

факультет інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)  
кафедра інжинірингу машинобудівних технологій  
(повна назва кафедри)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення технології виготовлення вала-шестерні ДРГ 335.91  
з дослідженням залежності оптимального режиму різання від параметрів  
точіння

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи МТ<sub>м</sub>-61  
спеціальності \_\_\_\_\_

131 «Прикладна механіка»  
(шифр і назва спеціальності)

\_\_\_\_\_

(підпис)

Лозовенко Д.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник

\_\_\_\_\_

(підпис)

Паньків М.Р.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

\_\_\_\_\_

(підпис)

Ткаченко І.Г.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_

(підпис)

Окіпний І.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

\_\_\_\_\_

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2020

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет факультет інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)

Кафедра кафедра інжинірингу машинобудівних технологій  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

доц. Окіпний І.Б.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

« » 2020 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістра  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Лозовенко Дмитро Ігорович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення технології виготовлення вала-шестерні ДРГ 335.91  
з дослідженням залежності оптимального режиму різання від параметрів точіння

Керівник роботи Паньків Марія Романвна, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «28» 09 2020 року № № 4/7-686

2. Термін подання студентом завершеної роботи 15.12.2020

3. Вихідні дані до роботи 1. Базовий ТП виготовлення деталі.

2. Програма випуску – 20 000 шт/рік. 3. Креслення вала-шестерні ДРГ 335.91

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітична частина. 2. Науково-дослідна частина. 3. Технологічно-конструкторська частина.

4. Проектна частина. 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Карти технологічних наладок, креслення верстатних пристроїв, креслення контрольного  
приспосіблення, креслення заготовки, креслення дільниці механоскладального цеху, результати  
виконання науково-дослідної роботи

### 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	<i>К.т.н, доц. Ткаченко І.Г.</i>		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	<i>Ст. викл. Клепчик В.М.</i>		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітична частина		
2	Науково-дослідна частина		
3	Технологічно- конструкторська частина		
4	Проектна частина		
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях		
6	Графічна частина		

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Лозовенко Д.І.

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Паньків М.Р.

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

**Актуальність теми.** Сучасне машинобудівне виробництво характеризується широкою номенклатурою виробів. Машинобудування повинно поставляти сучасну техніку у всі галузі народного господарства та визначати технічний прогрес країни. Для збереження конкурентоздатності та стабільного функціонування підприємства необхідно максимально знижувати собівартість виготовлення продукції. Оптимізація роботи машинобудівного підприємства є одним з ключових способів максимізації прибутку та підвищення ефективності діяльності підприємства, то оптимізація режимів різання має особливу важливість при реалізації технологічних процесів виготовлення деталей та являє собою актуальну наукову й практичну задачу.

**Метою дослідження** є удосконалення процесу виготовлення вала-шестерні ДРГ 335.911 з дослідженням залежностей оптимального режиму різання від параметрів процесу точіння.

**Об'єкт дослідження** – технологічний процес виготовлення вала - шестерні. **Предмет дослідження** – технологічні параметри процесу точіння.

**Методи дослідження.** Робота виконана з використанням сучасних положень технології машинобудування, а також нового технологічного оснащення.

**Отримані результати:** систематизовано методика проведення оптимізації режимів різання на прикладі обробки вала-шестерні та визначено оптимальні режими проведення технологічного процесу точіння для даної деталі, для нового ТП визначені режими різання, норми часу та операційної механічної обробки, модернізовано існуючі і спроектовано нове технологічне оснащення

**Практичне значення.** Розроблено новий технологічний процес виготовлення вала-шестерні ДРГ 335.911, який може бути впроваджений в

умовах реального виробництва та досліджено залежності оптимального режиму різання від параметрів процесу точіння.

**Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра.** Окремі результати роботи доповідались на ІХ Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 25-26 листопада 2020.

**Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра.** Робота складається із вступу, п'яти розділів, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 83 сторінки, у тому числі 24 рисунки, 13 таблиць, бібліографії із 23 джерел на двох сторінка

## ЗМІСТ

### РЕФЕРАТ

#### ВСТУП

<b>1</b>	<b>АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА</b>	<b>8</b>
1.1	Аналіз стану питання за літературними та іншими джерелами. Актуальність теми роботи	8
1.2	Методи вирішення поставлених задач	14
1.3	Висновки та постановка задач на кваліфікаційну роботу	19
<b>2</b>	<b>НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА</b>	<b>20</b>
2.1	Характеристика об'єкту або предмету дослідження	20
2.2	Оброблення результатів досліджень	22
2.3	Висновки та пропозиції щодо використання результатів виконаних досліджень	25
<b>3</b>	<b>ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА</b>	<b>27</b>
3.1	Службове призначення та характеристики об'єкту виробництва	27
3.2	Розроблення технологічного процесу виготовлення виробу	31
3.3	Визначення кількості обладнання	57
3.4	Конструювання спеціального оснащення та інструменту	64
<b>4</b>	<b>ПРОЄКТНА ЧАСТИНА</b>	<b>71</b>
4.1	Визначення основних і допоміжних площ цеху	71
4.2	Розробка планів компонування цеху та розміщення обладнання на ділянці	72
<b>5</b>	<b>ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b>	<b>74</b>
	ВИСНОВКИ	79
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	80
	ДОДАТКИ	

## ВСТУП

Виконання випускної кваліфікаційної роботи магістра є заключним етапом навчання студентів і передбачає систематизацію отриманих знань та закріплення практичних навиків застосування цих знань при вирішенні конкретних наукових, технічних і виробничих завдань.

У процесі виконання роботи студент повинен продемонструвати отримані навички самостійної інженерної діяльності, уміння працювати з літературою, проводити патентні дослідження та експерименти, використовувати засоби обчислювальної техніки при вирішенні розглянутих завдань і питань, пов'язаних із дипломним проектуванням, а також уміння обґрунтовувати прийняті рішення з технічних і економічних позицій, викладати матеріал технічно грамотною мовою.

Випускна кваліфікаційна робота магістра є самостійною науковою роботою студента. Студент має сам визначитися з вибором методів і варіантів вирішення поставлених завдань та несе відповідальність за всі прийняті рішення та за правильність виконаних розрахунків,.

Основне завдання таких робіт полягає в знаходженні конкретних шляхів і методів удосконалення технологічних процесів на основі аналізу відомих технологій.

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Аналіз стану питання за літературними та іншими джерелами. Актуальність теми роботи

Режими різання, які розраховуються за класичною методикою, що проводяться за відомим алгоритмом, а саме визначення глибини різання, подачі та швидкості різання, не може бути оптимальним, тому що він враховує тільки різальні властивості інструменту. При подачі на один прохід, коли глибина різання така ж як припуск на обробку, режим різання буде тоді оптимальним, якщо правильно підібрані параметри подачі та числа обертів шпинделя. Оптимальний режим різання можна визначити, коли врахувати відомі фізичні зв'язки між де-якими параметрами режиму та заданими обмеженнями, що визначаються металорізальним верстатом та технологічними вимогами до обробки. [11]

В якості критерію оптимальності можна використовувати такі локальні критерії, як стійкість інструменту, основний технологічний час обробки або собівартість операції та інші. В результаті одержимо рівняння цільової функції та систему обмежень, які будуть представляти математичну модель процесу різання. Для оптимізації задачі найбільше підходить метод лінійного програмування. Суть лінійної моделі оптимізації полягає у наступному: прями, які відповідають рівнянням, які описують обмеження, утворюють площину визначення даної оптимізаційної задачі, яка являє собою випуклий багатогранник [4]. Перетин прямих, які характеризують лінійні обмеження, дає базисні точки розв'язку оптимізаційної задачі. Для знаходження ж оптимального розв'язку, слід знайти одну точку перетину цільової функції і багатогранника. Ця точка і буде базисною та представлятиме оптимум розв'язку. Залежно від кількості цільових функцій розрізняють одно-, дво- та багатокритеріальні задачі оптимізації, а від виду цільової функції та обмежень



– відповідно лінійні й нелінійні. Як правило, графічним методом можна розв’язувати задачі лінійного програмування, коли ми маємо не більше як дві змінні. Після знаходження точки перетину цільової функції і багатогранника, знаходимо координати точки оптимізації. Пакет MathCAD дозволяє алгебраїчно і графічно розв’язати дану задачу.

В даній програмі рішення задач пошуку локального мінімуму або максимуму в Mathcad представлені вбудовані функції Minner, Minimize і Maximize. Щодо лінійної оптимізації Mathcad за замовчуванням використовує опцію Linear, яка використовується при методі гілок і меж. У разі вирішення завдань нелінійної оптимізації можна вибрати один із методів: метод сполучених градієнтів, Левенберга-Марквардта або ж квазіньютонівський метод [18]. Функціональні можливості Mathcad можуть бути розширені за рахунок використання динамічно підключених бібліотек, які розроблені з використанням мов програмування високого рівня.

З роботою систем комп’ютерного проектування можна ознайомитися в працях таких науковців як В.З. Аладьєв, В.П. Дьяконов, Ю.Ф. Лазарєв, Ю.Г. Лотюк, В.Ф. Очков, В.Г. Потьомкін, С.А. Раков, Ю.В. Триус М.Л. Шишаков, Т.В. Капустіна, Б.М. Манзон, Г.В. Прохоров, та інших.

В статті [21] можна ознайомитися з дослідженнями, що вивчають проектування затискних елементів пристроїв та засвоїти принцип «форми затискних елементів» та величини сил закріплення, з метою визначення їх оптимального місця положення на заготовці для визначення залежності від цього оптимальної величини сили. За прототип взято алгоритм, аналогічний алгоритму за яким працюють елементи захвату у роботів. Результатом є розроблення програмних додатків, які дозволяють проводити підбір або автоматизоване проектування затискних елементів з параметрами під конкретну деталь. У роботах [19–21] авторами розроблена модель системи «затискні елементи пристроїв – заготовка» з використанням методу скінченних елементів, що дозволяє визначати деформації поверхонь заготовки залежно від сили закріплення і проводити їх автоматизовану оптимізацію. Ще у роботі

[23] представлено методику та алгоритм виконання розрахунків прискореним методом, що знижує вимоги до оперативної пам'яті комп'ютера.

Для побудови математичних моделей для оптимізації режимів різання при точінні необхідно сформулювати систему обмежень:

- обмеження стосовно різальних можливостей інструменту;

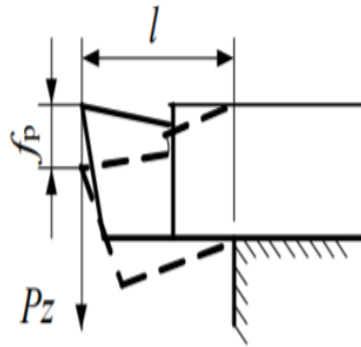


Рисунок 1.1- Вигин різця під дією сили  $P_z$

- обмеження відносно потужності електродвигуна приводу головного руху верстата, яке пов'язує головну складову сили різання, що виникає при точінні, із потужністю на шпинделі верстата;
- обмеження відносно сили, що характеризується міцністю слабкої ланки механізму подачі верстата; [2]

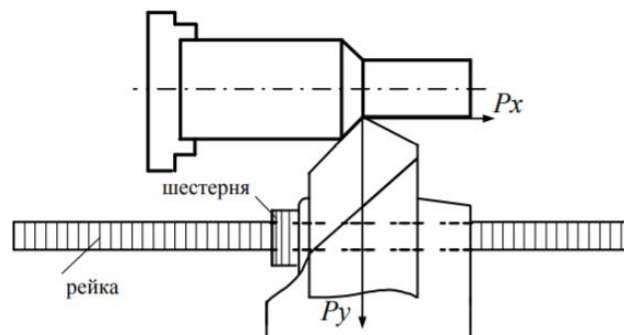


Рисунок 1.2- Дія сил різання на механізм подач верстата

- обмеження стосовно міцності державки різця;

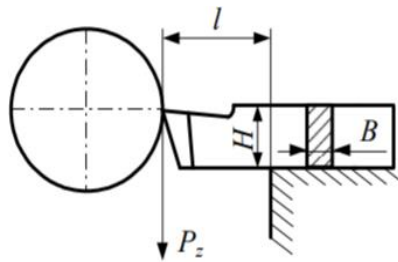


Рисунок 1.3- – Схема кріплення різця в державці

- обмеження щодо стійкості пластини різальної частини різця;
- обмеження, які враховують шорсткість обробленої поверхні, як відомо при точінні шорсткість обробленої поверхні визначається подачею;
- обмеження відносно точності обробки, що характеризується жорсткістю технологічної системи, слід врахувати що внаслідок прогину деталі під дією сили різання точність обробки може значно погіршуватися;

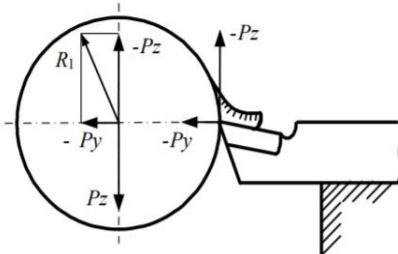


Рисунок 1.4- Вигин заготовки під дією сил різання

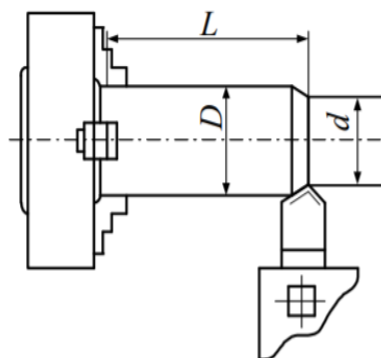


Рисунок 1.5 – Закріплення деталі в патроні

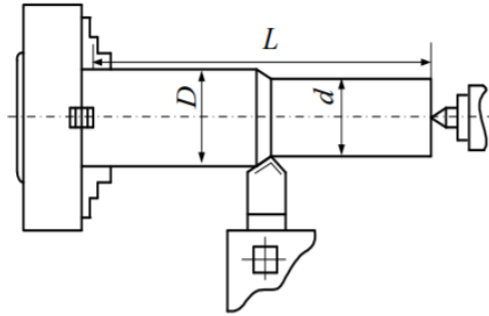


Рисунок 1.6 – Установка деталі в патроні з підтисненням центром пінолі задньої бабки

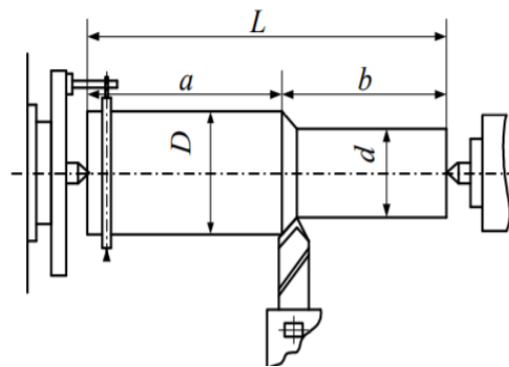


Рисунок 1.7 – Установка деталі в центрах

- обмеження відносно значення мінімальної подачі, що лімітується можливостями верстату;

Останні чотири обмеження є кінематичними обмеження, що обумовлені можливостями верстата.

Після аналізу системи обмежень необхідно записати цільову функцію. Для більшості виробничих процесів в якості цільової функції доцільно вибирати найменший машинний час обробки  $t_m$ :

– для визначення продуктивності процесу

$$f = t_m = L/nS \quad (1.1)$$

В запропонованому нами технологічному процесі обробки вала-шестерні рекомендується двопрохідна токарна обробка. А отже, цільова функція педставлятиметься у вигляді тримірної поверхні. Для того, щоб  $t_m = L/nS$

було мінімальним, необхідно щоб добуток  $nS$  прямував до максимуму. Тому як оціночна функція набуде вигляду:

$$f = nS = \max \quad (1.2)$$

Для реалізації графічного методу можна побудувати багатокутник можливих розв'язків системи вище перелічених обмежень. З даної графічної залежності можна знайти оптимальні значення числа обертів за хвилину  $n_{\text{опт}}$  і оптимальної подачі  $S_{\text{опт}}$ . На рисунку 1.8 у подвійних логарифмічних шкалах зображені прямі, які математично описують обмеження, а область ABCD вказує на можливі розв'язків. Граничні прямі AB, BC, CD і DA, перетинаючись між собою, утворюють багатокутник, кожна з точок всередині якого задовольняє вказані обмеження.

Для знаходження оптимального поєднання елементів  $\{n, S\}$  необхідно визначити, в якій з точок шуканого багатокутника ABCD лінійна функція двох

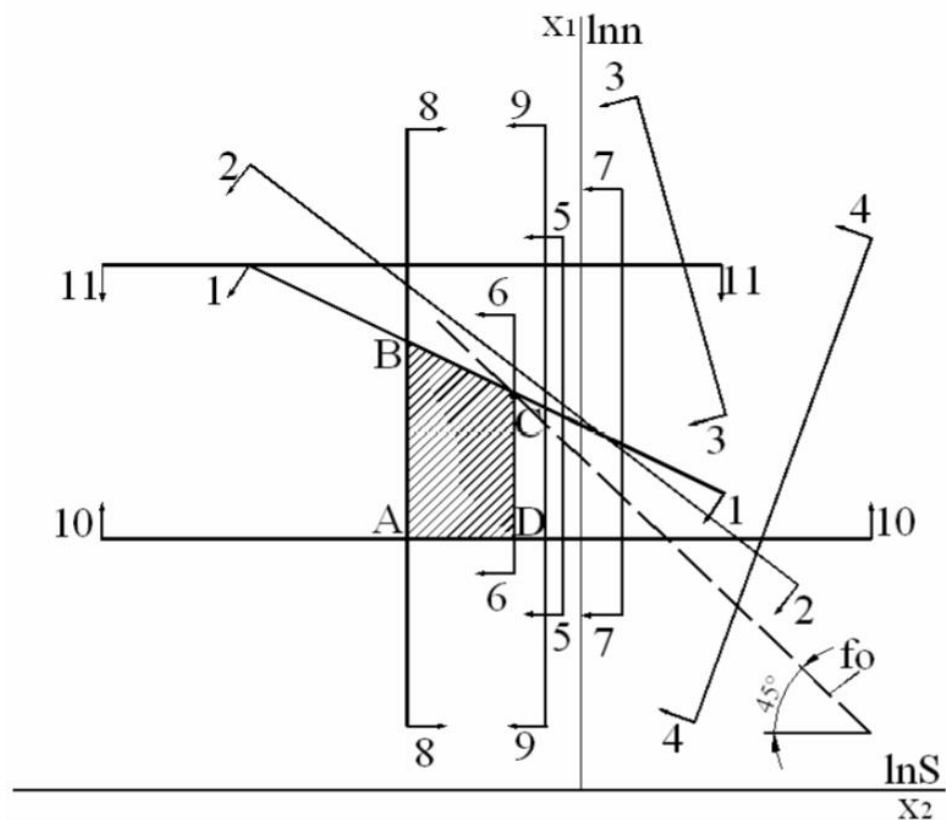


Рисунок 1.8- Графічна інтерпретація та визначення оптимальних режимів різання

змінних  $f_o = (x_1 + x_2)$  буде приймати максимальне значення. Для цього необхідно рухати пряму  $f_o$  паралельно до самої собі у напрямку від початку координат. У вершині багатокутника С на рисунку 1.8 цільова функція  $f_o$  набуває максимального значення. Отже, вершина С є точкою оптимуму, а її координати  $x_1$  та  $x_2$  – оптимальним розв’язком моделі.

Отже, під оптимальними параметрами режиму різання розуміємо такі величини швидкості різання і подачі, при яких процес обробки був би ефективний з точки зору економічності та продуктивності, і при цьому усі вимоги технологічності, що пред’являються до оброблюваної деталі виконувалися б. Необхідність автоматизації розрахунку оптимальних значень параметрів режиму є актуальною проблемою і її важливість продовжує зростати з розвитком багатOVERSTATного обслуговування та створенням автоматизованих верстатних комплексів для обробки деталей різанням.

## 1.2 Методи вирішення поставлених задач

Оптимальним управлінням називається такий вплив на процес різання, який у кожний момент часу виконання технологічного процесу забезпечує максимум продуктивності при виконанні всіх обмежень.

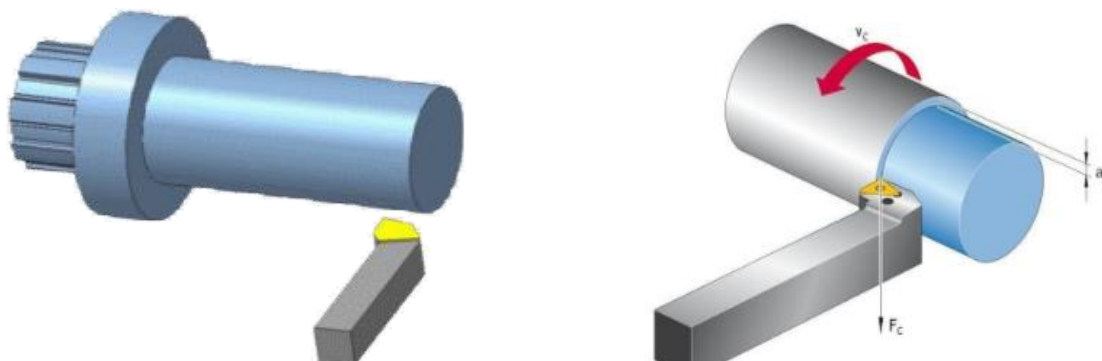


Рисунок 1.9 – Схема точіння

При практичній реалізації будь-якого процесу різання жоден з параметрів ТП не залишається постійним. Наприклад, при точінні циліндричної поверхні відбуваються випадкові зміни припуску та твердості, закономірно, що зона обробки перемішається вздовж заготовки, то змінюється точка прикладання сили в пружній технологічній обробувальній системі та пружні деформації, з часом зношується ріжучий інструмент, відбуваються зміни температури в зоні різання, та інше. Тому в кожний момент часу виконання технологічного процесу для підтримання його вихідних параметрів на оптимальному рівні необхідно безперервно контролювати нові оптимальні величини впливів, що управляють і мають безпосередній вплив на процес різання.

- Найбільш раціонально використання принципів оптимального управління на верстатах з ЧПУ, тому що:

- по-перше, саме тут можна отримати вагомий економічний ефект від оптимізації, оскільки верстато-хвилина є дорогою і внаслідок автоматизації допоміжних рухів відсоток основного часу обробки у загальному технологічному часі збільшується;

- по-друге, завдяки високій автоматизації спрощується реалізація систем оптимального управління.

На етапі технологічної підготовки виробництва в технології машинобудування використовують САМ-системи для верстатів з ЧПУ. Дані системи можуть автоматично проектувати траєкторії формоутворюючих рухів та визначати допоміжні параметри процесу механічної обробки. Досягти високої продуктивності обробки можна при автоматичному визначенні оптимального режиму різання. На сьогоднішній день створені спеціальні модулі САМ-систем, якв мають наступну структуру (рис.1.9), яка формує системи управління за апіорною інформацією. [12]

Спочатку роботи вводяться константи, потім вводиться первинна інформація про перебіг процесу різання, яка отримується з розрахунку

поточної глибини різання, який зв'язаний з програмою управління за допомогою формоутворюючих рухів. У відповідності до математичної моделі процесу різання визначаються оптимальні величини подачі і швидкості різання. Визначені величини поступають на модуль програмного управління, який подає команди для відповідних приводів верстата.

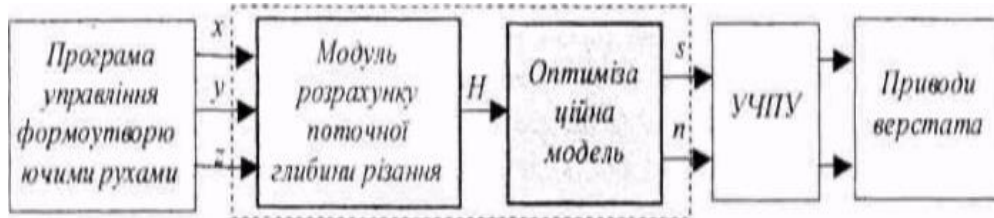


Рисунок 1.10 – Структура систем оптимального управління

Таким чином, оптимізаційна математична модель процесу різання є основою будь-якої системи автоматичного управління (САУ). Математична модель оптимізації пов'язує критерій оптимізації з подачею та швидкістю різання. [12] В результаті розв'язання задачі оптимізації знаходять так званий керуючий вплив, що причиняє максимум продуктивності або мінімум собівартості при виконанні вказаних обмежень. Крім оптимізації за продуктивністю чи собівартістю в залежності від результатів проведеного техніко-економічного обґрунтування застосовують критерій максимальної інтенсивності зняття припуску.

Таким чином, для випадку повздовжнього точіння оптимізаційна математична модель може бути виражена наступною системою рівнянь і нерівностей.

Зв'язок між керованими параметрами  $s$  і  $n$  та періодом  $T$  стійкості інструмента, що визначають його ріжучу затність одержують за відомою з залежністю:

$$V = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{C_v k_v}{T^m H^{x_v} s^{y_v}}, \quad (1.3)$$

звідки



$$nS^{y_v} = \frac{318C_v k_v}{DT^m H^{x_v}}$$

де,  $n$  - частота обертання, об/хв,  $s$  – подача, мм/об.  $H$ - глибина різання, мм,  $T$  - період стійкості, хв,  $D$  - діаметр заготовки, мм.

Потужність різання  $N_p$ , (кВт):

$$N_p = \frac{P_z \pi D n}{1000 \cdot 6 \cdot 10^4} = \frac{C_p H^{x_p} s^{y_p} k_p \pi D n}{6 \cdot 10^7} \leq N_{cm} \eta$$

(1.4)

Звідки

$$nS^{y_p} \leq \frac{1,91 \cdot 10^7 N_{cm} \eta}{C_p H^{x_p} k_p D}$$

де  $N_{cm}$  - ефективна потужність верстату у кВт,  $\eta$ - коефіцієнт корисної дії,  $C_p$ ,  $k_p$ ,  $x_p$ ,  $y_p$  - коефіцієнти і показники емпіричної залежності сили різання від режиму обробки

Максимальна висота шорсткості обробки  $R_z$

$$R_z = \frac{tg \varphi tg \varphi_1 (S_{ob} - r (tg \frac{\varphi}{2} + tg \frac{\varphi_1}{2}))}{tg \varphi + tg \varphi_1}$$

(1.5)

де  $S_{ob}$ - подача на оберт,  $r$  - радіус округлення верхівки різця,  $\varphi$ - головний кут у плані,  $\varphi_1$  - допоміжний кут у плані різня.

Зазначимо, що обмеження, яке накладається на повздовжню подачу, обирається з умов міцності та жорсткості системи. Так, подача за максимальною силою  $P_n$ , що забезпечує відповідний механізм верстату, може бути розрахована за наступною залежністю:

$$[S_p]_{дон} = \left( \frac{2P_n}{C_p H^{x_p} k_p} \right)^{\frac{1}{y_p}}$$

(1.6)

Мінімальна подача, що допускається, вибирається з подач, що розраховані або міцністю інструменту  $[S_t]_{доп}$ , або механізму подач  $[S_p]_{доп}$ ,

$$S \leq \min \langle [S_p]_{доп} \cdot [S_t]_{доп} \rangle$$

Представимо конструктивні обмеження, які визначаються за характеристиками металорізального верстату:

межі повздовжніх подач:

$$S_{\min} \leq S \leq S_{\max} \quad (1.7)$$

межі частот обертання шпинделя:

$$n_{\min} \leq n \leq n_{\max} \quad (1.8)$$

Цільова функція матиме вигляд:

$$f = ns \rightarrow \max$$

Оскільки, при цьому основний час обробки  $t_a = L/ns$  прямує до мінімуму.

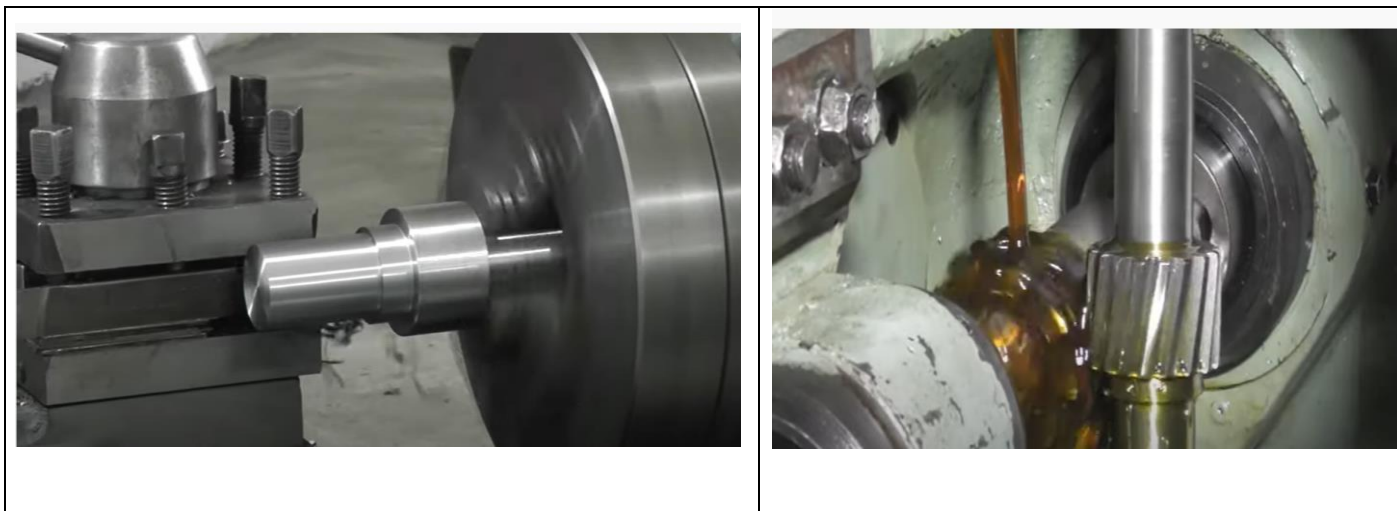


Рисунок 1.11 – Технологічний процес виготовлення вала-шестерні

### 1.3 Висновки та постановка задач на кваліфікаційну роботу

- 1) Спроекувати покращену технологію виготовлення деталі, враховуючи сучасні досягнення в галузі технології, обладнання та оснащення;
- 2) Спроекувати технологію виготовлення деталі з допомогою САПР ТП
- 3) Розробити технічні завдання на проектування технологічного обладнання і оснащення;
- 4) Розробити конструкції спеціальних верстатних і контрольних пристосувань, засобів технологічного оснащення, спеціального різального інструменту;
- 7) Описати засоби охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях;
- 8) Дослідити залежність оптимального режиму різання від параметрів процесу точіння;
- 8) Зробити загальні висновки щодо дипломного проекту;
- 10) Виконати графічну частину проекту

## 2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 2.1 Характеристика об'єкту або предмету дослідження

Точіння - один з багатофункціональних методів обробки деталей різного типу. Даний метод використовується для чистової й чорнової роботи деталей в процесі їх виготовлення або ремонту. Ретельний підхід до вибору режимів різання забезпечує істотне підвищення продуктивності даного процесу. При розрахунку режимів роботи враховують і інші характеристики технологічного процесу: допустимі припуски, маса заготовок, частота обертання шпинделя верстата. [13]

Розрахунок операції різання виконується з використанням спеціальних довідкових і нормативних документів, яких на даний момент існує чимало. Необхідно ретельно вивчити представлені таблиці і вибрати в них відповідні значення. Правильно виконаний розрахунок гарантує високу ефективність застосованого режиму обробки деталі і забезпечує досягнення кращого результату.

Але такий метод розрахунку є не завжди вдалим, особливо в умовах виробництва, коли недоцільно витратити багато часу на вивчення таблиць з величезним числом значень. Встановлено, що всі величини режимів різання взаємопов'язані між собою. Якщо змінити одне значення, закономірно, що всі інші характеристики обробки стануть іншими.

Тому дуже часто фахівці вважають за краще застосовувати розрахункову або аналітичну методику визначення режимів різання. Використовуються спеціальні емпіричні формули, за допомогою яких визначаються всі необхідні норми. Щоб розрахунки були абсолютно точними, необхідно знати наступні параметри токарного верстата: частота обертання шпинделя, величини подач, потужність.

На сучасних виробництвах для виконання подібних розрахунків використовують спеціальне програмне забезпечення.

Також слід враховувати і загальний рівень технологічного забезпечення, а зокрема правильний вибір заготовок, дроблення стружки, зняття рівномірного припуску заготовок, правильний вибір різального інструменту, раціональне завантаження верстату.

Перед виконанням розрахунків операції різання необхідно визначити, який тип ріжучого інструменту буде використовуватися в даному випадку. При токарній або абразивній обробки крихких матеріалів вибирають оснащення з мінімальними показниками. Слід не забувати, що під час роботи деталь зазвичай досить сильно нагрівається. Якщо швидкість обробки буде дуже висока, вона може деформуватися, що призведе до її непридатності.

Обов'язково враховується, яка обробка буде здійснюватися - чистове або чорнова. У першому випадку підбирають робочі параметри, які забезпечать максимальну точність. Також звертають увагу і на товщину шару, що зрізається. Залежно від даної характеристики вибирається кількість проходів для виконання обрізки на спеціальному обладнанні.

Під подачею мають на увазі величину переміщення різця за один оберт заготовки. При виконанні чорнової обробки даний параметр може мати максимально можливі значення. На завершальному етапі робіт значення подачі визначається з урахуванням якості шорсткості. Дана характеристика залежить від глибини різання і габаритів заготовки. При великій товщині шару, що зрізається вибираються мінімальні параметри подачі.

Швидкість різання - це один з найважливіших показників, який визначається на етапі розрахунків перед виконанням основних робіт. Її значення залежать від проведених операцій. Зазвичай відрізання торців відбувається при максимально можливій швидкості. Свердління або точіння мають зовсім інші вимоги до даного робочого параметру. Тому для якісного виконання поставлених завдань необхідно знати наступне: тип виконуваної слюсарної операції, вид застосовуваного токарного інструменту, матеріал, з якого виготовлена заготовка.

Коли глибина, подача і швидкість визначені, їх необхідно перевірити. Отримані робочі параметри не повинні бути більше нормативних значень, які вказані в паспорті експлуатованого токарного верстата.

Виготовлення деталей на подібних верстатах здійснюється за допомогою спеціальних токарних різців. Вони повинні забезпечувати наступне:

- якісну обробку деталей з отриманням потрібної форми і розмірів;
- досягнення високої якості оброблюваної поверхні;
- високу продуктивність при мінімальних енергетичних витратах;
- технологічність у виготовленні;
- ремонтоздатність;

Токарні різці класифікують за різними параметрами. По виду виконуваних робіт вони можуть бути відрізними, прохідними, фасонними, підрізними та т. Різці виготовляються з різних матеріалів - алмазів, вольфраму, титан-вольфраму та інших. Залежно від конструктивного виконання дані інструменти бувають цільними, збірними і комбінованими.

Вибір конкретного типу інструменту здійснюється з урахуванням режимів проведених робочих операцій, твердості заготовки, геометричних параметрів ріжучої частини і інших характеристик.

Обов'язково необхідно визначити потужність обладнання.

Послідовність вибору режимів різання для верстатів з ЧПУ наступна:

- 1) глибина різання;
- 2) подача;
- 3) період економічної стійкості;
- 4) швидкість різання.

## **2.2 Оброблення результатів досліджень**

Для проведення експериментальних досліджень скористаємося розробленою [12] програмою, інтерфейс якої представлений на рис. 2.1.

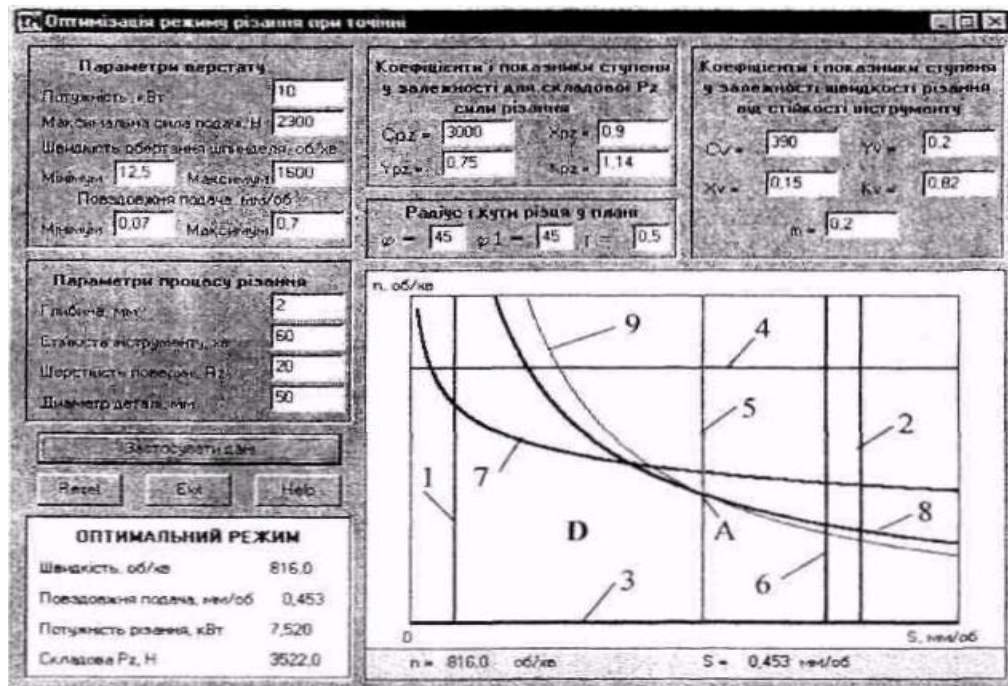


Рисунок 2.1 - Інтерфейс прикладної програми оптимізації процесу точіння

На рисунку 2.1 у координатах "подача - частота обертання" побудована область *D* допустимих значень частоти обертання шпинделя і подачі.

Ця область утворюються перетином таких обмежень: 1-мінімальна подача, 2- обмеження за максимальною подачею, 3 - мінімальна частота обертання шпинделя, 4 - обмеження за максимальними частотою обертання шпинделя 5 - мінімальна подача за шорсткістю поверхні, 6 - обмеження, які накладаються гранично допустимою силою різання чи моментом різання, 7 - обмеження за стійкістю інструменту, 8 - обмеження за потужністю верстату, 9 -обмеження за максимальною продуктивністю. Отже, оптимальні величини режиму різання відповідають координатам точки *A* області всіх можливих значень.

Дана програма використовується для побудови оптимізаційної моделі точіння. Інструкції та пояснення для виконання даних досліджень містяться у самій програмі і з'являються на екрані монітора у діалогому режимі.

Наочно видно, що із зміною глибини різання вершина  $A$  області допустимих рішень, що відповідає оптимальному режиму різання утворюється перетином різних обмежень. Так, при глибині різання 1 мм дана вершина утворюється обмеженнями за стійкістю інструменту і за необхідною шорсткістю поверхні, а при глибині 4 мм - відповідно обмеженнями за потужністю різання і максимально допустимою силою привода подачі.

Отримані експериментальні лані, що відповідають оптимальному режиму різання представлені у додатку В1.

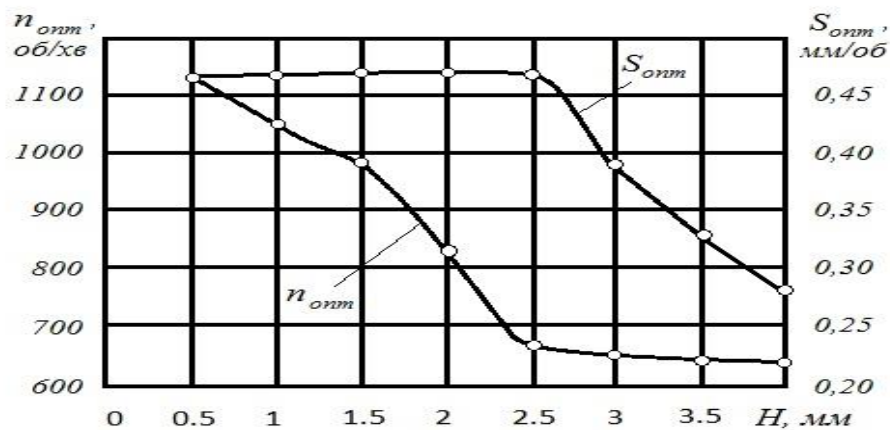


Рисунок 2.2 - Експериментальні залежності оптимального режиму різання від глибини різання

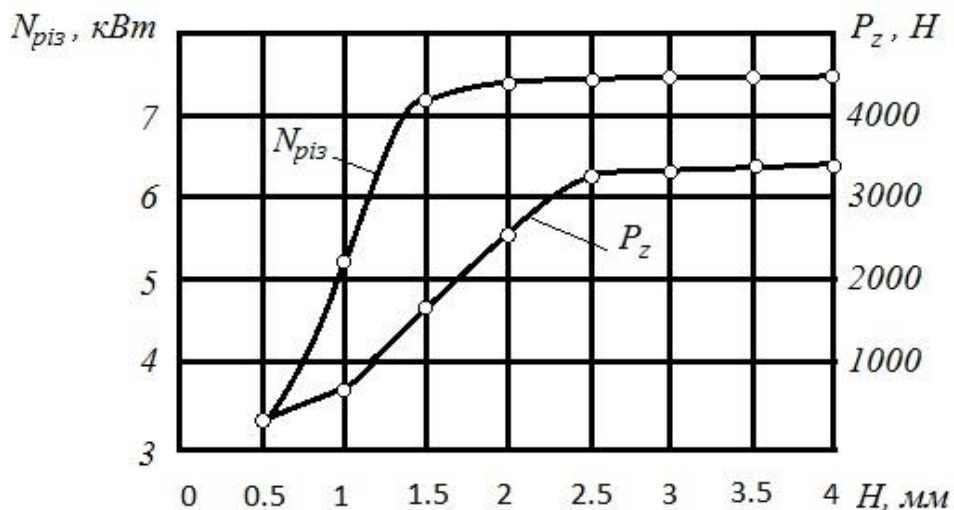




Рисунок 2.3 - Експериментальні залежності параметрів оптимального режиму різання від потужності різання

Відповідно до експериментальних даних побудовано графічні залежності, що представлені на рисунку 2.2 і рисунку 2.3. З аналізу даних зв'язностей можна зробити висновки щодо законів управління, відповідно до яких досягається оптимальний режим різання при зміні глибини різання.

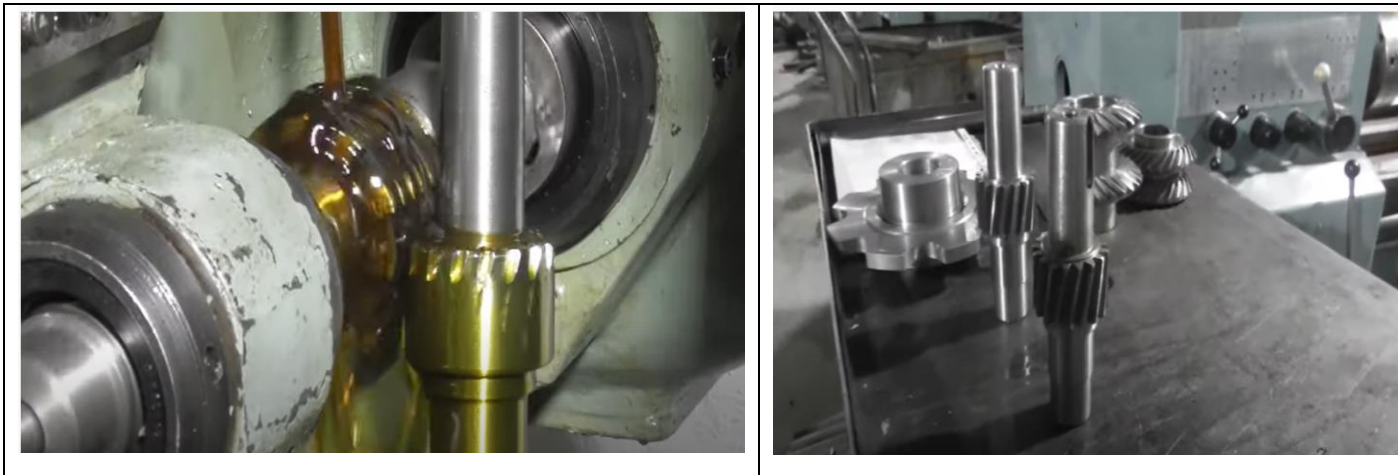


Рисунок. 2.4 – Технологічний процес виготовлення вала-шестерні

### **2.3 Висновки та пропозиції щодо використання результатів виконаних досліджень**

Оптимізація процесів різання в машинобудуванні поряд з іншими факторами обумовлюється характеристиками оброблюваності металів різанням. Основними параметрами, що характеризують оброблюваність металів, є:

- швидкості різання, з якими найбільш раціонально обробляти деталі;
- можливість (легкість) отримання необхідної точності обробки при чистових і обробних операціях, яка характеризується головним чином інтенсивністю розмірного зносу інструменту;

- можливість отримання необхідних параметрів шорсткості і якості обробленої поверхні при оздоблювальних операціях, визначених у основному схильністю до адгезії інструментального матеріалу по відношенню до оброблюваного і пластичністю останнього;
- сили, що виникають при різанні, і потрібна потужність;
- характер освіти стружки і її деформація (усадка);
- температура різання.

При дослідженні кожного із зазначених параметрів оброблюваність матеріалу зіставляється з оброблюваністю іншого матеріалу. При різних видах обробки і умовах експлуатації інструменту оцінюють різні показники оброблюваності. При кінцевих операціях велике значення має якість обробленої поверхні. В умовах автоматизованого виробництва особливо важливі розмірна стійкість інструменту і стабільність якості оброблених деталей. Але у всіх випадках, незалежно від особливостей технологічного процесу та вимог до якості оброблених поверхонь, продуктивність і вартість обробки визначаються раціональними швидкостями різання. Чим більшу швидкість різання при інших рівних умовах допускає ріжучий інструмент при обробці даного матеріалу, тим краще оброблюваність цього матеріалу. Вибір періоду стійкості є важливим для правильної експлуатації верстатів та інструментів і встановлення раціональних режимів обробки.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 3.1 Службове призначення та характеристики об'єкту виробництва

Деталь ДРГ 335.911 представляє собою вал-шестерню. Дана деталь використовується в бортовому редукторі для передачі крутного моменту на гальма.

Деталь виготовляється із сталі 25ХГТ методом штамповки на ГKM. Враховуючи те, що процесі роботи вал-шестерня передає великі крутні моменти і витримує великі технологічні навантаження, то точність виготовлення і покриття деталі повинні бути достатньо високі. [1]

Сталь 25ХГТ - конструкційна легована. Як відомо, легуючі елементи забезпечують сталі високу в'язкість, зносостійкість і міцність, що дозволяє виготовляти з даного матеріалу виготовляти деталі, які працюють при великих швидкостях, питомих тисках та при наявності ударних навантажень.

У навчальному процесі, так як і у виробничих умовах будь-яка конструкція деталі повинна бути ґрунтовно проаналізована. Метою нашого аналізу є виявлення недоліків конструкції та методів виготовлення, а також внесення змвн для можливе покращення технологічності виробу.

Механічні та хіміко-фізичні властивості матеріалу - сталь 25ХГТ наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад і механічні властивості сталі 25ХГТ

Марка мат.	Хімічний склад				
	C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	Ti, %
25ХГТ	0,22-0,29	0,17-0,37	0,80-1,10	1,00-1,30	0,03-0,09
	Механічні властивості				
	$\sigma_s$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\sigma_m$ , кгс/мм <sup>2</sup>		НВ	
	150	110		≤217	

Велику роль в розробці технологічного процесу встановлення деталі має аналіз технічних умов. Робоче креслення деталі повинно містити всі проекції і перерізи, що чітко пояснюють конфігурацію і можливі методи одержання заготовки. На кресленні повинні бути вказані всі розміри із зазначенням допусків, класів точності поверхонь, допустимих відхилення від геометричних форм.

Виходячи з вищесказаного та провівши аналіз, робимо висновок, що дане креслення містить достатню кількість виглядів, а також всі необхідні елементи, що дозволяють зрозуміти будову та конфігурацію деталі.

Технічні вимоги повинні містити значення граничних відхилень розмірів, а також допоміжну інформацію про твердість, відомості про заготовку та не вказані ливарні нахили і радіуси.

Результати, які одержано при детальному аналізі технічних умов представлено в таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Аналіз технічних умов

Позначення поверхні	Технічна умова	Методи виконання	Методи контролю
И	Забезпечити висоту мікро нерівностей $R_a=6,3\text{мкм}$ Точність розміру по К6	Точіння	Профілограф-профілометр, скоба, шаблон
ї	Забезпечити площинність до пов. И, висоту нерівностей $R_z=20\text{мкм}$	Точіння	Контрольна плита

Оцінка технологічності конструкції може бути двох видів: якісною і кількісною. Якісна оцінка характеризує конструкцію по загальних ознаках, базується на основі досвіду і застосовується на всіх стадіях проектування як попередня. Кількісна – представляється числовим показником і

використовується тоді, коли ці показники мають вплив на технологічність розглядуваної конструкції. [13]

В нашому випадку проведемо тільки якісну оцінку.

Деталь – вал-шестерня, являє собою штамповку із сталі 25ХГТ

- а) деталь є відносно не великої довжини, а отже її легко обробляти;
- б) в конструкції є глухі отвори, які виконують роль центрових отворів;
- в) конструкція деталі забезпечує вільний доступ інструментів до всіх оброблюваних поверхонь;
- г) базові поверхні забезпечують достатню жорсткість при механічній обробці;
- д) спосіб отримання заготовки є досить простим та економічно вигідним.

Таким чином проаналізувавши конструкцію деталі, можна зробити висновок, що деталь є технологічною.

Для проведення аналізу існуючого технологічного процесу механічної обробки розглянемо такі основні пункти:

1) правильність вибору чорнових, чистових і проміжних баз та дотримання принципу єдності баз. Розглянемо технологічний маршрут обробки деталі. Спочатку методом точіння обробляється поверхня Е, чорною базою при цьому є поверхня І, потім тим же точінням обробляється поверхня І, яка в подальшому використовується, як чистова база для чистової обробки поверхні Е та інших площин а також для фрезерування шліців і зубофрезерування зубів.

Отже, робимо висновок, що принцип єдності баз дотриманий.

2) відповідність параметрів обладнання вимогам даної операції. При виготовленні даної деталі в існуючому технологічному процесі використовується застаріле і малопродуктивне обладнання, яке з одного боку за показником потужності і точності обробки задовольняє типовим вимогам, але за показниками продуктивності не відповідає сучасним вимогам виробництва.

3) ступінь оснащення операцій. В існуючому технологічному процесі використовується стандартне обладнання, на якому виконують одну або дві операції. Це спонукає до великих втрат часу на налагодження обладнання, та відповідно транспортування і встановлення деталі в приспособленні. Вирішити це можна завдяки використанню оброблюючих центрів з числовим програмним керуванням, які мають високу продуктивність, скорочують час обробки, забезпечують високу точності.

В сучасному машинобудуванні спостерігається тенденція до зменшення кількості технологічних переходів, що відповідно приводить до зменшення припусків на обробку, часу обробки та зменшення відходів, а це можливо лише за рахунок виготовлення заготовок високої точності. Такі заготовки, в тому числі для валів, можна одержати штампуванням на ГKM. В даному випадку велику роль відіграє матеріал заготовки..

Для обробки валів пропонують використовувати тонке точіння, яке забезпечує необхідну точність поверхні. В якості різального інструменту застосовують різці із пластинами з твердосплавного матеріалу, які мають великий період стійкості та можливість швидкої заміни за рахунок механічного кріплення пластинок.

Для обробки шліців і зубів пропонують використовувати сучасні високопродуктивні багато черв'ячні і черв'ячношліцеві фрези, які мають пластини із твердосплавного матеріалу та механічне кріплення.

В якості обладнання застосовують оброблюючі центри, верстати з ЧПК, автоматичні лінії, а також роботи для завантаження і розвантаження деталей, транспортування та встановлення в приспособленнях.

Щодо досягнень у галузі проектування приспособлень, то тут зберігається тенденція до створення багатомісних та високоточних приспособлень із автоматичним затиском заготовок. Це дасть можливість виготовляти одночасно декілька точних деталей за рахунок виконання операцій механічної обробки при одному встановленні заготовки.

В даний час спостерігається стрімкий розвиток системи автоматизованого проектування. А саме, програмне забезпечення дає можливість автоматизовано проектувати технологічні процеси, оснащення та видавати комплект необхідної технологічної документації, що скорочує терміни технологічної підготовки виробництва та зменшує трудомісткість виготовлення деталей.

### 3.2 Розроблення технологічного процесу виготовлення виробу

Тип виробництва характеризується коефіцієнтом серійності операцій  $K_c$ , який можна визначити як відношення такту випуску виробів до середнього штучного часу по операціях запропонованого технологічного процесу. [14]

Такт випуску виробів визначається за формулою:

$$t_e = \frac{F_o \times 60}{N} \quad (3.1)$$

$t_e$  – такт випуску, хв/шт.;  $F_o$  – дійсний річний фонд часу роботи обладнання;

$N$  – річна програма випуску, шт.;

Отже:

$$t_e = \frac{F_o \times 60}{N} = \frac{4015 \times 60}{20000} = 12,04 \text{ хв/шт}$$

Середній штучний час по операціях технологічного процесу становить  $t_{ум.с} = 9,4$  хв.

Коефіцієнт серійності визначаємо за формулою:

$$k_c = \frac{t_e}{T_{ум.с.}} \quad (3.2)$$

$k_c$  – коефіцієнт серійності;  $t_b$  – такт випуску виробу, хв/шт.;  $T_{шт.с}$  – штучний час по операціях, хв.;

Отже

$$k_c = \frac{t_b}{T_{шт.с}} = \frac{12,04}{9,4} = 1,28$$

Оскільки  $1 < k_c < 10$ , то тип виробництва крупносерійний, або  $0,5t_b < T_{шт.с} < T_b$ , тобто  $6,02 < 9,4 < 12,09$

Для виготовлення будь-якої деталі важливе місце займає метод отримання заготовки. [1]

Для виготовлення даної деталі використаємо два методи одержання заготовки:

- 1) штампування на горизонтально-кувальній машині;
- 2) прокат.

Проаналізувавши вище приведені розрахунки ми бачимо, що собівартість виготовлення заготовки вала-шестерні на ГKM, дешевша собівартості виготовлення заготовки, точніше використання прокату в якості заготовки.

Як видно із розрахунків, більш економічно вигідно виготовити заготовку штампування на ГKM.

Економічний ефект від співставлення варіантів одержання заготовок можна обчислити за формулою:

$$E = (S_{заг2} - S_{заг1}) \times N, \text{ грн.},$$

$E$  – економічний ефект, грн.;  $S_{заг1}$ ,  $S_{заг2}$  – варіант заготовок, отриманих відповідно першим і другим методом лиття, грн.;  $N$  – річна програма випуску деталей.

$$E = (S_{заг2} - S_{заг1}) \times N = (66,16 - 64) \times 20000 = 43200 \text{ грн.}$$

Таблиця 3.3 – Порівняння методів одержання заготовок

Назва показника	1 варіант	2 варіант
Вид заготовки	на ГKM	з прокату

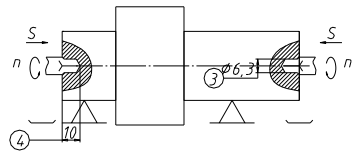
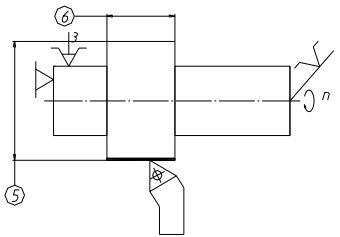


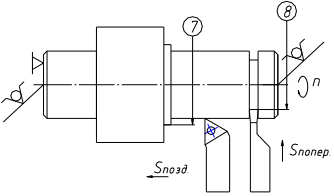
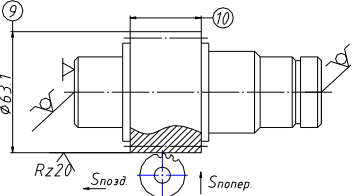
Вартість заготовки, грн.	64	66,16
Маса заготовки, кг	5,8	13,9
Економічний ефект, грн.	43200	

Призначення технологічних та вимірювальних баз є одним із найвідповідальніших етапів проектування технологічного процесу. Тому що від правильного вибору технологічних баз залежать точність виконання розмірів, правильність взаємного розміщення поверхонь, складальних пристроїв, різального та вимірювального інструментів та продуктивність обробки заготовок. Вихідними даними для вибору баз служать робоче креслення деталі, технічні умови на її виготовлення, а також вид заготовки, необхідний ступінь автоматизації.

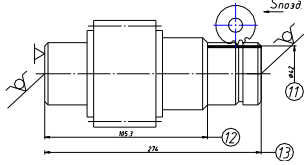
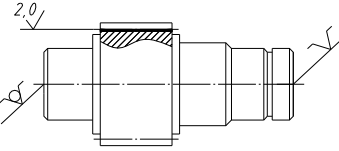
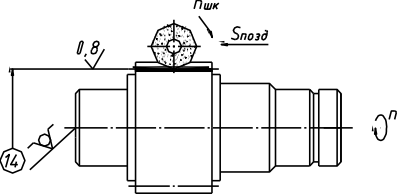
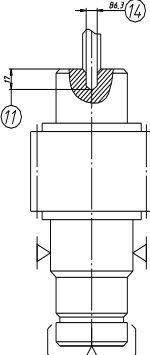
Проаналізувавши креслення даної деталі, можна зробити висновок, що найбільш відповідальною поверхнею в процесі механічної обробки всієї деталі є поверхня И. І тому дана поверхня буде використовуватися в якості технологічної, вимірювальної та конструкторської бази. Ця поверхня використовується при фрезеруванні бокових поверхонь, а також при фрезеруванні зубів та фрезеруванні шліців.

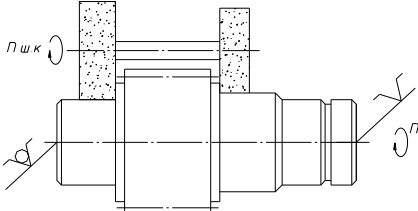
Таблиця 3.4 – Вибір технологічних баз

№ оп.	Назва переходу (оп.)	Поверхня, обробл.	що	Вибір технологічних баз
1	2	3		4
005	Фрезерно-центрувальна	пов. А, Й		
010	Токарна з ЧПК	пов. Е		

020	Токарна з ЧПК	пов. И, Ї	
025	Зубофрезерна	пов. Е	

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4
030	Шліцефрезерна	пов. Ї	
035	Зубошевінгувальна	пов. Е	
040	Зубошліфувальна	пов. Е	
045	Вертикально-свердлильна	пов. Л	

050	Круглошліфувальна	пов. Б, И	
-----	-------------------	-----------	---

Покращити техніко-економічні показники базового технологічного процесу механічної обробки можна за рахунок використання сучасного обладнання.

Технологічний маршрут обробки корпусної деталі подаємо у вигляді таблиць:

Таблиця 3.5 – Варіант – I

№ оп.	Назва операції	Поверхні, що обробл.	Назва обладнання
1	2	3	4
005	Фрезерно-центрувальна	А, Й, Л	Фрезерно-центрувальний 2Г942
010	Токарна	Е	Токарно-гвинторізний мод.16К20
015	Токарна з ЧПК	И, Ї, І	АВС-02-310
020	Зубофрезерна	Е	Зубофрезерний мод. Е3106
025	Шліцефрезерна	ї	Зубофрезерний мод. ДФ 935
030	Зубошліфувальна	Е	АВС-02-310
035	Зубошліфувальна	Е	Зубошліфувальна мод. 5Д830
040	Круглошліфувальна	И, Ж	Круглошліфувальний мод. КШИ-12А
045	Круглошліфувальна	Б, В	Круглошліфувальний мод. КШИ-12А

Таблиця 3.6 – Варіант II (проектний)

№ оп.	Назва операції	Поверхні, що обробл.	Назва обладнання
005	Фрезерно-центрувальна	А, Й	Фрезерно-центрувальний мод. МР-71М
010	Токарна з ЧПК	Е	Токарно-гвинторізний з ЧПК мод. 16К20Ф3

020	Токарна з ЧПК	И, Ї	Токарно-гвинторізний з ЧПК мод. 16K20Ф3
025	Зубофрезерна	Е	Зубофрезерний мод. 5K352
030	Шліцефрезерна	Ї	Зубофрезерний мод. 5K352
035	Зубошевінгувальна	Е	Зубошевінгувальний мод. 5702
040	Зубошліфувальна	Е	Зубошліфувальний мод. 5B835
045	Вертикально-свердлильна	Л	Вертикально-свердлильний мод. 2H125
050	Круглошліфувальна	Б, И	Круглошліфувальний мод. 3M151

Для того, щоб визначити, який із варіантів технологічного процесу більш економічно-вигідний, проведено порівняння собівартості операцій, які є відмінними. Для порівняння приймаємо операції 015 і 025.

Часові приведені затрати визначимо за формулою:

$$C_{n.з.} = \frac{C_3}{M} + C_{ч.з.} + E_n \cdot (K_c + K_3), \quad (3.3)$$

$C_{n.з.}$  – часові приведені затрати, коп./год;  $M$  – коефіцієнт багатостатності;  $C_{ч.з.}$  – годинні витрати на експлуатацію робочого місця, коп./год;  $E_n$  – нормативний коефіцієнт економічності та ефективності капітальних вкладень,  $E_n=0,2$ ;  $K_c$  – питомі часові капітальні вкладення у верстат, коп./год;  $K_3$  – питомі часові капітальні вкладення у будову, грн/год. [13]

Основну і додаткову заробітну плату, а також відрахування на соціальне страхування ( $C_3$ ) оператору і наладчику визначимо за формулою:

$$C_3 = C_{m.ф.} \cdot 1,53 \cdot K, \quad (3.4)$$

$C_3$  – відрахування на соціальне страхування, коп./год;  $C_{m.ф.}$  – часова тарифна ставка верстатника відповідного розряду, грн/год; 1,53 – сумарний коефіцієнт;  $K$  – коефіцієнт, що враховує зарплату наладчика.

Годинні витрати на експлуатацію робочого місця визначимо за формулою:

$$C_{ч.з.} = C_{ч.з.}^{б.ч.} \cdot K_M \cdot \frac{\varphi}{1,44}, \quad (3.5)$$

$C_{ч.з.}$  – годинні витрати на експлуатацію робочого місця, коп./год;  $C_{ч.з.}^{б.ч.}$  – практично концентровані погодинні затрати на базовому робочому місці, грн/год;  $K_M$  – коефіцієнт, що показує в скільки разів витрати пов'язані з роботою даного верстату більші ніж аналогічні витрати базового верстату;  $\varphi$  – поправочний коефіцієнт.

Капітальні вкладення у верстат і будівлю можна визначити для серійного виробництва за формулою:

$$K_c = \frac{Ц \cdot 100}{3200}, \quad (3.6)$$

$K_c$  – капітальні вкладення у верстат і будівлю, грн/год;  $Ц$  – балансова вартість верстату, грн.

$$K_c = \frac{F \cdot 75 \cdot 100}{3200}, \quad (3.7)$$

$K_c$  – капітальні вкладення у будівлю, коп./год;  $F$  – виробнича площа, яку займає верстат з врахуванням проходів, м<sup>2</sup>.

$$F = f \cdot K_f, \quad (3.8)$$

$f$  – виробнича площа, яку займає верстат, м<sup>2</sup>;  $K_f$  – коефіцієнт, що враховує додаткову виробничу площу.

Верстат механічної обробки на розглядуваній операції можна визначити за формулою:

$$C_o = \frac{C_{н.з.} \cdot T_{ш}}{60}, \quad (3.9)$$

$C_o$  – вартість механічної обробки, коп.;  $C_{н.з.}$  – часові приведені затрати, грн/год;  $T_{ш}$  – штучний час на операцію, хв.

Економічний ефект від порівнюваних варіантів знаходимо за наступною формулою:

$$E = \frac{(\sum C_o^I - \sum C_o^{II}) \cdot N}{100}, \quad (3.10)$$

$E$  – економічний ефект, грн.;  $\sum C_o^I, \sum C_o^{II}$  – вартість механічної обробки порівнюваних операцій, коп.;  $N$  – річна програма випуску, шт.;

Отже,

$$E = \frac{(\sum C_o^I - \sum C_o^{II}) \cdot N}{100} = \frac{(148,42 - 130) \cdot 20000}{100} = 3684 \text{ грн} \quad (3.11)$$

На основі проведеного аналізу двох варіантів технологічного маршруту обробки деталі і враховуючи те, що оптимальним є той варіант, в якого сума поточних і приведених затрат на одиницю продукції буде мінімальною, приходимо до висновку, що проектний варіант є економічно доцільніший.

Використовуючи розрахунково-аналітичний метод призначення припусків проводимо аналіз і призначення припусків для даної деталі.

Технологічний маршрут обробки поверхні Л - Ø55К6 складається з трьох операцій: попереднє обточування, чистове точіння, шліфування.

Таблиця 3.7 – Таблиця припусків та допусків поверхні Ø55К6

Технологічні переходи обробки Поверхні Ø55К6	Елементи припуску			Розрах. припуск $2z_{\min}$	Розрах. розмір $d_p$	Допуск $\delta$ , МКМ	Граничний розмір, мм		Граничні значення припуску	
	$R_z$	T	$\rho$				$d_{p \min}$	$d_{p \max}$	$2z_{\min \text{пр}}$	$2z_{\max \text{пр}}$
Заготовка	150	250	1822	-	60,13	300 0	60,13	63,13	-	-
Обточування попереднє	50	50	109	$2 \cdot 222$ 2	55,686	460	55,686	56,146	4444	6984
Чистове	30	30	73	$2 \cdot 209$	55,268	74	55,268	55,342	418	804
Шліфування	10	20	-	$2 \cdot 133$	55,002	20	55,002	55,022	266	320

Обробка вала-шестерні проводиться в центрах, тому похибка встановлення в радіальному напрямку рівна нулю.

$$R_z=150 \text{ мм}; T=250 \text{ мм}.$$

Визначення припуску на механічну обробку циліндричних поверхонь в центрах визначається за формулою:

$$2z_{i \min} = 2(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1}) \quad (3.12)$$

$Rz_{i-1}$  - висота мікронерівностей поверхні на попередньому переході, мкм;  $T_{i-1}$  - висота дефектного шару на попередньому переході, мкм;  $\rho_{i-1}$  - сумарне значення просторових відхилень взаємозв'язаних поверхонь.

Сумарне відхилення поверхонь  $\rho$  визначається за формулою:

$$\rho = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{кор}^2 + \rho_{ц}^2} \quad (3.13)$$

$\rho_{кор}$  - загальна кривизна заготовки, мкм;  $\rho_{кор} = \Delta k \cdot l$ ,  $l = 105 \text{ мм}$ ;  $\Delta k = 1,0$   
 $\rho_{см}$  - похибка зміщення осі заготовки при штампуванні, мкм;  $\rho_{см} = 1,0 \text{ мкм}$ ;  $\rho_{ц}$  - похибка центрування, мкм.

Похибка центрування визначається за формулою:

$$\rho_{ц} = 0,25\sqrt{T^2 + 1} \quad (3.14)$$

$T$  - допуск на діаметральний розмір бази заготовки, використаної при зацентровці, мм

$$T = 3,0 \text{ мм}$$

$$\rho_{ц} = 0,25\sqrt{3^2 + 1} = 1,52 \text{ мм}$$

Знаходимо сумарні просторові відхилення:

$$\rho = \sqrt{1,52^2 + 0,105^2 + 1^2} = 1,822 \text{ мм}$$

Залишкове просторове відхилення після попереднього обточування:

$$\rho_{1\text{зал.}} = \rho \cdot k_1 \quad (3.15)$$

$$k_1 = 0,06$$

$$\rho_{1\text{зал.}} = 1,822 \cdot 0,06 = 109,3 \text{ мкм}$$

- після чистового обточування:

$$\rho_{2\text{зал.}} = \rho \cdot k_2 \quad (3.16)$$

$$k_2 = 0,04$$

$$\rho_{2\text{зал.}} = 0,04 \cdot 1,822 = 72,88 \approx 73 \text{ мкм}$$

Мінімальний припуск на попереднє обточування:

$$2z_{\min 1} = 2(150 + 250 + 1822) = 2 \cdot 2222 \text{ мкм}$$

- під чистове обточування:

$$2z_{\min 2} = 2(50 + 50 + 109) = 2 \cdot 209 \text{ мкм}$$

- під шліфування:

$$2z_{\min 3} = 2(40 + 20 + 78) = 2 \cdot 133 \text{ мкм}$$

Розрахункові розміри:

$$d_{p1} = 55,002 + 0,266 = 55,268 \text{ мм}$$

$$d_{p2} = 55,268 + 0,418 = 55,686 \text{ мм}$$

$$d_{p3} = 55,686 + 4,444 = 60,130 \text{ мм}$$

Граничні розміри :

$$d_{\max 3} = 55,002 + 0,02 = 55,022 \text{ мм}$$

$$d_{\max 3} = 55,002 \text{ мм}$$

$$d_{\max 2} = 55,268 + 0,074 = 55,342 \text{ мм}$$

$$d_{\max 2} = 55,268 \text{ мм}$$

$$d_{\max 1} = 55,686 + 0,460 = 56,146 \text{ мм}$$

$$d_{\max 1} = 55,686 \text{ мм}$$

$$d_{\max \text{ заг}} = 60,13 + 3,0 = 63,13 \text{ мм}$$

Граничні значення припусків:

$$2z_{\max 3}^{np} = 55,341 - 55,022 = 0,320 \text{ мм}$$

$$2z_{\min 3}^{np} = 55,268 - 55,002 = 0,266 \text{ мм}$$



$$2z_{\max 2}^{np} = 56,146 - 55,342 = 0,804 \text{ мм}$$

$$2z_{\min 2}^{np} = 55,686 - 55,268 = 0,418 \text{ мм}$$

$$2z_{\max 1}^{np} = 63,130 - 56,146 = 6,984 \text{ мм}$$

$$2z_{\min 1}^{np} = 60,130 - 55,686 = 4,444 \text{ мм}$$

Розрахунок припусків для визначення розмірів заготовки для поверхонь, Г, Ж, Б проводиться аналогічно:

$$d_{ном} = 44 + 5,128 = 49,128 \text{ мм}$$

Для ілюстрації вище приведених розрахунків припусків, представимо схему графічного розміщення припусків та допусків на обробку шийки вала-шестерні  $\varnothing 55K6$  (рис. 3.1)

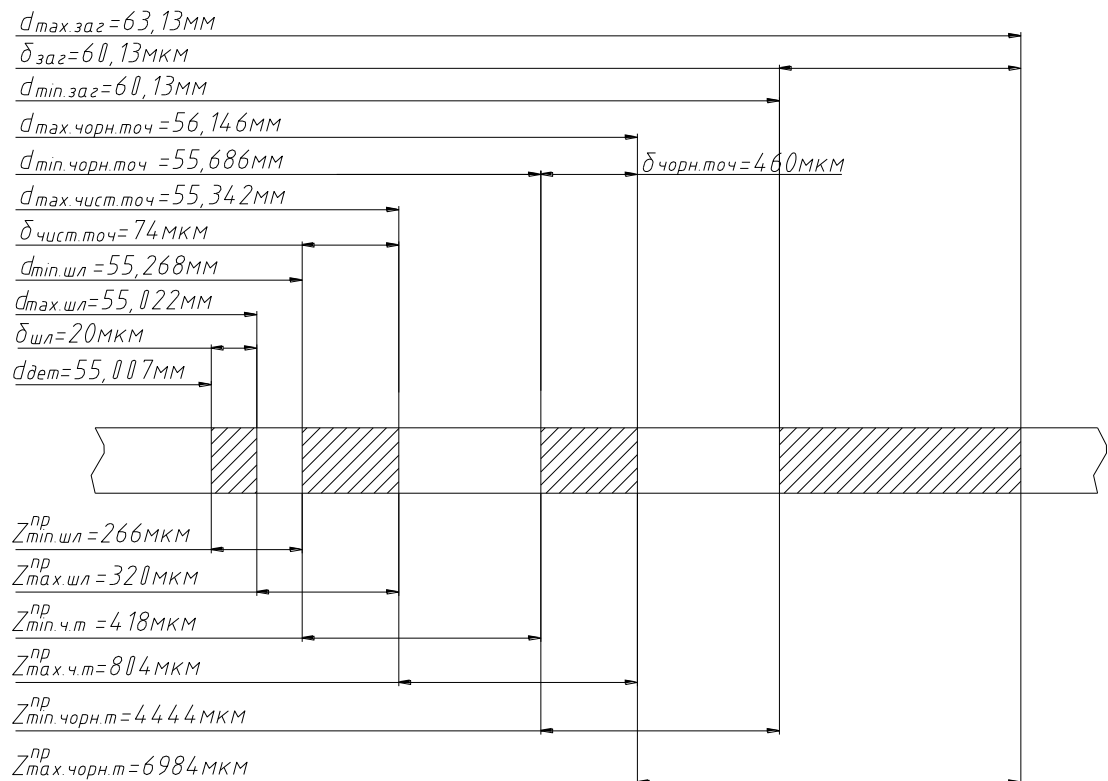


Рисунок 3.1 - Схема графічного розміщення полів допусків для  $\varnothing 55K6$

Розраховуємо припуски та допуски на механічну обробку поверхні А Й в розмір  $276_{-0,81} \text{ мм}$ . [3]

Технологічний маршрут обробки складається з фрезерування торців.

Для заготовки виготовленої на ГKM:

$$R_z=150 \text{ мм}; T=250 \text{ мм}$$

Сумарне відхилення :

$$\rho = \sqrt{\rho_{cm}^2 + \rho_{кор}^2} \quad (3.17)$$

$\rho_{cm}$  – сумарне зміщення;  $\rho_{cm}=\delta$ , де  $\delta$  - допуск на розмір, мм  $\delta=1,8$ мм.

Величина короблення осі заготовки при штампуванні:

$$\rho_{кор}=\Delta k \cdot l;$$

$l$  – довжина між базовими поверхнями;  $\Delta k$  – питома кривизна заготовки на 1мм довжини.

$$\rho_{кор}=8,5 \cdot 85=68 \text{ мкм.}$$

$$\rho = \sqrt{1,8^2 + 0,068^2} = 1,8 \text{ мм}$$

Похибка встановлення:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_3^2 + \varepsilon_\delta^2} \quad (3.18)$$

$\varepsilon_3$  – похибка закріплення, мкм;  $\varepsilon_3=140$ мкм

$$\text{tg}\alpha = \frac{0,6}{D} = \frac{0,6}{0,62} = 0,097 \quad (3.19)$$

$$\varepsilon_\delta = 50 \cdot 0,097 = 0,48 \text{ мм}$$

$$\varepsilon = \sqrt{0,48^2 + 0,14^2} = 0,51 \text{ мм}$$

Таблиця 3.8 – Розрахунок припусків і граничних розмірів на обробку торців вал-шестерні.

Технологічні переходи при обробці торців в р-р 276-0,81	Елементи припуску				Розрахунковий припуск $2Z_{min}$	Розрахунковий розмір $L_p$ , мм	Допуск, S	Граничний розмір, мм		Граничні значення припуску	
	Rz	T	P	$\varepsilon$				$L_{min}$	$L_{max}$	$2Z_{min}$	$2Z_{max}$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Заготовка	150	250	1800	-	-	281,61	3000	278,4	281,42	-	-
Фрезерування торців	80	100		510	2x2710	281,42	810	275,19	276	2420	5420

На основі даних таблиці 3.6, проводимо розрахунок мінімальних значень міжопераційних припусків.

$$2Z_{\min} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i) \quad (3.20)$$

$$2Z_{\min} = 2(150 + 250 + 1800 + 510) = 5420 \text{ мкм}$$

Знаходимо розрахунковий розмір:

$$L_p = 276 + 5,42 = 281,42 \text{ мм}$$

Знаходимо граничні розміри для фрезерування:

$$L_{\min} = 276 - 0,81 = 275,19 \text{ мм}$$

$$L_{\max} = 276 \text{ мм}$$

Для заготовки:

$$L_{\min} = 281,42 \text{ мм}$$

$$L_{\max} = 278,42 \text{ мм}$$

Визначаємо значення граничних припусків:

$$2Z_{\min}^{np} = 278 - 276 + 0,42 = 2420 \text{ мкм}$$

$$2Z_{\max}^{np} = 281,42 - 276 = 5420 \text{ мкм}$$

Одержані дані заносимо в таблицю 3.9

Таблиця 3.9 - Припуски та допуски на оброблювані поверхні (розміри в мм)

Поверхня	Розмір	Припуск		Допуск
		Табличний	Розрахунковий	
A <sub>1</sub> , A <sub>2</sub>	276 <sub>-0,81</sub>	-	2	810
Е	85,6	3,4	-	870
Г	∅44	3,6	-	620

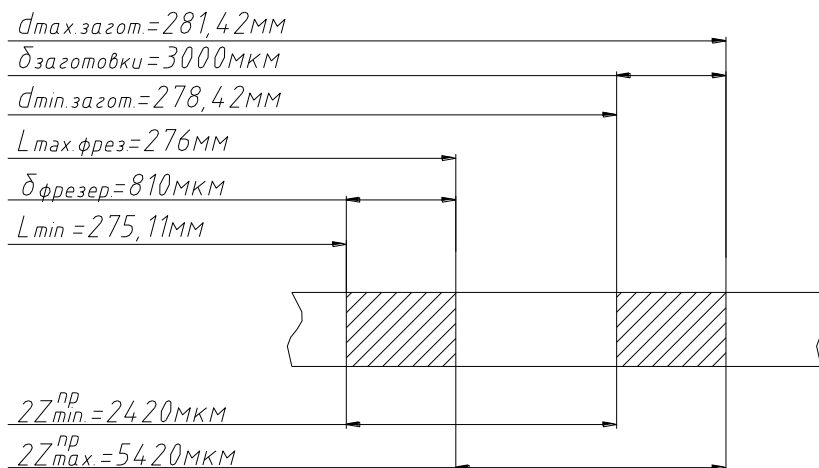


Рисунок 3.2 - Схема граничного розміщення полів припусків при фрезеруванні торців в розмір 276

На всі інші оброблювальні поверхні деталі припуски і допуски розраховуємо автоматизованим способом за допомогою програми "ТехноПро" та записуємо їх значення в таблицю 3.8

Таблиця 3.10 - Припуски та допуски на оброблювані поверхні (розміри в мм)

Поверхня	Розмір	Припуск		Допуск
		Табличний	Розрахунковий	
А Й	276 <sub>-0,81</sub>	-	2	810
Е	85,6	3,4	-	870
Г	Ø44	3,6	-	620

Враховуючи запропонований технологічний процес механічної обробки деталі, проводимо вибір ріжучого та вимірного інструменту. [16] Результати зводимо в таблицю 3.11

Таблиця 3.11 – Різальний та вимірювальний інструмент

Номер та назва операції	Ріжучий інструмент	Вимірний інструмент
1	2	3

005 Фрезерно-центрувальна	Фреза торцева Ø125 ГОСТ 22085-76 Свердло центрувальне 2 шт. Ø6,3 ГОСТ 14952-75	ШЦ-III-315-01-1 ГОСТ 166-80 Пробка Ø6,3 ГОСТ 1481-69
010 Токарна з ЧПК	Різці прохідні h=20, b=16, L=120 ГОСТ 18879-73 Різець канавочний h=25, b=16 ГОСТ 18884-73	Штангенглибиномір ШГ-160 ГОСТ 162-80, Штангенциркуль ШЦ-III-315-01-1 ГОСТ 166-80
020 Токарна з ЧПК	Різці прохідні ГОСТ 18879-73 Різець канавочний I- 2128-4310 ГОСТ 18884- 73 Різці 2103-4093 ГОСТ 18884-73	Штангенциркуль ШЦ-III-315-01-1 ГОСТ 166-80, скоби цехові, шаблони канавочні, шаблони В=207,3мм, В=105,3мм

1	2	3
025 Зубофрезерна	Фреза червячна Ø100мм, m=5мм ГОСТ 9324-60	Фасонний шаблон
030 Шліцефрезерна	Черв'ячна шліцева фреза Ø90мм ГОСТ 6637-53	Фасонний шаблон, шаблон В=145±0,5мм
035 Зубошевінгувальна	Шевер Ø180мм, b=20мм ГОСТ 8570-80	Шаблон для контролю зубів
040 Зубошліфувальна	Шліфувальний черв'як	Шаблон для контролю зубів
045 Вертикально-свердлильна	Свердло центрувальне Ø6,3мм Тип В ГОСТ 14952-75	Пробка Ø6,3мм ГОСТ 14810-69, штангенциркуль ШЦ-Ш-315-01-1 ГОСТ 166-80
050 Круглошліфувальна	Круг шліфувальний ПВД 250×47×75,24 А40 МС 25К8 35м/с ГОСТ 2424-75. Круг шліфувальний ПВД 245×22×75,24 А40 СМ 25К8 35м/с ГОСТ 2424-75.	Штангенциркуль ШЦ-Ш-315-01-1 ГОСТ 166-80, скоба Ø55Н10 ГОСТ 18362-73, скоба Ø35 ГОСТ 18362-72

Для реалізації технологічного процесу проводимо розрахунок і призначаємо режими різання.

Аналітичний розрахунок режимів різання проводимо для наступних операцій:

- 1) фрезерно-центрувальної;
- 2) двох токарних з ЧПК;
- 3) шліцефрезерної.

Для решти операцій режими різання призначаємо табличним методом.

## 1. Операція 005 Фрезерно-центрувальна

Складається з двох переходів:

- фрезерного;
- центрувального

Фрезерний перехід:

$$D = 60 \text{ мм}, t = 3 \text{ мм}$$

$$S = 200 \text{ мм/хв}$$

Швидкість різання при торцевому фрезеруванні:

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot b^u \cdot z^p} \cdot K_v \quad (3.21)$$

$$C_v = 332; q = 0,2; x = 0,1; y = 0,4; u = 0,2; m = 0,2; T = 180 \text{ хв}$$

$B$  – ширина шару металу, мм;  $B = 51 \text{ мм}$ ;  $D = 100 \text{ мм}$  – діаметр фрези.

$$S_z = \frac{S_{xв}}{z \cdot n} = \frac{200}{6 \cdot 240} = 0,14 \text{ мм/зуб}$$

Загальний уточнюючий коефіцієнт на швидкість різання:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv}, \quad (3.22)$$

$K_{mv}$  - коефіцієнт оброблюваності матеріалу;  $K_{nv}$  - коефіцієнт, який враховує стан поверхні заготовки;  $K_{uv}$  - коефіцієнт, який залежить від марки матеріалу інструменту.

$$K_{mv} = K_r \left( \frac{750}{\sigma_d} \right)^{n_v},$$

$K_r$  – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки;  $n_v$  - показник степені;  $K_r = 0,8$ ;  $n_v = 1,0$

$$K_{mv} = 0,8 \left( \frac{750}{800} \right)^{1,0} = 0,75$$

$$K_{nv} = 0,8; K_{uv} = 1,15 \text{ для ТІ 5К6}$$

$$K_v = 0,75 \cdot 0,8 \cdot 1,15 = 0,69 \quad (3.23)$$

Частота обертання фрези визначається за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} \quad (3.24)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 93}{3,14 \cdot 100} = 293 \text{ об/хв}$$

Приймаємо  $n=281$  об/хв.

Крутний момент на шпинделі розраховуємо за формулою:

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100} \quad (3.25)$$

$P_z$  - сила різання, Н.

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B_z^u}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{Mp} \quad (3.26)$$

$C_p=825$ ;  $x=1,0$ ;  $y=0,75$ ;  $u=1,1$ ;  $q=1,3$   $w=0,2$ .

$K_{Mp}$  - уточнюючий коефіцієнт, який враховує якість оброблюваного матеріалу;

$$K_{Mp} = \left( \frac{\sigma_a}{75} \right)^n \quad (2.27)$$

$$K_{Mp} = \left( \frac{800}{75} \right)^{1,0} = 1,067$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 825 \cdot 3^{1,0} \cdot 0,14^{0,75} \cdot 51^{1,1} \cdot 1,067}{100^{1,3} \cdot 281^{0,2}} = 2089 \text{ Н}$$

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{2089 \cdot 93}{1020 \cdot 60} = 3,14 \text{ кВт}$$

Центрувальний перехід:

Глибина різання при свердлінні:

$$t=0,5 \cdot D \quad (3.28)$$

$D$  - діаметр свердла, мм;  $D=6,3$  мм



$$t = 0,5 \cdot 6,3 = 9,15 \text{ мм}; S = 0,06 \text{ мм/об}$$

Швидкість різання:

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} \cdot K_v \quad (3.29)$$

$$C_v = 3,5; y = 0,45; m = 0,12; q = 0,5$$

Період стійкості свердла з швидкорізальної сталі:  $T = 25 \text{ хв}$

Загальний поправочний коефіцієнт швидкості різання:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv}, \quad (3.30)$$

$$K_{mv} = 0,75; K_{nv} = 0,8; K_{uv} = 1,0 \text{ ( для Р6М5)}$$

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

$$v = \frac{3,5 \cdot 6 \cdot 3^{0,5}}{25^{0,12} \cdot 0,06^{0,45}} \cdot 0,6 = 12,7 \text{ м/хв}$$

Крутний момент па шпинделі:

$$M_{кр} = 10 \cdot C_m \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p \quad (3.31)$$

Осьова сила:

$$P_0 = 10 \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p \quad (3.32)$$

$$C_m = 0,0345; q = 2,0; y = 0,8:$$

$$C_p = 6,8; q = 1,0; y = 0,7.$$

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 6,3^2 \cdot 0,06^{0,8} \cdot 1,067 = 1,54 \text{ Н·м}$$

$$P_0 = 10 \cdot 6,8 \cdot 0,06^{0,7} \cdot 6,3^{1,0} \cdot 1,067 = 637,9 \text{ Н}$$

Потужність різання:

$$N_e = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750} \quad (3.33)$$

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 12,7}{3,14 \cdot 6,3} = 640,3 \text{ об/хв}$$

приймаємо  $n = 630 \text{ об/хв}$ .

$$N_e = \frac{1,54 \cdot 630}{9750} = 0,1 \text{кВт}$$

## 2. Операція 010 Токарна з ЧПК

- точити торець:

$$t = 2 \text{мм}; D = 90 \text{мм}$$

Вибираємо подачу  $S = 0,15$  мм/об

Швидкість різання:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v \quad (3.34)$$

$$C_v = 420; y = 0,2; m = 0,2; x = 0,15$$

Період стійкості різця:

$$T = 60 \text{ хв.}$$

Загальний уточнюючий коефіцієнт на швидкість різання при точінні:

$K_{nv} = 0,8$  – для поковок;  $K_{iv} = 0,65$  – для пластин з Т15К6;  $K_r = 0,8$ ;  $n_v = 1,0$ .

$$K_{mv} = 0,8 \left( \frac{750}{800} \right)^{1,0} = 0,15$$

$$K_v = 0,75 \cdot 0,65 \cdot 0,8 = 0,39$$

$K_{\phi v}$  – коефіцієнт, що враховує параметри різця;

$$K_{\phi v} = 0,8$$

$$v = \frac{420}{60^{0,2} \cdot 2^{0,15} \cdot 0,15^{0,2}} \cdot 0,39 = 70,6 \text{ м/хв}$$

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 70,6}{3,14 \cdot 90} = 249,7 \text{ об/хв} \quad (3.35)$$

Приймаємо  $n = 250$  об/хв.

Глибина різання  $t = 2$  мм,  $D_1 = 35$  мм,  $D_2 = 85,6$  мм

Приймаємо подачу:  $S = 0,3$  мм/об

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v \quad (3.36)$$

$$v = \frac{420}{60^{0,2} \cdot 2^{0,15} \cdot 0,3^{0,2}} \cdot 0,39 = 82,8 \text{ м/хв}$$

Оберти шпинделя:

$$n_1 = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D_1} \quad (3.37)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 82,8}{3,14 \cdot 35} = 306,05 \text{ об/хв}$$

$$n_2 = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D_2} \quad (3.38)$$

$$n_2 = \frac{1000 \cdot 82,8}{3,14 \cdot 85,6} = 141 \text{ об/хв}$$

Приймаємо:  $n=300$  об/хв.

- точити канавку:

$t=2$  мм,  $D = 35$  мм

Приймаємо подачу:  $S = 0,08$  мм/об

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v \quad (3.39)$$

$K_v = 0,39$  – загальний уточнюючий коефіцієнт

$C_v=47$ ;  $y=0,8$ ;  $m=0,2$ ;  $x=0$

Період стійкості різця:  $T = 60$  хв.

$$v = \frac{47}{60^{0,2} \cdot 20 \cdot 0,08^{0,8}} \cdot 0,39 = 44 \text{ м/хв}$$

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} \quad (3.40)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 44}{3,14 \cdot 35,6} = 392,9 \text{ об/хв}$$

Приймаємо:  $n=400$  об/хв.

Глибина різання  $t=2$  мм,  $D = 56$  мм

Приймаємо подачу:  $S = 0,4$  мм/об

Швидкість різання при точінні:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v \quad (3.41)$$

$K_v = 0,39$  – загальний уточнюючий коефіцієнт

$C_v = 350$ ;  $y = 0,35$ ;  $m = 0,2$ ;  $x = 0,15$

Період стійкості різця:  $T = 60$  хв.

$$v = \frac{350}{60^{0,2} \cdot 2^{0,15} \cdot 0,4^{0,35}} \cdot 0,39 = 68,4 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} \quad (3.42)$$

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 68,4}{3,14 \cdot 56} = 298 \text{ об/хв}$$

Приймаємо:  $n = 300$  об/хв.

Сила різання:

$$P_x = P_y = P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p \quad (3.43)$$

Постійна  $C_p$  і показники степені  $x$ ,  $y$ ,  $n$  вибрано з довідника

Уточнюючий коефіцієнт дорівнює:

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp} \quad (3.44)$$

$K_{\varphi p} = 0,89$  (при  $\varphi = 90^\circ$ );  $K_{\gamma p} = 0,89$  (при  $\gamma = 10^\circ$ );  $K_{\lambda p} = 0,89$  (при  $\lambda = 0^\circ$ );

$K_{rp} = 0,89$  (при  $r = 1$  мм)

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 2^1 \cdot 0,3^{0,75} \cdot 82,5^{-0,15} \cdot 0,89 \cdot 0,93 \cdot 1,067 = 2107,5 \text{ Н}$$

Розрахунок потужності різання:

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} \quad (3.45)$$

$$N_e = \frac{2107,5 \cdot 82,8}{1020 \cdot 60} = 2,85 \text{ кВт}$$

Операція 030 Шліцефрезерна

$t = 2\text{мм}; B=5\text{мм}$

Приймаємо подачу  $S=20\text{ мм/хв.}$

Вибираємо черв'ячну фрезу ГОСТ 8027-60

$D=95\text{мм}, z=28$ , матеріал P5M5K6, HRC 64.

Швидкість різання при фрезеруванні:

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot b^u \cdot z^p} \cdot K_v \quad (3.46)$$

$C_v=53; q=0,45; x=0,3; y=0,2; p=0,1; u=0,1; m=0,33; T=180\text{хв}$

Подача на зуб визначається за формулою:

$$S_z = \frac{S_{xg}}{z \cdot n} = \frac{200}{28 \cdot 165} = 0,0433 \text{ мм/зуб} \quad (3.47)$$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{iv}, \quad (3.48)$$

$$K_{mv} = K_r \left( \frac{750}{\sigma_s} \right)^{n_v} \quad (3.49)$$

$K_r=0,8; n_v=1,0.$

$$K_{mv} = 0,7 \left( \frac{750}{800} \right)^{1,0} = 0,656$$

$K_{nv} = 0,; K_{iv} = 1,15$

$$K_v = 0,65 \cdot 0,8 \cdot 1,15 = 0,604$$

$$v = \frac{53 \cdot 95^{0,45} \cdot 0,604}{180^{0,33} \cdot 2,5^{0,3} \cdot 0,043^{0,2} \cdot 5^{0,1} \cdot 28^{0,1}} = 47,5 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} \quad (3.50)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 47,5}{3,14 \cdot 95} = 157,5 \text{ об/хв}$$

Приймаємо  $n=165\text{ об/хв.}$

Розрахунок сили різання:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B_z^u}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{Mp} \quad (3.51)$$

$C_p=47$ ;  $x=0,86$ ;  $y=0,72$ ;  $u=0,1$ ;  $q=0,86$ ;  $w=0$ .

$$P_z = \frac{10 \cdot 47 \cdot 2,5^{0,86} \cdot 0,043^{0,72} \cdot 5^{0,1} \cdot 28}{95^{0,86} \cdot 165^0} \cdot 1,02 = 121,62 \text{ Н}$$

Крутний момент на шпинделі:

$$M_{kp} = \frac{2 \cdot P_z \cdot v}{2 \cdot 100} \quad (3.52)$$

$$M_{kp} = \frac{2 \cdot 121,62 \cdot 95}{2 \cdot 100} = 115,52 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Потужність різання:

$$N_e = \frac{2 \cdot P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} \quad (3.53)$$

$$N_e = \frac{2 \cdot 121,62 \cdot 95}{1020 \cdot 60} = 0,2 \text{ кВт}$$

В серійному виробництві визначаються норми штучно-калькуляційного часу  $T_{шт.к}$ [3]

$$T_{шт.к} = \frac{T_{н.з}}{n} + T_{шт} \quad (3.54)$$

$T_{н.з}$  - підготовчо-заклучний час, хв.;  $n$  - кількість деталей в партії;  $T_{шт}$  - штучний час.

Тривалість роботи по штучному часу

$$T_{шт} = T_0 + T_g + T_{обс} + T_{відп} \quad (3.55)$$

$T_o$  - основний машинний час, хв.;  $T_e$  - допоміжний час, хв.;  $T_{обс}$  - час на обслуговування робочого місця, хв.;  $T_{відп}$  - час на відпочинок та особисті потреби, хв.

Час на обслуговування робочого місця визначається за формулою:

$$T_{обс} = T_{оп} \cdot P_{обс} \quad (3.56)$$

$T_{оп}$  - оперативний час, хв.;  $P_{обс}$  - процент обслуговуючого часу від оперативного, %.

Таблиця 3.12 - Зведена таблиця режимів різання

Назва операції та переходи	Режими різання				
	S, мм/об (мм/хв)	n, об/хв.	v, м/хв	t, мм	N <sub>e</sub> , кВт
1	2	3	4	5	6
1. Фрезерно-центрувальна					
1.1 Фрезерувати торець	200	280	93	3	3,14
1.2 Центрування отворів	0,06	315	12,7	3,15	0,1
2. Токарна з ЧПК					
2.1 Точити торець	0,15	250	70,6	2	2,85
2.2 Точити по програмі	0,3	300	82,8	2	2,85
2.3 Точити канавку	0,08	400	44	6	2,85
3. Токарна з ЧПК					
3.1 Точити торець	0,15	200	54	3	2,65
3.2 Точити поверхню	0,4	300	68,4	2	2,65
3.3 Точити поверхню	0,42	300	42,7	2	2,65
4. Зубофрезерна	2,04	78	28		2,0
5. Шліцефрезерна	(200) 0,8	165	47,5	2,5	0,62
6. Зубошевінгувальна	0,90	160	105	0,18	
7. Зубошліфувальна	2,0	105	28	0,07	

8. Вертикально-свердлильна	0,04	560	16,4		0,117
9. Круглошліфувальна	0,6	250	35,0	0,03	0,32

Оперативний час визначаємо за формулою

$$T_{on} = T_o + T_e \quad (3.57)$$

Проводимо розрахунок норм штучно-калькуляційного часу по операціях

1) фрезерно-центрувальна операція

$$T_{n.з} = 15 \text{ хв}$$

Визначаємо допоміжний час

$$T_{вст.загот} = 0,11 \text{ хв}$$

$$T_{доп.опер} = 0,17 \text{ хв}$$

$$T_{конт} = 0,06 \text{ хв}$$

$$T_{контр.фрез.} = 0,16 \text{ хв}$$

$$T_e = 0,11 + 0,17 + 0,06 + 0,16 = 0,48 \text{ хв}$$

- визначаємо основний час

а) фрезерний перехід

$$t_{оф} = \frac{L_{p.x}}{S}$$

де  $L$  - довжина фрезерування, мм

$S$  - хвилинна подача, об/хв.

$$S = 200 \text{ мм/об}$$

$$L = L_{piz} + y + L_{дон}$$

де  $L_{piz} = D_{загот.} = 60$  мм

$y$  - довжина перебігу, мм

$$y = 5 \text{ мм}$$

$$L_{дон} = D_{фр.} = 100 \text{ мм}$$

$$L = 60 + 5 + 100 = 165 \text{ мм}$$

$$t_{оф} = \frac{165}{20} = 0,825 \text{ хв}$$



б) центрувальний перехід

$$t_{ou} = \frac{L_{p.x}}{n \cdot S_0}$$

$$L_{p.x} = L_{piz} + y + L_{don}$$

$L_{p.x} = 17$  мм;  $y$  - довжина підводу, мм;  $y = 5 - 1 = 4$  мм,  $n = 315$  об/хв;  $S = 0,06$  мм/об

$$t_{ou} = \frac{12 + 4}{315 \cdot 0,06} = 0,9 \text{ хв}$$

$$T_0 = t_{of} + t_{ou} + t_{переходу}$$

$$t_{переходу} = 0,02 \text{ хв}$$

$$T_0 = 0,825 + 0,9 + 0,02 = 1,75 \text{ хв}$$

$$T_{on} = 1,75 + 0,48 = 2,23 \text{ хв}$$

$$П_{обс} = 3,5\% \cdot T_{on}$$

$$П_{обс} = \frac{3,5 \cdot 2,23}{100} = 0,08 \text{ хв}$$

$$T_{ум.к} = \frac{15}{180} + 2,23 + 0,08 = 2,39 \text{ хв}$$

в) операція зубофрезерна

$$T_{н.з} = 32 \text{ хв}$$

$$T_g = 0,02 + 0,25 = 0,27 \text{ хв}$$

Основний час

$$t_0 = (L_{p.x} \cdot z_q) \cdot S_0 \cdot n \cdot \varepsilon \cdot q$$

$$L_{p.x} = L_{piz} + y + L_{don}$$

$L_{piz} = b = 48$  мм;  $y = 37$  мм;  $z_q$  - кількість зубів шестерні-валу;  $z_q = 14$ ;  
 $L_{don} = h = 2,25$  мм - висота зуба;  $S_0$  - подача фрези, мм/об;  $\varepsilon$  - кількість заходів фрези,  $\varepsilon = 2/2 = 1$ ;  $q = 1$  - кількість оброблюваних деталей.

$$T_0 = ((48,2 + 37 + 2,25) \cdot 14) \cdot (2,04 \cdot 78 \cdot 1 \cdot 2/2) = 7,69 \text{ хв}$$

$$T_{on} = 0,27 + 7,69 = 7,94 \text{ хв}$$

$$P_{обс} = 4\% \cdot T_{он}$$

$$P_{обс} = \frac{4 \cdot 7,94}{100} = 0,31 \text{ хв}$$

$$T_{шт.к} = \frac{32}{180} + 7,94 + 0,31 = 8,43 \text{ хв.}$$

Для визначення штучно-калькуляційного часу інших операцій користуємося довідниками [16], [3].

Дані про визначення штучно-калькуляційного часу по операціях зведено в табл. 3.11

Таблиця 3.13- Розрахунок штучного часу

Номер та назва операції	Ос-новний час	Вста-новлення деталі	Керу-вання верс-татом	Конт-ролю-вання	Опе-ра-цій-ний час	Час на обл.в % від опер	Час на обл. в хв	Час на відп.	Шту-чний час	Під-гот.-закл. час	Вел. пар-тії	Шту-чно-каль. час
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
005 фре-зерно-центру-вальна	1,75	0,11	0,02	0,16	2,23	3,5	0,08	-	2,31	15	180	2,39
010 токарна з ЧПК	2,36	0,25	0,02	0,14	2,77	3,5	0,09	0,16	3,02	21	180	3,13
020 токарна з ЧПК	4,96	0,25	0,02	0,6	5,83	3,5	0,19	0,35	6,37	21	180	6,49
025 зубофре-зерна	7,69	0,25	0,02	-	7,94	4	0,31	-	8,25	32	180	8,43
030 шліце-фрезерна	12,73	0,12	0,70	0,72	14,58	4	0,58	0,87	8,02	32	180	8,14
035 зубоше-вінгува-льна	4,24	0,25	0,12	0,19	4,60	4	0,18	0,30	4,78	22	180	4,9
040 зубошлі-фуваль-на	10,5	0,20	0,64	0,8	11,51	12	1,38	-	12,89	12	180	13,04
045 вертика-льно-свердли-льна	0,68	0,12	0,29	0,08	1,17	3,5	0,04	0,07	1,28	12	180	1,65

050	0,80	0,25	0,04	0,16	1,25	9	0,11	0,08	1,44	25	180	1,58
кругло- шліфува- льна												

### 3.3 Визначення кількості обладнання

Вибір обладнання для механічної обробки деталі проводимо, виходячи з таких міркувань: [3]

- 1) технічні показники верстату повинні відповідати параметрам деталей, що виготовляються;
- 2) верстати за своєю продуктивністю повинні відповідати обсягу виробництва;
- 3) конструкція верстату повинна забезпечувати можливість механізації і автоматизації обробки.

Оскільки обладнання вибране в п.3.9 задовольняє вище вказані умови, то змінювати його буде недоцільно.

Для кожного вибраного верстату в технологічному процесі повинні бути розраховані коефіцієнт завантаження верстату  $\eta_z$ , коефіцієнт використання верстату по часу  $\eta_c$  та по потужності  $\eta_n$ .

Коефіцієнт завантаження верстату визначається, як відношення розрахункової кількості верстатів  $m_p$  задіяних на одній операції до прийнятої кількості верстатів  $m_n$ :

$$\eta_z = \frac{m_p}{m_n} \quad (3.58)$$

Розрахункова кількість верстатів визначається, як відношення штучного часу на даній операції  $T_{шт}$  до такту випуску  $t_B$ :

$$m_p = \frac{T_{шт}}{t_B} = \frac{T_{шт} \times N}{F_o \times 60} \quad (3.59)$$

$m_p$  – розрахункова кількість верстатів, шт.;  $T_{шт}$  – норма штучного часу, хв.;  $N$  – річна програма випуску, шт.;  $F_d$  – дійсний річний фонд часу, год.

#### Операція 005 Фрезерно-центрувальна

$$T_{шт.к} = 2,39$$

$$m_{p1} = \frac{2,39 \cdot 20000}{4015 \cdot 60 \cdot 1,3} = 0,15 \quad m_{np} = 1$$

$$\eta_{з1} = 0,15 \quad T_{01} = 1,75 \text{ хв}$$

$$\eta_{01} = \frac{T_0}{T_{шт.к}} = \frac{1,75}{2,39} = 0,73$$

$$\eta_m = \frac{N_{np}}{N_b}$$

$N_{np}$  - потужність необхідна на приводі верстата, кВт;

$N_b$  - потужність головного приводу верстату, кВт.

$$\eta_{m1} = \frac{2,39}{7,5} = 0,32$$

#### Операція 010 Токарна з ЧПК

$$T_{шт.к} = 3,13; T_{02} = 1,75 \text{ хв}; N_{np} = 2,85 \text{ кВт}$$

$$m_{p2} = \frac{3,13 \cdot 20000}{4015 \cdot 60 \cdot 1,3} = 0,20 \quad m_{np} = 1$$

$$\eta_{з2} = 0,20$$

$$\eta_{02} = \frac{T_0}{T_{шт.к}} = \frac{2,36}{3,13} = 0,75$$

$$\eta_{m2} = \frac{2,85}{10} = 0,28$$

#### Операція 020. Токарна з ЧПК

$$T_{шт.к} = 6,49; T_{03} = 4,96 \text{ хв}; N_{np} = 2,85 \text{ кВт}$$

$$m_{p3} = \frac{6,49 \cdot 20000}{4015 \cdot 60 \cdot 1,3} = 0,41 \quad m_{np} = 1$$

$$\eta_{з3} = 0,41$$

$$\eta_{03} = \frac{T_0}{T_{\text{шт.к}}} = \frac{4,96}{6,49} = 0,76$$

$$\eta_{\text{м3}} = \frac{2,85}{10} = 0,28$$

Операція 025. Зубофрезерна

$T_{\text{шт.к}}=8,43$ ;  $T_{04}=7,69$ хв;  $N_{\text{пр}}=2$ кВт

$$m_{\text{р4}} = \frac{8,43 \cdot 20000}{4015 \cdot 60 \cdot 1,3} = 0,56 \quad m_{\text{пр}} = 1$$

$$\eta_{\text{з4}}=0,56$$

$$\eta_{04} = \frac{T_0}{T_{\text{шт.к}}} = \frac{7,69}{8,43} = 0,91$$

$$\eta_{\text{м4}} = \frac{2}{19} = 0,10$$

Операція 030. Шліцефрезерна

$T_{\text{шт.к}}=8,14$ ;  $T_{05}=6,36$ хв;  $N_{\text{пр}}=2,65$ кВт

$$m_{\text{р5}} = \frac{8,14 \cdot 20000}{4015 \cdot 60 \cdot 1,3} = 0,52 \quad m_{\text{пр}} = 1$$

$$\eta_{\text{з5}}=0,52$$

$$\eta_{05} = \frac{T_0}{T_{\text{шт.к}}} = \frac{6,36}{8,14} = 0,78$$

$$\eta_{\text{м5}} = \frac{2,65}{19} = 0,13$$

Операція 035. Зубошевінгувальна

$T_{\text{шт.к}}=4,9$ ;  $T_{06}=4,24$ хв;  $N_{\text{пр}}=2,65$ кВт;  $N_{\text{в}}=3$ кВт

$$m_{\text{р6}} = \frac{4,9 \cdot 20000}{4015 \cdot 60 \cdot 1,3} = 0,31 \quad m_{\text{пр}} = 1$$

$$\eta_{\text{з6}}=0,31$$

$$\eta_{06} = \frac{T_0}{T_{\text{шт.к}}} = \frac{4,24}{4,9} = 0,87$$

$$\eta_{м6} = \frac{2,65}{3} = 0,88$$

Операція 040. Зубошліфувальна

$$T_{шт.к} = 13,04; T_{07} = 10,5 \text{ хв};$$

$$m_{p7} = \frac{13,04 \cdot 20000}{4015 \cdot 60 \cdot 1,3} = 0,83 \quad m_{np} = 1$$

$$\eta_{з7} = 0,83$$

$$\eta_{07} = \frac{T_0}{T_{шт.к}} = \frac{10,5}{13,04} = 0,80$$

$$\eta_{м7} = \frac{2,65}{5,5} = 0,48$$

Операція 045. Вертикально-свердлильна

$$T_{шт.к} = 1,35; T_{08} = 0,68 \text{ хв}; N_{пр} = 0,117 \text{ кВт}; N_{в} = 2,2 \text{ кВт}$$

$$m_{p8} = \frac{1,35 \cdot 20000}{4015 \cdot 60 \cdot 1,3} = 0,08 \quad m_{np} = 1$$

$$\eta_{з8} = 0,08$$

$$\eta_{08} = \frac{T_0}{T_{шт.к}} = 0,5$$

$$\eta_{м8} = \frac{0,117}{2,2} = 0,05$$

Операція 050. Круглошліфувальна

$$T_{шт.к} = 1,58; T_{09} = 0,8 \text{ хв}; N_{пр} = 6,32 \text{ кВт}; N_{в} = 10 \text{ кВт}$$

$$m_{p9} = \frac{1,58 \cdot 20000}{4015 \cdot 60 \cdot 1,3} = 0,1 \quad m_{np} = 1$$

$$\eta_{з9} = 0,1$$

$$\eta_{09} = \frac{T_0}{T_{шт.к}} = 0,51$$

$$\eta_{м9} = \frac{6,32}{10} = 0,63$$

Середній коефіцієнт завантаження верстатів:

$$\eta_{\text{сєр}} = \frac{\eta_{\text{з1}} + \eta_{\text{з2}} + \eta_{\text{з3}} + \eta_{\text{з4}} + \eta_{\text{з5}} + \eta_{\text{з6}} + \eta_{\text{з7}} + \eta_{\text{з8}} + \eta_{\text{з9}}}{9} = \frac{0,15 + 0,20 + 0,41 + 0,56 + 0,52 + 0,31 + 0,83 + 0,08 + 0,1}{9} = 0,35$$

Коефіцієнт використання обладнання по основному часу  $\eta_o$  вказує на частку машинного часу в загальному часі роботи верстату. Він визначається, як відношення основного часу до штучно-калькуляційного:

$$\eta_o = \frac{T_o}{T_{\text{шт.к.}}}$$

$$\eta_{o1} = \frac{1,75}{2,39} = 0,73;$$

$$\eta_{o6} = \frac{4,24}{4,9} = 0,87;$$

$$\eta_{o2} = \frac{2,36}{3,13} = 0,75;$$

$$\eta_{o7} = \frac{10,5}{13,04} = 0,80;$$

$$\eta_{o3} = \frac{4,96}{6,49} = 0,76;$$

$$\eta_{o8} = \frac{0,68}{1,35} = 0,5;$$

$$\eta_{o4} = \frac{7,69}{8,43} = 0,91;$$

$$\eta_{o9} = \frac{0,8}{0,58} = 0,51$$

$$\eta_{o5} = \frac{6,36}{8,14} = 0,78$$

$$\eta_{\text{осєр}} = \frac{0,73 + 0,75 + 0,76 + 0,91 + 0,51 + 0,78 + 0,87 + 0,80 + 0,5}{9} = 0,73$$

Використання верстату по потужності характеризується коефіцієнтом використання обладнання  $\eta_m$ , який являє собою відношення необхідної потужності по приводу верстату  $N_{\text{пр}}$  до потужності двигуна  $N_{\text{дв}}$ :

$$\eta_{m1} = \frac{2,39}{7,5} = 0,32;$$

$$\eta_{m6} = \frac{2,65}{3} = 0,88$$

$$\eta_{m2} = \frac{2,85}{10} = 0,28$$

$$\eta_{m7} = \frac{2,65}{5,5} = 0,48$$

$$\eta_{m3} = \frac{2,85}{10} = 0,28$$

$$\eta_{m8} = \frac{0,117}{2,2} = 0,05$$

$$\eta_{м4} = \frac{2}{19} = 0,10$$

$$\eta_{м9} = \frac{6,32}{10} = 0,63$$

$$\eta_{м5} = \frac{2,65}{19} = 0,13$$

$$\eta_{м.сеп} = \frac{0,32 + 0,28 + 0,28 + 0,10 + 0,13 + 0,88 + 0,48 + 0,05 + 0,63}{9} = 0,37$$

Згідно отриманих даних будуюмо графік завантаження обладнання та графік використання обладнання по основному часу.

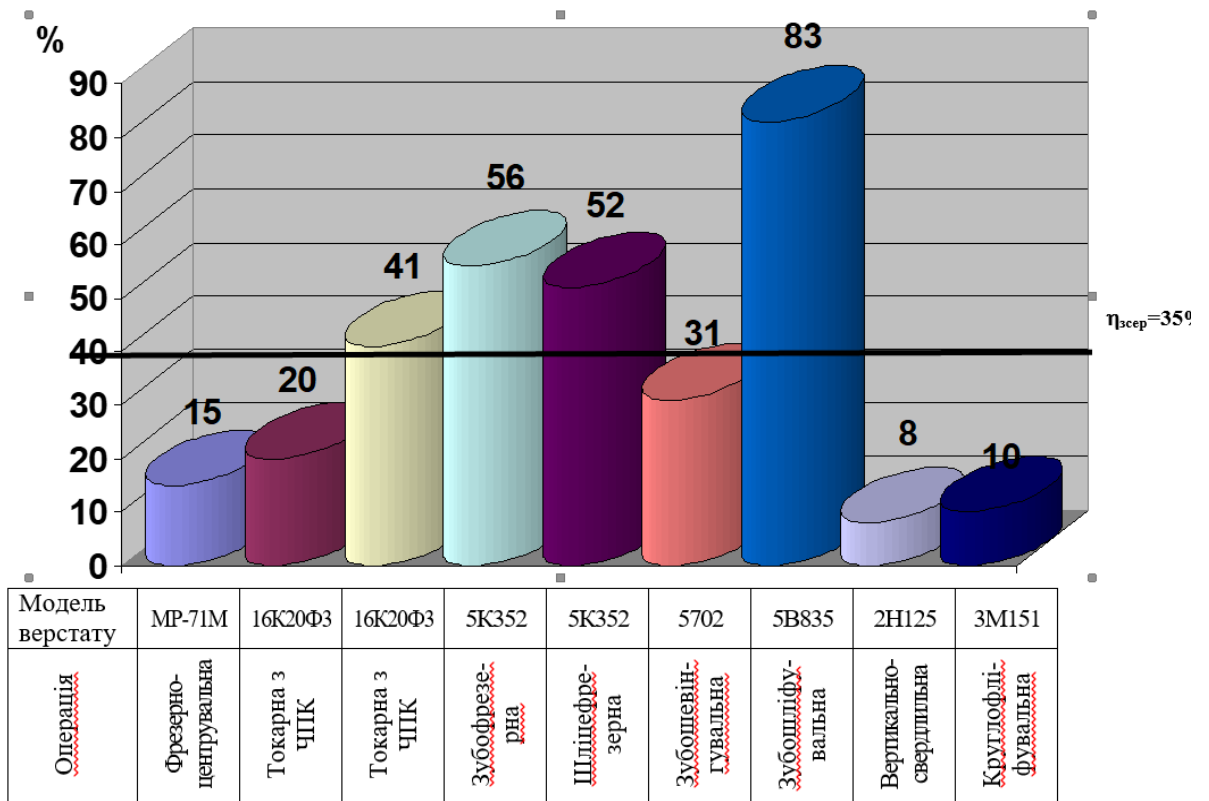


Рисунок 3.3 – Графік використання обладнання по потужності



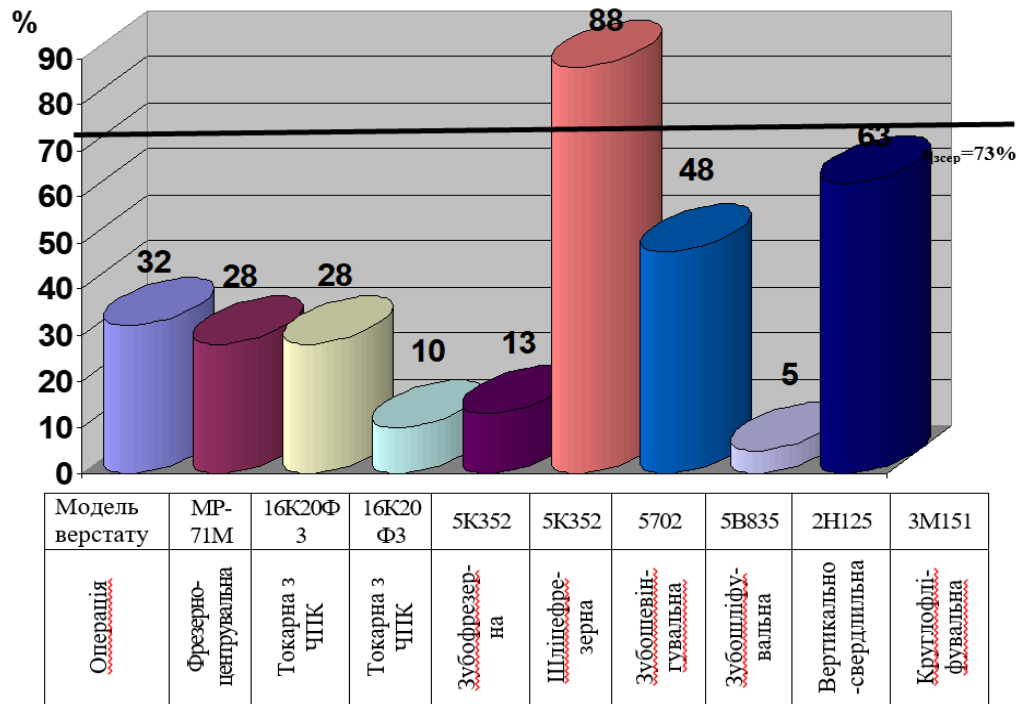


Рисунок 3.4 - Графік завантаження обладнання

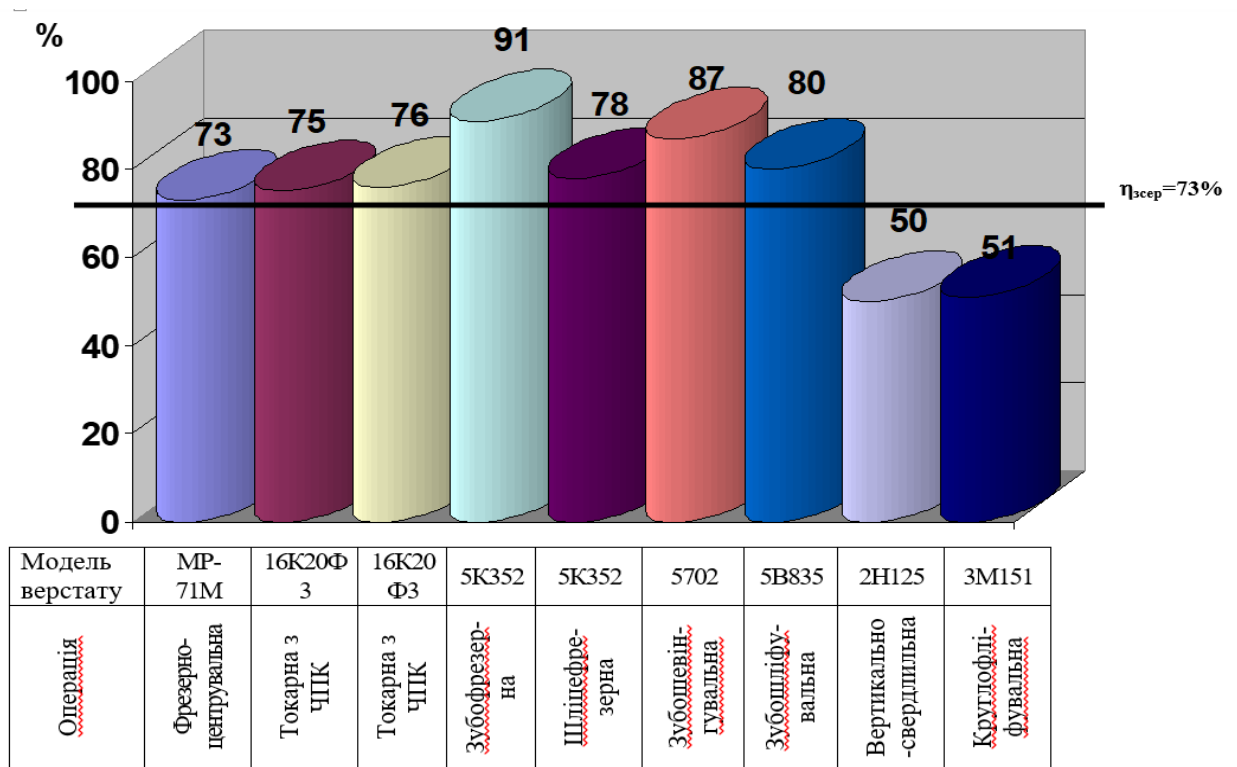


Рис. 3.5 – Графік використання обладнання по основному часу  
Технічна характеристика обладнання представлена в додатку С1.

### 3.4 Конструювання спеціального оснащення та інструменту

## Операція 030 Шліцефрезерна

Пристосування для фрезерування шліців. [10]

Дане пристосування призначене для фрезерування шліців на валу

Деталь закріплюється в цанговому патроні 2, який знаходиться в ділильній головці 1, яка забезпечує поворот деталі на потрібний кут. З другого боку деталь підтискається центром 9. Оскільки вал-шестерня є довгий тому застосовуємо люнет кулачковий 5.

Деталь встановлюється в призматичний патрон і підтискається з другого боку центром.

Вибір баз, розрахунок похибки базування

Заготовка, встановлена і закріплена силою  $Q$  в пневматичному пристосуванні, і знаходиться під дією осьової сили  $P_z$ .

Похибка базування рівна граничному допуску поля розсіювання віддалей між вимірюваною і технологічними базами у напрямку виконуваного розміру.

Оскільки в даному випадку міряльна і технологічна база суміщені, то  $\varepsilon_{\delta D} = 0$

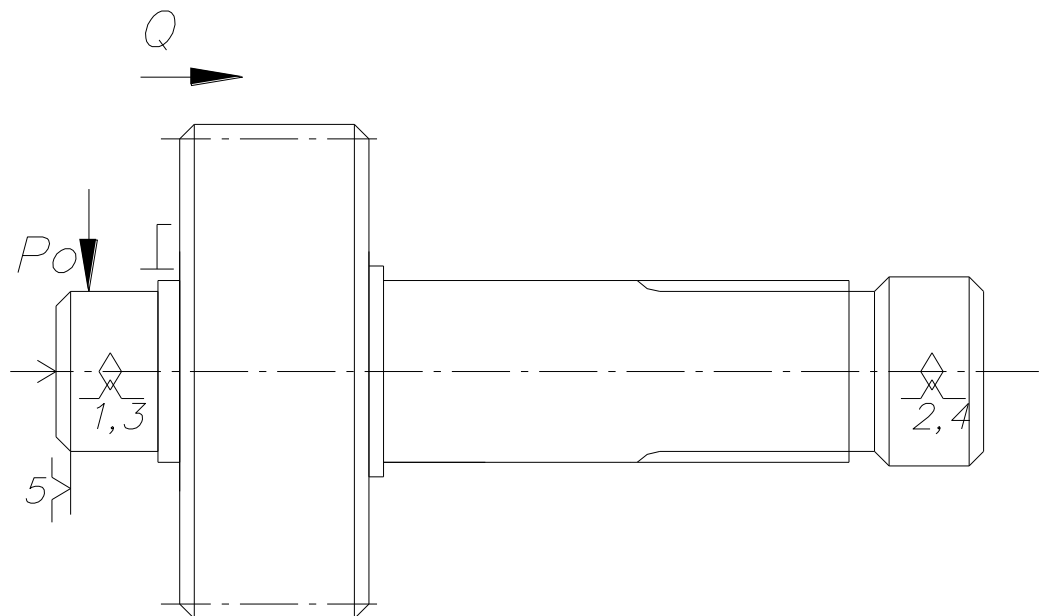


Рисунок 3.6 - Схема установки деталі

Заготовка встановлена і закріплена в призмах. На заготовку діє сила. Необхідна сила затиску визначається за формулою:

$$2 \cdot Q \cdot f = K \cdot P_z \quad (3.60)$$

Звідси:

$$Q_{\text{сум}} = \frac{K \cdot P_z}{2 \cdot f} \quad (3.61)$$

$f$  – коефіцієнт тертя,  $f=0,15$ ;  $P_0$  – сила різання, Н;  $K$  – коефіцієнт запасу;  $Q$  – сила затиску патроном, Н.

Сила різання визначається за формулою:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^n \cdot z}{D^q \cdot n^w} K_p \quad (3.62)$$

Для заданих умов обробки отвору діаметром  $\emptyset 6,3$ :

$C_p=68,2$ ,  $t=2$ ,  $x=0,86$ ,  $S_z=0,06$ ,  $B=30$ ,  $n=300$ ,  $z=32$ ,  $D=150$ ,  $q=0,86$ ,  $y=0,72$ ,  $w=0$ .

Враховуючи поправочний коефіцієнт силу різання:

$$K_{pz} = \left( \frac{HB}{190} \right)^{n_3} = \left( \frac{190}{190} \right)^{0,55} = 1, \quad (3.63)$$

$HB=190$

Інші поправочні коефіцієнти на силу різання при заданих умовах обробки не впливають.

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 2^{0,86} \cdot 0,06^{0,72} \cdot 30^{0,1} \cdot 32}{150^{0,86} \cdot 300^0} \cdot 1 = 98,7 \text{ Н}$$

Так як сили різання мають змінний характер, то для забезпечення надійності закріплення заготовок при розрахунку необхідних сил затиску їх збільшують на коефіцієнт запасу  $K$ . Залежно від конкретних умов виконання

технологічної операції значення  $K$  слід вибирати диференційовано. [3]  
Величину  $K$  можна визначити як добуток первинних коефіцієнтів:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \quad (3.64)$$

$K_0 = 1,5$  - гарантований коефіцієнт запасу;  $K_1 = 1,15$  - коефіцієнт, який враховує стан технологічної бази;  $K_2 = 1,0$  - враховує збільшення сил різання від прогресуючого затуплення різального інструменту;  $K_3 = 1,2$  - враховує ударне навантаження на інструмент;  $K_4 = 1$  - характеризує затискний механізм з точки зору надійності;  $K_5 = 1$  - характеризує зручність розміщення ручок;  $K_6 = 1,5$  - враховується при наявності моментів, які намагаються повернути заготовку.

Тоді коефіцієнт запасу запишеться в наступному вигляді:

$$K = 1,5 \cdot 1,15 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 3,105$$

Тоді сила затиску буде рівна:

$$Q_{\text{сум}} = \frac{3,105 \cdot 98,7}{2 \cdot 0,15} = 1025 \text{ Н} \quad (3.65)$$

Необхідна сила затиску  $Q = 1025 \text{ Н}$ .

При конструюванні пристосувань необхідно використовувати механізовані приводи для затискних механізмів. Для механічної обробки деталей в масовому і багатосерійному виробництві широко використовуються пневмоприводи.

Розрахунок діаметра пневмоциліндра:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot p \cdot \eta}} \quad (3.66)$$

$p = 0,4 \text{ МПа}$  - тиск стисненого повітря;  $\eta = 0,9$  - ККД, що враховує втрати в циліндрі;  $Q = 170700 \text{ Н}$  - сила, необхідна для затиску заготовки.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1025}{3,14 \cdot 0,4 \cdot 10^6 \cdot 0,9}} = 0,169 \text{ м} = 169 \text{ мм}$$

Приймаємо згідно стандартного ряду  $D = 200 \text{ мм}$ .

Операція 045 Вертикально-свердлильна

Приспосіблення для свердління центрових отворів в деталі

Дане пристосування призначене для свердління центрових отворів в деталі розміром  $\text{Ø}6,3 \text{ мм}$

Деталь закріплюється в пристосуванні за допомогою двох призм 7 і 8, які рухаються по основах 13. зверху основа закривається кришками 12 і 13. силовим механізмом є пневмоциліндр 1, який за допомогою тяги 10 приводить в рух призму 7. Рух призми 8 відбувається за допомогою шестерні 18, яка рухається по рейці 19, яка кріпиться до призми 7 за допомогою штифтів 33. Рух від шестерні передається через рейку 15 до планки 16, в яка кріпиться до тяги 11. в свою чергу тяга 11 робить зворотно-поступальні рухи призми 8.

Рейка 15 рухається по втулках 16 і 17. Хід рейки обмежується болтом 26, який входить в паз вифрезерований в ній.

Вибір схеми установки деталі в пристрої

В даному випадку деталь базується по циліндричній поверхні за допомогою призм і торцевою поверхнею на основі пристосування.

Вибір баз, розрахунок похибки базування

Заготовка, встановлена і закріплена силою  $Q$  в пневматичному пристосуванні, і знаходиться під дією осьової сили  $P_o$ .

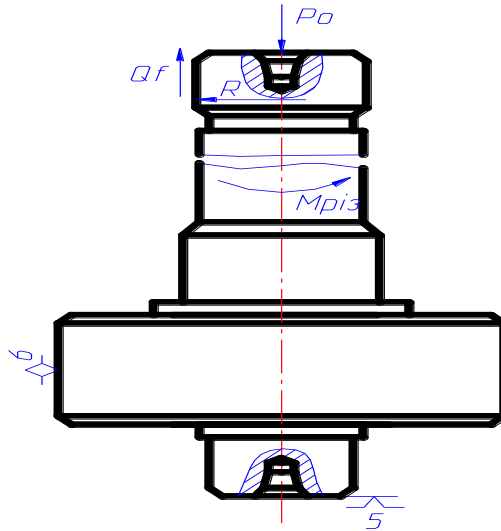


Рисунок 3.7 – Схема установки деталі в пристрої

Похибка базування рівна граничному допуску поля розсіювання віддалей між вимірюваною і технологічними базами у напрямку виконуваного розміру. Оскільки в даному випадку міряльна і технологічна база суміщені, то  $\varepsilon_{\delta D} = 0$ .

Розрахунок сил затиску і визначення основних параметрів механізму затиску

Заготовка встановлена і закріплена в призмах. На заготовку діє потрібна сила затиску визначається по формулі:

$$Q_{\text{сум}} \cdot f \cdot R = K \cdot M_{\text{piz}} \quad (3.67)$$

Звідси:

$$Q_{\text{сум}} = \frac{K \cdot M_{\text{piz}}}{f \cdot R} \quad (3.68)$$

$f$  – коефіцієнт тертя,  $f=0,15$ ;  $M_{\text{piz}}$  – момент сили різання, Н·м;  $R$  – радіус заготовки,  $R = 22,5\text{мм}$ ;  $K$  – коефіцієнт запасу;  $Q_{\text{сум}}$  – сумарна сила затиску двома призмами, Н.

При більшому значенню  $P_x$

Сила різання визначається за формулою:

$$P_0 = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p \quad (3.69)$$

Для заданих умов обробки отвору діаметром Ø6,3:

$C_p=42,7$ ,  $y=0,8$ ,  $q=1,0$ ,  $L=28$ ,  $i=1$ ,  $S_{св}=0,04$ ,  $n_{св}=560$ хв,  $V=16,4$ м/хв. див

розділ 2

Враховуючи поправочний коефіцієнт силу різання:

$$K_{PZ} = \left( \frac{HB}{190} \right)^{n_3} = \left( \frac{190}{190} \right)^{0,55} = 1, \quad (3.70)$$

HB=190

Інші поправочні коефіцієнти на силу різання при заданих умовах обробки не впливають.

$$P_0 = 10 \cdot 42,7 \cdot 6,3^1 \cdot 0,04^{0,8} \cdot 1 = 205 \text{ H}$$

Так як сили різання мають змінний характер, то для забезпечення надійності закріплення заготовок при розрахунку необхідних сил затиску їх збільшують на коефіцієнт запасу  $K$ . Залежно від конкретних умов виконання технологічної операції значення  $K$  слід вибирати диференційовано. Величину  $K$  можна визначити як добуток первинних коефіцієнтів:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \quad (3.71)$$

$K_0 = 1,5$  - гарантований коефіцієнт запасу;  $K_1 = 1,15$  - коефіцієнт, який враховує стан технологічної бази;  $K_2 = 1,0$  - враховує збільшення сил різання від прогресуючого затушення різального інструменту;  $K_3 = 1,2$  - враховує ударне навантаження на інструмент;  $K_4 = 1$  - характеризує затискний механізм з точки зору надійності;  $K_5 = 1$  - характеризує зручність розміщення ручок;  $K_6 = 1,5$  - враховується при наявності моментів, які намагаються повернути заготовку

Тоді коефіцієнт запасу запишеться в наступному вигляді:

$$K = 1,5 \cdot 1,15 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 3,105$$

Момент різання, який виникає на свердлі в процесі різання рівний:

$$M_{KP} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_P \quad (3.72)$$

$$C_M = 0,3, y = 0,8, q = 2,0$$

$$M_{KP} = 10 \cdot 68 \cdot 6,3^2 \cdot 0,04^{0,8} \cdot 1 = 23500H \cdot мм \quad (3.73)$$

Тоді сила затиску буде рівна:

$$Q_{сум} = \frac{3,105 \cdot 23500}{0,15 \cdot 22,5} = 22000H \quad (3.74)$$

Необхідна сила затиску  $Q = 22000H$ .

Розрахунок діаметра пневмоциліндра:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot p \cdot \eta}} \quad (3.75)$$

$p = 0,4MPa$  - тиск стисненого повітря;  $\eta = 0,9$  - ККД, що враховує втрати в циліндрі;  $Q = 170700H$  - сила, необхідна для затиску заготовки.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 22000}{3,14 \cdot 0,4 \cdot 10^6 \cdot 0,9}} = 0,279м = 279мм$$

Приймаємо відповідно до стандартного ряду  $D = 300мм$ .

Економічний розрахунок всіх прийнятих рішень представлено в додатку С2.



## 4 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

### 4.1 Визначення основних і допоміжних площ цеху

Приблизна площа дільниці розраховується по питомій площі, що припадає на один верстат. [7] Так як на дільниці 13 верстатів то

$$S_{заг} = 13 \times 26 = 338 \text{ м}^2, \quad (4.1)$$

26 м<sup>2</sup> – питома площа, що припадає на один верстат і вибирається по нормах технологічного проектування.

Для обслуговування дільниці в заточному відділенні повинні бути наявності:

- універсальний заточний верстат;
- заточний верстат для заточки свердел.

Кількість контрольних пунктів залежить від кількості виробничих робітників. Для великосерійного виробництва кількість контролерів рівна 6% від кількості виробничих робітників:

$$P_k = 0,065 \times 15 = 0,97 = 1 \text{чол.}$$

Розміри контрольних пунктів приймаємо рівними 2×2 м.

Площа контрольних пунктів:

$$S_k = P_k \cdot S, \quad (4.2)$$

$$S_k = 1 \cdot 4 = 4 \text{ м}^2,$$

Площа цехового складу матеріалів і заготовок для обслуговування даної дільниці рівна:

$$S_{ц} = \frac{Q_{чорн} \times t}{2 \cdot 60 \times q \times K_s}, \quad (4.3)$$

$Q_{чорн}$  – маса матеріалу і заготовок річного обсягу продукції, тон;  $t$  – середня кількість робочих днів, протягом яких матеріали зберігаються на

складі до поступання їх на обробку;  $t = 12$ ;  $q$  – середнє допустиме навантаження на  $1\text{ м}^2$  корисної площі підлоги;  $q = 2,8\text{ т/м}^2$ ;  $K_6$  – коефіцієнт використання площі складування;  $K_6 = 0,4$ .

Тоді площа буде рівною:

$$S_y = \frac{98 \cdot 12}{2 \cdot 60 \times 2,8 \times 0,4} = 9\text{ м}^2.$$

Площа інструментально-роздаточної кладової визначається:

$$S_{PI} = 0,3 \times S_{zag} = 0,3 \times 338 = 102\text{ м}^2. \quad (4.4)$$

Площа допоміжної кладової:

$$S_{on} = 0,2 \cdot S_{zag} = 0,2 \cdot 338 = 68\text{ м}^2 \quad (4.5)$$

Площа кладової інструментального оснащення:

$$S_{kio} = 0,4 \cdot S_{zag} = 0,4 \cdot 338 = 135\text{ м}^2 \quad (4.6)$$

## **4.2 Розробка планів компонування цеху та розміщення обладнання на ділянці**

Вибір типу виробничої будівлі проводимо користуючись рекомендаціями [7]. Для виробничої будівлі приймаємо одноповерхову споруду з повним каркасом, в якій вертикальними несучими елементами є колони, а зовнішні стіни являються лише огорожувальними елементами. Виробнича будівля складається з уніфікованих типових секцій із сіткою колон  $18 \times 12\text{ м}^2$ . Пристінні ряди колон розміщуються з кроком 6 м. висоту прольотів з підвісним транспортом вантажопідйомністю до 5 т приймаємо рівною 7,2 м.

Основними елементами каркасів в одноповерховій будівлі є фундаменти, колони, стропильні та підстропильні конструкції.

Крайні колони є основними, які сприймають навантаження від конструкцій перекриття. Несучі конструкції покрівель складаються із стропильних і підстропильних.

Стропильні ферми перекривають прольот і підтримують настил покрівель. Підстропильні ферми перекривають дванадцятиметровий крок колон і утворюють проміжні опори для розташування стропильних ферм із шестиметровим кроком. Тип покрівлі – скатний. В якості стропильних конструкцій для скатної покрівлі використовуємо уніфіковані залізобетонні стропильні елементи – ферми.

Зовнішні стіни будівлі виконуються із залізобетонних стінових панелей висотою 1,8 м, довжиною 6м (чи 12м) і товщиною 0,4м. скатну покрівлю виконуємо із вмонтованими світлоаераційними ліхтарями з метою освітлення приміщення природнім світлом та аерації, тобто природної вентиляції виробничих приміщень. Ліхтарі виконуються повздовжніми. При залізобетонних несучих частинах покрівлі несучі частини ліхтаря виконують стальними. Розміри ліхтаря при ширині 6 м, для прольоту 18 м і висоти становлять 2410 мм. Несучий настил при кроці стропильних конструкцій 6 м виконується із уніфікованих залізобетонних ребристих плит розміром 3×6 м і висотою ребер 0,3 м. [8]

План розміщення обладнання виконуємо в масштабі 1:100. обладнання розміщуємо по ходу ТП так, щоб не було зворотних переміщень. Відстані між верстатами та елементами, ширину проїзду і відстань від верстатів до проїзду вибираємо з таблиць. На плані розміщення обладнання зображаємо також і розміщення робочих місць.

## **5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **5.1 Засоби, які забезпечують безпечні умови роботи на проектованій ділянці**

Забезпечення здорових і безпечних умов праці робітників повинна забезпечувати адміністрація підприємства. Адміністрація впроваджує сучасні засоби техніки безпеки, які запобігають виробничому травматизму та забезпечує санітарно-гігієнічні умови праці.

Засоби захисту робітників поділяються за характером застосування на засоби колективного захисту (ЗКЗ) і засоби індивідуального захисту (ЗІЗ).

Засоби колективного захисту в свою чергу класифікуються по виду небезпечних і шкідливих факторів, а ЗІЗ - в основному від виду органів, які вони захищають.

До ЗІЗ відносяться гідроізолюючі костюми і скафандри, шоломи, протигази, респіратори, каски, пневмошоломи, пневмомаски, різні види спеціального одягу і взуття, захисні окуляри, рукавиці, перчатки, шапки, протишумні шоломи, навушники, вкладиші, запобіжні пояси, захисні дерматологічні засоби.

Пристосування для забезпечення безпеки в розробленому технологічному процесі безпосередньо не використовуються. Вони призначені для забезпечення безпеки і зручності роботи робітників. [5]

Для захисту від променевої енергії, ультрафіолетових і інфрачервоних променів, застосовують окуляри із спеціальними світлофільтрами. При газозварюванні використовують захисні окуляри із жовто-зеленими світлофільтрами. При роботі на верстатах з виділенням стружки і утворенням іскор використовуються скляні щитки.

Для захисту голови використовуються шапки, каски, берети. Для захисту обличчя - захисні маски. Для захисту рук - рукавиці. Для захисту органів дихання - протигази, респіратори. Для захисту органів слуху -

протишумні навушники, протишумні вкладиші. Спеціальний одяг: комбінезони, напівкомбінезони, халати, нарукавники.

На проєктованій ділянці ми використовуємо такі наступні засоби захисту, які забезпечують нормальні умови роботи:

- ✓ Респіратори;
- ✓ Спецодяг;
- ✓ Рукавиці;
- ✓ Каски;
- ✓ Навушники;
- ✓ Захисні окуляри
- ✓ Скляні щитки
- ✓ Окуляри із жовто-зеленим світлофільтрами;
- ✓ Захисні маски;
- ✓ Діелектричні килимки

## **5.2 Розрахунок системи захисту електродвигунів проєктованого верстату від струму короткого замикання**

Для захисту електричного двигуна від короткого замикання на корпус застосовується заземлюючий пристрій. Заземленню підлягає все обладнання у всіх випадках при напрузі 380 В при змінному струмі і 440 В при постійному а також у особливо небезпечних приладах, коли напруга вища за 42 В для змінного струму і 110 В при постійному струмі.

Штучне заземлення це вертикально забиті в землю труби діаметром 50-60 мм і довжиною 2-2,5 м і горизонтально покладена полоса.

$d$ - діаметр труби (стержня),  $H$  - глибина стержневого заземлювача нижче землі,  $H = 1,6$  м,  $l$  - довжина стержня  $l = 2$  м,  $b$  - ширина полоси,  $b = dl = 30$  м,  $a$  - віддаль між стержнями,  $a = 2$  м,  $h$  - віддаль від полоси до поверхні землі,  $h = 0,6$  м.

1. Визначаємо опір одиничного вертикального заземлювача, - заглибленої нижче рівня землі на  $H = 1,6$  м.

$$R_{\text{под}} = \frac{\rho}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + 0,5l \ln \frac{4H+l}{4H-l} \right) = \frac{3 \cdot 10^2}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \left( \ln \frac{2 \cdot 2}{0,6} + 0,5 \cdot 2 \cdot \ln \frac{4 \cdot 1,6 + 2}{4 \cdot 1,6 - 2} \right) = 56 \text{ Ом}$$

2. Визначаємо кількість заземлювачів.

$$n = \frac{R_{\text{emp}}}{r\eta\eta_c};$$

$r$  - нормована величина заземлення,  $r = 4$  Ом,  $\eta$  - коефіцієнт використання,  $\eta = (0,56 - 0,78)$ . Приймаємо  $\eta = 0,75$ ,  $\eta_c$  - коефіцієнт сезонності,  $\eta_c = (0,5 - 0,6)$ . Приймаємо  $\eta_c = 0,55$ .

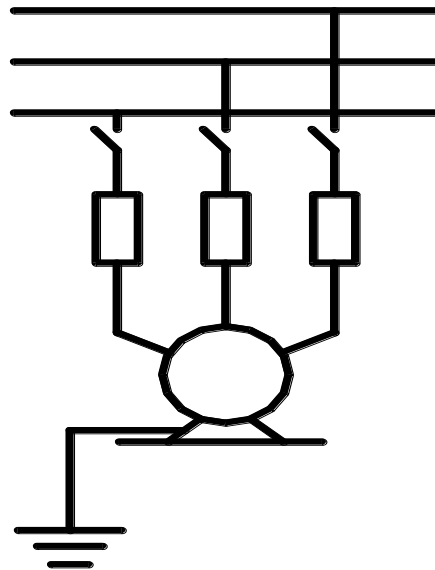


Рисунок 5.1 - Принципова схема заземлення

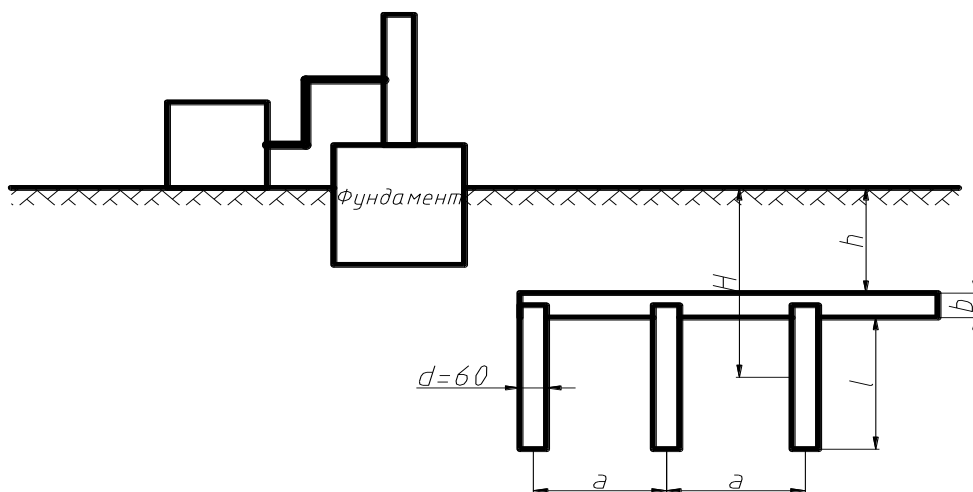


Рисунок 5.2 - Розрахункова схема заземлення верстату

$$n = \frac{56}{4 \cdot 0,75 \cdot 0,55} = 33,94$$

Приймаємо  $n=34$  шт.

3. Визначаємо довжину полоси -  $L$

$$L = 1,05 \cdot a(n-1), \text{ м}$$

де  $a$  - віддаль між стержнями,  $a=2$  м.

$$L = 1,05 \cdot 2(34-1) = 69,3 \text{ м}$$

4. Визначаємо опір полоси

$$r_{пол} = \frac{\rho}{2\pi l} \cdot \ln \frac{2L^2}{hb} = \frac{3 \cdot 10^2}{2 \cdot 3,14 \cdot 69,3} \ln \frac{2 \cdot 69,3^2}{0,6 \cdot 0,03} = 9,10 \text{ Ом}$$

$\rho = 3 \cdot 10^2$  Ом·м, питомий опір.

4. Визначаємо опір контуру заземлення

$$R_{\epsilon\zeta} = \frac{R_{\text{ндд}} \cdot r_{\text{ііє}}}{R_{\text{сдд}} \cdot \eta_i + r_i \cdot \eta_{\text{сдд}} i} \leq 4 \text{ Ом}$$

$\eta_n$ - коефіцієнт використання полоси, приймаємо  $\eta_n = 0,29$ :

$\eta_{\text{стр}}$ - коефіцієнт використання заземлювачів, приймаємо  $\eta_{\text{стр}}=0,7$ .

Потрібна умова виконується.

### 5.3 Оцінка стійкості об'єкту господарської діяльності до дії вторинних уражуючих факторів ядерного вибуху

Дослідження стійкості об'єкту народного господарства полягає у вивченні умов, які можуть скластися у воєнний час та визначенні їх впливу на виробничу діяльність підприємства. Головною метою дослідження є виявлення недоліків в роботі об'єкту у воєнний час та розробці ефективних міроприємств, які б підвищили стійкості об'єкту.

Оцінка стійкості об'єкту у військовий час може бути виконана за допомогою моделювання ураження об'єкту при дії уражуючих факторів атомного вибуху, та базуватиметься на основі результатів випробувань і розрахункових даних. [5] При цьому слід враховувати наступні положення:

- основними уражуючими факторами ядерного вибуху являються: повітряна ударна хвиля, світлове випромінювання і електромагнітний імпульс.

- при атомному вибуху можуть виникати вторинні уражуючі фактори: пожежі, вибухи, зараження отруйними та сильно діючими токсичними речовинами атмосфери, водойм, катастрофічне затоплення в зонах, які розміщені нижче дамб і плотин, і тому подібне.

До основних уражуючих факторів атомного вибуху відносять: повітряну ударну хвилю, світлове випромінювання, електромагнітний імпульс, проникаюча радіація.

Розглянемо можливу дію цих факторів на об'єкт народного господарства.

Ударна хвиля - основний вражаючий чинник ядерного вибуху. Вона являє собою область сильно стислого повітря, що розлітається у всі сторони від центра вибуху з надзвуковою швидкістю.

Ударна хвиля має фазу стиснення і фазу розрідження. У фазі стиснення ударної хвилі тиск вище атмосферного, а в фазі розрідження – навпаки, нижче. Найбільший тиск повітря спостерігається на зовнішній границі фази стиснення - у фронті хвилі.

В момент, коли приходить фронт ударної хвилі, спостерігається миттєве підвищення тиску від нормального (атмосферного)  $P_0$ , до максимального у фронті ударної хвилі  $P_\phi$ . Потім, тиск падає нижче атмосферного.

При безпосередньому впливі ударної хвилі причиною ураження є надмірний тиск. При непрямому - люди травмуються обломками зруйнованих будівель, осколками скла і іншими предметами, що переміщуються під швидкою дією повітря.

Непрямий вплив ударної хвилі завдає людям поранення і пошкодження самого різного характеру на значно більших відстанях від центра вибуху, ніж при прямому впливі ударної хвилі. Він можливий в зонах з надмірним тиском 3 кПа і більше.

Опір будівель і споруд до впливу ударної хвилі залежить від їх конструкції, висоти, розмірів і інших параметрів.



## ВИСНОВКИ

В результаті виконання даної магістерської роботи було розроблено принципово новий технологічний процес виготовлення деталі ДРГ 335.911 з використанням багатоцільових верстатів з ЧПК.

А також на основі проведеного аналізу фізико-механічних явищ, які супроводжують процес різання, а також узагальнення останніх досягнень в теорії різання матеріалів і технології машинобудування узагальнено аналітичні вирази для дослідження залежностей оптимального режиму різання від параметрів процесу точіння.

Дані аналітичні вирази справедливі при широкому діапазоні зміни технологічних умов здійснення процесу токарної обробки матеріалів, які поряд зі своєю структурною простотою і типовою єдністю враховують взаємовплив і взаємозв'язок змінних технологічних факторів, розміри і конструкційні особливості оброблюваної заготовки, тип закріплення оброблюваної заготовки на верстаті, жорсткість використовуваного металорізального обладнання та інструменту.

У кваліфікаційній роботі спроектовано покращену технологію виготовлення деталі, враховуючи сучасні досягнення в галузі технології, обладнання та оснащення, запропоновано технологію виготовлення деталі з допомогою САПР ТП, вибрано конструкції спеціальних верстатних і контрольних пристосувань, засобів технологічного оснащення, спеціального різального інструменту, середовище САПР „ТехноПро” для автоматизованого розроблення технологічного процесу, принцип концентрації (поєднання) операцій, що привело до підвищення продуктивності обробки при зниженні її трудомісткості; поєднання в одному верстаті декількох методів обробки, що скорочує кількість обладнання і знижує трудомісткість виготовлення; принцип безлюдної технології за рахунок комплексної автоматизації та широкої роботизації.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Боженко Л.І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготованок. Львів: Світ, 1996. 368 с.
2. Грабченко А.І., Узунян М.Д., Зубкова Н.В та ін. Розрахунок найвигідніших режимів різання при точінні. Харків НТУ «ХПІ» 2014. 87 с.
3. Григурко І. О., Брендюля М. Ф., Доценко С. М. Технологія машинобудування. Дипломне проектування : навч. посіб. Львів : Новий світ, 2011. 768 с.
4. Гурей В.І. Зб. Тез VIII Міжнародної студентської науково - технічної конференції "ПРИРОДНИЧІ ТА ГУМАНІТАРНІ НАУКИ. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ". Тернопіль : ТНТУ, 2015. С.136
5. Джигерей В. С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища : навч. посіб. Вид. 2-ге, стер. Київ : Знання, 2002. 203 с.
6. Жарков Н. В., Прокди Р. Г., Финков М. В. AutoCAD 2014 : посібник. Санкт-Петербург : Наука и техника, 2014. 624 с.
7. Капаціла Ю. Б., Комар Р. В., Дячун А. Є. Механоскладальні дільниці та цехи : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 40 с.
8. Капаціла Ю. Б., Комар Р. В. Проектування машинобудівних виробництв : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2017. 40 с.
9. Кушак О.М. Методичні вказівки для виконання економічної частини дипломного проекту для студентів спеціальності 5.05050302 «Технологія обробки матеріалів на верстатах і автоматичних лініях». Тернопіль: Технічний коледж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, 2018. 19 с.
10. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б. Технологія оброблення корпусних деталей
11. Паньків М., Лозовенко Д. Визначення раціональних режимів різання при точінні. Зб. Тез Матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій –

- Тернопіль 25-26 листопада 2020.: ТНТУ, 2020. С.104.
12. Петраков Ю В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням. УкрНДІАТ, К.: 2004.– 384 с.
  13. Маталин А.А. Технология машиностроения.– Л. – М., 1985. – 496 с.
  14. Міренський І.Г. Основи технології машинобудування: навч. посіб. Харків: ХНАМГ, 2007. 275 с.
  15. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки : навч. посіб. / Ж. П. Дусанюк та ін. Вінниця, 2009. 199 с.
  16. Локтев А. Д. Общемашиностроительные нормативы режимов резания : справочник. В 2 т. Москва : Машиностроение, 1991.
  17. Солнцев Ю. П. Материаловедение : учебник для вузов. Санкт-Петербург : Химиздат, 2007. 784 с.
  18. Хоменко Ж.М. Аналіз можливостей використання середовищ комп'ютерної математики для розв'язку задач оптимізації систем// Вісник – Житомир: ЖДТУ, 2018. Вип. № 2 (82). – С. 174-178
  19. Automated fixture configuration for rapid manufacturing planning / S.Nelaturi, A. Rangarajan, C. Fritz, T. Kurtoglu // Computer-Aided Design. – 2014. – Vol. 46. – P. 160–169. 102
  20. Finite element modelling and analysis of workpiece-fixture system / N. M. Kumbhar, G. S. Patil, S. S. Mohite, M. A. Sutar // International Journal of Applied Research in Mechanical Engineering. – 2012. – Vol. 2. – P. 60–65.
  21. Asante J. N. A combined contact elasticity and finite element-based model for contact load and pressure distribution calculation in a frictional workpiece-fixture system / J. N. Asante // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2008. – Vol. 39. – P. 578–588.
  22. Multi-objective optimization design of a fixture layout considering locator displacement and force–deformation / Z.Liu, M. Wang, K. Wang, X. Mei // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2012. – Vol. 67. – P. 1267–1279

23. Papastathis T. N. Modelling and Design Methodology for Fully-Active Fixtures : PhD Thesis. – The University of Nottingham, Great Britain, 2010.