

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний

(повне найменування інституту, факультету)

Технологія машинобудування

(повне найменування кафедри)

## Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

другий (магістерський)

(ступінь вищої освіти)

на тему «Дослідження методів підвищення трибологічних властивостей  
чев'ячних передач»

Виконав: студент(ка) II курсу, групи M-122м

Спеціальності 131 Прикладна механіка

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології машинобудування

КОЗЛОВА С.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник СТЕПАНОВ Д.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент МАТЮХІН А.Ю.

(прізвище та ініціали)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**  
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет Машинобудівний  
 Кафедра «Технологія машинобудування»  
 Ступінь вищої освіти другий (магістерський)  
 Спеціальність 131 «Прикладна механіка»  
(код і найменування)  
 Освітня програма (спеціалізація) Технології машинобудування  
(назва освітньої програми (спеціалізації))

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри Сергій ДЯДЯ

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)**

КОЗЛОВА Світлана Сергіївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) «Дослідження методів підвищення трибологічних властивостей чев'ячних передач»

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доц. СТЕПАНОВ Дмитро Миколайович,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «14» листопада 2023 року №436

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 02.12.2023 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) робоче креслення деталі; програма випуску N=5000шт

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Особливості роботи черв'ячної передачі; 2. Дослідження методів підвищення трибологічних властивостей чев'ячних передач; 3. Технологічна частина; 4. Конструкторська частина; 5. Автоматизація; 6. Розрахунок деталі на міцність; 7. Економічне обґрунтування вибору варіанта операції; 8. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Креслення деталі, заготовки; 3D-моделі деталі та заготовки; маршрут виготовлення деталі; плакат зображення обробки для верстата з ЧПК; плакат автоматизації; креслення робочого та контрольного пристосувань; плакат розрахунку деталі на міцність; плакат дослідження методів підвищення трибологічних властивостей чев'ячних передач, плакат матеріалів чев'ячних передач які підвищують трибологічні властивості, плакат застосування антифрикційних покриттів Кількість слайдів - 14

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

| Розділ        | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                           |
|---------------|---|----------------|---------------------------|
|               |   | завдання видав | прийняв виконане завдання |
| 1-5           | к.т.н ., доц. СТЕПАНОВ Д.М.               |                |                           |
| 7             | к.т.н ., доц. ШМИРКО В.І.                 |                |                           |
| 6             | к.т.н ., доц. ПУХАЛЬСЬКА Г.В.             |                |                           |
| нормоконтроль | к т н доц ДЯДЯ С І                        |                |                           |
|               |   |                |                           |
|               |   |                |                           |
|               |   |                |                           |

7. Дата видачі завдання 01.09.2023**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту (роботи)                                    | Строк виконання етапів проекту (роботи) | Примітка |
|-------|---|---|----------|
| 1     | Особливості роботи черв'ячної передачі                                      | 01.11.2023                              |          |
| 2     | Дослідження методів підвищення трибологічних властивостей чев'ячних передач | 08.11.2023                              |          |
| 3     | Технологічна частина  | 11.11.2023                              |          |
| 4     | Конструкторська частина   | 16.11.2023                              |          |
| 5     | Автоматизація   | 18.11.2023                              |          |
| 6     | Розрахунок на міцність  | 20.11.2023                              |          |
| 7     | Оцінка очікуваної економічної ефективності                                  | 22.11.2023                              |          |
| 8     | Охорона праці   | 26.11.2023                              |          |
| 9     | Оформлення пояснювальної записки  | 02.12.2023                              |          |
| 10    | Нормоконтроль   | 02.12.2023                              |          |
| 11    | Рецензія  | 05.12.2023                              |          |
| 12    | Захист дипломного проекту   | 11.12.2023                              |          |
|       |   |   |          |

Студент

\_\_\_\_\_ Світлана КОЗЛОВА  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

\_\_\_\_\_ Дмитро СТЕПАНОВ  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

ПЗ: 106 с., 43 рис., 23 табл., 3 додатки, 19 джерел.

ЧЕРВ'ЯК, ВЕРСТАТ, ЗАГОТОВКА, ІНСТРУМЕНТ, МАРШРУТ ОБРОБКИ, НОРМУВАННЯ, ОПЕРАЦІЯ, ПРИСТОСУВАННЯ, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС.

Об'єкт дослідження – Черв'як.

Мета роботи – дослідити методи підвищення трибологічних властивостей чев'ячних передач, розробити технологічний процес виготовлення черв'яку.

Методи дослідження – розрахунково-аналітичний; комп'ютерне моделювання експлуатаційного навантаження деталі; комп'ютерна симуляція процесів механічної обробки.

В магістерській роботі розглянуто особливості черв'ячної передачі, матеріали, які підвищують трибологічні властивості, вимоги до мастильних матеріалів, досліджено методи підвищення трибологічних властивостей чев'ячних передач, запропоновано рекомендації щодо застосування антифрикційного твердозмащувального покриття, спроектовано технологічний процес виготовлення черв'яку, обрано обладнання, інструмент, розраховані режими різання, норми часу, спроектовано робоче пристосування для фрезерування шпонкового пазу та контрольне пристосування для перевірки биття поверхонь деталі в центрах, проведено розрахунок деталі на міцність за допомогою комп'ютерного моделювання в програмі NX, розроблено керуючі програми для токарної та фрезерної операцій з ЧПК в програмі NX, запропоновані рекомендації та обладнання для автоматизації зубофрезерної операції шляхом застосування гнучких портативних роботизованих платформ.

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| Скорочення та умовні позначки.....  | 7  |
| Вступ.....  | 8  |
| 1 Особливості роботи черв'ячної передачі .....  | 9  |
| 2 Дослідження методів підвищення трибологічних властивостей чев'ячних передач .....       | 15 |
| 2.1 Матеріали чев'ячних передач для підвищення трибологічних властивостей .....           | 15 |
| 2.2 Мастильні матеріали для підвищення трибологічних властивостей чев'ячних передач ..... | 18 |
| 3 Технологічна частина.....   | 22 |
| 3.1 Опис конструкції і службового призначення деталі.....                                 | 22 |
| 3.2 Вибір типу виробництва та форми організації робіт.....                                | 23 |
| 3.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням..               | 24 |
| 3.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі.....                         | 27 |
| 3.4.1 Вибір технологічних баз.....  | 27 |
| 3.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь.....  | 28 |
| 3.4.3 Маршрут виготовлення деталі.....  | 32 |
| 3.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів.....                                    | 32 |
| 3.6 Розрахунок режимів різання.....   | 38 |
| 3.6.1 Операція №015 – фрезерно-центрувальна.....  | 38 |
| 3.6.2 Операція 020 – токарна з ЧПК .....  | 42 |
| 3.6.3 Операція 040 – фрезерна з ЧПК.....  | 46 |
| 3.6.4 Операція 100– шліфувальна.....  | 48 |
| 3.7 Технічне нормування операції.....   | 51 |
| 3.7.1 Технічне нормування фрезерно-центрувальної операції 015.....                        | 51 |
| 3.7.2 Технічне нормування токарної операції 020.....                                      | 53 |
| 3.7.3 Технічне нормування фрезерної операції 040.....                                     | 54 |

|   |     |
|---|-----|
| 3.7.4 Технічне нормування шліфувальної операції 100.....  | 55  |
| 3.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК.....   | 57  |
| 3.8.1 Операція 030 – токарна з ЧПК.....   | 57  |
| 3.8.2 Операція 035 – фрезерна з ЧПК.....  | 60  |
| 3.8.3 Операція 040 – свердлильна з ЧПК.....   | 62  |
| 4 Конструкторська частина.....  | 66  |
| 4.1 Проектування робочого пристосування.....  | 66  |
| 4.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування.....   | 66  |
| 4.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосувань на точність.....                                     | 66  |
| 4.1.3 Розрахунок необхідної сили затиску. Вибір приводу.....  | 69  |
| 4.2 Проектування контрольного пристосування.....  | 73  |
| 4.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування.....  | 73  |
| 4.2.2 Розрахунок контрольного пристосування на точність.....  | 74  |
| 5. Автоматизація.....   | 76  |
| 5.1 Використання роботів при виробництві черв'яків.....   | 76  |
| 6 Розрахунок деталі на міцність.....  | 82  |
| 6.1 Визначення напружено-деформованого стану деталі.....  | 82  |
| 6.2 Визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкції....  | 83  |
| 6.3 Оптимізація геометрії деталі.....   | 83  |
| 7 Оцінка очікуваної економічної ефективності заходів.....   | 85  |
| 8 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....  | 94  |
| 8.1 Аналіз умов праці та факторів, що впливають на здоров'я .....   | 94  |
| Висновки .....  | 98  |
| Перелік джерел посилання.....   | 99  |
| Додаток А. Визначення ваги деталі та заготовок за допомогою масово-центрувальних характеристик програмного забезпечення NX..... | 102 |
| Додаток Б. Специфікація робочого пристосування .....  | 104 |
| Додаток В. Специфікація контрольного пристосування .....  | 106 |

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

КВМ – коефіцієнт використання матеріалу

КГШП – кривошипно-гарячештампвальний прес

ККД – коефіцієнт корисної дії

КП – керуюча програма

МВД – маршрут виготовлення деталі

МОП – маршрут обробки поверхні

ПАГ – поліалкіленгліколевих

ПАТ – поліальфаолефінові

ППТЯ – послідовність показників точності та якості

РТК – розрахунково-технологічна карта

САПР – системи автоматизованого проектування

ТО – термічна обробка

ТП – технологічний процес

ЧПК – числове програмне керування

## ВСТУП

В сучасному індустріальному виробництві велику увагу приділяють вдосконаленню технічних рішень для підвищення ефективності та тривалості роботи механізмів. Одним із ключових аспектів цього питання є трибологічні властивості чев'ячних передач, які визначають їхню надійність та функціональність. Чев'ячні передачі, завдяки своїй конструкції, є важливим елементом передачі руху в різних промислових секторах.

У даній магістерській роботі проведено глибокий аналіз особливостей чев'ячних передач, зокрема їхньої конструкції та впливу матеріалів на трибологічні властивості. Розглянуто різноманітні матеріали, які використовуються в виробництві чев'ячних передач з метою підвищення їхньої тривалості служби та зменшення зносу.

Особлива увага приділена вимогам до мастильних матеріалів, які використовуються для забезпечення оптимального трибологічного контакту у чев'ячних передачах. Досліджено різні методи підвищення трибологічних властивостей цих передач, включаючи застосування новітніх технологій та інноваційних матеріалів.

На основі отриманих результатів запропоновано рекомендації щодо використання антифрикційного твердозмащувального покриття, яке спрямоване на подальше поліпшення трибологічних характеристик чев'ячних передач. Це дозволяє підвищити ефективність роботи механізмів, знизити енергоспоживання та забезпечити більш довгий термін їх служби.

Отже, дана магістерська робота спрямована на вирішення актуальних завдань в галузі триботехніки та механічної інженерії, а також надає практичні рекомендації для вдосконалення трибологічних властивостей чев'ячних передач у різних галузях промисловості.

## 1 ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ЧЕРВ'ЯЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ

Черв'ячна передача (або зубчасто-гвинтова передача) (рис. 1.1) – механізм для передачі обертання між валами за допомогою гвинта (черв'яка 1) і сполученого з ним черв'ячного колеса 2. Черв'як і черв'ячне колесо, утворюють спільно вищу зубчасто-гвинтову кінематичну, а з третьою, нерухомою ланкою, нижчі обертальні кінематичні пари. Звідси випливає, що черв'ячна передача має властивості як зубчастої (черв'ячне колесо на своєму ободі несе зубчастий вінець), так і гвинтової (черв'як має форму гвинта) передач [1].

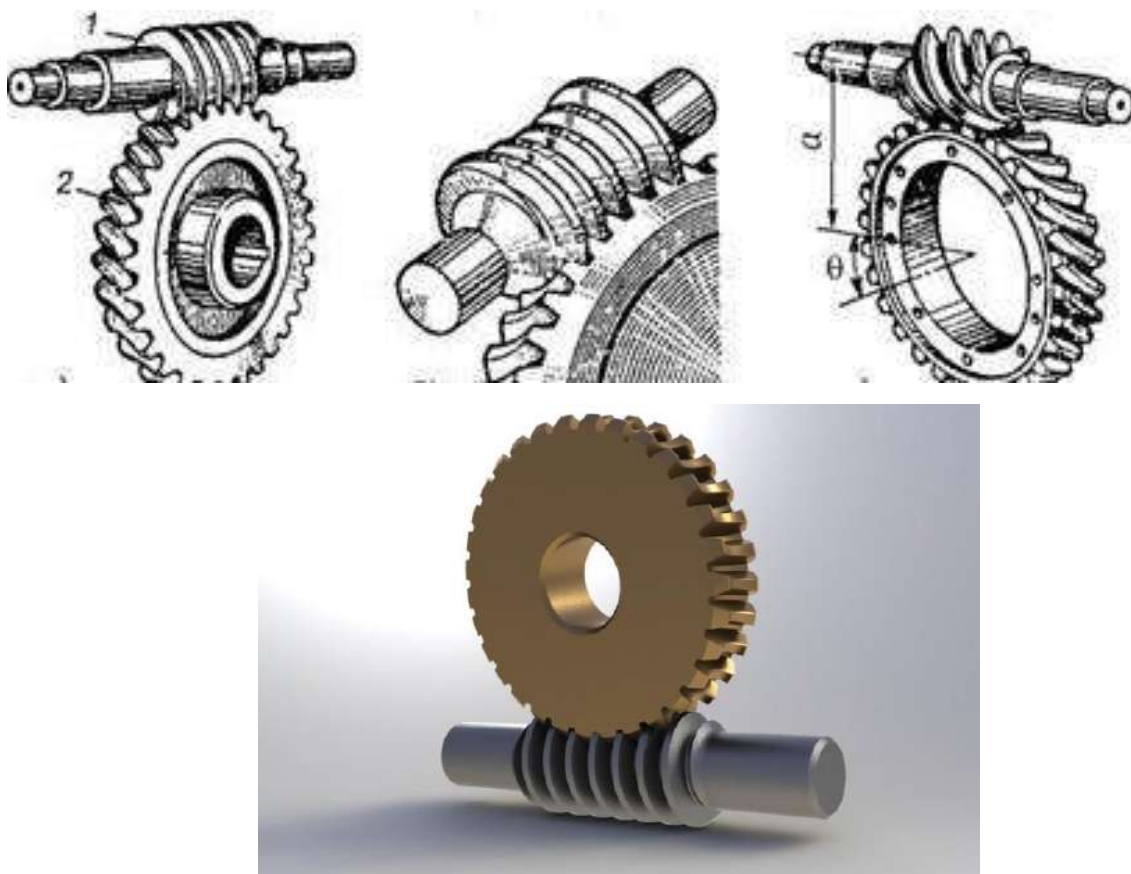


Рисунок 1.1 – Черв'ячні передачі: 1 - черв'як; 2-черв'ячне колесо [1]

Геометричні осі валів при цьому схрещуються під кутом  $90^\circ$ . Можливі інші кути, відмінні від  $90^\circ$ , але такі передачі зустрічаються рідко. Провідним елементом тут зазвичай є черв'як (як правило, це гвинт з трапецеїдальним

різьбленням), веденим – черв'ячне колесо з зубами особливої форми, одержуваними в результаті взаємного огинання з витками черв'яка. При обертанні черв'яка навколо своєї осі його витки переміщуються вздовж утворює своєї циліндричної поверхні і призводить до обертального руху черв'ячне колесо. Для збільшення довжини контактних ліній у зачепленні з черв'яком зуби черв'ячного колеса мають дугоподібну форму.

Черв'ячні передачі відносять до передач зачепленням. Черв'ячна передача – це зубчасто-гвинтова передача, рух в якій здійснюють за принципом гвинтової пари, якій, як відомо, властиво підвищене ковзання. Напрямок витків черв'яка та зубів колеса однаковий. Ведучим є черв'як. Обертання визначається за типом загвинчування гвинта та гайки. При цьому напрямок обертання колеса залежить від розташування черв'як (верхній, нижній).

Найчастіше черв'як виготовляють як одне ціле з валом. При конструюванні черв'яка бажано мати вільний вихід інструменту при нарізуванні та шліфуванні витків (шорсткість робочих поверхонь витків  $Ra < 0,63$  мкм).

З метою економії бронзи зубчастий вінець черв'ячного колеса виготовляють окремо від сталевого або чавунного центру [2]. Залежно від способу з'єднання вінця з центром розрізняють такі конструкції черв'ячних коліс:

1. З напресованим вінцем – бронзовий вінець насаджений на сталевий центр із натягом. Таку конструкцію застосовують при невеликих діаметрах коліс у дрібносерійному виробництві.

2. З пригвинченим вінцем – бронзовий вінець із фланцем кріплять болтами до центру. Фланець виконують симетрично щодо вінця для зменшення деформацій зубів. Цю конструкцію застосовують при великих діаметрах коліс (мм).

3. З вінцем, відлитим на сталевому центрі - сталевий центр вставляють у металеву форму (кіль), в яку заливають бронзу для отримання вінця. Цю конструкцію застосовують у серійному та масовому виробництві.

Кріплення вінця до маточини має забезпечувати фіксацію як від провороту (осьова сила черв'яка = окружній силі колеса), так і від осьового "зняття" вінця (окружна сила черв'яка = осьової силі колеса).

У всіх розглянутих конструкціях чистове обточування заготовки колеса та нарізування зубів роблять після закріплення вінця на центрі. Центр може складатися з диска та маточини, розміри їх елементів визначають за співвідношенням, рекомендованим для циліндричних зубчастих коліс.

Черв'ячне зачеплення чутливе до осьового змішування колеса. Тому в черв'ячних передачах передбачають регулювання положення середньої площини вінця колеса щодо осі черв'яка. Регулювання виконують осьовим переміщенням валу із закріпленим на ньому колесом. Переміщення валу здійснюють постановкою під фланці кришок підшипників набору тонких ( $\approx 0,1$  мм) металевих прокладок або застосуванням гвинтів, що впливають на підшипники через натискні шайби.

Переваги черв'ячних передач:

- можливість здійснення передачі (одноступінчастої) з великими передатними числами: у кінематичних передачах  $i = 500$  і більше, а силових передачах  $i = 8 \dots 80$ , як виняток до 120.
- плавність та безшумність роботи;
- можливість виконання самогальмівної передачі (ручні вантажо-підйомні талі) (у такої передачі коефіцієнт корисної дії (ККД) менше 50%);
- демпфуючі властивості знижують рівень вібрації машин;
- можливість отримання точних та малих переміщень;
- компактність та порівняно невелика маса конструкції передачі.

Недоліки:

- На відміну від евольвентних зачеплень, де переважає контактне кочення, виток черв'яка ковзає по зубу колеса. Отже, черв'ячні передачі мають "за визначенням" один фундаментальний недолік: - Високе тертя в зачепленні;
- Порівняно невисокий ККД (0,7-0,92), в самогальмуючих передачах - до 0,5 внаслідок великих втрат потужності на тертя в зачепленні;

- сильне нагрівання передачі при тривалій роботі внаслідок втрат потужності на тертя, що викликає значне виділення тепла, яке необхідно відводити від стінок корпусу. Ця обставина обмежує потужність практично застосовуваних передач межею 10-20 кВт, зате для малих потужностей ці передачі знайшли найширше застосування;

- необхідність застосування для колеса дорогих антифрикційних матеріалів (бронзи) та інструменту для нарізування зубів черв'ячних коліс (черв'ячні фрези), а також шліфування черв'яка;

- підвищене зношування та заїдання;

- Необхідність регулювання зачеплення.

Крім того, крім переваг та недоліків, черв'якові передачі мають важливу властивість: рух передається тільки від хробака до колеса, а не навпаки. Жодний крутний момент, прикладений до колеса, не змусить обертатися черв'як. Саме тому черв'ячні передачі знаходять застосування у підйомних механізмах, наприклад, у ліфтах. Там електродвигун з'єднаний з черв'яком, а трос пасажирської кабіни намотаний на вал черв'ячного колеса, щоб уникнути мимовільного опускання або падіння. Цю властивість не треба плутати з реверсивністю механізму. Адже напрямок обертання хробака може бути будь-яким, приводячи або до підйому, або до спуску тієї ж ліфтової кабіни.

Черв'якові передачі застосовують у механізмах поділу та подачі зуборізних верстатів, поздовжньо-фрезерних верстатів, глибоко розточувальних верстатів, вантажопідйомних та тягових лебідках, телях, механізмах підйому вантажів, стріл та повороту автомобільних та залізничних кранів, екскаваторах, ліфтах, тролейбусах та інших машин.

Черв'якові передачі, щоб уникнути їх перегріву, переважно використовувати в приводах періодичної, а не безперервної дії.

Особливість черв'ячної передачі полягає в тому, що між черв'яком і витками черв'ячного колеса відбувається ковзання, тому при їх виготовленні важливо правильно вибрати матеріал, який повинен бути стійкий не тільки до високих тисків, але і до стирання, і повинен мати мінімально можливий

коефіцієнт тертя. Швидкість взаємного ковзання зубців тим більша, що більший кут нахилу витків черв'яка.

Тому черв'яки виготовляють із сталі для загартування або науглерожування та зміцнення, рідше із загартованої сталі. Чавунні черв'ячні передачі трапляються дуже рідко і застосовуються при малих швидкостях ковзання.

З-за малого діаметра гвинт найчастіше утворює єдине ціле з первинним валом і лише в деяких випадках встановлюється на шийці первинного валу як окрема деталь, ці деталі з'єднуються шпоночним з'єднанням. При виборі редуктора головне завдання купити черв'ячний редуктор з оптимальним набором технічних характеристик.

Черв'ячні передачі виготовляються з:

- 1) олова бронзи;
- 2) свинцевої бронзи.

Тому колесо черв'ячної передачі зазвичай утворює окремий елемент, що прикріплений до диска болтами. У черв'ячних передачах з малим навантаженням черв'ячні колеса з сірого чавуну використовуються як моноліт, тобто маточини, диска і зубчастого обода, які є виливком, обробленим належним чином після вилучення з форми [2].

Як вказувалося раніше в типовому застосуванні, черв'як надає руху черв'ячне колесо, і між двома елементами відбувається значне ковзання і, отже, тертя, яке створює опір. Очевидно, сила тертя залежить від обох поверхонь, що взаємодіють, типу матеріалу, їх шорсткості і мастила, це може значно знизити такий опір. Для черв'ячної передачі втрати тертя додатково залежать від кута нахилу лінії обмотки черв'яка, але це значення пов'язане з передатним числом. В результаті частина вхідної потужності втрачається і перетворюється на тепло.

Черв'ячна передача сильно нагрівається, і для цього використовується повітряне охолодження, інтенсивність якого збільшується за рахунок ребра корпусу. набір горизонтальних або вертикальних ребер використовується для збільшення площі поверхні теплопередачі у навколишнє середовище. Охолодну

здатність можна збільшити, розмістивши редуктор у місці з природним потоком повітря або використовуючи примусовий потік за допомогою вентилятора, який збільшить теплообмін з навколишнім повітрям. Ребра охолодження розміщені на поверхні корпусу поруч із зачепленням між черв'яком та черв'ячним колесом, де найбільша кількість тепла виділяється за рахунок тертя. Додатковою перевагою використання ребер жорсткості є більша жорсткість корпусу, і ми досягаємо цього без надто великого збільшення ваги.

В сучасному машинобудуванні велику увагу приділяють вдосконаленню технічних рішень для підвищення ефективності та тривалості роботи механізмів. Одним із ключових аспектів цього питання є трибологічні властивості чев'ячних передач, які визначають їхню надійність та функціональність. Тому необхідно розглянути різноманітні матеріали, які використовуються в виробництві чев'ячних передач з метою підвищення їхньої тривалості служби та зменшення зносу, впливу матеріалів чев'ячних передач на трибологічні властивості. Також необхідно розглянути вплив мастильних матеріалів, які використовуються для забезпечення оптимального трибологічного контакту у чев'ячних передачах. Окремо дослідити різні методи підвищення трибологічних властивостей чев'ячних передач, шляхом застосування новітніх технологій та інноваційних покриттів.

## 2 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ТРИБОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЧЕРВ'ЯЧНИХ ПЕРЕДАЧ

### 2.1 Матеріали чев'ячних передач для підвищення трибологічних властивостей

Матеріали в черв'ячній передачі повинні становити антифрикційну пару і мати в поєднанні низький коефіцієнт тертя, мати підвищену зносостійкість і знижену схильність до заїдання в умовах великих швидкостей ковзання при значних нормальних силах між поверхнями, що контактують. Зазвичай це різноманітні матеріали. Вибір матеріалу виготовлення черв'яка і черв'ячного колеса визначається, переважно, швидкістю ковзання зубів і витків [3].

Черв'яки при роботі відчувають велику напругу вигину і кручення, а також напруги розтягування (стиснення). Внаслідок цього, а також через високі вимоги до жорсткості їх зазвичай виготовляють із вуглецевих або легованих сталей.

Для виготовлення черв'яків застосовують усі три типи сталей, поширених у машинобудуванні:

1. Якісні середньовуглецеві сталі марок 40, 45, 50. З них виготовляють маловідповідальні черв'яки. Заготівлю перед механічною обробкою піддають поліпшуючій термічній обробці ( $HRC \leq 36$ ). Черв'як точать на токарному верстаті з наступним ручним або механічним шліфуванням і поліруванням робочих поверхонь витків.

2. Середньовуглецеві леговані сталі марок 40X, 45X, 40XН, 40XНМА, 35XГСА. З цих сталей виготовляють черв'яки відповідальних передач. Покращувальній термообробці ( $HRCe \leq 45$ ) піддають деталь після попередньої обробки на токарному верстаті. Після термообробки робочі поверхні витків шліфують на спеціальних черв'ячно-шліфувальних верстатах або токарному верстаті із застосуванням спеціальної шліфувальної головки [3].

3. Мало- та середньовуглецеві леговані сталі марок 20X, 12XН3А, 25XГТ, 38XМЮА. З цих сталей виготовляють черв'яки високонавантажених передач, що

працюють у реверсивному режимі. Деталь, виготовлена з мінімальним припуском під остаточну обробку, піддається поверхневій хіміко-термічній обробці (цементація, азотування тощо) глибиною до 0,8 мм, після чого загартовується до високої твердості поверхневої (HRCe 55...65). Робоча поверхня витків черв'яка шліфується та полірується (іноді шевінгується) [3].

Для отримання високих якісних показників передачі застосовують загартування до твердості HRC 38...42, шліфування та полірування витків черв'яка. Це забезпечує найбільшу стійкість зубів черв'ячних коліс проти зношування та втомного руйнування, а також сприяє підвищенню ККД передачі.

У старих редукторах знайшли застосування евольвентні черв'яки типу ZI, а перспективними є нелінійчасті: утворені конусом типу ZK або тором типу ZT (за винаходом проф. Г. Німанна). Робочі поверхні витків нелінійчастих черв'яків шліфують з високою точністю конусним або тороїдним колом. Передачі з нелінійчастими хробаками характеризує підвищена здатність навантаження.

Термообробку – поліпшення застосовують передачі малої потужності до 1,1 кВт. Після термообробки робочі поверхні черв'яка шліфують та полірують.

Таким чином, для силових передач слід застосовувати нелінійчасті евольвентні черв'яки.

У зв'язку з тим, що виготовлення вінців черв'ячних коліс використовують дефіцитний кольоровий метал, лише колеса малих діаметрів (до 100 мм) виготовляють цільними. Колеса великого діаметру – переважно бандажовані (з вінцем). Черв'яки бандажовані роблять дуже рідко.

Матеріали вінців черв'ячних коліс у міру зменшення антизадирних і антифрикційних властивостей і рекомендованим для застосування швидкостям ковзання можна умовно звести до трьох груп.

Група I. Олов'яні бронзи (марок БрО10Ф1, БрО10Н1Ф1 та ін) застосовують при високих швидкостях ковзання ( $v_s = 5...25$  м/с). Мають хороші антизадирні властивості, але мають невисоку міцність.

Група II. Безолов'яні бронзи та латуні застосовують при середніх швидкостях ковзання ( $v_s$  до 3...5 м/с) та закритих передачах. Найчастіше

застосовують алюмінієву бронзу марки БрА9ЖЗЛ. Ця бронза має високу механічну міцність, але має знижені антизадирні властивості, тому її застосовують у парі з загартованими ( $H > 45 \text{ HRc}$ ) шліфованими і полірованими черв'яками.

Група Ш. Сірі чавуни СЧ15, СЧ20 або ковкі чавуни КЧ15, КЧ20 застосовують при малих швидкостях ковзання ( $v_s < 2...3 \text{ м/с}$ ) та у відкритих передачах. Чавунний вінець може відливатись за одне ціле з ободом черв'ячного колеса при відливанні останнього [3].

Бронзові вінці черв'ячних коліс зазвичай виготовляють виливком у землю, кокіль (металеву форму) або відцентровим литтям. При цьому виливки, отримані відцентровим литтям, мають найкращі характеристики міцності.

Заготовка для зубчастого вінця може бути відлита безпосередньо на обід черв'ячного колеса, або відливатись у вигляді окремої деталі, тоді вінець виконується насадним із закріпленням його як від можливості провороту, так і від поздовжнього зміщення за допомогою болтів і заклепок.

Механічні характеристики найбільш поширених матеріалів вінців черв'ячних коліс наведені в табл. 2.1.

Практика показала, що більший опір зношування надають зубці вінців, відлитих відцентровим способом.

Таблиця 2.1 – Механічні властивості матеріалів вінців черв'ячних коліс

| Група матеріала | Марка бронзи, чавуну | Спосіб відливки | $\sigma_T$        | $\sigma_B$ | $\sigma_{ви}$ | Швидкість ковзання $v_s, \text{ м/с}$ |
|-----------------|----------------------|-----------------|-------------------|------------|---------------|---------------------------------------|
|                 |                      |                 | Н/мм <sup>2</sup> |            |               |                                       |
| I               | БрО10Н1Ф1            | Центробежный    | 165               | 285        | —             | >5                                    |
|                 | БрО10Ф1              | В кокіль        | 195               | 245        | —             | >5                                    |
|                 | БрО10Ф1              | В песок         | 132               | 215        | —             | >5                                    |
| II              | БрА9ЖЗЛ              | Центробежный    | 200               | 500        | —             | 2...5                                 |
|                 | БрА9ЖЗЛ              | В кокіль        | 195               | 490        | —             | 2...5                                 |
|                 | БрА9ЖЗЛ              | В песок         | 195               | 395        | —             | 2...5                                 |
| III             | СЧ15                 | В песок         | —                 | —          | 320           | <2                                    |

## 2.2 Мастильні матеріали для підвищення трибологічних властивостей черв'ячних передач

Перерахуємо особливості роботи черв'ячної передачі, що визначають вимоги до мастильних матеріалів:

1. підвищене тертя та втрати на тертя,
2. високі швидкості ковзання в зачепленні,
3. підвищений знос,
4. небезпека задира,
5. підвищений нагрів,
6. малі швидкості обертання колеса,
7. Застосування бронзових сплавів.

Мастильний матеріал для цих умов повинен мати наступні властивості:

1. протизносними та протизадирними,
2. мінімальним гідравлічним тертям,
3. забезпечувати відведення та розсіювання тепла,
4. створювати стійку мастильну плівку на поверхнях, що труться,
5. забезпечувати видалення із робочої зони продуктів зносу,
6. не викликати корозії бронзових сплавів.

З усього цього випливає, що мастильні матеріали для черв'ячних редукторів можуть бути рідкими, так і пластичними. Як правило, рідкі мастильні матеріали – редукторні олії – застосовуються в черв'ячних редукторах з постійним режимом роботи. Пластичним мастилам віддається перевага, коли передача працює у переривчастому або короткочасному режимі.

Перевагами змащування редукторів оліями є відведення тепла та видалення продуктів зношування з робочої зони, що актуально при роботі в постійному режимі передачі потужності. Короткочасний режим роботи редуктора визначає використання пластичних мастил, які спрощують

експлуатацію та обслуговування редукторів, а також вирішують проблему витоків мастильного матеріалу.

Розглянемо детальніше пластичні мастила для черв'ячних редукторів [4].

Спосіб змащування редуктора зануренням черв'яка (колеса) в мастило або одноразове змащення визначають консистенцію пластичного мастила. Очевидно, що спосіб змащування зануренням передбачає використання напіврідких мастил з консистенцією 00-000 NLGI. Одноразове змащування, навпаки, вимагає від мастила більш високої консистенції від 0 до 2 NLGI. Важливі в цьому випадку хороші адгезійні властивості, що зумовлюють стабільну плівку мастила і стійкість проти видавлювання мастила.

Для подолання підвищених втрат на тертя, характерних для черв'ячних передач, традиційно використовуються синтетичні олії та мастила. Але, як відомо, синтетика різниці. Те, що підходить для редуктора з циліндричними передачами, може бути протипоказано черв'ячному. Так, синтетичні олії, які чудово зарекомендували себе поліальфаолефінові (ПАТ), відмовляються змащувати передачі підвищеного тертя – черв'ячні. Ця обставина обумовлена їх поганим змочуванням металевих і особливо бронзових поверхонь, а також відносно низькими трибологічними властивостями. Жодні технологічні хитрощі, пов'язані з використанням спеціальних присадок, так і не зробили ПАТ придатними для черв'ячних редукторів. Однак це стосується лише високонавантажених редукторів з черв'ячними колесами з бронзовим зубчастим вінцем.

Оптимальним вирішенням вищеописаної проблеми є використання мастильних матеріалів на поліалкіленгліколевих (ПАГ) базових оліях. Прекрасні мастильні та в'язкісно-температурні властивості, сполучність з усіма металами та сплавами, а також високі антиокислювальні властивості дозволяють використовувати масла та мастила на ПАГ як довічні мастильні матеріали [5].

Втім, не все так ідеально і з поліалкіленгліколями. Основним недоліком мастил на ПАГ є несумісність з іншими мастильними матеріалами. Для переходу на нове мастило потрібно повне очищення та промивання редуктора від

попереднього мастила на ПАГ. Часто ця операція ускладнює технічне обслуговування редукторного обладнання, але дозволяє раз і назавжди перейти на масовий і недорогий мастильний матеріал. Рішення про перехід залишається за механіком.

Новим словом на ринку пластичних мастил є мастила, загущені комплексом сульфонату кальцію. Зумовлене особливостями загусника, унікальне поєднання трибологічних та високотемпературних властивостей, а також водостійкості та низьких втрат на тертя, характеризує ці мастила як найкращі для редукторів з напіврідким мастилом.

Ось приклад сучасного мастила на комплексі сульфонату кальцію від компанії ARGO. Продукт має назву TermoLub S 220.

Мастило TermoLub S 220 E00 (рис. 2.2) ідеально підходить для заправки картерів черв'ячних редукторів великої потужності, що змащуються зануренням черв'яка або колеса [6]. Відмінний захист від зносу та задирання бронзового вінця черв'ячного колеса, захист від корозії, механічна стабільність, водостійкість, високотемпературні властивості роблять це змащення найкращим вибором для черв'ячного редуктора. Для редукторів, що змащуються твердими мастилами, рекомендуються консистенції 1 або 2 NLGI.



Рисунок 2.2 – Мастило TermoLub S 220 E00 [6]

Також в якості пластичних мастил для черв'ячної передачі використовують антифрикційне твердозмащувальне покриття MODENGY 1005 (рис. 2.3) дозволяє в разі продовжити термін служби механізму, запобігти заїданню та стрибкоподібному руху, а також уникнути пошкодження деталей [7].



Рисунок 2.3 –Покриття MODENGY 1005 [7]

Після дослідження методів підвищення трибологічних властивостей чев'ячних передач, наступним кроком магістерської робота є надання практичних рекомендації для вдосконалення технології їх виготовлення на тоснові розробки технологічного процесу для деталі «Черв'як».

### 3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Черв'як (рис. 3.1) розташований у черв'ячному редукторі. Черв'як призначений для передачі крутного моменту від головної шестерні на шестерню приводу генератора, забезпечуючи роботу ряду агрегатів, які отримують обертання від шестірни.

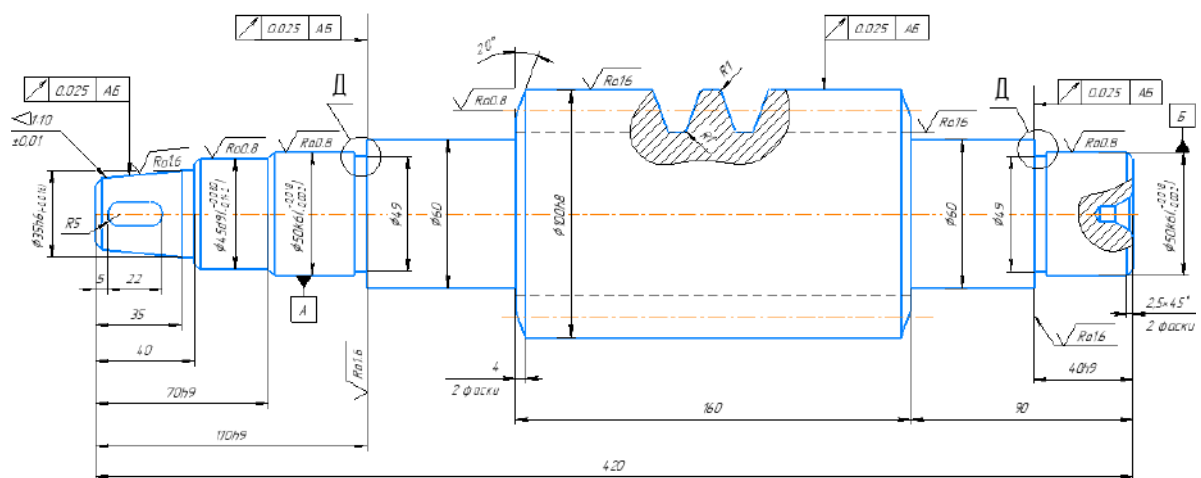


Рисунок 3.1 – Ескіз деталі

Черв'ячна передача призначена для суттєвого збільшення моменту, що крутить, і, відповідно, зменшення кутової швидкості. Провідною ланкою є черв'як. Черв'ячна передача без мастила і вібрації має ефект самогальмування і є незворотною: якщо прикласти момент до черв'ячному колесу, через силу тертя передача працювати не буде.

Черв'як є гвинтом зі спеціальним різьбленням, у разі евольвентного профілю колеса форма профілю різьблення близька до трапецеїдальної. На практиці застосовуються однозахідні, двозахідні та чотиризахідні черв'яки. Черв'як та вихідний вал передачі схрещуються під прямим кутом.

Технічні вимоги до деталі «Черв'як»: твердість – витки цементувати та калити ТВЧ 52...56 HRC, решта деталі 28...32 HRC. Матеріал деталі – сталь

18ХГТ, хімічний склад наведено в таблиці 3.1, механічні властивості в таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад сталі 18ХГТ [8]

| C           | Cr      | Ni   | Mn        | Si          | Cu   | S      | P      |
|-------------|---------|------|-----------|-------------|------|--------|--------|
| 0,17...0,23 | 1...1,3 | <0,3 | 0,8...1,1 | 0,17...0,37 | <0,3 | <0,025 | <0,035 |

Таблиця 3.2 – Фізичні властивості сталі 18ХГТ [8]:

| Показник                       | Значення                 |
|--------------------------------|--------------------------|
| щільність                      | 7870 кг/м <sup>3</sup> ; |
| межа міцності при розтягуванні | 980 МПа;                 |
| межа плинності                 | 885 МПа;                 |
| відносне подовження            | 9 %;                     |
| ударна в'язкість               | 490 кДж/м <sup>2</sup> . |
| модуль пружності               | 215000 МПа               |

### 3.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Залежно від розміру виробничої програми, характеру продукції, а також технічних та економічних умов здійснення виробничого процесу всі різноманітні виробництва умовно поділяються на три основні види: одиничне, серійне та масове. У кожного з цих видів виробничий та технологічний процеси мають свої характерні особливості, і кожному з них властива певна форма організації роботи. На даному етапі проектування складно правильно визначити вид виробництва і тому проведемо попереднє визначення типу виробництва за виробничою програмою та масою деталі.

Попередньо тип виробництва вибираємо за таблицею 3.3, враховуючи масу деталі  $m=9,6$  кг та річну програму випуску  $N=5000$  штук, тип виробництва можна вважати серійним. Форми організації технологічних процесів відповідно [9] залежить від встановленого порядку виконання операцій технологічного

процесу (ТП), розташування технологічного обладнання, кількості виробів. Для обробки цієї деталі вибираємо змінно потокову форму організації ТП.

Таблиця 3.3 – Вибір типу виробництва [10].

| Тип виробництва | Кількість оброблюємих деталей за рік |                                  |                    |
|-----------------|--------------------------------------|----------------------------------|--------------------|
|                 | важкі, $m > 100$ кг                  | середні, $m$ від 10 кг до 100 кг | легкі, $m < 10$ кг |
| одиничне        | до 5                                 | до 10                            | до 100             |
| дрібносерійне   | від 5 до 10                          | від 10 до 200                    | від 100 до 500     |
| серійне         | від 100 до 300                       | від 200 до 500                   | від 500 до 5000    |
| крупносерійне   | від 300 до 1000                      | від 500 до 5000                  | від 5000 до 50000  |
| масове          | більше 1000                          | більше 5000                      | більше 50000       |

Кількість партії оброблюваних деталей:

$$n = \frac{\alpha \cdot N}{A}, \text{ шт} \quad (3.1)$$

де  $N$  – річна програма випуску,  $N=5000$  шт;

$\alpha$  – періодичність запуску партій деталей в виробництво,  $\alpha=3 \dots 5$ ;

$A$  – кількість робочих днів на рік,  $A=250$  днів.

$$n = \frac{5 \cdot 5000}{250} = 100 \text{ шт}$$

### 3.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

В якості способів одержання заготовки деталі «Черв'як» обираємо наступні:

– штампуванням на пресі;



$V_B$  – базова собівартість виготовлення 1 т заготовки заготовок, грн. [11];

$K_T$  – коефіцієнт, що враховує клас точності заготовки [11];

$K_M$  – коефіцієнт, що враховує матеріал деталі [11];

$K_C$  – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки [11];

$K_3$  – коефіцієнт, що враховує масу заготовки [11];

$K_{II}$  – коефіцієнт, що враховує програму випуску заготовки [11];

$V_{\text{відх}}$  – вартість 1 т стружки [11].

$$V_{\text{КГШП}} = \frac{3500}{1000} \cdot 15,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,51 \cdot 0,77 \cdot 1,27 \cdot 1 - (15,9 - 11,5) \cdot \frac{140}{1000} = 25,1 \text{ грн}$$

$$V_{\text{прок}} = \frac{3260}{1000} \cdot 28,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,51 \cdot 0,77 \cdot 1,27 \cdot 1 - (28,8 - 11,5) \cdot \frac{140}{1000} = 33,5 \text{ грн}$$

Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) розраховується за формулою:

$$\eta = \frac{q}{Q} \quad (3.3)$$

$$\eta_{\text{КГШП}} = \frac{11,5}{15,9} = 0,72$$

$$\eta_{\text{прок}} = \frac{11,5}{28,8} = 0,3$$

Порівняльні показники обраних методів заготовки заносяться в табл. 1.4.

Річні заощадження за вартістю виготовлення заготовок:

$$E_B = (V_{\text{КГШП}} - V_{\text{прок}}) \cdot N, \quad (3.4)$$

де  $N$  – річна програма випуску, шт.

$$E_B = (33,5 - 25,1) \cdot 5000 = 41824 \text{ грн}$$

Заощадження на металі при виготовленні заготовки штампуванням:

$$M_e = \frac{q(\eta_{\text{КГШП}} - \eta_{\text{прок}})}{\eta_{\text{КГШП}} \cdot \eta_{\text{прок}}} \cdot N \quad (3.5)$$

$$M_e = \frac{11,5 \cdot (0,72 - 0,3)}{0,72 \cdot 0,3} \cdot 5000 = 64450 \text{ кг}$$

Таблиця 3.4 – Результати розрахунків показників економічного вибору заготовок

| Показник                          | Позначення        | Одиниці виміру | Варіант заготовки |        |
|-----------------------------------|-------------------|----------------|-------------------|--------|
|                                   |                   |                | КГШП              | Прокат |
| Вага заготовки                    | $Q$               | кг             | 15,9              | 28,8   |
| Базова вартість 1 т заготовки     | $B_B$             | грн            | 3500              | 1260   |
| Коефіцієнти                       | $K_T$             |                | 1,0               | 1      |
|                                   | $K_M$             |                | 1,51              | 1      |
|                                   | $K_C$             |                | 0,77              | 1      |
|                                   | $K_3$             |                | 1,27              | 1      |
|                                   | $K_{II}$          |                | 1,0               | 1      |
| Вартість 1 т стружки              | $B_{\text{відх}}$ | грн            | 140               | 140    |
| Собівартість виготовлення         | $B_3$             | грн            | 25,1              | 33,5   |
| Коефіцієнт використання матеріалу | $\eta$            |                | 0,72              | 0,3    |

Штапування на КГШП обираємо економічно доцільним методом отримання заготовки, так як при цьому економія становить 41824 грн та 64450 кг металу.

### 3.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі

#### 3.4.1 Вибір технологічних баз

Так як оброблювана заготівля – отримана штампуванням, то необроблені поверхні як бази для чорнової токарної та фрезерно-центрувальної обробки використовуються тільки на першій операції механічної обробки. Для першої операції – торець 5 та поверхня 7, установка на призми (рис. 3.4).

Для чистової обробки (токарної) як бази будемо використовувати центрові отвори, крайній торець і зовнішню циліндричну поверхню.

Для шліфувальної та зубофрезерної обробки в якості баз будемо використовувати центрові отвори.

Для операції фрезерування пазу в якості баз використовуємо поверхні 5, 1, 18.

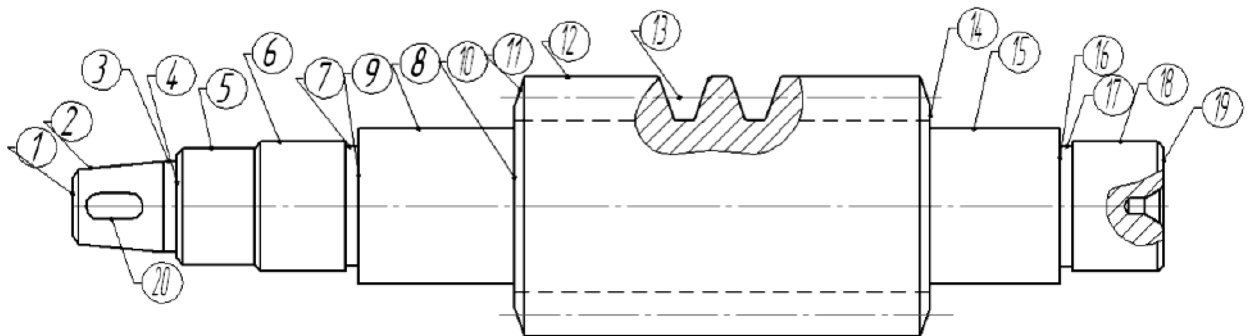


Рисунок 3.4 – Технологічна розмітка поверхонь деталі

### 3.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Маршрут обробки поверхонь (МОП) встановлює послідовність операцій, а також їх зміст.

Загальне уточнення за показниками точності та шорсткості поверхні розраховується за формулами:

$$\varepsilon_d = \frac{Td_z}{Td_d} \quad (3.6)$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{Ra_z}{Ra_d} \quad (3.7)$$

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{\Delta_z}{\Delta_d}, \quad (3.8)$$

де  $Td_z$  – допуск на розмір заготовки, мкм;

$Td_d$  – допуск на розмір деталі, мкм;

$Ra_3$  – параметр шорсткості заготовки, мкм;

$Ra_d$  – параметр шорсткості деталі, мкм;

$\Delta_3$  – похибка форми заготовки, мкм;

$\Delta_d$  – похибка форми деталі, мкм.

Для поверхні 6 – Ø50к6 уточнення дорівнюють:

$$\varepsilon_d = \frac{2,2}{0,016} = 137,5;$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{25}{0,8} = 31,2;$$

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{0,6}{0,025} = 24;$$

Розраховуємо кількість переходів за формулою:

$$k = 2 \cdot \lg \varepsilon \quad (3.9)$$

$$k = 2 \cdot \lg 137,5 = 3,9 \rightarrow 4$$

Послідовність показників точності та якості (ППТЯ):

1) Для допуску – IT17 → h12 → h10 → TO → h8 → к6;

2) Для шорсткості – Ra25 → Ra6,3 → Ra3,2 → TO → Ra1,6 → Ra0,8

МОП: заготовка, точіння чорнове, точіння чистове, шліфування чорнове, чистове шліфування.

Призначаємо перший перехід – точіння чорнове: TD1=250мкм;  
TRz1=6,3мкм;

Уточнення:

$$Ed1=2200/250=8,8;$$

$$ERz=25/6,3=3,9$$

Призначаємо другий перехід – точіння чистове: TD2=100мкм;  
TRz2=3,2мкм

Уточнення:

$$Ed_2=250/100=2,5;$$

$$ER_z=6,3/3,2=2$$

$$\Pi Ed_j=8,8 \cdot 2,5=22 < Ed=137,5$$

$$ER_{zj}=3,9 \cdot 2=7,8 < ER_z=31,2$$

Призначаємо четвертий перехід – шліфування чорнове:  $TD_4=39\text{мкм}$ ;  
 $TR_{z4}=1,6\text{мкм}$

Уточнення:

$$Ed_4=100/39=2,5;$$

$$ER_z=3,2/1,6=2$$

$$\Pi Ed_j=22 \cdot 2,5=56,4 < Ed=137,5$$

$$ER_{zj}=7,8 \cdot 2=15,6 < ER_z=31,2$$

Призначаємо п'ятий перехід – шліфування чистове:  $TD_5=16\text{мкм}$ ;  
 $TR_{z5}=0,8\text{мкм}$

Уточнение:

$$Ed_5=39/16=2,4;$$

$$ER_z=1,6/0,8=2$$

$$\Pi Ed_j=56,4 \cdot 2,4=135,3 < Ed=137,5$$

$$ER_{zj}=15,6 \cdot 2=31,2 < ER_z=31,2$$

Цим же методом виконуємо розрахунок для інших поверхонь. Отримані дані заносимо до таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Маршрути обробки основних поверхонь деталі

| Характер поверхні                                     | Параметри заготівлі |             | Параметри деталі |             | МОП |              | Допуски, мкм |     |       | Уточнення  |         |      |
|---|---------------------|-------------|------------------|-------------|-----|--------------|--------------|-----|-------|------------|---------|------|
|   | <i>Td3</i>          | <i>TRz3</i> | <i>TdД</i>       | <i>TRzД</i> | IT  | Метод оброб. | Розм         | Ra  | ↑ мм  | Геом. розм | Шорс т. | ↑ мм |
| Ø 50к6<br>HB220...240<br>Ra=0,8<br>↑=0,025            | 2,2                 | 25          | 0,01<br>6        | 0,8         | 17  | Загот.       | 2200         | 25  | 0.6   | —          | —       | -    |
|   |                     |             |                  |             | 12  | Точін. чорн. | 250          | 6,3 | 0.2   | 8,8        | 3,9     | 3    |
|   |                     |             |                  |             | 10  | Точін. чист. | 100          | 3,2 | 0.1   | 2,5        | 2       | 2    |
|   |                     |             |                  |             | -   | ТО           | -            | -   | -     | -          | -       | -    |
|   |                     |             |                  |             | 8   | Шліф. чорн.  | 39           | 1,6 | 0.05  | 2,5        | 2       | 2    |
| 6   | Шліф. чист.         | 16          | 0,8              | 0.025       | 2,4 | 2            | 2            |     |       |            |         |      |
| Ø 100h8<br>HB220...240<br>Ra=1.6<br>↑=0,025           | 2,2                 | 25          | 0,05<br>4        | 1.6         | 17  | Загот.       | 2200         | 25  | 0.6   | —          | —       | -    |
|   |                     |             |                  |             | 12  | Точін. чорн. | 350          | 6,3 | 0.1   | 6,3        | 3,9     | 6    |
|   |                     |             |                  |             | 10  | Точін. чист. | 140          | 3,2 | 0.05  | 2.5        | 2       | 4    |
|   |                     |             |                  |             | -   | ТО           | -            | -   | -     | -          | -       | -    |
|   |                     |             |                  |             | 8   | Шліф.        | 54           | 1,6 | 0.025 | 2,6        | 2       | 2    |
| 9)<br>110h9-0,087<br>HB220...240<br>Ra=1.6<br>↑=0,025 | 2,2                 | 25          | 0,08<br>7        | 1.6         | 17  | Загот.       | 2200         | 25  | 0.6   | -          | -       | -    |
|   |                     |             |                  |             | 13  | Точін. чорн. | 350          | 6,3 | 0.1   | 6.2        | 3.9     | 6    |
|   |                     |             |                  |             | 11  | Точін. чист. | 140          | 3,2 | 0.05  | 2.5        | 2       | 4    |
|   |                     |             |                  |             | -   | ТО           | -            | -   | -     | -          | -       | -    |
|   |                     |             |                  |             | 9   | Шліф.        | 87           | 1,6 | 0.025 | 1.6        | 2       | 2    |
| 40h9<br>HB220...240<br>Ra=1.6<br>↑=0,025              | 2,2                 | 25          | 0,06<br>2        | 1.6         | 17  | Загот.       | 2200         | 25  | 0.6   | —          | -       | -    |
|   |                     |             |                  |             | 13  | Точін. чорн. | 250          | 6,3 | 0.1   | 8.8        | 3.9     | 6    |
|   |                     |             |                  |             | 11  | Точін. чист. | 100          | 3,2 | 0.05  | 2.5        | 2       | 4    |
|   |                     |             |                  |             | -   | ТО           | -            | -   | -     | -          | -       | -    |
|   |                     |             |                  |             | 9   | Шліф.        | 62           | 1,6 | 0.025 | 1.6        | 2       | 2    |

### 3.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Маршрут виготовлення деталі (МВД) – це послідовність виконання певних операцій, для яких необхідно визначити обладнання та технологічне оснащення.

Технологічний процес виготовлення деталі можна розділити на етапи: заготівельний, чорновий, напівчистовий, чистовий, фінішний та доводочний. Кожен з цих етапів виконує свої завдання і спрямований на досягнення встановлених технічних та якісних параметрів деталі.

Для деталі «Черв'як» МВД складається з наступних етапів:

- 1) I етап – отримання заготовки, термічна обробка (ТО);
- 2) II етап – механічна обробка:
  - фрезерно-центрувальна обробка;
  - токарна обробка (чорнова, чистова);
  - фрезерна обробка;
  - різьбофрезерна обробка;
- 3) III етап – мийка, контроль.
- 4) IV етап – ТО (цементация, гартування ТВЧ, відпал);
- 5) V етап – механічна обробка:
  - шліфування (чорнове, чистове);
  - різьбошліфування;
- 5) етап -мийка, контроль.

### 3.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Припуск – це додатковий шар матеріалу на поверхні заготовки, який може містити різні дефекти, недопустимі за умовами службового призначення

деталі. Цей шар матеріалу необхідно видалити з поверхні заготовки з метою досягнення заданих властивостей обробленої поверхні. Припуск виступає як компенсатор похибок попередніх етапів обробки, забезпечуючи точність та якість готової деталі.

Припуск розрахуємо розрахунково-аналітичним методом. Для поверхні 6 -  $\phi 50\text{к6}$ :

1) для заготовки:  $Rz_1 = 160$  мкм та  $h_1 = 200$  мкм [12];

Просторові відхилення заготовки:

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{кор}^2}, \quad (3.10)$$

де  $\rho_{зм}$  – відхилення від соосності  $\rho_{зм} = 0,6$  мм [12];

$\rho_{кор}$  – похибка від короблення.

$$\rho_{кор} = \Delta_{кор} \cdot \ell, \text{ мм} \quad (3.11)$$

де  $\Delta_{кор}$  – кривизна поковки  $\Delta_{кор} = 3$  мкм/мм [6].

$$\rho_{кор} = 3 \cdot 420 = 1260 \text{ мкм};$$

$$\rho_1 = \sqrt{0,6^2 + 1,26^2} = 1,4 \text{ мм}.$$

2) для чорнового точіння:  $Rz_2=40$  мкм та  $h_2=40$  мкм [12];

Просторові похибки для механічних переходів розраховуються з урахуванням коефіцієнту уточнення за формулою:

$$\rho_j = K_{ут} \cdot \rho_i, \text{ мм} \quad (3.12)$$

де  $K_{ут}$  – коефіцієнт уточнення для переходів обробки  $K_{ут} = 0,06$  [12].

$$\rho_2 = 0,06 \cdot 1400 = 842 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення:

$$\varepsilon_2 = 0,25 \cdot \sqrt{Td_{зар}^2 + 1} \quad (3.13)$$

$$\varepsilon_2 = 00,25 \cdot \sqrt{2,2^2 + 1} = 0,6 \text{ мм}$$

3) для чистового точіння:  $Rz_3=20$  мкм та  $h_3=20$  мкм [12];

$$\rho_3 = 0,04 \cdot 84 = 3,3 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення:

$$\varepsilon_2 = K_{\text{ут}} \cdot \varepsilon_{i-1} \quad (3.14)$$

$$\varepsilon_2 = 0,04 \cdot 600 = 24 \text{ мкм}$$

4) для ТО:

$$\rho_4 = \Delta_k \cdot L \quad (3.15)$$

де  $\Delta_{\text{кор}}$  – кривизна після ТО  $\Delta_{\text{кор}} = 0,1$  мкм/мм [12].

$$\rho_4 = 0,1 \cdot 420 = 42 \text{ мкм}$$

5) для шліфування чорнового:  $Rz_5=10$  мкм та  $h_5=15$  мкм [12];

$$\rho_5 = 0,03 \cdot (42 + 3,3) = 1,2 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon_5 = 0,03 \cdot 24 = 0,7 \text{ мкм.}$$

6) для шліфування чистового:  $Rz_6=6,3$  мкм та  $h_6=5$  мкм [12];

$$\rho_6 = 0,02 \cdot 1,2 = 0 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon_6 = 0,02 \cdot 0,7 = 0 \text{ мкм.}$$

Мінімальні припуски для переходів механічної:

$$2z_i^{\min} = 2 \left( Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right), \quad (3.16)$$

$$2z_2^{\min} = 2 \cdot (160 + 200 + \sqrt{1400^2 + 600^2}) = 3766 \text{ мкм}$$

$$2z_3^{\min} = 2 \cdot (40 + 40 + \sqrt{84^2 + 24^2}) = 334 \text{ мкм}$$

$$2z_5^{\min} = 2 \cdot (20 + 20 + \sqrt{42^2 + 0,72^2}) = 164 \text{ мкм}$$

$$2z_6^{\min} = 2 \cdot (10 + 15 + \sqrt{1,2^2 + 0^2}) = 52 \text{ мкм}$$

Визначення розмірів здійснюємо методом проф. Кована. Максимальний розмір поверхні:

$$d_6^{\max} = d_4^{\min} + ES_{d4} \quad (3.17)$$

$$d_6^{\min} = d_6^{\text{ном}} + eid_6 = 50 + (0,002) = 50,002 \text{ мм}$$

Мінімальний розмір поверхні:

$$d_i^{\min} = d_{i+1}^{\min} + 2Z_{i+1}^{\min} \quad (3.18)$$

$$d_5^{\min} = 50,002 + 0,052 = 50,054 \text{ мм},$$

$$d_3^{\min} = 50,054 + 0,164 = 50,218 \text{ мм},$$

$$d_2^{\min} = 50,218 + 0,334 = 50,552 \text{ мм},$$

$$d_1^{\min} = 50,552 + 3,766 = 54,318 \text{ мм}.$$

Максимальний розмір для механічних переходів:

$$d_i^{\max} = d_i^{\min} + Td_i \quad (3.19)$$

$$d_6^{\max} = 50,002 + 0,016 = 50,018 \text{ мм},$$

$$d_5^{\max} = 50,054 + 0,039 = 50,093 \text{ мм},$$

$$d_3^{\max} = 50,218 + 0,1 = 50,318 \text{ мм},$$

$$d_2^{\max} = 50,552 + 0,25 = 50,802 \text{ мм},$$

$$d_1^{\max} = 54,318 + 2,2 = 56,518 \text{ мм},$$

Максимальний припуск:

$$2Z_i^{\max} = d_{i-1}^{\max} - d_i^{\max} \quad (3.20)$$

$$2Z_2^{\max} = 56,518 - 50,802 = 5,716 \text{ мм},$$

$$2Z_3^{\max} = 50,802 - 50,318 = 0,484 \text{ мм},$$

$$2Z_5^{\max} = 50,318 - 50,093 = 0,225 \text{ мм},$$

$$2Z_6^{\max} = 50,093 - 50,018 = 0,075 \text{ мм}.$$

Схема розташування допусків, припусків та технологічних розмірів наведено в таблиці 3.6.

Перевірка правильності розрахунків технологічних розмірів:

$$2Z_o^{\max} - 2Z_o^{\min} = Td_{заг} - Td_{дет} \quad (3.21)$$

$$6,5 - 4,316 = 2,2 - 0,016$$

$$2,184 = 2,184$$

Виконавчий розмір заготовки –  $\varnothing 55,1_{-0,8}^{+1,4}$  мм.

Для поверхонь  $\varphi 100h8$ ,  $40h9$  та  $110h9$  припуски призначаємо табличним методом. Згідно цього методу припуски на всі переходи призначаються по таблицям довідкової літератури [4].

Для поверхні  $\varphi 100h8$ :

- 1) Чорнове точіння:  $2Z^{\min} = 3$  мм;
- 2) Чистове точіння:  $2Z^{\min} = 1,4$  мм;

3) Шліфування чорнове:  $2Z^{min}=0,8$  мм;

Для поверхні 40h9:

1) Чорнове точіння:  $2Z^{min} = 3$  мм;

2) Чистове точіння:  $2Z^{min} = 1,4$  мм;

3) Шліфування чорнове:  $2Z^{min}=0,8$  мм;

Для поверхні 110h9:

1) Чорнове точіння:  $2Z^{min} = 3$  мм;

2) Чистове точіння:  $2Z^{min} = 1,4$  мм

3) Шліфування:  $2Z^{min}=0,8$  мм;

Таблиця 3.6 – Припуски та міжопераційні розміри

| Характеристика поверхонь                                    | МОП |               | Допуск | Граничні значення розмірів |                  | Граничні значення припуску |              | Виконавчий розмір                 |
|---|-----|---------------|--------|----------------------------|------------------|----------------------------|--------------|-----------------------------------|
|   | IT  | Метод обробки |        | Td, мм                     | $d_i^{max}$ , мм | $d_i^{min}$ , мм           | $2z_i^{max}$ |                                   |
| 1   | 2   | 3             | 4      | 5                          | 6                | 7                          | 8            | 9                                 |
| $\phi 50k6$<br>HB220...240<br>Ra=0,8<br>$\uparrow=0,025$    | 17  | Загот.        | 2200   | 56,518                     | 54,318           | -                          | -            | $\phi 55,1^{(+1,4)}_{(-0,8)}$     |
|   | 12  | Точін. чорн.  | 250    | 50,802                     | 50,552           | 5716                       | 3766         | $\phi 50,8_{(-0,25)}$             |
|   | 10  | Точін. чист.  | 100    | 50,318                     | 50,218           | 484                        | 334          | $\phi 50,3_{(-0,100)}$            |
|   | -   | ТО            | -      | -                          | -                | -                          | -            | $\phi 50,1_{(-0,039)}$            |
|   | 8   | Шліф. чорн.   | 39     | 50,093                     | 50,054           | 225                        | 164          | $\phi 50,1_{(-0,039)}$            |
|   | 6   | Шліф. чист.   | 16     | 50,018                     | 50,002           | 75                         | 52           | $\phi 50k6^{(+0,018)}_{(+0,002)}$ |
| $\phi 100h8$<br>HB220...240<br>Ra=1.6<br>$\uparrow=0,025$   | 17  | Загот.        | 2200   | 107,346                    | 105,146          | -                          | -            | $\phi 106^{(+1,4)}_{(-0,8)}$      |
|   | 12  | Точін. чорн.  | 350    | 102,496                    | 102,146          | 4850                       | 3000         | $\phi 102,5_{(-0,35)}$            |
|   | 10  | Точін. чист.  | 140    | 100,886                    | 100,746          | 1610                       | 1400         | $\phi 100,8_{(-0,14)}$            |
|   | -   | ТО            | -      | -                          | -                | -                          | -            | $\phi 100,8_{(-0,14)}$            |
|   | 8   | Шліф.         | 54     | 100                        | 99,946           | 886                        | 800          | $\phi 100_{(-0,054)}$             |
| $110_{-0,087}$<br>HB220...240<br>Ra=1.6<br>$\uparrow=0,025$ | 17  | Загот.        | 2200   | 117,313                    | 115,113          | -                          | -            | $115,9^{(+1,4)}_{(-0,8)}$         |
|   | 13  | Точін. чорн.  | 350    | 112,463                    | 112,113          | 4850                       | 3000         | $112,4_{(-0,35)}$                 |
|   | 11  | Точін. чист.  | 140    | 110,853                    | 110,713          | 1610                       | 1400         | $110,8_{(-0,14)}$                 |
|   | -   | ТО            | -      | -                          | -                | -                          | -            | $110,8_{(-0,14)}$                 |
|   | 9   | Шліф.         | 87     | 110                        | 109,913          | 853                        | 800          | $110_{-0,087}$                    |

Продовження таблиці 3.6

| 1           | 2  | 3            | 4    | 5      | 6      | 7    | 8    | 9  |
|-------------|----|--------------|------|--------|--------|------|------|--|
| 40h9        | 17 | Загот.       | 2200 | 47,338 | 45,138 | -    | -    | 45.9 <sup>(+1,4)</sup> <sub>(-0,8)</sub> |
| HB220...240 | 13 | Точін. чорн. | 250  | 42,388 | 42,138 | 4950 | 3000 | 42.4 <sub>-0.25</sub>                    |
| Ra=1.6      | 11 | Точін. чист. | 100  | 40,838 | 40,738 | 1550 | 1400 | 40.8 <sub>-0.1</sub>                     |
| ↑=0,025     | -  | ТО           | -    | -      | -      | -    | -    | 40 <sub>-0.062</sub>                     |
|             | 9  | Шліф.        | 62   | 40     | 39,938 | 838  | 800  |  |

### 3.6 Розрахунок режимів різання

#### 3.6.1 Операція №015 – фрезерно-центрувальна

Верстат: фрезерно-центрувальний моделі Мр-71М. Операційний ескіз наведено на рис. 3.5. Характеристики верстата:

- 1) Найбільший діаметр заготовки:
  - над станиною – 500 мм;
  - над супортом – 320 мм;
- 2) Частота обертання шпинделя – 34...1500 об/хв.
- 3) Подача револьверного супорта – 0,09...1,35 мм/об.
- 4) Поперечна подача – 0,045...0,7 мм/об.
- 5) Число подач поперечного супорта – 0,09...1,35 мм/об.
- 6) Потужність електродвигуна – 22 кВт;
- 7) Габарити верстата – 3320 x 1530 мм;

Пристосування – призми.

Ріжучий інструмент:

1) Фреза торцева з пластинами з твердого сплаву Т5К10, ГОСТ 24359-80, D = 100 мм, L = 50 мм, d = 32 мм, z = 8 – 2шт [13].

2) Свердло центрувальне D=6.3мм ГОСТ 14652-75 – 2шт [13]

Вимірювальний інструмент: шаблон, штангенциркуль ШЦ – Ш500-0,1  
ГОСТ 166-89

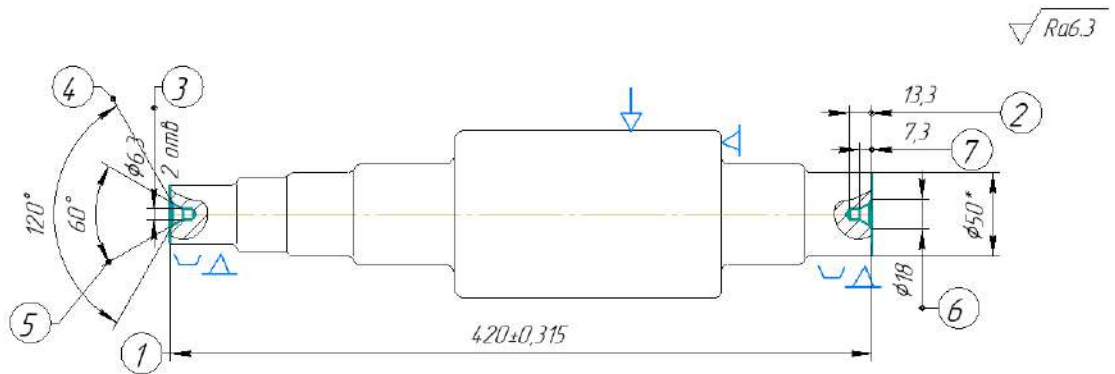


Рисунок 3.5 – Операційний ескіз

Операція складається з 2 переходів:

- 1 перехід: підрізати торці;
- 2 перехід: центрувати торці.

Визначаємо глибину різання:

- 1) підрізка торцю –  $t = 2$  мм;
- 2) свердління –  $t = 6.3/2 = 3.15$  мм.

Розраховуємо подачу для свердління:

$$S_{0p} = S_{0T} \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (3.22)$$

де  $S_T$  – табличне значення подачі,  $S_T = 0,06$  мм/об [8].

$K_1$  – поправочний коефіцієнт на величину подачі в залежності від матеріалу оброблюваної деталі  $K_1 = 1$  [14];

$K_2$  – поправочний коефіцієнт на величину подачі в залежності від виду обробки,  $K_2 = 1$  [14].

$$S_{\text{свер.}} = 0.06 \cdot 1.0 = 0.06 \text{ мм/об}$$

Приймаєм  $S_{\text{свер.}} = 0.06$  мм/об

Для підрізки торцю:

де  $S_T$  – табличне значення подачі,  $S_T = 0,035$  мм/об [14].

$K_1$  – поправочний коефіцієнт на величину подачі в залежності від матеріала оброблюваної деталі  $K_1 = 1,25$  [14];

$K_2$  – поправочний коефіцієнт на величину подачі в залежності від виду обробки,  $K_2 = 0,95$  [14].

$$S_{\text{підр.}} = 0.35 \cdot 1.25 \cdot 0.95 = 0.42 \text{ мм/об}$$

Приймаємо  $S_{\text{підр.}} = 0.5 \text{ мм/об}$ .

Визначимо швидкість різання для фрезерування торцю:

$$V_P = V_T \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \dots \cdot K_n \quad (3.23)$$

де  $K_{1v}$  – коефіцієнт, який залежить от охолодження,  $K_{1v} = 1$  [15];

$K_{2v}$  – коефіцієнт, який залежить від кута в плані,  $K_{2v} = 0.8$  [15];

$K_{3v}$  – коефіцієнт, який залежить від стану оброблюваної поверхні,  $K_{3v} = 1$  [15];

$K_{4v}$  – коефіцієнт який залежить від відношення діаметрів заготовки та деталі,  $K_{4v} = 1$  [15];

$K_{5v}$  – коефіцієнт, який залежить від матеріалу ріжучої частини інструменту,  $K_{5v} = 1$  [15];

$K_{6v}$  – коефіцієнт, який залежить від твердості оброблюваного матеріалу,  $K_{6v} = 1$  [15];

$K_{7v}$  – коефіцієнт, який залежить від глибини різання,  $K_{7v} = 1$  [15];

$K_{8v}$  – коефіцієнт, який залежить від подачі,  $K_{8v} = 0.83$  [15];

$K_{9v}$  – коефіцієнт, який залежить від стійкості інструменту,  $K_{9v} = 0.87$  [15];

$K_{10v}$  – коефіцієнт, який залежить від виду обробки,  $K_{10v} = 1.1$  [15].

$$V_{p1} = 150.2 \cdot 1 \cdot 0.8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.1 \cdot 0.83 \cdot 1 \cdot 0.87 \cdot 1.1 = 105 \text{ м/хв}$$

Для свердління:

де  $K_{1v}$  – коефіцієнт, який залежить от охолодження,  $K_{1v} = 0,55$  [15];

$K_{2v}$  – коефіцієнт, який залежить від кута в плані,  $K_{2v} = 1,25$  [15];

$K_{3v}$  – коефіцієнт, який залежить від стану оброблюваної поверхні,  $K_{3v} = 1,15$  [15];

$K_{4v}$  – коефіцієнт який залежить від відношення діаметрів заготовки та деталі,  $K_{4v}=1$  [15];

$K_{5v}$  – коефіцієнт, який залежить від матеріалу ріжучої частини інструменту,  $K_{5v}=1,85$  [15];

$K_{6v}$  – коефіцієнт, який залежить від твердості оброблюємого матеріалу,  $K_{6v}=0,82$  [15];

$K_{7v}$  – коефіцієнт, який залежить від глибини різання,  $K_{7v}=1$  [15];

$K_{8v}$  – коефіцієнт, який залежить від подачі,  $K_{8v}=0,83$  [15];

$K_{9v}$  – коефіцієнт, який залежить від стійкості інструменту,  $K_{9v}=1$  [15].

$$V_{p2} = 10,2 \cdot 0,55 \cdot 1,25 \cdot 1,15 \cdot 1 \cdot 1,85 \cdot 0,82 \cdot 1 \cdot 0,83 = 10,2 \text{ м/хв}$$

Визначимо частоту обертання при свердлінні:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} \quad (3.24)$$

$$n_{\text{свер.}} = 1000 \cdot 10,2 / 3,14 \cdot 6,3 = 515 \text{ об/хв}$$

Приймаємо  $n=500$  об/хв.

Для фрезерування торцю:

$$n_{\text{фр.}} = 1000 \cdot 10,2 / 3,14 \cdot 100 = 334 \text{ об/хв}$$

Приймаємо  $n=350$  об/хв

Визначимо дійсну швидкість різання для свердління:

$$V_d = \frac{n \cdot \pi \cdot d}{1000} \quad (3.25)$$

$$V = 3,14 \cdot 6,3 \cdot 350 / 1000 = 9,8 \text{ м/хв}$$

Для фрезерування торцю:

$$V = 3,14 \cdot 100 \cdot 350 / 1000 = 110 \text{ м/хв}$$

Визначимо основний час обробки:

$$T_0 = \frac{L_{\text{рх}}}{n \cdot S} \quad (3.26)$$

$$L_{\text{р.х}} = L_{\text{рез.}} + L \quad (3.27)$$

де  $L_{\text{рез}}$  – довжина різання;

$L$  – підвід, врізання та перебіг інструменту.

$$T_{\text{осн фрез}} = 27 / 350 \cdot 0,5 = 0,15 \text{ хв}$$

$$T_{\text{осн свер}} = 15 / 500 \cdot 0,06 = 0,5 \text{ хв}$$

$$T_{\text{осн.}} = 0,15 + 0,5 = 0,65 \text{ хв}$$

### 3.6.2 Операція 020 – токарна з ЧПК

На даній операції виконується чорнове точіння деталі на токарному верстаті з ЧПК 16К30ФС353. Операційний ескіз операції 020 наведений на рис. 3.6. В якості пристосування використовується патрон трьохкулачковий. Технічна характеристика верстата:

- 1) Найбільший діаметр оброблюваної деталі, мм:
  - при встановленні над станиною – 630;
  - при встановленні над супортом – 320;
- 2) Найбільша довжина обробки, мм – 1400;
- 3) Діаметр отвору у шпинделі, мм – 71;
- 4) Кількість інструментів – 4;
- 5) Частота обертання, шпинделя, об/хв – 6,3...1600;
- 6) Подачі, мм/хв:
  - Поздовжні – 0,01...20;

- Поперечні – 0,01 – 20;
- 7) Максимальна робоча подача, мм/хв:
  - Поздовжня – 2000;
  - Поперечна – 1100;
- 8) Максимальна швидкість (повздовжньої/поперечної) подачі, мм/хв – 2400;
- 9) Потужність головного електродвигуна, кВт – 22.

Інструмент: різець підрізний упорний 2112-0006  $\varphi=95^\circ, \alpha=10^\circ, \gamma=8^\circ$ ;  
 $r=0,5$  мм, 25x20x140, Т15К6 ГОСТ 18880-73 [13].

Глибина різання:

$$h = \frac{D_{\text{заг}} - D_{\text{дет}}}{2}, \quad (3.28)$$

де  $D_{\text{заг}}$  – розмір заготовки, мм;

$D_{\text{дет}}$  – операційний розмір деталі, мм.

$$h = \frac{55.1 - 50.8}{2} = 2,15 \text{ мм}$$

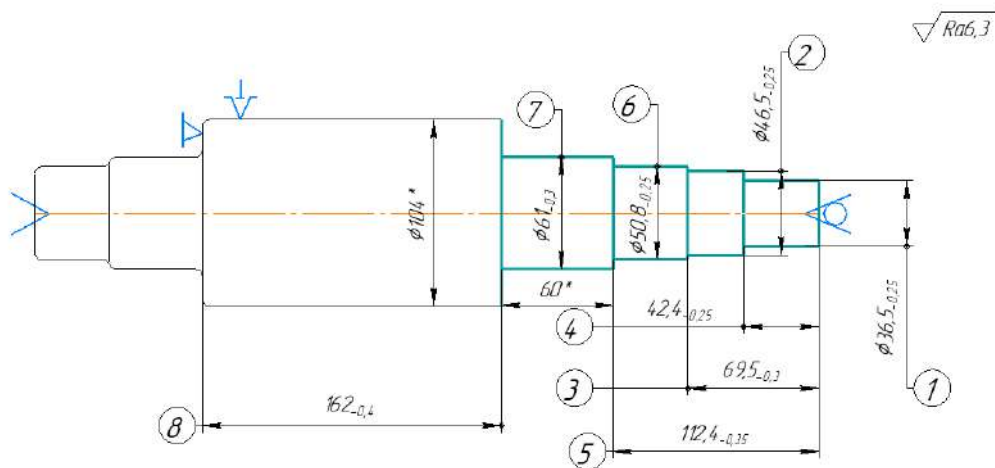


Рисунок 3.6 – Операційний ескіз

Глибина різання одного проходу:

$$t = \frac{h}{i}, \quad (3.29)$$

де  $h$  – припуск на обробку, мм;

$i=2$  – кількість проходів.

$$t = \frac{2,15}{2} = 1,07 \text{ мм}$$

Розрахуємо подачу за формулою (3.22):

де  $S_{0T}$  – табличне значення подачі,  $S_{0T} = 0,47 \text{ мм/об}$  [15];

$K_S$  – поправочний коефіцієнт на подачу  $K_S = 0,8$  [15];

$K_{Sp}$  – коефіцієнт, що враховує установку деталі  $K_{Sp}=1$  [15];

$K_{Si}$  – коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої пластини  $K_{Si} = 1$  [15];

$K_{Sn}$  – коефіцієнт, що враховує квалітет обробки  $K_{Sn}=1$  [15];

$K_{Sm}$  – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу  $K_{Sm}=1$  [15];

$K_{Sl}$  – коефіцієнт, що враховує радіус вершини різця  $K_{Sl} = 1$  [15];

$K_{Se}$  – коефіцієнт, що враховує геометрію різця  $K_{Se} = 1$  [15].

$$S_0 = 0,47 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,37 \text{ мм/об}$$

Приймаємо за паспортом верстата  $S_0 = 0,4 \text{ мм/об}$ .

Швидкість різання розраховується за формулою (3.25):

де  $V_T$  – табличне значення швидкості різання [15];

$K_{Vm}$  – коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал, [15];

$K_{Vi}$  – коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої пластини, [15];

$K_{Vj}$  – коефіцієнт, що враховує жорсткість верстата [15];

$K_{Vo}$  – коефіцієнт, що враховує вид обробки [15];

$K_{VT}$  – коефіцієнт, що враховує період стійкості інструмента [15];

$K_{VNB}$  – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу [15];

$K_{Ve}$  – коефіцієнт, що враховує геометрію різця [15];

$K_{Vж}$  – коефіцієнт, що враховує роботу з охолодженням [15]..

$$K_V = 0,85 \cdot 0,6 \cdot 0,7 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,22$$

$$V = 487 \cdot 0,22 = 109 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя  $n$ , об/хв розраховується за формулою (3.24):

$$n = \frac{1000 \cdot 109}{3,14 \cdot 106} = 327 \text{ об/хв}$$

Приймаємо фактичну частоту обертання шпинделя верстата згідно паспорту  $n_d=300$  об/хв.

Дійсна швидкість різання  $V_d$ , м/хв розраховується за формулою (3.25):

$$V_d = \frac{300 \cdot 3,14 \cdot 104}{1000} = 100 \text{ м/хв}$$

Довжина робочого ходу:

$$L_{px} = l_{обр} + l_{вр} + l_{пер}, \quad (3.30)$$

де  $l_{обр}$  – довжина обробки, мм;

$l_{вр}$  – величина врізання [14];

$l_{пер}$  – перебігу [14].

$$L_{px} = 2 + 42,4 + 5 + 27,1 + 2,1 + 42,9 + 5,1 + 60 + 22,5 + 2 = 211,1 \text{ мм}$$

Основний час:

$$t_o = \frac{L_{px}}{S_o \cdot n} \cdot i, \text{ хв} \quad (3.31)$$

$$t_o = \frac{211,1}{0,4 \cdot 300} \cdot 2 = 3,5 \text{ хв}$$

### 3.6.3 Операція 040 – фрезерна з ЧПК

При виконанні пазу використовуємо вертикально-фрезерний верстат з ЧПК VF-2SSYT. Операційний ескіз представлено на рис. 3.7. Технічні характеристики верстата:

- 1) найбільше переміщення столу:
  - вісь X – 762 мм;
  - вісь Y – 508 мм;
  - вісь Z – 508 мм;
- 2) конус шпинделя – CN40;
- 3) діапазон частот обертання шпинделя, об/хв – 50...12000;
- 4) розмір столу, мм – 700х420
- 5) повздовжня та поперечна подача столу, мм/хв – 21,2...35,6;
- 6) потужність двигуна – 22,4 кВт;

Інструмент: кінцева фреза D=10 мм, z=4, L=63 мм P6M5 за ГОСТ 17025-71 [13].

Подача:  $Sz_{\text{табл}}=0,022$  мм/зуб [13].

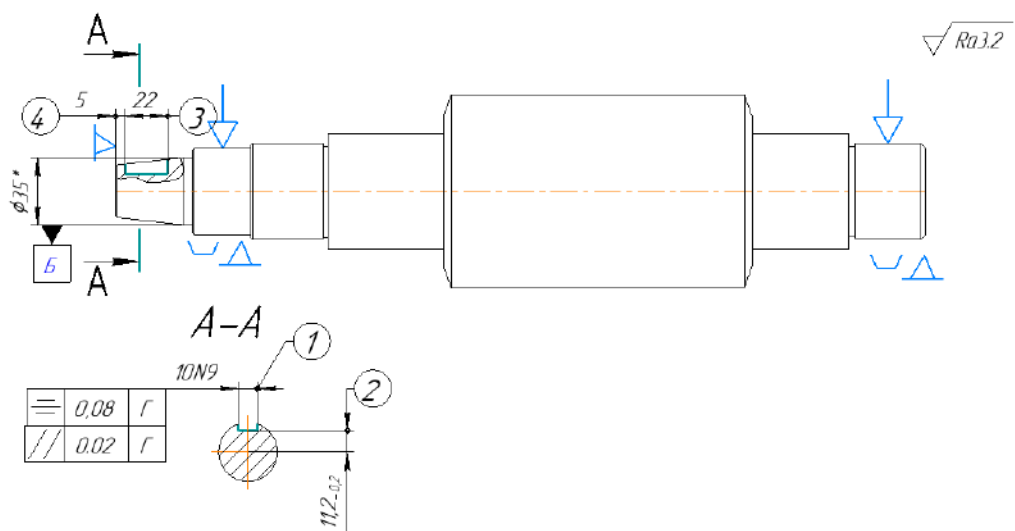


Рисунок 3.7 – Операційний ескіз

Глибина різання та кількість проходів:  $t=2,3;2;2$  мм,  $i=3$ .

Розраховуємо швидкість різання:

$$V_p = \frac{C_v \cdot D_\phi^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_{zy} \cdot B^u \cdot z^p} \cdot K_{VM} \cdot K_{VI} \cdot K_{VPI}, \text{ м/хв} \quad (3.32)$$

де  $C_v, q, x, y, u, p, m$  – показники ступеня [13];

$K_{VM}$  – коефіцієнт оброблюваності матеріалу [13];

$K_{VI}$  – коефіцієнт, враховуючий властивості матеріалу ріжучої частини інструмента [13];

$K_{VPI}$  – коефіцієнт, враховуючий стан поверхні заготовки [13];

$T$  – період стійкості інструменту [13];

$D_\phi$  – діаметр фрези.

$$K_{VM} = \left( \frac{750}{\sigma_B} \right)^n = \left( \frac{750}{650} \right)^{0.9} = 1.13 \quad (3.33)$$

$$V_p = \frac{12 \cdot 10^{0.3}}{80^{0.26} \cdot 2,3^{0.3} \cdot 0,022^{0.25} \cdot 8^0 \cdot 4^0} \cdot 1,13 \cdot 1 \cdot 1 = 21 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя за формулою (3.24):

$$n = \frac{1000 \cdot 21}{3,14 \cdot 10} = 668 \text{ об/хв}$$

Приймаємо по паспорту верстата:  $n_d=630$  об/хв.

Дійсну швидкість різання розраховуємо за формулою (3.25):

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 10 \cdot 630}{1000} = 19,8 \text{ м/хв}$$

Визначаємо хвилинну подачу інструменту за формулою:

$$S_M = S_z \cdot n \cdot z \quad (3.34)$$

$$S_{M \text{ ПОВЗ}} = 0,022 \cdot 630 \cdot 4 = 55 \text{ мм/хв}$$

Обираємо за паспортом верстата  $S_{M \text{ ПОВЗ}} = 50 \text{ мм/хв}$ .

Визначення машинного часу:

$$t_o = \frac{l+l_1}{s} \cdot i, \text{ хв} \quad (3.35)$$

де  $l$  – довжина фрезерування, мм;

$l_1$  – довжина врізання, мм;

$$l_1 = 0,5 \cdot D_\phi \cdot \sin \left( \arccos \left( 1 - \frac{2 \cdot t}{D_\phi} \right) \right), \text{ мм} \quad (3.36)$$

$$l_1 = 0,5 \cdot 10 \cdot \sin \left( \arccos \left( 1 - \frac{2 \cdot 2,3}{10} \right) \right) = 5,5 \text{ мм};$$

$$t_o = \frac{5,5+2,3+2+2}{50} + \frac{22-10}{50} \cdot 3 = 0,95 \text{ хв.}$$

### 3.6.4 Операція 100– шліфувальна

Шліфування виконуємо на круглошліфувальний верстат 3А151, в якості інструменту використовуємо шліфувальний круг 1 600х63х305 15А 40Н СТ1 6 К8 А 45 м/с ГОСТ 2424-83. Операційний ескіз зображено на рис. 3.8. Пристосування – центри, хомутик повідковий. Технічні характеристики верстата:

- 1) найбільший діаметр оброблюваної заготовки – 200мм;
- 2) найбільша довжина оброблюваної заготовки – 700 мм;
- 3) частота обертання круга – 1272об/хв;
- 4) частота обертання шпинделя (безступінчаста) – 63...400 об/хв;
- 5) потужність – 7,5 кВт.

Глибина різання:

$$t=2z_{max}/2 \quad (3.37)$$

де  $2z_{max}$  – припуск,  $2z_{max}=0,075$  мм (таблиця 3.4).

$$t=0,075/2=0,037 \text{ мм}$$

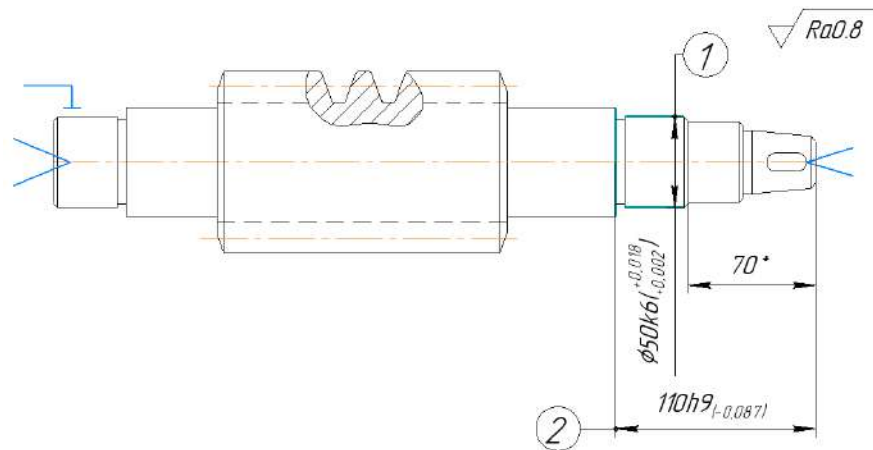


Рисунок 3.8 – Операційний ескіз

Подача радіальна розраховуємо по формулі (3.22), (3.23):

де  $S_T$  – табличне значення подачі  $S_T=0,008$  мм/об [14];

$K_D$  – коефіцієнт враховуючий діаметр круга  $K_D=0,9$  [14];

$K_R$  – поправочний коефіцієнт враховуючий радіус галтелі  $K_R=0,85$  [14];

$K_T$  – поправочний коефіцієнт враховуючий стійкість круга  $K_T=1,0$  [14];

$K_h$  – поправочний коефіцієнт враховуючий припуск на обробку  $K_h=1,0$  [14];

$K_{IT}$  – коефіцієнт враховуючий квалітет виконання розміру  $K_{IT}=0,8$  [14];

$K_M$  – поправочний коефіцієнт враховуючий матеріал деталі  $K_M=1,0$  [14].

$$S_{\text{поп}} = 0,008 \cdot 0,9 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 0,0048 \text{ мм/об}$$

Обираємо з паспорту верстату:  $S_{\text{рад}}=0,005$  мм/об.

Табличне значення швидкості різання:

- для круга –  $V_{\text{ш.кр.}}=45$  м/с [14];

- для деталі –  $V_{\text{ш.дет.}}=50$  м/хв [14].

Частоту обертання розраховуємо за формулою:

$$n_{\text{дет.}}^p = \frac{1000 \cdot V_{\text{ш.дет}}}{\pi \cdot d}, \text{ об/хв} \quad (3.38)$$

$$n_{\text{дет.}}^p = \frac{1000 \cdot 50}{3,14 \cdot 50} = 318 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо за паспортом верстату:  $n_{\text{дет.}}=300$  об/хв.

Фактичну швидкість різання розраховуємо за формулою (3.25):

$$V_{\text{ш.кр.}} = \frac{3,14 \cdot 600 \cdot 1272}{1000 \cdot 60} = 40 \text{ м/с;}$$

$$V_{\text{дет.}} = \frac{3,14 \cdot 50 \cdot 300}{1000} = 47 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо основний час:

$$T_0 = \frac{z \cdot k}{n_{\text{дет.}} \cdot S_{\text{поп}}}, \text{ хв} \quad (3.39)$$

де  $k=1,7$  – коефіцієнт уточнення.

$z$  – припуск під шліфування, мм.

$$T_0 = \frac{0,037 \cdot 1,7}{300 \cdot 0,005} = 0,05 \text{ хв.}$$

Результати розрахунку режимів різання для решти операцій приведено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Результати розрахунку режимів різання та норм часу

| Номер та назва операції   | Номер переходу | Режими різання           |                        |                    |                              |                                      |
|---------------------------|----------------|--------------------------|------------------------|--------------------|------------------------------|--------------------------------------|
|                           |                | глибина різання $t$ , мм | кількість проходів $i$ | подача $S$ , мм/об | швидкість різання $V$ , м/хв | частота обертів шпинделя $n$ , об/хв |
| 1                         | 2              | 3                        | 4                      | 5                  | 6                            | 7                                    |
| 015 Фрезерно-центрувальна | 01             | 2                        | 1                      | 0,5                | 350                          | 110                                  |
|                           | 02             | 3,15                     | 1                      | 0,06               | 500                          | 9,8                                  |
| 020 Токарна з ЧПК         | 01             | 1,07                     | 2                      | 0,4                | 100                          | 300                                  |
| 025 Токарна з ЧПК         | 01             | 1,5                      | 2                      | 0,4                | 100                          | 300                                  |
| 030 Токарна з ЧПК         | 01             | 0,5                      | 2                      | 0,2                | 120                          | 400                                  |

## Продовження таблиці 3.7

| 1                     | 2  | 3     | 4 | 5     | 6     | 7        |
|-----------------------|----|-------|---|-------|-------|----------|
|                       | 02 | 5     | 1 | 0,1   | 120   | 700      |
| 035 Токарна з ЧПК     | 01 | 0,5   | 2 | 0,2   | 120   | 400      |
|                       | 02 | 5     | 1 | 0,1   | 120   | 700      |
| 040 Фрезерна з ЧПК    | 01 | 2,3   | 3 | 50    | 19,8  | 630      |
| 045 Зубофрезерна      | 01 | 18    | 3 | 40    | 35    | 500      |
| 070 Круглошліфувальна | 01 | 0,5   | 1 | 0,005 | 40/47 | 1272/300 |
| 075 Круглошліфувальна | 01 | 0,5   | 1 | 0,005 | 40/45 | 1272/350 |
| 080 Круглошліфувальна | 01 | 0,5   | 1 | 0,005 | 40/42 | 1272/400 |
| 085 Круглошліфувальна | 01 | 0,5   | 1 | 0,005 | 40/43 | 1272/300 |
| 090 Круглошліфувальна | 01 | 0,2   | 1 | 0,005 | 40/45 | 1272/350 |
| 095 Круглошліфувальна | 01 | 0,1   | 1 | 0,005 | 40/44 | 1272/350 |
| 100 Круглошліфувальна | 01 | 0,037 | 1 | 0,005 | 40/44 | 1272/400 |
| 105 Круглошліфувальна | 01 | 0,2   | 1 | 0,005 | 40/45 | 1272/500 |
| 110 Зубошліфувальна   | 01 | 0,5   | 1 | 0,005 | 50/15 | 1500/450 |

## 3.7 Технічне нормування операцій

## 3.7.1 Технічне нормування фрезерно-центрувальної операції 015

Допоміжний час на операцію:

$$t_{\text{доп}} = t_{\text{вст}} + t_{\text{уп}} + t_{\text{пр.рух.}} + t_{\text{контр}}, \quad (3.40)$$

де  $t_{\text{вст}}$  – час на встановлення та зняття деталі  $t_{\text{вст}} = 0,5$  хв [16];

$t_{\text{уп}}$  – час на управління верстатом  $t_{\text{уп}} = 0,21$  хв [16];

$t_{\text{пр.рух.}}$  – час пришвидшених рухів  $t_{\text{пр.рух.}} = 0,8$  хв [16];

$t_{\text{контр}}$  – час на контроль деталі,  $t_{\text{контр}} = 0,35$  хв [16].

$$t_{\text{доп}} = 0,5 + 0,21 + 0,8 + 0,35 = 1,86 \text{ хв}$$

Оперативний час:

$$t_{\text{оп}} = t_0 + t_{\text{доп}} \quad (3.41)$$

$$t_{оп} = 0,65 + 1,86 = 2,51 \text{ хв}$$

Додатковий час:

$$t_{дод} = t_{оп} \cdot \alpha \quad (3.42)$$

де  $\alpha$  – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби,  $\alpha = 10\%$  [16].

$$t_{дод} = 2,51 \cdot 0,1 = 0,25 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі:

$$t_{шт} = t_{оп} + t_{дод} \quad (3.43)$$

$$t_{шт} = 2,51 + 0,25 = 2,76 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час для обробки партії деталей розраховується за формулою :

$$t_{пз} = t_{пз1} + t_{пз2} \quad (3.44)$$

де  $t_{пз1}$  – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни,  $t_{пз1} = 18 \text{ хв}$  [16];

$t_{пз2}$  – час на додаткові прийоми,  $t_{пз2} = 8 \text{ хв}$  [16].

$$t_{пз} = 18 + 8 = 26 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (3.45):

$$t_{шт-к} = 2,76 + \frac{26}{100} = 3,02 \text{ хв}$$

### 3.7.2 Технічне нормування токарної операції 020

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (3.40):

де  $t_{\text{вст}}$  – час на встановлення та зняття деталі  $t_{\text{вст}} = 0,4$  хв [16];

$t_{\text{мд}}$  – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь  $t_{\text{мд}} = 0,45$  хв [16];

$t_{\text{контр}}$  – час на вимірювання  $t_{\text{контр}} = 0,1$  хв [16].

$$t_{\text{доп}} = 0,4 + 0,45 + 0,1 = 0,85 \text{ хв.}$$

Оперативний час розраховується за формулою (3.41):

$$t_{\text{оп}} = 3,5 + 0,85 = 4,35 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (3.42):

де  $\alpha$  – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби,  $\alpha = 10\%$  [16].

$$t_{\text{дод}} = 4,35 \cdot 0,1 = 0,43 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (3.43):

$$t_{\text{шт}} = 4,35 + 0,43 = 4,78 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (3.44):

де  $t_{\text{пз1}}$  – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни  $t_{\text{пз1}} = 13$  хв [16];

$t_{\text{пз2}}$  – час на додаткові прийоми,  $t_{\text{пз2}} = 12$  хв [16].

$$t_{\text{пз}} = 13 + 12 = 25 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (3.45):

$$t_{\text{шт-к}} = 4,78 + \frac{25}{100} = 5,03 \text{ хв}$$

### 3.7.3 Технічне нормування фрезерної операції 040

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (3.40):

де  $t_{\text{вст}}$  – час на встановлення та зняття деталі  $t_{\text{вст}} = 0,4$  хв [16];

$t_{\text{мд}}$  – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь  $t_{\text{мд}} = 0,5$  хв [16];

$t_{\text{контр}}$  – час на вимірювання  $t_{\text{контр}} = 0,12$  хв [16].

$$t_{\text{доп}} = 0,4 + 0,5 + 0,12 = 1,02 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою (3.41):

$$t_{\text{оп}} = 0,95 + 1,02 = 1,97 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (3.42):

де  $\alpha$  – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби,  $\alpha = 10\%$  [16].

$$t_{\text{дод}} = 1,97 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (3.43):

$$t_{\text{шт}} = 1,97 + 0,2 = 2,17 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (3.47):

де  $t_{пз1}$  – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни  $t_{пз1} = 12$  хв [16];

$t_{пз2}$  – час на додаткові прийоми,  $t_{пз2} = 10$  хв [16].

$$t_{пз} = 12 + 10 = 22 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (3.44):

$$t_{шт-к} = 2,17 + \frac{22}{100} = 2,39 \text{ хв}$$

### 3.7.4 Технічне нормування шліфувальної операції 100

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (3.43):

де  $t_{вст}$  – час на встановлення та зняття деталі  $t_{вст} = 0,3$  хв [16];

$t_{мд}$  – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь  $t_{мд} = 0,73$  хв [16];

$t_{контр}$  – час на контроль деталі,  $t_{контр} = 0,11$  хв [16].

$$t_{доп} = 0,3 + 0,73 + 0,11 = 1,14 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою (3.46):

$$t_{оп} = 0,05 + 1,14 = 1,19 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (3.47):

де  $\alpha$  – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби,  $\alpha = 10\%$  [16].

$$t_{\text{дод}} = 1,19 \cdot 0,1 = 0,12 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (3.48):

$$t_{\text{шт}} = 1,19 + 0,12 = 1,31 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (3.49):

де  $t_{\text{пз1}}$  – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни  $t_{\text{пз1}} = 10 \text{ хв}$  [16];

$t_{\text{пз2}}$  – час на додаткові прийоми, що не ввійшли в комплекс  $t_{\text{пз2}} = 12 \text{ хв}$  [16];

$t_{\text{пз3}}$  – час на пробну обробку деталі  $t_{\text{пз3}} = 5 \text{ хв}$  [16].

$$t_{\text{пз}} = 10 + 12 + 5 = 27 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (3.50):

$$t_{\text{шт-к}} = 1,31 + \frac{27}{100} = 1,58 \text{ хв}$$

Результати розрахунків для решти операцій наведено в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Зведена таблиця норм часу

| Номер та назва операції   | $t_0$ , хв | $t_{\text{доп}}$ , хв | $t_{\text{дод}}$ , хв | $t_{\text{шт}}$ , хв | $t_{\text{пз}}$ , хв | $t_{\text{шт-к}}$ , хв |
|---------------------------|------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|------------------------|
| 1                         | 2          | 3                     | 4                     | 5                    | 6                    | 7                      |
| 015 Фрезерно-центрувальна | 0,65       | 1,86                  | 0,25                  | 2,76                 | 26                   | 3,02                   |
| 020 Токарна з ЧПК         | 3,5        | 0,85                  | 0,43                  | 4,78                 | 25                   | 5,03                   |
| 025 Токарна з ЧПК         | 4,5        | 0,85                  | 0,54                  | 5,89                 | 25                   | 6,14                   |
| 030 Токарна з ЧПК         | 6,8        | 0,85                  | 0,77                  | 8,42                 | 25                   | 8,67                   |
| 035 Токарна з ЧПК         | 7,8        | 0,85                  | 0,87                  | 9,52                 | 25                   | 9,77                   |
| 040 Фрезерна з ЧПК        | 0,95       | 1,02                  | 0,20                  | 2,17                 | 22                   | 2,39                   |
| 045 Зубофрезерна          | 145        | 1,2                   | 14,62                 | 160,82               | 30                   | 161,12                 |
| 070 Круглошліфувальна     | 0,6        | 1,14                  | 0,17                  | 1,91                 | 27                   | 2,18                   |

## Продовження таблиці 3.8

| 1                     | 2    | 3    | 4    | 5     | 6  | 7     |
|-----------------------|------|------|------|-------|----|-------|
| 075 Круглошліфувальна | 0,5  | 1,14 | 0,16 | 1,80  | 27 | 2,07  |
| 080 Круглошліфувальна | 0,7  | 1,14 | 0,18 | 2,02  | 27 | 2,29  |
| 085 Круглошліфувальна | 0,8  | 1,14 | 0,19 | 2,13  | 27 | 2,40  |
| 090 Круглошліфувальна | 0,4  | 1,14 | 0,15 | 1,69  | 27 | 1,96  |
| 095 Круглошліфувальна | 0,2  | 1,14 | 0,13 | 1,47  | 27 | 1,74  |
| 100 Круглошліфувальна | 0,05 | 1,14 | 0,12 | 1,31  | 27 | 1,58  |
| 105 Круглошліфувальна | 0,15 | 1,14 | 0,13 | 1,42  | 27 | 1,69  |
| 110 Зубошліфувальна   | 85   | 1,14 | 8,61 | 94,75 | 20 | 94,95 |

## 3.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК

## 3.8.1 Операцію 035 – токарна

Керуючу програму (КП) розробимо для токарної операція 035 за допомогою програми Siemens.NX. 3D моделі деталі до та після обробки зображено на рис. 3.9, 3.10.



Рисунок 3.9 – Модель деталі після обробки



Рисунок 3.10 – Модель деталі до обробки

Задаємо систему координат верстату та деталі, накладаємо модель деталі на модель заготовки (рис. 3.11).

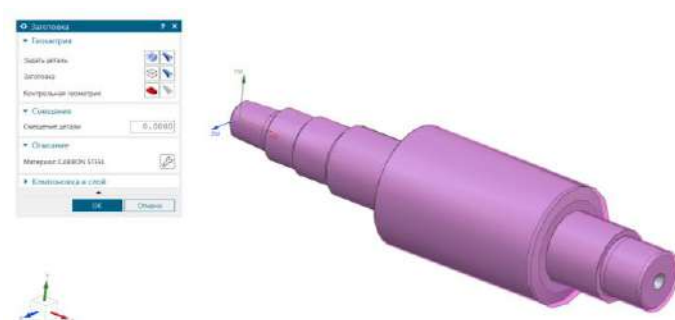


Рисунок 3.11 – Визначення умов обробки

Після цього генеруємо токарний переріз та визначаємо початкові точки руху інструменту (рис. 3.12).



Рисунок 3.12 – Токарний переріз

Створюємо прохідний та канавочний різці, необхідні для обробки (рис. 3.13).

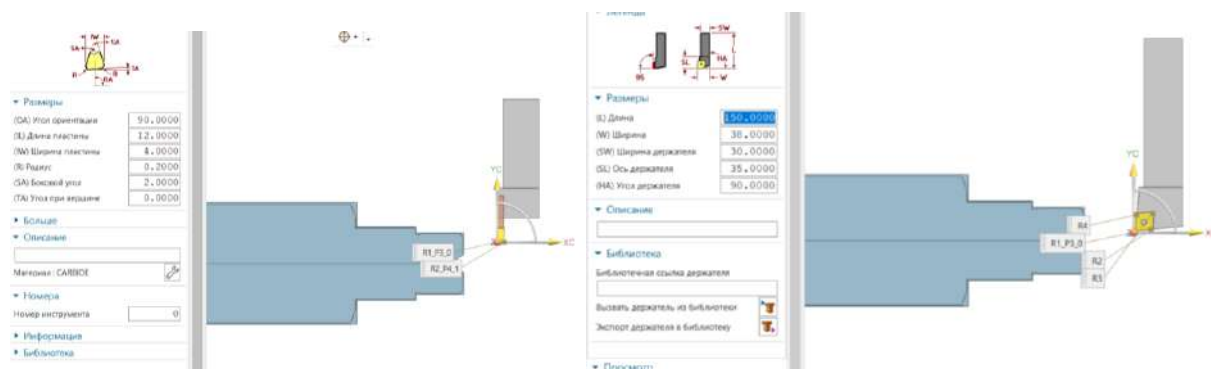


Рисунок 3.13 – Визначення інструменту

Створюємо перший перехід – чистове точіння (рис. 3.14) та робимо її візуалізацію (рис. 3.15).

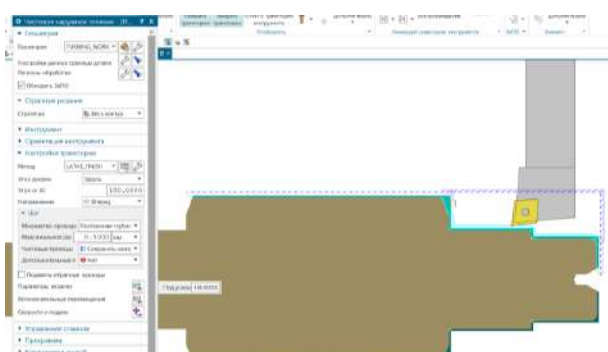


Рисунок 3.14 – Траєкторія обробки

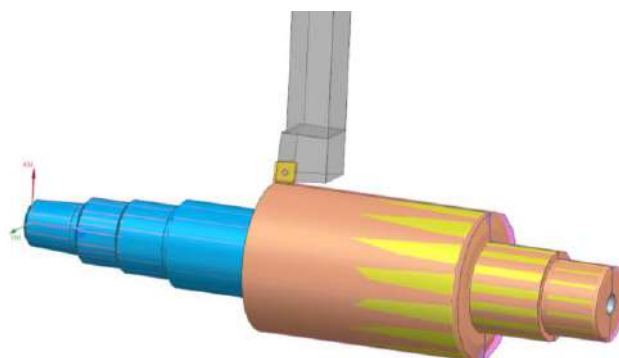


Рисунок 3.15 – Візуалізація обробки

Створюємо другий перехід – точіння канавки (рис. 3.16) та робимо візуалізацію обробки (рис. 3.17).

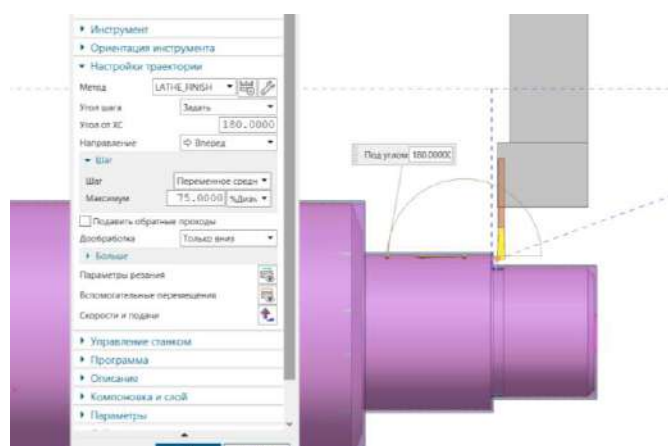


Рисунок 3.15 – Траєкторія обробки

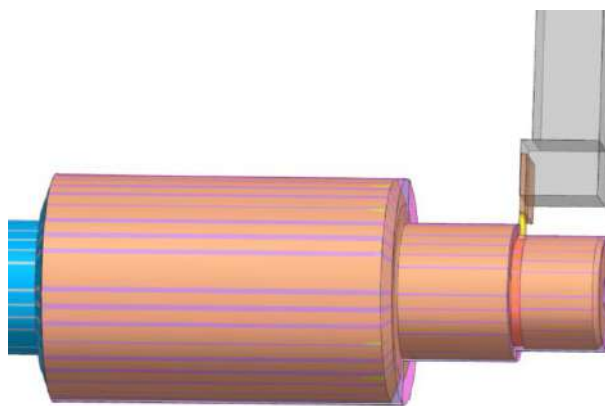


Рисунок 3.16 – Візуалізація обробки

### 3.8.2 Операція 040 – фрезерна

Для фрезерної операції 040 керуючу програму розробимо за допомогою програми Siemens.NX. 3D моделі деталі до та після обробки зображено на рис. 3.17, 3.18.



Рисунок 3.17 – 3D зображення деталі після обробки



Рисунок 3.18 – 3D зображення деталі до обробки



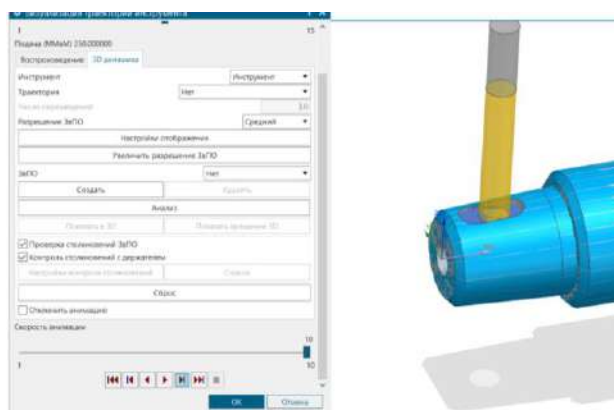


Рисунок 3.21 – Візуалізація обробки

### 3.8.3 Операція 030 – токарна

Для токарної операції 030 за допомогою програми Siemens.NX створимо керуючу програму. 3D моделі деталі до та після обробки зображено на рис. 3.22, 3.23.

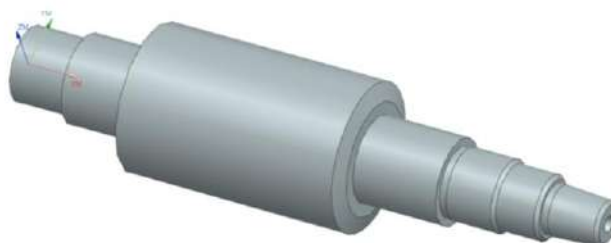


Рисунок 3.22 – 3D зображення деталі після обробки

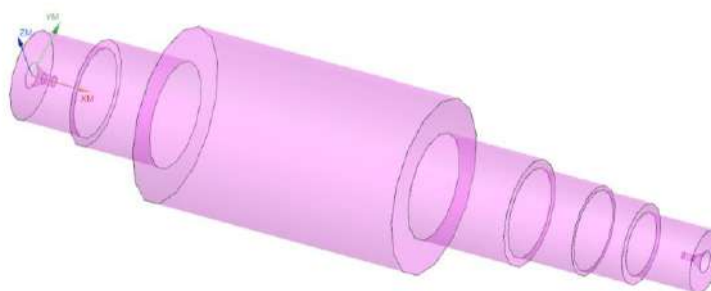


Рисунок 3.23 – 3D зображення деталі до обробки

Визначимо робочу геометрію, контрольну геометрію, деталь та заготовку, створимо необхідний інструмент (рис. 3.24).

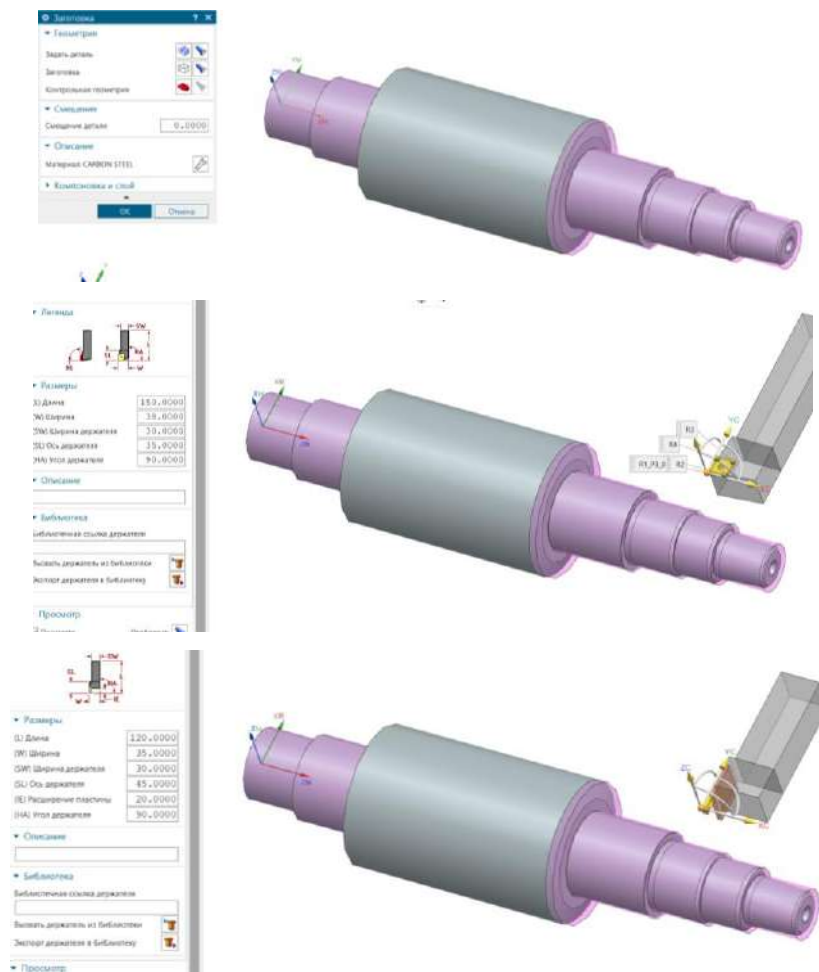


Рисунок 3.24 – Визначення робочої геометрії

Після цього генеруємо токарний переріз та визначаємо початкові точки руху інструменту (рис. 3.25).

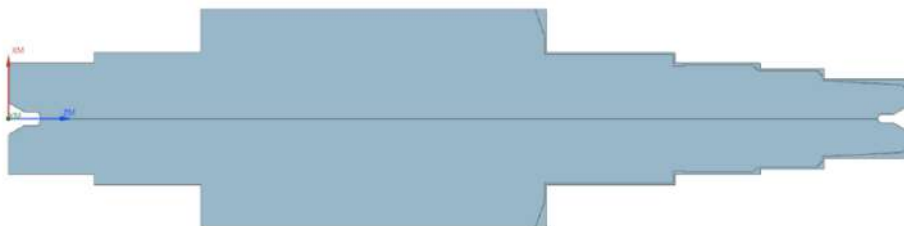


Рисунок 3.25 – Токарний переріз

Створюємо перший перехід – чистовое точіння (рис. 3.26) та робимо його візуалізацію (рис. 3.27).

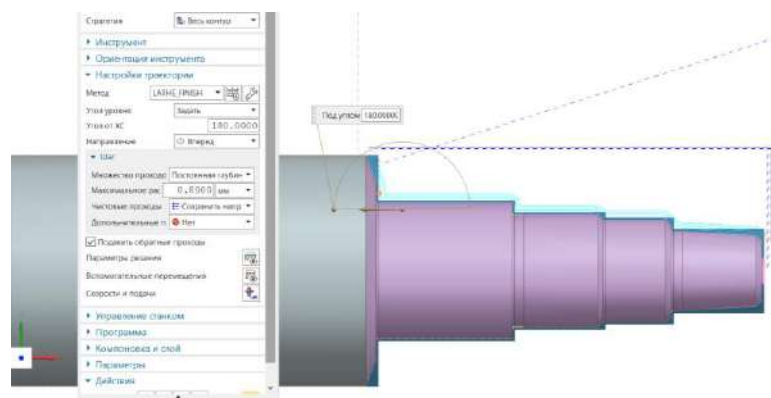


Рисунок 3.26 – Траектория обработки

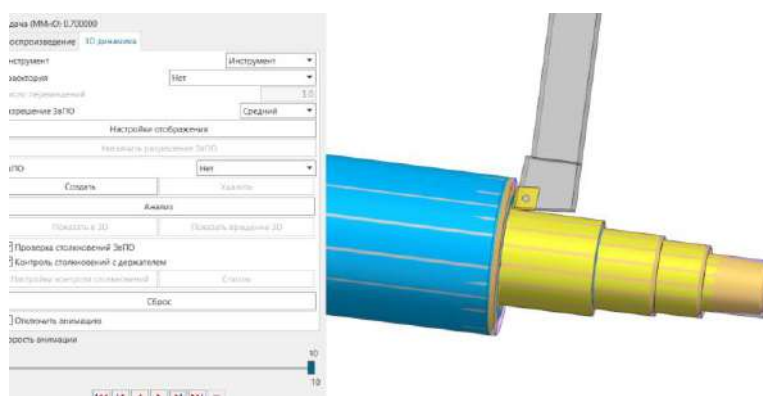


Рисунок 3.27 – Візуалізація обробки

Створюємо другий перехід – точіння канавки (рис. 3.28) та робимо візуалізацію обробки (рис. 3.29).

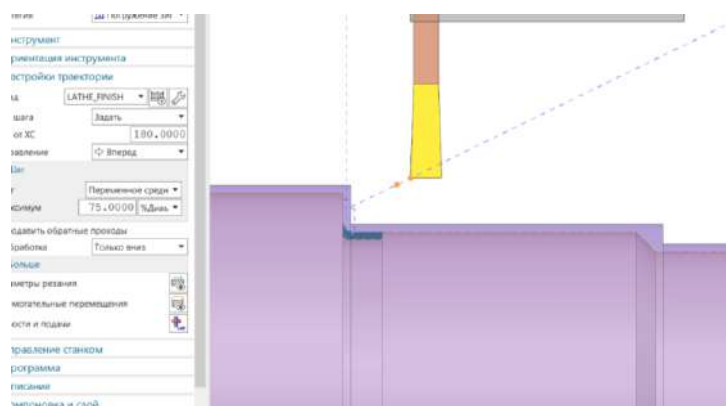


Рисунок 3.28 – Траектория обработки

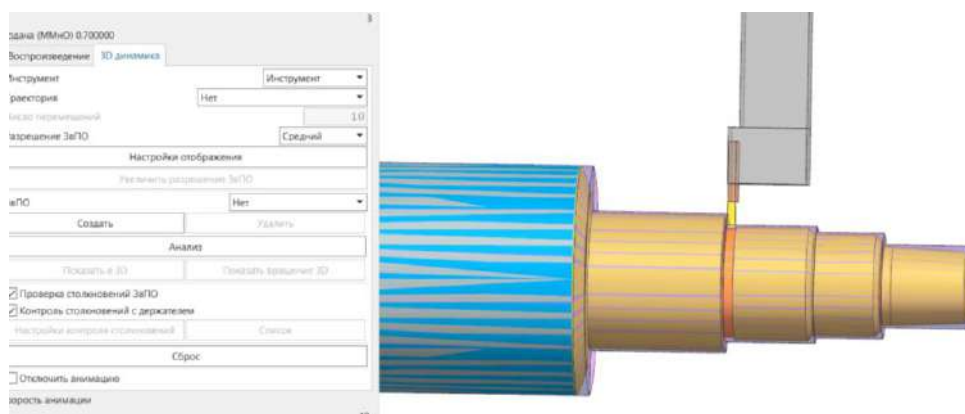


Рисунок 3.29 – Візуалізація обробки

## 4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 4.1 Проектування робочого пристосування

#### 4.1.1 Конструкція та принцип роботи робочого пристосування

Цей пристрій (рис. 4.1) призначений для фрезерування шпоного пазу в деталі «Черв'як». Заготівля, що обробляється, встановлюється на призми поз. 2, 12. Пневмоциліндр встановлений у корпусі призначений для створення зусилля затиску заготівлі. При переміщенні штока 3 вправо клин 8 тисне на важіль 6 через палець 10, який у свою чергу затискає заготівлю. Після закінчення обробки шток 3 пневмоциліндра переміщається вліво і відпускає важіль 6, який, за допомогою пружини 9, переміщає клин 8 вправо і звільняє оброблену деталь. Для налаштування фрези використовується установ 13.

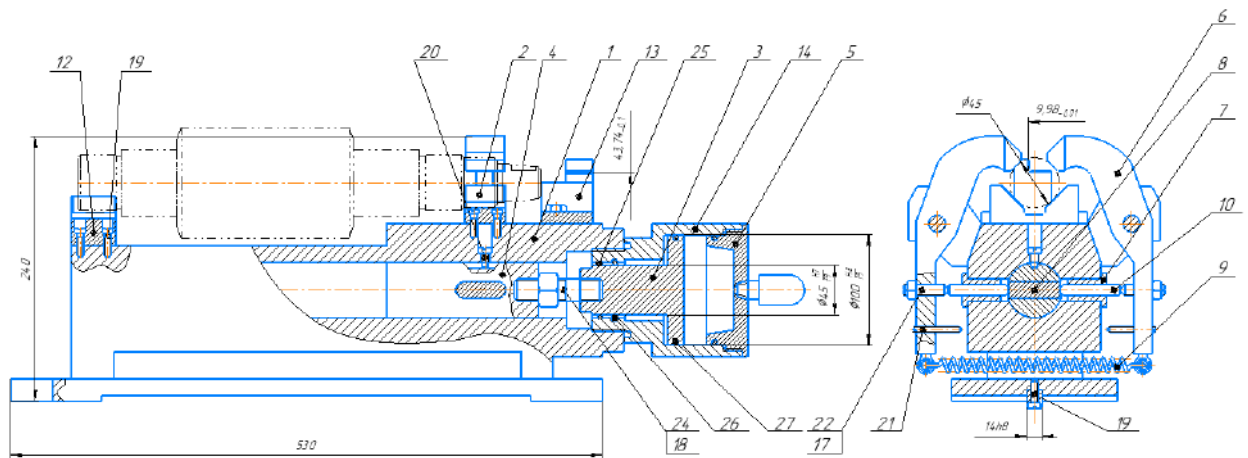


Рисунок 4.1 – Конструкція пристосування

4.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосування на точність.

Похибка встановлення розраховується за формулою [17]:

$$\varepsilon_{\text{вст}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{баз}}^2 + \varepsilon_{\text{зак}}^2} \quad (4.1)$$

де  $\varepsilon_{\text{баз}}$  – похибка базування;

$\varepsilon_{\text{закр}}$  – похибка закріплення

Деталь встановлюється на призму с кутом  $90^\circ$ , в якості установчої бази приймаємо  $\varnothing 45d9 \begin{smallmatrix} -0,080 \\ -0,142 \end{smallmatrix}$  (рис. 4.2).

Похибка базування [17]:

$$\varepsilon_{\text{баз}} = K_1 \cdot T_D \quad (4.2)$$

де  $T_D$  – допуск на діаметр базування;

$K_1 = 0,7$  – коефіцієнт.

$$\varepsilon_{\text{б}} = 0,7 \cdot 0,062 = 0,043 \text{ мм}$$

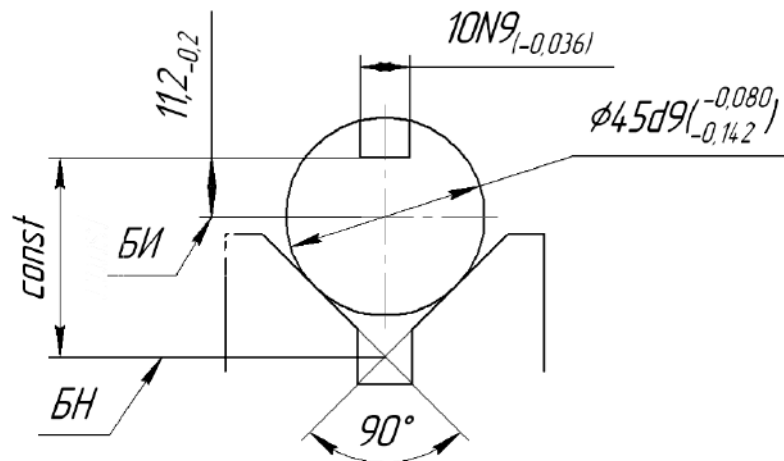


Рисунок 4.2 – Схема встановлення в призму

Похибка закріплення при встановленні в призму дорівнює 0,03 мм [17].

Похибка встановлення:

$$\varepsilon_y = \sqrt{0,043^2 + 0,03^2} = 0,05 \text{ мм}$$

Налаштування фрези на розмір обробки здійснюється за допомогою

установу. Щоб уникнути зносу основної поверхні установка користуються щупом. Розрахунок на точність фрезерних пристроїв полягає у визначенні виконавчих розмірів установ (рису 4.3).

Визначення номінального розміру установка:

$$A_{cp} = A + TA/2 = 11.2 - 0.2/2 = 11.1 \text{ мм}$$

$$D_{cp} = D + TD/2 = 49.92 - 0.062/2 = 49.889 \text{ мм}$$

$$R_{cp} = D_{cp}/2 = 49.889/2 = 29.944 \text{ мм}$$

$$B_{2cp} = R_{cp}/\sin 45 = 29.944/0.7 = 35.635 \text{ мм}$$

$$TB_{2cp} = \pm TD/4\sin 45 = \pm 0.062/4\sin 45 = \pm 0.022 \rightarrow \pm 0.02 \text{ мм}$$

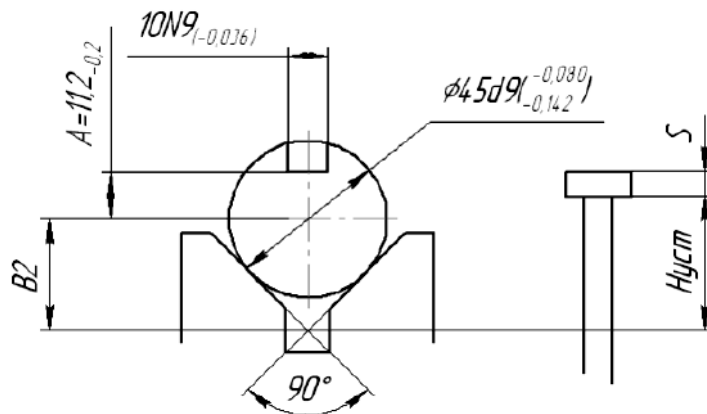


Рисунок 4.3 – Схема розрахунку на точність

$$S_{cp} = S - TS/2 = 3 - 0.006/2 = 2.997 \text{ мм}$$

$$H_{cp} = A_{cp} + B_{2cp} - S_{cp} = 11.1 + 35.635 - 2.997 = 43.74 \text{ мм}$$

Визначення допуску на установ [17]:

$$TH_{уст} \leq TA - (K_1 \cdot \varepsilon_{баз} + \varepsilon_{закр} + K_2 \cdot \omega) \quad (4.3)$$

де TA-допуск на размер обработки;

$K_1$  – коефіцієнт, враховуючий реальную похибку базування,  $K_1=0,8..0,85$  [17];

$K_2=0,6..0,65$  – коефіцієнт, враховуючий середню економічну точність обробки,  $K_2=0,6..0,65$  [17];

$\omega$  – середня економічна точність обробки,  $\omega=0,016\text{мм}$  [17].

$$TH_{уст} \leq 0,2 - (0,8 \cdot 0,043 + 0,03 + 0,6 \cdot 0,013) = 0,12 \rightarrow 0,1\text{мм}$$

#### 4.1.3 Розрахунок необхідного сили затиску. Вибір приводу

Визначимо осьову силу різання:

$$P_z = \frac{10C_p t^x S_z^y B^{n_z}}{D^q n^w} K_{mp}; \quad (4.4)$$

де  $y=0,7$ ;  $q=1$ ;  $C_p=68$  – коефіцієнти [15].

$K_{mp}$  – поправочний коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал.

$$K_{mp} = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^{0,75}; \quad (4.5)$$

$$K_{mp} = \left( \frac{540}{750} \right)^{0,75} = 0,78$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 2,3^{0,86} \cdot 0,022^{0,72} \cdot 10^1 \cdot 4}{10^{0,86} \cdot 630^0} \cdot 0,78 = 855\text{Н};$$

За методикою [18] (рис. 4.4) визначимо всі моменти та сили що діють в закріпленні:

$$\sum M_o = 0; T_1 = T_2 = T;$$

$$P_z(R-h/2) - 2T \cdot R = 0$$

$$T = f \cdot N$$

$$N = \frac{W}{2 \sin(\alpha/2)} \quad (4.6)$$

$$Pz(R - h/2) = f \frac{W}{\sin(\alpha/2)} R \quad (4.7)$$

$$W = \frac{Pz(R - \frac{h}{2}) \sin(\alpha/2)}{fR} \quad (4.8)$$

де  $f = 0,15$  – коефіцієнт тертя;

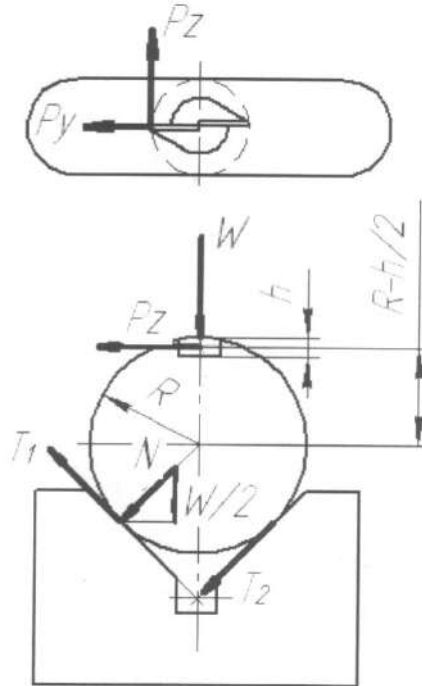


Рисунок 4.4 – Схема визначення сили закріплення

Дійсна сила закріплення:

$$W_d = W \cdot k \quad (4.9)$$

де  $k$  – коефіцієнт запасу закріплення.

Коефіцієнт запасу закріплення:

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6; \quad (4.10)$$

де  $k_0 = 1,5$  – гарантований коефіцієнт запасу [18];

$k_1 = 1$  – коефіцієнт нерівномірності сил різання через непостійність припуску, що знімається при обробці [18];

$k_2 = 1,7$  – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання від

прогресуючого затуплення інструменту [18].

$k_3=1,2$  – коефіцієнт, що враховує переривчастість різання [18];

$k_4=1$  – коефіцієнт, що враховує мінливість сил затиску, що розвиваються приводами [18];

$k_5=1$  – коефіцієнт, що враховує зручність розташування рукояток [18];

$k_6=1$  – коефіцієнт невизначеності положення місць контакту [18].

$$k=1,5 \cdot 1 \cdot 1,7 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2,55$$

Сила закріплення згідно формули (4.8), (4.9):

$$W = \frac{855 \left( 0,0225 - \frac{0,0113}{2} \right) \sin(90/2)}{0,15 \cdot 0,0225} = 3014H$$

$$W_d = 3014 \cdot 2,55 = 7687H$$

Визначаємо силу на штці пневмоциліндрі (рис. 4.5):

$$P = \frac{W}{2 \cos \gamma} = \frac{7687}{2 \cos 70} = 11237H \quad (4.11)$$

$$\sum M_o = 0;$$

$$P \cdot L - P_1 \cdot L_1 + P_{np} \cdot R_1 + F_1 \cdot R + F_2 \cdot h_1 = 0;$$

$$F_1 = f(P_1 - P_{np} + P \sin \gamma) = fP_1 - fP_{np} + fP \sin \gamma;$$

$$F_2 = fP_1$$

$$P \cdot L - P_1 \cdot L_1 + P_{np} \cdot h + f \cdot P_1 \cdot R - f \cdot P_{np} \cdot R + f \cdot P \cdot \sin \gamma \cdot R + fP_1 \cdot h_1 = 0;$$

$$P \cdot (L + f \cdot \sin \gamma \cdot R) + P_{np} \cdot (h - f \cdot R) = P_1 \cdot (L_1 - f \cdot (R - h_1))$$

$$P_1 = \frac{P \cdot (L + f \cdot \sin \gamma \cdot R) + P_{np} \cdot (h - f \cdot R)}{L_1 - f \cdot (R - h_1)} \quad (4.12)$$

$$Q = 2 P_1 \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \beta) \quad (4.13)$$

$$P_1 = \frac{11237 \cdot (0,09 + 0,15 \cdot \sin 70 \cdot 0,0075) + 4 \cdot (0,13 - 0,15 \cdot 0,0075)}{0,1 - 0,15 \cdot (0,0075 - 0,022)} = 10030H$$

$$Q = 2 \cdot 10030 \cdot \operatorname{tg}(20) = 7301H;$$

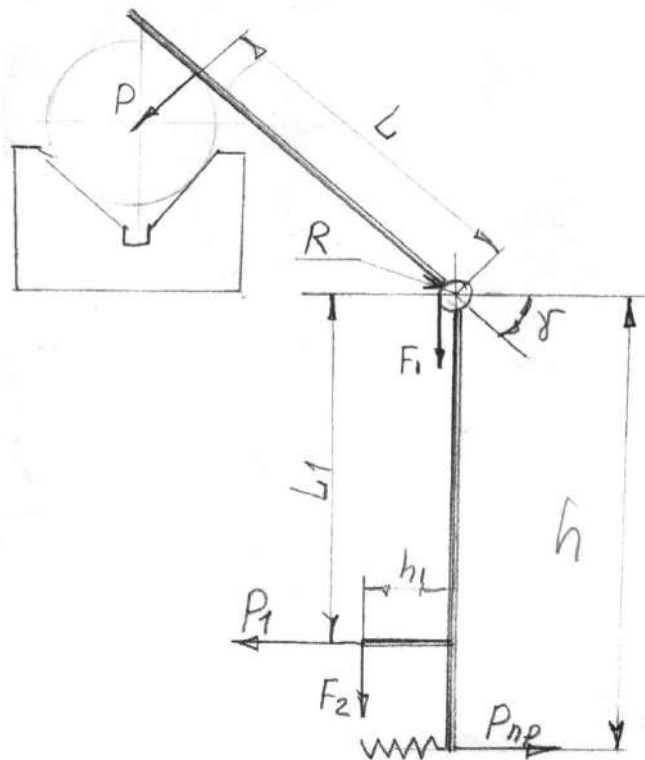


Рисунок 4.5 – Схема визначення сили на штоці [18]

Мінімальний діаметр різьби на штоці:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \alpha \cdot W}{\pi \cdot [\sigma]}} \quad (4.14)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт затягування,  $\alpha=2,25$  [18];

$[\sigma]$  – допустима напруга на розтяг для сталі 45,  $[\sigma]=210$  МПа [15].

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,25 \cdot 7301}{3,14 \cdot 210}} = 9,9 \rightarrow 20 \text{ мм}$$

Діаметр циліндра:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{p \cdot \eta \cdot \pi}} \quad (4.15)$$

де  $\eta$  – ККД, що враховує втрати на тертя,  $\eta = 0,85 \dots 0,9$  [18].

$p$  – тиск в пневмасистемі,  $p=5 \dots 10$  МПа [18];

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 7301}{3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,85}} = 95 \rightarrow 100 \text{ мм}$$

## 4.2 Проектування контрольного пристосування

### 4.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування

Під час контролю на пристосуванні перевіряють радіальне биття шийки відносно баз АБ, яке дорівнює 0,025мм (рис. 4.6).

Пристосування являє собою корпус 1 із встановленою на ньому призмами 3, в які встановлюється деталь. Вимірювання биття проводиться індикаторним годинником 10, який кріпиться на штанзі 2. Штанга 2 розташована збоку від деталі та прикріплена до корпусу пристосування. Вона має можливість повороту навколо осі на 360 градусів. А також є можливість перезакріплення штанги 2 з індикаторним годинником 10 на необхідний діаметр по висоті. Дані особливості пристосування дозволяють легко здійснювати його переналагодження.

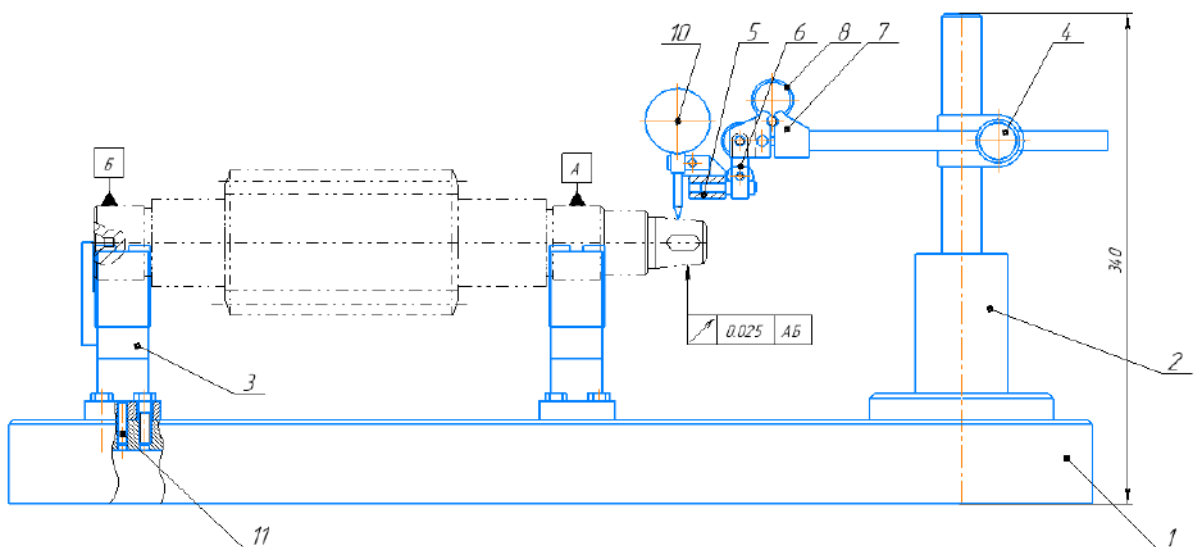


Рисунок 4.6 – Контрольне пристосування

#### 4.2.2 Розрахунок контрольного пристосування на точність

Допустиму сумарну похибку вимірювання визначають за формулою:

$$\varepsilon_{узм} = \varepsilon_{uy} + \varepsilon_{up} + \varepsilon_{um} + \sqrt{\varepsilon_{нб}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{uc}^2 + \varepsilon_{зп}^2 + \varepsilon_{cu}^2 + \varepsilon_{др}^2} \quad (4.16)$$

де  $\varepsilon_{им}=0$  – похибка, спричинена неточністю еталона. У цьому пристрої еталон не використовується.

$\varepsilon_{нб}=0$  – похибка базування, тому що настроювальна та вимірювальні бази збігаються;

$\varepsilon_{ис}=0$  – похибка закріплення, оскільки схема виміру в пристосуванні не затискається;

$\varepsilon_{иу}=0,0015\text{мм}$  – частка похибки конструкції пристосування [18];

$\varepsilon_{зп}=0,006\text{мм}$  – похибка, що виникає через зазори між осями важелів передавальних пристроїв за їх наявності [18];

$\varepsilon_{cu}=0,001\text{мм}$  – похибка засобу вимірювання [18];

$\varepsilon_{др}=0,0015\text{мм}$  – похибка, викликана дією випадкових факторів [18].

$$\varepsilon_{ип} = \Delta_{рд} + \Delta_{ру} + \Delta_{рн} + \Delta_{рк} + \Delta_{ра} \quad (4.17)$$

$\Delta_{рд}=0$  – похибка від неточності виготовлення довжин плечей важелів [18];

$\Delta_{ру}=0$  – похибка від неточності виготовлення кута плечей важелів [18];

$\Delta_{рн}=0$  – похибка від непропорційного переміщення плечей важелів [18];

$\Delta_{рк}=0$  – похибка від зміщення точки контакту важелів [18];

$\Delta_{рп}$  – похибка прямої передачі [18].

$$\varepsilon_{ип} = 0 + 0 + 0 + 0 + 0,0002 = 0,0002 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{узм} = 0,0015 + 0,0002 + 0 + \sqrt{0 + 0 + 0 + 0,006^2 + 0,001^2 + 0,0015^2} = 0,008\text{мм}$$

$$\varepsilon_{uzm} = 0,008\text{мм} \leq [\varepsilon_{uzm}] = 0,025\text{мм}$$

Умова придатності виконується, пристосування можна використовувати для даної контрольної операції.

## 5. АВТОМАТИЗАЦІЯ

### 5.1 Використання роботів при виробництві черв'яків

Все більше підприємств використовують гнучкі портативні роботизовані платформи, які можна переміщати по всьому заводу для виконання завдань. Автоматизуючи один або кілька елементів у цеху за допомогою роботів, механічні цехи можуть не тільки підвищити продуктивність, але й підвищити рентабельність інвестицій [19].

Більш доступні, надзвичайно надійні та гнучкі роботи знову розпалюють інтерес до роботизованої автоматизації (рис. 5.1) [20]. Роботи та їх інноваційні периферійні пристрої, здатні створювати універсальні виробничі середовища, що задовольняють зростаючий споживчий попит, створювати гнучкі ланцюжки поставок та адаптуватися до нестачі робочої сили, допомагають виробникам доповнювати поточні операції, створюючи інтелектуальні фабрики, які готові вирішувати зростаючі.



Рисунок 5.1 – Автоматизація зубофрезерної обробки [20]

Поряд із впровадженням високопродуктивних зварювальних робіт та робочих груп виробники також усвідомлюють, що використання роботизованої автоматизації для завдань з обслуговування обладнання може значно підвищити продуктивність. Будь то завантаження або розвантаження верстата з ЧПУ або обслуговування іншого обладнання для шліфування, штампування, обрізки тощо, роботи з високою повторюваністю можуть вміло орієнтувати та транспортувати деталі, зводячи до мінімуму людську помилку, підвищуючи безпеку працівників, оптимізуючи використання системи та сприяючи підвищенню ефективності [21].

Виробники, які прагнуть задовольнити суворі вимоги, не повинні не брати до уваги потенційну цінність, яку роботи можуть мати при обслуговуванні машин – оскільки багато компаній, які беруть на себе зобов'язання щодо інтеграції такого типу, отримують переваги від трансформації. По-перше – це висока привабливість. Після використання у строго контрольованих середовищах, де виробництво з малою кількістю суміші та великими обсягами було єдиним життєздатним та економічно ефективним варіантом для розумного повернення інвестицій, правильна гнучка роботизована система може змінити світ на краще. Через передбачувану окупність інвестицій протягом певного періоду окупності використання промислових та спільних робіт для обслуговування машин продовжує залишатися провідним варіантом для керівників компаній, які прагнуть швидко вирішити проблему неефективності виробництва.

По-друге – це краще використання працівників. Роботи використовуються по всьому світу для виконання нудних, брудних та небезпечних робіт, виконуючи безліч трудомістких та високоплинних завдань (рис. 5.2) [22]. Надійні та ефективні роботи не тільки заповнюють порожнечу, коли люди фізично не можуть виконувати певні обов'язки, а й роботизована автоматизація може звільнити працівників для виконання завдань із більшою доданою вартістю. Завантаження та розвантаження машини протягом усієї зміни, день за днем, часто призводить до нудьги, вигоряння співробітників та

іноді до ергономічних травм. Впровадження роботів та надання працівникам можливості брати на себе інші обов'язки, такі як короткі пробіги, програмування або планове технічне обслуговування є безпрограшним варіантом. Фактично, працівники, яких перерозподіляють на інші частини підприємства, зазвичай продуктивніші, оскільки вони знову отримують задоволення від своєї професії. В цілому, правильне поєднання роботів і людей часто призводить до більш високого та стабільного виробництва.

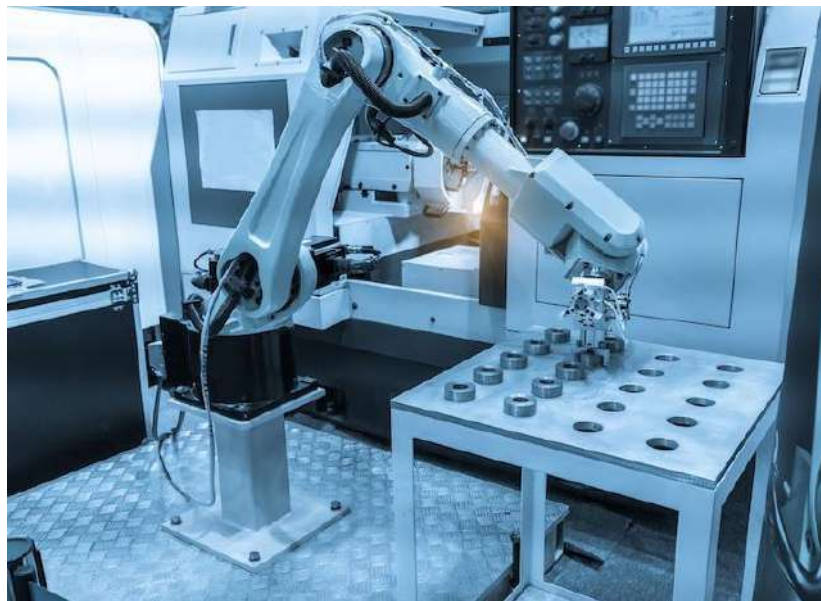


Рисунок 5.2 – Автоматизація токарної обробки [22]

По-третє – це ефективне управління машинами. Існує прислів'я: "Якщо машина не працює, ви не заробляєте гроші". Хоча очевидно, що для підтримки успішного бізнесу потрібно щось більше, вірно і те, що здатність виробляти деталі для клієнта пов'язана з отриманням оплати. Проте збільшення доходу зазвичай означає виробництво більшої кількості якісних деталей. Залежно від доступності ресурсів досягнення необхідної пропускної спроможності може бути складним завданням. Роботизована автоматизація дозволяє промисловим машинам працювати з мінімальним втручанням людини або взагалі без неї протягом усієї зміни, що дозволяє виконувати операції без освітлення. Це не тільки вигідно виробникам, що бажають випускати великі обсяги продукції,

але й дає керівникам компаній можливість збалансувати нестачу робочих рук, коли зведення до мінімуму контактів з людьми потрібне з міркувань безпеки.

Багато ручних або раніше існуючих автоматизованих завдань можуть бути поліпшені за рахунок впровадження робота, що обслуговує машину, особливо коли йдеться про узгодженість. Незалежно від того, чи необхідно завантажувати чи розвантажувати верстат з ЧПУ чи лінія штампування металу потребує постійного потоку деталей, впровадження роботизованого рішення ідеально підходить для оптимізації робочого процесу з продуктом. Більше того, обслуговування роботизованих машин гарантує, що з деталями щоразу звертатимуться однаково, що знижує ймовірність пошкодження продукції, спричиненого ручною передачею.

Також при застосуванні роботів підвищується ефективність обладнання. Більшість виробників «боротьба за продуктивність» є реальною. Щоб підвищити продуктивність і прагнути 100-відсоткової ефективності, керівники компаній приділяють більше уваги загальній ефективності обладнання (ОЕЕ) для вимірювання ефективності окремих машин, автоматизованих робочих місць, виробничих ліній і навіть цілих підприємств. Безрозмірний параметр ОЕЕ є продуктом трьох факторів: доступності, продуктивності та якості. Показники, отримані в результаті розрахунку цих факторів, не тільки є відмінним показником вимірювання ефективності поточного обладнання, але й служать хорошим стимулом для впровадження робототехніки — завжди з метою виробництва якісних деталей.

Використання надійних, але простих у використанні роботів, які легко інтегруються в існуючі операції з єдиною обробкою деталей, може оптимізувати використання поточного обладнання. Крім того, роботизована автоматизація одного або кількох елементів у цеху може допомогти виробникам підвищити продуктивність, знизити експлуатаційні витрати та підвищити рентабельність інвестицій.

Багато малих і середніх компаній, особливо ті, які працюють в умовах змішаного та дрібнооб'ємного виробництва, часто втрачають дорогоцінний

час, зупиняючи обладнання для заміни компонентів. Ідеальним рішенням для таких майстерень було б використання простий у завантаженні системи з гнучкими опціями. Багато інтеграторів роботизованих систем пропонують готові рішення з обслуговування роботизованих машин, що забезпечують надійне завантаження та розвантаження деталей та одночасно скорочують час переналагодження. Загалом це означає простіший та економічно ефективніший запуск проекту.

Готові комплекти пропонують покрокові, прості у використанні інтерфейси, які ще більше прискорюють процес інтеграції. Хоча деякі роботи можуть бути підключені безпосередньо до верстата за допомогою заводського варіанта інтерфейсу, більшість їх необхідно буде налаштувати з використанням комунікаційного інтерфейсу, такого як EtherNet I/P або Profinet. Інформація про стан машини може відображатись на системному людино-машинному інтерфейсі (НМІ). Як бонус можна підвищити безпеку за рахунок зменшення кількості необхідної проводки управління роботом.

Від роботів, робочих осередків та захоплень до програмного забезпечення та багато іншого — виробники роботів постійно розробляють перетворюючі технології, щоб забезпечити кращу узгодженість, ефективність та якість при обслуговуванні машин. Що стосується роботів, невеликі та легкі шестивісні моделі з інноваційними інструментами встановлюються поруч із заготовками та іншим обладнанням на існуючих лініях або робочих ділянках. Ці надзвичайно швидкі та компактні роботи популярні для вилучення оброблених деталей з патронів або для завантаження невеликих листозгинальних пресів. Аналогічним чином, більш високі значення IP на зап'ясті розширюють можливості для застосувань, що використовують мастильно-охолоджуючі рідини, а вищі значення моменту та інерції краще відповідають вимогам роботи з великими деталями.

Набираюча популярність тенденція полягає в тому, що все більше підприємств впроваджують дуже гнучкі портативні роботизовані платформи. Ці роботизовані платформи, які можна переміщати заводом для виконання

того завдання, для якого вони необхідні, дозволяють виробникам легко перерозподіляти промислових та колаборативних роботів у міру необхідності, щоб допомогти в завданнях з обслуговування машин, де наявність спеціального робота непрактична. І навпаки, стаціонарні роботи, призначені для спільної роботи, полегшують навантаження та розвантаження предметів на AGV (автоматизовані керовані транспортні засоби) та назад. Цей тип використання роботів допомагає швидко, точно та ергономічно обробляти продукцію, забезпечуючи організовану передачу матеріалів та стабільну пропускну спроможність товарів.

У цілому нині, використання роботизованої автоматизації обслуговування машин може підвищити цінність операцій багато в чому. Виробники, які зважують ці концепції та поєднують передовий досвід з надійними та зручними у використанні роботами, оснащеними інноваційними периферійними пристроями, швидше за все, досягнуть більшої гнучкості в цехах, задовольняючи зростаючі запити клієнтів та прокладаючи шлях до більш продуктивного майбутнього.

## 6. РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ

### 6.1 Визначення напружено-деформованого стану деталі

В редукторі на черв'як по діаметрам 50 мм встановлюються підшипники та по діаметром 35 мм встановлюється муфта. Крутний момент 350 Нм з електродвигуна через муфту по шпонці передається на черв'як. Потім цей крутний момент через черв'ячне зачеплення передається на черв'ячне колесо. Під дією крутного моменту черв'як зазнає кручення та згин. Розрахунок на міцність проведено за допомогою програмного забезпечення Siemens.NX. Спочатку створено 3D-модель деталі та розіб'ємо її на сітку кінцевих елементів (рис. 6.1).

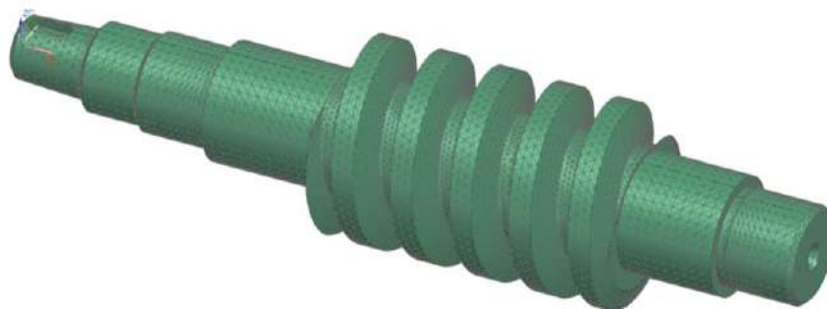


Рисунок 6.1 – Модель деталі розбита на сітку кінцевих елементів

В місці встановлення шпонки у пазу створимо обмеження переміщень (рис. 4.2). А на діаметрі 100 мм прикладемо крутний момент.

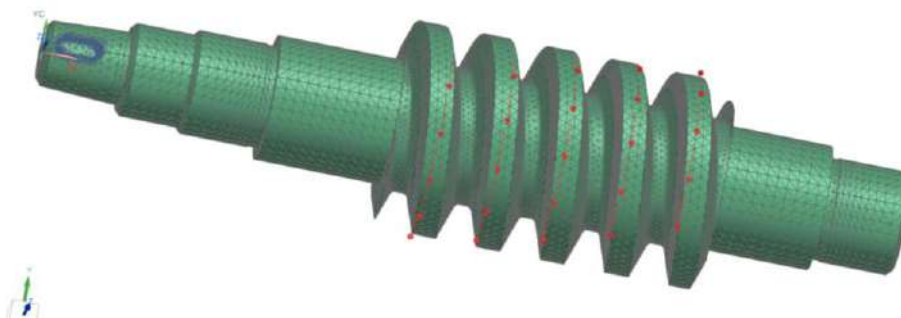


Рисунок 6.2 – Модель з накладеними обмеженнями

## 6.2 Визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкції

Виконаємо розрахунок напружено-деформованого стану черв'яка за допомогою програмного забезпечення Siemens.NX. Результат цього розрахунку представлений на рис. 6.3.

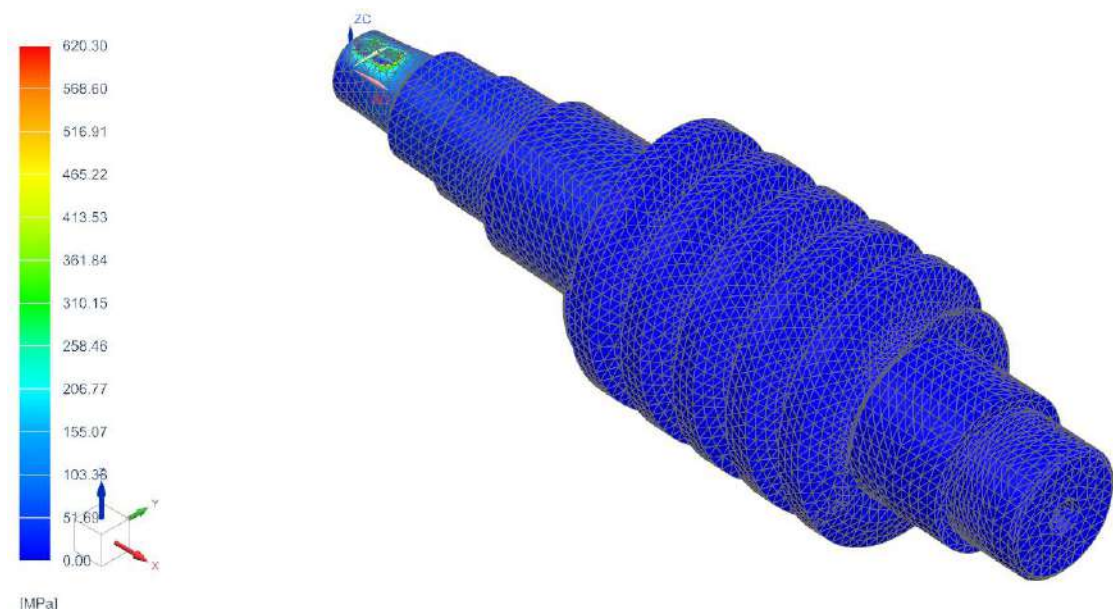


Рисунок 6.3 – Напруження на вал-фланці

Максимальне напруження виникає у шпонковому пазі і дорівнює 620,3МПа.

## 6.3 Оптимізація геометрії деталі

Виконаємо перевірку запасу міцності. Коефіцієнт запасу міцності по напруженням визначається за наступною формулою:

$$k = \frac{[\sigma]}{\sigma_{max}} \quad (6.1)$$

де  $[\sigma]=885$  МПа – допустиме значення границі плинності для сталі 18ХГТ;

$\sigma_{max}$  – максимальне напруження.

$$k = \frac{885}{620,3} = 1,42$$

Згідно розрахунків конструкція черв'яку відповідає діючим навантаженням, тому що запас міцності дорівнює 1,42. Оптимізація геометрії деталі не потрібна.

## 7 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ

При вдосконаленні технологічного процесу виготовлення деталі «Черв'як» було замінено обробку на універсальних токарних верстатах обробкою на верстатах з ЧПК (табл. 7.1). Розрахунок економічних показників проводимо згідно рекомендацій [23].

Таблиця 7.1 – Вихідні дані

| Розрахункові параметри   | Базова технологія |       |       |       |       |       | Нова технологія |            |            |            |
|--|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|------------|------------|------------|
|  | 16К30             | 16К30 | 16К30 | 16К30 | 16К30 | 16К30 | 16К30ФС353      | 16К30ФС353 | 16К30ФС353 | 16К30ФС353 |
| Модель верстата  |                   |       |       |       |       |       |                 |            |            |            |
| Штучний час $t_{шт}$ , хв  | 15                | 15    | 10    | 10    | 8     | 7     | 4,78            | 5,89       | 8,42       | 9,52       |
| Розряд верстатника   | 6                 | 6     | 6     | 6     | 6     | 6     | 4               | 4          | 4          | 4          |
| Розряд наладчика   | -                 | -     | -     | -     | -     | -     | 5               | 5          | 5          | 5          |
| Число верстатів, що обслуговуються за зміну: верстатником наладчиком | -                 | -     | -     | -     | -     | -     | 4               | 4          | 4          | 4          |
| Тарифна ставка основного робітника, грн/год                          | 76,6              | 76,6  | 76,6  | 76,6  | 76,6  | 76,6  | 57,5            | 57,5       | 57,5       | 57,5       |
| Тарифна ставка наладчика, грн/год                                    | -                 | -     | -     | -     | -     | -     | 57,7            | 57,7       | 57,7       | 57,7       |
| Число змін $m$   | 2                 | 2     | 2     | 2     | 2     | 2     | 2               | 2          | 2          | 2          |
| Оптова ціна верстата $F$ , грн                                       | 307200            |       |       |       |       |       | 1584000         |            |            |            |
| Число верстатів, $C_p$   | 1                 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1               | 1          | 1          | 1          |
| Норма амортизаційних відрахувань $N_a$ , %                           | 14,2              | 14,2  | 14,2  | 14,2  | 14,2  | 14,2  | 12,2            | 12,2       | 12,2       | 12,2       |
| Встановлена потужність електродвигунів $N$ , кВт                     | 17                | 17    | 17    | 17    | 17    | 17    | 22              | 22         | 22         | 22         |

Визначимо заробітну плату основних виробничих робітників по формулі:

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^{m_{оп}} t_{шт-кі} \cdot C_{тар} \cdot K_б \cdot k_{доп} \cdot k_{соц}}{60} \quad (7.1)$$

де  $m_{on}$  – кількість операцій у технологічному процесі;

$t_{umi}$  – норма штучного часу виконання  $i$ -ої операції, год;

$C_{тар}$  – годинна тарифна ставка виробничого робітника на операції, грн/год;

$K_б$  – коефіцієнт, що враховує оплату основного робітника при багатостатному обслуговуванні,  $K_б=0,39$ ;

$k_{доп}$  – коефіцієнт, що враховує додаткову заробітну плату,  $k_{доп} = 1,2$ ;

$k_{соц}$  – коефіцієнт, що враховує страхові внески,  $k_{соц} = 1,4$ .

Результати розрахунків наведено в таблиці 7.2, 7.3.

Таблиця 7.2 – Заробітна плата верстатника за базовою технологією

| № опер | Найменування операції | $t_{шт}$ , хв | $C_{тар}$ , грн | $k_{доп}$ | $k_{соц}$ | $Z_о$ , грн |
|--------|-----------------------|---------------|-----------------|-----------|-----------|-------------|
| 010    | Токарна               | 15            | 76,6            | 1,2       | 1,4       | 32,17       |
| 015    | Токарна               | 15            | 76,6            | 1,2       | 1,4       | 32,17       |
| 020    | Токарна               | 10            | 76,6            | 1,2       | 1,4       | 21,45       |
| 025    | Токарна               | 10            | 76,6            | 1,2       | 1,4       | 21,45       |
| 030    | Токарна               | 8             | 76,6            | 1,2       | 1,4       | 17,16       |
| 035    | Токарна               | 7             | 76,6            | 1,2       | 1,4       | 15,01       |
|        |                       |               |                 |           | $\Sigma$  | 139,41      |

Таблиця 7.3 – Заробітна плата верстатника за новою технологією

| № опер | Найменування операції | $t_{шт}$ , хв | $C_{тар}$ , грн | $k_{доп}$ | $k_{соц}$ | $Z_о$ , грн |
|--------|-----------------------|---------------|-----------------|-----------|-----------|-------------|
| 020    | Токарна               | 4,78          | 57,5            | 1,2       | 1,4       | 7,70        |
| 025    | Токарна               | 5,89          | 57,5            | 1,2       | 1,4       | 9,48        |
| 030    | Токарна               | 8,42          | 57,5            | 1,2       | 1,4       | 13,56       |
| 035    | Токарна               | 9,52          | 57,5            | 1,2       | 1,4       | 15,33       |
|        |                       |               |                 |           | $\Sigma$  | 46,06       |

Визначимо заробітну плату наладчиків верстатів ЧПК за формулою:

$$Z_o = \frac{\Phi_p \cdot C_{\text{тар.н}} \cdot \chi_n \cdot k_{\text{доп}} \cdot k_{\text{соц}}}{N} \quad (7.2)$$

де  $C_{\text{тар.н}}$  – годинна тарифна ставка, грн;

$\chi_n$  – чисельність робітників відповідної категорії, чол;

$\Phi_p$  – річний фонд часу одного,  $\Phi_p = 2028$  год;

$m_{\text{оп}}$  – кількість операцій у технологічному процесі.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.4.

Таблиця 7.4 – Заробітна плата наладчиків верстатів ЧПК

| № опер | Найменування операції | $\Phi_p$ , год | $C_{\text{тар}}$ , грн | $\chi_n$ | $k_{\text{доп}}$ | $k_{\text{соц}}$ | $Z_o$ , грн |
|--------|-----------------------|----------------|------------------------|----------|------------------|------------------|-------------|
| 020    | Токарна               | 2028           | 57,7                   | 0,25     | 1,2              | 1,4              | 9,83        |
| 025    | Токарна               | 2028           | 57,7                   | 0,25     | 1,2              | 1,4              | 9,83        |
| 030    | Токарна               | 2028           | 57,7                   | 0,25     | 1,2              | 1,4              | 9,83        |
| 035    | Токарна               | 2028           | 57,7                   | 0,25     | 1,2              | 1,4              | 9,83        |
|        |                       |                |                        |          |                  | $\Sigma$         | 39,32       |

Визначимо амортизаційні відрахування на обладнання за формулою:

$$A_{\text{від}} = \sum_{i=1}^{m_{\text{оп}}} \frac{K_i \cdot H_{ai} \cdot t_{\text{шт-кі}}}{100 \cdot F_d \cdot 60} \quad (7.3)$$

де  $K_i$  – первісна вартість обладнання на  $i$ -ої операції, грн;

$H_{ai}$  – річна норма амортизаційних відрахувань на обладнання на  $i$ -ої операції, %.

Результати розрахунків наведено в таблиці 7.5, 7.6.

Визначимо витрати на інструмент за формулою:

$$S_{\text{ін}} = \sum_{i=1}^{m_{\text{оп}}} \sum_{j=1}^{n_{\text{ін}}} \frac{C_{\text{ін}ij} \cdot t_{\text{шт}ij} \cdot \eta_m}{T_{ij} \cdot (n_j + 1)} \quad (7.4)$$

де  $C_{\text{ін}ij}$  – ціна інструменту  $j$ -го виду на  $i$ -ої операції, грн/шт;

$t_{\text{шт}ij}$  – штучний час роботи  $j$ -го інструменту на  $i$ -ої операції, хв;

$\eta_m$  – коефіцієнт машинного часу, що визначається як відношення  $t_{\text{маш}}/t_{\text{шт}}$ ;

$T_{ij}$  – період стійкості інструменту  $j$ -го виду на  $i$ -ої операції, хв;

$n_{in}$  – номенклатура інструментів на  $i$ -ої операції;

$n_j$  – число переточок інструменту  $j$ -го виду до повного зношування або кількість ріжучих граней інструменту.

Результати розрахунків наведено в таблиці 7.7, 7.8.

Таблиця 7.5 – Відрахування на амортизацію обладнання за базовою технологією

| № опер | Найменування операції | $t_{шт}$ , хв | К, грн | На, % | $F_d$    | $A_{від}$ , грн |
|--------|-----------------------|---------------|--------|-------|----------|-----------------|
| 010    | Токарна               | 15            | 307200 | 14,2  | 4015     | 2,72            |
| 015    | Токарна               | 15            | 307200 | 14,2  | 4015     | 2,72            |
| 020    | Токарна               | 10            | 307200 | 14,2  | 4015     | 1,81            |
| 025    | Токарна               | 10            | 307200 | 14,2  | 4015     | 1,81            |
| 030    | Токарна               | 8             | 307200 | 14,2  | 4015     | 1,45            |
| 035    | Токарна               | 7             | 307200 | 14,2  | 4015     | 1,27            |
|        |                       |               |        |       | $\Sigma$ | 11,77           |

Таблиця 7.6 – Відрахування на амортизацію обладнання за новою технологією

| № опер | Найменування операції | $t_{шт}$ , хв | К, грн  | На, % | $F_d$    | $A_{від}$ , грн |
|--------|-----------------------|---------------|---------|-------|----------|-----------------|
| 020    | Токарна               | 4,78          | 1584000 | 12,2  | 4015     | 3,83            |
| 025    | Токарна               | 5,89          | 1584000 | 12,2  | 4015     | 4,72            |
| 030    | Токарна               | 8,42          | 1584000 | 12,2  | 4015     | 6,75            |
| 035    | Токарна               | 9,52          | 1584000 | 12,2  | 4015     | 7,64            |
|        |                       |               |         |       | $\Sigma$ | 22,95           |

Таблиця 7.7 – Витрати на інструмент за базовою технологією

| № опер | Найменування операції | $t_{шт}$ , хв | Найменування інструменту | $C_i$ , грн | $n_{in}$ | $T$ , хв | $n_j$ | $\eta_{MI}$ | $S_{in}$ , грн |
|--------|-----------------------|---------------|--------------------------|-------------|----------|----------|-------|-------------|----------------|
| 1      | 2                     | 3             | 4                        | 5           | 6        | 7        | 8     | 9           | 10             |
| 010    | Токарна               | 15            | Різець прохід.           | 200         | 2        | 60       | 10    | 0,4         | 1,82           |
| 015    | Токарна               | 15            | Різець. прохід.          | 200         | 2        | 60       | 12    | 0,4         | 1,54           |

Продовження табл. 7.7

| 1   | 2       | 3  | 4               | 5   | 6 | 7  | 8  | 9   | 10    |
|-----|---------|----|-----------------|-----|---|----|----|-----|-------|
| 020 | Токарна | 10 | Різець. прохід. | 250 | 2 | 60 | 12 | 0,4 | 0,64  |
|     |         |    | Різець. підріз. | 150 | 1 | 45 | 20 | 0,4 | 0,32  |
| 025 | Токарна | 10 | Різець. прохід. | 250 | 2 | 60 | 12 | 0,4 | 0,64  |
|     |         |    | Різець. підріз. | 150 | 2 | 60 | 20 | 0,4 | 0,24  |
| 030 | Токарна | 8  | Різець. канав.  | 200 | 1 | 45 | 15 | 0,4 | 0,89  |
| 035 | Токарна | 7  | Різець. канав.  | 200 | 1 | 60 | 12 | 0,4 | 0,72  |
|     |         |    |                 |     |   |    |    | Σ   | 10,38 |

Таблиця 7.8 – Витрати на інструмент за новою технологією

| № опер | Найменування операції | t <sub>штг</sub> , хв | Найменування інструменту | Ц <sub>i</sub> грн | n <sub>ін</sub> | T, хв | n <sub>j</sub> | η <sub>мі</sub> | S <sub>ін</sub> грн |
|--------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------|-----------------|-------|----------------|-----------------|---------------------|
| 020    | Токарна               | 4,78                  | Різець прохід.           | 250                | 1               | 240   | 4              | 0,4             | 0,40                |
| 025    | Токарна               | 5,89                  | Різець прохід.           | 250                | 1               | 240   | 4              | 0,4             | 0,49                |
| 030    | Токарна               | 8,42                  | Різець прохід.           | 250                | 1               | 240   | 1              | 0,4             | 1,34                |
|        |                       |                       | Різець канав.            | 150                | 1               | 240   | 4              | 0,4             | 0,10                |
| 035    | Токарна               | 9,52                  | Різець прохід.           | 250                | 1               | 240   | 4              | 0,4             | 0,63                |
|        |                       |                       | Різець канав.            | 150                | 1               | 240   | 1              | 0,4             | 0,25                |
|        |                       |                       |                          |                    |                 |       |                | Σ               | 3,2                 |

Визначимо витрати на електроенергію за формулою:

$$S_e = \frac{N_B \cdot k_N \cdot k_{\text{ч}} \cdot k_{\text{од}} \cdot k_W \cdot t_{\text{штг-к}}}{\eta \cdot k_B \cdot 60} \cdot C_e \quad (7.5)$$

де  $N_B$  – встановлена потужність головного електродвигуна, кВт;

$k_N$  – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за потужністю (для верстатів з ЧПК – 0,9, для решти обладнання – 0,8);

$k_{\text{ч}}$  – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за часом (для верстатів з ЧПК – 0,7, для решти обладнання – 0,6);

$k_{\text{од}}$  – середній коефіцієнт одночасності роботи всіх електродвигунів верстата (для верстатів з ЧПК – 1, для решти обладнання – 0,6);

$k_w$  – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі заводу,  $k_w = 1,08$ ;

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії обладнання;

$k_e$  – коефіцієнт виконання норм часу;

$C_e$  – вартість електроенергії,  $C_e = 3,45$  грн/кВт×год.

Результати розрахунків наведено в таблиці 7.9, 7.10.

Таблиця 7.9 – Витрати на електроенергію за базовою технологією

| № опер | Найменування операції | $t_{шт, хв}$ | Ц <sub>е</sub> грн | N <sub>е</sub> кВт | k <sub>N</sub> | k <sub>ч</sub> | k <sub>од</sub> | k <sub>w</sub> | $\eta_e$ | k <sub>в</sub> | S <sub>е</sub> , грн |
|--------|-----------------------|--------------|--------------------|--------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------|----------------|----------------------|
| 010    | Токарна               | 15           | 3,45               | 17                 | 0,8            | 0,6            | 0,6             | 1,08           | 0,9      | 1,1            | 4,61                 |
| 015    | Токарна               | 15           | 3,45               | 17                 | 0,8            | 0,6            | 0,6             | 1,08           | 0,9      | 1,1            | 4,61                 |
| 020    | Токарна               | 10           | 3,45               | 17                 | 0,8            | 0,6            | 0,6             | 1,08           | 0,9      | 1,1            | 3,07                 |
| 025    | Токарна               | 10           | 3,45               | 17                 | 0,8            | 0,6            | 0,6             | 1,08           | 0,9      | 1,1            | 3,07                 |
| 030    | Токарна               | 8            | 3,45               | 17                 | 0,8            | 0,6            | 0,6             | 1,08           | 0,9      | 1,1            | 2,46                 |
| 035    | Токарна               | 7            | 3,45               | 17                 | 0,8            | 0,6            | 0,6             | 1,08           | 0,9      | 1,1            | 2,15                 |
|        |                       |              |                    |                    |                |                |                 |                |          | $\Sigma$       | 19,96                |

Таблиця 7.10 – Витрати на електроенергію за новою технологією

| № опер | Найменування операції | $t_{шт, хв}$ | Ц <sub>е</sub> грн | N <sub>е</sub> кВт | k <sub>N</sub> | k <sub>ч</sub> | k <sub>од</sub> | k <sub>w</sub> | $\eta_e$ | k <sub>в</sub> | S <sub>е</sub> |
|--------|-----------------------|--------------|--------------------|--------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------|----------------|----------------|
| 020    | Токарна               | 4,78         | 3,45               | 22                 | 0,9            | 0,7            | 1               | 1,08           | 0,8      | 1,1            | 4,68           |
| 025    | Токарна               | 5,89         | 3,45               | 22                 | 0,9            | 0,7            | 1               | 1,08           | 0,8      | 1,1            | 5,76           |
| 030    | Токарна               | 8,42         | 3,45               | 22                 | 0,9            | 0,7            | 1               | 1,08           | 0,8      | 1,1            | 8,24           |
| 035    | Токарна               | 9,52         | 3,45               | 22                 | 0,9            | 0,7            | 1               | 1,08           | 0,8      | 1,1            | 9,31           |
|        |                       |              |                    |                    |                |                |                 |                |          | $\Sigma$       | 27,98          |

Визначимо витрати на обслуговування та ремонт обладнання за формулою:

$$S_p = \frac{C_{то} \cdot K_p \cdot C_p}{N} \quad (7.6)$$

де  $C_{mo}$  – залишкова вартість обладнання, грн

$K_p$  – коефіцієнт відрахувань до ремонтного фонду,  $K_p = 0,02$ .

Результати розрахунків наведено в таблиці 7.11, 7.12.

Таблиця 7.11 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання за базовою технологією

| № опер | Найменування операції | $C_{то}$ , грн | $K_p$ | $C_p$    | $S_p$ , грн |
|--------|-----------------------|----------------|-------|----------|-------------|
| 010    | Токарна               | 307200         | 0,02  | 0,46     | 0,79        |
| 015    | Токарна               | 307200         | 0,02  | 0,24     | 0,79        |
| 020    | Токарна               | 307200         | 0,02  | 0,65     | 0,79        |
| 025    | Токарна               | 307200         | 0,02  | 0,36     | 0,79        |
| 030    | Токарна               | 307200         | 0,02  | 0,54     | 0,79        |
| 035    | Токарна               | 307200         | 0,02  | 0,18     | 0,79        |
|        |                       |                |       | $\Sigma$ | 4.72        |

Таблиця 7.12 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання за новою технологією

| № опер | Найменування операції | $C_{то}$ , грн | $K_p$ | $C_p$    | $S_p$ , грн |
|--------|-----------------------|----------------|-------|----------|-------------|
| 020    | Токарна               | 1584000        | 0,02  | 0,12     | 4,94        |
| 025    | Токарна               | 1584000        | 0,02  | 0,32     | 4,94        |
| 030    | Токарна               | 1584000        | 0,02  | 0,22     | 4,94        |
| 035    | Токарна               | 1584000        | 0,02  | 0,27     | 4,94        |
|        |                       |                |       | $\Sigma$ | 19.77       |

Визначимо витрати на налаштування інструментів поза верстатом згідно формули:

$$S_H = \frac{\varphi \cdot C_{ГН} \cdot t_{ін} \cdot t_o \cdot K_T}{T_M \cdot m \cdot 60} \quad (7.7)$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт, що враховує випадковий спад та поломки інструменту,  $\varphi = 1,3$ ;

$C_{гн}$  – середньогодинна заробітна плата наладчиків, грн./год;

$t_{ін}$  – середній час налаштування одного інструменту поза верстатом ( $t_{ін} = 4$  хв – для токарних верстатів з ЧПК;  $t_{ін} = 5$  хв – для верстатів з ЧПК свердлильної, фрезерної та розточувальної груп).

$t_o$  – основний час роботи інструменту на операції, хв;

$K_m$  – коефіцієнт, що враховує питому вагу основного технологічного часу у штучному часі;

$T_m$  – середня стійкість інструменту, хв.;

$m$  – число граней ріжучої пластини, що не переточується, з механічним кріпленням, шт.

Результати розрахунків наведено в таблиці 7.13.

Таблиця 7.13 – Витрати на налаштування інструментів поза верстатом

| № опер | Найменування операції | Тип інструменту | $t_o$ , хв | $C_{гн}$ , грн/год | $n_i$ | $t_{ін}$ , хв | $K_T$ | $T_M$ | $m$      | $S_n$ грн |
|--------|-----------------------|-----------------|------------|--------------------|-------|---------------|-------|-------|----------|-----------|
| 015    | Токарна               | Різець прохід.  | 3,8        | 50,9               | 6     | 4             | 0,9   | 240   | 4        | 0,02      |
| 020    | Токарна               | Різець прохід.  | 4,7        | 50,9               | 6     | 4             | 0,9   | 240   | 4        | 0,02      |
| 025    | Токарна               | Різець прохід.  | 5,2        | 50,9               | 6     | 4             | 0,9   | 240   | 4        | 0,02      |
|        |                       | Різець канав.   | 2,6        | 50,9               | 6     | 4             | 0,9   | 240   | 4        | 0,01      |
| 030    | Токарна               | Різець прохід.  | 5,5        | 50,9               | 6     | 4             | 0,9   | 240   | 4        | 0,02      |
|        |                       | Різець канав.   | 2,5        | 50,9               | 6     | 4             | 0,9   | 240   | 1        | 0,01      |
|        |                       |                 |            |                    |       |               |       |       | $\Sigma$ | 0,1       |

Визначимо інші загальновиробничі витрати за формулою:

$$I_n = Z_o \cdot k_{заг} \quad (7.8)$$

де  $k_{заг}$  – коефіцієнт, що враховує інші загальновиробничі витрати, віднесені до заробітної плати основних виробничих робітників,  $k_{заг} = 0,20 \dots 0,25$ .

$$I_{H1} = 139,41 \cdot 0,2 = 27,88 \text{ грн}$$

$$I_{H2} = 46,06 \cdot 0,2 = 9,21 \text{ грн}$$

Розрахуємо технологічну собівартість за формулою:

$$C_T = Z_o + Z_H + A_{\text{від}} + S_{\text{ін}} + S_e + S_p + S_H + I_H \quad (7.9)$$

Узагальнені результати розрахунку технологічної собівартості обробки за двома варіантами наведено у табл. 7.14.

Таблиця 7.14 – Розрахунок елементів технологічної собівартості, грн.

| Елементи собівартості                               |                  | Варіанти ТП |        |
|---|------------------|-------------|--------|
|   |                  | Базовий     | Новий  |
| Заробітна плата верстатника                         | $Z_o$            | 139,41      | 46,06  |
| Заробітна плата наладчика                           | $Z_H$            |             | 39,32  |
| Відрахування на амортизацію обладнання              | $A_{\text{від}}$ | 11,77       | 22,95  |
| Витрати на різальний інструмент                     | $S_{\text{ін}}$  | 10,38       | 3,2    |
| Витрати на електроенергію                           | $S_e$            | 19,96       | 27,98  |
| Витрати на ремонт та обслуговування обладнання      | $S_p$            | 4,72        | 19,77  |
| Витрати на налаштування інструментів поза верстатом | $S_H$            |             | 0,1    |
| Витрати інші  | $I_H$            | 27,88       | 9,21   |
| Технологічна собівартість                           | $C_T$            | 214,12      | 168,59 |

Розрахуємо умовний економічний ефект за формулою:

$$E_{yp} = (C_{T1} - C_{T2}) \cdot N \quad (7.10)$$

$$E_{yp} = (214,12 - 168,59) \cdot 5000 = 227650 \text{ грн}$$

Згідно проведених розрахунків оцінки очікуваної економічної ефективності впровадження вдосконаленої технологічної обробки деталі «Черв'як» з заміною обробки на універсальних верстатах обробленням на верстатах з ЧПК дає змогу зекономити 227650 грн.

## 8 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 8.1 Аналіз умов праці та факторів, що впливають на здоров'я

Для безпечного виконання виробничих обов'язків необхідно забезпечити усім працюючим максимально комфортні умови праці. Дотримання нормативно-правових документів є одним із основних рішень, що передбачаються в процесі організації технологічного процесу. Розвиток та впровадження комп'ютерної техніки призвело до того, що основним небезпечним фактором є погіршення зору працюючих. Постійні навантаження на зір не тільки в процесі роботи але і під час відпочинку призводить до ще більшого загострення зазначеного питання. Відповідно рекомендаціям ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» у всіх приміщеннях, постійно працюють люди повинно бути забезпечено не тільки штучне загальне освітлення але і природне. Природне освітлення має головний недолік який пов'язаний з його постійною зміною. Для врахування зміни характеристики не тільки протягом доби але в будь яку хвилину зміни погодних умов було рекомендовано дотримуватись відношення характеристик освітленості в приміщенні до значення освітленості в момент часу назовні згідно формули (8.1) [24].

$$e = E_{\text{вн}}/E_{\text{зов}} \cdot 100, \quad (8.1)$$

де  $e$  – коефіцієнт природної освітленості;

$E_{\text{вн}}$  - освітлення в даній точці приміщення, що створюється світлом небосхилу, лк;

$E_{\text{зов}}$  - освітленість зовнішньої горизонтальної поверхні, що створюється світлом відкритого небосхилу, лк.

Для більш об'єктивної оцінки рівня природного освітлення на різних робочих місцях будівельними нормами (ДБН В.2.2-28-2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення»)

рекомендується визначати показник природнього освітлення на відстані один метр від стіни, що є протилежною до вікна. Освітленість в середині приміщення забезпечується кількома параметрами, а саме: освітленістю за рахунок сонця та неба, що потрапляють в приміщення через вікна, освітленістю, яка виникає внаслідок відбиття від стелі, стін та підлоги, а також із освітлення, що відбивається від споруд, що знаходяться поблизу будинка. Крім того, на природне освітлення в приміщенні може впливати наявність дерев навколо робочої будівлі та їх висота.

Для забезпечення нормованого значення природної освітленості необхідним є відповідний розмір вікон. Крім того, вікна повинні виконувати захисну функцію і унеможливити проникнення холодних потоків повітря в робоче приміщення або гарячих – у літній період. В адміністративних приміщеннях вікна мають і дизайнерське навантаження. [25]

Визначимо кількість вікон та їх розмір для приміщення довжини якого 12 метрів, ширина 5 метрів та висота 4м. Природне освітлення нормується із врахуванням найменшого розміру об'єкту розрізнення. [24, 25]. Від визначеної характеристики залежить розряд зорової роботи та нормований коефіцієнт природної освітленості.

Для виконання робіт, що пов'язані з постійним напруженням очей, наприклад, робота за комп'ютерною технікою або виконання різноманітних вимірів, контроль якості деталей, або необхідно дотримуватись технологічних вимог до габаритів виробів і фокусуватись на достатньо малих об'єктах, то бажано вибрати досить високий розряд зорової роботи. Для забезпечення можливості якісно виконувати роботу приймаємо 3 (висока точність) та під розряд а. Відповідно ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» за цими даними КПО при боковому освітленні становить 2%.

$$e_n = e_n^m \cdot t \cdot c \quad (8.2)$$

де  $e_n^m$  – нормоване значення КПО для 3 поясу світлового клімату, що характерно для нашої місцевості;

$m = 0,9$  – коефіцієнт світлового клімату для України;

$c = 0,76$  – коефіцієнт сонячності клімату за [24].

$$e_n = 2 \cdot 0,9 \cdot 0,76 = 1,368 \%$$

Площу вікон, що забезпечують бокове проникнення світла, можна розрахувати по формулі:

$$S_B = \frac{e_n \cdot K_3 \cdot \eta_B}{100 \cdot \tau \cdot r_1} \cdot S_{\Pi} \cdot K_{\text{БУД}} \quad , \quad (8.3)$$

де  $S_B$  – площа вікон загальна, м<sup>2</sup>;

$K_3$  – коефіцієнт запасу який для виробничих приміщень рекомендується 1.3-1.5;

$\eta_B = 0,8$  – світлова характеристика вікон, вибираємо склопакети [26, дод. Д];

$S_{\Pi}$  – площа підлоги робочого приміщень м<sup>2</sup>;

$K_{\text{БУД}} = 1,4$  – коефіцієнт затінення вікон будівлями, що стоять навпроти;  
 $r_1 = 2 \dots 3,3$  – коефіцієнт, що враховує підвищення КПО при боковому освітленні за рахунок світла, відбитого від поверхонь приміщення;

$\tau$  – загальний коефіцієнт світлопропускання:

$$\tau = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \quad (8.4)$$

де  $\tau_1 = 0,8$  – коефіцієнт світлопропускання скла за [26, дод. Е];

$\tau_2$  – коефіцієнт, що враховує втрату світла у віконній рамі, для одинарної рами рекомендується 0,75 [26, дод. Е];

$\tau_3$  – коефіцієнт, що враховує втрати світла у несучих конструкціях (при боковому освітленні – 1; при верхньому – 0,8...0,9);

$\tau_4 = 1$  – коефіцієнт, що враховує втрати світла у сонцезахисних пристроях за [26, дод. Е].

$$\tau = 0,8 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 1 = 0,6$$

Рекомендований розмір для вікон становить:

$$S_B = \frac{1,368 \cdot 1,4 \cdot 0,8}{100 \cdot 0,6 \cdot 2,5} \cdot 60 \cdot 1,4 = 8,58 \text{ м}^2 \approx 9 \text{ м}^2$$

Приймаємо, що в приміщенні довжиною 12 метрів необхідно розмістити вікна розміром – 1,5×2 м. Розрахункова кількість вікон на площу робочого приміщення в 60 м<sup>2</sup> становить 3 вікна. Тобто, для комфортного природного освітлення в приміщенні необхідно передбачити три вікна відстань між якими два метри, а від стіни до вікна -1.75м. Таким чином, організація умов праці з урахуванням вимог нормативів та розрахунків дасть можливість організувати комфортний робочий простір.

## ВИСНОВКИ

Було розроблено рекомендації вдосконалення технологічного процесу виготовлення черв'як. Було економічно обґрунтовано отримання заготовки на КГШП, розраховано масу заготовки 15.9 кг, коефіцієнт використання матеріалу 0.72. Економічний ефект від впровадження отримання заготовки штампуванням становив 41824 грн.

Був розроблений маршрут виготовлення деталі, який містить замість токарної обробки на універсальних верстатах обробку на верстатах з ЧПК. За рахунок цих заходів зменшився загальний час оброблення деталі та собівартість її виготовлення, економія склала 227650 грн.

Для токарної та фрезерної операцій розроблено керуючі програми в програмі NX.

Запропоновані рекомендації та обладнання для автоматизації зубофрезерної операції шляхом застосування гнучких портативних роботизованих платформ

Було спроектовано робоче пристосування для фрезерування шпонкового пазу. Для нього було розраховано похибку встановлення, був проведений розрахунок на точність, розраховано зусилля затиску і обраний гідроциліндр. Також було спроектовано контрольне пристосування для контролю биття зовнішнього діаметра в центрах.

Розглянуто особливості черв'ячної передачі та матеріали, які підвищують трибологічні властивості. Досліджено вимоги до мастильних матеріалів та методи підвищення трибологічних властивостей чев'ячних передач. Запропоновано рекомендації щодо застосування антифрикційного твердозмашувального покриття.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Червячная передача [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://tpgargo.ru/press-czentr/blog/chervyachnaya-peredacha> (дата звернення: 23.11.2023). – Назва з екрана.
2. Раздел 9. Червячные передачи. - Детали машин [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.detalmach.ru/lect18.htm> (дата звернення: 23.11.2023). – Назва з екрана.
3. Черв'ячна передача [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.shevchenkove.org.ua/person\\_syte/Page/Metodrobota/Dokument/DM%20dok/%D1%87%D0%B5%D1%80%D0%B2.%20%D0%BF%D0%B5%D1%80.htm](https://www.shevchenkove.org.ua/person_syte/Page/Metodrobota/Dokument/DM%20dok/%D1%87%D0%B5%D1%80%D0%B2.%20%D0%BF%D0%B5%D1%80.htm) (дата звернення: 23.11.2023). – Назва з екрана.
4. Какой смазкой смазывать червячный редуктор [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://termopolis.com.ua/kakoj-smazkoj-smazyvat-chervjachnyj-reduktor/> (дата звернення: 23.11.2023). – Назва з екрана.
5. Яке масло лити в черв'ячний редуктор [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://prk.com.ua/ua/a476246-kakoe-maslo-lit.html> (дата звернення: 23.11.2023).
6. ТермоPlex 1500 OG [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://tpgargo.ru/catalog/industrialnyie-smazki/termoplex-og-1500> (дата звернення: 23.11.2023). – Назва з екрана.
7. MODENGY 1001: преимущества и области применения покрытия [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://modengy.ru/articles/modengy-1001-osobennosti-preimushchestva-i-primery-primeneniya-pokrytiya/> (дата звернення: 23.11.2023).
8. Справочник металлиста. В 5-и т. Т. 2. / [под. ред. А.Г. Рахштадта, В.А. Брострема]. – М. : Машиностроение, 1976, – 720 с.
9. Богуслаев В.О. Основи технології машинобудування. Навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей вищих навчальних

закладів / В.О. Богуслаєв, В.І. Ципак, В.К. Яценко – Запоріжжя, вид. ВАТ «Мотор Січ», 2003. – 336 с.

10. ГОСТ 14.312-74. Единая система технологической подготовки производства. – М. : Изд-во стандартов, 1984. – 11 с.

11. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 57 с.

12. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Теоретичні основи технології виготовлення деталей та складання машин», для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», освітньої програми (спеціалізації) «Технології машинобудування» галузі знань «Механічна інженерія» всіх форм навчання / Укл. : Гончар Н.В., Тришин П.Р. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. – 61 с.

13. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 1. / [под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М. : Машиностроение, 1985. – 694 с.

14. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 2. / [под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М. : Машиностроение, 1985.– 652 с.

15. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания при нормировании работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть 2. Нормативы режимов резания. – М. : Экономика, 1990. – 472с.

16. Справочник нормировщика – машиностроителя Т. 2. / [под ред. Е.И. Стружестраха]. – М. : Машгиз, 1961. – 890с.

17. Богуслаев В.А. Станочные приспособления / В.А. Богуслаев, В.А. Леховицер, А.С. Смирнов – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2000. – 430 с.

18. Конспект лекцій з дисципліни «Технологічна оснастка» для студентів зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» освітня програма «Металорізальні верстати та » усіх форм навчання / Укл. О.Б. Козлова. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 118 с.

19. Гончаров П.С. Оценка возможности автоматизации в зубофрезерных операциях / Гончаров, П.С., Медведев А.И. // Материалы Междунар. научно-

техническая конф. молодых ученых БГТУ им. ВГ Шухова, посвященная 300-летию Российской академии наук. – 2022. – С. 38.

20. Robot load-unload system of cnc wheel gear cutting machine. Automation and robotics in cutting industry [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://stock.adobe.com/ru/images/robot-load-unload-system-of-cnc-wheel-gear-cutting-machine-automation-and-robotics-in-cutting-industry/436449613?> (дата звернення: 13.11.2023). – Назва з екрана.

21. What Can Machine Tending Robots Do? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://jhfooster.com/automation-blogs/what-can-machine-tending-robots-do/> (дата звернення: 13.11.2023). – Назва з екрана.

22. Як вплине автоматизація виробництва на ринок праці? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://logist.fm/news/yak-vpline-avtomatizaciya-virobnictva-na-rinok-praci> (дата звернення: 23.11.2023). – Назва з екрана.

23. Методичні рекомендації для дипломного проектування “Оцінка економічної ефективності технічних рішень” для студентів зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання / Укл. Г.В. Пухальська – Запоріжжя: НУ«Запорізька політехніка», – 2023 – 41 с.

24. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01]. – К. : Мінрегіон України, – 2018. – 133 с.

25. ДБН В.2.2-28:2010 Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення . [На заміну СНиП 2.09.04-87 ; чинний від 2011-10-01]. –К. : Міненбуд України, – 2011. – 31 с.

26. Методичні вказівки до лабораторного заняття «Дослідження природної освітленості виробничих приміщень» з дисципліни «Безпека життєдіяльності фахівця з основами охорони праці» : для студентів усіх спеціальностей та форм навчання. / Укл. : О.В.Коробко, Ю.В.Якімцов, Ю.І.Троян: – Запоріжжя : Каф. ОП і НС. НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 16 с.

## ДОДАТОК А

Визначення ваги деталі та заготовок за допомогою масово-центрувальних характеристик програмного забезпечення NX

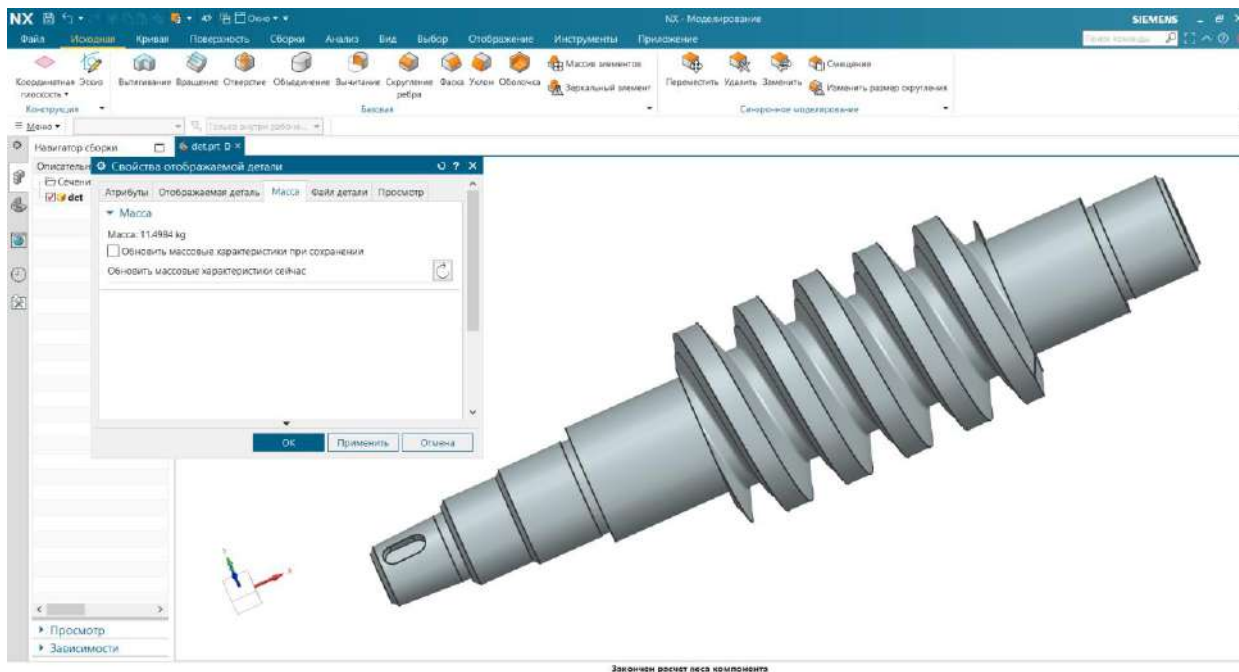


Рисунок А.1 – Визначення ваги деталі

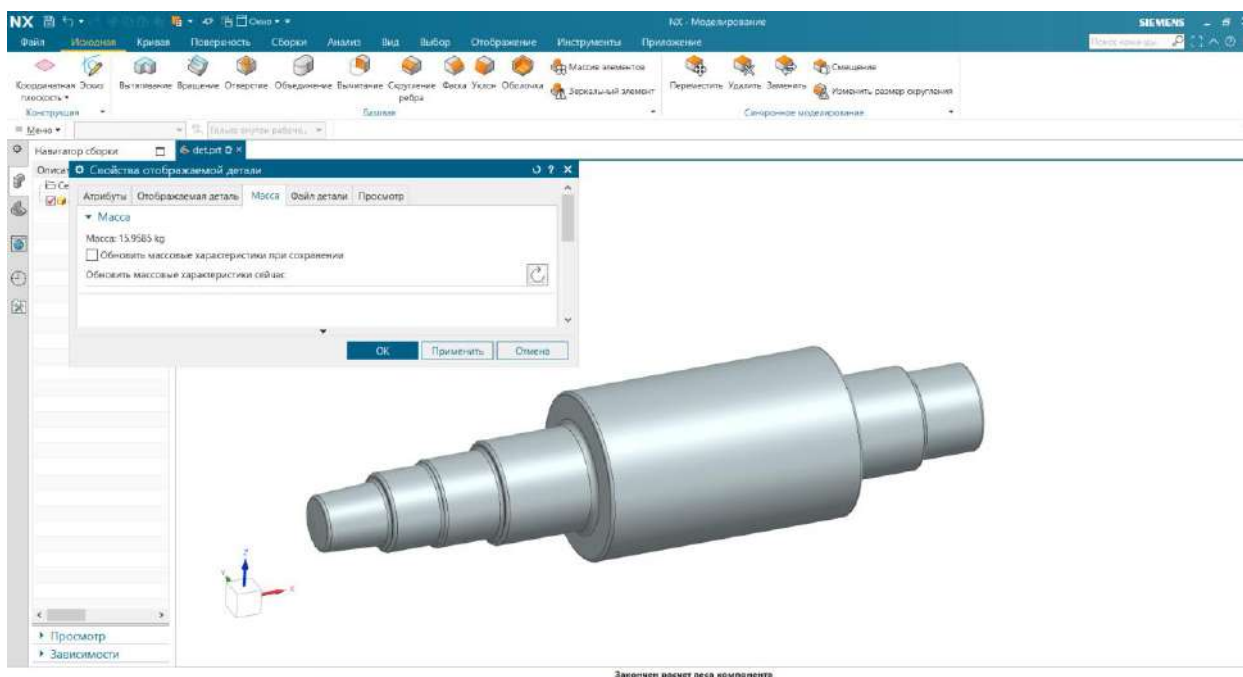


Рисунок А.2 – Визначення ваги заготовки отриманої штампуванням на пресі

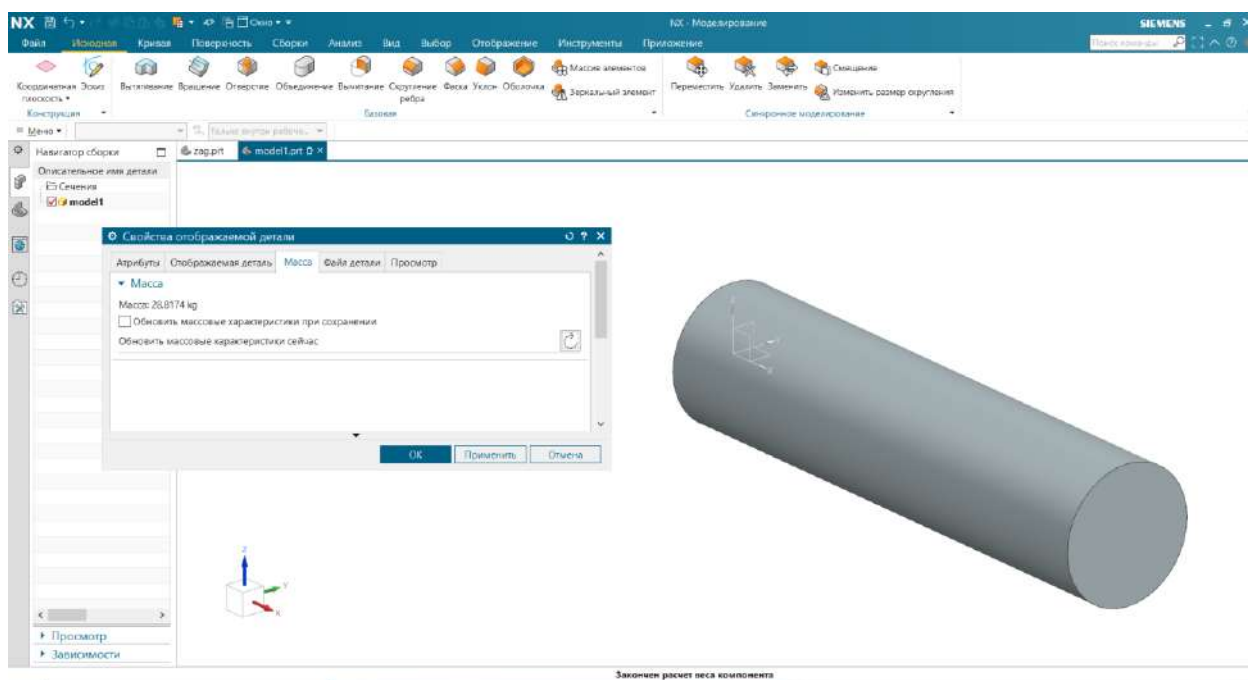


Рисунок А.3 – Визначення ваги заготовки отриманої з прокату

**ДОДАТОК Б**  
**Специфікація робочого пристосування**

| Формат<br>Знач   | Поз. | Обозначение | Наименование                | Кол.  | Примечание |                    |              |               |             |              |              |      |  |        |  |
|--|------|-------------|-----------------------------|-------|------------|--------------------|--------------|---------------|-------------|--------------|--------------|------|--|--------|--|
|  |      |             |                             |       |            | Строч. №           | Подп. и дата | Инд. № дробл. | Взам инд. № | Подп. и дата | Инд. № подл. |      |  |        |  |
|  |      |             |                             |       |            |                    |              |               |             |              |              |      |  |        |  |
|  |      |             | <u>Документация</u>         |       |            |                    |              |               |             |              |              |      |  |        |  |
|  |      |             | <u>Складальне креслення</u> |       |            |                    |              |               |             |              |              |      |  |        |  |
|  |      |             | <u>Детали</u>               |       |            |                    |              |               |             |              |              |      |  |        |  |
|  | 1    |             | Корпус                      | 1     |            |                    |              |               |             |              |              |      |  |        |  |
|  | 2    |             | Призма                      | 1     |            |                    |              |               |             |              |              |      |  |        |  |
|  | 3    |             | Поршень                     | 1     |            |                    |              |               |             |              |              |      |  |        |  |
|  | 4    |             | Штак                        | 1     |            |                    |              |               |             |              |              |      |  |        |  |
|  | 5    |             | Кришка                      | 1     |            |                    |              |               |             |              |              |      |  |        |  |
|  | 6    |             | Рычаг                       | 2     |            |                    |              |               |             |              |              |      |  |        |  |
|  | 7    |             | Втулка                      | 2     |            |                    |              |               |             |              |              |      |  |        |  |
|  | 8    |             | Клин                        | 1     |            |                    |              |               |             |              |              |      |  |        |  |
|  | 9    |             | Пружина                     | 1     |            |                    |              |               |             |              |              |      |  |        |  |
|  | 10   |             | Палець                      | 2     |            |                    |              |               |             |              |              |      |  |        |  |
|  | 11   |             | Штуцер                      | 1     |            |                    |              |               |             |              |              |      |  |        |  |
|  | 12   |             | Призма                      | 1     |            |                    |              |               |             |              |              |      |  |        |  |
|  | 13   |             | Установ                     | 1     |            |                    |              |               |             |              |              |      |  |        |  |
|  | 14   |             | Корпус                      | 1     |            |                    |              |               |             |              |              |      |  |        |  |
|  | 15   |             | Штуцер                      | 1     |            |                    |              |               |             |              |              |      |  |        |  |
|  |      |             | <u>Стандартные изделия</u>  |       |            |                    |              |               |             |              |              |      |  |        |  |
| <b>НУЗП 293226.031</b>                                 |      |             |                             |       |            |                    |              |               |             |              |              |      |  |        |  |
| Изм. Лист  |      | № докум.    |                             | Подп. |            | Дата               |              |               |             | Лист         |              | Лист |  | Листов |  |
| Разраб.  |      | Козлова     |                             |       |            |                    |              |               |             | 1            |              | 2    |  |        |  |
| Проб.  |      | Степанов    |                             |       |            |                    |              |               |             |              |              |      |  |        |  |
| Н.контр.   |      | Дядя        |                             |       |            |                    |              |               |             |              |              |      |  |        |  |
| Утв.   |      | Дядя        |                             |       |            |                    |              |               |             |              |              |      |  |        |  |
| Пристосування для<br>фрезерування шпонач-<br>ного пазу |      |             |                             |       |            | НУЗП<br>гр. М-122м |              |               |             |              |              |      |  |        |  |
| Клиничка   |      |             |                             |       |            | Міхалит Д.         |              |               |             |              |              |      |  |        |  |



## ДОДАТОК В

## Специфікація контрольного пристосування

| Формат<br>Зона<br>Лист                                | Обозначение         | Наименование                | Кол                | Приме-<br>чание |
|---|---------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------|
|   |                     |                             |                    |                 |
|   |                     | <u>Документация</u>         |                    |                 |
|   |                     | <u>Складальне креслення</u> |                    |                 |
|   |                     | <u>Детали</u>               |                    |                 |
| 1   |                     | Корпус                      | 1                  |                 |
| 2   |                     | Призма                      | 1                  |                 |
| 3   |                     | Поршень                     | 1                  |                 |
| 4   |                     | Штак                        | 1                  |                 |
| 5   |                     | Кришка                      | 1                  |                 |
| 6   |                     | Рычаг                       | 2                  |                 |
| 7   |                     | Втулка                      | 2                  |                 |
| 8   |                     | Клин                        | 1                  |                 |
| 9   |                     | Пружина                     | 1                  |                 |
| 10  |                     | Палець                      | 2                  |                 |
| 11  |                     | Штуцер                      | 1                  |                 |
| 12  |                     | Призма                      | 1                  |                 |
| 13  |                     | Установ                     | 1                  |                 |
| 14  |                     | Корпус                      | 1                  |                 |
| 15  |                     | Штуцер                      | 1                  |                 |
|   |                     | <u>Стандартные изделия</u>  |                    |                 |
| <b>НУЗП 293226.031</b>                                |                     |                             |                    |                 |
| Изм. Лист   | № докум.            | Подп.                       | Дата               |                 |
| Разраб.<br>Проб.                                      | Козлова<br>Степанов |                             |                    |                 |
| Н.контр.<br>Утв.                                      | Дядя<br>Дядя        |                             |                    |                 |
| Пристосування для<br>фрезерування шпано-<br>ного пазу |                     |                             | Лит.               | Лист            |
|   |                     |                             | 1                  | 1               |
|   |                     |                             | НУЗП<br>гр. М-122м |                 |
|   |                     |                             | Листов<br>2        |                 |
|   |                     |                             | Формат А4          |                 |

Копіював