінійного розмірного ланцюга

а) Для лінійних розмірів  $\varepsilon_{\text{прист.}} = 0,542$  мм.

$$TA_{\Sigma} = TA_1 + TA_2 + TA_3 \text{ [мм]}, \quad (3.15)$$

$$TA_{\Sigma} = 0,054 + 0,033 + 0,018 = 0,105 \text{ (мм)},$$

$$\varepsilon_{\text{прист}} \geq \delta(A_{\Sigma}); \quad 0,542 > 0,105.$$

Умови по точності виконуються. Настройку на розмір  $90 \pm 0,1$  виконують по висотному установу. Точність настройки  $\pm 0,01$  мм.

б) Для визначення непаралельності деталей виконуємо розрахунок кутового розмірного аналізу.

Припускаємо, що економічно доцільні допуски непаралельності деталей відповідають 6-ому ступеню точності вибираємо згідно [20-22]:

$$T(\alpha_1) = \frac{0,025}{336}; \quad T(\alpha_2) = \frac{0,02}{220}; \quad T(\alpha_3) = \frac{0,005}{16}; \quad T(\alpha_{\Sigma}) = \frac{0,02}{394}.$$

Допуски ланок в кутовій мірі складають (градуси):

$$Tk(\alpha_1) = \arctg \frac{0,025}{336} = 0,0844 \cdot 10^{-3} \circ;$$

$$Tk(\alpha_2) = \arctg \frac{0,02}{220} = 0,0909 \cdot 10^{-3} \circ;$$

$$Tk(\alpha_3) = \arctg \frac{0,005}{16} = 0,312 \cdot 10^{-3} \circ;$$

$$Tk(\alpha_{\Sigma}) = \arctg \frac{0,02}{394} = 0,507 \cdot 10^{-3} \circ;$$

$$\delta_k(\alpha_{\Sigma}) = 0,0844 \cdot 10^{-3} \circ + 0,0909 \cdot 10^{-3} \circ + 0,312 \cdot 10^{-3} \circ = 0,4873 \cdot 10^{-3} \circ$$

Умови по точності пристосування виконуються.

Для забезпечення непаралельності рекомендовано шліфувати опорні пластини в складі пристосування.

### 3.7 Силовий розрахунок пристосування

З'ясуємо основні параметри конструкції пневмоприводу:

- площа поршня:

$$F = \frac{P}{p} = \frac{615}{2} = 307,5 \text{ (мм}^2\text{)}, \quad (3.16)$$

де  $P$  – необхідне зусилля на штоці, Н;  $p$  – тиск стиснутого повітря, МПа.

- діаметр циліндра:

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4P}{\pi \cdot p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 615}{3,14 \cdot 2}} = 19,79 \text{ (мм)} \text{ (приймаємо 20 мм)}. \quad (3.17)$$

- для забезпечення безударної та плавної роботи пневмоциліндру слід призначити робочу швидкість переміщення поршня  $V$  в межах 0,2...1 м/с.

Приймаємо  $V = 0,6$  м/с;

- час переміщення поршня (робочий чи холостий хід):

$$t = L/1000V = 60/1000 \cdot 0,6 = 0,1 \text{ (с)} \quad (3.18)$$

- витрати повітря за хід (робочий чи холостий):

$$q = 6 \cdot F \cdot V = 6 \cdot 3,08 \cdot 0,6 = 11,088 \text{ (л/хв.)} \quad (3.19)$$

- внутрішній діаметр трубопроводу:

$$d_r = 4,6 \sqrt{\frac{q}{w}} = 4,6 \sqrt{\frac{11,088}{17}} = 3,7 \text{ (мм)} \approx 4 \text{ (мм)}. \quad (3.20)$$

Враховуючи дрібносерійний тип виробництва, річний обсяг виготовлення деталей  $N = 3200$  шт., приймаємо механізований затискний механізм з пневмоприводом. Переваги останнього полягають в швидкодії (0,5...1,2 с), постійності зусилля затискання і можливості його регулювання, високому коефіцієнті корисної дії, малих габаритах конструкції, рівномірність переміщення робочих органів. Оптимальна робоча швидкість виконавчого механізму при застосування пневмоприводу складає 0,1...2 м/с. При менших швидкостях виникають вібрації та нерівномірність ходу. З економічної точки зору, раціонально застосовувати пневмопривод із зусиллям до 30 кН і пневмоциліндри діаметром 250 мм.

Розрахунок пристосування деталей на міцність

- Розрахуємо гвинт затискного пневмомеханізму:

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq [\sigma] = 118 \text{ [МПа]}, \quad (3.21)$$

де  $N = 615$  Н – штовхаюче зусилля;

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 16^2}{4} = 200 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

- площа поперечного перерізу гвинта:

$$\sigma = \frac{615}{200} \cong 3,075 \text{ МПа} < [\sigma] = 118 \text{ (МПа)}.$$

Умова міцності виконується.

Найбільш навантаженою деталлю пристосування є важіль механізму зажиму. Деталь сприймає силу клинового механізму і передає її на важіль зажиму. Схема дії сил, що діють на важіль показана на рис. 3.9.

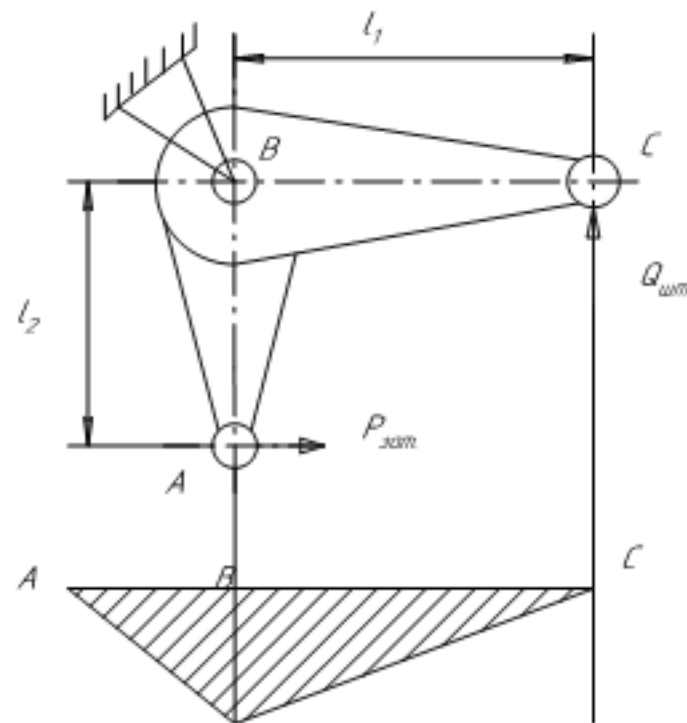


Рисунок 3.9 – Схема дії сил, що діють на важіль

$$P_{\text{зж}} = 892 \text{ Н.}$$

- Згинаючий момент складає:

$$M_{\text{зг.}} = P \cdot l_1 = 892 \cdot 0,05 = 44,6 \text{ (Н} \cdot \text{м)}. \quad (3.22)$$

- Найбільше напруження згину в небезпечному перерізі:

$$\sigma_{\text{max}} = M_{\text{зг.}} / W_x \leq [\sigma_{\text{зг.}}]. \quad (3.23)$$

Визначимо осьовий момент для прямокутного перерізу, припустивши,  $h = 3b$ .

$$W_x = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{b \cdot (3b)^2}{6} = \frac{9b^3}{6}; \quad (3.24)$$

$$b = \sqrt[3]{\frac{6W}{9}}; \quad W_x = M_{\text{зг.}} / [\sigma_{\text{зг.}}] = 44,6 \cdot 10^3 / 70 = 628 \text{ (мм}^3\text{)}$$

$$b = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 628}{9}} = 7 \text{ мм}; \quad h = 3b = 3 \cdot 7 = 21 \text{ (мм)}.$$

Приймаємо переріз в небезпечному перерізі з урахуванням отвору  $h \cdot b = 21 \cdot 7$  мм.

### 3.8 Опис роботи пристосування

Заготовку, яка обробляється, встановлюють опорною площиною на опорний палець 19 і орієнтують по двом отворах на циліндричний палець 18 і зрізаний палець 17. Закріплення деталі виконують двома прихватами 2. Сила закріплення на них передається від пневмоциліндра 3 через рухомий клин 4, ролик 5, коромисло 6 і тяги 7. Так, при подачі повітря в безштокову порожнину циліндра поршень 8 зі штоком переміщують клин 4 вліво; клин тисне на ролик і переміщує його разом з коромислом і тягами вниз до тих пір, поки прихвати не впруться в заготовку. При подачі повітря в штокову порожнину циліндра поршень зі штоком переміщають ними вправо, звільнюючи ролик; пружини 9 при цьому підіймають тяги і прихвати вверх, забезпечуючи розкріплення заготовки.

Монтується пристосування на столі верстату і кріпиться 4-ма болтами.

#### 4 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ПІДШИПНИКІВ 7-011.05.001»

##### 4.1 Уточнення приведеної програми

Програму випуску можна розрахувати за формулою [9, 23]:

$$N_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot K_{\text{пр},i} = N_{\text{р.пр.}} \cdot K_{\text{р.пр.}} + N_1 \cdot K_{\text{пр},1} + N_2 \cdot K_{\text{пр},2} + N_3 \cdot K_{\text{пр},3} + N_4 \cdot K_{\text{пр},4} \cdot [\text{шт.}] \quad (4.1)$$

Для уточнення виробничої програми, дані про деталі і їх коефіцієнти приведення зведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Визначення приведеної програми

| Програма випуску         | Маса, кг | K <sub>1</sub> | K <sub>2</sub> | K <sub>3</sub> | K <sub>пр.</sub> | N <sub>пр.</sub> |
|--------------------------|----------|----------------|----------------|----------------|------------------|------------------|
| N <sub>р.пр.</sub> =3200 | 6,5      | 1              | 1              | 1              | 1                | 31750            |
| N <sub>1</sub> =5000     | 12       | 1,50           | 0,94           | 1              | 1,41             |                  |
| N <sub>2</sub> =8000     | 10       | 1,33           | 0,87           | 0,94           | 1,09             |                  |
| N <sub>3</sub> =6000     | 8        | 1,15           | 0,91           | 1              | 1,05             |                  |
| N <sub>4</sub> =4000     | 14       | 1,67           | 0,97           | 1              | 1,62             |                  |

де N<sub>р.пр.</sub> – програма випуску розрахункового представника;

N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>, N<sub>4</sub> – програма випуску по кожному з найменувань деталей;

N<sub>пр.</sub> – програма випуску.

Всі деталі в групі приводяться до представника за допомогою загального коефіцієнта приведення:

$$K_{\text{пр}} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (4.2)$$

де K<sub>1</sub> – коефіцієнт приведення по масі:

$$K_1 = \sqrt[3]{(m_i / m_{\text{пр}})^2}, \quad (4.3)$$

де  $m_i$  – маса  $i$ -тої деталі;

$m_{\text{пр}}$  – маса представника.

$$K_1' = \sqrt[3]{(12 / 6,5)^2} = 1,50 ;$$

$$K_1'' = \sqrt[3]{(10 / 6,5)^2} = 1,33 ;$$

$$K_1''' = \sqrt[3]{(8 / 6,5)^2} = 1,15 ;$$

$$K_1^{IV} = \sqrt[3]{(14 / 6,5)^2} = 1,67 .$$

$K_2$  – коефіцієнт приведення по серійності:

$$K_2 = \left( \frac{N_{\text{пр}}}{N_i} \right)^{\alpha} , \quad (4.4)$$

де  $N_i$  – програма випуску  $i$ -тої деталі;

$N_{\text{пр}}$  – програма випуску представника;

$\alpha$  – коефіцієнт, який враховує точність, шорсткість, складність конструкції та інші конструктивні показники (для легкого середнього машинобудування складає 0,15);

$$K_2' = \left( \frac{3200}{5000} \right)^{0,15} = 0,94 ; \quad K_2'' = \left( \frac{3200}{8000} \right)^{0,15} = 0,87 ;$$

$$K_2''' = \left( \frac{3200}{6000} \right)^{0,15} = 0,91 ; \quad K_2^{IV} = \left( \frac{3200}{4000} \right)^{0,15} = 0,97 .$$

Значення кількості квалітету та шорсткості типових деталей приведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Кількість квалітету та шорсткості типових деталей

|                                       |            |     |      |     |     |     |     |      |    |    |
|---------------------------------------|------------|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|----|----|
| Корпус<br>підшипників<br>7-011.05.001 | 1          | 2   | 3    | 4   | 5   | 6   | 7   | 8    | 9  | 10 |
|                                       | Квалітет   | 6   | 7    | 8   | 9   | 10  | 11  | 12   | 13 | 14 |
|                                       | Кількість  | 1   | 18   | -   | -   | -   | 2   | 6    | 2  | 37 |
|                                       | Шорсткість | 0,8 | 1,25 | 1,6 | 2,5 | 3,2 | 6,3 | 12,5 | -  | -  |
|                                       | Кількість  | -   | -    | 2   | 4   | -   | 60  | -    | -  | -  |
| Корпус 1                              | Квалітет   | 6   | 7    | 8   | 9   | 10  | 11  | 12   | 13 | 14 |
|                                       | Кількість  | 2   | 22   | -   | 1   | -   | 5   | 4    | 4  | 48 |
|                                       | Шорсткість | 0,8 | 1,25 | 1,6 | 2,5 | 3,2 | 6,3 | 12,5 | -  | -  |
|                                       | Кількість  | 6   | -    | -   | 7   | -   | 47  | -    | -  | -  |
| Корпус 2                              | Квалітет   | 6   | 7    | 8   | 9   | 10  | 11  | 12   | 13 | 14 |
|                                       | Кількість  | -   | 18   | -   | 1   | 2   | -   | 4    | -  | 44 |
|                                       | Шорсткість | 0,8 | 1,25 | 1,6 | 2,5 | 3,2 | 6,3 | 12,5 | -  | -  |
|                                       | Кількість  | 3   | 1    | -   | 5   | -   | 44  | -    | -  | -  |
| Корпус 3                              | Квалітет   | 6   | 7    | 8   | 9   | 10  | 11  | 12   | 13 | 14 |
|                                       | Кількість  | -   | 22   | -   | 2   | 4   | -   | 6    | -  | 48 |
|                                       | Шорсткість | 0,8 | 1,25 | 1,6 | 2,5 | 3,2 | 6,3 | 12,5 | -  | -  |
|                                       | Кількість  | 4   | -    | 1   | 6   | -   | 42  | -    | -  | -  |
| Корпус 4                              | Квалітет   | 6   | 7    | 8   | 9   | 10  | 11  | 12   | 13 | 14 |
|                                       | Кількість  | -   | 15   | -   | 3   | 4   | -   | 5    | -  | 44 |
|                                       | Шорсткість | 0,8 | 1,25 | 1,6 | 2,5 | 3,2 | 6,3 | 12,5 | -  | -  |
|                                       | Кількість  | 2   | 2    | -   | 3   | 1   | 41  | -    | -  | -  |

$K_3$  – коефіцієнт приведення по складності:

$$K_3 = \left( \frac{\overline{K_{ai}}}{\overline{K_{avr}}} \right)^{\alpha_1} \cdot \left( \frac{\overline{R_i}}{\overline{R_{avr}}} \right)^{\alpha_2} = \frac{(\overline{K_{ai}})^{\alpha_1}}{(\overline{K_{avr}})^{\alpha_1}} \cdot \frac{(\overline{R_i})^{\alpha_2}}{(\overline{R_{avr}})^{\alpha_2}}, \quad (4.5)$$

де  $\overline{K_{ai}}$  – середній квалітет і-тої деталі;

$\overline{K_{avr}}$  – середній квалітет представника;

$\overline{R_i}$  – середня шорсткість і-тої деталі;

$\overline{R_{avr}}$  – середня шорсткість представника.

$$\overline{K_{avr}} = \frac{6 \cdot 1 + 7 \cdot 18 + 11 \cdot 2 + 12 \cdot 6 + 13 \cdot 2 + 14 \cdot 37}{1 + 18 + 2 + 6 + 2 + 37} = 11,66, \quad (\overline{K_{avr}})^{\alpha_1} = 0,9;$$

$$\overline{K_{m1}} = \frac{6 \cdot 2 + 7 \cdot 22 + 9 \cdot 1 + 11 \cdot 5 + 12 \cdot 4 + 13 \cdot 4 + 14 \cdot 48}{2 + 22 + 1 + 5 + 4 + 4 + 48} = 11,26, \quad (\overline{K_1})^{\alpha 1} = 0,95;$$

$$\overline{K_{m2}} = \frac{7 \cdot 18 + 9 \cdot 1 + 10 \cdot 2 + 12 \cdot 4 + 14 \cdot 44}{18 + 1 + 2 + 4 + 44} = 12,57, \quad (\overline{K_2})^{\alpha 1} = 0,85;$$

$$\overline{K_{m3}} = \frac{7 \cdot 22 + 9 \cdot 2 + 10 \cdot 4 + 12 \cdot 6 + 14 \cdot 48}{22 + 2 + 4 + 6 + 48} = 11,66, \quad (\overline{K_3})^{\alpha 1} = 0,9;$$

$$\overline{K_{m4}} = \frac{7 \cdot 15 + 9 \cdot 3 + 10 \cdot 4 + 12 \cdot 5 + 14 \cdot 44}{15 + 3 + 4 + 5 + 44} = 11,94, \quad (\overline{K_4})^{\alpha 1} = 0,9.$$

$$\overline{R_{np}} = \frac{1,6 \cdot 2 + 2,5 \cdot 4 + 6,3 \cdot 60}{2 + 4 + 60} = 5,9, \quad (\overline{R_{np}})^{\alpha 2} = 1;$$

$$\overline{R_1} = \frac{0,8 \cdot 6 + 2,5 \cdot 7 + 6,3 \cdot 47}{6 + 7 + 47} = 5,3, \quad (\overline{R_1})^{\alpha 2} = 1;$$

$$\overline{R_2} = \frac{0,8 \cdot 3 + 1,25 \cdot 1 + 2,5 \cdot 5 + 6,3 \cdot 44}{3 + 1 + 5 + 44} = 5,5, \quad (\overline{R_2})^{\alpha 2} = 1;$$

$$\overline{R_3} = \frac{0,8 \cdot 4 + 1,6 \cdot 1 + 2,5 \cdot 6 + 6,3 \cdot 42}{4 + 1 + 6 + 42} = 5,4, \quad (\overline{R_3})^{\alpha 2} = 1;$$

$$\overline{R_4} = \frac{0,8 \cdot 2 + 1,25 \cdot 2 + 2,5 \cdot 3 + 3,2 \cdot 1 + 6,3 \cdot 41}{2 + 2 + 3 + 1 + 41} = 5,6, \quad (\overline{R_4})^{\alpha 2} = 1.$$

$$K_3^I = \frac{0,95}{0,9} \cdot \frac{1}{1} = 1;$$

$$K_3^{II} = \frac{0,85}{0,9} \cdot \frac{1}{1} = 0,94;$$

$$K_3^{III} = \frac{0,9}{0,9} \cdot \frac{1}{1} = 1;$$

$$K_3^{IV} = \frac{0,9}{0,9} \cdot \frac{1}{1} = 1.$$

$$K_{np1} = 1,50 \cdot 0,94 \cdot 1 = 1,41;$$

$$K_{np2} = 1,33 \cdot 0,87 \cdot 0,94 = 1,09;$$

$$K_{np3} = 1,15 \cdot 0,91 \cdot 1 = 1,05;$$

$$K_{np4} = 1,67 \cdot 0,97 \cdot 1 = 1,62.$$

$$N_{np} = 3200 \cdot 1 + 5000 \cdot 1,41 + 8000 \cdot 1,09 + 6000 \cdot 1,05 + 4000 \cdot 1,62 = 31750 \quad (\text{шт.})$$

#### 4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження

Кількість верстатів визначається за формулою згідно [9, 23]:

$$C_p = T_{\text{пр}} / (\Phi_d \cdot m), \quad (4.6)$$

де  $T_{\text{пр}}$  – сумарна трудомісткість деталей, год;

$\Phi_d$  – ефективний річний фонд часу роботи верстата при роботі в одну зміну, год;

$m$  – кількість робочих змін.

Враховуючи проведенне раніше нормування часу розраховуємо сумарну трудомісткість деталей:

На операції 005 трудомісткість виконуваних робіт складатиме:

$$T_{\text{пр}} = \frac{2,024 \cdot 31750}{60} = 1394,8833 \text{ (год.)}$$

На операції 010 трудомісткість виконуваних робіт складатиме:

$$T_{\text{пр}} = \frac{4,33 \cdot 31750}{60} = 2886,6041 \text{ (год.)}$$

Отже кількість верстатів 6P13PФ3, для операції 005 складає:

$$C_p = \frac{1394,883}{3890} = 0,36 ; \quad C_{\text{пр}} = 1.$$

Кількість верстатів HAAS EC-500 для операції 010 складає:

$$C_p = \frac{2886,6041}{3890} = 0,74 ; \quad C_{\text{пр}} = 1.$$

Розраховуємо коефіцієнт завантаження обладнання [9, 23]:

$$\eta_z = \frac{C_p}{C_{np}}, \quad (4.7)$$

де  $C_p$  – кількість розрахункового обладнання;

$C_{np}$  – кількість прийнятого обладнання.

Операція 005:

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

Операція 010:

$$\eta_z = \frac{0,74}{1} = 0,74 .$$

Розраховуємо коефіцієнт завантаження обладнання за основним часом:

$$\eta_{oz} = \frac{T_{осн}}{T_{шт.к}}, \quad (4.8)$$

де  $T_{осн}$  – основний час, хв.;

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

Операції 005:

$$\eta_{oz\ 005} = \frac{1,119}{2,024} = 0,55 .$$

Операції 010:

$$\eta_{oz\ 010} = \frac{2,781}{4,33} = 0,64 .$$

$$\eta_{озср} = \frac{0,55 + 0,64}{2} = 0,6 .$$

Отримані результати занесено до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Розрахунок кількості обладнання

| $N_{оп}$ | Назва операції      | Розрахункова кількість верстатів | Прийнята кількість верстатів | Коефіцієнт завантаження | Середній коефіцієнт завантаження | Коефіцієнт завантаження по основному часу. | Середній коефіцієнт завантаження за основним часом |
|----------|---------------------|----------------------------------|------------------------------|-------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 005      | Фрезерна з ЧПК      | 0,36                             | 1                            | 0,36                    | 0,55                             | 0,55                                       | 0,6                                                |
| 010      | Багатоцільова з ЧПК | 0,74                             | 1                            | 0,74                    |                                  | 0,64                                       |                                                    |

#### 4.3 Побудова графіків завантаження обладнання

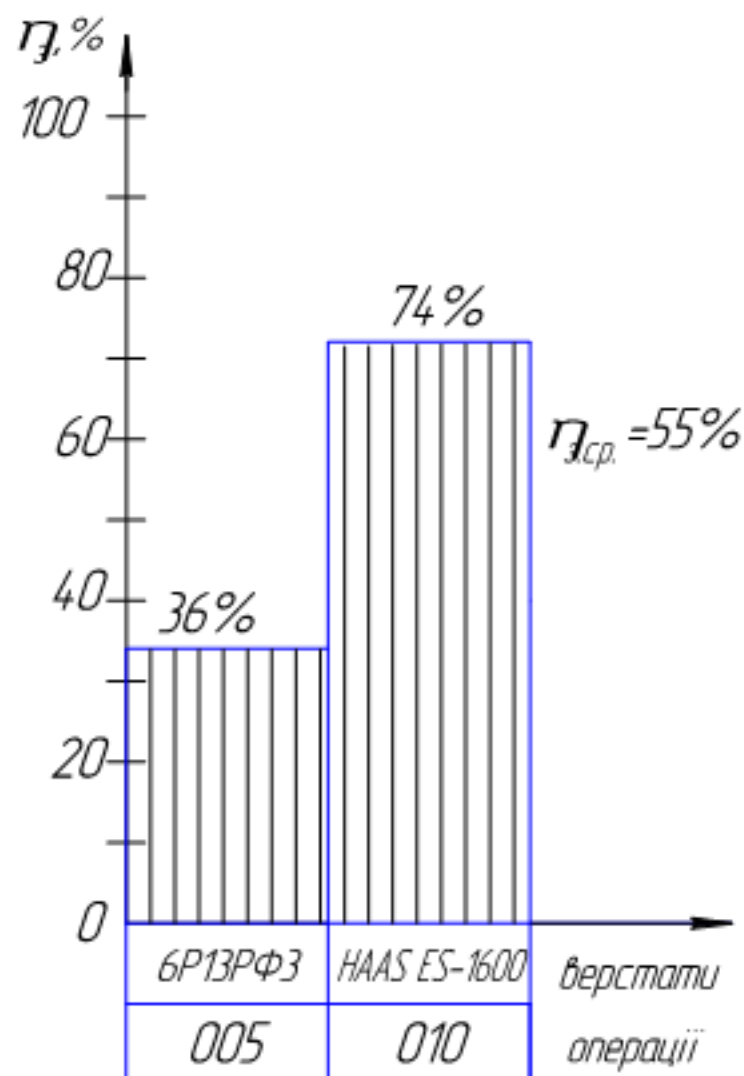


Рисунок 4.1 – Графік завантаження обладнання

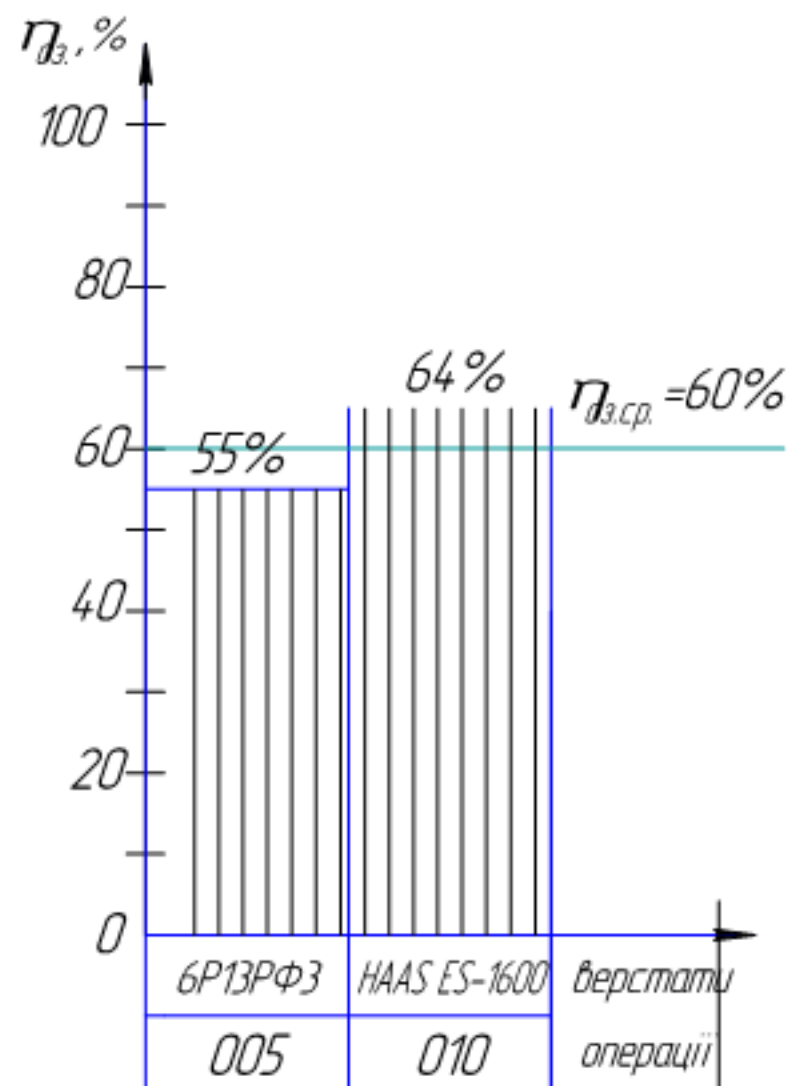


Рисунок 4.2 – Графік використання обладнання за основним часом

На операції 005 коефіцієнт завантаження є низьким, тому пропонується довантажити його обробкою інших деталей.

Коефіцієнт використання за основним часом є високим. Це підтверджує правильність прийнятих рішень при модернізації технологічного процесу механічної обробки деталі.

#### 4.4 Розрахунок кількості працівників на дільниці

Визначимо необхідну кількість працюючих на кожній операції окремо [9, 23]:

$$P_i = \frac{T_{шт.к.} \cdot N_{прим.}}{F_{др.} \cdot 60 \cdot K_{б.обсл.}}, \quad (4.9)$$

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

$F_{др.}$  – фонд часу робітника, хв.;

$K_{б.обсл.}$  – коефіцієнт, який враховує кількість верстатів, які обслуговує 1 робітник;

$N_{прив.}$  – приведена програма.

Визначимо кількість основних робітників на кожній операції окремо:

- операція 005:

$$P_1 = \frac{2,024 \cdot 3175 \cdot 0}{1820 \cdot 60 \cdot 1} = 0,6 .$$

Приймаємо кількість основних працівників на даній операції рівній 1.

- операція 010:

$$P_1 = \frac{4,33 \cdot 3175 \cdot 0}{1840 \cdot 60 \cdot 1} = 1,26 .$$

Приймаємо кількість основних працівників на даній операції рівній 2.

Тоді загальна кількість основних робітників складає:

$$P_{ос.} = P_1 + P_2 = 1 + 2 = 3 \text{ (чол.)}$$

Визначимо необхідну кількість допоміжних робітників:

$$P_{д.} = P_{ос.} \cdot (0,2 \dots 0,25) = 3 \cdot (0,2 \dots 0,25) = 0,6 \dots 0,75 \text{ (чол.)}$$

Приймаємо 1 допоміжного робітника.

Визначимо необхідну кількість інженерно-технічних робітників:

$$P_{і.т.р.} = C_{пр.} \cdot (0,18 \dots 0,24) = 2 \cdot (0,18 \dots 0,24) = 0,36 \dots 0,48 \text{ (чол.)}$$

Приймаємо 1 ІТР.

Визначимо необхідну кількість службовців:

$$P_c = P_{oc} \cdot (0,012 \dots 0,022) = 3 \cdot (0,012 \dots 0,022) = 0,036 \dots 0,066 \text{ (чол.)}$$

Приймаємо 1 службовця.

Молодший обслуговуючий персонал:

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

Приймаємо 1 людину МОП.

ІТР, службовці та молодший обслуговуючий персонал не завантажені роботою на даній ділянці і тому мають обслуговувати ще цілий ряд ділянок.

Загальну кількість працюючих зведемо у відомість працюючих (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Відомість працюючих

| Працюючі<br>(категорія)         | Загальна<br>кількість | Розподіл по<br>професіям | Розподіл по<br>змінам |
|---------------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Основні робітники               | 3                     | 1 – фрезерувальник;      | 1 (1 зміна)           |
|                                 |                       | 1 – токар;               | 1 (1 зміна)           |
|                                 |                       | 1 – фрезерувальник;      | 1 (2 зміна)           |
| Допоміжні робітники             | 1                     | 1 – контролер            | 1 (1 зміна)           |
| Інженерно-технічні<br>робітники | 1                     | 1 – технолог             | 1 (1 зміна)           |
| Службовці                       | 1                     | 1 – бухгалтер            | 1 (1 зміна)           |
| Молодший обслуг. персонал       | 1                     | 1 – прибиральник         |                       |

## 5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ПІДШИПНИКІВ 7-011.05.001»

### 5.1 Оцінювання експертами комерційного потенціалу розробки

Технологічний аудит проводять з метою оцінки комерційного потенціалу розробки, яка була розроблена і створена в результаті науково-технічної діяльності.

Для проведення технологічного аудиту залучено 3-х незалежних експертів, які оцінили комерційний потенціал розробки за 12-ма критеріями, наведеними в таблиці 5.1 [24].

Таблиця 5.1 – Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

| Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою) |                                                                        |                                                                       |                                                             |                                                                       |                                                                        |
|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Кри-<br>терій                                        | «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                  |
| 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 |

Продовження таблиці 5.1

| 1                       | 2                                                                                                                                     | 3                                                                                                                                    | 4                                                                                                                 | 5                                                                                         | 6                                                                                   |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 5                       | Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів                                                                                    | Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів                                                                                     | Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних 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 великих компаній на ринку                                                                                         | Активна конкуренція                                                                                                                  | Помірна конкуренція                                                                                               | Незначна конкуренція                                                                      | Конкурентів немає                                                                   |
| Практична здійсненність |                                                                                                                                       |                                                                                                                                      |                                                                                                                   |                                                                                           |                                                                                     |
| 8                       | Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї                                                                  | Необхідно наймати фахівців або витрачати значні 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 |
| 12                      | Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту | Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу | Процедура отримання дозвільних 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 потрібно звести в таблицю за зразком таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

| Критерії                                          | Експерти                                                                       |                      |                      |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|
|                                                   | Експерт № 1                                                                    | Експерт № 2          | Експерт № 3          |
|                                                   | Бали, виставлені експертами:                                                   |                      |                      |
| 1                                                 | 3                                                                              | 1                    | 1                    |
| 2                                                 | 1                                                                              | 2                    | 2                    |
| 3                                                 | 4                                                                              | 3                    | 2                    |
| 4                                                 | 3                                                                              | 2                    | 1                    |
| 5                                                 | 4                                                                              | 3                    | 2                    |
| 6                                                 | 4                                                                              | 2                    | 3                    |
| 7                                                 | 2                                                                              | 3                    | 3                    |
| 8                                                 | 2                                                                              | 2                    | 2                    |
| 9                                                 | 2                                                                              | 3                    | 3                    |
| 10                                                | 2                                                                              | 2                    | 2                    |
| 11                                                | 3                                                                              | 2                    | 3                    |
| 12                                                | 1                                                                              | 4                    | 2                    |
| Сума балів                                        | СБ <sub>1</sub> = 31                                                           | СБ <sub>2</sub> = 29 | СБ <sub>3</sub> = 26 |
| Середньоарифметична<br>сума балів $\overline{СБ}$ | $\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{31 + 29 + 26}{3} = 28,67$ |                      |                      |

Згідно таблиці 5.2 розробка має рівень комерційного потенціалу середній.

Так як в даній розробці використовується стандартне обладнання, то всі дії можуть виконуватися на підприємстві.

Ринками збуту продукції можуть бути промислові регіони України.

Потенційними покупцями нового товару можуть бути малі та середні машинобудівні та ремонтні підприємства з дрібносерійним, серійним та великосерійним виробництвом, які мають на меті виготовляти деталі.

Так як дане інноваційне рішення проектується, розраховується і впроваджується лише на даному виробництві, то використовуватись воно буде лише на даному підприємстві.

Оцінювання рівня якості інноваційного рішення проводиться з метою порівняльного аналізу і визначення найбільш ефективного, з технічної точки зору, варіанту інженерного рішення.

В даній магістерській роботі під час оцінювання якості продукції доцільно визначати абсолютний і відносний її рівні.

Абсолютний рівень якості інноваційного товару знаходять обчисленням вибраних для його вимірювання показників, не порівнюючи їх із відповідними показниками аналогічних виробів. Для цього необхідно визначити зміст основних функцій, які повинні реалізовувати інноваційне рішення, вимоги замовника до нього, а також умови, які характеризують експлуатацію, визначають основні параметри, які будуть використані для розрахунку коефіцієнта технічного рівня виробу. Система параметрів, прийнята до розрахунків, повинна достатньо повно характеризувати споживчі властивості інноваційного товару (його призначення, надійність, економічне використання ресурсів, стандартизація тощо). Всі ці дані для кожного параметра заносимо до таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Основні параметри інноваційного рішення

| Параметри                                                     | Абсолютне значення параметра |         |       | Коефіцієнт вагомості параметра |
|---------------------------------------------------------------|------------------------------|---------|-------|--------------------------------|
|                                                               | краще                        | середнє | гірше |                                |
| Кількість верстатів                                           | 10                           |         |       | 40%                            |
| Кількість основних робітників                                 | 10                           |         |       | 25%                            |
| Середній розряд робітників                                    |                              | 7       |       | 10%                            |
| Середній коефіцієнт завантаження обладнання                   |                              | 7       |       | 15%                            |
| Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом |                              | 7       |       | 15%                            |

Визначимо абсолютний рівень якості інноваційного рішення за формулою:

$$K_{a.a.} = \sum_{i=1}^n P_{ni} \cdot \alpha_i, \quad (5.1)$$

де  $P_{in}$  – числове значення  $i$ -го параметра інноваційного рішення;  $n$  – кількість параметрів інноваційного рішення, що прийняті для оцінювання;  $\alpha_i$  – коефіцієнт вагомості відповідного параметра.

$$K_{a.a.} = 10 \cdot 0,4 + 10 \cdot 0,25 + 7 \cdot 0,1 + 7 \cdot 0,15 + 7 \cdot 0,15 = 9,3.$$

Визначимо відносний рівень якості окремих параметрів інноваційного рішення, порівнюючи його показники з абсолютними показниками якості аналогу (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Основні параметри інноваційного рішення та товару-конкурента

| Показник                                                      | Варіанти |                             | Відносний показник якості | Коефіцієнт вагомості параметра |
|---------------------------------------------------------------|----------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------|
|                                                               | Базовий  | Новий (інноваційне рішення) |                           |                                |
| Кількість верстатів, шт.                                      | 9        | 2                           | 4,5                       | 0,4                            |
| Кількість основних робітників, чол.                           | 18       | 3                           | 6,0                       | 0,25                           |
| Середній розряд робітників                                    | 4        | 3                           | 1,33                      | 0,1                            |
| Середній коефіцієнт завантаження обладнання                   | 0,4      | 0,55                        | 1,38                      | 0,15                           |
| Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом | 0,52     | 0,60                        | 1,15                      | 0,15                           |
| Собівартість заготовки, грн.                                  | 227,42   | 148,6                       | -                         | -                              |

Відносні (одиничні) показники якості з будь-якого параметра  $q_i$ , що занесено у відповідні колонки таблиці 5.3, визначаються за формулами:

$$q_i = \frac{P_{in}}{P_{bi}}, \quad (5.2)$$

або

$$q_i = \frac{P_{Bi}}{P_{Hi}}, \quad (5.3)$$

де  $P_{Hi}$ ,  $P_{Bi}$  – числові значення  $i$ -го параметра відповідно нового і базового виробів.

Відносний рівень якості інноваційного рішення визначасмо за формулою:

$$K_{н.в.} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \alpha_i, \quad (5.4)$$

$$K_{н.в.} = 4,5 \cdot 0,4 + 6,0 \cdot 0,25 + 1,33 \cdot 0,1 + 1,38 \cdot 0,15 + 1,15 \cdot 0,15 = 3,81.$$

Значення відносного показника якості інноваційного рішення більше одиниці, це означає, що інноваційний продукт якісніший базового товару-конкурента.

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.

Однією із умов вибору товару споживачем є збіг основних ринкових характеристик виробу з умовними характеристиками конкретної потреби покупця. Такими характеристиками для нашої інноваційної розробки є технічні параметри, а також економія підприємства на втратах від браку.

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

$$K = \frac{I_{т.п.}}{I_{е.п.}}, \quad (5.5)$$

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

Індекс економічних параметрів визначається за формулою:

$$I_{e.n.} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Het}}{\sum_{i=1}^n P_{Bet}}, \quad (5.6)$$

де  $P_{Het}$ ,  $P_{Bet}$  – економічні параметри (ціна придбання та споживання товару) відповідно нового та базового товарів.

Якщо  $K > 1$ , то інноваційне рішення вважається більш конкурентоспроможним, ніж товар-конкурент, обраний за базу для порівняння; 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 3,81. За формулою (5.6) розрахуємо індекс економічних параметрів інноваційного рішення:

$$I_{e.n.} = \frac{227,42}{148,6} = 1,53.$$

Тоді, користуючись формулою (5.5), розрахуємо загальний показник конкурентоспроможності:

$$K = \frac{3,81}{1,53} = 2,49.$$

Оскільки  $K > 1$ , то запропонована нова технологія виготовлення деталі «Корпус підшипників 7-011.05.001» є більш доцільнішою і конкурентноспроможною, ніж базова.

## 5.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипників 7-011.05.001»

### 5.2.1 Капітальні вкладення на удосконалення технологічного процесу

Капітальні вкладення на удосконалення технологічного процесу  $K$ , складаються з відповідних витрат і розраховують за такою формулою [24]:

$$K = Z_o + Z_{доd} + Z_n + B_{бyд} + B_{обt} + B_{тp} + B_{ocт} + B_{инc} + B_{пу} + B_{пе} + B_{от} \text{ [грн.]}, \quad (5.7)$$

де  $Z_o$  – основна заробітна плата розробників, грн.;

$Z_{доd}$  – додаткова заробітна плата розробників, грн.;

$Z_n$  – нарахування на заробітну плату розробників, грн.;

$B_{бyд}$  – вартість будівлі, що її займає діляниця, грн.;

$B_{обt}$  – початкова вартість технологічного обладнання, грн.;

$B_{тp}$  – початкова вартість транспортних засобів, грн.;

$B_{ocт}$  – початкова вартість інструменту, оснащення великої вартості, вимірювальних та регулювальних приладів, грн.;

$B_{инc}$  – вартість виробничого та господарчого інвентарю, грн.;

$B_{пу}$  – вартість програм управління, грн.;

$B_{пе}$  – передвиробничі витрати, грн.;  $B_{от}$  – вартість оборотних засобів, грн.

### 5.2.2 Основна заробітна плата розробників

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

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{нi} \cdot t_i}{T_p} \text{ [грн.]}, \quad (5.8)$$

де  $k$  – кількість посад розробників залучених до процесу досліджень;

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

$t_i$  – число днів роботи конкретного розробника, грн.;

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

Таблиця 5.5 – Витрати на заробітну плату розробників

| Найменування посади | Місячний посадовий оклад, грн. | Оплата за робочий день, грн. | Число днів роботи | Витрати на заробітну плату, грн. | Прим.    |
|---------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------|----------------------------------|----------|
| Керівник проекту    | 18000                          | 818,18                       | 10                | 8181,82                          |          |
| Інженер-технолог    | 16000                          | 727,27                       | 8                 | 5818,16                          |          |
| Інженер-конструктор | 16000                          | 727,27                       | 8                 | 5818,16                          |          |
| Економіст           | 16000                          | 727,27                       | 8                 | 5818,16                          |          |
| Всього              |                                |                              |                   | $z_o$                            | 31454,46 |

### 5.2.3 Додаткова заробітна плата розробників

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

$$z_{\text{дод}} = H_{\text{дод}} \cdot z_o \text{ [грн.]}, \quad (5.9)$$

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

$$z_{\text{дод}} = 0,1 \cdot 31454,46 = 3145,45 \text{ (грн.)}$$

### 5.2.4 Єдиний страховий внесок розробників (ЄСВ)

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

$$z_e = (z_o + z_{\text{дод}}) \cdot H_{\text{ст}} \text{ [грн.]}, \quad (5.10)$$

де  $H_m$  – норма нарахування на заробітну плату розробників.

$$z_u = (31454,46 + 3145,45) \cdot 0,22 = 7611,98 \text{ (грн.)}$$

### 5.2.5 Вартість будівлі, що її займає ділянка

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

$$B_{\text{буд.}} = C_{\text{пл}} \cdot S_{\text{заг}} \text{ [грн.]}, \quad (5.11)$$

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

$S_{\text{заг}}$  – загальна площа виробничої ділянки, м<sup>2</sup>.

$$B_{\text{буд.}} = 900 \cdot 80 = 72000 \text{ (грн.)}$$

### 5.2.6 Початкова вартість технологічного обладнання

Балансову вартість нового обладнання розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{обз}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i \text{ [грн.]}, \quad (5.12)$$

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

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

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

$k$  – кількість найменувань обладнання встановленого на дільниці.

Таблиця 5.6 – Вартість обладнання

| №      | Найменування обладнання                            | Ціна, грн. | Кількість | $K_i$ | Вартість, грн. |
|--------|----------------------------------------------------|------------|-----------|-------|----------------|
| 1      | Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК моделі 6P13PФ3 | 550000     | 1         | 1,1   | 605000         |
| 2      | Багатоцільовий верстат з ЧПК HAAS EC-1600          | 950000     | 1         | 1,1   | 1045000        |
| Всього |                                                    |            |           |       | 1650000        |

Придбані верстати були у використанні.

Реалізовано верстати:

- вертикально-фрезерний 6M13П – 60000 грн.;
- 2 горизонтально-фрезерних 6P81 –  $2 \cdot 60000 = 120000$  (грн.);
- 2 радіально-свердлильних 2M55 –  $2 \cdot 50000 = 100000$  (грн.);
- 2 координатно-розточувальних 2431 –  $2 \cdot 60000 = 120000$  (грн.);
- внутрішньо шліфувальний 3K229B – 70000 грн.

Всього реалізовано верстатів на 470000 грн.

Отже, витрати на обладнання

$$B_{\text{обл}} = 1650000 - 470000 = 1180000 \text{ (грн.)}$$

### 5.2.7 Початкова вартість транспортних засобів

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

### 5.2.8 Початкова вартість інструменту, оснащення великої вартості, вимірювальних та регулювальних приладів

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

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

$$B_{\text{мо}} = B_{\text{обл}} \cdot \frac{K_{\text{н}}}{100 \%} [\text{грн.}], \quad (5.13)$$

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

$K_{\text{н}}$  – нормативний відсоток витрат в залежності від типу виробництва;

$$B_{\text{мо}} = 1180000 \cdot 0,10 = 118000 \text{ (грн.)}$$

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

$$B_{\text{осн}} = (0,2 \dots 0,3) \cdot B_{\text{мо}} [\text{грн.}]; \quad (5.14)$$

$$B_{\text{осн}} = 118000 \cdot 0,25 = 29500 \text{ (грн.)}$$

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

$$B_{\text{квл}} = (0,06 \dots 0,12) \cdot B_{\text{мо}} [\text{грн.}]; \quad (5.15)$$

$$B_{\text{квл}} = 0,1 \cdot 118000 = 11800 \text{ (грн.)}$$

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

$$B_{\text{осн}} = B_{\text{мо}} + B_{\text{осн}} + B_{\text{квл}} [\text{грн.}]; \quad (5.16)$$

$$B_{\text{осн}} = 118000 + 29500 + 11800 = 159300 \text{ (грн.)}$$

### 5.2.9 Вартість виробничого та господарчого інвентарю

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

### 5.2.10 Вартість програм керування

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

$$B_{пу} = (0,05 \dots 0,1) \cdot B_{обл} \text{ [грн.];} \quad (5.17)$$

$$B_{пу} = 0,1 \cdot 1180000 = 118000 \text{ (грн.)}$$

### 5.2.11 Величина передвиробничих витрат

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

### 5.2.12 Величина оборотних засобів

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

Отже, величина капітальних вкладень на удосконалення технологічного процесу складе:

$$\begin{aligned} K &= 31454,46 + 3145,45 + 7611,98 + 72000 + 1180000 + 159300 + 118000 = \\ &= 1571511,89 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

### 5.3 Розрахунок виробничої собівартості одиниці продукції

#### 5.3.1 Сировина та матеріали

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

Вартість витрат на матеріал заготовки деталі типу «Корпус підшипників 7-011.05.001» складає 148,6 грн. (див. розділ 2).

#### 5.3.2 Розрахунок витрат на силову електроенергію

Витрати на силову електроенергію ( $B_e$ ) розраховують за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{\text{вкл}}}{\eta_i} \text{ [грн.]}, \quad (5.18)$$

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

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

$C_e$  – вартість 1 кВт-години електроенергії,  $C_e = 7,5$  грн.;

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

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

Проведені розрахунки зведено до таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Витрати на електроенергію

| Найменування операції, верстат                         | Встановлена потужність, кВт | Тривалість обробки, год. | Сума, грн. |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------|
| 005 Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК моделі 6P13PФ3 | 16,87                       | 1,119/60                 | 2,21       |
| 010 Багатоцільовий верстат з ЧПК моделі HAAS EC-1600   | 22,4                        | 2,781/60                 | 7,3        |
| Всього                                                 |                             |                          | Σ 9,51     |

### 5.3.3 Основна заробітна плата робітників

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

$$З_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i \text{ [грн.]}, \quad (5.19)$$

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

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

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

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{zm}} \text{ [грн.]}, \quad (5.20)$$

де  $M_m$  – розмір мінімальної місячної заробітної плати,  $M_m = 8000$  грн. (з 01.04.2024 р.);

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

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

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

$t_{zm}$  – тривалість зміни, год.

$$C = (8000 \cdot 1,35 \cdot 1,5) / (22 \cdot 8) = 92,05 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 5.8 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

| Найменування операцій, верстат                         | Тривалість операції, год. | Розряд роботи | Тарифний коефіцієнт | Погодинна тарифна ставка, грн. | Величина оплати, грн. |
|--------------------------------------------------------|---------------------------|---------------|---------------------|--------------------------------|-----------------------|
| 005 Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК моделі 6P13PФ3 | 1,119/60                  | 3             | 1,35                | 92,05                          | 1,72                  |
| 010 Багатоцільовий верстат з ЧПК моделі HAAS EC-1600   | 2,781/60                  | 3             | 1,35                | 92,05                          | 4,27                  |
| Всього                                                 |                           |               |                     |                                | Σ 5,99                |

#### 5.3.4 Додаткова заробітна плата робітників

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

$$Z_{\text{дод}} = H_{\text{дод}} \cdot Z_p \text{ [грн.]}, \quad (5.21)$$

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

$$Z_{\text{дод}} = 0,1 \cdot 5,99 = 0,6 \text{ (грн.)}$$

#### 5.3.5 Єдиний страховий внесок робітників (ЄСВ)

Єдиний страховий внесок робітників  $Z_{\text{є}}$  розраховується як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати виробничих робітників за формулою:

$$Z_{\text{є}} = (Z_o + Z_{\text{дод}}) \cdot H_{\text{є}} \text{ [грн.]}, \quad (5.22)$$

де  $H_{\text{є}}$  – норма нарахування на заробітну плату робітників.

$$Z_{\text{є}} = (5,99 + 0,6) \cdot 0,22 = 1,45 \text{ (грн.)}$$

### 5.3.6 Розрахунок загальновиробничих статей витрат

Величину загальновиробничих витрат розраховують за формулою:

$$B_{\text{заг}} = H_{\text{м}} \cdot Z_p \text{ [грн.];} \quad (5.23)$$

$$B_{\text{заг}} = 2,5 \cdot 5,99 = 14,98 \text{ (грн.)}$$

Сума всіх калькуляційних статей витрат утворює виробничу собівартість виробу.

Таблиця 5.9 – Собівартість виготовлення виробу

| Стаття витрат                                         | Умовне позначення | Сума, грн. | Примітка |
|-------------------------------------------------------|-------------------|------------|----------|
| Витрати на матеріали на одиницю продукції, грн.       | $M$               | 148,6      |          |
| Витрати на силову електроенергію, грн.                | $B_e$             | 9,51       |          |
| Витрати на основну заробітну плату робітників, грн.   | $Z_p$             | 5,99       |          |
| Витрати на додаткову заробітну плату робітників, грн. | $Z_{\text{дод}}$  | 0,6        |          |
| Витрати на єдиний соціальний внесок, грн.             | $Z_{\kappa}$      | 1,45       |          |
| Загальновиробничі витрати, грн.                       | $B_{\text{заг}}$  | 14,98      |          |
| Всього                                                | $S_v$             | 181,13     |          |

### 5.4 Розрахунок ціни реалізації нового виробу

#### 5.4.1 Нижня межа ціни

Ціна реалізації виробу розраховується за формулою:

$$C_{\text{нмр}} = S_v \cdot \left(1 + \frac{P}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{w}{100}\right) \text{ [грн.],} \quad (5.24)$$

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

$S_v$  – виробнича собівартість виробу, грн.;

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

$w$  – ставка податку на додану вартість, за станом на 01.01.2024 року,  $w = 20\%$ .

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

$$C_{\text{вир}} = 181,13 \cdot (1+0,2) \cdot (1+0,2) = 260,83 \text{ (грн.)}$$

#### 5.4.2 Верхня межа ціни

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

Параметри якості продукції закладено в конструкторській документації, тому, при удосконаленні технологічного процесу, якість кінцевого продукту не змінюється  $C_{\text{вир}} = 260,83$  грн.

#### 5.5 Розрахунок величини чистого прибутку

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

$$\Pi = \left\{ \left[ C_{\text{дov}} - \frac{(C_{\text{дov}} - M) \cdot f}{100} - S_{\text{в}} - \frac{q \cdot S_{\text{в}}}{100} \right] \cdot \left[ 1 - \frac{h}{100} \right] \right\} \cdot N \text{ [грн.]}, \quad (5.25)$$

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

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

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

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

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

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

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

$$\Pi = \left\{ \left[ 260,83 - \frac{(260,83 - 148,6) \cdot 16,67}{100} - 181,13 - \frac{10 \cdot 181,13}{100} \right] \cdot \left[ 1 - \frac{18}{100} \right] \right\} \cdot 31750 =$$

$$= 1116335,47 \text{ (грн.)}$$

## 5.6 Оцінювання ефективності інноваційного рішення

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

### 5.6.1 Розрахунок чистого дисконтного доходу

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

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{\Pi_t}{(1+d)^t} - K \text{ [грн.]}, \quad (5.26)$$

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

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

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

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

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

$$NPV = \frac{1116335,47}{(1 + 0,2)^1} + \frac{1116335,47}{(1 + 0,2)^2} + \frac{1116335,47}{(1 + 0,2)^3} + \frac{1116335,47}{(1 + 0,2)^4} - 1571511,89 = 1318384,33 \text{ (грн.)}$$

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

### 5.6.2 Розрахунок внутрішньої норми доходності

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

$$IRR_{MIN} = \sqrt[n]{\frac{\sum_{t=1}^n (\Pi_t + A_t)}{K}} - 1, \quad (5.27)$$

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

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

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

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

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

$$IRR_{MIN} = \sqrt[4]{\frac{1116335,47 + 1116335,47 + 1116335,47 + 1116335,47}{1571511,89}} - 1 = 0,3 .$$

### 5.6.3 Розрахунок терміну окупності

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

$$T_o = \frac{\Delta K (K)}{П} \text{ [років]}, \quad (5.28)$$

де  $K$  – величина капітальних вкладень для розробки нової технології грн.,

$\Delta K$  – величина додаткових капітальних вкладень для модернізації технології, грн.,

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

$$T_o = \frac{1571511,89}{1116335,47} = 1,41 \text{ (року)}.$$

## 5.7 Висновки

В даному розділі визначено капітальні витрати на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипників 7-011.05.001», які включають витрати на основну і додаткову заробітну плату розробників та робітників, амортизацію обладнання, витрати на електроенергію, матеріали тощо.

За результатами всіх розрахунків виявлено, що для впровадження удосконаленого технологічного процесу потрібно 1571511,89 грн. капітальних вкладень. Прибуток за рік виробника складе 1116335,47 грн., термін окупності 1,41 року.

Отже, удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипників 7-011.05.001» доцільне для впровадження.

## ВИСНОВКИ

В МКР виконано удосконалення технологічного процесу та дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипників 7-011.05.001».

Для розв'язання задач, що виникли при роботі над даною темою було опрацьовано ряд розділів і виконано такі завдання:

1. В розділі огляду технології виготовлення деталей типу «Корпус» проведено огляд типового та базового маршрутів механічної обробки деталі, виявлені недоліки та запропоновані рішення по удосконаленню технології з попереднім техніко-економічним обґрунтуванням доцільності роботи.

2. В другому (технологічному) розділі запропоновані рішення по вибору оптимального варіанту виготовлення заготовки деталі «Корпус підшипників 7-011.05.001», спроектовано два удосконалені технологічних процеси обробки заготовки, виконано їх порівняння по собівартості обробки, вибрано більш доцільний варіант для якого проведені розрахунки припусків, режимів різання, норм часу.

3. Спроектовано верстатне пристосування (четвертий розділ) для виконання переходів механічної обробки на 010 операції на багатоцільовому верстаті з ЧПК. Розроблено конструктивну схему пристосування, розраховано зусилля закріплення, проаналізовано похибки установки заготовки в пристосуванні, виконано розмірне моделювання та аналіз конструкції пристосування на точність, а також проведено силовий розрахунок пристосування.

При виконанні розмірно-точнісного аналізу верстатного пристрою, встановлено вимоги до показників точності розмірів, які є ланками замикання. Запропоновано послідовність встановлення цих показників на основі аналізу рівнянь, що визначають величину сумарної похибки механічної обробка та елементарних похибок.

4. В четвертому розділі виконано удосконалення дільниці механічної обробки деталі типу «Корпус підшипників 7-011.05.001», проведені розрахунки кількості обладнання, працюючих, площі, вирішені питання її планування.

5. Для підтвердження ефективності удосконалення технології та діляниці механічної обробки розглядуваної деталі виконано економічну частину роботи (розділ п'ять), в якій проведено розрахунок, що показав наявність прибутку при впровадженні рішення та невеликий термін окупності капітальних вкладень.

Робота містить додатки, де приведені протокол перевірки навчальної роботи та ілюстративна частина роботи.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Пурдик В. П. Технологія машинобудування. Курсове проектування : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2013. 123 с.
2. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Репінський С. В. Основи технології машинобудування. Частина 1: практикум. Вінниця: ВНТУ, 2017. 106 с.
3. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Сухоруков С. І. Основи технології машинобудування. Частина 2 : практикум. Вінниця : ВНТУ, 2015. 116 с.
4. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1 : навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2013. 125 с.
5. Дерібо О. В., Лозінський Д. О., Сердюк О. В. Технології для верстатів з числовим програмним керуванням: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання. Вінниця : ВНТУ, 2023. – 116 с. Електронний ресурс : [https://iq.vntu.edu.ua/method/getfile.php?fname=5927.pdf&card\\_id=1949&id=5927](https://iq.vntu.edu.ua/method/getfile.php?fname=5927.pdf&card_id=1949&id=5927).
6. Веселовська Н. Р., Шаргородський С. А., Руткевич В. С., Моторна О. О. Практикум з навчальної дисципліни «Технологічні основи сільськогосподарського машинобудування» : навчальний посібник. Вінниця : ТВОРИ, 2020. 354 с.
7. Руденко П. О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. К. : Вища школа, 1993. 414 с.
8. Рудь В. Д. Курсове проектування з технології машинобудування. К. : ІСДО, 1996. 300 с.
9. Дусанюк Ж. П., Репінський С. В., Савуляк В. В., Сердюк О. В. Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні : практикум. Вінниця : ВНТУ, 2016. 148 с.
10. Боженко Л. І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок. Львів : Світоч, 1996. 348 с.

11. Дусанюк Ж. П., Шиліна О. П., Репінський С. В., Дусанюк С. В. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки: навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2009. 199 с.
12. Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічне оброблення : ДСТУ 8981–2020. [Чинний від 2021-05-01]. К. : ДП «Укр НДЦН» 2021. 77 с.
13. Добрянський С. С., Малафєєв Ю. М., Пуховський Є. С. Проектування і виробництво заготовок : підручник. К. : НТУУ «КПІ», 2014. 353 с.
14. Хричиков В. Е., Меньяло О. В. Ливарне виробництво чорних і кольорових металів: навч. посібник. Видання друге, доопрацьоване. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2015. 89 с.
15. Кирилович В. А., Мельничук П. П., Яновський В. А. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПУ. Під заг. ред. В. А. Кириловича. Житомир : ЖІТІ, 2001. 600 с.
16. Булига Ю. В., Веселовська Н. Р., Міськов В. П. Теорія різання. Розрахунок режимів різання : практикум. Вінниця : ВНТУ, 2019. 67 с.
17. Паливода Ю. Є., Дячун А. Є., Лещук Р. Я. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.
18. Петров О. В., Сухоруков С. І. Технологічна оснастка : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2018. 123 с.
19. Боровик А. І. Технологічна оснастка механоскладального виробництва. К. : Кондор. 2008. 728 с.
20. Дерібо О. В., Репінський С. В. Розмірно-точнісне моделювання конструкцій та технологічних процесів: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс]. Вінниця : ВНТУ, 2024. 105 с. Режим доступу : <https://iq.vntu.edu.ua/repository/card.php?lang=uk&id=8184>.

21. Дерібо О. В., Репінський С. В., Мандибура Я. В. Встановлення вимог до ланки замикання під час розмірного аналізу конструкції верстатного пристрою. Матеріали LIII науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2024). Вінниця, 20-22 березня 2024 р. Електрон. текст. дані. 2024. Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2024/paper/view/20879>.

22. Репінський С. В., Козлов Л. Г., Попик Д. М., Андреев А. І. Перехідні процеси в гідроприводі маніпулятора з частотно-керованим електродвигуном. Матеріали XXIV Міжнародної науково-технічної конференції АС ПГП «Промислова гідравліка і пневматика», Київ, 19-20 грудня 2024 р. – *прийнято до друку*.

23. Джур С. О., Бондаренко О. В. Проектування машинобудівних заводів та цехів. Загальна частина: навч. посіб. Д. : «Інновація», 2011. 109 с.

24. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт. Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. Вінниця : ВНТУ, 2021. 42 с.

ДОДАТОК А  
(обов'язковий)

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ**

Назва роботи: Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипників 7-011.05.001»

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота  
(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше (зазначити))

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

Керівник Репінський С. В., к.т.н., доцент каф. ТАМ  
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

| Turnitin          |            |
|-------------------|------------|
| Оригінальність    | <b>80%</b> |
| Загальна схожість | <b>20%</b> |

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- ☐ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований системою щодо роботи (додається)

Автор \_\_\_\_\_ Андресв А. І.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

\_\_\_\_\_

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

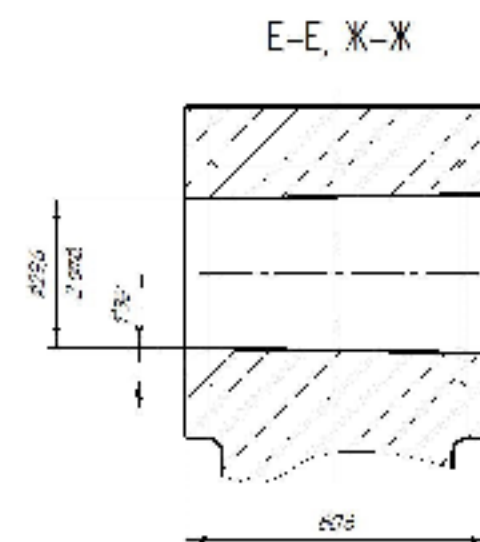
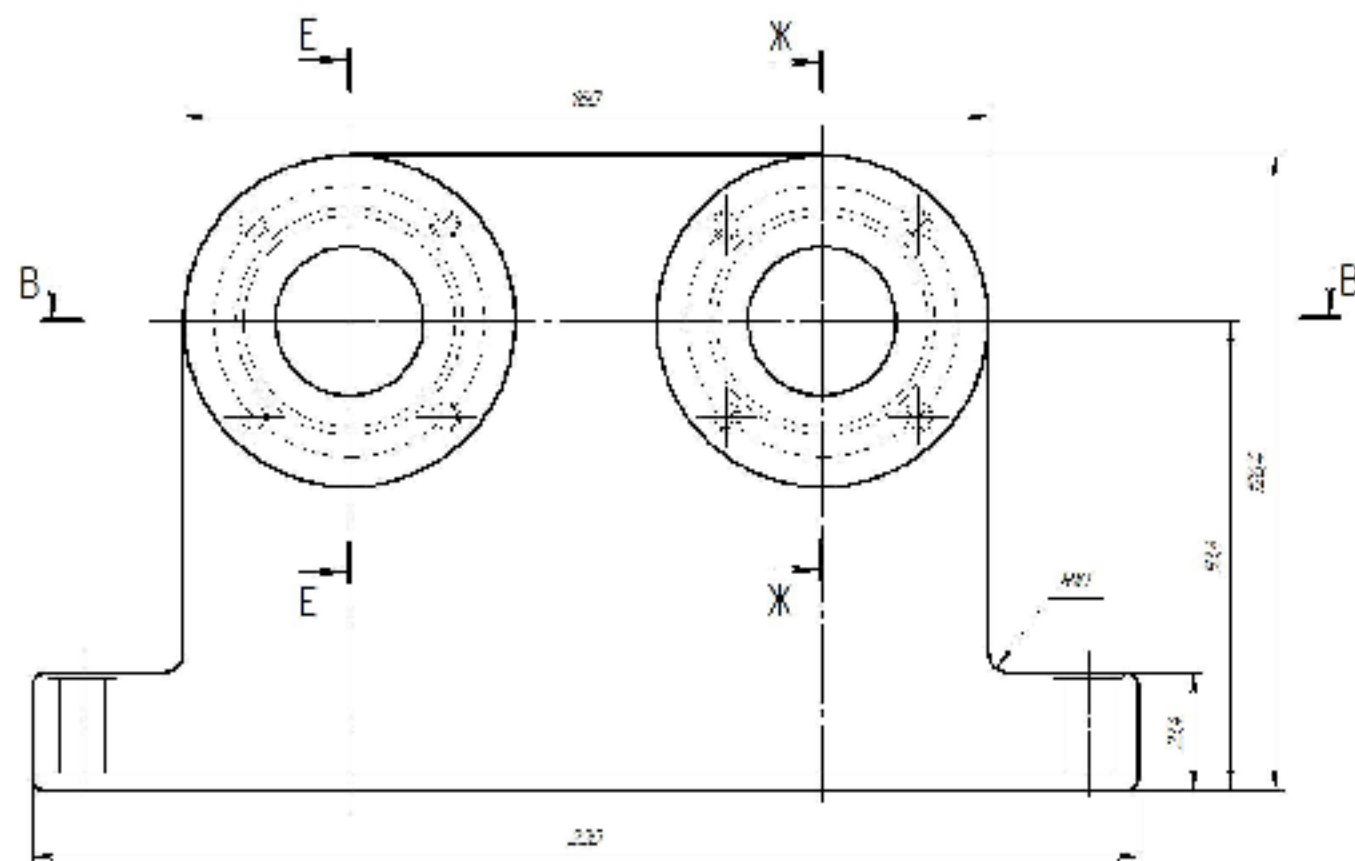
Експерт \_\_\_\_\_ Козлов Л. Г., д.т.н., проф., зав. каф. ТАМ  
(підпис) (прізвище, ініціали, посада)

Додаток Б  
(обов'язковий)

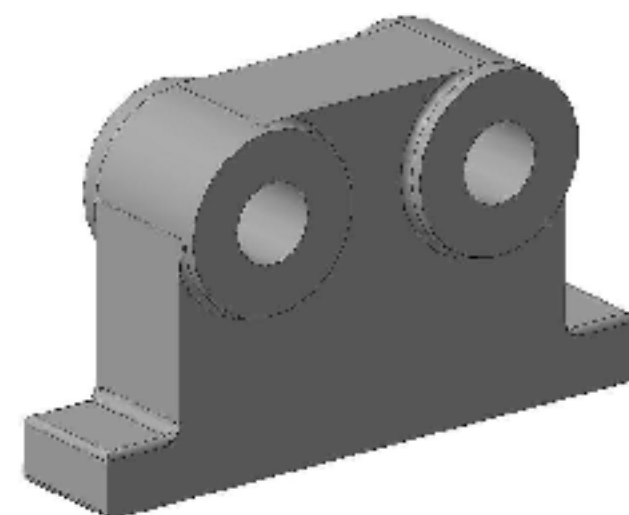
**ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА**

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ  
ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ПІДШИПНИКІВ 7-011.05.001»

|        |                |       |       |  |  |                                   |  |  |                          |        |          |
|--------|----------------|-------|-------|--|--|-----------------------------------|--|--|--------------------------|--------|----------|
|        |                |       |       |  |  | 08-64.МКР.018.01.001              |  |  |                          |        |          |
|        |                |       |       |  |  | Корпус підшипників<br>7-01105.001 |  |  | шт.                      | Розраб | Висновок |
| Розроб | Андрей В. Ал.  | Підп. | Лісов |  |  |                                   |  |  | 6,5                      | 11     |          |
| Іспити | Іванов І.І.    |       |       |  |  |                                   |  |  | шт.                      | Іспити | 1        |
| Монтаж | Григор'єв О.О. |       |       |  |  | СЧ16 ГОСТ 1412-85                 |  |  | ВАТУ<br>ст. зр. 2011 23% |        |          |
| Нмд    | Колеснік А.    |       |       |  |  |                                   |  |  | Знаходиться в архіві     |        |          |

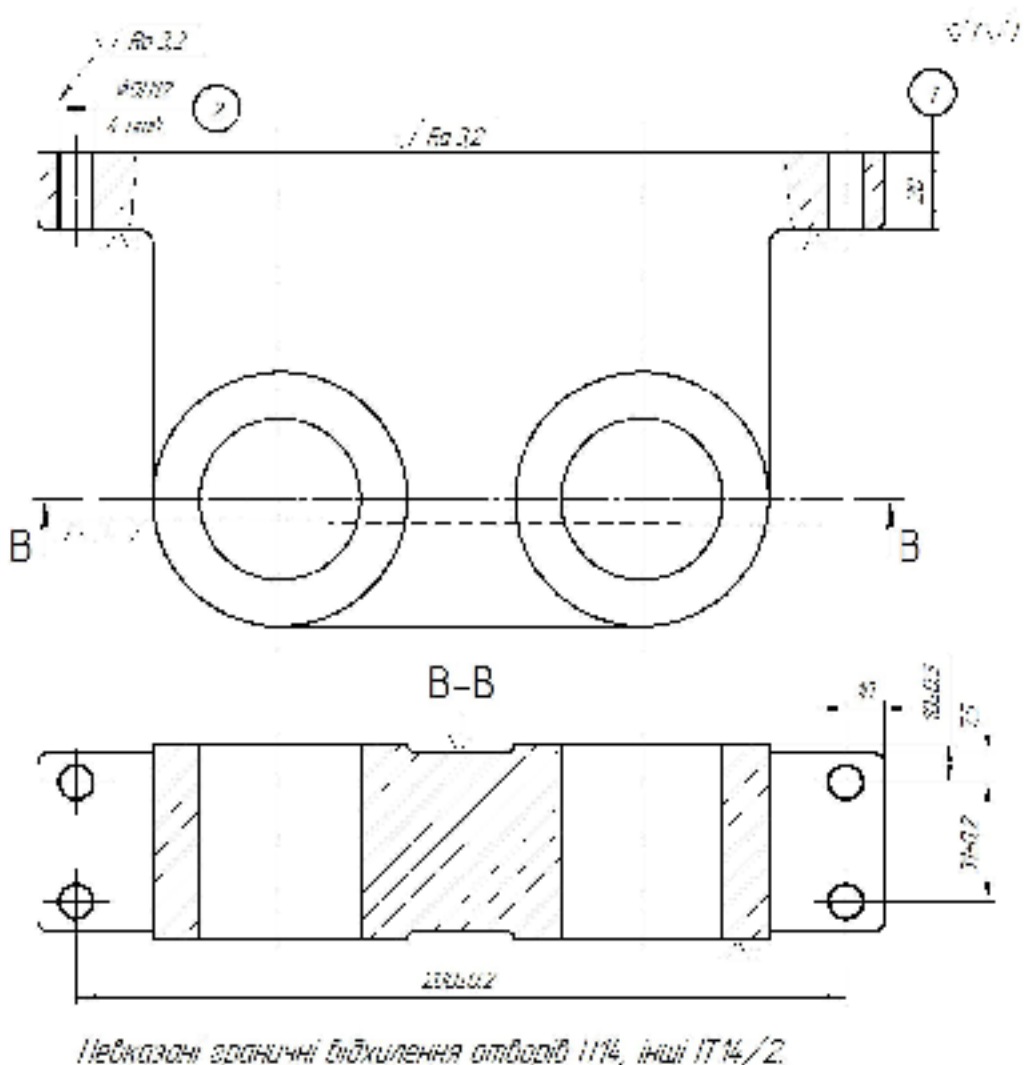
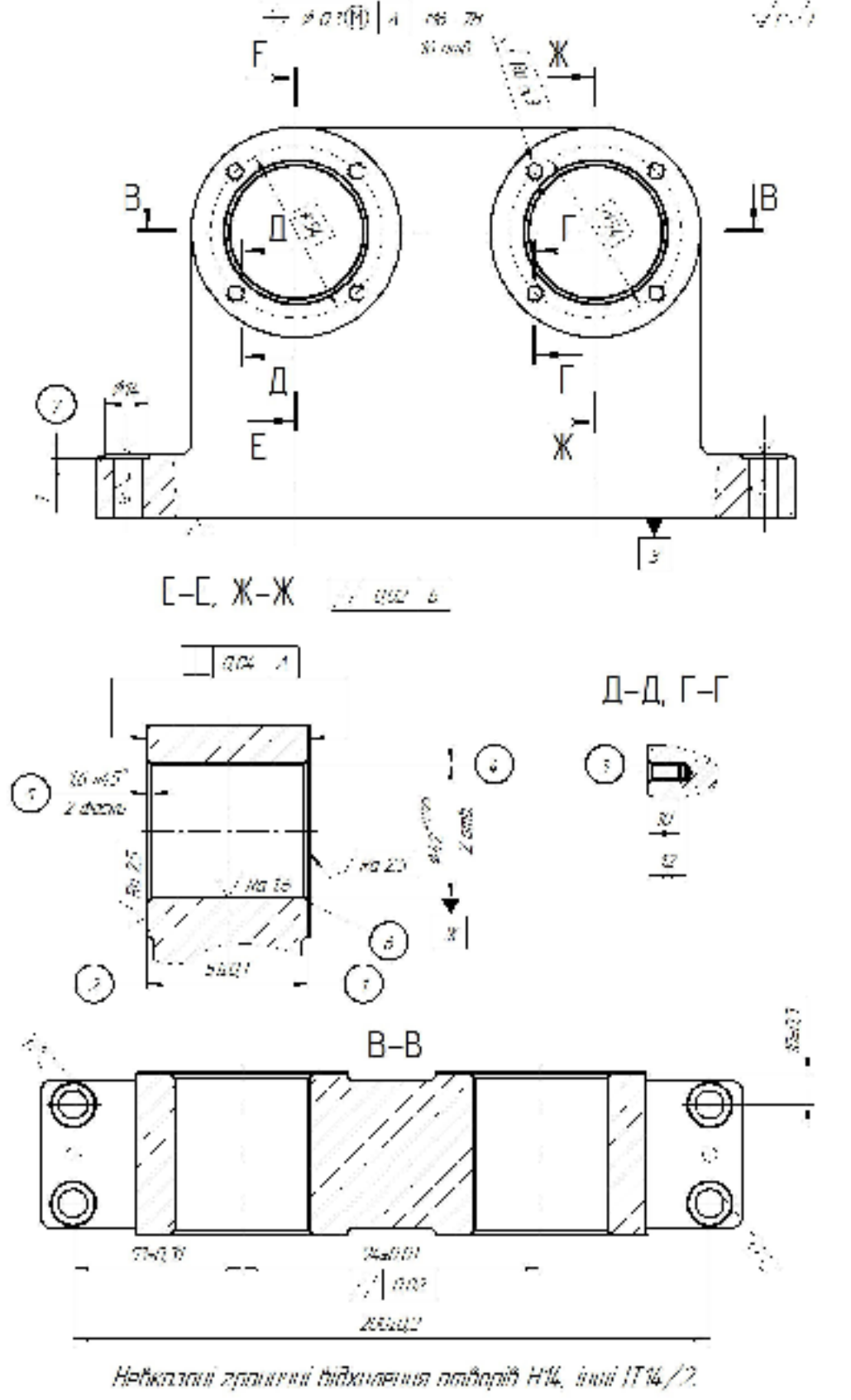


3D-модель деталі

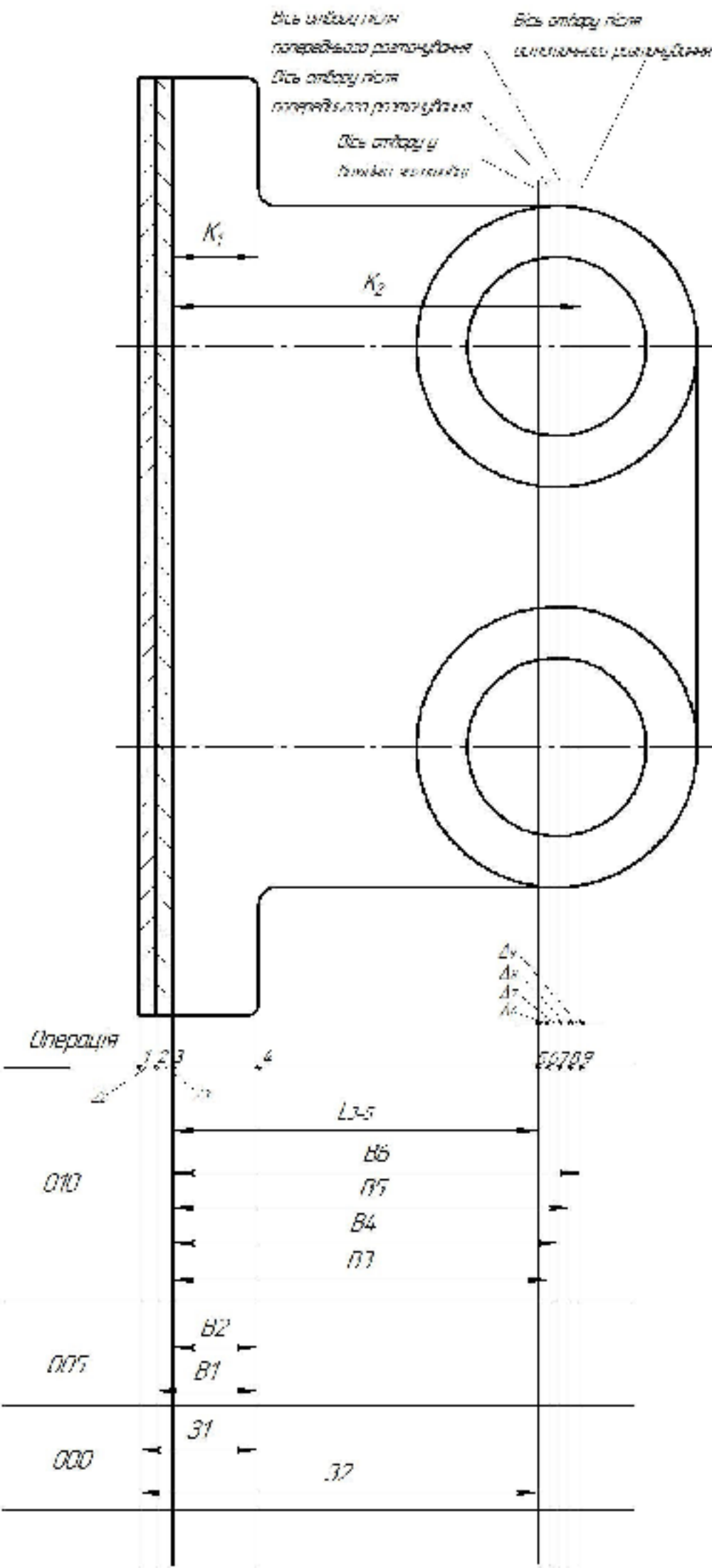


1. Чисельні вибірки 11-7-13-11 і 10.1 20045-05
2. Маса 6,5 1,72% 0,076 0,2 ГОСТ 25645-85
3. Невказані лідарні радіуси 1/5 мм, формувальні нахили 1°00'.
4. На необроблених поверхнях допускаються раковини до  $\phi 2$  та заглиблення не більше 2 мм

|     |        |            |      |      |                                   |  |  |
|-----|--------|------------|------|------|-----------------------------------|--|--|
|     |        |            |      |      | 08-64.MKP.018.00.002              |  |  |
| Вид | Деталь | 1/2 Деталь | Лист | Лист | Корпус подшипників<br>(заготовка) |  |  |
| Вид | Деталь | 1/2 Деталь | Лист | Лист |                                   |  |  |
| Вид | Деталь | 1/2 Деталь | Лист | Лист | СЧ16 ГОСТ 1412-85                 |  |  |
| Вид | Деталь | 1/2 Деталь | Лист | Лист |                                   |  |  |
|     |        |            |      |      | ВНТЛ                              |  |  |
|     |        |            |      |      | ст. гр. 2ПМ 23м                   |  |  |
|     |        |            |      |      | Корпус                            |  |  |
|     |        |            |      |      | Лист 42                           |  |  |

| №   | Назва операції, зміст переходів                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Ескіз обробки, схема установки                                                                                                                      | Модель верстату                                     |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1   | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 3                                                                                                                                                   | 4                                                   |
| 005 | <p><b>Фрезерна з ЧПК</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Фрезерувати поверхню 1 попередньо витримуючи розмір 20,9 мм.</li> <li>3. Фрезерувати поверхню 1 остаточно, витримуючи розмір вказаний на ескізі.</li> <li>4. Центрувати чотири отвори 2 в розмірі <math>\phi=4</math> мм, <math>l=5</math> мм.</li> <li>5. Свердлити чотири отвори 2, витримуючи розмір <math>\phi 18,6</math> мм.</li> <li>6. Розвернути чотири отвори 2, витримуючи розмір вказаний на ескізі.</li> <li>7. Зняти заготовку.</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  <p>Невказані граничні відхилення отворів H14, інші IT14/2.</p>  | Вертикально-фрезерний з ЧПК<br>БР13РФ3              |
| 010 | <p><b>Багатоцільова з ЧПК</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Фрезерувати поверхню 1 попередньо.</li> <li>3. Підвернути стіл на <math>180^\circ</math>.</li> <li>4. Фрезерувати поверхню 2 попередньо витримуючи розмір 54,6 мм.</li> <li>5. Центрувати вісім отворів 3 в розмірі <math>\phi=4</math> мм, <math>l=5</math> мм.</li> <li>6. Підвернути стіл на <math>180^\circ</math>.</li> <li>7. Центрувати вісім отворів 3 в розмірі <math>\phi=4</math> мм, <math>l=5</math> мм.</li> <li>8. Свердлити вісім отворів 3.</li> <li>9. Повернути стіл на <math>180^\circ</math>.</li> <li>10. Свердлити вісім отворів 3 витримуючи розміри вказані на ескізі.</li> <li>11. Нарізати різь в восьми отворах 3.</li> <li>12. Підвернути стіл на <math>180^\circ</math>.</li> <li>13. Нарізати різь в восьми отворах 3 витримуючи розміри вказані на ескізі.</li> <li>14. Розточити дві фаски 5 мм дві отвори 4 попередньо витримуючи розмір 16,4 мм.</li> <li>15. Підвернути стіл на <math>180^\circ</math>.</li> <li>16. Розточити дві фаски 6 та два отвори 4 попередньо витримуючи розмір 39,4 мм.</li> <li>17. Фрезерувати поверхню 1 остаточно.</li> <li>18. Підвернути стіл на <math>180^\circ</math>.</li> <li>19. Фрезерувати поверхню 2 остаточно витримуючи розмір вказаний на ескізі.</li> <li>20. Розточити два отвори 4 попередньо витримуючи розмір 41,2 мм.</li> <li>21. Розточити два отвори 4 остаточно витримуючи розмір вказаний на ескізі.</li> <li>22. Повернути стіл на <math>90^\circ</math>.</li> <li>23. Центрувати чотири заглиблення 1 витримуючи розміри вказані на ескізі.</li> <li>24. Зняти деталі.</li> </ol> |  <p>Невказані граничні відхилення отворів H14, інші IT14/2.</p> | Горизонтальний багатоцільовий з ЧПК<br>HAAS EC-1600 |

# Розмірний аналіз технологічного процесу



## Попередні допуски технологічних розмірів

| Розмір   | B1    | B2   | B3    | B4    | B5    | B6    | 31 | 32 |
|----------|-------|------|-------|-------|-------|-------|----|----|
| Мінімат  | 5     | 4    | 4     | 11    | 9     | 8     | 17 | 17 |
| Макс, мк | 13,94 | 11,7 | 13,97 | 11,77 | 11,87 | 11,14 | 23 | 23 |

## Конструкторські розміри

| Конструкторські | K1   | K2    |
|-----------------|------|-------|
| В розмір        | 4    | 7     |
| Допуск, мк      | 11,7 | 11,14 |

## Рівняння для розрахунку розмірних технологічних ланцюгів

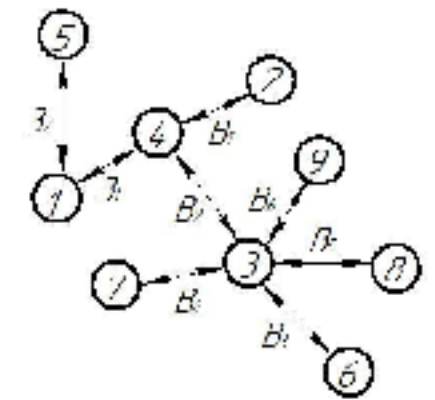
| № ланцюга | Попередня  | Вихідний    | Помірна |
|-----------|------------|-------------|---------|
| 1         | K1-B1-U    | K1-B7       | B7      |
| 2         | K2-B6-U    | K2-B6       | B6      |
| 3         | L3-B1-K2-U | L3-B1-B7    | B7      |
| 4         | L2-B1-B7-U | L2-B7-B7    | B7      |
| 5         | L1-B5-B6-U | L1-B6-B5    | B5      |
| 6         | L8-B4-B5-U | L8-B5-B4    | B4      |
| 7         | L7-B3-B4-U | L7-B4-B3    | B3      |
| 8         | L6-B2-B3-U | L6-B3-B2-B3 | B3      |

## Технологічні розміри, розміри заготовки

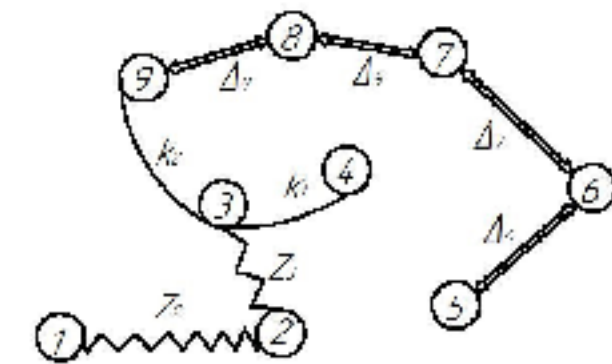
| Розмір          | B1    | B2   | B3    | B4 | B5   | B6   |
|-----------------|-------|------|-------|----|------|------|
| Р <sub>вн</sub> | 34,1  | 33,8 | 4     | 3  | 37,1 | 37   |
| Р <sub>вх</sub> | 33,1  | 34   | 34,15 | 33 | 32,1 | 31,7 |
| П <sub>вн</sub> | B7    |      | B6    |    | 31   |      |
| Р <sub>вн</sub> | 4     |      | 3     |    | 36,6 |      |
| Р <sub>вх</sub> | 34,15 |      | 33    |    | 36,8 |      |
| П <sub>вн</sub> |       |      |       |    |      |      |
| П <sub>вх</sub> | 21    |      | 22    |    | 23   | 24   |
| М <sub>вн</sub> | 15    |      | 0,9   |    | 15   | 0,9  |
| М <sub>вх</sub> | 19    |      | 13    |    | 15   | 13   |

## Технологічні розміри, розміри заготовки та припуски

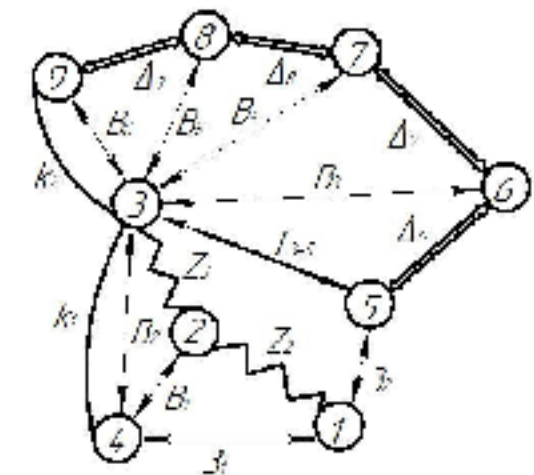
| Розмір          | B1    | B2    | B3     | B4    | B5      | B6    |
|-----------------|-------|-------|--------|-------|---------|-------|
| М <sub>вн</sub> | 20,25 | 19,18 | 89,565 | 89,89 | 89,9565 | 89,98 |
| М <sub>вх</sub> | 21,09 | 20    | 90,435 | 90,11 | 90,0435 | 90,02 |
| Розмір          | 31    |       | 32     |       |         |       |
| М <sub>вн</sub> | 22,29 |       |        | 91,85 |         |       |
| М <sub>вх</sub> | 24,39 |       |        | 95,35 |         |       |
| П <sub>вн</sub> | 22    |       |        | 23    |         |       |
| М <sub>вн</sub> | 12    |       |        | 0,25  |         |       |
| М <sub>вх</sub> | 4,4   |       |        | 1,61  |         |       |



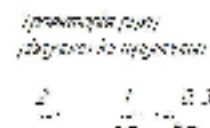
Похідний граф-дерево



Вихідний граф-дерево



Суміщений граф

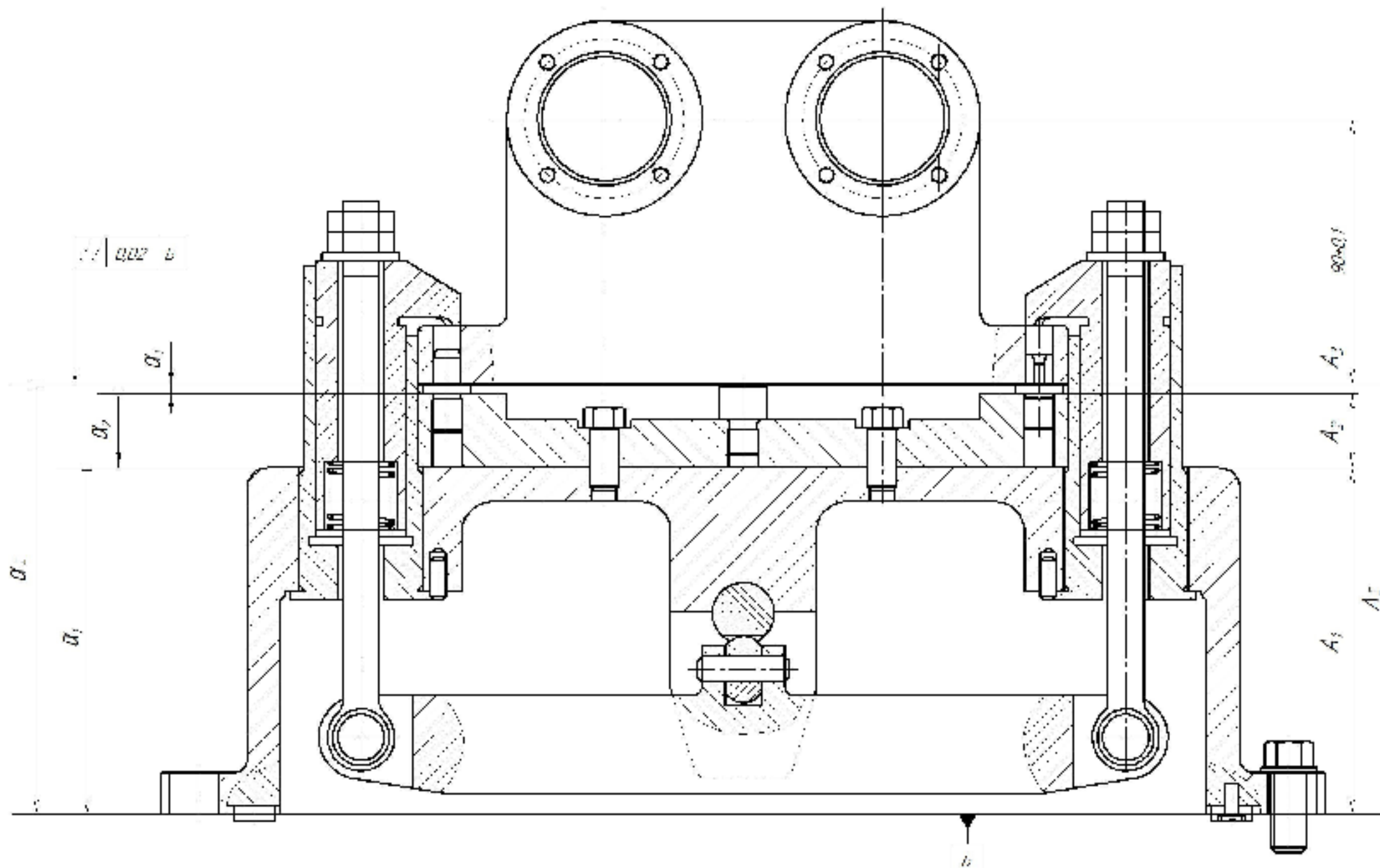
[illegible]

[illegible]

|              |          |               |      |                         |                              |                 |            |        |
|--------------|----------|---------------|------|-------------------------|------------------------------|-----------------|------------|--------|
| Лист примен. | Формат   | Зона          | Лист | Обозначение             | Наименование                 | Кол.            | Примечание |        |
|              |          |               |      |                         |                              |                 |            |        |
| Сторой №     | A1       |               |      | 08-64.МКР.018.01.000 СК | Складальне креслення         |                 |            |        |
|              |          |               |      |                         | Документація                 |                 |            |        |
|              |          |               |      |                         | Деталі                       |                 |            |        |
|              |          |               | 1    | 08-64.МКР.018.01.001    | Корпус                       | 1               |            |        |
|              |          |               | 2    | 08-64.МКР.018.01.002    | Прихват                      | 2               |            |        |
|              |          |               | 3    | 08-64.МКР.018.01.003    | Пневмоциліндр                | 1               |            |        |
|              |          |               | 4    | 08-64.МКР.018.01.004    | Клин рухомий                 | 1               |            |        |
|              |          |               | 5    | 08-64.МКР.018.01.005    | Ралик                        | 2               |            |        |
|              |          |               | 6    | 08-64.МКР.018.01.006    | Каромисло                    | 1               |            |        |
|              |          |               | 7    | 08-64.МКР.018.01.007    | Тяга                         | 2               |            |        |
| Лист и дата  |          |               | 8    | 08-64.МКР.018.01.008    | Поршень                      | 1               |            |        |
|              |          |               | 9    | 08-64.МКР.018.01.009    | Пружина                      | 2               |            |        |
|              |          |               | 10   | 08-64.МКР.018.01.010    | Плита                        | 1               |            |        |
|              |          |               |      |                         | Стандартні вироби            |                 |            |        |
|              |          |               | 11   |                         | Болт М12х30                  |                 |            |        |
|              |          |               |      |                         | ГОСТ 7798-70                 | 4               |            |        |
|              |          |               | 16   |                         | Гайка М16х1,5 ГОСТ 5915-70   | 4               |            |        |
|              |          |               | 12   |                         | Гвинт АМ10-6dх30.45.05       |                 |            |        |
|              |          |               |      |                         | ГОСТ 1491-80                 | 1               |            |        |
|              |          |               |      |                         | Гвинт ГОСТ 1481-84           |                 |            |        |
| Лист и дата  |          |               | 13   |                         | М10х22                       | 4               |            |        |
|              |          |               | 14   |                         | М12х28                       | 4               |            |        |
|              |          |               | 15   |                         | Гвинт М15х10                 |                 |            |        |
|              |          |               |      |                         | ГОСТ 1491-80                 | 2               |            |        |
|              |          |               |      |                         |                              |                 |            |        |
|              |          |               |      |                         |                              |                 |            |        |
|              |          |               |      |                         |                              |                 |            |        |
|              |          |               |      |                         |                              |                 |            |        |
|              |          |               |      |                         |                              |                 |            |        |
|              |          |               |      |                         |                              |                 |            |        |
| Инв. № посл. | Разр.    | Андреев А.И.  |      |                         | Приспособування<br>верстатне | Лист            | Лист       | Листов |
|              | Проб.    | Рогинський СВ |      |                         |                              |                 | 1          | 2      |
|              | Н.контр. | Сердюк О.В.   |      |                         |                              | ВНТУ,           |            |        |
|              | Утв.     | Козлов ЛГ.    |      |                         |                              | ст. гр. 2ПМ-23м |            |        |



# Розмірний аналіз конструкції пристосування на точність



$$TA_{\Sigma} = TA_1 + TA_2 + TA_3 \text{ [мм]},$$

$$TA_{\Sigma} = 0,054 + 0,033 + 0,018 = 0,105 \text{ (мм)},$$

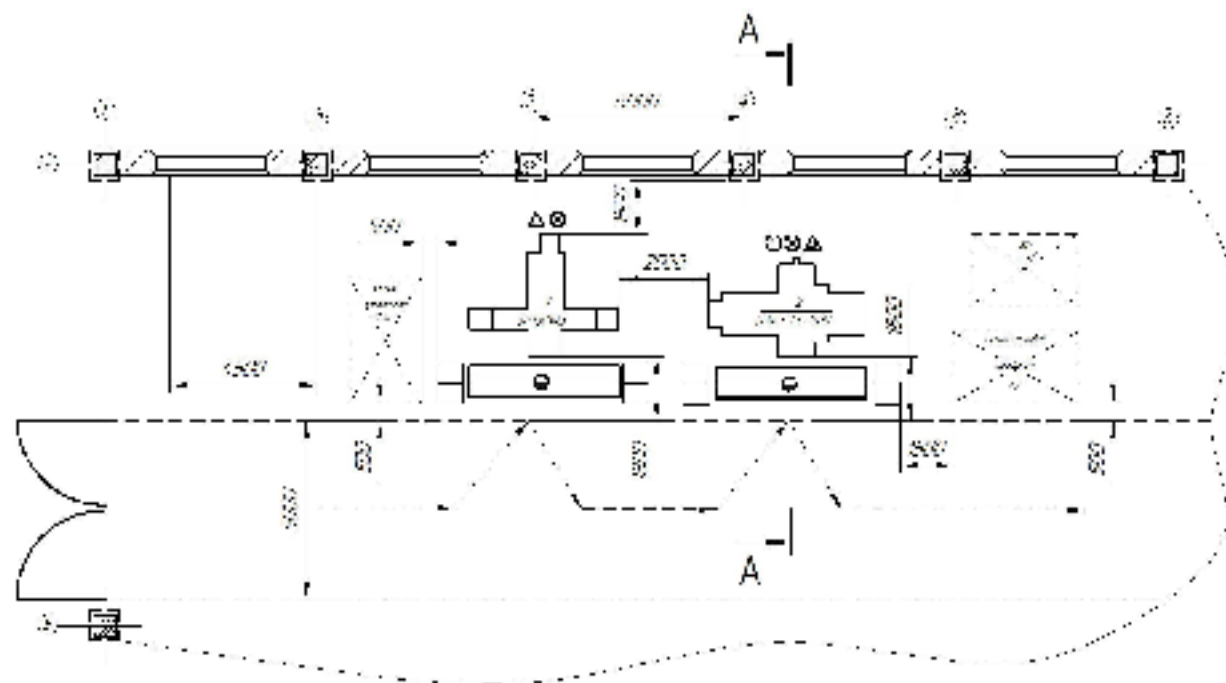
$$\varepsilon_{\text{прист}} \geq \delta(A_{\Sigma}); \quad 0,542 > 0,105.$$

Сумарна похибка пристосування:

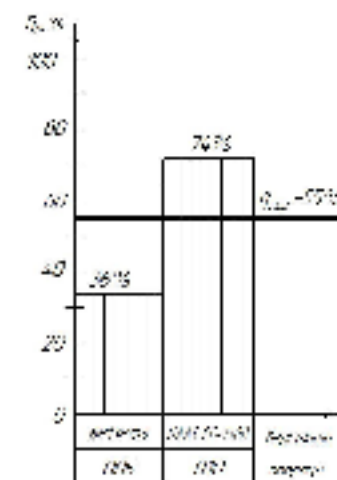
$$\varepsilon_{\text{пр}} \leq T - K_T \sqrt{(K_{T_1} \cdot \varepsilon_{\delta})^2 + \varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_u^2 + \varepsilon_{n.u}^2 + (K_{T_1} \cdot \omega)^2}, \text{ [мкм]}$$

$$\varepsilon_{\text{пр}} \leq 0,62 - 1,0 \sqrt{(0,8 \cdot 0,025)^2 + 0,01^2 + 0,045^2 + (0,6 \cdot 0,1)^2} = 0,542 \text{ (мм)} - \text{умова}$$

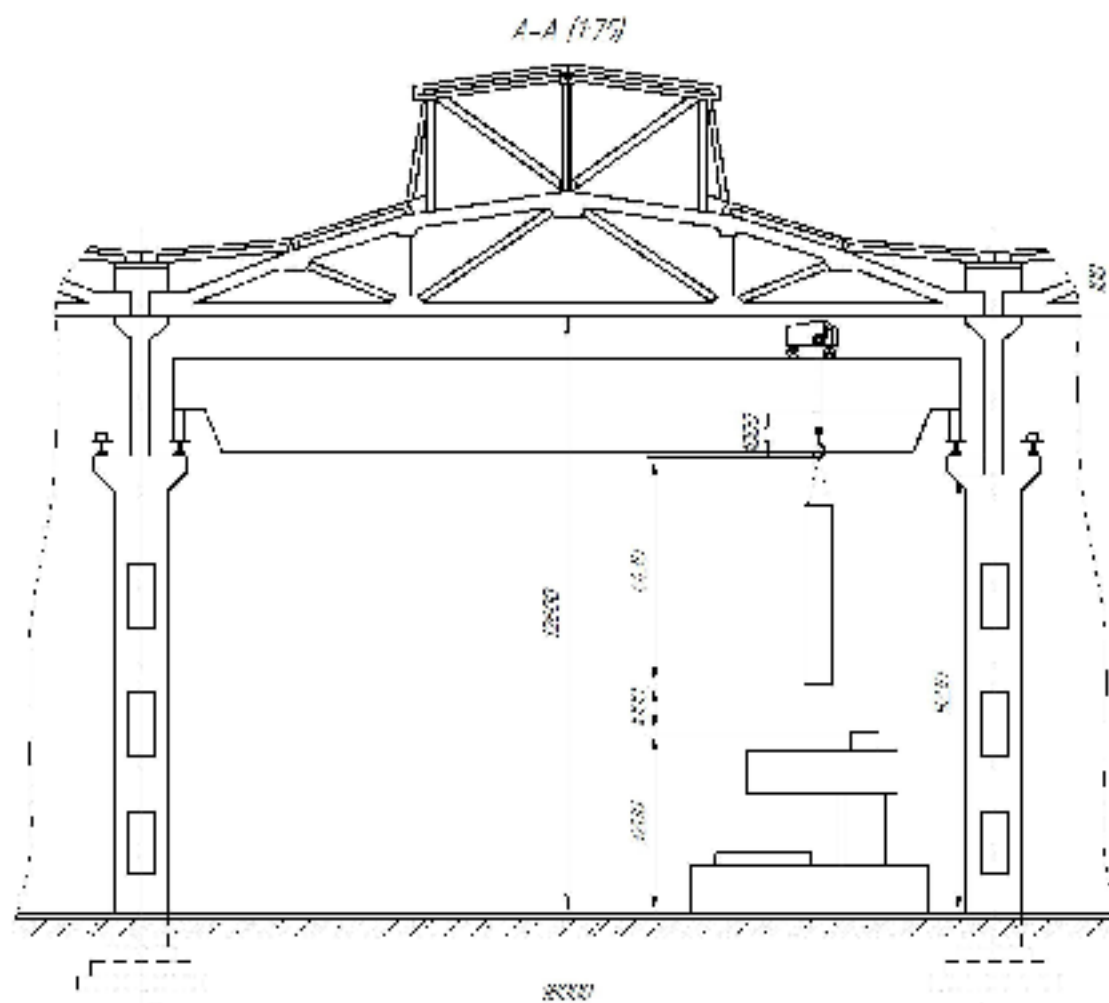
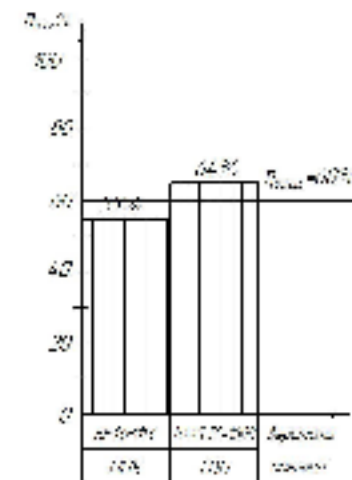
виконується.



Գրախ. արտադրական սկզբնական



Գրախ. հաշվարկի և սկզբնական և արտադրական



- Գրախ. արտադրական
1. Ներքին ծածկերի և արտաքին պատերի համակարգը  
 Կառուցվածք 100 մ<sup>2</sup>  
 Ծածկված 60 մ<sup>2</sup>
  2. Կառուցվածքի համակարգը և Կառուցվածքի համակարգը  
 Կառուցվածք 100 մ<sup>2</sup>  
 Ծածկված 60 մ<sup>2</sup>
  3. Ներքին ծածկերի և արտաքին պատերի համակարգը  
 Կառուցվածք 100 մ<sup>2</sup>  
 Ծածկված 60 մ<sup>2</sup>
  4. Կառուցվածքի համակարգը և Կառուցվածքի համակարգը  
 Կառուցվածք 100 մ<sup>2</sup>  
 Ծածկված 60 մ<sup>2</sup>

| ՏՐ 64.ՄՈՒՐԱՆԱԳԱՆԱԳՐ 83 |           |           |           |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Նյութ                  | Պրոց. (%) | Պրոց. (%) | Պրոց. (%) |
| ԿԵՐԱՄԱՆ                | 36%       | ԿԵՐԱՄԱՆ   | 36%       |
| ԾԱՌԻՇ-ԿԵՐ              | 74%       | ԾԱՌԻՇ-ԿԵՐ | 74%       |
| ԲԱՆԱԿԱՆ                | 90%       | ԲԱՆԱԿԱՆ   | 90%       |

# Техніко-економічне порівняння варіантів технологічного процесу

| Базовий технологічний процес                  | Модернізований технологічний процес                              |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Техніко-економічні показники                  |                                                                  |
| Матеріал                                      |                                                                  |
| СЧ18                                          | СЧ18                                                             |
| Спосіб одержання заготовки                    |                                                                  |
| Лиття в оболонковій формі                     | Лиття в піщано-глинисті форми<br>(з машинним формуванням суміші) |
| Собівартість заготовки, грн.                  |                                                                  |
| 227,42                                        | 148,6                                                            |
| Коефіцієнт точності маси заготовки, %         |                                                                  |
| 0,87                                          | 0,79                                                             |
| Кількість операцій                            |                                                                  |
| 9 операцій                                    | 2 операції                                                       |
| Трудомісткість, хв                            |                                                                  |
| 24,5                                          | 12,03                                                            |
| Кількість верстатів                           |                                                                  |
| 9 верстатів                                   | 2 верстати                                                       |
| Кількість основних робітників                 |                                                                  |
| 18                                            | 3                                                                |
| Капітальні вкладення, грн.                    |                                                                  |
| –                                             | 157151,89                                                        |
| Виробнича площа ділянки, м <sup>2</sup>       |                                                                  |
| 225                                           | 60                                                               |
| Виробнича собівартість одиниці продукції, грн |                                                                  |
| 260,83                                        | 181,13                                                           |
| Економічний ефект, грн                        |                                                                  |
| –                                             | 1116335,47                                                       |
| Термін окупності                              |                                                                  |
| –                                             | 1,41 року                                                        |