

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Віталій ІВАНОВ

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

«магістр»

(бакалавр/магістр)

зі спеціальності

131 «Прикладна механіка»

(код та назва)

освітньо-професійної

програми

«Технології машинобудування»

(освітньо-професійної/освітньо-наукової)

(назва програми)

на тему:

Удосконалення технологічного процесу виготовлення

зубчатого колеса 1141.150.000.05 шляхом оптимізації верстатного пристрою  
для свердлильної операції

Здобувача групи

ТМ.м-31

(шифр групи)

Лошки Романа Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Роман ЛОШКА

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник

ст.викладач, канд. техн. наук, доцент Анна НЕШТА

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Нормоконтролер

ст.викладач, канд. техн. наук, доцент Анна НЕШТА

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Суми – 2024

**ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ**  
**«Сумський державний університет»**

|                          |                                                                                       |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Інститут, факультет      | факультет технічних систем і енергоефективних технологій                              |
| Кафедра                  | технології машинобудування, верстатів та інструментів                                 |
| Освітньо-науковий рівень | другий (магістерський)<br><small>(назва)</small>                                      |
| Спеціальність            | 131 – прикладна механіка<br><small>(шифр і назва)</small>                             |
| Освітня програма         | технології машинобудування<br><small>(назва освітньої програми, за наявності)</small> |

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри технології  
машинобудування, верстатів та  
інструментів

\_\_\_\_\_ Віталій ІВАНОВ

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 року

**ЗАВДАННЯ**  
**ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (ПРОЄКТУ) ЗДОБУВАЧА**

**Лошка Роман Олександрович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Удосконалення технологічного процесу (роботи) виготовлення зубчатого колеса 1141.150.000.05 шляхом оптимізації верстатного пристрою для свердлильної операції»

керівник проекту Нешта Анна Олександрівна канд. техн. наук, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «12» листопада 2024 року за №1176-VI

2. Строк подання студентом роботи (проєкту) «15» грудня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи (проєкту)

Креслення деталі «Зубчате колесо 1141.150.000.05».

Типовий технологічний процес виготовлення деталі зубчате колесо.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Виконати аналіз первинної інформації про деталь.

2. Удосконалити технологічний процес виготовлення деталі.

3. Проектування верстатного пристрою для свердлильної операції.

4. Розглянути питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

5. Консультанти розділів роботи (проєкту)

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|        |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
|        |                                           |                |                  |

6. Дата видачі завдання «25» вересня 2024 року

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів магістерської роботи (проєкту)                            | Строк виконання етапів роботи (проєкту) | Примітка |
|-------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------|
| 1     | Аналіз первинної інформації про деталь                                 | 01.10.2024                              |          |
| 2     | Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі               | 15.10.2024                              |          |
| 3     | Розроблення верстатного пристрою                                       | 01.11.2024                              |          |
| 4     | Підготовка розділу з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях | 01.12.2024                              |          |
| 5     | Формулювання загальних висновків                                       | 10.12.2024                              |          |
| 6     | Підготовка доповіді                                                    | 12.12.2024                              |          |
| 7     | Підготовка презентації                                                 | 12.12.2024                              |          |
| 8     | Оформлення роботи                                                      | 14.12.2024                              |          |
|       |                                                                        |                                         |          |
|       |                                                                        |                                         |          |

**Здобувач**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Роман ЛОШКА**

\_\_\_\_\_  
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

**Керівник роботи (проєкту)**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Анна НЕШТА**

\_\_\_\_\_  
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка виконана на 92 сторінках, включає 20 рисунків, 10 таблиць, бібліографії із 31 джерел.

У рамках дослідження було проведено комплекс робіт, що включали детальний аналіз функціонального призначення машини, вузла та оброблюваної деталі, а також аналіз технічних вимог до якості виготовлення. Було розроблено конструкцію заготовки, що дозволяє максимально ефективно використовувати матеріал. Створено новий, більш ефективний технологічний процес виготовлення деталі, а також спеціальний пристрій для свердління, який забезпечує високу точність обробки. Проведено наукове дослідження з метою оптимізації процесу шліфування.

**Метою дослідження** є удосконалення технологічного процесу виготовлення зубчатого колеса 1141.150.000.05 шляхом інтенсифікації свердлильної операції.

**Об'єкт дослідження:** технологічний процес оброблення зубчатого колеса.

**Предмет дослідження:** верстатний пристрій для установаження зубчатого колеса на свердлильній операції.

**Наукова новизна:** запропоновано конструкцію верстатного пристрою для свердління, яка забезпечує підвищену жорсткість системи та точність обробки.

**Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра.** Робота складається із вступу, трьох розділів, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 92 сторінки, у тому числі 20 рисунків, 10 таблиць, бібліографії із 15 джерел на двох сторінках.

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ЗУБЧАТЕ КОЛЕСО, РЕЖИМ РІЗАННЯ,  
СВЕРДЛІННЯ

## ABSTRACT

The explanatory note consists of 92 pages, includes 20 figures, 10 tables, and a bibliography of 31 sources.

The study encompasses a comprehensive range of tasks, including a detailed analysis of the functional purpose of the machine, the assembly unit, and the processed part, as well as the technical requirements for manufacturing quality. A blank design was developed to maximize material utilization efficiency. A new, more efficient technological process for part production was created, along with a specialized drilling device ensuring high processing accuracy. Scientific research was conducted to optimize the grinding process.

The aim of the research is to improve the technological process of manufacturing the 1141.150.000.05 gearwheel by intensifying the drilling operation.

**Object of research:** the technological process of gearwheel processing.

**Subject of research:** a machine fixture for positioning the gearwheel during the drilling operation.

**Scientific novelty:** a drilling machine fixture design was proposed, providing increased system rigidity and processing accuracy.

**Structure and volume of the master's qualification work:** The work comprises an introduction, three chapters, a list of references, and appendices. The total volume is 92 pages, including 20 figures, 10 tables, and a bibliography of 15 sources spanning two pages.

TECHNOLOGICAL PROCESS, GEAR WHEEL, CUTTING MODE, DRILLING

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                                                          | 8  |
| РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ<br>.....                                                                 | 12 |
| 1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла деталі. Опис конструктивних особливостей деталі і умов експлуатації .....           | 12 |
| 1.2 Аналіз технічних умов та вимог до конструкції деталі. Визначення технологічних завдань щодо її виготовлення .....               | 16 |
| 1.3 Характеристика типу виробництва та організаційної форми виробництва.....                                                        | 18 |
| 1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі.....                                                                                  | 23 |
| РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ .....                                                   | 26 |
| 2.1 Вибір способу отримання заготовки та розроблення технічних вимог до неї .                                                       | 26 |
| 2.2 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання .....                                                                        | 30 |
| 2.3 Аналіз та обґрунтування схем базування та закріплення заготовки .....                                                           | 32 |
| 2.4 Обґрунтування вибору металорізальних верстатів .....                                                                            | 37 |
| 2.5 Обґрунтування вибору верстатних пристроїв, металорізального та вимірювального інструментів .....                                | 40 |
| 2.6 Розрахунок режимів різання .....                                                                                                | 42 |
| 2.7 Проектування засобів технологічного оснащення .....                                                                             | 52 |
| 2.8 Висновки .....                                                                                                                  | 60 |
| РОЗДІЛ 3 НАУКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ.....                                                                                                   | 61 |
| 3.1. Аналіз стану досліджень у галузі розроблення верстатних пристроїв.....                                                         | 61 |
| 3.2 Розроблення 3D-моделі конструкції верстатного пристрою та його інженерне дослідження методом скінчено-елементного аналізу ..... | 63 |
| 3.3 Висновок .....                                                                                                                  | 71 |
| ВИСНОВКИ.....                                                                                                                       | 72 |
| ДОДАТОК А.....                                                                                                                      | 75 |
| ДОДАТОК Б .....                                                                                                                     | 76 |
| ДОДАТОК В .....                                                                                                                     | 77 |
| ДОДАТОК Г .....                                                                                                                     | 78 |
| ДОДАТОК Д.....                                                                                                                      | 79 |
| ДОДАТОК Е .....                                                                                                                     | 81 |

|                 |    |
|-----------------|----|
| ДОДАТОК Ж ..... | 83 |
| ДОДАТОК К ..... | 84 |

## ВСТУП

Провідне місце в розвитку економіки країни належить галузям машинобудування, які забезпечують матеріальну основу технічного прогресу всіх галузей народного господарства. В даний час машинобудування не володіє достатньо потужною виробничою базою. Це пов'язано з непристосованістю промисловості України до самостійного розвитку та рядом інших причин.

Моральне старіння продукції машинобудування дуже часто настає значно швидше її фізичного старіння, при цьому строки стійкого масового чи серійного виробництва скоротилися 10...15 до 3...5 років, а для впровадження у виробництво нових виробів на кожну тисячу деталей необхідно розробити понад 15 тисяч одиниць різноманітної технічної документації та виготовити до 5 тисяч різних видів технологічного оснащення. Все це потребує підвищення технології методів організації та управління процесами виробництва.

Практичному здійсненню широкого застосування прогресивних типових технологічних процесів, оснащення та обладнання, засобів механізації та автоматизації, що відповідають сучасним досягненням науки і техніки, сприяє Єдина система технологічної підготовки виробництва (ЄСТПВ), що забезпечує для всіх підприємств та організацій системний підхід до оптимізації вибору методів та засобів технологічної підготовки виробництва (ТПВ).

Основними принципами ЄСТПВ є: запуск у виробництво виробів, відпрацьованих на технологічність, широке застосування типових технологічних процесів, стандартизація та механізація інженерно-технічних та керівницьких робіт. Важливе місце у вирішенні цих задач займає технологія машинобудування.

**Метою дослідження** є удосконалення технологічного процесу виготовлення зубчатого колеса 1141.150.000.05 шляхом інтенсифікації свердлильної операції.

**Об'єкт дослідження:** технологічний процес оброблення зубчатого колеса.

**Предмет дослідження:** верстатний пристрій для установаження зубчатого колеса на свердлильній операції.



**Наукова новизна:** запропоновано конструкцію верстатного пристрою для свердління, яка забезпечує підвищену жорсткість системи та точність обробки.

**Методи дослідження.** Результати роботи базуються на теоретичних основах технології машинобудування, теорії різання, різального інструменту, чисельного моделювання. Також у роботі використовувались комп'ютерне моделювання в середовищі SolidWorks.

**Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра.** Немає.

**Публікації.** Немає.

**Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра.** Робота складається із вступу, трьох розділів, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 92 сторінки, у тому числі 20 рисунків, 10 таблиць, бібліографії із 15 джерел на двох сторінках.

# РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

## 1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла деталі. Опис конструктивних особливостей деталі і умов експлуатації

Деталь, що задана – Колесо зубчасте входить до складу редуктору ТСН.02.102 скребкового транспортера ТСН- 160, який зображено на рисунку 1.1.

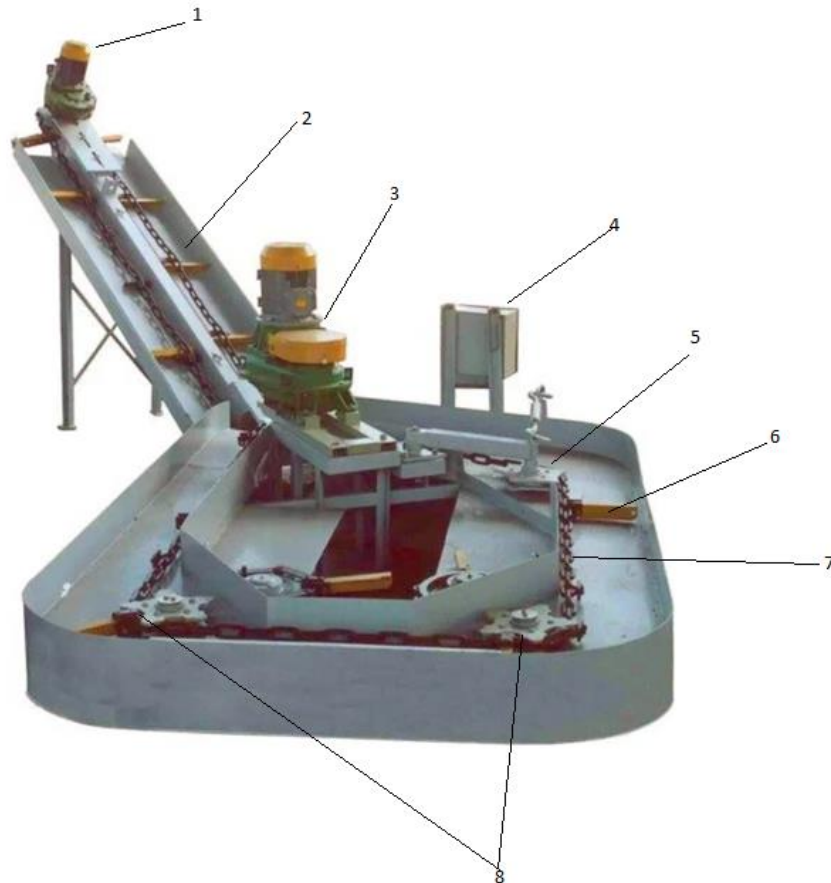


Рисунок 1.1 – Транспортёр скребковий ТСН-160

1 – привод похилого транспортера; 2 – похилий транспортер; 3 – мотор-редуктор горизонтального транспортера; 4 – ящик керування; 5 – натяжний пристрій; 6 – ланцюг з скребками; 7- горизонтальний транспортер; 8 – поворотний пристрій.

**Скребокний транспортер типу ТСН** (рис. 1.1) призначений для видалення відходів з тваринницьких приміщень та одночасного завантаження його в транспортні засоби. Він складається з горизонтального та похилого транспортерів, які мають індивідуальні приводи 1, 3. Горизонтальний транспортер 7, встановлений у гнойовому каналі приміщення, складається з нерозбірного ланцюга на транспортерах з прикріпленими до нього скребками поворотної дії 6 та пристрою для натягування ланцюга 5.

Похилий транспортер 2 має два канали в яких переміщується ланцюг із скребками. Він завантажує гній у транспортний засіб і встановлюється в тамбурі тваринницького приміщення. Під верхнім кінцем транспортера розташовують тракторний причіп. В процесі використання регулюють натяг ланцюга на горизонтальному та похилому транспортерах з допомогою натяжного пристрою 5.

Редуктор ТСН.02.102 призначений для комплектації горизонтальних гноєприбиральних конвеєрів типу ТСН. Також редуктор ТСН.02.020 широко використовується у промислових бетонозмішувачах. Особливістю редуктора ТСН.02.102 є перша швидкохідна клинопасова передача, що забезпечує більш плавну та безпечну роботу гноєприбирального конвеєра.

До вузла редуктора ТСН.02.102 входить деталь зубчасте колесо яке служать для передачі крутного моменту від одного вала до другого при заданому передаточному відношенні.

На рисунку 1.2 зображений ескіз вузла редуктора ТСН.02.102

Вал-шестерня 6, встановлена в двох підшипниках 1 і 5, всередині корпуса редуктора 2. На вал-шестерні розташоване зубчасте колесо 3, яка встановлюється на валу за допомогою шпонки 8, і знаходиться в зачепленні з колесом 7.

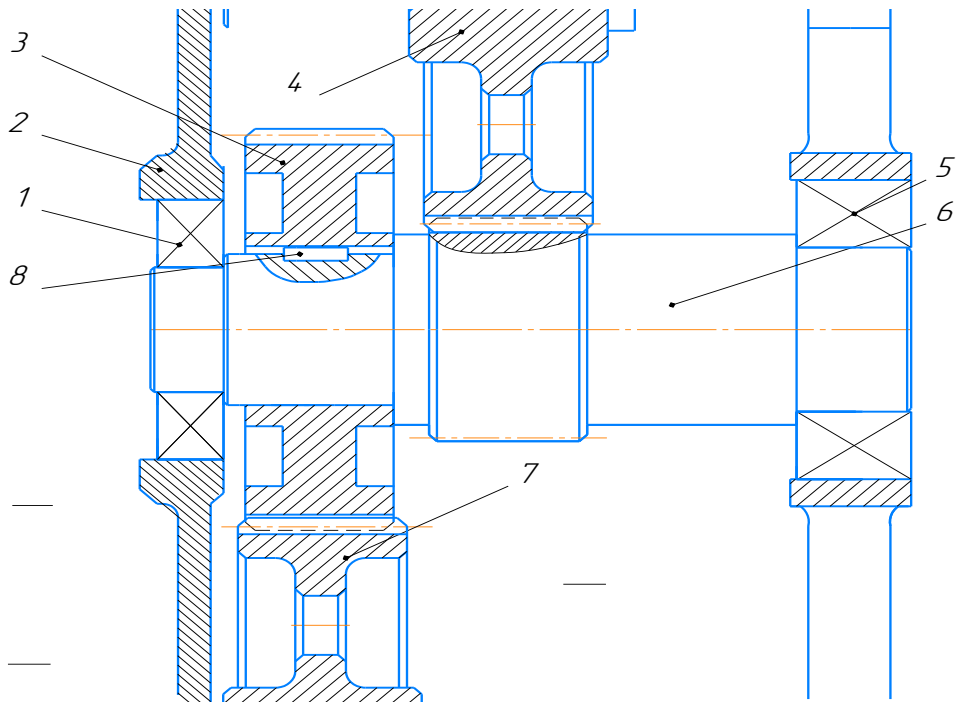


Рисунок 1.2 – Ескіз вузла редуктора ТСН.02.102

Проаналізуємо поверхні деталі, рисунок 1.3

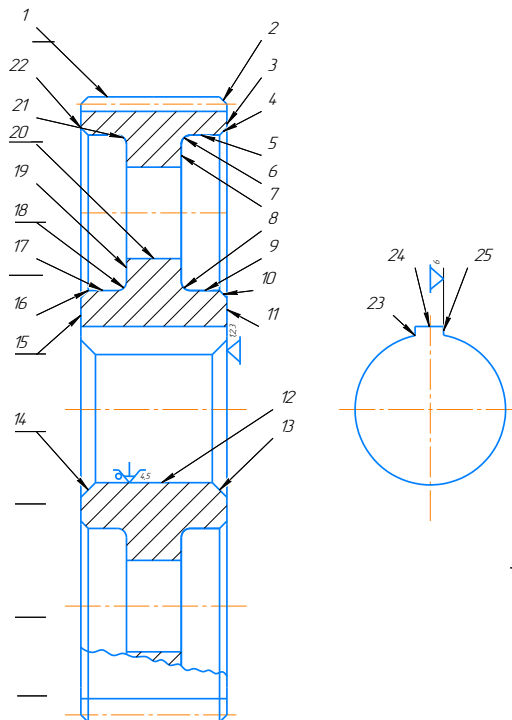


Рисунок 1.3 – Поверхні зубчатого колеса

За призначенням всі поверхні зубчатого колеса можна поділити на виконавчі, базові та вільні (табл.1.1).

Таблиця 1.1 – Класифікація поверхонь зубчатого колеса

| Вид поверхні                         | Номери поверхонь                                     |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Основні конструкторські бази (ОКБ)   | 11, 12                                               |
| Допоміжні конструкторські бази (ДКБ) | 23,24,25                                             |
| Виконавчі                            | 1                                                    |
| Вільні                               | 2,3,4,5,6,7,8,9,10,13,14,15,16,17,18,<br>19,20,21,22 |

Поверхні 11, 12 визначають положення деталі у виробі і являються основними конструкторськими базами (ОКБ). До ОКБ відноситься внутрішня поверхня зубчастого колеса  $\varnothing 80$ мм довжиною 64 мм, яка встановлюється на вал і торець  $\varnothing 122$ мм, що визначає місце даної деталі у виробі.

Допоміжна конструкторська база (ДКБ) поверхня, визначає положення деталей, що приєднуються відносно даної – це поверхні 23, 24, 25. По цих поверхнях у деталі базується шпонка.

Виконавча, яка вказує службове призначення даного виробу – зубчаста поверхня 1 діаметром 341.8мм довжиною 80 мм. За допомогою цієї поверхонь передається крутний момент, і механізм приводиться в дію.

Вільні поверхні, не торкаються поверхонь інших деталей, – решта.

Після проаналізування деталі у вузлі, можна стверджувати, що деталь позбавлена шести ступенів вільності, (схема базування показана на рисунку 1.3).

## 1.2 Аналіз технічних умов та вимог до конструкції деталі. Визначення технологічних завдань щодо її виготовлення

Відповідно до рекомендацій, аналізуючи креслення деталі «Зубчасте колесо 1141.150.000.05», видно, що на кресленні присутні в достатній кількості перерізи та види деталі, які надають змогу повного уявлення конструкції деталі. Їх виконання і метод розташування на кресленні відповідає вимогам стандартів ЄСКД. Для забезпечення точності при виготовленні колеса і відповідності його до службового призначення необхідною умовою є виконання цих стандартів.

Деталь зубчасте колесо виготовляється з конструкційної легованої сталі 40Х ГОСТ4543-71. Сталь 40Х легована хромом завдяки якому сталь стає більш зносостійкою і витривалішою до корозії. Завдяки термічній обробці, а саме

Хімічний склад та механічні властивості сталі 40Х наведені у таблицях 2.1 та 2.2

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 40Х ГОСТ 4543 – 71 [1]

| C              | Si             | Mn           | Ni     | S        | P        | Cr           | Fe | Cu     |
|----------------|----------------|--------------|--------|----------|----------|--------------|----|--------|
| 0.36 -<br>0.44 | 0,17 –<br>0,37 | 0.5 –<br>0,8 | до 0,3 | до 0,035 | до 0,035 | 0.8 -<br>1.1 | 97 | до 0,3 |

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 40Х ГОСТ 4543 – 71 [1]

| $\sigma_B$<br>МПа | $\sigma_T$<br>МПа | $a_5$<br>% | $\delta$<br>% | KCU<br>кДж / м <sup>2</sup> | Хіміко-термічна обробка                              |
|-------------------|-------------------|------------|---------------|-----------------------------|------------------------------------------------------|
| 980               | 780               | 10         | 45            | 59                          | Загартування від 860°C в<br>маслі, відпуск при 500°C |

До виконавчих та базових поверхонь ставлять такі вимоги щодо точності та якості: зубчастий вінець (виконавча поверхня) виконаний з класом точності 9-9-8х і шорсткістю Ra 3,2 мкм; точність ОКБ (торець маточини) – 122h12 мм з

шорсткістю Ra 1,6 мкм, і ( центрального отвору) – 80 H7 мм з шорсткістю Ra 2,5 мкм.

Решта поверхонь деталі не є відповідальними, і мають граничні відхилення розмірів: зовнішні h14, внутрішні – H14 (ГОСТ 25670-83). Параметр шорсткості інших поверхонь – Ra 6,3 та 12,5. Ці вимоги також вказані на кресленні деталі.

Основні технічні вимоги, що пред'являються конструктором до зубчастого колеса:

- відхилення від концентричності початкового кола зубчастого колеса щодо посадочних поверхонь (ексцентриситет) не більше 0,05-0,1 мм;

- неперпендікулярність торців до осі отвору або вала (биття торців) зазвичай приймається не більше 0,06мм;

- внутрішній діаметр Ø80H7мм. Точність центруючого розміру – H7, параметр шорсткості - Ra 2,5 мкм.

Перекося шпонкового паза відносно осі розточки не більше половини допуску на ширину паза.

Поковка Гр. III ГОСТ 8479 – 70 НВ 223...262

### 1.3 Характеристика типу виробництва та організаційної форми виробництва

Тип виробництва згідно з ГОСТом 3.1108-74 визначається за коефіцієнтом закріплення операцій  $K_{30}$  і залежить від заданої програми випуску і трудомісткості виготовлення деталі.

#### 1.2 Розрахунок коефіцієнта закріплення операції

Вихідні дані :

- Річна програма виготовлення деталей  $N= 200$  шт;
- Режим роботи підприємства  $B=2$  зміни на добу;
- Найменування деталі – колесо зубчасте;

Для кожної операції механічної обробки типового технологічного процесу виготовлення деталі [1,2] визначаємо штучно-калькуляційний час  $T_{ш-к}$  за наближеними формулами [3, с. 146-147; 4, с. 220-221; 2, с. 246-258] та заносимо до таблиці 3.1

$$T_{ш-к} = T_o \cdot \varphi_k, \text{ хв} \quad (3.1)$$

де  $\varphi$  – поправочний коефіцієнт [3, с. 147; 4, с. 221].

Таблиця 1.3 – Технологічний процес виготовлення зубчастого колеса

| №   | Назва операції        | $t_{шт}$ | $m_p$ | P | $\Pi_{зф}$ | O     |
|-----|-----------------------|----------|-------|---|------------|-------|
| 015 | Токарно-гвинторізна   | 40       | 0,044 | 1 | 0,044      | 17    |
| 020 | Токарно - гвинторізна | 20       | 0,022 | 1 | 0,022      | 34,1  |
| 030 | Свердлильна з ЧПК     | 30       | 0,033 | 1 | 0,033      | 22,7  |
| 035 | Довбальна             | 15       | 0,017 | 1 | 0,017      | 44,1  |
| 040 | Зубофрезерна          | 30       | 0,033 | 1 | 0,033      | 22,7  |
|     | Разом                 |          |       | 5 |            | 140,6 |



Визначення типу виробництва [3, с. 228; дод. 8.3; с. 19-21].

Розрахункова кількість верстатів за операціями :

$$m_p = \frac{N \cdot t_{шт}}{60 \cdot F_d \cdot n_z}, \text{ шт.} \quad (3.2)$$

де  $t_{шт}$  – норма штучного часу, хв. ;

$F_d$  – дійсний річний фонд часу роботи обладнання, год. ; при 2-х змінному режимі роботи підприємства  $F_d=4029$  год. ;[3, с. 22 : таблиця 2.1]

$n_z$  – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання; приймається в межах 0,75...0,8.

Для операції 015

$$m_p = \frac{200 \cdot 40}{60 \cdot 4029 \cdot 0,8} = 0,044 \quad , \text{ шт.}$$

Установити визначене число робочих місць Р, округляючи до найближчого більшого цілого числа значення  $m_p$ .

Фактичний коефіцієнт завантаження робочого місці :

$$n_{зф} = \frac{m_p}{P} \quad (3.3)$$

Для операції 015

$$n_{зф} = \frac{0,044}{1} = 0,044$$

Кількість операцій виконуваних на робочому місці :

$$O = \frac{n_z}{n_{зф}}$$

Для операції 015

$$O = \frac{0,8}{0,044} = 17$$

Результати розрахунків по решті операцій заносимо до таблиці 3.1 і визначаємо  $\Sigma T_{ш-к}$ ,  $\Sigma P$ ,  $\Sigma O$ .

Коефіцієнт закріплення операцій :

$$K_{30} = \frac{\Sigma O}{\Sigma P} \quad (3.4)$$

$$K_{30} = 28,12$$

$20 < K_{30} \leq 40$  – виробництво дрібносерійне

Визначення форми організації виробництва

Добовий випуск деталей визначаємо за формулою (3.5)

$$N_{\text{доб}} = \frac{N}{D_p}, \text{ шт} \quad (3.5)$$

$$N_{\text{доб}} = \frac{200}{254} = 0,79 \approx 1, \text{ шт.}$$

де  $N$  – річна програма випуску, шт. ;

$D_p$  – кількість робочих днів у році, приймаємо 254 дні.[3, с. 22]

Добова продуктивність потокової лінії при завантаженні її на 60% визначається за формулою (3.6)

$$Q = \frac{F_{\text{доб}}}{T_{\text{ср}}} \cdot 0,6, \text{ шт} \quad (3.6)$$

де  $F_{\text{доб}}$  – добовий фонд часу роботи устаткування;

$T_{\text{ср}}$  – середня трудомісткість механічних операцій.

Добовий фонд часу розраховуємо за формулою :

$$F_{\text{доб}} = \frac{60 \cdot F_d}{254}, \text{ хв}$$
$$F_{\text{доб}} = \frac{60 \cdot 4029}{254} = 951,2 \approx 952 \text{ хв.}$$

Середню трудомісткість визначаємо за формулою :

$$T_{\text{ср}} = \frac{\sum T_{\text{шт.}}}{n}, \text{ хв}$$

$$T_{\text{ср}} = \frac{\sum 2,2}{5} = 0,42 \text{ хв.}$$

$$Q = \frac{952}{0,42} \cdot 0,6 = 1360 \text{ шт.}$$

При порівнянні  $N_{\text{доб}} = 1 \text{ шт.} < Q = 1360 \text{ шт.}$ , бачимо, що добовий випуск деталей набагато менший від добової продуктивності потокової лінії на 60 %, тобто застосування однономенклатурної потокової лінії недоцільно. Тому застосовуємо групову форму організації виробництва.

Розрахункова кількість деталей у партії розраховуємо за формулою :

$$N_{\text{парт}} = N_{\text{доб}} \cdot a, \text{ шт}$$

де  $a$  - періодичність запуску в днях; приймаємо  $a=24$  дні.

$$N_{\text{парт}} = 1 \cdot 24 = 24 \text{ шт.}$$

Корегуємо розмір партії за рахунок визначення числа змін на оброблення всієї партії :

$$Z = \frac{T_{\text{ср}} \cdot N_{\text{парт}}}{F_3 \cdot n_{\text{з.н}}}, \text{ шт}$$

де  $F_3$  – змінний фонд часу роботи верстатів

$$F_3 = \frac{F_{\text{доб}}}{b}, \text{ хв}$$

де  $b$  – кількість змін за добу,  $b = 2$ .

$$F_3 = \frac{952}{2} = 476 \text{ хв.}$$

$$Z = \frac{0,42 \cdot 288}{476 \cdot 0,8} = 0,31 \approx 1 \text{ шт}$$

Число змін округлюємо до найбільшого цілого значення, приймаємо  $Z=1$ .

Число деталей у партії :

$$N_{\text{пар}} = \frac{F_z \cdot z_{\text{пр}} \cdot n_{z.n}}{T_{\text{ср}}}, \text{ шт} \quad (3.7)$$

$$N_{\text{пар}} = \frac{476 \cdot 1 \cdot 0,8}{0,42} = 906,66 \approx 907 \text{ шт.}$$

Характеристика обраного типу виробництва наведена в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Характеристика обраного типу виробництва

|                                                           |                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Номенклатура та обсяг випуску                             | Незначна, з поступовим зменшенням номенклатури та збільшенням обсягу                                                         |
| Вид обладнання                                            | Універсальне, верстати з ЧПК з поступовим підвищенням рівня автоматизації до напівавтоматів                                  |
| Пристрої                                                  | Універсальні, УСП, переналагоджувальні, та спеціальні                                                                        |
| Різальний інструмент                                      | Універсальний, спеціалізований                                                                                               |
| Вимірювальний інструмент                                  | Універсальний, граничні калібри                                                                                              |
| Рівень глибини технологічних рішень                       | Маршрутний, маршрутно-операційний, операційний                                                                               |
| Метод технічного нормування                               | Дослідно-статистичний, розрахунково-аналітичний                                                                              |
| Види вихідних заготовок                                   | Сортовий прокат, кування, литво                                                                                              |
| Методи досягнення точності при механічній обробці         | Метод автоматичного досягнення точності з використанням жорстких упорів, лімбів, верстатів з ЧПК, автоматів та ін.           |
| Методи досягнення точності замикаючої ланки при складанні | Пригінка, регулювання, групової взаємозамінності, повної та неповної взаємозамінності                                        |
| Розташування обладнання                                   | Предметно-замкнуті дільниці для виготовлення групи технологічно подібних деталей, потокові лінії                             |
| Рівень кваліфікації основних робітників                   | Вимоги поступово знижуються, але зростає вимога до кваліфікації робітників, що налагоджують обладнання (додаткові робітники) |
| Собівартість виробництва                                  | Середня                                                                                                                      |

## 1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

Оцінка технологічності деталі «Зубчасте колесо» 1141.150.000.05 за якісними показниками включає в себе:

- за технологічністю матеріалу, з якого виготовлено зубчасте колесо. Деталь була виготовлена із легованої сталі 40Х, в пункті 2 наведено хімічний склад сталі. За фізико – механічними властивостями і хімічним складом близькою до сталі 40Х є сталь 45, яку використовують як замітник заданої сталі.

Завдяки тому що дана сталь легована 1% хрому, її вартість достатньо не висока.

Даний матеріал стає неможливо замінити на легший і міцніший замітник, тому, що це призведе до того що деталь не зможе виконувати свою роботу, або до збільшення собівартості виробу. Отже деталь технологічна так як матеріал з якого вона виготовлена добре піддається обробці різанням і не знаходиться в дефіциті.

- за технологічністю геометричної форми поверхонь.

Так як всі поверхні деталі прості, то їх можна обробити стандартними, або спеціальними нескладними інструментами. За кресленням на деталі знаходяться нетехнологічні елементи що невеликим чином ускладнюють обробку, до них входять: косозубий зубчатий вінець, отвори з великим діаметром та шпонковий паз і радіуси R5.

З всього вищеперерахованого можна зробити висновок що дуталь технологічна.

- оцінка технологічності по вибору найвигіднішого розкрою матеріалу яка б дала можливість використати відходи матеріалу.

Виходячи із службового призначення всі поверхні деталі обробляються тому ми не можемо змінити кількість поверхонь, які не обробляються. Отже деталь за цим показником нетехнологічна.

- оцінка технологічності за простановкою розмірів.

Основою для оцінки технологічності є креслення деталі «Зубчасте колесо». На креслення є розміри:  $\varnothing 344,894h8$ ,  $\varnothing 80H7$  які вимагають більше стадій обробки, які призводять деталь до не технологічності.

Також є допуски торцевого і радіального биття 0,045 мм. При дотриманні яких деталь стає більш трудомісткою в обробці.

Отже деталь в цілому технологічна за постановкою розмірів.

За технічними вимогами заготовку потрібно виготовляти згідно вимог III-ї групи поковок, що збільшує собівартість деталі, через те що поковку потрібно проводити повний контроль твердості.

Але все ж таки конструктор в технічних вимогах не постановив виготовлення поковки IV-й або V-ї групи, які підлягають випробуванням та контролю міцності на всі 100%. При цьому з'явиться зайва маса, через те, що зразки потрібно передбачати при виготовленні заготовки, що призведе до збільшення вартості, що не технологічно. Виходячи з цього робимо висновок, що III група поковок поставлена конструктором задовольняє вимоги службового призначення деталі, отже деталь за цим показником технологічна.

- проаналізуємо правильність прийнятих значень граничних відхилень на технологічність.

В пункті 2 проведено аналіз технічних вимог з обґрунтуваннями по даній оцінці, отже на основі цього деталь технологічна.

- проаналізуємо технологічність заготовки.

За технічними вимогами креслення, під час дрібносерійного виробництва заготовку можна отримати двома способами, поковка яка викувана на молотах або штампована на КГШП.

Поковка виготовлена методом КГШП схожа на майбутню деталь, тому має невеликі припуски, що значно зменшує обробку різанням.

Методом кування на молотах заготовка отримує великі напуски, що призведе до збільшення маси, а отже і до збільшення вартості.

Для роботи на молотах потрібні робітники з високою кваліфікацією (4-6 розряд), а також універсальні інструменти. Для роботи на КГШП можуть працювати робітники 1-2 розрядів.

Виготовлення спеціального штампу, досить дороге але це єдиний мінус методу виготовлення заготовки на КГШП.

Тому на основі проведених порівнянь більш технологічно буде виготовлення поковки на КГШП.

Так як відношення  $l/d < 1$  ( $80/341 < 1$ ), то можна зробити висновок що деталь жорстка. Заготовку можна обробляти в універсальних пристроях, однак це призведе до збільшення трудомісткості налагодження, а отже на деяких операціях використовуємо спец. пристрої. У схемі послідовної обробки, коли одношпиндельний верстат обробляє одним інструментом, кількість входів і виходів інструменту необмежена. Проблеми можуть виникнути під час обробки комбінованими інструментами та під час обробки кількох поверхонь кількома інструментами.

Отже ми дійшли висновку що конструкція деталі в цілому технологічна, та подальшого вдосконалення не потребує.

## РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

### 2.1 Вибір способу отримання заготовки та розроблення технічних вимог до неї

Для того, щоб з'ясувати яку кількість матеріалу, що витрачається на виготовлення заготовки, трудомісткість і якість подальшої обробки деталі, потрібно вибрати оптимальний технологічний процес. Який вибирають за рахунок розрахунків та порівнянь можливих варіантів виготовлення за даних умов. За допомогою порівнянь вартісних та натуральних техніко-економічних показників, здійснюють вибір та оцінку найбільш економічного варіанту виготовлення деталі.

Розберемо варіанти виготовлення заготовки деталі «Зубчасте колесо» 1141.150.000.05, матеріал деталі – сталь 40Х ГОСТ 4543-71:

- лиття – так як для деталі потрібно виготовляти спеціальні ливарні форми, а тоді деталь очищати піском під тиском. Також при такому способі у заготовці можливі поява раковин і пор, що призведе до зниження працездатності деталі. Отже для дрібносерійного виробництва цей метод затратний і нераціональний для використання.

- прокатування – не раціонально використовувати через те, що зубчасте колесо має досить великий центральний отвір, що при такому способі не економічно так як, в стружку піде досить багато матеріалу.

- кування на молотах – при куванні неможливо отримати центральний отвір. Отже цей метод не є раціональним.

- методом штампування – можна отримати заготовку схожу за формою і розмірами до готової деталі, а також можна отримати ущільнення волокон, що призведе до покращення працездатності деталі. Між усіх вищерозглянутих варіантів отримання заготовки раціонально буде використати спосіб – штампованої поковки на кривошипних гаряче-штампувальних пресах.



Кривошипні гаряче-штампувальні преси (КГШП) мають вищу вартість, однак це компенсується тим, що преси пристосовані до автоматизованого виготовлення поковок. При виготовленні заготовок на КГШП, продуктивність праці за подальшої обробки збільшується у 2 рази, через те, що при видавлюванні матеріалу, його витрата зменшується на 30%.

Переваги штампування над куванням полягають в тому, що можна отримувати поверхні які не вимагають подальшої обробки, також параметр шорсткості Rz80 ... 20мкм. Великої перспективи надає спосіб видавлювання в матриці та штампування рідкого матеріалу, що подібне до лиття під тиском. Таким методом отримують заготовки з тонкими стінками та з різною складністю конструкції.

Отже в якості методу для виготовлення поковки в дрібносерійному виробництві обираємо поковку отриману на КГШП.

Проектуємо поковку, одержану штамповкою на КГШП:

Згідно ГОСТ 7505-89 визначаємо тип заготовки для вибору припусків і допусків.

1) Для виготовлення даної поковки потрібно використовувати кривошипний гаряче-штампувальний прес.

Клас точності поковки-Т4 [3]. Для подальших розрахунків дані братимемо з ГОСТ 7505-89.

2) Марка сталі заготовки – Сталь 40Х, тому група сталі М2, [3].

3) Ступінь складності поковки визначається зі співвідношення маси поковки ( $M_{пк}$ ) до маси фігури, що описує поковку ( $M_{ф}$ ).

$$\frac{M_{пк}}{M_{ф}}$$

де

$$M_{пк} = M_{д} \cdot K_p, \quad (2.1)$$

де  $K_p$  – розрахунковий коефіцієнт.

$K_p = 1,6$  (для деталей типу шестерень)

$$\frac{M_n}{M_\phi} = \frac{m_d \cdot K_p}{p \cdot V} \quad (2.2)$$

$$\frac{M_n}{M_\phi} = \frac{28 \cdot 1,6}{7,85 \cdot 10^{-3} \cdot 3,14 \cdot \frac{8 \cdot 34,2^2}{4}} = 0,62$$

Отже ступінь складності заготовки – С2 по ГОСТ 7505-89, додаток 2.

Конфігурація поверхні роз'єму штампа- плоска.

4) На основі отриманих даних, знаходиться вихідний індекс-16 [3].

5) Знаючи вихідний індекс, розміри поверхонь і параметр шорсткості Ra, який необхідно досягти після механічної обробки, визначаються:

Таблиця 2.1 – Основні припуски ( на сторону )

| Розміри, мм   | Припуск на сторону, мм | Шорсткість, Ra |
|---------------|------------------------|----------------|
| Діаметр 341,9 | 3,3                    | 5              |
| Діаметр 120   | 2,2                    | 6,3            |
| Діаметр 303   | 3,0                    | 6,3            |
| Діаметр 80    | 2,6                    | 2,5            |
| Діаметр 50    | 2,2                    | 6,3            |
| Довжина 80    | 2,2                    | 3,2            |
| Довжина 30    | 1,6                    | 6,3            |

Додаткові припуски :

- зсув по поверхні роз'єму штампа -1,0 (мм).

- зігнутість і відхилення від площинності і прямолінійності - 0,6 (мм).

Визначаємо розміри поковки, мм:

$$\text{Ø}341,9+(3,3+1) \times 2=350,5 \text{ приймаємо } 351;$$

$$\text{Ø}120+(2,2+1) \times 2=126,4 \text{ приймаємо } 127;$$

$$\text{Ø}330-(3+1) \times 2=322 \text{ приймаємо } 322;$$

$$\varnothing 80 - (2,6+1) \times 2 = 72,8 \text{ приймаємо } 72;$$

$$\varnothing 50 - (2,2+1) \times 2 = 43,6 \text{ приймаємо } 43;$$

$$L80 + (2,2+1) \times 2 = 86,4 \text{ приймаємо } 87;$$

$$L30 + (1,6+1) \times 2 = 35,2 \text{ приймаємо } 36;$$

Допустимі відхилення розмірів заготовки [3]:

$$\varnothing 351 \text{ }_{-1,8}^{+3,2}$$

$$\varnothing 120 \text{ }_{-1,0}^{+1,8}$$

$$\varnothing 322 \text{ }_{-1,8}^{+3,2}$$

$$\varnothing 80 \text{ }_{-1,0}^{+1,8}$$

$$\varnothing 43 \text{ }_{-0,9}^{+1,6}$$

$$L80 \text{ }_{-1,0}^{+1,8}$$

$$L30 \text{ }_{-0,9}^{+1,6}$$

Знаходимо номінальну масу поковки за допомогою програми КОМПАС 3D, побудувавши заготовку за номінальними розмірами та задаючи густину матеріалу, по ГОСТ 4543-71 становить  $7850 \text{ кг/м}^3$ . Вага заготовки  $M_3 = 39,6 \text{ кг}$ .

Визначаємо коефіцієнт використання заготовки за формулою:

$$K_3 = \frac{M_d}{M_3} \quad (2.3)$$

де  $M_d = 28$  – маса деталі, кг;

$M_3 = 39,6$  – маса заготовки, кг.

$$K_3 = \frac{28}{39,6} = 0,7$$

Знаходимо коефіцієнта використання матеріалу:

Визначаємо масу матеріалу який пішов до відходів

$m_{\text{ВВЗ}} = 10\%$  від  $m$  заготовки;

$$m_{\text{ВВЗ}} = 39,6 \cdot 0,1 = 3,96 \text{ кг}$$

За формулою (5.4) визначимо  $K_M$

$$K_M = \frac{M_d}{M_3 + M_{BВЗ}} \quad (2.4)$$

$$K_3 = \frac{28}{39,6 + 3,96} = 0,64$$

Отже коефіцієнти що ми отримали відповідають вимогам ЕСТПП.

Призначаємо технічні вимоги до поковки:

1. Гр. III 40X 223...262 НВ ГОСТ 25054 - 81.
2. Поковка штампована на КГШП ГОСТ 7505-89.
3. Клас точності - Т4, група стали – М2, ступінь складності - С2, вихідний індекс-14.
4. Штампувальні ухили - 5-7°.
5. Незазначені радіуси заокруглень – R 5 ... 6 мм.
6. Допустима величина зсуву по поверхні рознімання штампа - 1 мм.
7. Допустимі відхилення по зігнутості від площинності і прямолінійності не більше 0,6 мм.
8. Маркірувати номер замовлення, номер позиції ударним способом шрифтом 3 ... 5 ГОСТ 2930 - 62.
9. Шорсткість поверхонь поковки Ra 50 мкм.

## 2.2 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання

За методикою професора Кована В. М. проведемо розрахунок припусків на обробку циліндричної поверхні  $\varnothing 80H7$  мм.

Знаходження припуску циліндричної поверхні проводиться за розрахунковою формулою (2.5)

$$2z_{min} = 2 \cdot \left( R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right) \quad (2.5)$$

де  $R_{z-1}$  – величина мікронерівностей поверхні отриманої на попередній операції (переході);

$T_{i-1}$  – глибина дефектного шару поверхні отриманої на попередній операції (переході);

$\rho_{i-1}$  - величина просторового відхилення форми поверхні отриманої на попередній операції (переході);

$\varepsilon_i$  - похибка на виконуваний операції (переході).

Всі вище перераховані показники є табличними виличинами окрім  $\rho_{i-1}$ , яка знаходиться як  $\rho_{заг} = \sqrt{\rho_{екс}^2 + \rho_{см}^2} = 1200$  мкм, а  $\rho_{i-1}$  знаходиться в відсотковому відношенні від  $\rho_{заг}$  тоді  $\rho_{черн} = \rho_{заг} k_y$ , де  $k_y = 0,04-0,06$ , в залежності від переходу. Визначимо для кожного з переходів:

$$\rho_{чер} = 1200 \cdot 0,06 = 72 \text{ мкм.}$$

$$\rho_{н/ч} = 1200 \cdot 0,05 = 60 \text{ мкм.}$$

Вихідні данні для розрахунку припусків за допомогою спеціального програмного забезпечення наведені в таблиці 6.1. У додатку Б наведені результати цього розрахунку.

Таблиця 2.2 – Вихідні данні

| Найменування переходу     | Точність        | Граничні відхилення | Допуск Т, мм | Елементи припуска, мкм |           |              |                       |                       |
|---------------------------|-----------------|---------------------|--------------|------------------------|-----------|--------------|-----------------------|-----------------------|
|                           |                 |                     |              | $R_{zi-1}$             | $h_{i-1}$ | $\rho_{i-1}$ | $\varepsilon_y$ , мкм |                       |
|                           |                 |                     |              |                        |           |              | $\varepsilon_6$ мкм   | $\varepsilon_3$ , мкм |
| Заготівельна              | Т4 ГОСТ 7505-89 | +2,7<br>-1,3        | 4            | 200                    | 250       | 1200         | 1000                  | 800                   |
| Розточування чорнове      | H14             | +0,74               | 0,74         | 40                     | 50        | 72           | 100                   | 200                   |
| Розточування напівчистове | H9              | +0,074              | 0,074        | 20                     | 20        | 60           | 0                     | 0                     |
| Розточування чистове      | H7              | +0,03               | 0,03         | -                      | -         | -            | -                     | -                     |

Схема розміщення припусків на обробку розміру  $\varnothing 80H7$  мм наведена на рисунку 2.1.

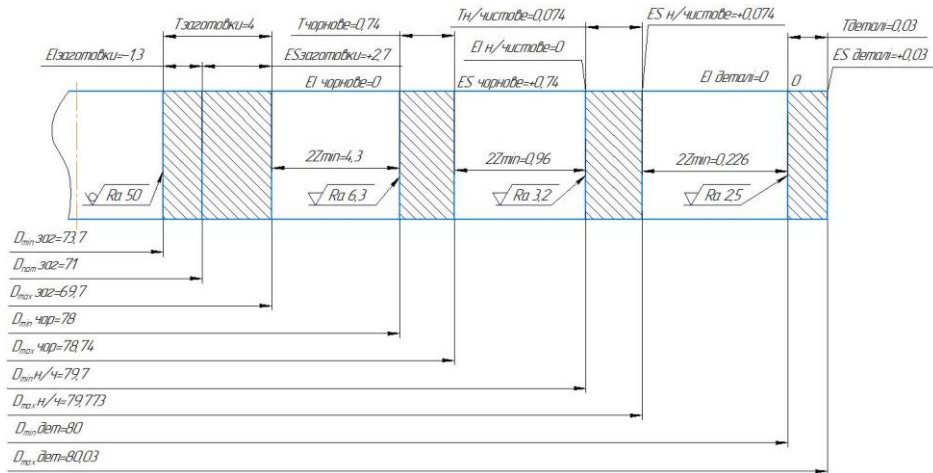


Рисунок 2.1 – Схема розміщення припусків на обробку діаметрального розміру  $\varnothing 80H7$  мм

### 2.3 Аналіз та обґрунтування схем базування та закріплення заготовки

У цьому пункті будемо розглядати дві технологічні операції:

- Операція 015 – токарна з ЧПК;
- Операція 030 – свердлильна з ЧПК

Токарна операція являє собою чорнову обробку заготовки при якій змінюються напуски та готуються бази для подальшої чистової обробки. Обробка буде відбуватися за два установи. Ескіз чорнової обробки наведено на рисунку 2.2

Розберемо спосіб закріплення заготовки на першому установі А. Закріплення заготовки відбувається за зовнішню циліндричну поверхню яка є чорною базою, упором в торець в патроні, що забезпечує самоцентрування заготовки. В такому випадку виникають дві бази: установча яка знаходиться на торці деталі і позбавляє її трьох ступенів вільності, та подвійна опорна на циліндричній поверхні і лишає

деталь двох ступенів вільності. Розберемо другий установ Б, в цьому випадку заготовка буде закріплюватися за вже оброблену циліндричну поверхню  $\varnothing 343$  з упором в торець. Базування буде аналогічне установу А. Токарна операція 015 проводиться згідно ескізу. Дану операцію пропонується виконувати на токарному верстаті з ЧПК.

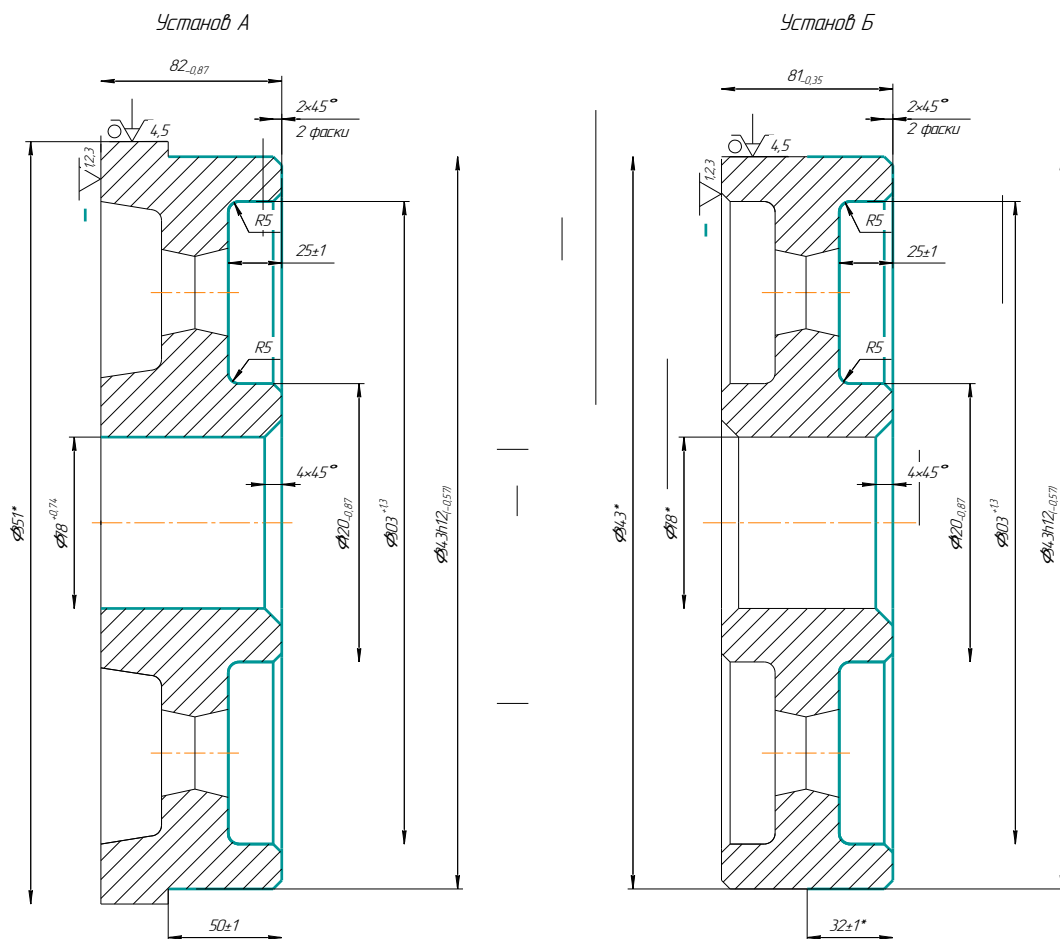


Рисунок 2.2 – Операційний ескіз операції 015 (варіант 1)

Таблиця 2.5– Таблиця відповідностей

| Зв'язки | Ступені вільності | Найменування бази |
|---------|-------------------|-------------------|
| 1,2,3   | I,V,VI            | УБ                |

Таблиця 2.6 – Матриця зв'язків

| База | X | Y | Z |
|------|---|---|---|
| УБ   | L | 1 | 0 |

|     |         |     |
|-----|---------|-----|
| 4,5 | II, III | ПОБ |
| -   | IV      |     |

|     |          |   |   |   |
|-----|----------|---|---|---|
|     | $\alpha$ | 0 | 1 | 1 |
| ПОБ | L        | 0 | 1 | 1 |
|     | $\alpha$ | 0 | 0 | 0 |

Базування заготовки на установі А буде виконуватися, як і в варіанті 1, що забезпечить неможливість появи браку. На установі Б розглянемо 2-й спосіб базування рисунок 6.3 За такою схемою базування бази будуть аналогічними, проте похибка базування буде іншою.

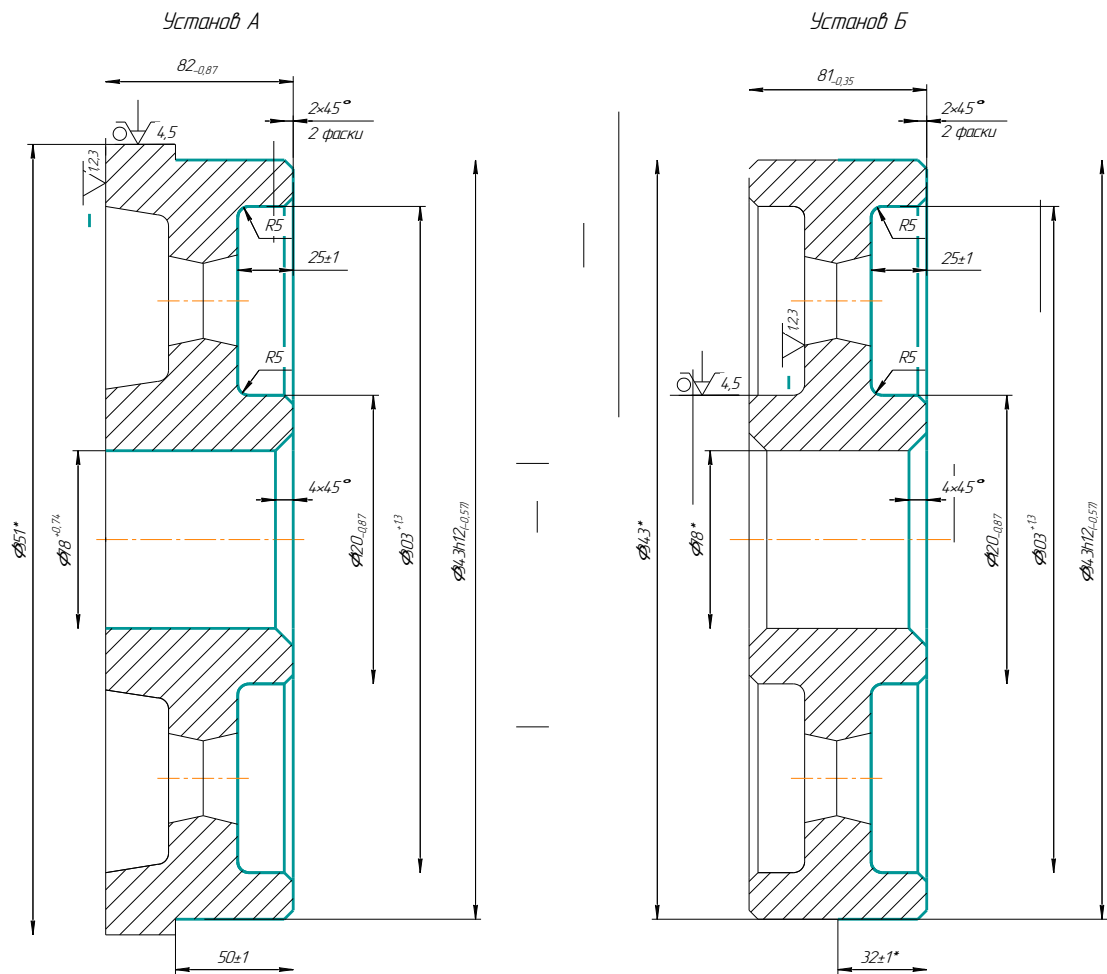


Рисунок 2.3 – Операційний ескіз операції 015 (варіант 2)

При такій схемі базування на деякі розміри виникатиме брак, так як:

- для розміру  $25 \pm 1$  (варіант 1 по рис.6.1)



$$\varepsilon_{625} = T_{81} = 0,35 < T_{25} \varepsilon_{625} = T_{81} = 0,35 < T_{25} = 2 \text{ мм} \text{ – браку нема;}$$

- для розміру  $25 \pm 1$  (варіант 2 по рис.6.3)

$$\varepsilon_{625} = T_{81} + T_{25} = 0,35 + 2 = 2,35 > T_{25} = 2 \text{ мм} \text{ – брак може виникнути.}$$

Отже робимо висновок, що за аналізом обох схем доречно буде використати першу ( рисунок 6.2 ) схему базування для установка Б тобто за зовнішню циліндричну поверхню та лівий торець.

На операції 030 свердлильній з ЧПК виконується свердління шести отворів діаметром 50 мм. Розглянемо дві схеми закріплення заготовки: (варіант 1) рис. 6.4 закріплення за зовнішню циліндричну поверхню  $\varnothing 341,8$  з упором в торець, та упором в шпонковий паз для базування в кутовому напрямку, і на оправці  $\varnothing 80$  мм (варіант 2) на рис. 6.5.

Визначимо похибки базування для двох варіантів на розмір  $215 \pm 2,3$  мм:

– варіант 1 по рис.6.4:

$$\varepsilon_{6215} = T_{341,8} = 0,089 < T_{215} = 4,6 \text{ мм} \text{ – браку нема;}$$

– варіант 2 по рис.6.5:

$$\varepsilon_{6215} = S_{max} = 0,03 + 0,029 = 0,59 < T_{215} = 4,6 \text{ мм} \text{ – браку нема.}$$

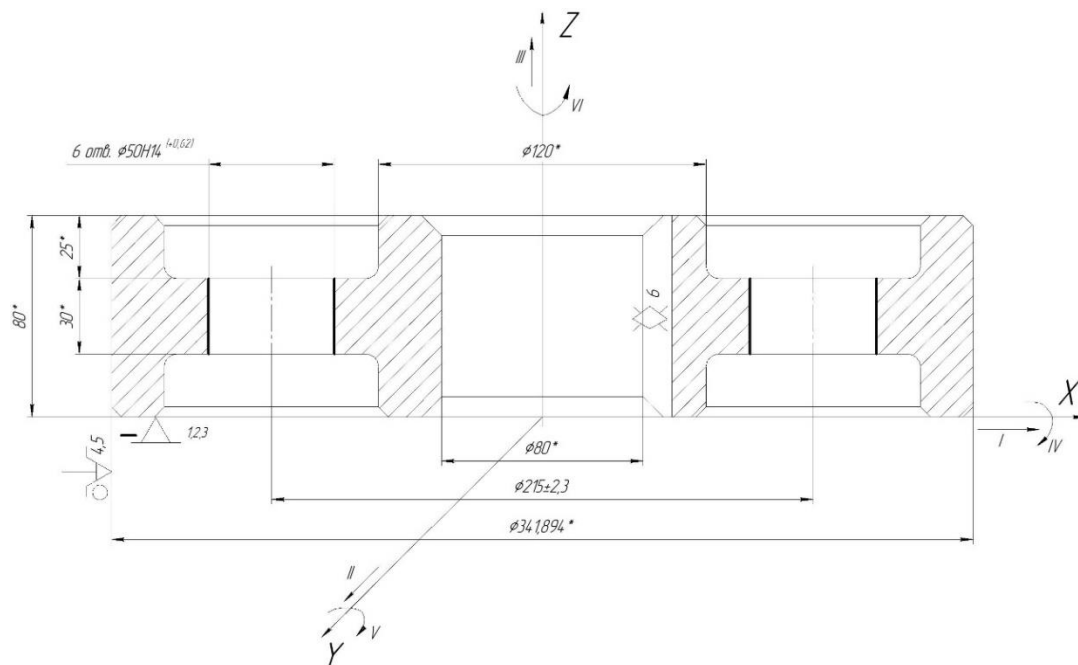


Рисунок 2.4 – Операційний ескіз операції 030 (варіант 1)

Таблиця 2.7– Таблиця відповідностей

| Зв'язки | Ступені вільності | Найменування бази |
|---------|-------------------|-------------------|
| 1,2,3   | III,IV,V          | УБ                |
| 5       | I, II             | ПОБ               |
| 6       | VI                | ОБ                |

Таблиця 2.8 – Матриця зв'язків

| База |          | X | Y | Z |
|------|----------|---|---|---|
| УБ   | L        | 0 | 0 | 1 |
|      | $\alpha$ | 1 | 1 | 0 |
| ПОБ  | L        | 1 | 1 | 0 |
|      | $\alpha$ | 0 | 0 | 0 |
| ОБ   | L        | 0 | 0 | 0 |
|      | $\alpha$ | 0 | 0 | 1 |

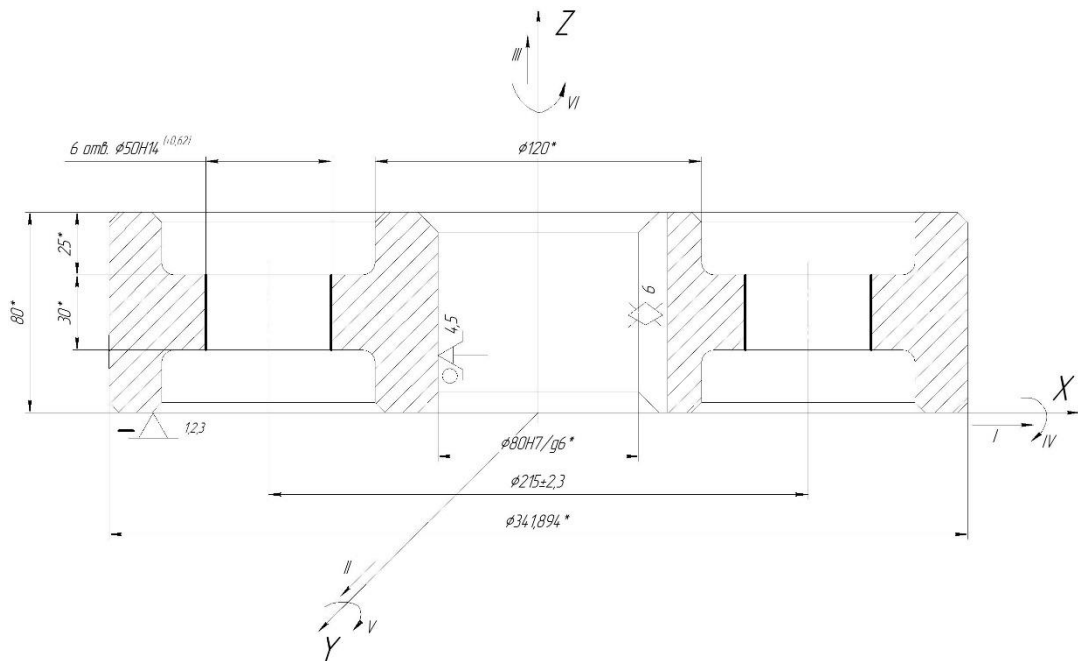


Рисунок 2.5 – Операційний ескіз операції 030 (варіант 2)

Отже ми бачимо що в обох випадках браку не виникає, тому з точки зору жорсткості та стійкості закріплення, а також доступу та вільного виходу інструменту та простоти обираємо схему базування за рис. 2.5 (варіант 2).

## 2.4 Обґрунтування вибору металорізальних верстатів

Виходячи із вихідних даних, на заданій операції використовується токарний патронний верстат з ЧПК моделі OptiTurn S 750 (рис. 2.6). Він призначений для токарної обробки складних за конфігурацією заготовок в патроні або спеціальній оправці в серійному типі виробництва. Аналізуючи технічні характеристики верстата (табл. 2.9), можна сказати, що напівавтомат забезпечує високу продуктивність та точність обробки, високу якість оброблених поверхонь, а отже може бути використаний на 015 операції.



Рисунок 2.6 – Токарний верстат з ЧПК моделі OptiTurn S 750

Технічні характеристики верстата наведені в таблиці 6.6

Технологічний опис верстата:

- Токарний верстат по металу з ЧПК Premium класу OPTIturn S 750
- відмічається високою швидкістю, точністю і має автоматичний конвеєр для стружки і вісь «С».
- Довговічність служби всіх підшипників на токарному верстаті з ЧПК забезпечене наявністю постійної змазки.

- Швидка індексація револьверної головки – зміна і поворот інструмента виконується практично одночасно в процесі роботи токарного верстата з ЧПК.
- Автоматичне переміщення задньої бабки – стандартна функція на токарних верстатах з ЧПК OPTIturn S 750.
- В моделях токарних верстатів по металу з ЧПК OPTIturn S 750 зажим і розжим задньої бабки можна програмувати.

Таблиця 2.9 – Технічна характеристика верстату OptiTurn S 750

| Параметри верстата                               | Числові дані                                               |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Розмір оброблюваного виробу, мм                  | діаметр 485<br>довжина 1150                                |
| Найбільша довжина робочих переміщень супорту, мм | в повздовжньому напрямку 750<br>в поперечному напрямку 305 |
| Частота обертання шпинделю, об/хв                | 10 – 3000                                                  |
| Прохід шпинделя, мм                              | 52                                                         |
| Точність обробки, мм                             | ±0,005                                                     |
| Точність позиціонування, мм                      | ±0,005                                                     |
| Переміщення по осі X, мм                         | 305                                                        |
| Переміщення по осі Z, мм                         | 1250                                                       |
| Швидкість подачі по осі X, мм/хв                 | 24000                                                      |
| Швидкість подачі по осі Z, мм/хв                 | 24000                                                      |
| Гідравлічний патрон, мм                          | 250                                                        |
| Швидкість обертання інструменту, мм              | 4000                                                       |
| Швидкість швидкого переміщення, мм/хв            | повздовжнього 24000<br>поперечного 24000                   |
| Кількість місць в інструментальній головці       | 12                                                         |
| Посадковий розмір різцетримача, мм               | не менше 32                                                |
| Потужність головного руху, кВт                   | 17                                                         |
| Габаритні розміри Ш x В, мм                      | 2016×1856                                                  |

Операція 030 – свердлильна з ЧПК. Виходячи з технологічних методів обробки на даній операції, пропонуємо використовувати свердлильний верстат KSB 50 CNC ( рис. 2.7 ).



Рисунок 2.7 – Свердлильний верстат KSB 50 CNC

Потужність верстата становить 4 кВт, що є достатньо для здійснення операції 030.

Деякі характеристики верстата:

- Найбільший діаметр 50 мм
- Розмір стола 850x400 мм
- Допустима вага заготовки 300 кг
- Частота обертів шпинделя 31,5 – 1400 об/хв
- Подача по осі X 2000 мм/хв
- Подача по осі Y 2000 мм/хв

|                           |                   |
|---------------------------|-------------------|
| – Подача по осі Z         | 1000 мм/хв        |
| – Точність позиціонування | 0,025 мм          |
| – Габаритні розміри       | 3000x2050x2630 мм |
| – Маса                    | 2600 кг           |

Верстат оснащений системою ЧПК, що дозволяє переналагоджувати його на обробку інших деталей.

## **2.5 Обґрунтування вибору верстатних пристроїв, металорізального та вимірювального інструментів**

В умовах серійного типу виробництва можуть використовуватися універсальні та спеціальні пристосування, різальний та вимірювальний інструмент.

На операції 015 токарна з ЧПК заготовка закріплюється у трьохкулачковому самоцентруючому патроні 7102-0071-3-1 ГОСТ24351-80. Приймаємо за установчу базу лівий торець шестерні, який позбавляє заготовку трьох ступенів вільності, тоді зовнішня циліндрична поверхня зубчатого колеса є подвійною напрямною базою яка позбавляє заготовку двох ступенів вільності. При такому базуванні деталі вона позбавляється п'яти ступенів вільності, шоста ступінь є вакантною. Похибка базування  $\varepsilon = 0$ .

В якості різального інструменту для переходів призначаємо наступний різець:

Для обточування зовнішньої циліндричної поверхні та підрізання торцю буде використовуватися різець PCLNR2525K12 T5K10 ГОСТ 26613-85;

Для розточування внутрішнього отвору використовується різець S40MCLNR T15K6 ГОСТ 24996-81;

Для торцевих канавок застосовується різець RF123-05-2525 T5K10

В якості вимірювального інструменту приймаємо:

– Штангенциркуль ШЦ-II-400-0,1ГОСТ 166-89 – для контролю діаметру  $\varnothing 341.9$  мм;

- Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1ГОСТ 166-89 – для контролю довжин;
- Шаблон спеціальний на кут R5.

Для установки і закріплення деталі на операції 030 доцільно буде використати спеціальний пристрій, так як він буде пневматичним та давати постійні зусилля закріплення та зменшить допоміжний час на закріплення. Також даний пристрій буде жорсткішим за універсальний патрон, що дозволить підвищити режими різання.

Всі поверхні на даній операції обробляються начорно (по 14-му квалітету).

Для обробки заданих поверхонь на операції застосовуємо такі ріжучі інструменти:

- Свердло спіральне d 50мм зі швидкорізальної сталі Р6М5 ГОСТ 10903-77 - для обробки розсвердлювання отворів.

При обробці застосовуємо мастильно - охолоджуючу рідину 7-10% Укрінол1 ТУ 38 - 101197 - 76 для можливості здійснення обробки з більш високими швидкостями різання.

Для даної операції не передбачаємо допоміжні інструменти так як свердло буде установлюватись у шпиндель верстата без перехідних втулок.

Для контролю розмірів на операції 030 застосовуємо універсальний шкальний інструмент а саме штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166 – 89, яким можна проконтролювати отвори.

Застосування даних інструментів економічно обґрунтовано в дрібносерійному виробництві, так як вони універсальні і дозволяють проконтролювати розміри в усій межі вимірювання з однаковою точністю. Тобто можна контролювати різні розміри вимірювання штангенциркулем.

Інструменти також були підібрані з умови, щоб ціна поділки була менше 0,33 найменшого допуску розміру на даній операції, контрольованого штангенциркулем. Ціна поділки штангенциркуля 0,1 мм, а третя частина допуску на контрольований розмір 0,2 мм (розмір 50 (+0,62;0)), що задовольняє умові.

На 040 Зубофрезерній операції вибираємо наступне устаткування - пристосування спеціальне – для закріплення заготовки;

- різальний інструмент: фреза черв'ячна цільна  $\varnothing 100$ , тип 2,  $m=4$  Р6М5 ГОСТ 9324-80 [10];

- вимірювальний інструмент: колесо зубчасте вимірювальне.

## 2.6 Розрахунок режимів різання

Режими різання аналітичним способом для операції 015 – токарна з ЧПК. Розрахунок проводимо за довідником [3]

Розрахунок проводимо для одного з технологічних переходів, а саме, для обточування зовнішньої циліндричної поверхні. Вихідні дані для розрахунку:  $D = 351\text{мм}$ ,  $d = 343\text{мм}$ ,  $L=52\text{мм}$ , матеріал заготовки– 40Х, ріжучий інструмент – токарний прохідний різець, матеріал робочої частини – Т5К10.

Визначаємо глибину різання ( $t$ )

$$z = \frac{D-d}{2}, \text{ мм} \quad (2.5)$$

$Z$  - шар металу який необхідно зняти, мм

$$z = \frac{351 - 343}{2} = 4\text{мм}$$

Оскільки обробка проводиться за 2 проходи,

$$t = \frac{z}{2} = \frac{4}{2} = 2\text{мм}$$

Обираємо подачу  $S$ , мм/об . Для зовнішнього точіння

$$S_{\text{таб}} = (0,4—0,8) \text{ мм/об (табл. 11 с. 266)}$$

Приймаємо:

$$S_{\text{таб}} = 0,6 \text{ мм/об ;}$$



Оскільки верстат OptiTurn S 750 має безступінчасте регулювання подач, величину подачі не коректуємо за паспортом верстата.

Розрахуємо швидкість різання  $V$ , м/хв за формулою:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^{m \cdot S_y}} \cdot K_v, \text{ м/хв} \quad (2.6)$$

Обираємо необхідні дані [3, табл. 17, с. 269]

$$C_v = 217 \quad m = 0,2$$

$$X = 0,15 \quad T = 30 \text{ хв}$$

$$y = 0,15$$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{iv} \cdot K_{nv}$$

$K_{nv}$  – вплив поверхні на швидкість;  $K_{nv} = 0,9$  [3, табл. 5, с. 263]

$K_{iv}$  – вплив інструмента на швидкість;  $K_{iv} = 0,65$  [3, табл. 6, с. 263]

$K_{mv}$  – вплив матеріалу на швидкість.

$$K_{mv} = K_r \cdot \left( \frac{750}{\delta_B} \right)^{n_v} \quad (2.7)$$

$$K_{mv} = 1 \cdot \left( \frac{750}{980} \right)^1 = 0,77$$

Обираємо, згідно [3]

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{iv} \cdot K_{nv} = 0,77 \cdot 0,65 \cdot 0,9 = 0,45$$

Знаходимо швидкість за формулою:

$$V = \frac{217 \cdot 0,45}{30^{0,2} \cdot 3,75^{0,15} \cdot 0,6^{0,15}} = 101 \text{ м/хв}$$

Розраховуємо частоту обертання шпинделя  $n$ , об/хв за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \text{ об/хв} \quad (2.8)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 101}{\pi \cdot 351} = 98 \text{ об/хв}$$

За паспортними даними верстата приймаємо найближчу частоту 100 об/хв та визначаємо дійсну швидкість різання.

$$V = \frac{\pi \cdot 351 \cdot 100}{1000} = 102 \text{ м/хв}$$

Знаходимо силу різання  $P_z$ , Н, за формулою:

$$P_z = 10 \cdot C_{pz} \cdot t^{X_{pz}} \cdot S^{Y_{pz}} \cdot V^{n_{pz}} \cdot K_{pz}, \text{ Н} \quad (2.9)$$

де  $C_{pz} = 300$ ;  $X_{pz} = 1$ ;  $Y_{pz} = 0,75$ ;  $n_{pz} = -0,15$ , згідно [3, табл. 22, с. 273]

Поправний коефіцієнт  $K_{pz}$ , що враховує вплив умов обробки на силу різання, визначаємо за формулою:

$$K_{pz} = K_{mpz} \cdot K_{\varphi pz} \cdot K_{Y_{pz}} \cdot K_{\lambda pz} \cdot K_{r pz}$$
$$K_{mpz} = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left( \frac{980}{750} \right)^0 = 1,22 \quad (2.10)$$

де  $K_{\varphi pz} = 0,98$ ; [4, табл. 23, с. 275]

$$K_{r pz} = 0,93$$

$$K_{Y_{pz}} = 1,0;$$

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

$$K_{pz} = K_{mpz} \cdot K_{\varphi pz} \cdot K_{Y_{pz}} \cdot K_{\lambda pz} \cdot K_{r pz} = 1,22 \cdot 0,98 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,93 = 1,11$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 5,75^{1,0} \cdot 1^{0,75} \cdot 36,61^{-0,15} \cdot 1,11 = 11158 \text{ Н}$$

Знаходимо потужність різання  $N_{різ}$ , кВт за формулою:

$$N_{різ} = \frac{P_z \cdot V}{60 \cdot 1020}, \text{ кВт} \quad (2.11)$$

$$N_{\text{різ}} = \frac{11158 \cdot 102}{60 \cdot 1020} = 16 \text{кВт}$$

Коефіцієнт використання верстата за потужністю:

Визначаємо потужність верстата з урахуванням ккд  $N_{\text{ккд}}$ , кВт за формулою:

$$N_{\text{ккд}} = N_{\text{дв}} \cdot \mu, \text{кВт} \quad (2.12)$$

$$N_{\text{ккд}} = 30 \cdot 0,8 = 24 \text{кВт}$$

де  $N_{\text{дв}}=24$  кВт – потужність двигуна головного руху з урахуванням ККД;

$\mu=80\%$  – ККД верстата;

( $16 < 24$ ) – отже потужності верстата достатньо для обробки.

Дані розрахунків режимів різання по даній операції зведені в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Параметри режимів обробки на операцію 015

| Найменування переходу              | Параметри режимів обробки |          |          |         |    | L, мм | $T_o$ , хв. |
|------------------------------------|---------------------------|----------|----------|---------|----|-------|-------------|
|                                    | t, мм                     | s, мм/об | n, об/хв | V, м/хв | i  |       |             |
| 1                                  | 2                         | 3        | 4        | 5       | 6  | 7     | 8           |
| Установ А                          |                           |          |          |         |    |       |             |
| Підрізання торця                   | 2                         | 0,6      | 100      | 109     | 2  | 145   | 4,83        |
| Точіння поверхні Ø341.9            | 2                         | 0,6      | 100      | 102     | 2  | 52    | 1,73        |
| Точіння фаски                      | 2                         | 0,6      | 100      | 102     | 1  | 5     | 0,08        |
| Розточування торцевої канавки Ø120 | 3,5                       | 0,1      | 62       | 200     | 1  | 28    | 1,4         |
| 1                                  | 2                         | 3        | 4        | 5       | 6  | 7     | 8           |
| Розточування радіуса канавки R5    | 1,5                       | 0,1      | 67       | 200     | 1  | 5     | 0,25        |
| Розточування торця канавки         | 5                         | 0,1      | 94       | 100     | 18 | 5     | 9           |
| Розточування радіуса канавки R5    | 1,5                       | 0,1      | 96       | 100     | 1  | 5     | 0,5         |
| Розточування торцевої канавки Ø303 | 3,5                       | 0,1      | 96       | 100     | 1  | 28    | 1,4         |
| Розточування фаски на Ø303         | 2                         | 0,1      | 98       | 100     | 1  | 4     | 0,4         |
| Розточування фаски на Ø120         | 2                         | 0,1      | 62       | 200     | 1  | 4     | 0,2         |
| Розточування отвору Ø80            | 2                         | 0,5      | 99       | 400     | 2  | 85    | 0,85        |
| Розточування фаски на Ø80          | 2                         | 0,5      | 102      | 400     | 1  | 5     | 0,05        |
| Установ Б                          |                           |          |          |         |    |       |             |

|                                    |     |     |     |     |    |     |       |
|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|----|-----|-------|
| Підрізання торця                   | 2   | 0,6 | 100 | 109 | 2  | 145 | 4,83  |
| Точіння поверхні Ø341.9            | 2   | 0,6 | 100 | 102 | 2  | 34  | 1,13  |
| Точіння фаски                      | 2   | 0,6 | 100 | 102 | 1  | 5   | 0,08  |
| Розточування торцевої канавки Ø120 | 3,5 | 0,1 | 62  | 200 | 1  | 28  | 1,4   |
| Розточування радіуса канавки R5    | 1,5 | 0,1 | 67  | 200 | 1  | 5   | 0,25  |
| Розточування торця канавки         | 5   | 0,1 | 94  | 100 | 18 | 5   | 9     |
| Розточування радіуса канавки R5    | 1,5 | 0,1 | 96  | 100 | 1  | 5   | 0,5   |
| Розточування торцевої канавки Ø303 | 3,5 | 0,1 | 96  | 100 | 1  | 28  | 1,4   |
| Розточування фаски на Ø303         | 2   | 0,1 | 98  | 100 | 1  | 4   | 0,4   |
| Розточування фаски на Ø120         | 2   | 0,1 | 62  | 200 | 1  | 4   | 0,2   |
| Розточування фаски на Ø80          | 2   | 0,5 | 102 | 400 | 1  | 5   | 0,05  |
| Всього                             |     |     |     |     |    |     | 39,93 |

Визначаємо основний час  $T_0$ , хв за формулою:

$$T_0 = \frac{L}{S_M} i, \text{ хв} \quad (2.13)$$

де  $L = 50+2=52$  мм – довжина обробки з урахуванням врізання (перебігу немає, оскільки обробка проводиться в упор);

$i=2$  – кількість проходів.

Основний час визначаємо за формулою 6.10:

$$T_0 = \frac{52 \cdot 2}{100 \cdot 0,6} = 1,73 \text{ хв}$$

Операція 030

Проведемо розрахунок аналітичним методом розсвердлювання отвору Ø50 мм.

Вихідні данні: оброблюваний матеріал сталь 40Х з межею міцності  $\sigma_b=558$  МПа, матеріал ріжучої частини свердла Р6М5, СОЖ – емульсія. Попередній діаметр отвору 43 мм

Глибина різання дорівнює

$$t = \frac{50 - 43}{2} = 3,5 \text{ мм}$$

Подача складатиме  $S_T = 0,36 \text{ мм/об}$ , з урахуванням коефіцієнтів

$K_I=0,9$  – коефіцієнт на глибину;

$K_o=0,5$  – коефіцієнт на якість поверхні;

$K_{ж}=0,75$  – коефіцієнт жорсткості системи ТС;

$K_i=1,0$  – коефіцієнт враховуючий матеріал ріжучого інструменту, тоді

$$S=0,36 \cdot 0,9 \cdot 0,5 \cdot 0,75 \cdot 1,0=0,12 \text{ мм/об}$$

приймаємо  $S_{пр}=0,12 \text{ мм/об}$ .

Стійкість ріжучого інструменту  $T=30 \text{ хв}$ . [5]

Знаходимо швидкість різання за формулою [5]

$$V = \frac{C_V D^g}{T^{m_{SY}}} K_V, \text{ м/хв} \quad (2.14)$$

де  $C_V=3,5$ ,  $g=0,5$ ,  $y=0,45$   $m=0,12$  – коефіцієнти та показники в формулі швидкості різання [5];

$K_V$  – поправочний коефіцієнт на швидкість різання, враховуючий фактичні умови різання та знаходиться за формулою [5]:

$$K_V = K^{m_V} K^{m'} K^{m''}, \quad (2.15)$$

де  $K^{m_V} = 1,0$  - поправочний коефіцієнт, на оброблюваний матеріал [5];

$K^{m'} = 0,8$  – поправочний коефіцієнт, враховуючий поверхню заготовки [5];

$K^{m''} = 0,5$  – поправочний коефіцієнт на інструментальний матеріал [5].

Тоді:

$$K_V = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,5 = 0,4.$$

З урахуванням показників знаходимо швидкість різання:

$$V = \frac{3,5 \cdot 19^{0,5}}{15^{0,12} \cdot 0,12^{0,45}} 0,4 = 28,8 \text{ м/хв}$$

Знаходимо частоту обертання шпинделя по формулі:

$$n_{ш} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \text{ об/хв} \quad (2.16)$$

$$n_{\text{ш}} = \frac{1000 \cdot 28,8}{\pi \cdot 50} = 183 \text{ об/хв}$$

Коректуємо значення обертання шпинделя з паспортним  $n^{\text{п}} = 160 \text{ об/хв}$ .

З урахуванням прийнятого значення розраховуємо фактичну швидкість різання по формулі:

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \text{ м/хв} \quad (2.17)$$

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot 50 \cdot 160}{1000} = 25.1 \text{ м/хв.}$$

Знаходимо крутний момент по формулі [5]:

$$M_{\text{кр}} = 10 C_M D^q S^y K_p, \text{ Нм} \quad (2.18)$$

де  $C_M = 0,041$ ,  $q = 2,0$ ,  $y = 0,7$  – коефіцієнти та показники в формулі [5];

$K_p$  – поправочний коефіцієнт враховуючий вплив оброблюваного матеріалу [5];

$$K_p = (\sigma^B / 750)^n \quad (2.19)$$

де  $n = 0,75$  – показник [5].

$$K_p = (558 / 750)^{0,75} = 0,8.$$

З урахуванням поправочних коефіцієнтів маємо:

$$M_{\text{кр}} = 10 \cdot 0,041 \cdot 50^{2,0} \cdot 0,12^{0,7} \cdot 0,8 = 22,3 \text{ Нм.}$$

Знаходимо осьове зусилля по формулі:

$$P_o = 10 C_p D^q S^y K_p, \text{ Н} \quad (2.20)$$

де  $C_p = 143$ ,  $q = 1,0$ ,  $y = 0,7$  – коефіцієнти та показники сил різання [5].

$$P_o = 10 \cdot 143 \cdot 50 \cdot 0,12^{0,7} \cdot 0,8 = 1020 \text{ Н.}$$

Знаходимо потужність необхідну для обробки по формулі:

$$N = \frac{M_{\text{кр}} n}{9750}, \text{ кВт} \quad (2.21)$$

$$N = \frac{22,3 \cdot 160}{9750} = 2,85 \text{ кВт}$$

Потужність різання менше потужності верстата з урахуванням КПД (0,8) (2,85 < 5,5 · 0,8 кВт), обробка можлива.

Розраховуємо основний час по формулі:

$$T_o = \frac{L_p}{S \cdot n}, \text{ хв} \quad (2.21)$$

$$l_p = l + l_1' + l_2'', \text{ мм} \quad (2.22)$$

де  $l_1' = 0,3 D = 0,3 \cdot 50 = 15$  мм, беремо 15 мм, при подвійному заточуванні врізування свердла;

$l_2'' = 3$  мм, перебіг свердла.

Тоді:

$$l_p = 30 + 15 + 3 = 48 \text{ мм}$$

$n = 160$  об/хв – частота обертів шпинделя;

$S = 0,12$  мм/об – подача;

$$T_o = \frac{48}{160 \cdot 0,12} = 2,5 \text{ хв}$$

Дані розрахунків режимів різання по даній операції зведені в таблиці 2.11

Таблиця 2.11 – Параметри режимів обробки на операцію 030

| Номер і текст переходу     | Параметри режимів обробки |          |          |         |   | L, мм | T <sub>o</sub> , хв |
|----------------------------|---------------------------|----------|----------|---------|---|-------|---------------------|
|                            | t, мм                     | S, мм/об | n, об/хв | V, м/хв | i |       |                     |
| Розсвердлити 6 отворів ø50 | 3,5                       | 0,12     | 160      | 25,1    | 6 | 48    | 18                  |
| Всього                     |                           |          |          |         |   |       | 18                  |

## Технічне нормування операції

Технічна нормування операцій було проведено, згідно нормативів [4] вибраними з відповідної літератури.

Метою даного нормування є визначення норми штучно - калькуляційного часу на операції.

Дані про режими різання беремо з попереднього пункту.

Основний час на операції складається з сум основних часів на окремих переходах.

Визначаємо допоміжний час, для операції 015, за формулою:

$$T_d = T_{уст} + T_{уп} + T_{вим}, \text{ хв.} \quad (2.23)$$

де  $T_{уст} = 3,68$  хв – час на установку і зняття заготовки [4, карта 3, с. 52]

$T_{уп} = 3,4$  – допоміжний час з управління верстата [4, карта 14, с. 79]

$T_{вим} = 2,5$  хв – час на вимірювання [4, карта 15, с. 80]

$$T_d = 3,68 + 3,4 + 2,5 = 9,58 \text{ хв.}$$

Визначаємо оперативний час:

$$T_{оп} = T_o + T_d, \text{ хв} \quad (2.24)$$

$$T_{оп} = 39,93 + 9,58 = 49,51 \text{ хв.}$$

Визначаємо час на обслуговування та на відпочинок і особисті потреби. Він визначається у відсотках від оперативного часу [4, карта 16, с. 90]

$$T_{доп} = T_{оп} \cdot 8\% = 49,51 \cdot 0,08 = 3,96 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний час за формулою:

$$T_{шт} = T_{оп} + T_v, \text{ хв} \quad (2.25)$$

$$T_{шт} = 49,51 + 3,96 = 53,47 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучно-калькуляційний час за формулою:

$$T_{шт-к} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{N}, \text{ хв} \quad (2.26)$$



де  $T_{п.з} = 35$  хв – підготовчо-заклучний час, що складається з часу: отримання креслення і наряду, ознайомлення з роботою та кресленням, інструктаж майстра, настроювання пристрою подачі МОР;

$N = 200$  шт. – кількість деталей у партії.

$$T_{шт-к} = 53,47 + \frac{35}{200} = 53,65 \text{ хв}$$

Визначаємо допоміжний час, для операції 030, за формулою:

$$T_d = T_{уст} + T_{уп} + T_{вим}, \text{ хв} \quad (2.27)$$

де  $T_{уст} = 4,2$  хв – час на установку і зняття заготовки [5];

$T_{уп} = 6,3$  – допоміжний час з управління верстата [5];

$T_{вим} = 2,2$  хв – час на вимірювання [5].

$$T_d = 4,2 + 6,3 + 2,2 = 12,7 \text{ хв.}$$

Визначаємо оперативний час за формулою 2.26:

$$T_{оп} = 18 + 12,7 = 30,7 \text{ хв.}$$

Визначаємо додатковий час, який складається з часу на обслуговування та часу на відпочинок і визначається у відсотках від оперативного часу:

$$T_{доп} = T_{оп} 4\% = 30,7 \cdot 0,04 = 1,22 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний час за формулою 2.27:

$$T_{шт} = 30,7 + 1,22 = 31,92 \text{ хв.}$$

де  $T_{п.з} = 30$  хв – підготовчо-заклучний час, що складається з часу: отримання креслення і наряду, ознайомлення з роботою та кресленням, інструктаж майстра, настроювання пристрою подачі ЗОР;

$N = 200$  шт – кількість деталей у партії.

$$T_{шт-к} = 31,92 + \frac{30}{200} = 32,07 \text{ хв}$$

## 2.7 Проектування засобів технологічного оснащення

Проектування верстатного пристрою на свердлильну з ЧПК операцію.

Обґрунтування необхідності створення пристосування. Вибір системи пристосування.

Заготовка обробляється в трикулачковому патроні з ручним приводом. Щоб підвищити точність, а також знизити трудомісткість обробки буде застосовуватися спеціальне пристосування.

Операція 030 комплексна яка виконується на свердлильному верстаті з ЧПК моделі KBS 50 CNC.

Мета технологічної операції.

На цій операції формуються такі розміри: 6 наскрізних отворів  $\varnothing 50$  мм.

Відповідно до технічних вимог щодо виготовлення деталі, приймаємо 14 квалітет точності [10].

$T_{\varnothing 50} = 620$  мкм

Так як отвори наскрізні, то точність лінійних розмірів не беремо до уваги.

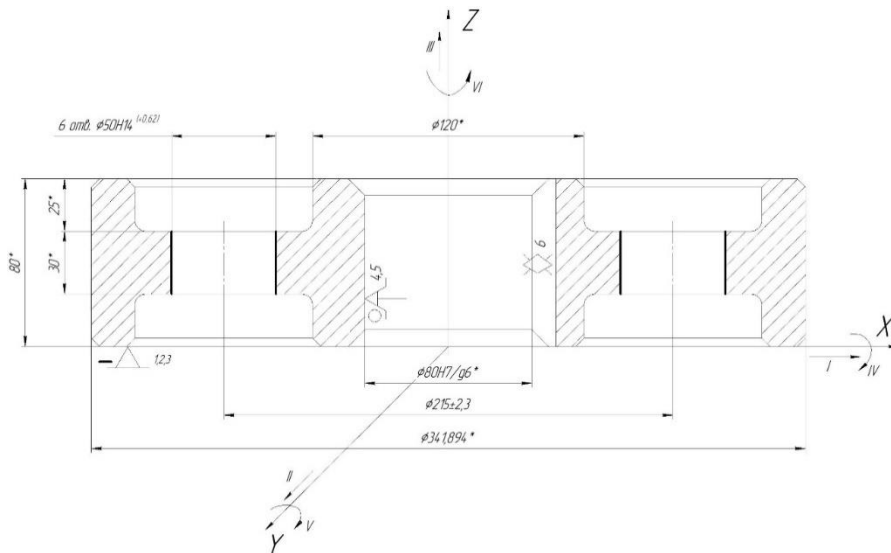


Рисунок 2.8 – Схема базування заготовки на операції 030 свердлильна з ЧПК

Шорсткість оброблюваних поверхонь.

Шорсткість оброблюваних поверхонь становить 6,3 мкм за Ra

Проаналізуємо базові поверхні.

Пристосування сконструйоване таким чином що заготовка буде базуватися по внутрішній циліндричній поверхні  $\text{Ø}80\text{H}7$  та по торцю.

За кресленням бачимо що  $\text{Ø}80$  оброблюється по 7 квалітету точності, отже згідно [10] знаходимо допуск на цей розмір:  $\text{Ø}80 = 30$  мкм.

Це свідчить про те, що отвір виконаний за такими параметрами:  $\text{Ø}80\text{H}7 (+0,03; 0)$ . Із відношення  $l / d < 1$  видно що, отвір  $\text{Ø}80$  можна використати як подвійну опорну базу.

Визначаємо шорсткість базових поверхонь.

На кінцевому кресленні зазначена шорсткість поверхні для розміру  $\text{Ø}80\text{H}7$  і торцю, яка відповідає критерію Ra 2,5 мкм, що достатньо для досягнення точності, необхідної для цієї операції.

Сконструйовані пристосування призначені для обробки заготовок, основи яких відповідають таким розмірам або в межах  $\pm 10$  мм із заданими параметрами точності. Іншими словами, настроювальні характеристики настроювальних елементів пристрою повинні бути в межах заданих допусків на розміри.

Визначаємо умови в яких буде виготовлятися і експлуатуватися проектоване пристосування.

Річна програма випуску визначається 200 деталями. Такі програми розраховані на дрібносерійне виробництво, враховуючи їх трудомісткість. Однак данне пристосування проектується в навчальних цілях.

Виконання обробка на даній операції здійснюється свердлом  $\text{Ø}50$  мм. Обслуговування розробленого пристосування має виконуватися верстатником 3-го розряду.

Розрахунок сил закріплення.

Розрахуємо коефіцієнт запасу за формулою з [2, с.85]:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6$$

де  $K_0$  – коефіцієнт гарантованого запасу.  $k_0 = 1,5$ ;

$K_1$  – коефіцієнт враховує збільшення сил різання через випадкові нерівності на оброблюваних поверхнях ( $k_1 = 1,1$ );

$K_2$  – коефіцієнт що характеризує збільшення сил різання внаслідок затуплення ріжучого інструменту ( $k_2 = 1,7$ );

$K_3$  – коефіцієнт враховує збільшення сил різання при переривчастому різанні ( $k_3 = 1$ );

$K_4$  – коефіцієнт що характеризує сталість сили закріплення зажимного механізму ( $k_4 = 1,2$ );

$K_5$  – коефіцієнт що характеризує ергономіку ручних ЗМ ( $k_5 = 1$ );

$K_6$  – коефіцієнт враховує наявність моментів, що прагнуть повернути заготовку;.

Тоді:

$$K = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 1,7 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,1 = 3,366$$

Виходячи з того, що максимальні сили і моменти виникають при свердлінні отворів  $\varnothing 50$  мм, розрахунок сил затиску виконується саме за критеріями величини сил і моментів, що виникають на оброблених поверхнях. У той же час осьова сила  $P_o$  діє радіально на центральну оправку, на якій лежить деталь, і нею можна знехтувати.

Визначаємо силу  $P_z$ ,  $M_{кр} = 22,3$  Н·м з попередніх розрахунків.

$$P_z = \frac{2 \cdot M_{кр}}{D_{св}}, \text{ Н}$$

де  $D_{св} = 50$  мм – діаметр свердла.

$$P_z = \frac{2 \cdot 22}{0,05} = 892 \text{ Н}$$

Складемо рівняння моментів сил і визначимо силу закріплення  $W$ .

Сили тертя  $F_{тр1}$  і  $F_{тр2}$  будуть діяти на середньому діаметрі опорних площин. Запишемо умову  $M_{тр} > M$

Представимо  $M_{тр} = K \cdot l \cdot Pz$

$$W \cdot f_1 \cdot \left(\frac{R_1}{2}\right) + W \cdot f_2 \cdot \left(\frac{R_2}{2}\right) = K \cdot l \cdot Pz$$

$$R_1 = \frac{D_{ш} + D_o}{2}, \text{ мм}$$

де  $D_o$  – зовнішній діаметр шайби

$$R_1 = \frac{120 + 80}{2} = 100 \text{ мм}$$

$$R_2 = \frac{351 + 80}{2} = 215,5 \text{ мм}$$

де 351 і 80 – розміри, що характеризують опорний торець деталі.

$$l = 215/2 = 107,5 \text{ мм}$$

$f_1 = f_2 = 0,25$  – коефіцієнти тертя по площинах шайби - деталь і деталь-торець пристосування відповідно.

Виразимо силу закріплення  $W$

$$W = \frac{K \cdot l \cdot Pz}{f \cdot \left(\frac{R_1 + R_2}{2}\right)}, H$$

$$W = \frac{3,366 \cdot 107,5 \cdot 892}{0,25 \cdot \left(\frac{100 + 215,5}{2}\right)} = 8052 \text{ Н}$$

Обґрунтування вибору приводу.

Для вивільнення деталі достатньо невеликого ходу штока десь 5 – 10 мм, а отже доцільно використати тарілчасту гумовотканинну пневмокамеру однобічної дії.

Діаметр діафрагми визначаємо за формулою[7]:

$$D = 1,33 \cdot \sqrt{\frac{W}{p}}, \text{ мм}$$

де  $p = 0,4$  МПа – тиск повітря в мережі.

$$D = 1,33 \cdot \sqrt{\frac{8052}{0,4}} = 157,3 \text{ мм}$$

Приймаємо по ГОСТ найближчий більший діаметр  $D = 160 \text{ мм}$ .

Отже розраховуємо фактична силу закріплення при діаметрі пневмокамери 160 мм по ГОСТ.

$$W_{\phi} = \frac{D^2 \cdot p}{1,33^2}, \text{ Н}$$

$$W_{\phi} = \frac{160^2 \cdot 0,4}{1,33^2} = 8100 \text{ Н}$$

Точнісні розрахунки пристосування.

З інформаційної точки зору розрахунок допусків на виготовлення елементів кріплення являє собою перероблення інформації про обробку поверхні деталі в цьому процесі в точність кріплення.

Спочатку визначимо параметри розрахунку, які найбільше впливають на досягнення заданих допусків при проектуванні деталі. При обробці конкретної деталі для експлуатації в розрахункові параметри повинен входити найбільший допуск креслення, який повинен становити  $45 \pm 0,31 \text{ мм}$ .

Базування деталі відбувається по поверхні  $\text{Ø}255\text{H}7$ , отже вимірювальна та технологічна бази співпадають.

Визначимо похибку на паралельність верхнього торця склянки до настановної поверхні плити за формулою [9]:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = T - K_T \cdot \sqrt{(K_{T1} \cdot \varepsilon_6)^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_n^2 + \varepsilon_u^2 + (K_{T2} \cdot \omega)^2 + \varepsilon_{\text{поз}}^2}, \text{ мкм}$$

де  $T$  – допуск розміру  $T = 0,62 \text{ мм} = 620 \text{ мкм}$ ;

$K_T$  – коефіцієнт, що враховує можливе відступ від нормального розподілу окремих складових, приймаємо  $K_T = 1,2$ ;

$K_{T1}$  - коефіцієнт, який враховує деяке зменшення граничного значення похибки базування, що приймається до уваги, коли похибки базування не дорівнюють нулю, в даному випадку  $K_{T1} = 0,85$ ;

$\varepsilon_{\delta}$  – похибка базування заготовки, яка в даному випадку буде дорівнює максимальному зазору між оправленням і отвором деталі.

$$\varepsilon_{\delta} = S_{\max} = 80,03 - 79,98 = 0,05 \text{ мм} = 50 \text{ мкм.}$$

$\varepsilon_z$  – похибка закріплення заготовки, тому привід механізований і похибка закріплення буде постійною, то враховуємо її один раз при налаштуванні верстата, приймаємо  $= 0$ ;

$\varepsilon_y$  – похибка установки пристосування на верстаті, враховує зазори між установочними елементами пристосування і посадочними елементами верстата (шпонками). Пристосування встановлюється на стіл за двома шпонками по посадці 18H9 / h9.

$\varepsilon_n$  – похибка перекосу інструменту. Обробка вестиметься спіральними свердлами відповідного діаметру, але перед цим отвори необхідно зацентрувати центрувальним свердлом, щоб виключити (або принаймні мінімізувати відведення свердла). Тобто похибка перекоса  $= 0$ .

$\varepsilon_u$  – похибка, що виникає внаслідок зносу настановних елементів пристосування. Величина зносу залежить від програми випуску деталей і форму настановної поверхні.

Похибка зносу настановних елементів пристосування визначаємо за формулою :

$$\varepsilon_u = \beta_2 \cdot N$$

де  $\beta_2 = 0,001$  – постійний коефіцієнт, узятий за рекомендаціями [9];

$N$  – Число контактів заготовки з опорою. Річний випуск деталей = 200 шт. Пристосування передбачається експлуатувати без ремонту і заміни деяких настановних елементів 2 роки, тому

$$N = N_r \cdot n, \text{ шт}$$

$$N = 200 \cdot 2 = 400 \text{ шт}$$

$$\varepsilon_u = 0,001 \cdot 400 = 0,4 \text{ мм} = 400 \text{ мкм.}$$

$K_{T2}$  – коефіцієнт, що враховує ймовірність появи похибки обробки, приймаємо за рекомендаціями [9]  $K_{T2} = 0,6$ ;

$w$  – середня економічна точність обробки, по [9] при свердлінні отворів середня економічна точність – 12 квалітет. Отже в розрахунках приймаємо допуск на найбільший діаметр оброблюваного отвору по 12-му квалітету тобто для отвори  $\text{Ø}50\text{H}12$   $w = 250$  мкм;

$\varepsilon_{\text{поз}}$  – Похибка позиціонування верстата. З паспорта верстата 2P135Ф2, на якому буде проводиться обробка = 20 мкм.

Виконуємо розрахунок допустимої похибки пристосування, яку не можна перевищити при виготовленні його деталей і їх складанні.

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\text{пр}} &= 620 - 1,2 \cdot \sqrt{(0,85 \cdot 50)^2 + 0^2 + 0^2 + 0^2 + 300^2 + (0,6 \cdot 250)^2 + 20^2} \\ &= 103,7 \text{ мкм} \end{aligned}$$

Відповідно до ГОСТ 24643-81 обираємо найближче менше значення допуску паралельності торцю деталі до підставної плити. Дана похибка буде найбільше впливати на точність обробки.

Найближче стандартне значення допуску паралельності по [9] 100 мкм для діапазону розмірів 250-360 мм, в який входить розмір  $\text{Ø}351$  – площини торця, відповідає 10-й ступені точності.

Отже допуск паралельності становить 0,1мм, це значення ми проставляємо на кресленні пристрою.

Принципу дії пристрою.



Пристрій складається з плити, під якою змонтована пневмокамера і на якій встановлено стакан. При подачі стисненого повітря в і верхню порожнину відбувається закріплення заготовки. Подача повітря здійснюється через триходовий розподільний кран. При відключенні подачі повітря по-засобом перемикання триходового крана відбувається процес розкріплення заготовки за допомогою пружини (камера односторонньої дії).

Розрахунок на міцність.

Розраховуємо на міцність різьби штока. З конструктивних міркувань і попередньої компоновки пристосування прийємо різьбу на штоку М12х1,75-6g. Сила на штоку  $W = 8100$  Н, матеріал гвинта – Сталь 40 ГОСТ 1050-88.

Внутрішній діаметр різьби розраховується за формулою:

$$d_B = d_H - (0,541 \cdot P) \cdot 2$$

де  $d_H$  – зовнішній діаметр різьби;

$P$  – шаг різьби.

$$d_B = 12 - (0,541 \cdot 1,75) \cdot 2 = 10,2065 \text{ мм}$$

Мінімальна площа поперечного перерізу різьби розраховується за формулою:

$$S_{\min \text{ рвз}} = \frac{\pi d_B^2}{4} \text{ мм}^2$$

де  $d_B$  – внутрішній діаметр різьби.

$$S_{\min \text{ рвз}} = \frac{\pi \cdot 10,2065^2}{4} = 60,22 \text{ мм}^2$$

Межа текучості для Сталі 40 дорівнює 300 МПа.

Допустимі напруги розтягування визначається за формулою:

$$[\sigma_p] = 0,5 \cdot \sigma_T \text{ МПа}$$

$$[\sigma_p] = 0,5 \cdot 300 = 150 \text{ МПа}$$

Запишемо умову міцності на розтяг:

$$\sigma_p = \frac{W}{S_{\min \text{ рвз}}} \leq [\sigma_p]$$

$$\sigma_p = \frac{8100}{60,22} = 135 \leq 150 \text{ МПа}$$

Отже шток має достатню міцність для утримання деталі у пристосуванні.

## **2.8 Висновки**

З метою підвищення ефективності виробництва деталі "Зубчате колесо" було проведено комплекс заходів, спрямованих на оптимізацію технологічного процесу. Для зниження собівартості було прийнято рішення про використання штампованої заготовки замість кованої.

Був проведений ретельний аналіз існуючих технологічних операцій та розроблено нові, більш ефективні рішення. Зокрема, було змінено послідовність операцій, модернізовано обладнання та розроблено спеціальний верстатний пристрій для свердління.

Для забезпечення високої точності обробки було виконано детальний аналіз схем базування та закріплення заготовки, а також розраховано оптимальні режими різання. Результати дослідження були узагальнені у вигляді комплексу технологічної документації, необхідної для організації виробництва.

## РОЗДІЛ 3 НАУКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 3.1. Аналіз стану досліджень у галузі розроблення верстатних пристроїв

Основним призначенням використання силового приводу в пристроях є створення вихідної сили тяги  $P$ , яка необхідна для закріплення заготовки із зусиллям  $Q$ . Крім того, силові приводи використовуються для механізації завантаження і вивантаження заготовок, повороту пристосування, видалення стружки, транспортування деталей.

Силовим агрегатом приводу є перетворювач будь - якого виду енергії в механічну, необхідну для роботи затискних механізмів. У зв'язку з цим приводи розрізняються по видах перетвореної енергії. У верстатних пристроях використовують такі приводи: пневматичні, гідравлічні, пневмогідравлічні, електричні, електромагнітні, магнітні, вакуумні. По виду автоматизації виділяють механізовані і автоматизовані приводи. Особливістю автоматизованого приводу є звільнення працівника від управління ним.

У нашому випадку використовується пневматичний верстатний пристрій для свердління.

Пневматичні приводи. Вихідною енергією в пневматичних приводах є енергія стислого повітря. Пневмопривод широко застосовується в верстатних пристроях через свою швидкість, простоти конструкції, легкості управління, надійності і стабільності в роботі. Пневмоприводи також мають і недоліки: непланове переміщення штока, великі габаритні розміри силових агрегатів, шум при випуску відпрацьованого повітря.

Пневмопривід складається з:

- 1 Джерело стислого повітря – цехова або заводська компресорна установка.
- 2 Силовий агрегат – пневмодвигун, який перетворює енергію стислого повітря на силу  $P$  на штоку.
- 3 Пневмоапаратура – контролюючі прилади.
- 4 Розподільні і запобіжні пристосування.

## 5 Повітряпроводи.

Пневмопривод встановлюють на корпусі пристосування. Останні елементи розміщують поза пристосуванням, а за допомогою повітряпроводів їх з'єднують з пристосуванням. Пневмодвигуни бувають трьох видів: Поршневі (пневмоциліндри) (рис.1). Діафрагмові (пневмокамери) (рис.2). Сільфони (рис.3).

Робоча камера двигуна сільфону є гафрованою замкнутою камерою з тонколистової корозійностійкої сталі, латуні або фосфористої бронзи, яка розширюється у напрямі робочого ходу штока під дією стислого повітря. Тому робочий хід штока пневмокамери сільфону обмежений величиною можливої деформації, тоді як в пневмоциліндрі він може бути будь-яким. Пневмоциліндр для герметизації робочої порожнини вимагає ущільнювачі на поршні і штоку, які досить швидко зношуються (найчастіше термін їх служби не перевищує 10 тис. циклів).

Діафрагми довговічніші. Вони витримують до 600 тис. циклів. У сільфонах ущільнювачі не використовуються. Як ущільнювачі можуть використовуватися манжети V – образного перетину з маслостійкої гуми ГОСТ 6969-64 і кільця круглого перетину з маслостійкої гуми ГОСТ 9833-73.

Залежно від джерела енергії зворотнього ходу розрізняють пневмодвигуни односторонньої дії, в яких робочий хід здійснюється стислим повітрям, холостий – зусиллям пружини, такі пневмоприводи односторонньої дії необхідно застосовувати тоді, коли при закріпленні деталі необхідна сила більше, ніж при розкріплюванні. Пневмодвигуни двосторонньої дії застосовуються в пристосуваннях з самотормозящими затискними пристосуваннями, тобто коли необхідна велика сила затиску при закріпленні і розкріплюванні деталей (ексцентрикові, клинові затискачі), оба ходу мають бути робочими.

Аналіз літературних джерел показав, що у даний час науковці займаються розрахунками та розробкою моделей ВП та досліджують точність механічної обробки при зміні параметрів пристрою та режимів різання. Також застосовуються системи впливу на колювання і вібрації в процесі контакту інструменту із

заготовкою, а також різні генетичні алгоритми. Проте недостатньо уваги приділяється підвищенню жорсткості спеціальних ВП та зниженню їх металомісткості при забезпеченні достатньої точності для деталей типу зубчатого колеса, який представляє собою тонкостінний диск, що є актуальною задачею.

### **3.2 Розроблення 3D-моделі конструкції верстатного пристрою та його інженерне дослідження методом скінчено-елементного аналізу**

Для виконання розрахунків чисельного моделювання на першому етапі була виконана побудова 3D – моделі верстатного пристрою разом із деталлю (рис. 3.1).

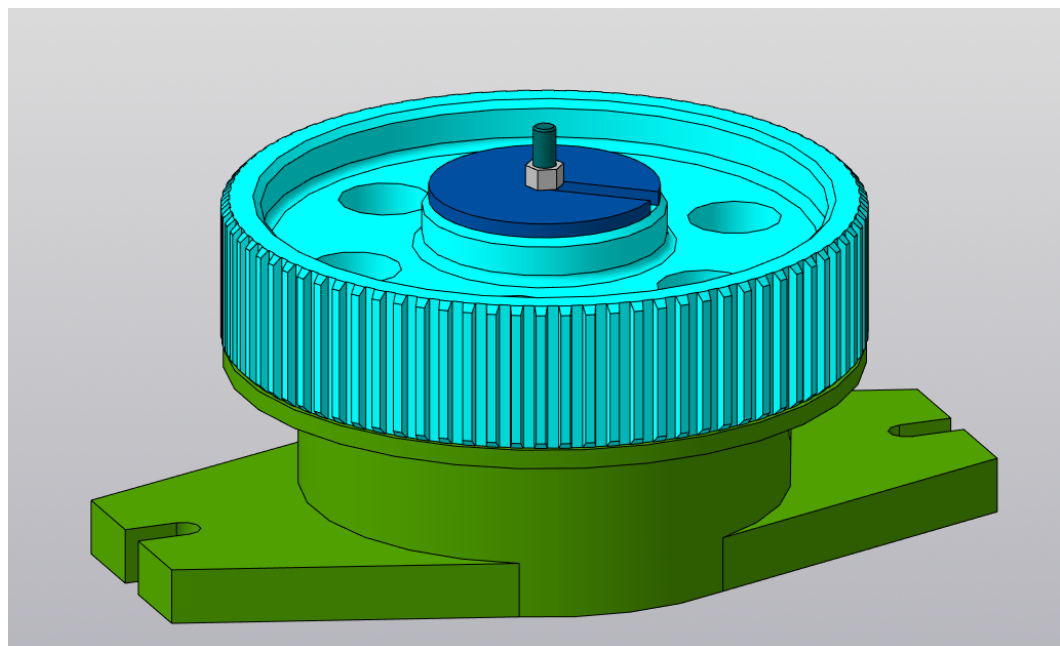


Рисунок 3.1 – Спроектований верстатний пристрій та закріплена деталь

Дослідження напружено-деформованого стану (НДС) виконувалось для деталей ВП, які безпосередньо будуть впливати на показники точності та міцності та задовольняти всім точнісним параметрам для обробки деталі. НДС також треба для виявлення концентраторів напружень та елементів, де напруження більші, ніж допустимі для конкретного матеріалу, та при їх наявності необхідно удосконалення конструкції. На даному етапі досліджень виконувалась перевірка еквівалентних напружень, які виникають у місцях контакту між установлювально-затискними

елементами та заготовкою у результаті дії сил закріплення та силових факторів процесу різання (сили різання та моменти), а також умови за допустимими напруженнями для деталей із конкретних матеріалів.

Для виконання інженерного дослідження використовувався програмний комплекс ANSYS Workbench, де також визначались частоти власних коливань і потім ми їх порівнюємо з частотами, що можуть виникати при обробленні. За допомогою цих результатів буде можливість за необхідності удосконалити ВП, щоб запобігти резонансу і підвищити його точність. Так як у конструкції ВП усі деталі виготовлені зі сталі 45, то механічні властивості матеріалів, які використовуються у моделі, наступні:

- модуль пружності  $E$ , ГПа – 210;
- коефіцієнт Пуассона  $\mu$  – 0,269;
- густина  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup> – 7826;
- границя міцності при розтягуванні  $[\sigma_{розт}]$ , МПа – 600;
- границя міцності при стисненні  $[\sigma_{ст}]$ , МПа – 600;
- границя текучості  $\sigma_T$ , МПа – 355.

Граничними умовами під час моделювання було закріплення верстатного пристрою за нижньою поверхнею основи, що імітує встановлення на стіл верстата, а також всі поверхні об'єднані між собою шляхом об'єднання вузлів з типом контакту «Bonded», що виключає можливі переміщення. Типи контактів «Frictional» задані в місцях посадок з указанням параметрів тертя за технічними характеристиками кожної з них. Ілюстрації скінчено-елементної сітки ВП представлені на рис. 3.2. Це робиться для отримання більш точних результатів, та більш якісного відображення можливих деформацій. На рис. 3.3 зображено ілюстрації напружень, що виникають при закріпленні та свердлінні заготовки, а на рис. 3.4 – 3.7 зображені деформації загальні та по осям X, Y, Z відповідно. На рис. 3.8 – 3.10 наведено форми власних коливань досліджуваного верстатного пристрою.

Аналізуючи отримані результати та величини коливань при яких відбуваються деформації можна зробити висновок, що розроблений ВП буде нормально функціонувати і точності, що отримані при аналізі не будуть виходити за межі допусків, адже найбільш точний розмір на даній операції – діаметр отвору 50 (0,62; 0) мм, а деформації загальні не перевищують 0,028 мм. Максимальні напруження під час чисельного моделювання показали 182 МПа, що менше ніж допустимі для матеріалів пристрою.

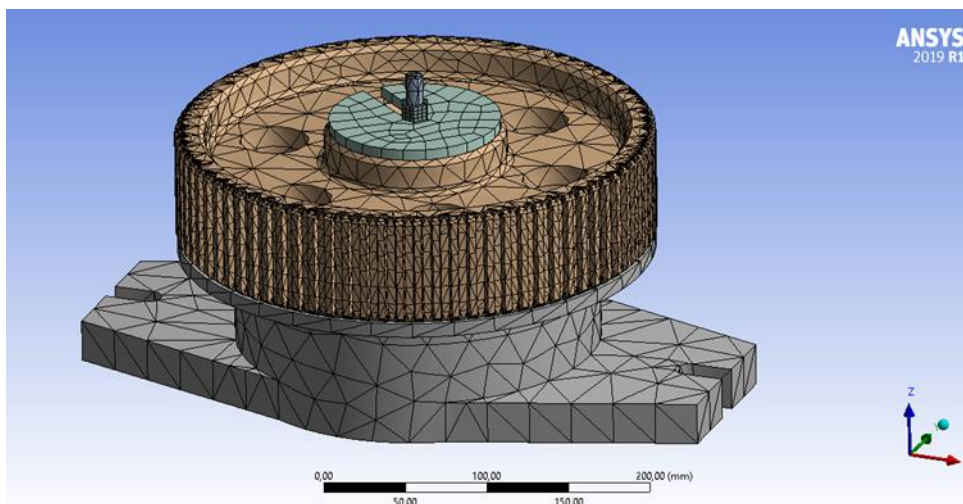
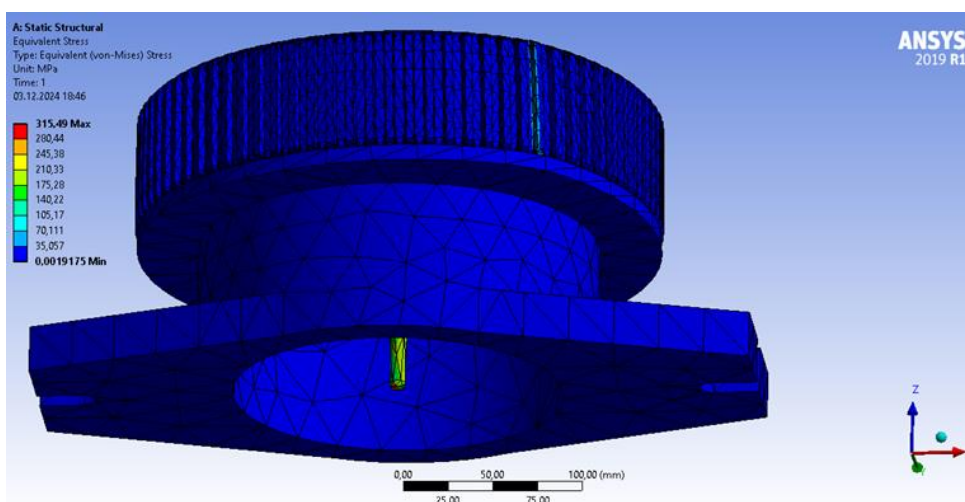


Рисунок 3.2 – Верстатний пристрій із скінчено-елементною сіткою та навантаженнями



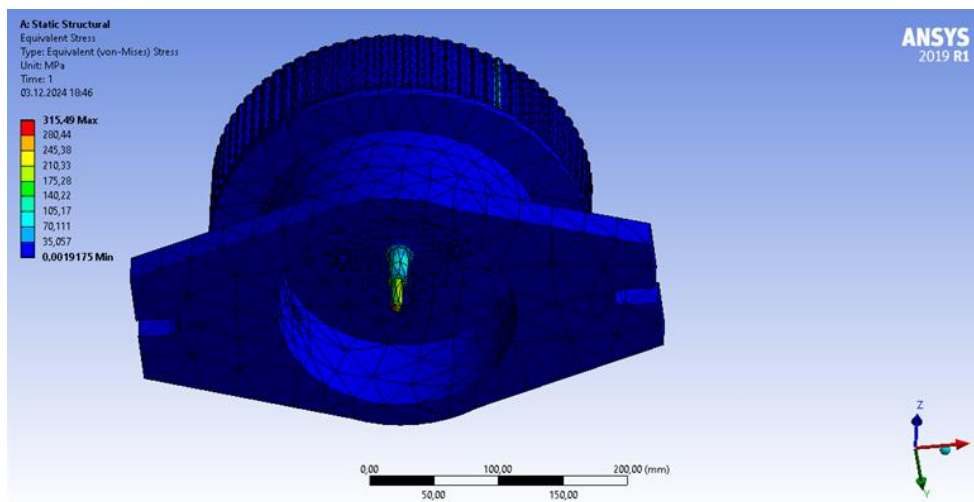


Рисунок 3.3 – Ілюстрація максимальних напружень при свердлінні

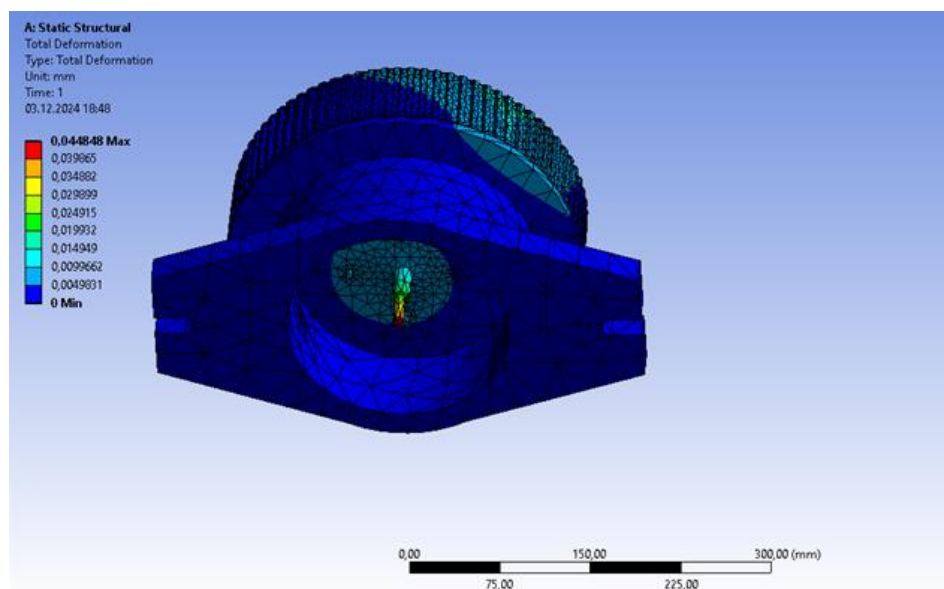
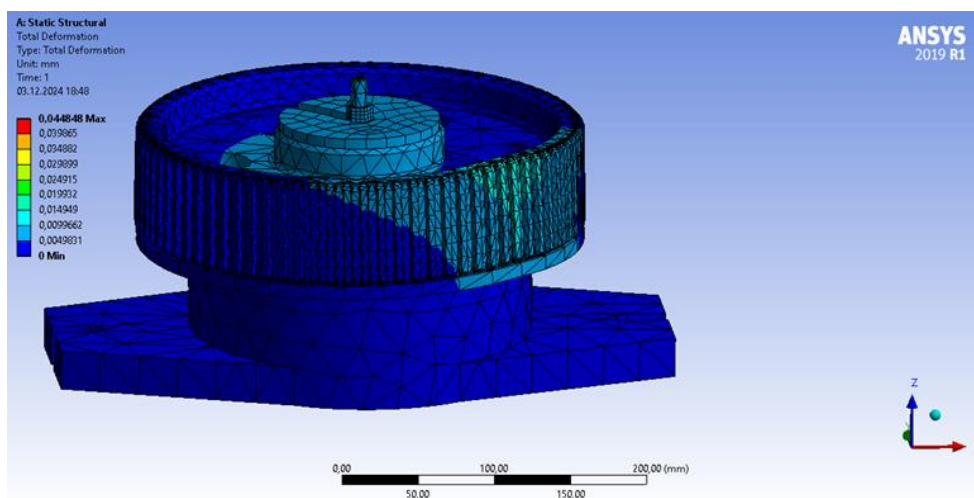


Рисунок 3.4 – Ілюстрація максимальних загальних переміщень при свердлінні



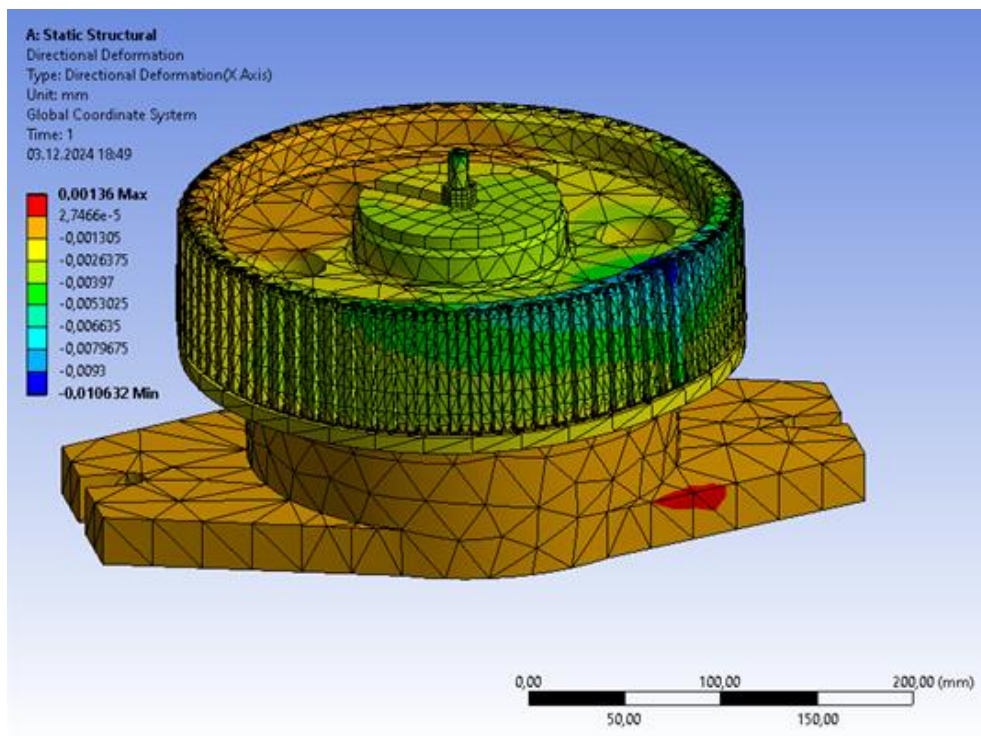


Рисунок 3.5 – Ілюстрація максимальних переміщень за напрямком осі X при свердлінні

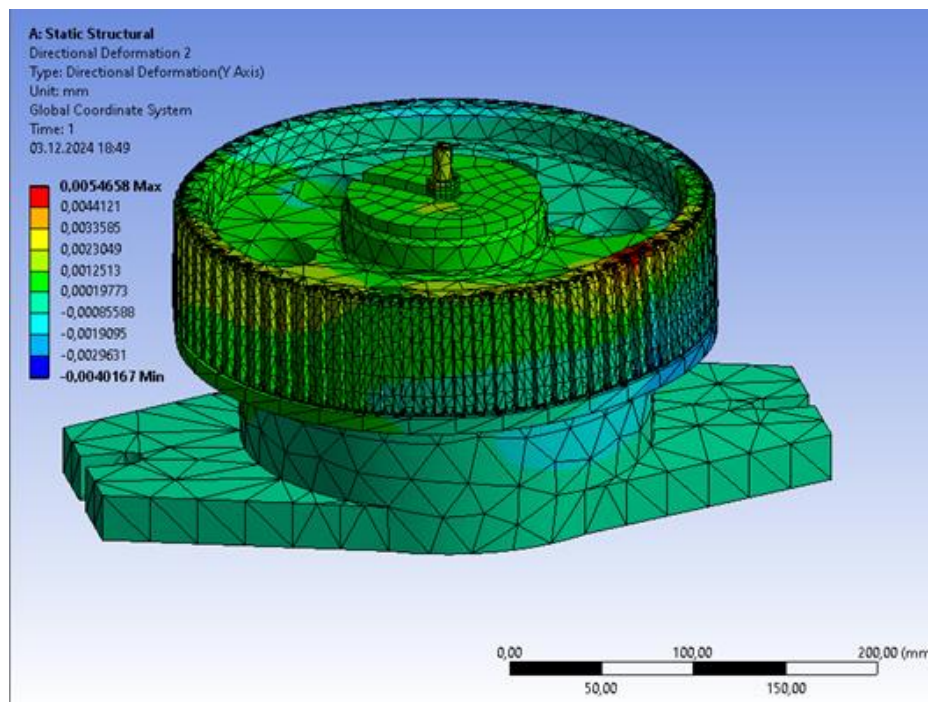


Рисунок 3.6 – Ілюстрація максимальних переміщень за напрямком осі Y при свердлінні

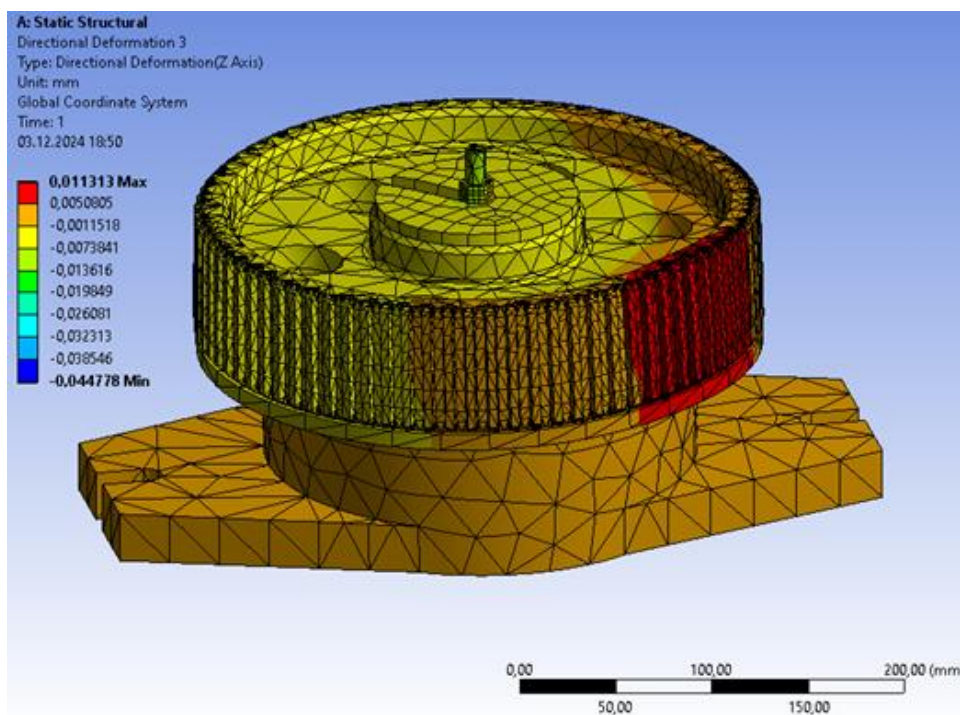


Рисунок 3.7 – Ілюстрація максимальних переміщень за напрямком осі Z при свердлінні

Для запобігання виникнення явища резонансу в процесі механічної обробки важеля необхідно, щоб частота власних коливань елементів ВП не співпадала з частотою процесу різання. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є призначення інших режимів різання. Для цього за допомогою вбудованого модуля у програмному комплексі ANSYS і функції Modal Analysis визначаються частоти власних коливань запропонованого ВП та порівнюються з частотами, що виникають у процесі механічної обробки. Результати цього аналізу за необхідності дозволяють відлаштуватися від резонансу. Рисунки з виглядом форм власних коливань для досліджуваної системи «ВП – заготовка» наведені на рис. 3.5 – 3.7.

Таким чином після інженерного дослідження частот (мод) коливань визначено їх величини:

- 1-ша критична частота, Гц – 9,51;
- 2-га критична частота, Гц – 9,7;
- 3-я критична частота, Гц – 9,74.

Максимальна частота процесу різання на операції не перевищує 9,5 Гц, що менше ніж значення моди №1, тому обробка буде без виникнення резонансу.

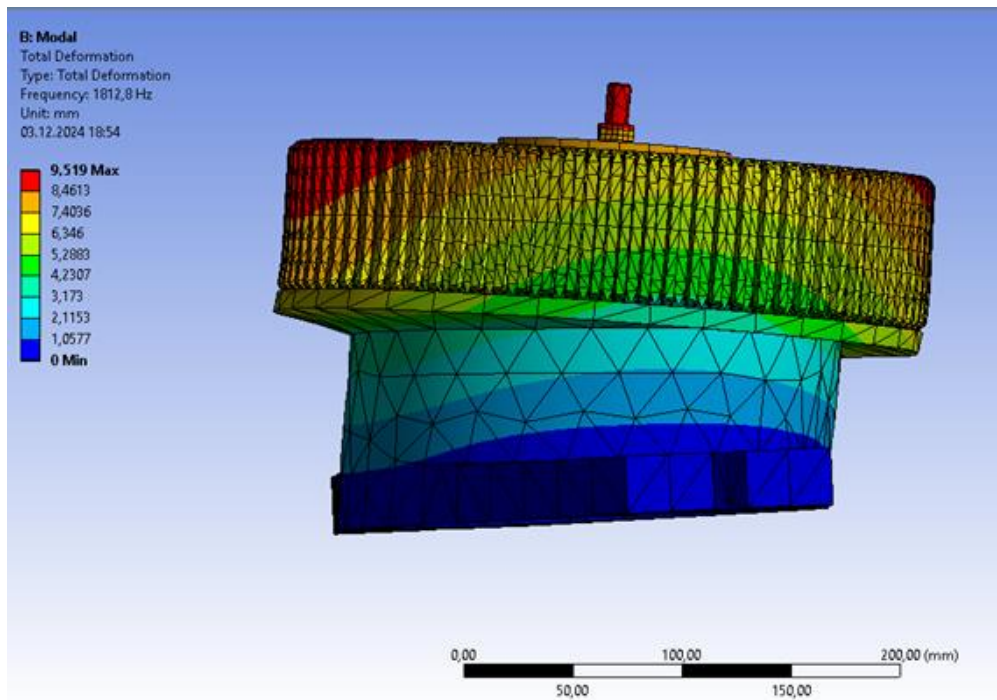


Рисунок 3.8 – Ілюстрація 1-шої критичної частоти ВП

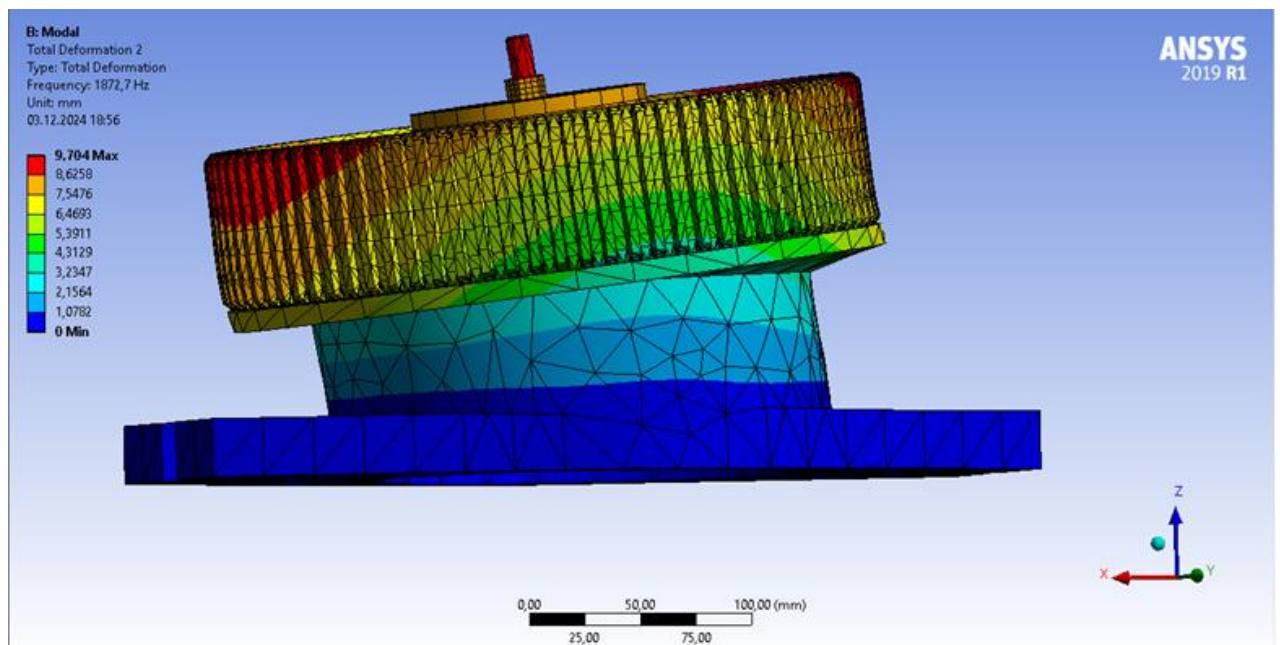


Рисунок 3.9 – Ілюстрація 2-ї критичної частоти ВП



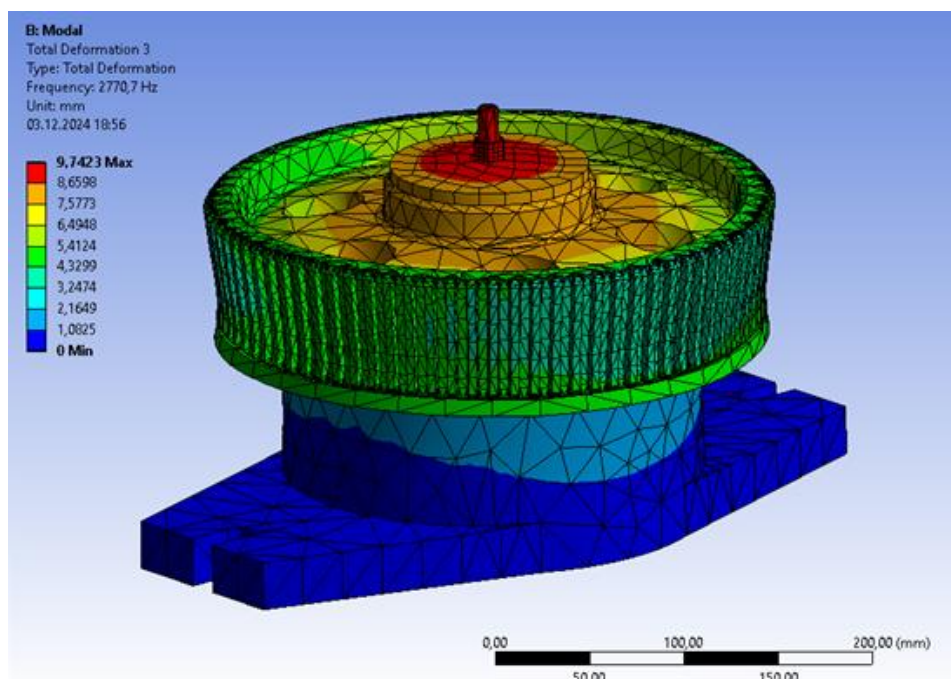


Рисунок 3.10 – Ілюстрація 3-ї критичної частоти ВП

Із результатів частот коливань видно, що для запропонованої конструкції ВП резонансу не виникає, оскільки перша критична частота власних коливань ВП набагато вища за максимальну частоту процесу різання.

Також із отриманих значень форм коливань 2-ї та 3-ї частот (рис. 3.9 – 3.10) та їх величини 9,704 Гц та 9,742 Гц відповідно дуже близькі за значеннями, отже це є доказом того, що розрахунки виконані вірно та модель адекватна. При цьому можна спостерігати, що на рисунках відбувається лише коливання штоку, який винесений для зручності прикладання тягового зусилля. В реальних умовах шток буде з'єднаний із пневмокамерою, тому його коливання будуть відсутні. А отже реальні коливання будуть лише на третій критичній частоті, яка не досяжна при обробленні. Результати модального аналізу дозволяють висунути гіпотезу, що і в реальних умовах динамічна жорсткість спроектованого ВП буде достатньою для проведення механічного оброблення без виникнення резонансних режимів.

### 3.3 Висновок

1. За результатами статичного аналізу системи «пристрій-заготовка» можемо зробити такі висновки. З рисунків 3.2, 3.3 отримуємо: внутрішні напруження досягають максимального рівня на нижній частині штока, в місці де він кріпиться до мембрани та становлять 245 МПа, що є допустимою величиною, бо не перевищує межі текучості матеріалу (355 МПа).

2. З рисунків 3.4 – 3.7, максимального переміщення зазнає шток, який слугує однією з головних деталей пристрою та становить 0,044 мм, що є дуже малим, та допустим значенням. При таких умовах положення заготовки під час обробки є незмінним. За допомогою штоку з пневмоприводу передається сила, яка рухає шток з планшайбою притискаючи деталь таким чином закріплюючи її. Отже, переміщення штоку на 0,044 мм пояснюється його функціональним призначенням та не є високим значенням за прийнятих умов

3. За результатами динамічного аналізу можемо зробити висновки, що з рисунків 3.8, 3.9, 3.10 перша, друга та третя критичні частоти власних коливань відповідають коливанням заготовки під час обробки. Таким формам коливань відповідають частоти: 1-а критична частота – 9,51 Гц, 2-а критична частота – 9,7 Гц, 3-я критична частота – 9,74 Гц. Ймовірність резонансних явищ під час оброблення заготовки на свердлильній операції практично відсутня, оскільки усі три перші частоти власних коливань значно відрізняються від частоти робочого процесу (свердління), яка становить близько 9,5 Гц. 3.

Отже в результаті можна зробити такий висновок: спроектована конструкція верстатного пристосування на свердлильну операцію є прийнятною та може бути рекомендована для впровадження в умовах діючого виробництва.

## ВИСНОВКИ

Тема магістерської кваліфікаційної роботи – удосконалення технологічного процесу виготовлення Зубчастого колеса 1141.150.000.057 шляхом інтенсифікації фінішної операції.

У ході виконання кваліфікаційної роботи магістра було виконано наступний обсяг робіт:

- аналіз первинної інформації, який включав у себе характеристику і особливості машини, вузла, деталі, технічні вимоги до неї, визначення типу виробництва, розрахунок технологічності та огляд базового технологічного процесу з виявленням недоліків та постановкою завдання на удосконалення;

- виконано удосконалення базового технологічного процесу виготовлення деталі в частині підбору оптимального маршруту оброблення, розрахунку первинної заготовки за техніко-економічними показниками, призначено схеми базування, які забезпечують мінімальні похибки та дотримання розмірів на аналізовану операцію, для якої також підібрані сучасні металорізальні верстати, різальний та вимірювальний інструменти, та розраховані режими оброблення;

- для аналізованої операції за класичними методиками розрахунку спроектовано верстаний пристрій для свердлильної операції технологічного процесу.

У результаті в існуючий технологічний процес виготовлення деталі та внесено зміни спрямовані на його вдосконалення, а саме змінена послідовність операцій, замінено універсальне устаткування на обладнання з ЧПК. В якості заготовки було прийнято штамповка та спроектований верстатний пристрій пневматичної дії і до цієї ж операції розроблена карта операційного налагодження.

У науковому дослідженні розглянуті питання проектування верстатного пристрою для ефективної обробки отворів свердлінням. Визначені максимальні напруження, переміщення, та частоти коливань запропонованого верстатного пристрою та встановлено, що резонанс не виникне.

Також у роботі магістра розглянуто питання та виконаний розрахунок з розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» у додатку.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ, ПОСИЛАНЬ

1. Марочник сталей та сплавів. 2-ге вид., дод. I випр. / А. С. Зубченко, М.М. Колосків, Ю.В. Каширський та ін. За заг. ред. А.С. Зубченко - М: Машинобудування, 2003. - 784 с.
2. Добриднєв, І. С. Курсове проектування на уроках «Технологія машинобудування»: Навч. посібник для технікумів за спеціальністю "Обробка металів різанням". - М: Машинобудування, 1985. - 184 с.
3. Проектування та виробництво заготовок у машинобудуванні: Навч. посібник / П. А. Руденко, Ю. О. Харламов, В.М. Плєскач / За заг. ред. В.М. Піскача. – К.: Вища шк., 1991. – 247 с.
4. Кирилюк, Ю. Є. Допуски та посадки: Довідник. 2-ге видання, перероб. та дод. – К.: Вища шк. Головне видавництво, 1989. - 135.
5. TaeguTec Cutting Tools [Електронний ресурс]: Точіння ISO, – режим доступу: <https://www.imc-companies.com/taegutec/ttkcatalog/Applications.aspx?map=IS>.
6. Обробка металів різанням: Довідник технолога/О.О. Панов, В.В. Анікін, Н.Г. Бойм та ін; За заг. ред. А.А. Панова. - М: Машинобудування. 1988. – 736 с., іл.;
7. Довідник технолога-машинобудівника. У 2-х т. Т. 2/ За ред. А. Г. Косилової та Р. К. Мещерякова. - 4-те вид., перероб. та дод. - М: Машинобудування, 1986. – 496 с.
8. Загальномашинобудівні нормативи режимів різання для технічного нормування робіт на металорізальних верстатах. Частина 1. Токарні, карусельні, токарно-револьверні, алмазно-розточувальні, свердлильні, стругальні, довбані та фрезерні верстати. Вид. 2-ге. - М: Машинобудування, 1974. - 406 с.
9. Загальномашинобудівні нормативи часу допоміжного, на обслуговування робочого місця та підготовчо-заклучного для технічного нормування верстатних робіт. Серійне виробництво. Вид. 2-ге, уточн. та дод. - М: Машинобудування, 1974. - 411 с.



10. Гжиров Р.И. Короткий довідник конструктора: Довідник-Л: Машинобудування, Ленінгр. вид-ня, 1983. - 464 с.

11. Методичні вказівки до практичних занять з курсу “Технологічна оснастка”/Укладач П.В. Кушніров. – Суми: Вид-во Сум ДУ, 2009. – Ч.1. – 52с.

12. 5125 Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Основи конструювання контрольно-вимірювальних пристроїв» / укладачі А. В. Євтухов, О. В. Івченко, П. В. Кушніров, І. М. Дегтярьов. – Суми: Сумський державний університет, 2021. – 83 с.

13. Дунаев И. М. Организация проектирования системы технического контроля / И. М. Дунаев, Т. П. Скворцов, В. Н. Чупырин. – Москва: Машиностроение, 1981. – 191 с.

14. Гжиров Р. И. Краткий справочник конструктора: справочник: / Р. И. Гжиров. – Ленинград: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. – 464 с.

15. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. / под ред. И. Н. Жестковой. Москва: Машиностроение, 2001. Т. 1. – 920 с.

16. ДСТУ ISO 286-1-2002. Допуски і посадки за системою ISO. Частина 1. Основи допусків, відхилів та посадок (ISO 286-1: 1988. IDT).

17. Городецкий Ю. Г. Конструкции, расчет и эксплуатации измерительных инструментов и приборов. Москва : Машиностроение, 1971. 367 с.

18. Допуски, посадки та технічні вимірювання [Електронний ресурс]: – режим доступу: [https://lib.imzo.gov.ua/wa-data/public/site/books2/pidrucnyky-posibnyky-profosvita/PTO-Dopopusky\\_blok-min.pdf](https://lib.imzo.gov.ua/wa-data/public/site/books2/pidrucnyky-posibnyky-profosvita/PTO-Dopopusky_blok-min.pdf)

19. Змістовий модуль2. Методика проектування верстатних пристроїв [Електронний ресурс]: – режим доступу: <https://vpu17.dp.ua/navchalna-robota/navchalno-metodichne-ta-informatsiyne-zabezpechennya/133-galuzeve-mashinobuduvannya/tekhnologichne-osnashchennya/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%97%20%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%96.pdf>

27 Наукове дослідження: методи та методологія. Реферат [Електронний ресурс]: – режим доступу: <https://ru.osvita.ua/vnz/reports/pedagog/14098/>

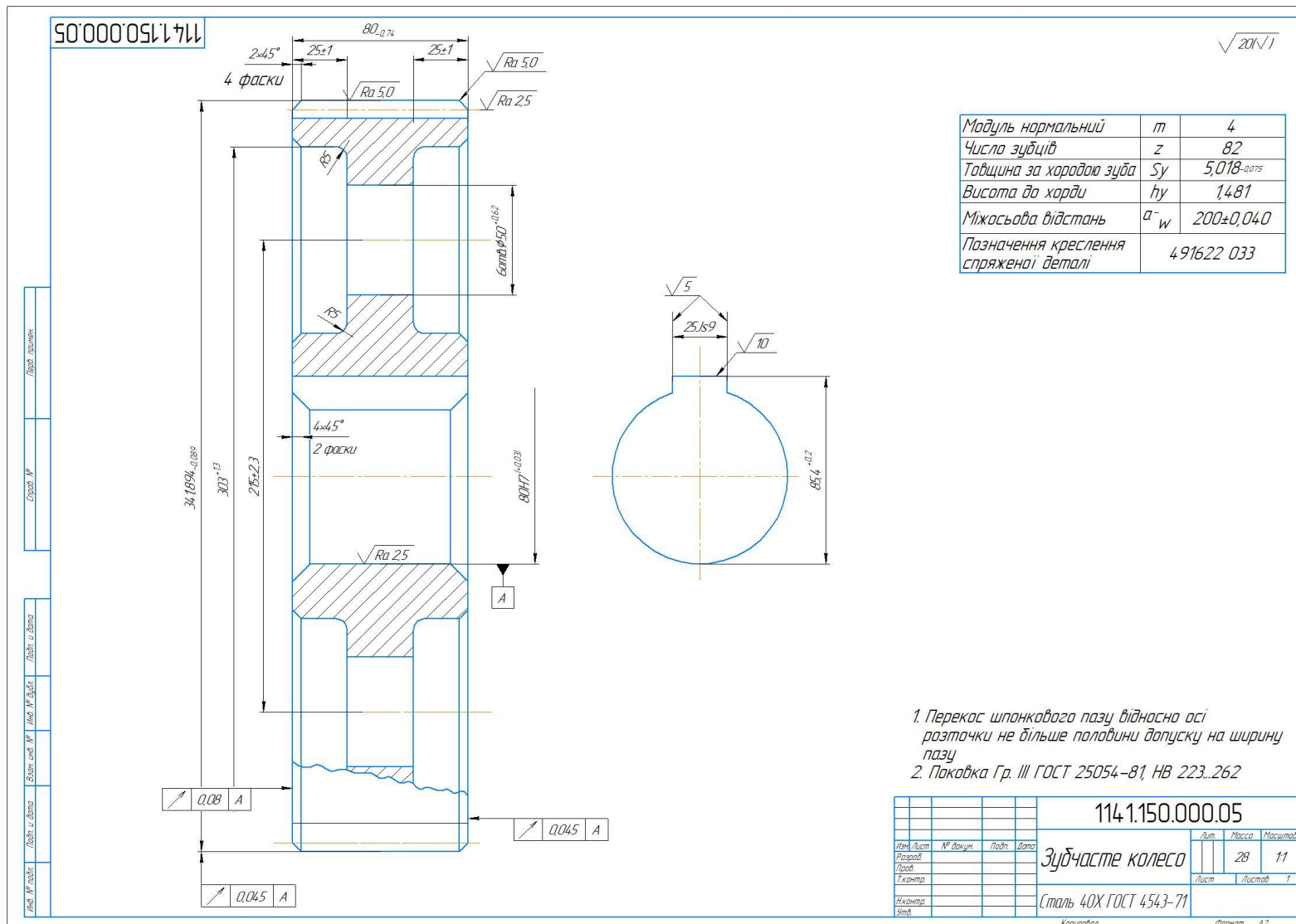
28. Дубенець В. Г. Основи методу скінченних елементів: Навчальний посібник. / В. Г. Дубенець, В. В. Хільчевський, О. В. Савченко.– Чернігів: ЧДТУ, 2017. – 288 с..

29. Пасічник В. А. Конструктивно-технологічне моделювання композиційних конструкцій з використанням системного аналізу / В. А. Пасічник, О. О. Хмуренко. // Східноєвропейський журнал передових технологій. – 2015. – № 4. – С. 15–20.

30. Карвацький А. Я. Метод скінченних елементів у задачах механіки суцільних середовищ (практикум) : навчальний посібник. / А. Я. Карвацький. - Київ : «КПІ ім. Ігоря Сікорського» – 2018. – 392 с.

31. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, Р. В. Сабарно, О. І. Полукаров, В. С. Коз'яков, Л. О. Мітюк. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. - К.: Основа, 2006 - 448 с

# ДОДАТОК А КРЕСЛЕННЯ ДЕТАЛІ «ЗУБЧАСТЕ КОЛЕСО»



1. Перекос шпандового пазу відносно осі розточки не більше половини допуску на ширину пазу
2. Паковка Гр. III ГОСТ 25054-81, НВ 223...262

|                          |  |  |  |                          |        |         |
|--------------------------|--|--|--|--------------------------|--------|---------|
| <b>114.150.000.05</b>    |  |  |  | Лист                     | Маса   | Масштаб |
| <b>Зубчасте колесо</b>   |  |  |  | 28                       | 11     |         |
| Сталь 40X ГОСТ 4543-71   |  |  |  | Лист                     | Листів | 1       |
| <small>Копіювати</small> |  |  |  | <small>Формат А2</small> |        |         |

## ДОДАТОК Б РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ ТИПУ ВИРОБНИЦТВА

### ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ ВИРОБНИЦТВА

#### Розрахунок коефіцієнту закріплення операцій $K_{з.о}$

| № операції | Найменування операції | $T_{шт.}$ , хв. | $m_p$ | $P$ | $\eta_{з.ф}$ | $O$   |
|------------|-----------------------|-----------------|-------|-----|--------------|-------|
| 1          | Токарна-гвинторізна   | 40,00           | 0,044 | 1   | 0,044        | 17    |
| 2          | Токарна-гвинторізна   | 20,00           | 0,022 | 1   | 0,022        | 34,1  |
| 3          | Свердлильна з ЧПК     | 30,00           | 0,033 | 1   | 0,033        | 22,7  |
| 4          | Довбальна             | 15,00           | 0,017 | 1   | 0,017        | 44,1  |
| 5          | Зубофрезерна          | 30,00           | 0,033 | 1   | 0,033        | 22,7  |
| Сума:      |                       |                 |       | 5   |              | 140,6 |

$T_{шт.}$  - штучний час,  $m_p$  - кількість необхідного обладнання,  $P$  - кількість робочих на кожній операції,  $\eta_{з.ф}$  - фактичний коефіцієнт завантаження робочого місця,  $O$  - кількість операцій, виконуваних на даному робочому місці.

Річний обсяг випуску виробів  $N_p$  200 шт.  
 Дійсний річний фонд часу роботи обладнання  $F_{д.о}$  4015 годин  
 Нормативний коефіцієнт завантаження обладнання  $\eta_{з.н}$  0,75

Коефіцієнт закріплення операцій  $K_{з.о}$  28,12

ТИП ВИРОБНИЦТВА Дрібносерійний

#### Визначення розміру партії запуску $n$

Кількість робочих днів на рік  $k$  254 дн.  
 Період запуску  $a$  24 дн.

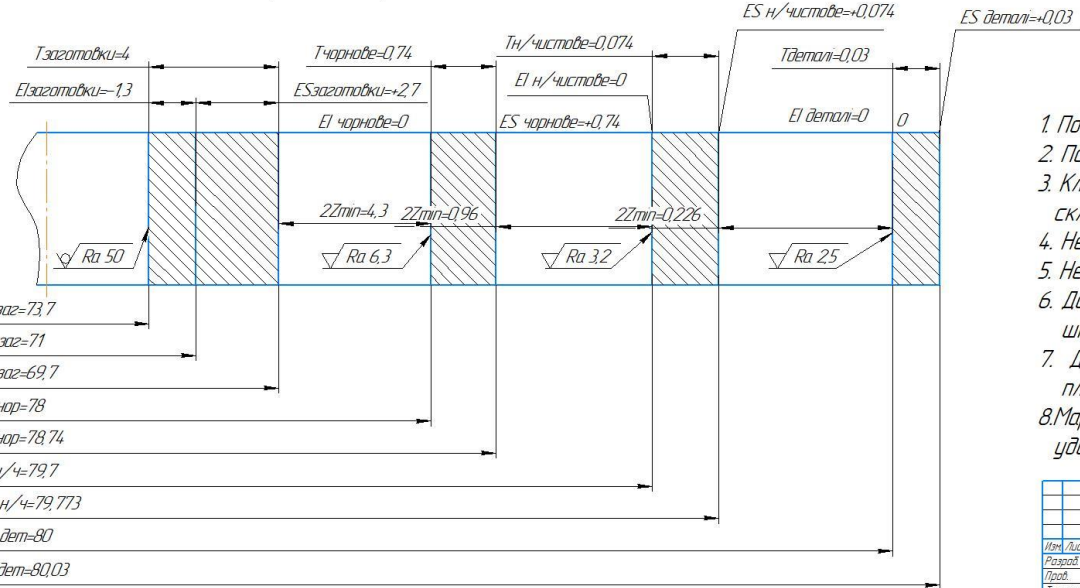
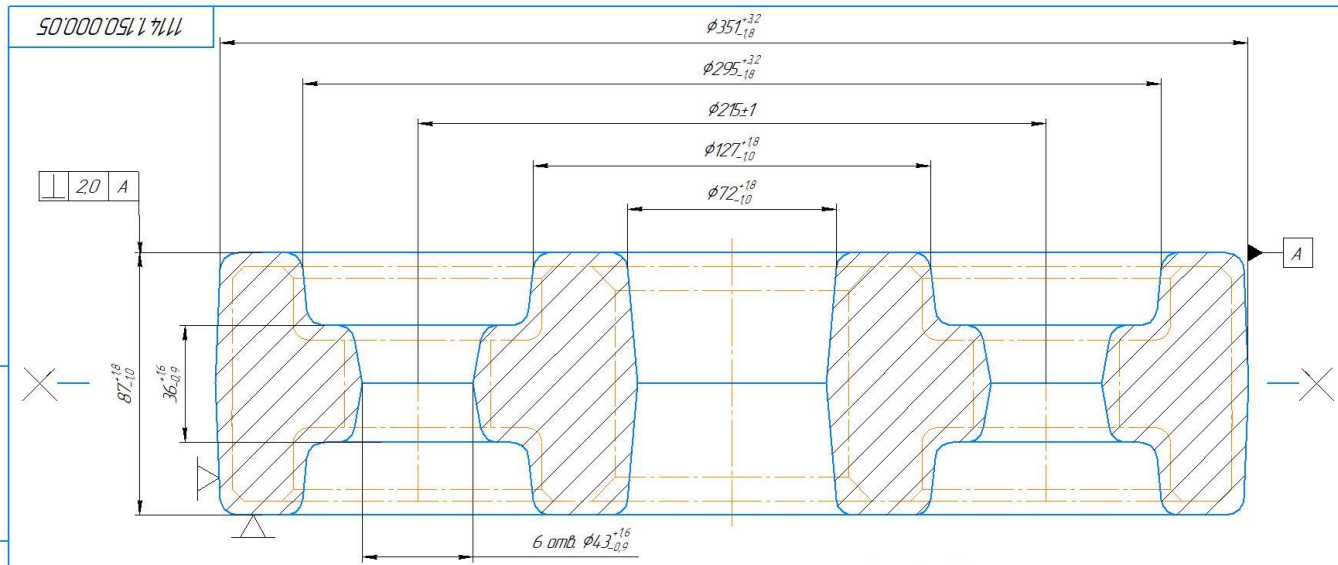
Партія запуску  $n$  19 шт.

#### Визначення такту випуску $t_b$ (для поточкових ліній)

Такт випуску  $t_b$  1204,50 хв.

# ДОДАТОК В КРЕСЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ

Ra 50



1. Паковка Гр. III НВ 223...262 ГОСТ 25054-81.
2. Паковка штапована на КГШП ГОСТ 7505-89.
3. Клас точності - Т4, група сталі - М2, ступінь складності - С2, вихідний індекс - 16.
4. Незазначені радіуси закруглень - R 5..6 мм.
5. Незазначені ухили 2-3°.
6. Допустима величина зміщення по поверхні роз'єму штапа - 1 мм.
7. Допустимі відхилення по зігнутості від площинності і прямолінійності не більше 0,6 мм.
8. Маркувати номер замовлення, номер позиції ударним способом шрифтом 3..5 ГОСТ 2930 - 62

Схема графічного розміщення припусків та допусків на обробку діаметрального розміру  $\Phi 80H7$

|           |          |       |       |                              |              |         |
|-----------|----------|-------|-------|------------------------------|--------------|---------|
|           |          |       |       | 1114.1.150.000.05            |              |         |
| Изм. Лист | № Взам.  | Подп. | Дата  | Зубчасте колесо<br>(паковка) | Лист         | Масштаб |
| Разработ  | Листка   | Проф. | Нашта |                              | 396          | 1:1     |
| Технотр.  |          |       |       |                              | Листов       | 1       |
| Начшта.   | Едтуклоб |       |       | Сталь 40Х ГОСТ4543-71        | СумДУ ТММ-31 |         |
| Утв.      | Іванов   |       |       |                              |              |         |

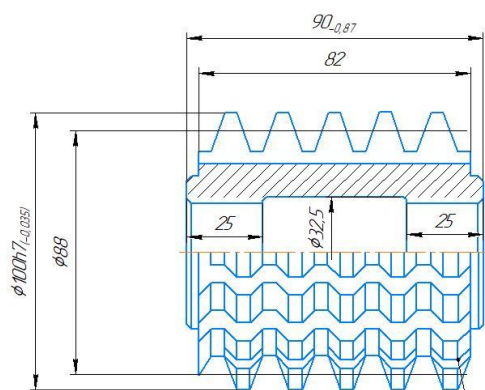




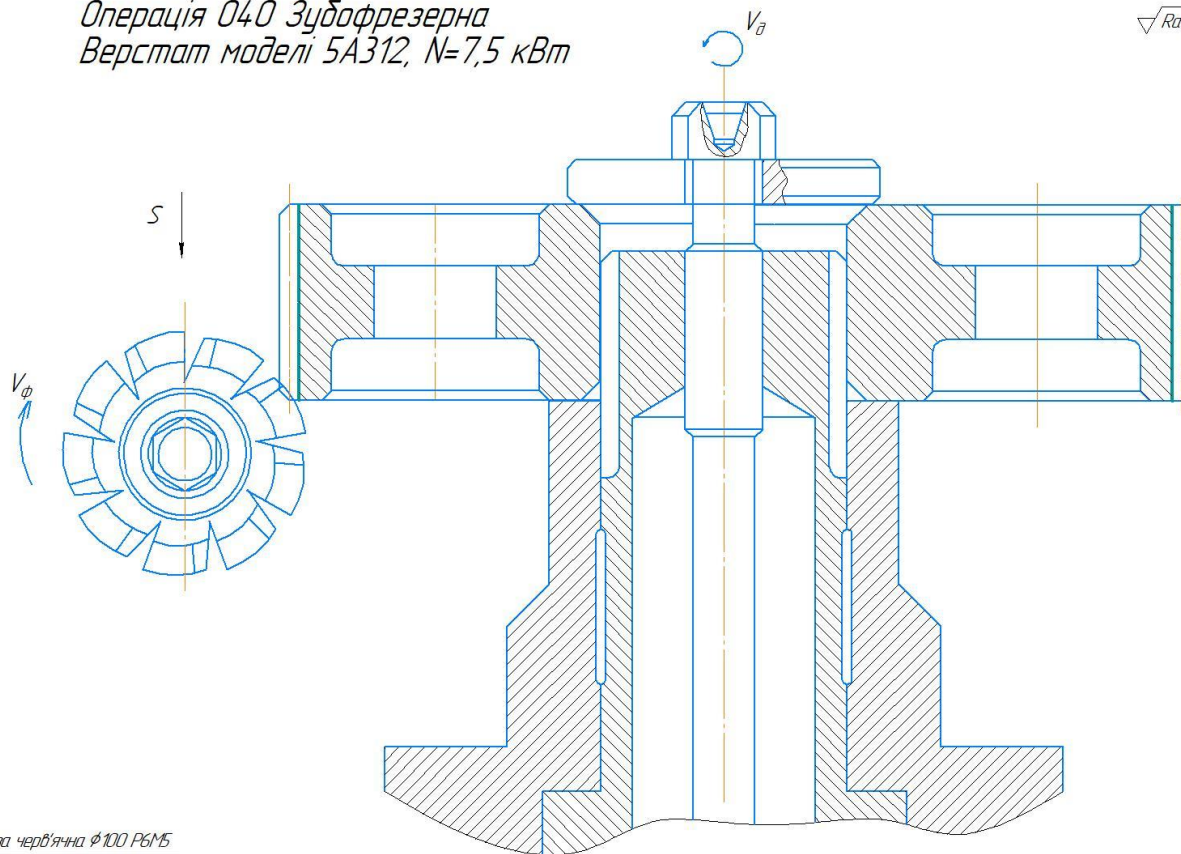


Операція 040 Зубофрезерна  
Верстат моделі 5А312, N=7,5 кВт

√ Ra 6,3



Фреза черв'ячна  $\phi 100$  Р6М5



|                                          |         |                         |
|------------------------------------------|---------|-------------------------|
| Модуль нормальний                        | $m$     | 4                       |
| Число зубців                             | $z$     | 82                      |
| Товщина за хордою зуба                   | $S_y$   | 5,018 <sup>-0,075</sup> |
| Висота до хорди                          | $h_y$   | 1,481                   |
| Міжосьова відстань                       | $a_w^-$ | 200±0,040               |
| Позначення креслення<br>спряженої деталі |         | 4.91622 033             |

| № | Назва інструменту               | t, мм | S, мм/об | V, м/хв | паз/хв | S <sub>мг</sub> /хв | T <sub>д</sub> , хв | T <sub>д</sub> , хв | T <sub>шт</sub> , хв |
|---|---------------------------------|-------|----------|---------|--------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| 1 | Фреза черв'ячна $\phi 100$ Р6М5 | 11    | 25       | 314     | 100    | 325                 | 1164                | 0,51                | 13,12                |

| Ізм.     | Лист    | № докум. | Пап. | Дата | Лит. | Маса | Масштаб |
|----------|---------|----------|------|------|------|------|---------|
| Розроб.  | Лашка   |          |      |      |      |      | 1:1     |
| Проб.    | Нешта   |          |      |      |      |      |         |
| Т.контр. |         |          |      |      |      |      |         |
| Н.контр. | Евтимов |          |      |      |      |      |         |
| Утв.     | Іванов  |          |      |      |      |      |         |

Операційна наладка  
(операція 040)

Лист 1  
Листов 1

СУМДУ ТММ-31

Копіюваль

Формат А2

Лист 1 з 1

Стр. 1 з 1

Лист 1 з 1

Лист 1 з 1

Лист 1 з 1

Лист 1 з 1



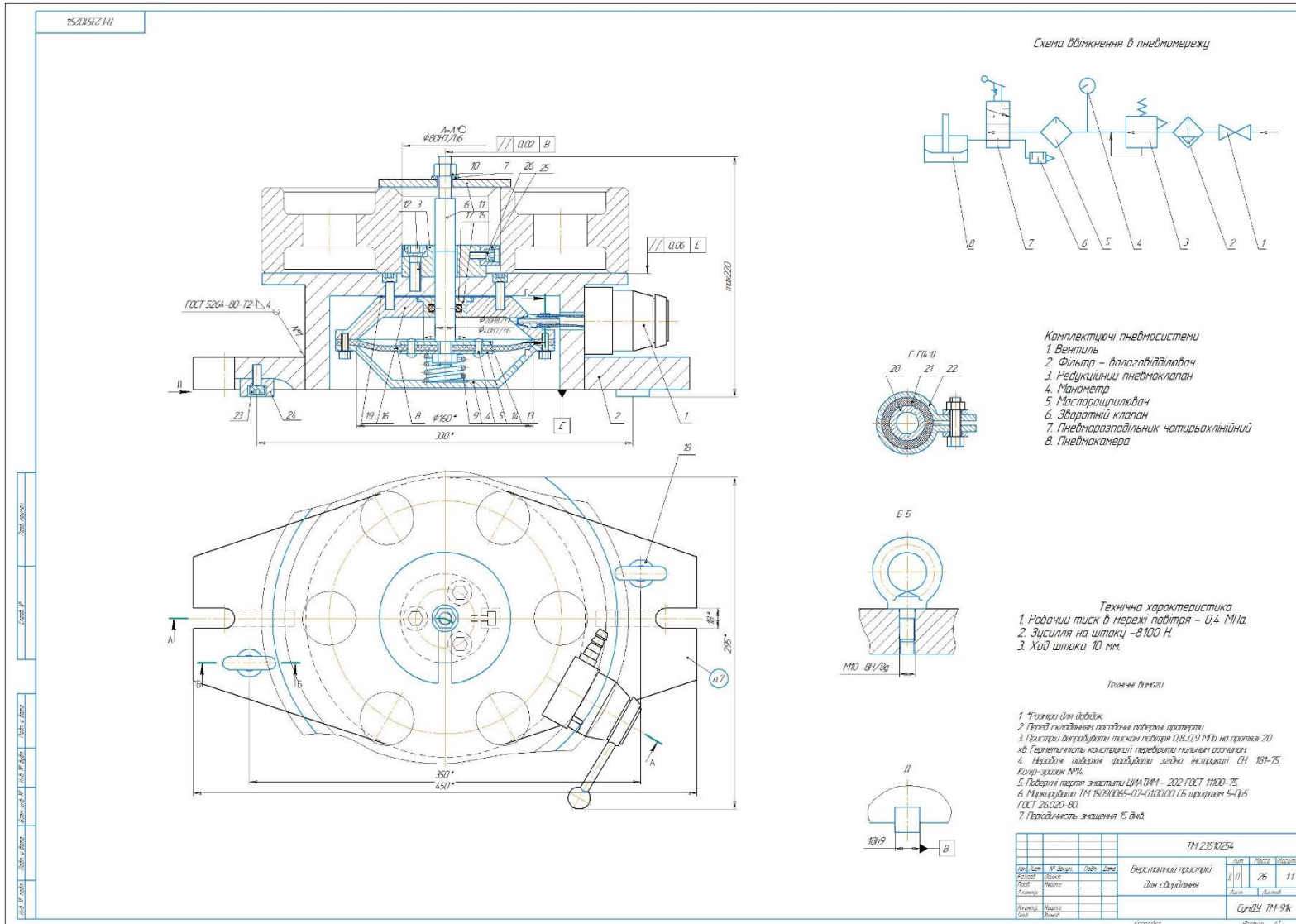
## ДОДАТОК Е

### СПЕЦИФІКАЦІЯ НА ВЕРСТАТНИЙ ПРИСТРІЙ

| Формат                         | Зона   | Лист     | Обозначение                       | Наименование                                  | Кол.                | Примечание |
|--------------------------------|--------|----------|-----------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------|------------|
|                                |        |          |                                   |                                               |                     |            |
| <i>Документація</i>            |        |          |                                   |                                               |                     |            |
| A1                             |        |          | <i>ТМ 19090075-07-01.00.00 СБ</i> | <i>Складальне креслення</i>                   |                     |            |
| <i>Складальні одиниці</i>      |        |          |                                   |                                               |                     |            |
| A4                             | 1      |          | <i>ТМ 19090075-07-01.01.00</i>    | <i>Пневморозподільник<br/>ГОСТ 1856 - 80*</i> | 1                   |            |
| <i>Деталі</i>                  |        |          |                                   |                                               |                     |            |
| A1                             | 2      |          | <i>ТМ 19090075-07-01.00.01</i>    | <i>Корпус</i>                                 | 1                   |            |
| A3                             | 3      |          | <i>ТМ 19090075-07-01.00.02</i>    | <i>Стакан</i>                                 | 1                   |            |
| A3                             | 4      |          | <i>ТМ 19090075-07-01.00.03</i>    | <i>Кришка нижня</i>                           | 1                   |            |
| A4                             | 5      |          | <i>ТМ 19090075-07-01.00.04</i>    | <i>Шайба спеціальна</i>                       | 1                   |            |
| A4                             | 6      |          | <i>ТМ 19090075-07-01.00.05</i>    | <i>Шток</i>                                   | 1                   |            |
| A4                             | 7      |          | <i>ТМ 19090075-07-01.00.06</i>    | <i>Шайба швидкозмінна</i>                     | 1                   |            |
| A3                             | 8      |          | <i>ТМ 19090075-07-01.00.07</i>    | <i>Кришка верхня</i>                          | 1                   |            |
| A4                             | 9      |          | <i>ТМ 19090075-07-01.00.08</i>    | <i>Прокладка спеціальна</i>                   | 1                   |            |
| <i>Стандартні вироби</i>       |        |          |                                   |                                               |                     |            |
|                                |        | 14       |                                   | <i>Болти ГОСТ 7798-70<br/>M12-8gx30</i>       | 13                  |            |
|                                |        | 15       |                                   | <i>M16-8gx50</i>                              | 4                   |            |
| <b>ТМ 23510254-07-01.00.00</b> |        |          |                                   |                                               |                     |            |
| Взм.                           | Лист   | № докум. | Подп.                             | Дата                                          |                     |            |
| Разроб.                        | Лашка  |          |                                   |                                               | Лист                | Листов     |
| Проб.                          | Нешта  |          |                                   |                                               | 1                   | 2          |
| Н.контр.                       | Нешта  |          |                                   |                                               | <b>СумДУ ТММ-31</b> |            |
| Утв.                           | Іванов |          |                                   |                                               |                     |            |



# ДОДАТОК Ж КРЕСЛЕННЯ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТРОЮ



## ДОДАТОК К

### Охорона праці та безпека в НС

#### Дія електромагнітних полів та випромінювань на людину, засоби та методи захисту від них

##### Електромагнітні поля

Сьогоднішній світ а, тим більше, завтрашній важко уявити без комп'ютерів, телевізорів, іншої електронної техніки, генеруючих слабкі електричні та магнітні змінні поля в широкому діапазоні частот. Тому що ці поля значно слабші від статичного магнітного поля Землі та її електричних полів, важко було припустити, що вони небезпечні для здоров'я. З цієї причини дослідження в даному напрямку не одержували підтримки та належної уваги. Дослідження останніх років довели, що електромагнітні випромінювання вищезгаданих електронних приладів містять торсіонну компоненту, яка несе інформацію про процеси, що протікають у тому чи іншому електронному приладі. Торсіонні поля володіють високою проникаючою здатністю і не піддаються ніякому екрануванню. Їхній вплив на користувача приладів таїть у собі небезпеку. Інформація призначена для людей з метою попередити користувачів персональних комп'ютерів, телевізорів, іншої електронної техніки, що зневага до вже відомих простих методів захисту від негативного впливу вищезгаданої техніки загрожує дуже несприятливими наслідками для здоров'я.

Досліди, проведені в США та Швеції виявили, що, навіть якщо електромагнітні поля, що створюються технічними системами, в сотні разів слабші від природного поля Землі, можуть бути небезпечними для здоров'я. Раніше вважалося, що низько інтенсивні поля не іонізаційного рівня є безпечними. Напруженість електричного поля в зоні монітору складає 1-10 В/м, магнітна індукція складає 0,1-10 мГц, що значно нижче природного фону Землі (відповідно біля 140 В/м та біля 400 мГц). Такого ж порядку поля в зоні розташування телевізора та інших побутових пристроїв. Те, що електромагнітні випромінювання такої низької інтенсивності такі небезпечні для людини, виявилось дуже несподіваним. Вважалося, що небезпечним є високо інтенсивне іонізуюче

опромінення, а небезпечність таких низько інтенсивних полів важко було навіть передбачити. Статистика захворюваності каже про те, що дуже застарілою є думка про безпечність іонізуючого магнітного опромінення. Механізм дії низькоінтенсивного електромагнітного опромінення на біологічні системи сучасна наука ще не розкрила, але медиками вже відкриті факти існування надзвичайно серйозної небезпеки. За цих обставин заспокоювання громадськості міркуваннями про низький рівень техногенного опромінення порівняно з рівнями природних полів та про їх немовби безпечності в наслідок відсутності іонізації, не можуть залишатися переконливими, оскільки доводять зворотне. Те, що штучно створене електромагнітне опромінення з інтенсивністю значно меншою, ніж природні поля, таке шкідливе для людини, спонукає зробити висновок, що між штучними полями та природними полями існує фундаментальна якісна розбіжність. Природа цієї розбіжності ще потребує розкриття та вивчення. У роботах В.Н Анісімова (Санкт-Петербург) приводяться результати дослідів шведських вчених, проаналізувавши відомості про частоту раку серед 400 тис. осіб, що мешкають в будинках, які знаходяться на відстані до 300 м від високовольтної лінії електропередач. В цій групі було виявлено 142 дитини з різними видами злоякісних новоутворень та 548 дорослих з пухлинами мозку або лейкозом. При цьому виявилось, що ризик виникнення захворювань збільшується вже при досягненні рівня магнітної індукції 3 мГц, що значно нижче природного поля Землі. Як бачимо, не все гаразд в розумінні проблеми безпеки електромагнітних полів. Те, що небезпека присутня там, де є електромагнітні поля, змусило зв'язати цю небезпеку з рівнем енергії полів. Останні дослідження виявили дещо зовсім несподіване. Не тільки джоулі та вати визначають небезпечний вплив. Є дещо третє, ще не відкрите наукою. І це „дещо”, ніяк не пов'язане з енергією поля, постійно супроводжує електромагнітні поля, створюючи ілюзію небезпеки силового електромагнітного поля та приховує істинного винуватця небезпечного впливу на людину. Ця проблема достатньо глибока, вона торкається основ електромагнетизму. В електромагнітних полях залишаються не дослідженими їх структурні особливості. Ці особливості ніяк не

впливають ні з рівнянь Максвелла, ні з квантової теорії. Вони не пов'язані з напрямом і з енергетичними проявами електромагнітних полів.

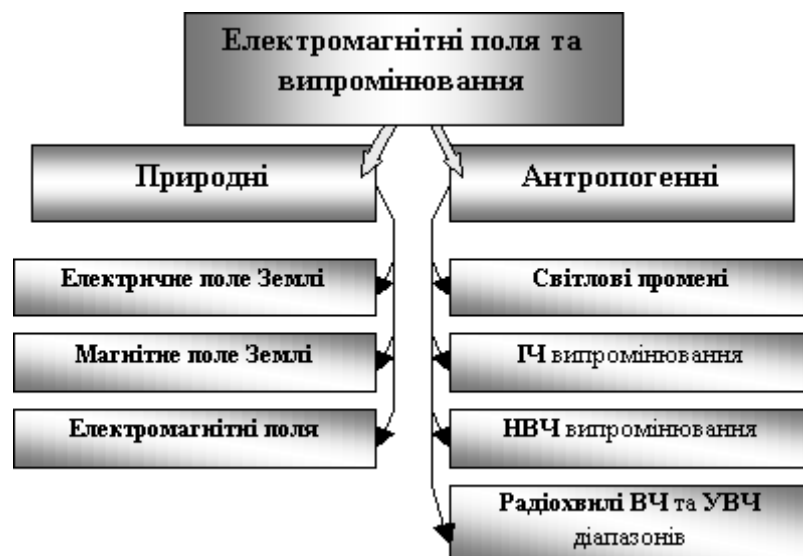
Джерела ЕМП поділяють на природні та штучні.

До природних джерел ЕМП належать:

- атмосферна електрика;
- радіовимірювання з космосу;
- електричне та магнітне поле Землі.

До штучних джерел належать:

- лінії електропередач (ЛЕП);
- телевізійні та радіотрансляційні станції;
- радіолокаційні та радіонавігаційні установки;
- трансформатори високої частоти;
- вимірювальні, лабораторні та медичні прилади.



ЕМП поділяють на поля:

- високої частоти - ВЧ;
- ультрависокої частоти - УВЧ;
- надзвичайно високої частоти – НВЧ.

В медицині використовують поля УВЧ, НВЧ, ТВЧ. Природа їх виникнення та поширення така сама як й інфрачервоного, рентгенівського та гамма-випромінювання. Різниця між цими видами енергії – у довжині хвилі і частоті коливань.

Джерела:

– електромагнітних полів — атмосферна електрика, радіовипромінювання Сонця і галактик, електричні і магнітні поля Землі, штучні джерела випромінювання;

– постійних магнітних полів — електромагніти, соленоїди, імпульсні установки напівперіодного або конденсаторного типу, вилиті і металокерамічні магніти.

В залежності від потужності та засобів їх зміни (модуляції) дія ЕМП на здоров'я людини може бути:

- шкідливою;
- нейтральною;
- корисною (терапевтичною, лікувальною).

Прикладом умовно нейтральної та корисної є дія на людину ЕМП природного походження — випромінювання Сонця, Місяця, планет та Галактики в цілому. Всі живі організми еволюційно пристосовані до неї, виникли та існують завдяки їй. Якщо помістити живу клітину чи людину в металевий екран, то за певний час виникає переродження клітини, а людина відчуває дискомфорт та може захворіти. Для людей похилого віку, хворих та ослаблених навіть невеликі коливання ЕМП природного походження приводять до метеозалежності, погіршеного самопочуття, а іноді і до загибелі. Відома, наприклад, залежність між сонячною активністю та кількістю загиблих від серцево-судинних захворювань. Сонячна активність також впливає на виникнення епідемій чуми, холери, дизентерії, грипу та інших інфекційних захворювань.

В деяких випадках ЕМП антропогенного походження виконують позитивну, лікувальну роль. Відомі методи та засоби лікування людей відносно потужними



ЕМП з метою прогріву та перегріву біологічних тканин, наприклад, злоякісних пухлин, аденоми простати та ін. для їх деструкції та видалення (ЕМП фізіотерапія та гіпертермія).

В останній час широко використовуються методи та засоби інформаційно-хвильової терапії (ІХТ), де позитивні терапевтичні наслідки досягаються за допомогою спеціальним чином організованих ЕМП зверхнизької потужності. Такі поля допомагають нормалізувати електромагнітний гомеостаз організму, що приводить також до нормалізації його функціонального стану.

Прикладами шкідливого впливу ЕМП на людину є поля, що випромінюються сучасними радіолокаційними станціями надвисокої потужності, промисловими установками, системами для висушування дерева та сіна, стерилізації органічних сполук та продуктів харчування, гною, боротьби з шкідниками та бур'янами. Відомі випадки захворювання очей, головного мозку, статевих органів та вегето-судинної системи, що виникли внаслідок таких опромінь. За останній час особливо поширеними стали використання мобільних телефонів, що пов'язано з наближенням потужних випромінювачів до вуха та близько розташованих залоз внутрішньої секреції, голови та мозку. В зв'язку з багаточисельними скаргами на погіршення стану здоров'я операторів мобільного зв'язку зараз проводяться детальні дослідження особливостей негативного впливу ґраткових, мобільних та радіотелефонів.

Негативна дія постійних магнітних і електростатичних полів залежить від напруги і часу дії. У результаті дії полів, які мають напруженість, що перевищує гранично допустимий рівень, розвиваються порушення з боку нервової, серцево-судинної систем, органів травлення і деяких біохімічних показників крові. Таким чином, техногенні ЕМП являються переважно шкідливими для людини. Особливо велика шкода виникає в тому разі, коли рівні цих ЕМП перевищують ГДР, встановлені санітарними нормами.



Питання охорони здоров'я населення України від впливу ЕМП має важливе медичне та соціально-економічне значення. Особлива увага при цьому приділяється санітарному нагляду за джерелами випромінювання.

Основою організації санітарного нагляду є санітарні норми і правила, які, крім обов'язкових норм, містять також основні положення гігієнічних вимог до розміщення та засобів використання джерел випромінювання.

Основними напрями в процесі розробки засобів захисту від дії ЕМП є: зменшення інтенсивності опромінювання безпосередньо від самого джерела опромінювання, екранування робочого місця або віддалення його від джерела опромінювання, застосування засобів індивідуального захисту.

Засоби захисту мають відповідати таким вимогам: не викривляти істотно електромагнітне поле; не знижувати якості технічного обслуговування і ремонту; не знижувати продуктивності праці.

Віддалення робочого місця від джерела опромінювання – один із засобів зниження інтенсивності опромінювання людей на підприємстві. Він реалізується завдяки дистанційному керуванню і автоматизованому контролю за роботою.

Як засіб індивідуального захисту від ЕМП НВЧ використовують спеціальний одяг – комбінезони, халати і т.ін.

Найбільш ефективним методом захисту від електромагнітних випромінювань є встановлення відбиваючих або поглинаючих екранів.

Якщо ви змушені мешкати або знаходитися в місцевості, де працюють різноманітні джерела випромінювання ЕМП, треба пам'ятати:

- найкращий засіб для збереження здоров'я від впливу ЕМП — не перебувати поблизу їх джерел та випромінювачів;

- не знаходитися, не відпочивати, не використовувати земельні ділянки поблизу ліній передачі електроенергії та трансформаторних підстанцій;

- по можливості уникати близького контакту з працюючими електронними потужними приладами, телевізорами, комп'ютерами, мобільними

телефонами;

– при користуванні засобами мобільного зв'язку не намагатися вставити антену передавача в вухо. Набагато краще тримати цей засіб так далеко, щоб тільки було чути вашого кореспондента;

– обмежувати використання одягу з синтетичних тканин; в першу чергу це стосується білизни, шкарпеток та ін. Краще їх замінити тканинами з бавовни та льону;

– в разі неможливості уникнення впливу ЕМП, треба захищати в першу чергу очі, голову та шию шляхом використання спеціальних поглинаючих або відбиваючих окулярів, халатів, шоломів та різноманітних накидок. Для захисту житла чи присадибної ділянки, де ви працюєте, можливо також використовувати металеві сітки, що мають щільні ґратки, які треба добре заземлити в деяких місцях.

У сучасних містах продовжує невпинно зростати кількість джерел електромагнітного випромінювання: з'являються нові станції стільникового та супутникового зв'язку, модернізуються теле- та радіоретранслятори, розширюється мережа високовольтних ліній електропередач. А ще ж — мікрохвильові печі, радіотелефони, навіть звичайні фени, які несуть в собі приховану загрозу електромагнітного забруднення.

Але, власне, електромагнітне забруднення окремі фахівці зараховують до найнебезпечніших екологічних факторів, оскільки його дія ще до кінця не вивчена. Екологам навіть важко спрогнозувати, чим обернеться тривале перебування в умовах щільного електромагнітного поля, бо минуло ще не так багато часу, відколи мобільний зв'язок, високочастотні побутові прилади та комп'ютерна техніка увійшли в повсякденне життя.

Головний біль — це тільки перша захисна реакція організму на шкідливий вплив електромагнітного випромінювання. Результатом тривалої дії електромагнітного поля можуть бути онкологічні хвороби, зміна поведінки, втрата

пам'яті, хвороби Паркінсона та Альцгеймера, синдром передчасної смерті дітей, погіршення репродуктивної функції.

Несприятливо впливають на організм людини електромагнітні випромінювання промислової частоти (50 герц) та частот радіохвильового діапазону. В помешканнях електромагнітні поля створюють: радіоапаратура, телевізори, холодильники тощо, що становить певну небезпеку. Безперечно, обійтися без електропобутових приладів неможливо, та й не потрібно.

Головне – дотримуватись певних правил:

- у спальні не варто встановлювати комп'ютер, “базу” для радіотелефона, а також вмикати на ніч пристрої для підзарядки батарейок та акумуляторів;
- телевізор, музичний центр, відеомагнітофон на ніч треба вимикати з електромережі;
- електронний будильник не повинен стояти в головах;
- потужність мікрохвильових печей може змінюватись, тому час від часу треба звертатись до майстра, щоб контролювати рівень випромінювання.

Лінії електропередач напругою до 1150 кВ, відкриті роздільні пристрої, до складу котрих входять комунікаційні апарати, пристрої захисту та автоматики, вимірювальні прилади є джерелами електричних полів промислової частоти. Тривалий вплив таких полів знаходить вияв через суб'єктивні розлади (неврози, головний біль у скронях та в потилиці, відчуття в'ялості, розлади сну, погіршення пам'яті, дратівливість, апатія, депресія, серцевий біль, функціональні порушення центральної нервової системи, серцево-судинної системи, зміни складу периферійної крові тощо).

В зв'язку з цими змінами необхідно обмежувати час перебування людей в зоні впливу електричного поля, створюваного струмами промислової частоти напругою понад 400 кВ.

Дія ЕМП на людину. Нормування

Вплив електромагнітних полів (ЕМП) на організм людини залежить від щільності потоку енергії, частоти випромінювання, тривалості впливу, режиму

опромінення, розмірів опромінюваної поверхні тіла, індивідуальних особливостей організму.