

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний

(повне найменування інституту, факультету)

Технологія машинобудування

(повне найменування кафедри)

**Пояснювальна записка**

до дипломного проекту (роботи)

другий (магістерський)

(ступінь вищої освіти)

на тему «Технологічні особливості виготовлення деталей типу диск з використанням інноваційного програмного забезпечення»

Виконав: студент(ка) II курсу, групи Мз-112м

Спеціальності 131 «Прикладна механіка»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології машинобудування

КОРШУНОВ В.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник ВИШНЕПОЛЬСЬКИЙ Є. В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент ФРОЛОВ М. В.

(прізвище та ініціали)

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

Факультет Машинобудівний

Кафедра «Технологія машинобудування»

Ступінь вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 131 «Прикладна механіка»

(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) «Технології машинобудування»

(назва освітньої програми (спеціалізації))

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри С.І. ДЯДЯ**

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 року

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

Коршунова Володимира Романовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Технологічні особливості виготовлення деталей типу диск з використанням інноваційного програмного забезпечення

керівник проекту (роботи) к.т.н., доц. ВИШНЕПОЛЬСЬКИЙ Євген Валерійович,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «14»11 2023року №436

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 20.12.2023

3. Вихідні дані до проекту (роботи) робоче креслення деталі, річна програма випуску N=5000шт

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Технологічна частина; 2 Конструкторська частина; 3 Автоматизація; 4 Спеціальне завдання; 5 Розрахунок деталі на міцність; 6 Оцінка очікуваної ефективності заходів; 7 Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Креслення деталі, заготовки, графічне зображення 3D-моделей деталі та заготовки; маршрут виготовлення деталі; графічне зображення етапів підготовки керуючих програм для верстатів з числовим програмним керуванням та два листа автоматизації; креслення робочого та контрольного пристосувань; графічне зображення результатів розрахунку на міцність; креслення до спецзавдання два листа

## 6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання « 04 » вересня 2023 року.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	18.09.2023	
2	Конструкторська частина	02.10.2023	
3	Автоматизація .....	09.10.2023	
4	Розрахунок на міцність	23.10.2023	
5	Спецзавдання .....	30.10.2023	
6	Економічний розрахунок .....	06.11.2023	
7	Охорона праці	13.11.2023	
8	Оформлення пояснювальної записки, креслень, карт	27.11.2023	
9	Нормоконтроль	04.12.2023	
10	Рецензія	07.12.2023	
11	Захист дипломного проєкту	20.12.2023	

Студент(ка)

\_\_\_\_\_ Володимир КОРШУНОВ  
( підпис ) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

\_\_\_\_\_ Євген ВИШНЕПОЛЬСЬКИЙ  
( підпис ) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

ПЗ: 99 с., 44 рисунки, 26 таблиць, 2 додатки, 12 посилань.

АВТОМАТИЗАЦІЯ, ЗАГОТОВКА, КЕРУЮЧА ПРОГРАМА, МАРШРУТ ОБРОБКИ, МІЦНІСТЬ, ОСНАСТКА, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, СТУПИЦЯ, ПРИПУСК, ДОПУСК, ОПЕРАЦІЙНИЙ ЕСКІЗ, КВАЛІТЕТ, БАЗА, ІНСТРУМЕНТ, ТОЧНІСТЬ, ШОРСТКІСТЬ, РОЗМІР, ОБЛАДНАННЯ, ВЕРСТАТ, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА.

Об'єкт дослідження – деталь ступиця.

Мета роботи – Технологічні особливості виготовлення деталей типу диск з використанням інноваційного програмного забезпечення.

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

Об'єктом дослідження є виробництво дисків, а предметом - технологічні особливості їх виготовлення з використанням інноваційного програмного забезпечення.

Магістерська робота містить наступні частини – технологічну, конструкторську, автоматизацію, спеціальне завдання, розрахунок на міцність, оцінку очікуваної економічної ефективності запропонованих заходів, та розділ охорони праці.

Описано послідовність технологічного процесу, розрахунки припусків, режимів різання та норм часу. Розроблено конструкції робочого та контрольного пристосування

Проведено розрахунок деталі на міцність, запропоновано обладнання для виготовлення ступиці і заходи щодо автоматизації та механізації процесу, передбачені заходи щодо безпечної роботи персоналу.

## ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	7
Вступ	8
1 Технологічна частина	9
1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі	9
1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт	12
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням	14
1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі	17
1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність	17
1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь	19
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі	25
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів	25
1.6 Розрахунок режимів різання	31
1.7 Розрахунок технічної норми часу	41
1.8 Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПУ, з використанням NXCAM	45
1.8.1 Розробка токарної операції	45
1.8.2 Розробка свердлильної операції	47
1.8.3 Розробка фрезерної операції	49
2 Конструкторська частина	51
2.1 Проектування робочого пристосування	51
2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування	51
2.1.2 Розрахунок пристосування на точність	52
2.1.3 Визначення необхідної сили затиску	53
2.2 Проектування контрольного пристосування	55
3 Автоматизація	57
3.1 Використання систем штучного інтелекту на виробництві	57
4 Спеціальне завдання	67
4.1 Сучасні технології отримання зубів та шліц	67
5 Розрахунок на міцність. Визначення напружено-деформованого стану деталі	74
6 Оцінка очікуваної економічної ефективності запропонованих заходів	79
7 Охорона праці	89
Висновок	93
Перелік джерел посилань	94

Додаток А. Специфікація на робоче пристосування	95
Додаток Б. Специфікація на контрольне пристосування	97

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ**

ГКМ	Горизонтально-кувальна машина
ДСТУ	Державний стандарт України
МВД	Маршрут виготовлення деталі
МОП	Маршрут обробки поверхні
ППТЯ	Послідовність показників точності та якості
РТК	Розрахунково-технологічна карта
ЗВ	Засоби вимірювання
СНтП	Система норм та правил
ЗОР	Змащувальна охолоджувальна рідина
ТО	Термічна обробка
ТП	Технологічний процес
Ш	Штучний інтелект
МН	Машинне навчання
САПР	Система автоматизованого проектування
КГШП	Кривошипний горяче-штампувальний перес
ГКМ	Горизонтальна кувальна машина
МН	Машинне навчання
НДС	Напружено-деформований стан

## ВСТУП

В сучасному світі швидко змінюються технології та виробництво надає великого значення ефективності і якості виробництва. Промисловість намагається вдосконалити процеси виготовлення деталей, щоб відповісти на високі вимоги споживачів та зберегти конкурентоспроможність на ринку. Серед цих деталей, дисків має важливе значення у численних сферах виробництва, включаючи автомобільну, аерокосмічну та медичну промисловість.

Тема магістерської роботи "Технологічні особливості виготовлення деталей типу диск з використанням інноваційного програмного забезпечення" відображає актуальність дослідження, оскільки вона стосується інноваційних підходів до виробництва дисків, які можуть вплинути на їх якість, ефективність та вартість.

В магістерській роботі буде розглянуто аналіз сучасних підходів до виготовлення дисків, досліджені технічні вимоги та виклики, що стоять перед виробниками. Також будуть вивчені можливості і переваги використання інноваційного програмного забезпечення, які допоможуть вдосконалити технологічні процеси та підвищити якість продукції. Важливим аспектом роботи буде аналіз результатів експериментів та моделювання, які демонструють переваги використання нового програмного забезпечення.

Магістерська робота розглядається як внесок у вирішення важливих завдань в галузі виробництва дисків та може бути корисною як для практиків у сфері виробництва, так і для дослідників, які цікавляться питаннями впровадження інноваційних технологій в промисловість.

Магістерська робота буде базуватися на інтеграції наукових досліджень та практичних даних, зокрема, на результаті власних досліджень та експериментів. Основною метою є сприяння вдосконаленню виробництва дисків та підвищення конкурентоспроможності виробників цих важливих деталей у глобальному ринковому середовищі.

Магістерська робота представить аналіз і висновки, які стануть важливим доповненням до наукового знання у галузі виробництва дисків та можуть бути використані практиками виробництва для покращення технологічних процесів та підвищення якості продукції.

# 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

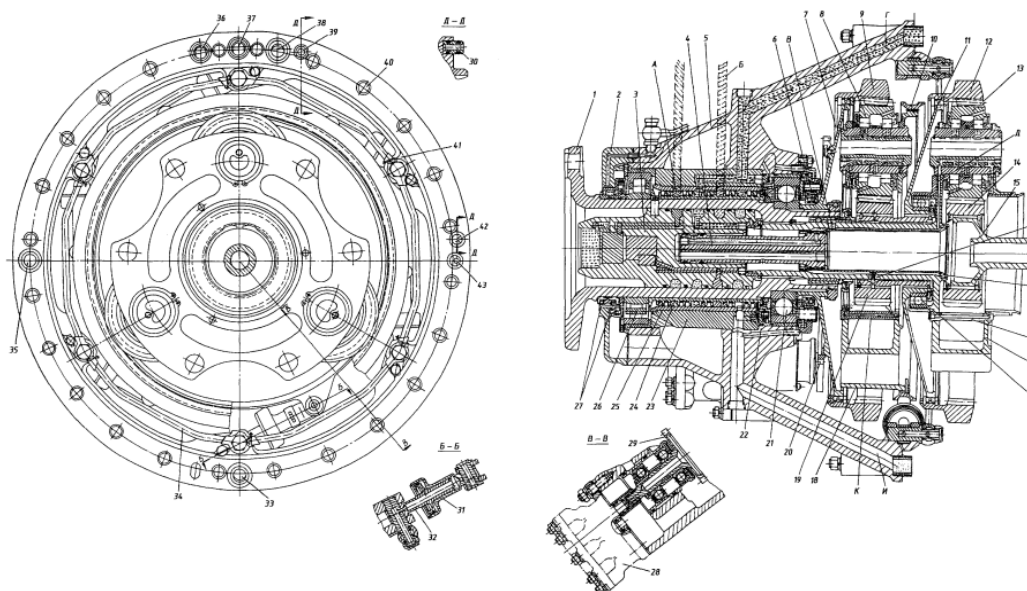
## 1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Деталь ступиця авіаційного двигуна – це один із важливих компонентів, який здійснює з'єднання між двигуном і пропелером (або вентилятором) у літаках і гелікоптерах. Її конструкція та службове призначення визначають її ключову роль у роботі двигуна та безпеку польотів.

Деталь ступиця виконує декілька важливих функцій:

Ступиця дозволяє передавати обертовий рух від двигуна до пропелера або вентилятора. Це необхідно для генерації тяги, яка забезпечує польот літака або гелікоптера.

Ступиця входить до складу блоку капітального ремонту коробки передач двигуна АІ-24. Зовнішній вигляд вузла де встановлена ступиця показано на рисунку 1.1.



1 – карданний вал; 2 – кришка сходження редуктора; 3 – масляна перепускна пробка карданного валу; 4 – втулка масляного байпаса; 5 – корпус редуктора; 6 – датчик автоматичного флюгера по негативній тязі; 7 – маточина перегородки; 8 – проміжна шестерня; 9 – внутрішня стійка зачеплення; 10 – коронка ПКМ; 11 – маточина планетарного механізму; 12 – внутрішнє зачеплення; 13 – супутник; 14 – шестерня приводу коробки передач; 15 – листовая ресора; 16 – корпус супутника; 17 – шарикопідшипник корпусу сателіта; 18 – погрудний корпус; 19 – шестерня грубої сили; 20 – провідна шестерня приводу масляного насоса ПКМ; 21 – гвинтовий кульковий підшипник; 22 – випробувальний пристрій датчика автоматичного флюгера по негативному тязу; 23 – тіло масляної перепускної втулки; 24 – маслорозподільна втулка; 25 – втулка масляного байпаса; 26 – роликівий підшипник гвинтового валу; 27 – кільця ущільнювачів; 28 – масляний насос РСМ; 29 – ведена шестерня приводу масляного насоса РСМ; 30 – втулка; 31 – циліндр; 32 – поршень; 33 – отвір для подачі масла; 34 – колектор ПКМ; 35 – отвір для прокладки кабелю для електрообігріву лопатей гвинта; 36 – отвір для подачі масла в канал фіксації кроку гвинта; 37 – отвір для подачі масла в канал малого кроку гребного гвинта; 38 – отвір для подачі масла в канал великого кроку гребного гвинта; 39 – отвір подачі масла в командний канал автоматичного датчика флюгера; 40 – отвір під шпильку кріплення редуктора до переднього корпусу; 41 – вушко для поршневої осі ПКМ; 42 – отвір для впуску повітря для носового ущільнення валу коробки передач; 43 – зливний отвір масла від системи ПКМ до манометра; А – канал подачі масла в канал фіксації кроку гвинта; В – канал подачі масла в канал гвинта великого кроку; Б – отвір у валу корпусу сателіта; Д – канал подачі масла в канал малого кроку гребного гвинта; Д – радіальний отвір в корпусі сателіта; Е – сопло в валу корпусу сателіта; М – сопло в корпусі сателіта; А – канал подачі масла в коробку передач для змащення; К – насадка в корпусі бюста; Р – сопло в корпусі сателіта

Рисунок 1.1 – Редуктор

Ступиця сталева, термічно оброблена, зовнішні шліци цементовані, ступиця з'єднана з валом гвинта внутрішніми шліцами. На ступиці є ремінь з різьбовими отворами для встановлення провідної шестерні масляного насоса.

Деталь «Ступиця» відноситься до деталей дискового типу. Має конструктивні елементи: канавки нормальної точності за IT14; отвори; шліци; фаски. Особливо відповідальними елементами деталі є зовнішні та внутрішні шліци через які виконується передача обертового моменту, вони виготовляються за IT6. Деталь є тонкостінною що вимагає врахування цієї особливості при проектуванні технологічного процесу механічної обробки.

Креслення деталі ступиця показано на рисунку 1.2.

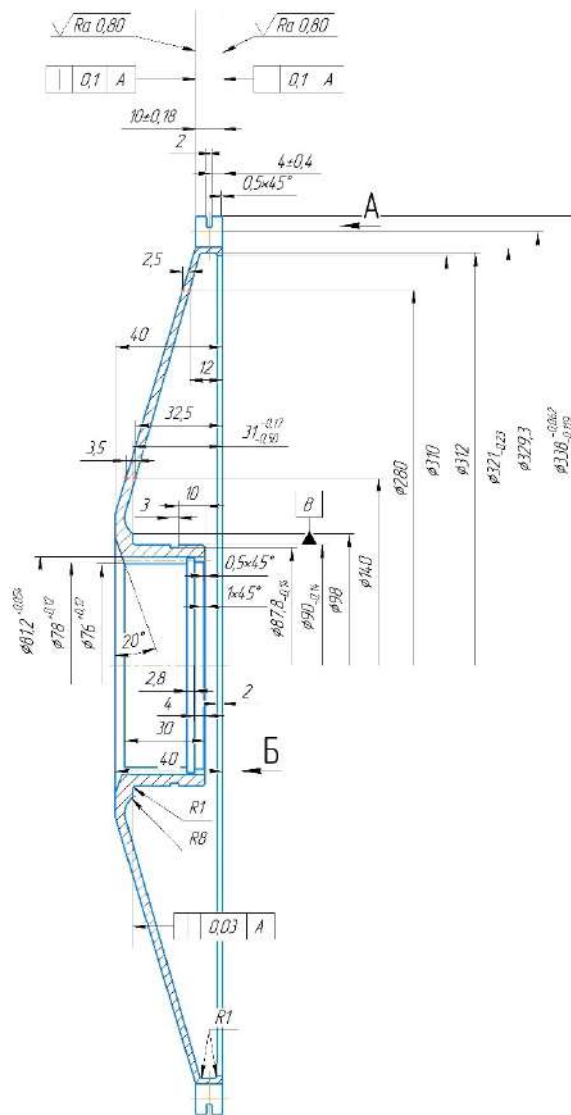


Рисунок 1.2 – Деталь ступиця

Сталь 12Х2Н4А-Ш - це конструкційна легована сталь, яка використовується в машинобудуванні та виробництві деталей, які піддаються високому навантаженню та потребують високої міцності та стійкості до зносу. Давайте розглянемо деякі характеристики цієї сталі:

Ця сталь може витримувати підвищені температури, що робить її відмінним вибором для деталей, які працюють в умовах підвищеної температури.

Стандарти: Сталь 12Х2Н4А-Ш може відповідати різним стандартам якості та маркуванню в залежності від виробника та конкретних вимог замовника.

Хімічні властивості сталі показані в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад матеріалу 12Х2Н4А-Ш ГОСТ 4543-71

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0.09 - 0.15	0.17 - 0.37	0.3 - 0.6	3.25 - 3.65	до 0.025	до 0.025	1.25 - 1.65	до 0.3

Механічні властивості зазначеного матеріалу показані в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 12Х2Н4А-Ш ГОСТ 4543-71

Сортамент	Напр.	$s_B$	$s_T$	$d_5$	$y$	КСУ	Термообр.
-	-	МПа	МПа	%	%	кДж / м <sup>2</sup>	-
Пруток, ГОСТ 4543-71		1130	930	10	50	880	Закалка и отпуск

Фізичні властивості досліджуваної сталі вказано у таблиці 1.3

Таблиця 1.3 – Фізичні властивості сталі 12Х2Н4А-Ш ГОСТ 4543-71

T	$E \cdot 10^{-5}$	$a \cdot 10^6$	$\lambda$	$\rho$
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м <sup>3</sup>
20	2			7840
100		11	25	7820
300		13		7760
400		14.7	19	7710
600		15.6		7630

Температура нагріву повинна бути приблизно в межах 850-900°C.

Час утримання при цій температурі залежить від товщини та розмірів ступиці, але зазвичай варіюється від 30 хвилин до 1 години на 1 мм товщини.

Температурний розподіл повинен бути рівномірним.

Деталь охолоджується повільно повітрям або поміщається в спеціальний піч з контрольованим охолодженням для уникнення внутрішніх напруг і деформацій.

Температура закалки повинна бути близькою до 850-900°C.

Тривимірна модель деталі ступиця показана на рис 1.3.

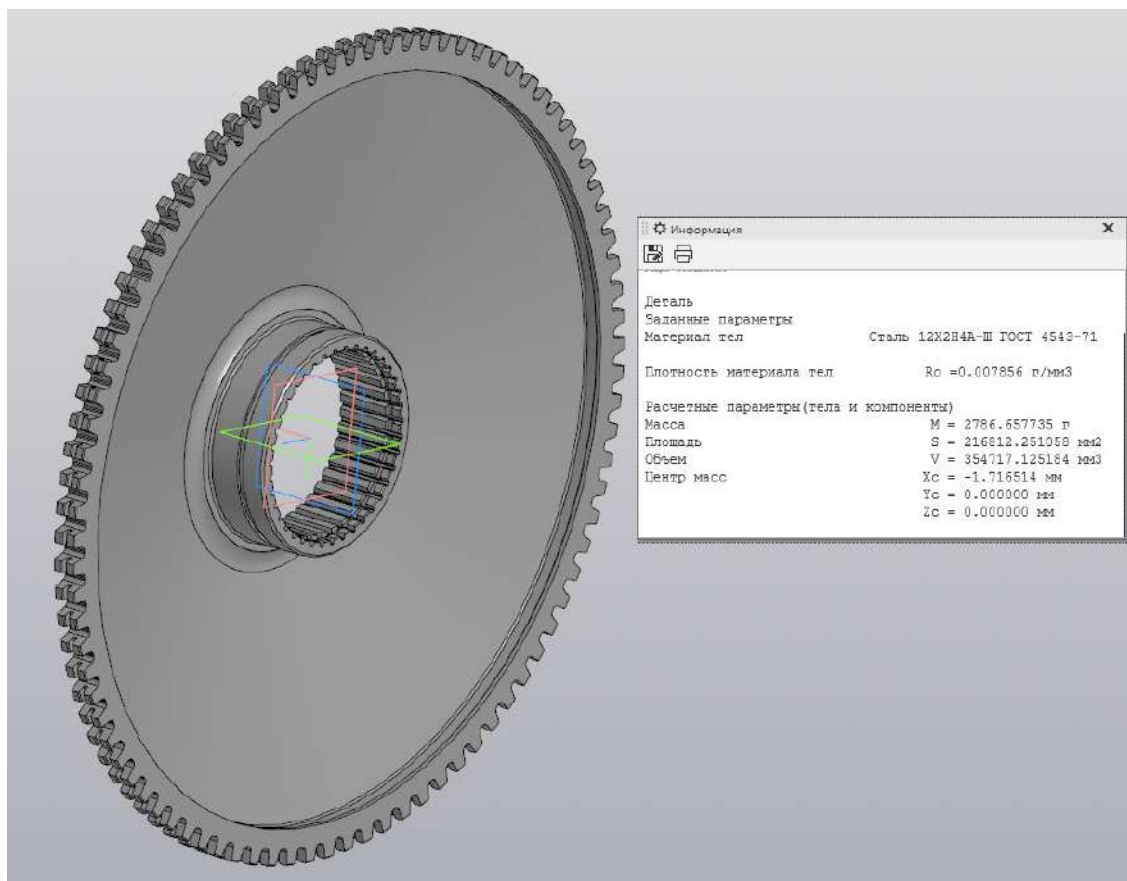


Рисунок 1.3 – Тривимірна модель деталі ступиця

## 1.2 Вибір типу виробництва та форми організації робіт

Вихідні дані

річна програма випуску.....N=5000 шт.

маса деталі.....2,79 кг

Розробка процесу обробки залежить від того, яке виробництво вибрано і як

організовано його функціонування. Визначення типу виробництва відбувається на підставі різних критеріїв, таких як характеристики виготовленого продукту, обсяг виробництва, матеріали, використовувані технології та інші. Основні види виробництва включають масове виробництво, виробництво маленьких партій, виробництво на замовлення та індивідуальне виробництво. Оцінюючи вищезазначені критерії, ми визначаємо виробництво, яке можна вважати крупносерійним.

Великосерійне виробництво - це тип виробництва, в якому застосовуються масові методи виготовлення, і вироби виробляються у значних кількостях. Основні риси великосерійного виробництва включають таке:

Використання стандартизованих матеріалів та компонентів. У великосерійному виробництві використовуються матеріали та компоненти, які мають відповідати певним стандартам і вимогам.

Висока автоматизація процесу. Великосерійні виробництва часто повністю автоматизовані, що сприяє підвищенню швидкості виготовлення продукції.

Використання продуктивності. У великосерійному виробництві активно використовується підвищення продуктивності для досягнення максимальної результативності та підвищення якості продукції.

Використання стандартизованих процесів. Великосерійне виробництво базується на стандартизованих процесах для підвищення продуктивності та ефективності виробництва.

Використання масових методів виробництва. Для виробництва великих обсягів товарів застосовуються масові методи виготовлення, такі як лінійне виробництво та інші методи масового виробництва. Кількість деталей в партії можна визначити за формулою (1.1):

$$n = \frac{a \cdot N}{\Phi} \quad (1.1)$$

де  $a$  – періодичність запуску протягом року;

$\Phi$  – кількість робочих днів на рік (250 днів).

$$n = \frac{2 \cdot 5000}{250} = 40 \text{шт.}$$

Операції на робочих місцях виконуються рівномірно та повністю завантажені одними й тими ж операціями та виробництво поточне.

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

Для деталі ступиця із зазначеного матеріалу раціонально використати один із методів обробки тиском. В даному випадку найбільш раціональним є використання штампування на ГKM або КГШП.

Вибір між ГKM та КГШП при виготовленні заготовки для деталі ступиці залежить від кількох важливих факторів, які можуть впливати на якість, вартість та продуктивність процесу. Ось деякі особливості вибору між цими двома методами:

Якщо деталь ступиці досить велика або має складну геометрію, КГШП може бути більш ефективним варіантом, оскільки він дозволяє отримати деталі з більшою геометричною складністю та деталей більших розмірів. Молоткове виробництво зазвичай підходить для менших і більш простих заготовок.

Вибір методу також залежить від матеріалу, з якого виготовляється деталь. Деякі матеріали можуть краще піддаватися молотковому виробництву, в той час як інші можуть вимагати КГШП для досягнення необхідної якості і міцності.

КГШП зазвичай дозволяє досягти більшої точності та якості деталі, особливо якщо це важливо для ступиці. Молоткове виробництво може бути менш точним і якісним, що може вимагати додаткової обробки деталі після виробництва.

Якщо потрібно виробляти великі обсяги заготовок, молоткове виробництво може бути більш вигідним з точки зору продуктивності і вартості, оскільки КГШП може бути більш складним і витратним процесом.

КГШП може вимагати більшого і дорожчого обладнання порівняно з молотковим виробництвом, що також повинно бути враховано при виборі методу.

Отже, вибір між ГKM і КГШП для виготовлення заготовки для деталі ступиці повинен базуватися на конкретних вимогах проекту, матеріалі, обсягу виробництва та доступності обладнання і ресурсів.

Виходячи з конфігурації деталі, її матеріалу і ваги, візьмемо для порівняння 2 методи отримання заготовки: штампування на ГKM і штампування на КГШП. Клас точності штампування - 3, ступінь складності - 2.

Припуски на обробку призначаємо згідно [1, таблиця 1.3, стор. 12]:

Штампування по ГKM:  $z = 4$  мм на сторону,

Штампування на КГШП:  $z = 3$  мм на сторону,

За допомогою програми САПР розрахуємо масу і обсяг заготовки для штампування на ГKM (рис. 1.4) і штампування на КГШП (рис. 1.5).

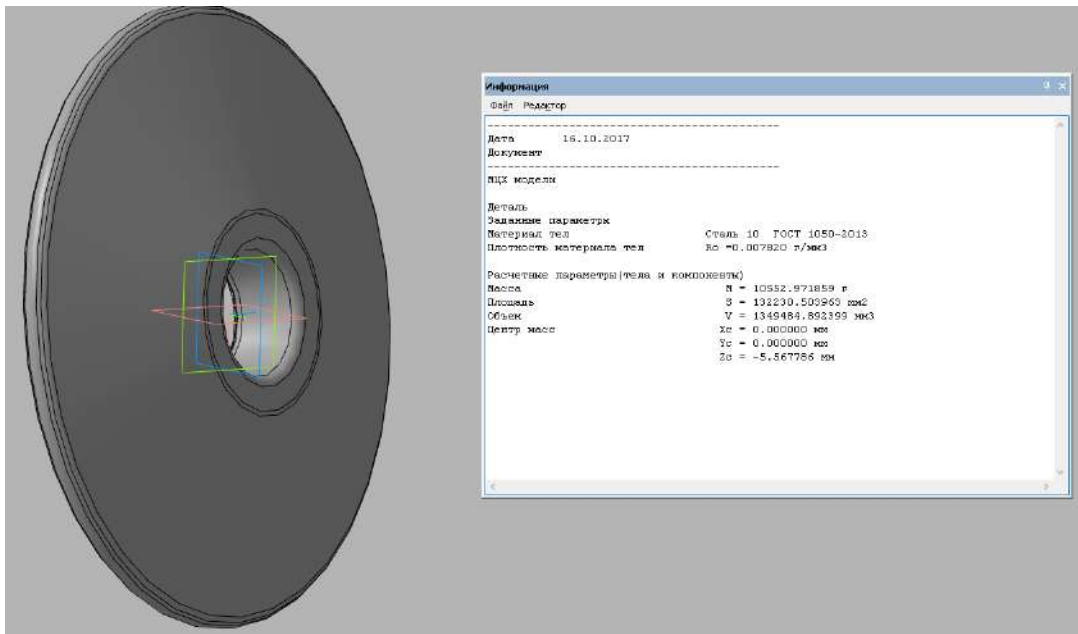


Рисунок 1.4 – Модель штампованой заготовки на ГКМ

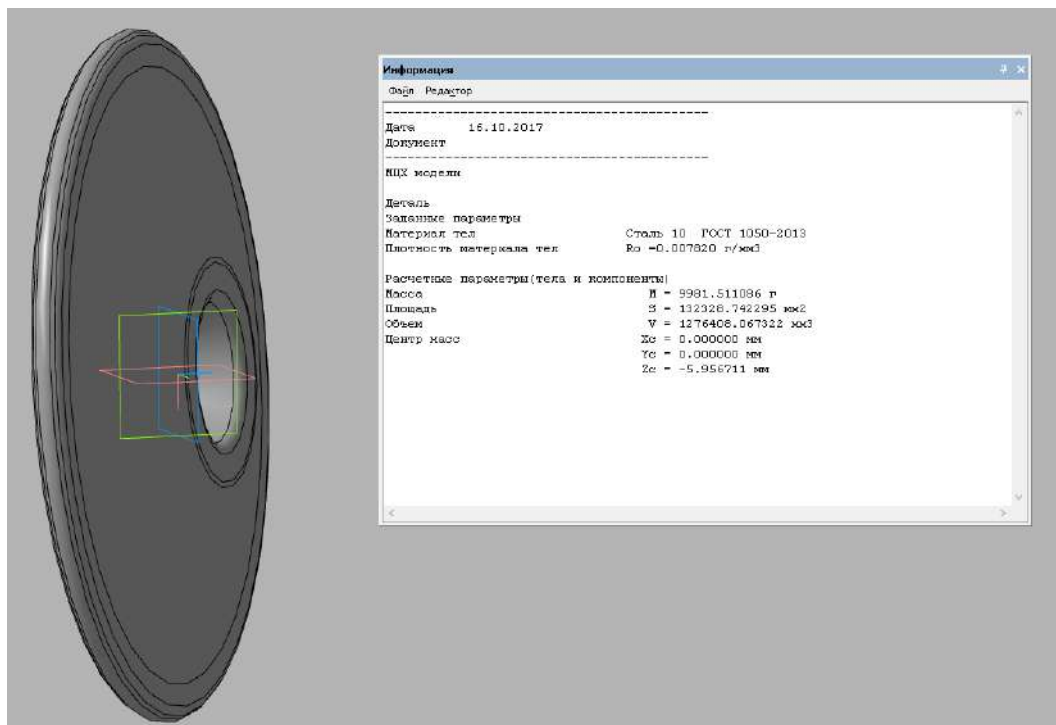


Рисунок 1.5 – Модель штампованой заготовки на КГШП

Собівартість продукції визначається за формулою (1.2):

$$C_1 = \frac{C_B}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_{II} - (Q - q) \cdot \frac{C_{отх}}{1000}, \quad (1.2)$$

де  $C_B$  - базова вартість 1 т заготовки,  $C_B = 25000 \text{ Г / т}$ ;

Q-вага заготовки, Q = 10, 55 кг;

q-вага деталі, q = 5,2кг;

Kt - коефіцієнт, який враховує клас точності Kt = 1, [1];

Kм - коефіцієнт, який враховує марку матеріалу Kм = 2,4 [1];

Kv - коефіцієнт, який враховує масу заготовки Kv = 1 [1];

KП - коефіцієнт, який враховує програму випуску KП = 0, 5 [1];

C отх-вартістю 1 т стружки, C<sub>отх</sub> = 140 / т.

$$C_1 = \frac{25000}{1000} \times 10,55 \times 1 \times 2,4 \times 1 \times 0,5 - (10,55 - 5,2) \cdot \frac{140}{1000} = 315,75 \text{ грн}$$

Визначимо коефіцієнт використання матеріалу за формулою (1.3):

$$K_{\text{ИМ}} = \frac{q}{Q}; \quad (1.3)$$

де q = 5, 2 кг - вага деталі;

Q = 10, 55 кг - вага заготовки;

$$K_{\text{ИМ}} = \frac{5,2}{10,55} = 0,49$$

Собівартість продукції визначається за формулою (1.2):

$$C_2 = \frac{28000}{1000} \times 9,98 \times 1 \times 2,5 \times 1 \times 0,5 - (9,98 - 5,2) \cdot \frac{140}{1000} = 348,6 \text{ грн}$$

де Kv=1; Kм=2,5; Kп=0,5; Kт=1; Cб=28000гр/т; q=5,2кг; Q=9,98кг; Cотх=140гр/т.

Визначимо коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{\text{ИМ}} = \frac{5,2}{9,98} = 0,52.$$

Дані розрахунків витрат (табл. 1.4) за двома методами показують, що КГШП більш рентабельний. Заготовка отримана на КГШП показана на рисунку 1.6.

Таблиця 1.4 - Порівняльні показники отримання заготовок двома методами

Показники	Позначення	Одиниці	Варіанти	
			ГКМ	КГШП
Вага деталі	q	кг	5,2	5,2
Вага заготовки	Q	кг	10,55	9,98
Коефіцієнт використання матеріалу	$\eta$	—	0,49	0,52
Базова ціна 1т заготовок	$V_0$	Грн.	25000	28000
Коефіцієнти	$K_B$		1	1
	$K_M$		2.4	2.5
	$K_{II}$		1	1
	$K_T$		0.5	0.5
Ціна 1т стружки	$V_{отх.}$	грн.	140	140
Вартість заготовки	V	грн.	315,75	348,6

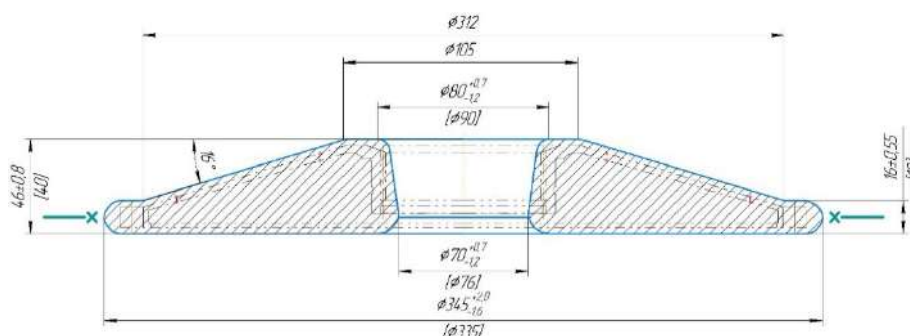


Рисунок 1.6 – Ескіз заготовки, штампованої на КГШП

## 1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі

### 1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність

Якісний аналіз на технологічність деталі ступиці передбачає оцінку різних аспектів, що впливають на можливість виготовлення даної деталі з технологічної точки зору.

Серед геометричних особливостей деталі слід відзначити наявність зубчатого вінця та внутрішніх шліць які будуть вимагати застосування відповідного обладнання та складного контрольно-вимірювального інструменту.

Сталь 12Х2Н4А-Ш має високий рівень міцності і твердості, що може зробити різанням більш складним завданням. Важливо мати на увазі ці параметри при виборі інструментів і режимів різання.

Ступиця є відповідальною деталлю, особливу увагу слід привернути параметрам обробки зубців так як вони є найбільш навантаженим елементом.

Кількісні показники:

— коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів  $K_{y.e.}$ , розраховується за формулою (1.4):

$$K_{y.e.} = \frac{Q_{y.e.}}{Q_e} \geq 0,6 \quad (1.4)$$

де  $Q_{y.e.}$  — кількість уніфікованих елементів  $Q_{y.e.} = 24$ ;

$Q_e$  — загальна кількість конструктивних елементів  $Q_e = 31$ .

$$K_{y.e.} = \frac{24}{31} \geq 0,6$$

— коефіцієнт точності обробки  $K_m$ , розраховується за формулою (1.5):

$$K_m = 1 - \frac{1}{A_{сep}} \geq 0,8 \quad (1.5)$$

де  $A_{сep}$  — середнє арифметичне значення квалітетів точності, розраховується за формулою (1.6):

$$A_{сep} = \frac{\sum K_i}{n} \quad (1.6)$$

де  $n$  - кількість квалітетів точності;

$K_i$  - квалітет точності  $i$ -того розміру.

$$A_{сep} = \frac{4 \cdot 6 + 2 \cdot 8 + 3 \cdot 7 + 3 \cdot 12 + 5 \cdot 13 + 14 \cdot 14}{31} = 11,55$$

$$K_m = 1 - \frac{1}{11,55} = 0,91 > 0,8$$

— коефіцієнт шорсткості  $K_{ш}$ , який розраховується за формулою (1.7):

$$K_{ш} = \frac{1}{B_{сep}} \leq 0,32 \quad (1.7)$$

де  $B_{\text{сер}}$  — середнє значення шорсткості оброблених поверхонь, розраховується за формулою (1.8):

$$B_{\text{сер}} = \frac{\sum M_i}{n} \quad (1.8)$$

де  $M_i$  — шорсткість  $i$ -тої поверхні;

$n$  — кількість усіх шорсткостей поверхонь.

$$B_{\text{сер}} = \frac{29 \cdot 1,6 + 2 \cdot 0,8}{31} = 1,55$$

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{1,55} = 0,30 \leq 0,32$$

Аналіз якісних показників свідчить про наявність певних особливостей які необхідно враховувати при проектуванні процесу виготовлення деталі. Розрахунок кількісних показників та їх порівняння з табличними даними свідчить про технологічність деталі.

#### 1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Маршрут обробки деталей (МОП) - це важливий аспект виробничого процесу, який визначає послідовність технологічних переходів, необхідних для обробки поверхонь заготовки з метою досягнення визначених показників якості та точності цих поверхонь у даній частині. МОП можна розглядати як "дорожню карту" для виробництва, де кожен етап та операція мають своє важливе значення у створенні високоякісної деталі або виробу.

МОП є фундаментом технології механічної обробки, а це означає, що він відіграє ключову роль у проектуванні та виготовленні деталей. Правильно сконструйований МОП дозволяє ефективно керувати процесами обробки, забезпечуючи високу якість та точність кінцевого виробу. Це також сприяє оптимізації використання обладнання та ресурсів під час виробництва.

Окрім того, МОП є важливим інструментом для розробки стратегій групового регулювання операцій та установок налагодження обладнання. Це дозволяє ефективно управляти виробничими процесами та забезпечувати високий стандарт якості виробленої продукції.

Отже, МОП відіграє ключову роль у виробництві та є важливою складовою технологічного процесу обробки деталей, допомагаючи забезпечити високу якість, точність та ефективність виробництва. Нумерація основних поверхонь деталі показна на рисунку 1.7.

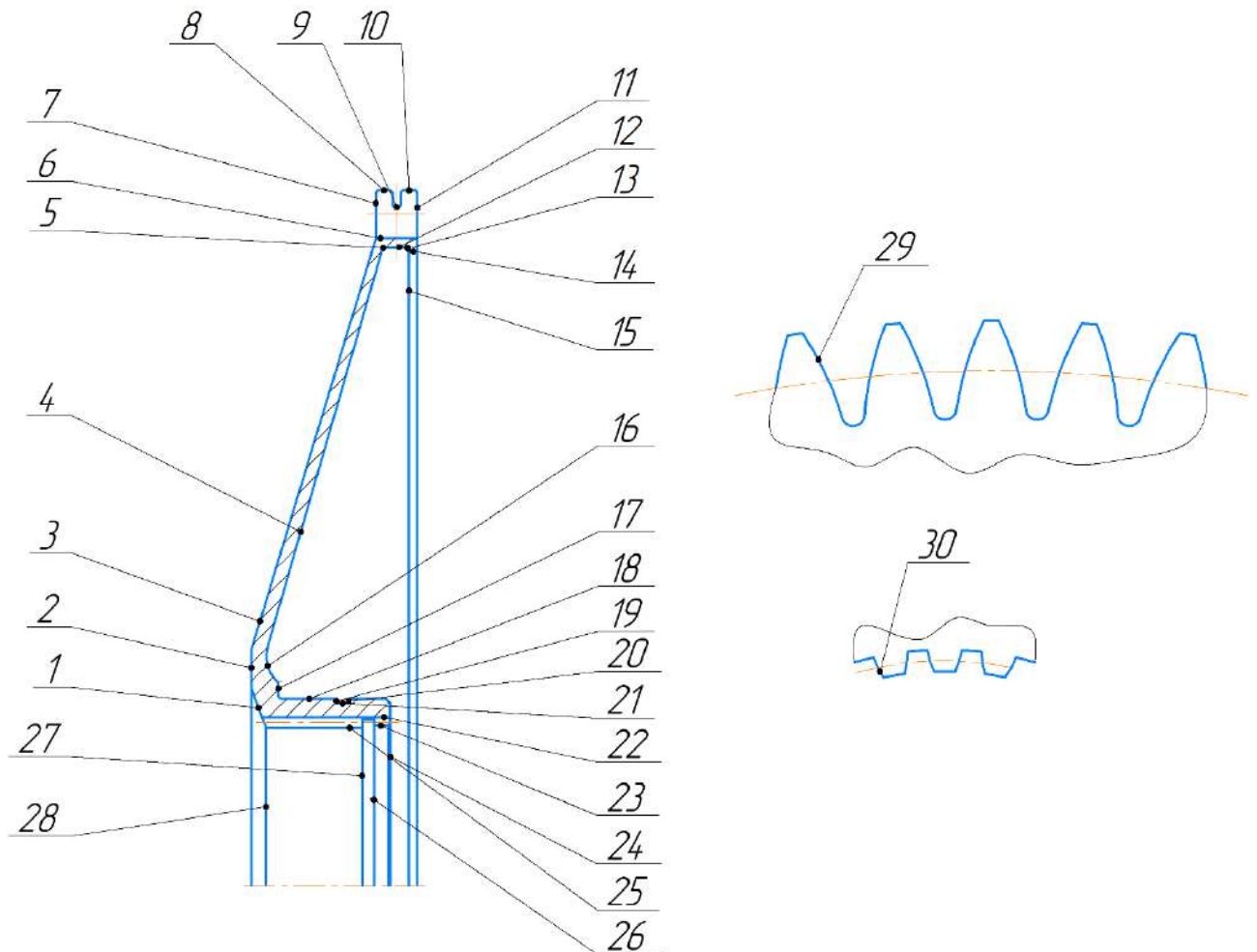


Рисунок 1.7 – Позначення основних поверхонь деталі

Для поверхні  $\varnothing 338$  Js6

Заготовка  $R_a = 25$  мкм, [ 1, табл. 3.7, стор. 19], допуск мм.  $Td_3 = 3,6$

Деталь  $R_a = 1,6$  мкм, допуск мм.  $Td = 0,057$

Визначаємо уточнення з точки зору точності і шорсткості визначаємо за формулами (1.9), (1.10):

$$\varepsilon_d = \frac{Td_3}{Td_0} \quad (1.9)$$

$$\varepsilon_d = \frac{3,6}{0,057} = 63,16$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{Ra_3}{Ra_0} \quad (1.10)$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{25}{1,6} = 15,62$$

Центральним критерієм якості цієї поверхні є точність геометричних розмірів, оскільки вона потребує найбільше уваги. Кількість переходів обчислюється на основі цього основного показника за формулою (1.11):

$$k = 2 \cdot \lg \varepsilon_{Td} \quad (1.11)$$

$$k = 2 \cdot \lg 63,16 = 3,6$$

Приймати  $k = 4$

Різниця між класами точності та їх розподілом  $IT = IT16 - IT7 = 3 + 3 + 2 + 1$

Встановіть послідовність показника точності: IT16-IT13-IT10-IT8-IT6

Призначають методи обробки по переходах.

Заготовка – токарна чорнова – токарна напів-чистова – токарна чистова – шліфування.

Згідно [1, табл. 3.7, стор. 19] призначаємо допуски і шорсткості для переходів.

Визначаємо доопрацювання з точки зору точності і шорсткості для точності шорсткості за формулами (1.9), (1.10):

$$\varepsilon_{d2} = \frac{3,6}{0,8} = 4,5$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{25}{12,5} = 2$$

Для інших переходів уточнення розраховується аналогічним чином.

Результати розрахунків заносяться в таблиця 1.5.

Для поверхні  $\varnothing 76H10$

Заготовка  $Ra = 25$  мкм, [1, табл. 3.7, стор. 19], допуск мм.  $Td_3 = 1,9$  мм

Деталь  $Ra = 1,6$  мкм, допуск мм.  $Td = 0,12$  мм

Визначаємо уточнення з точки зору точності і шорсткості за формулами (1.9), (1.10):

$$\varepsilon_d = \frac{1,9}{0,12} = 15,83$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{25}{1,6} = 15,62$$

Центральним критерієм якості цієї поверхні є точність геометричних розмірів, оскільки вона потребує найбільше уваги. Кількість переходів обчислюється на основі цього основного показника за формулою (1.11):

$$k = 2 \cdot \lg 15,83 = 2,39$$

Приймати  $k = 3$

Різниця між класами точності та їх розподілом  $IT = IT16 - IT10 = 3 + 2 + 1$

Встановіть послідовність показника точності: IT16-IT13-IT11-IT10

Призначають методи обробки по переходах.

Заготовка – токарна чорнова – токарна чистова – шліфування.

Згідно [1, табл. 3.7, стор. 19] призначаємо допуски і шорсткості для переходів.

Визначаємо доопрацювання з точки зору точності і шорсткості для точності шорсткості за формулами (1.9), (1.10):

$$\varepsilon_{d2} = \frac{1,9}{0,65} = 2,92$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{25}{12,5} = 2$$

Для інших переходів уточнення розраховується аналогічним чином.

Результати розрахунків заносяться в таблиця 1.5.

Таблиця 1.5 – Послідовність обробки деталі «Ступиця»

Характер і показники точності та якості поверхні в деталі і заготовки	Показник	Уточнення	Кількість переходів к		Різниця показників ППТЯ	МОП		Допуск		Уточнення	
			Розрахункове значення	Прийняте		i	Метод обробки	Розмір	Шорсткість	розмір	Шорсткість
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ø338Js6 Деталь $R_a=1,6\text{мкм}$ , допуск $T_d=0,057\text{мм}$ Заготовка $R_a=25\text{мкм}$ , допуск $T_d=3,6\text{мм}$ .	d	63,16	3,6	4	$\Delta_{\text{кв}} = IT16-IT7 = 9 = 3+3+2+1$ $IT16 - h13 - h10 - h8 - Js6$	1	Заготовка	1,6	25	-	-
						2	Точ. черн.	0,8	12,5	2	2
						3	Точ. напів.чист	0,27	6,3	2,96	1,98
	Ra	15,62				4	Точ. чист	0,09	3,2	5,4	1,97
						5	Шліфування	0,057	1,6	6,25	2
									$\sum \epsilon_i =$	63,16	15,62
Ø76H10 Деталь $R_a=1,6\text{мкм}$ , допуск $T_d=0,12\text{мм}$ Заготовка $R_a=25\text{мкм}$ , допуск $T_d=1,9\text{мм}$ ,	d	15,83	2,39	3	$\Delta_{\text{кв}} = IT16-IT10 = 6 = 3+2+1$ $IT16 - H13 - H11 - H10$	1	Заготовка	1,9	25	-	-
	Ra	15,62				2	Точ. черн.	0,65	12,5	2,92	2
						3	Точ. чист.	0,3	6,3	2,17	2
						4	Шліфування	0,12	1,6	2,5	3,94
									$\sum \epsilon_i =$	15,83	15,62

Продовження таблиці 1.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
L40Js14 Деталь $R_a=25\text{мкм}$ , допуск $T_d=0,62\text{мм}$ Заготовка $R_a=25$ $\text{мкм}$ , допуск $T_d=1,6\text{мм}$ ,	d	2,58	1,78	2	$\Delta_{\text{кв}} = \text{IT16}-\text{IT14} = 2 =$ 1+1	1	Заготовка	1,6	25	-	-
					$\text{IT16} - \text{Js15} - \text{Js14}$	2	Точ. Черн.	0,8	12,5	2	2
	Ra	7,81			$\Delta_{\text{кл}} = 6_{\text{кл}} - 3_{\text{кл}} = 3_{\text{кл}} =$ 3кл- 5кл - 6кл $R_{a25} > R_{a12,5} > R_{a3,2}$	3	Точ. чист	0,62	3,2	1,29	3,91
$\text{П}\epsilon_i =$										2,58	7,81
L10Js14 Деталь $R_a=3,2\text{мкм}$ , допуск $T_d=0,36\text{мм}$ Заготовка $R_a$ $=25\text{мкм}$ , допуск $T_d=1,1\text{мм}$ ,	d	3,05	1,78	2	$\Delta_{\text{кл}} = 6_{\text{кл}} - 3_{\text{кл}} = 3_{\text{кл}} =$ 3кл- 5кл - 6кл $R_{a25} > R_{a12,5} > R_{a3,2}$	1	Заготовка	1,1	25	-	-
					$\Delta_{\text{кв}} = \text{IT16}-\text{IT14} = 2 =$ 1+1	2	Точ. Черн.	0,8	12,5	1,38	2
	Ra	7,81			$\text{IT16} - \text{Js15} - \text{Js14}$	3	Точ. чист	0,36	3,2	2,22	3,9
$\text{П}\epsilon_i =$										3,05	7,81

### 1.4.3 План виготовлення деталі.

Виготовлення деталей ступиці перебору авіаційного двигуна - це високоточний і складний процес, який вимагає дотримання високих стандартів якості та безпеки. Нижче подано загальний план виготовлення такої деталі. Будь ласка, врахуйте, що це загальний план, і конкретні етапи можуть варіюватися залежно від типу двигуна, деталей та виробничих можливостей.

Розробка проекту:

Визначення вимог щодо деталі (розмір, матеріал, терміни тощо).

Розробка 3D-моделі деталі з врахуванням всіх необхідних параметрів.

Вибір матеріалу:

Вибір матеріалу, який відповідає вимогам щодо міцності, стійкості до температур і інших фізичних властивостей.

Виготовлення заготовки.

Обробка заготовки, щоб забезпечити необхідну геометричну точність.

Фрезерування, токарна обробка та інші операції для створення бажаної форми і розміру деталі.

Термічна обробка (нагрівання і охолодження) для поліпшення властивостей матеріалу.

Шліфування і полірування деталі, щоб забезпечити гладкість і точність поверхні.

Контроль якості:

Перевірка деталі на відповідність розмірам і геометрії відповідно до проекту.

Неруйнівний та руйнівний контроль для виявлення дефектів.

Маршрут виробництва ступиці наведено в графічній частині дипломного проекту НУЗП 712002.045.

### 1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Припуски на одну поверхню визначають розрахунково-аналітичним методом. Розрахунково-аналітичний метод розрахунку припусків технологічного розміру є важливою складовою процесу виготовлення деталей, особливо в області машинобудування та інженерії. Його основна мета - забезпечити виготовлення деталей з необхідними розмірами та геометричною точністю для задоволення конкретних технічних вимог.

Розрахунково-аналітичний метод:

Зовнішня діаметральна поверхня  $\varnothing 338_{(-0,062)}^{(-0,119)}$

Для заготовки нормативні значення  $Rz=150$  мкм и  $h=150$  мкм приймаємо в залежності від маси заготовки.

Просторові відхилення заготовки визначаємо, як суму допустимих значень похибки розміру від зміщення  $\rho_{см}$  та короблення  $\rho_{кор}$ . Для штамповки нормальної точності (серійне виробництво):  $\rho_{см}=500$  мкм,  $\rho_{кор} = \Delta_k \times l = 3 \times 149,5 = 448,5$  мкм = 0,449 мм [2].

Сумарне значення просторових відхилень визначаємо за формулою (1.12):

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{кор}^2} \quad (1.12)$$

$$\rho_1 = \sqrt{500^2 + 449^2} = 672,01 \text{ мкм} = 0,672 \text{ мм}$$

Отримані значення заносимо в таблицю 1.5.

Для точіння чорнового нормативні значення  $Rz, h$  [2]:  $Rz_2=75$  мкм,  $h_2=75$  мкм,  $\rho_2=k_y \times \rho_1 = 0,06 \times 672 = 40,32$  мкм = 0,04 мм,  $k=0,06$  – параметр уточнення.

Похибки установки заготовки визначаємо за формулою (1.19):

$$\varepsilon_2 = 0,25 \times \sqrt{Td_{заг}^2 + 1} \quad (1.13)$$

де  $Td_{заг}=3,6$  мм – допуск бази заготовки.

$$\varepsilon_2 = 0,25 \sqrt{3,6^2 + 1} = 0,934 \text{ мм} = 934 \text{ мкм}$$

Для точіння напівчистового нормативні значення  $Rz, h$ , приймаємо [2]:  $Rz_3=50$  мкм,  $h_3=50$  мкм,  $\rho_3=2,02$  мкм,  $\varepsilon_3=32,22$  мкм.

Для точіння чистового нормативні значення  $Rz, h$ , приймаємо [2]:  $Rz_4=25$  мкм,  $h_4=25$  мкм,  $\rho_4=0$  мкм,  $\varepsilon_3=1,61$  мкм.

Для шліфування нормативні значення  $Rz, h$ , приймаємо [2]:  $Rz_5=10$  мкм,  $h_5=10$  мкм,  $\rho_4=0$  мкм,  $\varepsilon_3=0$  мкм.

Для точіння чорнового:

$$2Z_{1\min} = 2[150 + 150 + \sqrt{(672^2 + 934^2)}] = 2325 \text{ мкм} = 2,325 \text{ мм}$$

Для точіння напів. чистового:

$$2Z_{2\min} = 2[75 + 75 + \sqrt{(40,32^2 + 32,22^2)}] = 703,2 \text{ мкм} = 0,703 \text{ мм}$$

Для точіння чистового:

$$2Z_{2\min} = 2[50 + 50 + \sqrt{(2,02^2 + 1,61^2)}] = 205,2 \text{ мкм} = 0,205 \text{ мм}$$

Для шліфування:

$$2Z_{2\min} = 2[25 + 25 + \sqrt{(0^2 + 0^2)}] = 100 \text{ мкм} = 0,1 \text{ мм}$$

Визначаємо мінімальний розмір поверхні деталі – розмір останнього переходу механічної обробки за формулою (1.14):

$$d_5^{\min} = d_5^{\text{НОМ}} + \text{eid}_5 \quad (1.14)$$

$$d_5^{\min} = 338 + (-0,119) = 337,881 \text{ мм}$$

Далі розрахункові мінімальні розміри знаходимо по формулі (1.15):

$$d_i^{\min} = d_{i+1}^{\min} + 2z_{i+1}^{\min} \quad (1.15)$$

$$d_4^{\min} = 337,881 + 0,1 = 337,981 \text{ мм};$$

$$d_3^{\min} = 337,981 + 0,205 = 338,186 \text{ мм};$$

$$d_2^{\min} = 338,186 + 0,703 = 338,889 \text{ мм};$$

$$d_1^{\min} = 338,889 + 2,325 = 341,214 \text{ мм};$$

Розраховуємо максимальні розміри поверхні для переходів по формулі (1.16):

$$d_i^{\max} = d_i^{\min} + Td_i \quad (1.16)$$

$$d_5^{\max} = 337,881 + 0,057 = 337,938 \text{ мм};$$

$$d_4^{\max} = 337,981 + 0,09 = 338,071 \text{ мм};$$

$$d_3^{\max} = 338,186 + 0,27 = 338,456 \text{ мм};$$

$$d_2^{\max} = 338,889 + 0,8 = 339,689 \text{ мм};$$

$$d_1^{\max} = 341,214 + 3,6 = 344,814 \text{ мм};$$

Розраховуємо максимальні припуски для переходів механічної обробки за формулою (1.17):

$$2z_i^{\max} = d_{i-1}^{\max} - d_i^{\max} \quad (1.17)$$

$$2z_1^{\max} = 344,814 - 339,689 = 5,125 \text{ мм};$$

$$2z_2^{\max} = 339,689 - 338,456 = 1,233 \text{ мм};$$

$$2z_3^{\max} = 338,456 - 338,071 = 0,385 \text{ мм};$$

$$2z_4^{\max} = 338,071 - 337,938 = 0,133 \text{ мм};$$

Перевіряємо розрахунки, використовуючи наступну рівність (1.18):

$$\begin{aligned} 2Z_0^{\max} - 2Z_0^{\min} &= Td_{\text{заг}} + Td_{\text{дет}} \\ 7032 - 3375 &= 3600 + 57 \end{aligned} \quad (1.18)$$

Визначаємо виконавчий розмір заготовки за формулою (1.19):

$$\begin{aligned} d_{1\text{ном}} &= d_{1\text{мін}} + ei_1 \\ d_{1\text{ном}} &= 341,214 + 1,2 = 342,4 \text{ мм} \end{aligned} \quad (1.19)$$

Виконавчий розмір заготовки буде рівнятися:  $\varnothing 342,4_{-1,2}^{+2,4}$  виконавчі розміри за іншими переходами виконуємо в системі «валу», за номінальне значення розміру приймаємо максимальне значення розміру поверхні мінус допуск на обробку як нижнє відхилення, всі данні заносимо в таблицю 1.6.

Розрахунок технологічних розмірів на поверхню  $\varnothing 76\text{H}10$  виконується методом розмірних ланцюгів.

Розточування чорнове  $2Z_{2\text{мін}}=2,5\text{мм}$ ; розточування чистове  $2Z_{3\text{мін}}=0,75\text{мм}$ .

Визначаємо мінімальний розмір поверхні деталі – розмір останнього переходу механічної обробки за формулою (1.20) [2]:

$$\begin{aligned} d_4^{\min} &= d_4^{\text{ном}} + eid_4 \\ d_4^{\min} &= 76 + 0 = 76\text{мм} \end{aligned} \quad (1.20)$$

Далі розрахункові мінімальні розміри знаходимо за формулою (1.21) [2]:

$$d_i^{\min} = d_{i+1}^{\min} - 2Z_{i+1}^{\min} - Td_i \quad (1.21)$$

$$d_3^{min} = 76 - 0,75 - 0,62 = 74,63\text{мм};$$

$$d_1^{min} = 74,63 - 2,5 - 1,9 = 70,23\text{мм};$$

Розрахуємо максимальні розміри поверхні для переходів за формулою (1.22) [2]:

$$d_i^{max} = d_i^{min} + Td_i \quad (1.22)$$

$$d_1^{max} = 70,23 + 1,9 = 72,13\text{мм};$$

$$d_3^{max} = 74,63 + 0,62 = 75,25\text{мм};$$

Розрахуємо максимальні припуски для переходів механічної обробки (1.23) [2]:

$$2Z_{imax} = d_i^{max} - d_{i+1}^{min} \quad (1.23)$$

$$2Z_{min1} = 75,25 - 70,23 = 5,02\text{мм};$$

$$2Z_{min3} = 76,12 - 74,63 = 1,49\text{мм};$$

Перевіряємо розрахунки, використовуючі рівняння (1.24) [2]:

$$2Z_0^{max} - 2Z_0^{min} = Td_{заг} + Td_{дет} \quad (1.24)$$

$$6,57 - 4,55 = 1,9 + 0,12$$

Виконавчий розмір заготовки буде дорівнювати:  $\text{Ø}72_{-1,3}^{+0,6}$  виконавчі розміри за іншими переходами виконуємо в системі «отвору», за номінальний розмір приймаємо мінімальне значення розміру поверхні плюс допуск на обробку як верхнє відхилення, всі данні заносимо в таблицю 1.6.

Таблиця 1.6 – Розрахунок припусків

№ Пов.	Перехід	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий		Допуск, мм	Макс. розмір, мм	Мінім. розмір, мм	Припуск на обробку, мкм		Виконавчий розмір, мм
		Rz	h	ρ	ε	Мін. припуск, мкм	Розмір, мм				2Z <sub>max</sub>	2Z <sub>min</sub>	
		3	4	5	6	7	8				12	13	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ø338I <sub>56</sub>	Заготовка	150	150	672	-	-	341,214	3,6	344,814	341,214	-	-	Ø342,4 <sup>+2,4</sup> <sub>-1,2</sub>
	Точ. Черн.	75	75	40.32	537	2325	338,889	0,8	339,689	338,889	5125	2325	Ø339,7 <sub>0,8</sub>
	Точ. напівчист	50	50	2.02	32.22	703	338,186	0,27	338,456	338,186	1233	703	Ø338,5 <sub>0,27</sub>
	Точ. чист	25	25	0	1.61	205	337,981	0,08	338,071	337,981	385	205	Ø338,1 <sub>0,08</sub>
	Шліф.	10	10	0	0	100	337,881	0,022	337,938	337,881	133	100	Ø338 <sub>0,119</sub> <sup>-0,062</sup>
Ø76H10	Заготовка					-	70,23	1,9	72,13	70,23	-	-	Ø72 <sub>1,3</sub> <sup>+0,6</sup>
	Точ. Черн.					2500	74,63	0,62	75,25	74,63	5020	2500	Ø75,25 <sub>0,62</sub>
	Точ. чист					750	75,88	0,12	76	75,88	1490	750	Ø76 <sub>0,12</sub>

## 1.6 Розрахунок режимів різання

Розрахунок режимів різання для тонкостінної деталі, такої як ступиця, вимагає особливої уваги та урахування ряду факторів, оскільки тонкостінні деталі мають певні особливості і вимоги.

Операційний ескіз токарної операції показано на рис. 1.8.

Деталь – ступиця, матеріал Сталь 12Х2Н4А-Ш ГОСТ 4543-71;

Верстат – токарний з ЧПК Haas SL30

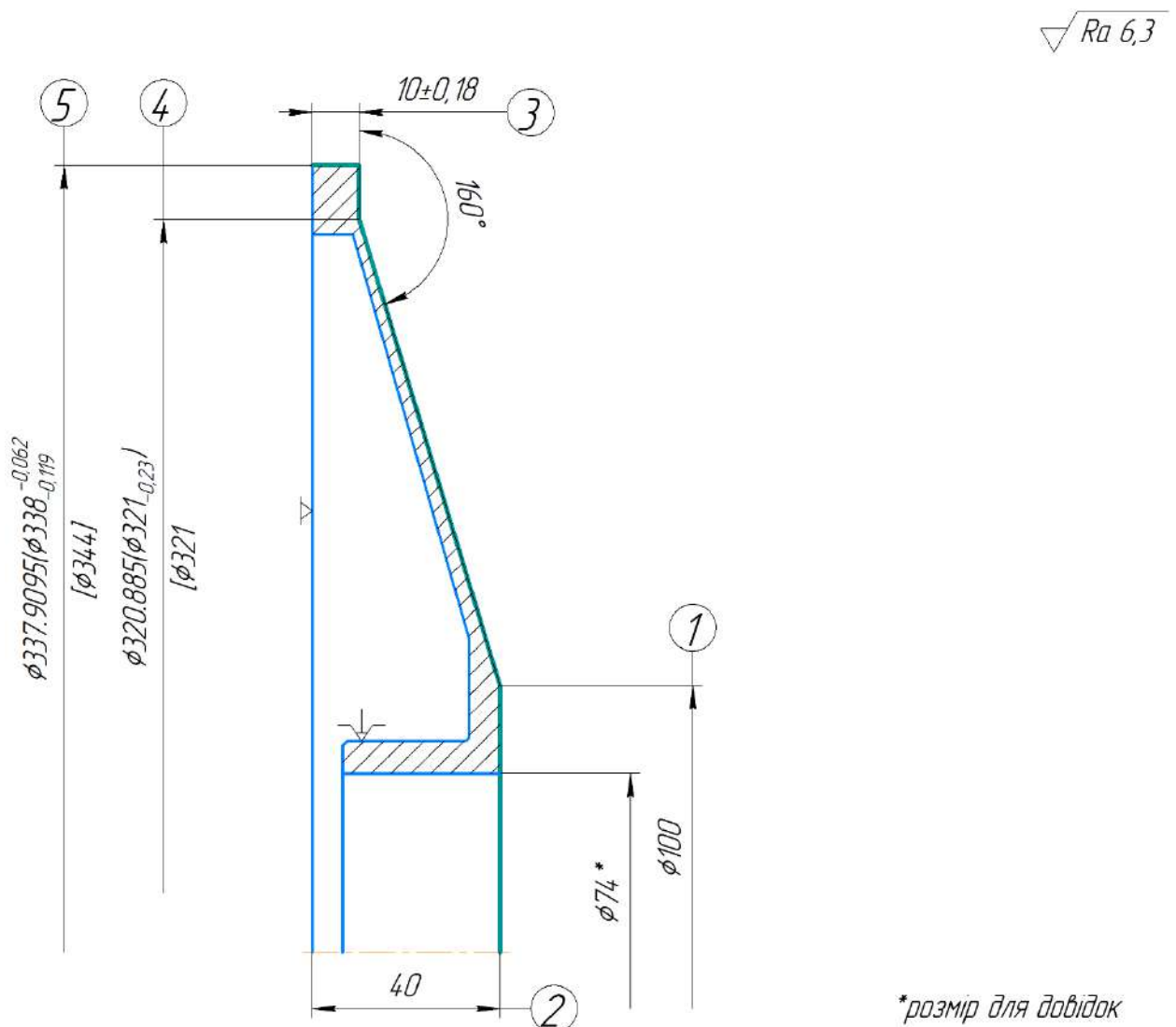


Рисунок 1.8 – Операційний ескіз токарної операції

Чорнове токарне оброблення.

Глибина різку  $t=1,0$  мм.

Подача:

$S_{\text{табл}} = 0,29$  [3,табл.28,стр 238] – (для радіуса в вершині 0,8 мм, і шорсткість  $Ra = 6,3$ ).

Розраховуйте подачу з урахуванням поправочного коефіцієнта за формулою (1.25):

$$S_o = S_{om} \cdot K_{so} \quad (1.25)$$

де  $K_{so}$  – поправочний коефіцієнт подачі для зміни умов обробки, всі поправочні коефіцієнти знаходяться в [3,табл.30,стр 239] за формулою (1.26).

$$K_{so} = K_{sn} \cdot K_{su} \cdot K_{s\phi} \cdot K_{s3} \cdot K_{sjc} \cdot K_{sm} \quad (1.26)$$

де  $K_{sn}$  – коефіцієнт, що враховує стан оброблюваної поверхні;

$K_{su}$  – фактор, що враховує матеріал інструменту;

$K_{s\phi}$  – коефіцієнт, що враховує форму оброблюваної поверхні;

$K_{s3}$  – коефіцієнт, що враховує ефект загартування;

$K_{sjc}$  – коефіцієнт, що враховує жорсткість технологічної системи;

$K_{sm}$  – Коефіцієнт, що враховує матеріал оброблюваної деталі.

$$K_{sn} = 1; K_{su} = 1; K_{s\phi} = 0,7; K_{s3} = 0,8; K_{sjc} = 0,62; K_{sm} = 1,07.$$

$$K_{so} = 1 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 0,8 \cdot 0,62 \cdot 1,07 = 0,37$$

$$S_o = 0,29 \cdot 0,37 = 0,107 \text{ мм / об}$$

Коригуємо подачу згідно з паспортом машини  $S_o=0,10$  мм/об. Довговічність різців [3, табл.18, стр. 227]:  $T = 90$  хв.

Розраховуємо швидкість різання за формулою (1.27):

$$V = V_m \cdot K_v \quad (1.27)$$

де  $V_m$  – таблиця швидкості різання

$$V_m = 304 \text{ м/хв [3,табл.36,с.243].}$$

$K_v$  – поправочний коефіцієнт швидкості різання розраховується за формулою (1.28):

$$K_v = K_{Vm} \cdot K_{Vn} \cdot K_{V\phi} \cdot K_{Vm} \cdot K_{Vjc} \cdot K_{Vn} \cdot K_{Vo} \quad (1.28)$$

де  $K_{Vm}$  – коефіцієнт оброблюваності,  $K_{Vm} = 0,8$  [3, табл.1, с.22];

$K_{Vn}$  – коефіцієнт, що враховує властивості матеріалу інструменту,  $K_{Vn} = 1$ , [3, табл.37, с.244];

$K_{V\phi}$  – коефіцієнт, що враховує вплив кута в плані,  $K_{V\phi} = 1$  ( $\phi=60^\circ$ ), [3, табл.37, с.244];

$K_{V_m}$  – коефіцієнт, що враховує тип обробки,  $K_{V_m} = 0,6$ , [3, табл. 37, с.244];

$K_{V_{ж}}$  – коефіцієнт, що враховує жорсткість технологічної системи,  $K_{V_{ж}} = 0,6$ , [3, табл. 37, с.244];

$K_{V_n}$  – коефіцієнт, що враховує стан оброблюваної поверхні,  $K_{V_n} = 1$ , [3, табл. 37, с.244];

$K_{V_o}$  – коефіцієнт, що враховує вплив ЗОТС,  $K_{V_o} = 1$  [3, табл. 37, с.244].

$$K_v = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 1 = 0,288$$

$$V = 304 \cdot 0,288 = 87,55 \text{ м / хв}$$

Обчислюємо частоту обертання шпинделя  $n$  (об/хв) за формулою (1.29):

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad (1.29)$$

де  $D$  – діаметр оброблюваної заготовки, мм.

$$n = \frac{1000 \cdot 87,55}{3,14 \cdot 338} = 82,8 \text{ об / хв}$$

Корекція обертання шпинделя згідно з паспортом верстата  $n_d = 80$  об/хв.

Знаходження реальної швидкості різання за формулою (1.30):

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1.30)$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 338 \cdot 80}{1000} = 86,7 \text{ м / хв}$$

Визначаємо силу різання за формулою (1.31):

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot V^n \cdot k_p, \quad (1.31)$$

де,  $C_p$  – коефіцієнт, що враховує умови обробки,  $C_p = 204$  [3, т.22, стр.273];

$x$ ,  $y$ ,  $n$  – показники степені, що враховують умови обробки  $n=0$ ;  $x=1,0$ ;  $y=0,75$ ; [3, т.22, стр.273];

$k_p$  – поправочний коефіцієнт, що враховує фактичні умови різання визначається за формулою 1.32:

$$K_p = k_{mv} \cdot k_{\varphi v} \cdot k_{\gamma v} \cdot k_{\lambda v} \cdot k_{rv}, \quad (1.32)$$

де,  $k_{mv}$  – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив якості оброблююмого матеріалу визначаємо за формулою (1.33):

$$k_{MP} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n \quad (1.33)$$

$$k_{MP} = \left(\frac{1080}{750}\right)^{0,75} = 1,31$$

$k_{\phi p}, k_{\gamma p}, k_{\lambda p}, k_{\Gamma p}$  - поправочні коефіцієнти, що враховують вплив геометричних параметрів ріжучої частини інструменту  $k_{\phi p}=1,08, k_{\gamma p}=1,15, k_{\lambda p}=1,0, k_{\Gamma p}=0,93$ , [3, т. 23, стр.275];

$$k_p = 1,31 \times 1,08 \times 1,15 \times 1,0 \times 0,93 = 1,51$$

$$P_z = 10 \times 204 \times 1,0^{1,0} \times 0,1^{0,75} \times 86,7^0 \times 1,51 = 547,78 \text{ Н}$$

Визначаємо потужність різання за формулою (1.34):

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}, \quad (1.34)$$

де,  $P_z$  - сила різання, Н

$V$  - швидкість різання, м/хв

$$N = \frac{547,78 \times 86,7}{1020 \times 60} = 0,77 \text{ кВт}$$

Перевірка потужності різання за потужністю верстата:

$$N_2 = 0,72 \text{ кВт} \leq N_{\text{ст}} = N_{\text{дв}} \cdot \eta = 15 \cdot 0,85 = 12,75 \text{ кВт}$$

Визначаємо машинний час за формулою (1.35):

$$T_0 = \frac{l + y + \Delta}{n \cdot S_0}; \quad (1.35)$$

де,  $l$  - довжина оброблюємої поверхні,  $l=162$  мм;

$y$  - величина врізання, мм  $y=3$  мм;

$\Delta$  - величина перебігу інструменту,  $\Delta=3$  мм.

$$T_0 = \frac{162 + 3 + 3}{80 \times 0,1} = 21 \text{ хв}$$

Розрахунок режимів різання на свердлильну операцію №055

Операційний ескіз на розроблювану операцію показано на рис. 1.9.

Вихідні дані:

На реальній деталі отвори відсутні, тому розрахунок режимів різання на свердлильну операцію виконано для умовних поверхонь.

Деталь – ступиця

Матеріал – сталь 12Х2Н4А-Ш ГОСТ 4543-71

Заготовка – штамповка

Верстат - верстат з ЧПК DN SOLUTIONS MYNX 5400

Інструмент – свердло спіральне  $D=6$  мм ГОСТ 10903-71, матеріал Р6М5, стійкість свердла  $T=12$  хв [3,табл.30,стр.229];

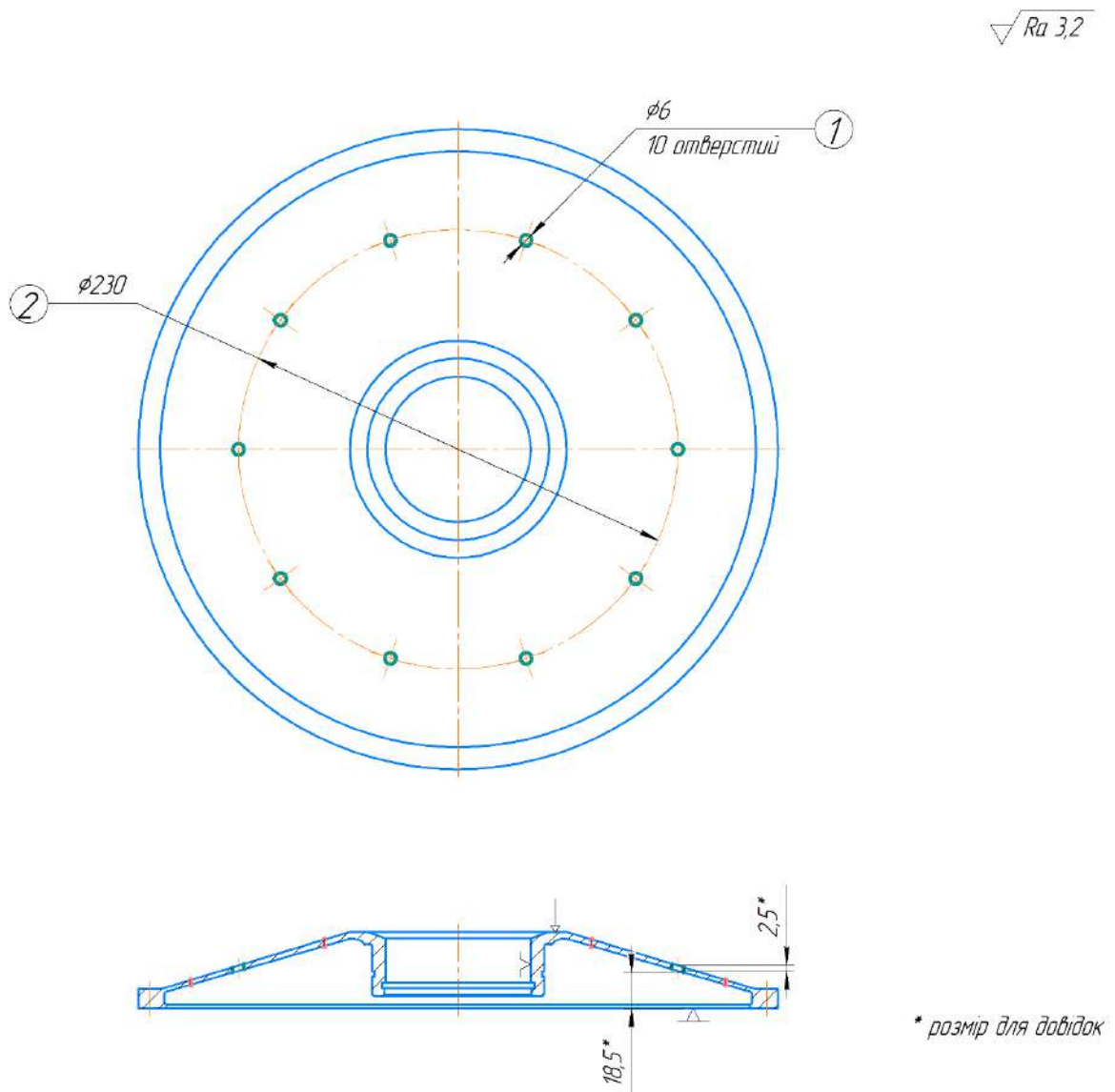


Рисунок 1.9 – Операційний ескіз на свердлильну операцію

Діаметр свердла  $D = 6$  мм

Глибина різку визначається за формулою (1.36):

$$t = 0,5D \quad (1.36)$$

$$t = 0,5 \times 6 = 3 \text{ мм}$$

Визначаємо подачу за формулою (1.25), (1.26):

$$K_{S_o} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,75 = 0,75$$

$$S_o = 0,3 \times 0,75 = 0,23 \text{ мм/об}$$

де  $S_{o_r} = 0,3 \text{ мм/об}$  [3, т.64, стр. 267];

$K_{SI}$  – коефіцієнт глибини свердління,  $K_{SI}=1,0$ ;

$K_{SII}$  – фактор, що враховує матеріал інструменту,  $K_{SII}=1,0$ ;

$K_{Sd}$  – фактор, що враховує тип оброблюваного отвору,  $K_{Sd}=1,0$ ;

$K_{SЖ}$  – коефіцієнт, що враховує жорсткість технологічної системи,  $K_{SЖ}=1,0$ ;

$K_{SM}$  – коефіцієнт, що враховує матеріал оброблюваної поверхні,  $K_{SM}=0,75$ .

Визначення швидкості різання за формулами (1.27), (1.28):

$$k_v = 0,8 \times 0,91 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 0,73$$

$$V = 22 \times 0,73 = 16,06 \text{ м/хв}$$

де,  $V_T$  – табличне значення швидкості різання,  $V_T=22 \text{ м/хв}$ , [3, т.66, стр. 269];

$K_V$  – узагальнений коефіцієнт швидкості;

$K_{Vm}$  – коефіцієнт оброблюваності матеріалу,  $K_{Vm}=0,8$ ;

$K_{VII}$  – коефіцієнт, що враховує властивості матеріалу інструменту,  $K_{VII}=0,91$ ;

$K_{Vd}$  – коефіцієнт, що враховує тип отвору,  $K_{Vd}=1,0$ ;

$K_{VI}$  – коефіцієнт, що враховує довжину отвору,  $K_{VI}=1,0$ ;

$K_{VO}$  – коефіцієнт, що враховує вплив ЗОТС,  $K_{VO}=1,0$ .

Визначаємо частоту обертання шпинделя за формулою (1.29):

$$n = \frac{1000 \times 16,06}{3,14 \times 6} = 1022 \text{ хв}^{-1}$$

Приймаємо згідно з паспортом машини  $n=1000 \text{ хв}^{-1}$

Фактична швидкість різання:

$$V_d = \frac{3,14 \times 1000 \times 6}{1000} = 15,7 \text{ м/хв}$$

Визначення ріжучого моменту за формулою (1.37):

$$M_{\text{кр}} = 10 \times C_M \times D^q \times s^y \times K_p \quad (1.37)$$

де,  $C_M$  – коефіцієнт, що враховує умови обробки,  $C_M = 0,106$  [3, т. 42, стр. 385];  
 $q, y$  – показники, що враховують умови обробки,  $q = 2,0$ ;  $y = 0,7$ ; [3, т. 42, стр. 385];  
 $K_p$  – поправочний коефіцієнт, що враховує фактичні умови різання, залежить тільки від матеріалу оброблюваної поверхні,

$$K_{p=\text{кмп}} = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left( \frac{1080}{750} \right)^{0.75} = 1.31$$

$$M_{\text{кр}} = 10 \times 0,106 \times 6^2 \times 0,23^{0.7} \times 1,31 = 17,86 \text{ Н} \times \text{мм}$$

Визначаємо потужність різання за формулою (1.38):

$$N = \frac{M_{\text{кр}} \times n}{9750} \quad (1.38)$$

де,  $M_{\text{кр}}$  - Момент різання, Н×мм  
 $n$  - швидкість різання, м/хв

$$N = \frac{17,86 \times 1000}{9750} = 1,83 \text{ кВт}$$

Перевірка потужності різання за потужністю верстата:

$$N_2 = 1,56 \text{ кВт} \leq N_{\text{ст}} = N_{\text{дв}} \cdot \eta = 15 \times 0,85 = 12,75 \text{ кВт}$$

Розрахунок основного часу

Основний (технологічний) час визначається за формулою (1.39):

$$t_{\text{о2}} = \frac{l + l_1}{n \times S} \times i \quad (1.39)$$

де  $l$  – довжина оброблюваної поверхні (довжина отвору),  $l = 2,5$  мм;  
 $l_1$  – довжина врізання і перебігу інструменту  $l_1 = 3,5$  мм, [3, к.43, стор.282];  
 $i$  – кількість проходів,  $i = 1$ ;  
 $n$  – частота обертання шпинделя з інструментом, об/хв;  
 $S$  – подання інструменту, мм/об;

$$t_{02} = \left( \frac{2,5 + 3,5}{80 \times 0,1} \right) \times 10 = 7,5 \text{ хв}$$

Розрахунок режимів різання на операцію Фрезерна з ЧПК №060

Деталь – ступиця, матеріал – Сталь 12Х2Н4А-Ш ГОСТ 4543-71

Верстат – шліцефрезерний ЧПК 5А352ПФ2

Інструмент – Фреза CoroMill 162 В162-066А32-30 ISO 11529-1:2005 Ø66

Операційний ескіз показано на рисунку 1.10.

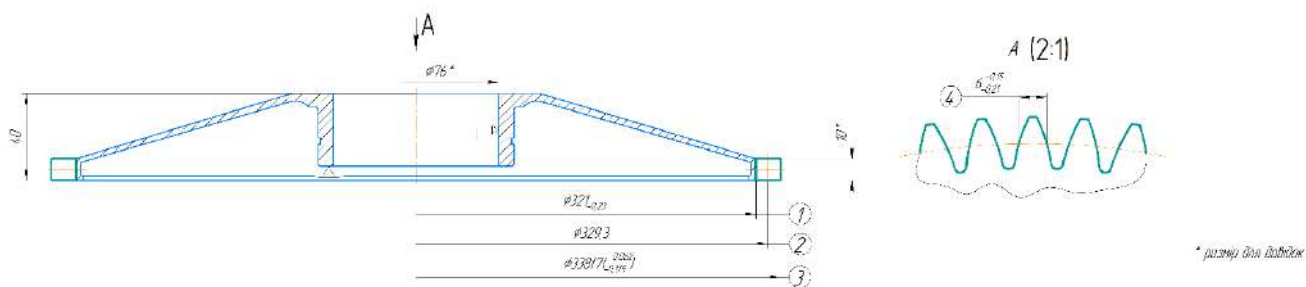


Рисунок 1.10 – Експлуатаційний ескіз фрезерної операції

Глибина різання:  $t = 8,5$  мм

Подача розраховується за формулою (1.40):

$$S_z = S_{zT} \cdot K_{S_z} \quad (1.40)$$

де  $S_z = 0,27$  мм/зуб – табличне значення подачі [3, стр.303, табл.111].

$K_{S_z}$  – коефіцієнт, що враховує ряд конструктивних особливостей технологічної системи за формулою (1.41);

$$K_{S_z} = K_{S_{zH}} \cdot K_{S_{z\phi}} \cdot K_{S_{zR}} \quad (1.41)$$

де  $K_{S_{zH}}$  – фактор, що враховує матеріал інструменту,  $K_{S_{zH}} = 1$ ;

$K_{S_{z\phi}}$  – коефіцієнт, що враховує тип оброблюваної поверхні,  $K_{S_{z\phi}} = 0,66$ ;

$K_{S_{zR}}$  – коефіцієнт, що враховує шорсткість,  $K_{S_{zR}} = 1$ ;

$$K_{S_z} = 0,66$$

$$S_z = 0,27 \cdot 0,66 = 0,14 \text{ мм / зуб}$$

Розрахунок швидкості різання за формулою (1.42):

$$V = V_m \cdot K_v \quad (1.42)$$

де  $V_m$  – табличне значення швидкості різання

$K_v$  – коефіцієнт, що враховує ряд конкретних умов обробки за формулою (1.43):

$$K_v = K_{V_M} \cdot K_{V_n} \cdot K_{V_o} \cdot K_{V_{II}} \cdot K_{V_{\Phi}} \cdot K_{V_B} \quad (1.43)$$

де  $K_{V_M}$  – коефіцієнт, що враховує тип оброблюваного матеріалу;

$K_{V_n}$  – коефіцієнт, що враховує стан оброблюваної заготовки;

$K_{V_o}$  – коефіцієнт, що враховує умови обробки;

$K_{V_{\Phi}}$  – коефіцієнт, що враховує оброблюваний елемент;

$K_{V_{II}}$  – фактор, що враховує матеріал інструменту;

$K_{V_B}$  – коефіцієнт, що враховує відношення фактичної ширини фрезерування до стандартної ширини;

$$V_m = 52 \text{ м/хв [3, табл.128, стр.317]}$$

$$K_{V_M} = 0,75; K_{V_n} = 0,8; K_{V_o} = 1,2; K_{V_{\Phi}} = 0,57; K_{V_{II}} = 1; K_{V_B} = 1.$$

$$V = 52 \cdot 0,75 \cdot 0,8 \cdot 1,2 \cdot 0,57 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 21,34 \text{ м/хв}$$

Оберти за формулою (1.29):

$$n = \frac{1000 \cdot 21,34}{3,14 \cdot 66} = 110 \text{ об / хв}$$

Коректируємо вращение шпинделя по паспорту станка  $n=110$  об/хв.

Хвилинну подачу визначимо по формулі визначається за формулою (1.44):

$$S_{хв} = S_z \times z \times n_d \quad (1.44)$$

$$S_{хв} = 0,0275 \times 4 \times 850 = 93,5 \frac{\text{мм}}{\text{хв}}$$

Потужність визначаємо за формулою (1.45):

$$N_{рез} = N_n \cdot K_M \cdot K_K \cdot K_W \cdot K_{\beta} \quad (1.45)$$

де  $N_n=0,8$ кВт потужність необхідна на різання [3, стор.522, карті 5];

$K_M=1$  – поправочний коефіцієнт, залежний від оброблюваного матеріалу;

$K_W=1,64$  – поправочний коефіцієнт, залежний від кількості осьових переміщень;

$K_K=1,1$  – поправочний коефіцієнт, залежний від кількості заходів фрези;

$K_{\beta}=1$  – поправочний коефіцієнт, залежний від кута нахилу зубів коліс;

$$N_{\text{рез}} = 0,8 \cdot 1 \cdot 1,64 \cdot 1,1 \cdot 1 = 1,44 \text{кВт},$$

$$N_{\text{рез}} = 1,44 \text{кВт} < N_{\text{ст}} = 7 \text{кВт}.$$

Ефективна потужність, потрібна на різання, нижче потужності електродвигуна, що задовольняє умовам різання.

Визначаємо машинний час за формулою (1.46):

$$T_o = \frac{l + y}{n \cdot S_o \cdot Z} \quad (1.46)$$

де,  $l$  – довжина оброблюваної поверхні,  $l=1151$  мм;

$y$  – величина врізання, мм  $y=3$  мм;

$Z$  – число зубів фрези,  $z=4$ .

$$T_o = \frac{1151 + 3}{110 \times 0,0275 \times 4} = 95,37 \text{хв}$$

На інші операції режими різання вказані у таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Режими різання

N Опер.	Найменування операції	t, мм	S <sub>o</sub> , мм/об	V <sub>д</sub> , м/хв	n <sub>д</sub> , хв <sup>-1</sup>	T <sub>o</sub> , хв
015	Токарна ЧПК	1,5	0,2	36,4	35	5,13
020	Токарна ЧПК	1,5	0,2	36,4	35	3,21
025	Токарна ЧПК	1,0	0,15	40,7	40	6,45
030	Токарна ЧПК	1,0	0,15	40,7	40	4,13
035	Токарна ЧПК	1,0	0,1	86,7	80	21
040	Токарна ЧПК	0,5	0,1	51,2	50	4,1
045	Токарна ЧПК	0,5	0,1	51,2	50	3,4
050	Токарна ЧПК	0,5	0,1	51,2	50	1,42
055	Свердлильна ЧПК	3,0	0,2	15,7	1000	7,5
060	Фрезерна ЧПК	8,5	0,14	21,34	110	95,37
065	Фрезерна ЧПК	2,6	0,14	21,34	1500	8,42
070	Шліфувальна	0,05	0,005/0,08	18/35	50/1500	5,74
075	Шліфувальна	0,05	0,005/0,08	18/35	50/1500	3,63

## 1.7 Розрахунок технічної норми часу

Основний час на виконання токарної операції 035  $t_o=21$ хв.

Допоміжний час визначаємо за формулою (1.47):

$$t_{всп.} = t_{в.у} + t_{м.в.} \quad (1.47)$$

де,  $t_{в.у.} = 1,2$  хв – час на установку і зняття деталі в патроні з ручним затиском [4, к.51, стор.138];

$t_{м.в.} = 1,34$  хв - час, пов'язаний з виконанням допоміжних ходів і переміщень при обробці поверхні [4, таблиця.12, стор.605]

$$t_{всп.} = 1,2 + 1,34 = 2,54 \text{хв}$$

Час роботи верстата дорівнює неповному оперативному часу роботи верстата визначається за формулою (1.48):

$$t_{п.у.} = t_o + t_{м.в.} \quad (1.48)$$

$$t_{п.у.} = 21 + 2,54 = 23,54 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця визначається за формулою (1.49):

$$t_{обс} = 10\% \cdot t_{п.у.} \quad (1.49)$$

$$t_{обс} = 0,1 \cdot 23,54 = 0,23 \text{хв.}$$

Час на відпочинок і природні потреби визначається за формулою (1.50):

$$t_{п} = 10\% \cdot t_{п.у.} \quad (1.50)$$

$$t_{п} = 0,1 \cdot 23,54 = 0,23 \text{хв.}$$

Визначаємо штучний час на операцію:

$$t_{шт.} = 23,54 + 0,23 + 0,23 = 24 \text{хв.}$$

Визначаємо підготовчо-завершальний час на операцію [4, стор.604] за формулою (1.51):

$$T_{п-з} = T_{п-з1} + T_{п-з2} \quad (1.51)$$

де,  $T_{п-з1} = 5$  хв – час на витрати по обслуговуванню верстата [4, стор.604];

$T_{п-з2} = 7$  хв – час на витрати, що враховують додаткові роботи [4, таблиця.12, стор.606];

$$T_{п-з} = 5 + 7 = 12 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час на операцію, хв

$$t_{шт.-к.} = \frac{12}{40} + 24 = 24,3 \text{ хв.}$$

Основний час на виконання свердлильної операції 055  $t_0 = 7,5$  хв.

Допоміжний час за формулою (1.47):

$t_{в.у.} = 0,73$  хв – час на установку і зняття деталі [4, к.44, стор.288];

$t_{м.в.} = 2,1$  хв – час, пов'язаний з виконанням допоміжних ходів і переміщень при обробці поверхні [4, таблиця.12, стор.605]

$$t_{всп} = 0,73 + 2,1 = 2,83 \text{ хв.}$$

Час роботи верстата за програмою управління  $t_{п.у.}$  дорівнює неповному оперативному часу роботи верстата визначаємо за формулою (1.48):

$$t_{п.у.} = 7,5 + 2,83 = 10,33 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця визначаємо за формулою (1.49):

$$t_{обс} = 0,08 \times 10,33 = 0,83 \text{ хв.}$$

Час на відпочинок і природні потреби за формулою (1.50):

$$t_{п} = 0,08 \times 10,33 = 0,83 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний час на операцію:

$$t_{шт.} = 10,33 + 0,83 + 0,83 = 11,99 \text{ хв.}$$

Визначаємо підготовчо-завершальний час на операцію [4, стор.604] за формулою (1.51):

$$T_{п-3} = 5 + 3 = 8\text{хв.}$$

де,  $T_{п-31} = 5$  хв – час на витрати для усіх верстатів з ЧПУ [4, стор.604];

$T_{п-32} = 3$  хв – час на витрати, що враховують додаткові роботи [4, табл.12, стор.606].

Штучно-калькуляційний час на операцію, хв

$$t_{шт.-к.} = \frac{8}{40} + 11,99 = 12,19\text{хв.}$$

Основний час на виконання фрезерної операції 060  $t_0 = 95,37$ хв.

Допоміжний час за формулою (1.47):

$t_{"0"} = 0,12$  хв - переміщення інструменту в «0» інструменту [4, до.34, стр.258];

$t_{с.б.} = 0,12$  хв - час пов'язаний зі зміною блоку [4, до.42, стр.394];

$t_{с.б.} = 0,1$ хв - час пов'язаний зі зміною блоку [4, до.42, стр.394];

$t_{в.у.} = 1,6$  хв - час на установку і зняття деталі в патроні з пневматичним затиском [4, до.51, стр.139];

$t_{м.в.} = 1,3$  хв - час, пов'язаний з виконанням допоміжних ходів і переміщень при обробці поверхні [4, до.60, стр.1525]

$$t_{всп} = 0,12 + 0,12 + 0,1 + 1,6 + 1,3 = 3,24\text{хв.}$$

Час роботи верстата за програмою управління  $t_{п.у}$  рівно неповному оперативному часу роботи верстата визначаємо за формулою (1.48):

$$t_{п.у.} = 95,37 + 3,24 = 98,61\text{хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця визначаємо за формулою (1.49):

$$t_{обс} = 0,08 \times 98,61 = 7,88\text{хв.}$$

Час на відпочинок і природні потреби визначаємо за формулою (1.50):

$$t_{\Pi} = 0,08 \times 98,61 = 7,88 \text{хв.}$$

Визначаємо штучний час на операцію:

$$t_{\text{шт.}} = 98,61 + 7,88 + 7,88 = 114,37 \text{хв.}$$

Визначаємо підготовчо-завершальний час на операцію за формулою (1.51):

$$T_{\Pi-3} = 3 + 8 = 11 \text{хв.}$$

де,  $T_{\Pi-31} = 3$  хв - час на витрати для усіх верстатів з ЧПУ [4, до. 60, стор. 301];

$T_{\Pi-32} = 8$  хв - час на витрати додаткові роботи, що враховують, [4, до. 60, стор. 301]:

Штучно-калькуляційний час на операцію, хв

$$t_{\text{шт.-к.}} = \frac{11}{40} + 114,37 = 114,64 \text{хв.}$$

Нормування на інші операції технологічного процесу обробки деталі форсунка показано у таблиці 1.8.

Таблица 1.8 – Техническая норма времени по операциям

Номер операции	Наименование операции	Составляющие $T_{\text{шт-к}}$						
		$t_o$	$t_b$	$t_{оп}$	$t_{обсл}$	$t_{\Pi}$	$t_{\Pi-3}$	$t_{\text{шт-к}}$
015	Токарна ЧПК	5,13	2,15	7,28	0,73	0,73	21	9,23
020	Токарна ЧПК	3,21	1,42	4,63	0,46	0,46	18	6
025	Токарна ЧПК	6,45	2,18	8,63	0,86	0,86	10	10,6
030	Токарна ЧПК	4,13	1,71	5,84	0,58	0,58	8	7,2
035	Токарна ЧПК	21	2,54	23,54	0,23	0,23	12	24,3
040	Токарна ЧПК	4,1	1,02	5,12	0,41	0,41	28	6,64
045	Токарна ЧПК	3,4	1,37	4,77	0,48	0,48	30	6,48
050	Токарна ЧПК	1,42	0,71	2,13	0,21	0,21	20	3,05
055	Свердлильна ЧПК	7,5	2,83	10,33	0,83	0,83	8	12,19
060	Фрезерна ЧПК	95,37	3,24	98,61	7,88	7,88	11	114,64
065	Фрезерна ЧПК	8,42	3,18	11,6	0,12	0,12	23	12,42
070	Шліфувальна	5,74	2,19	7,93	0,79	0,79	20	10,01
075	Шліфувальна	3,63	0,93	4,56	0,46	0,46	17	5,91

## 1.8 Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПУ, з використанням NXCAM або іншої програми, що має САМ-модуль

### 1.8.1 Розробка токарної операції

Етапи розробки технологічної операції показано на рис. 1.11 – 1.14.

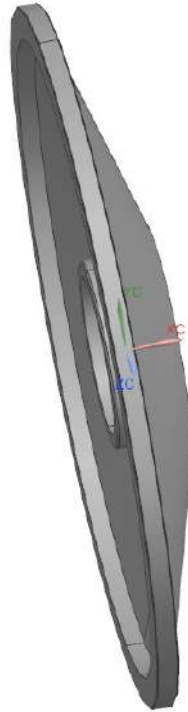


Рисунок 1.11 – 3D модель операційного ескізу

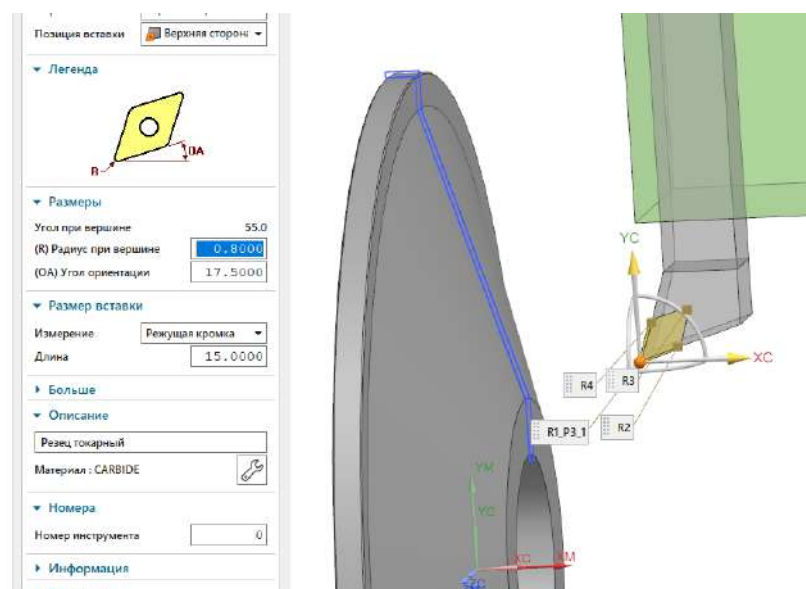


Рисунок 1.12 – Орієнтація інструменту відносно поверхні обробки

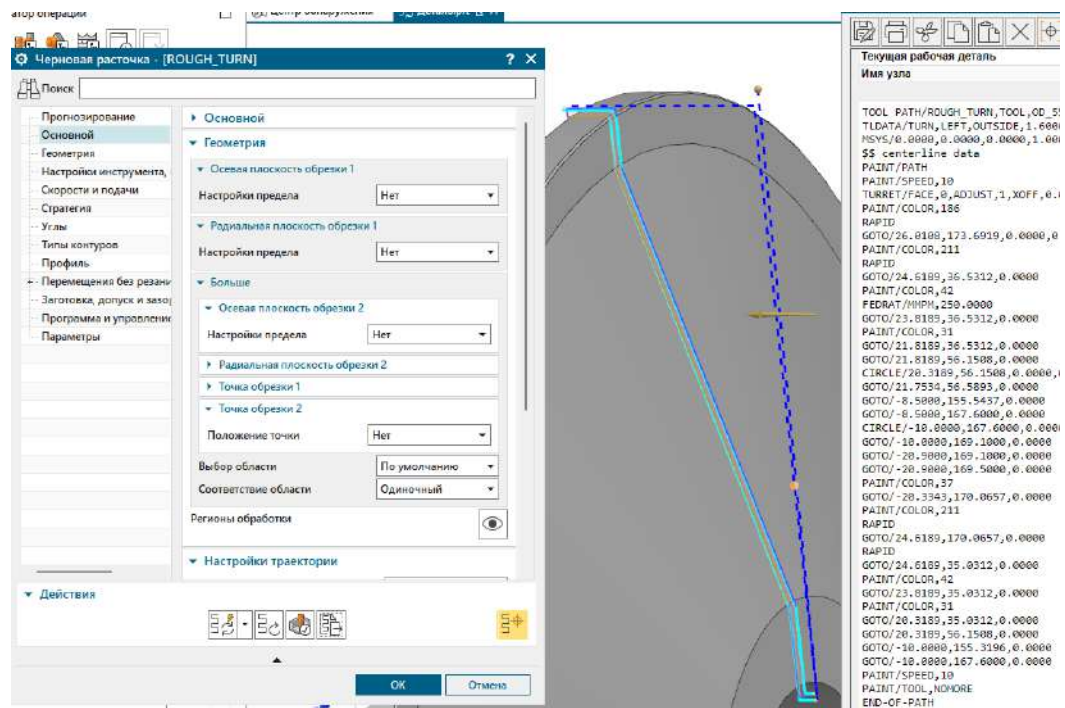


Рисунок 1.13 – Траектория обработки поверхности на токарной операции

```

N10 G18 G21 G95 G90
(ROUGH_TURN , TOOL : OD_55_L)
()

N12 T00 M6
N14 G53
N16 S1101 M4
N18 G18 G0 G90 G94 X173.692 Z26.011
N20 G92 S1500
N22 G96 S180 M4
N24 X36.531 Z24.619
N26 G1 Z23.819 F250.
N28 Z21.819
N30 X56.151
N32 G3 X56.589 Z21.753 R1.5
N34 G1 X155.544 Z-8.5
N36 X167.6
N38 G3 X169.1 Z-10. R1.5
N40 G1 Z-20.9
N42 X169.5
N44 X170.066 Z-20.334
N46 G0 Z24.619
N48 X35.031
N50 G1 Z23.819
N52 Z20.319
N54 X56.151
N56 X155.32 Z-10.
N58 X167.6
N60 M5
N62 M2
Распечатка траектории содержит 34 строк.

```

Рисунок 1.14 – Программа обработки в G кодах

## 1.8.2 Розробка свердильної операції

Етапи розробки технологічної операції показано на рис. 1.15 – 1.18.

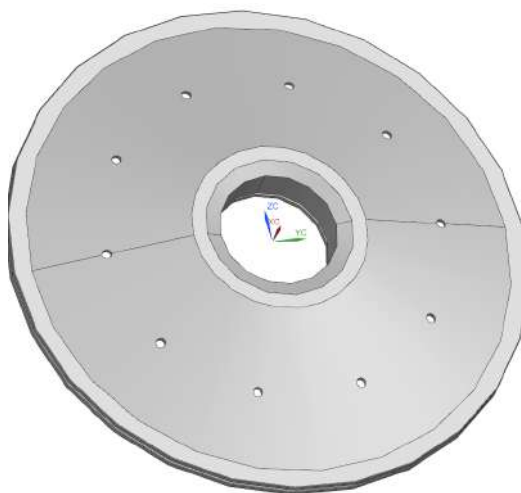


Рисунок 1.15 – 3D модель операційного ескізу

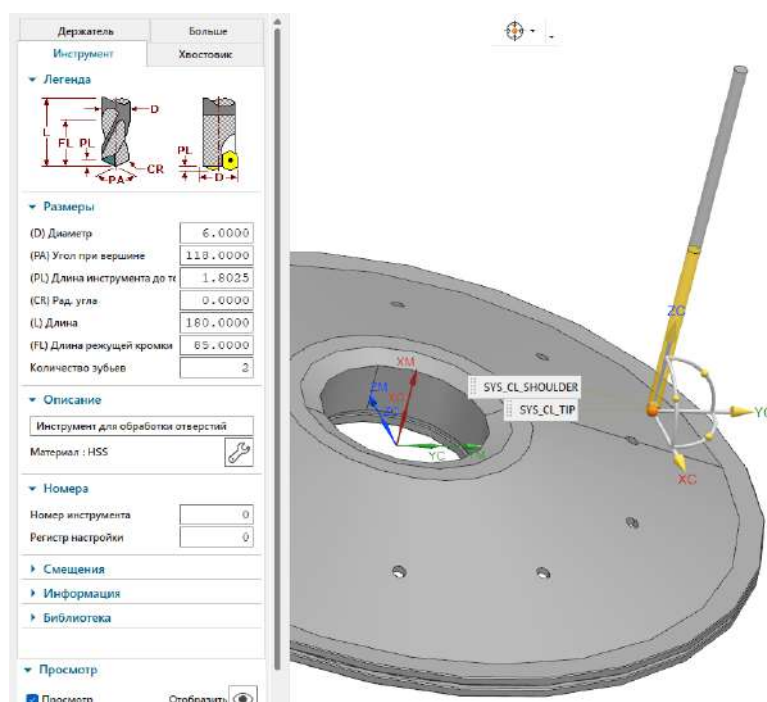


Рисунок 1.16 – Орієнтація інструменту відносно поверхні обробки

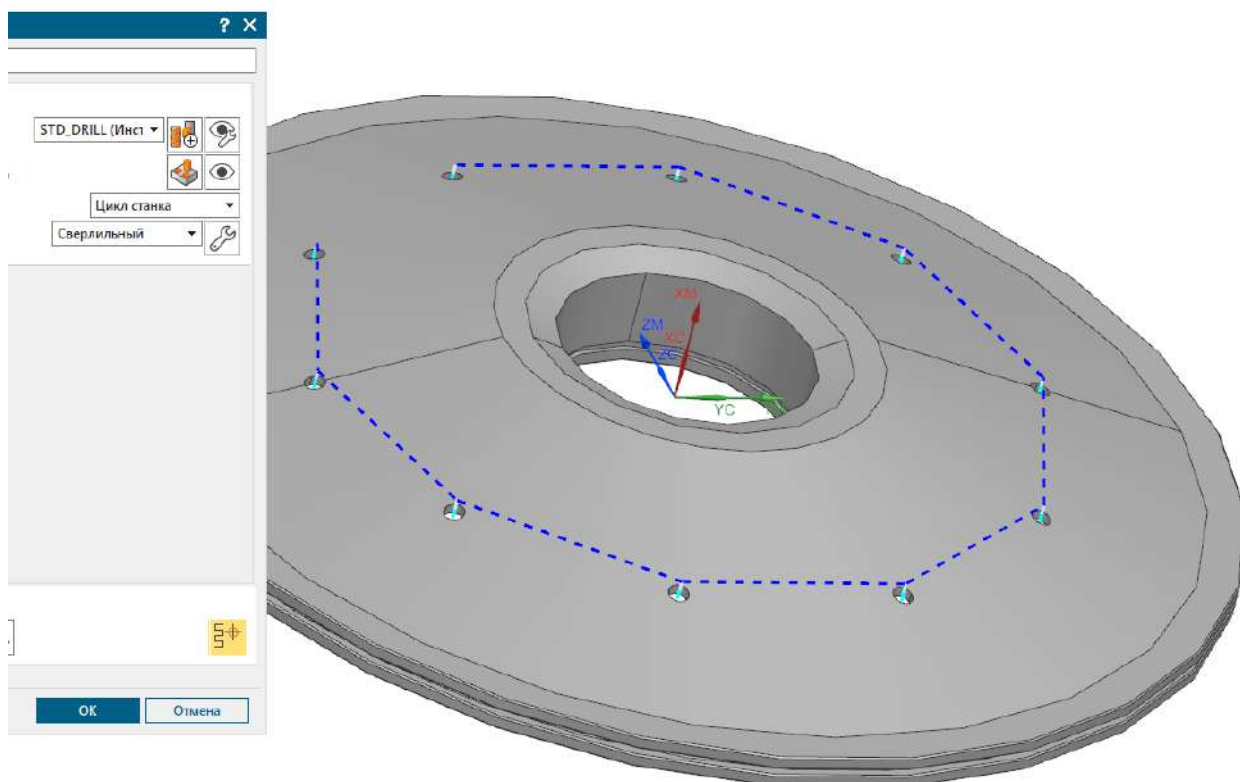


Рисунок 1.17 – Траектория обработки поверхности на свердильной операции

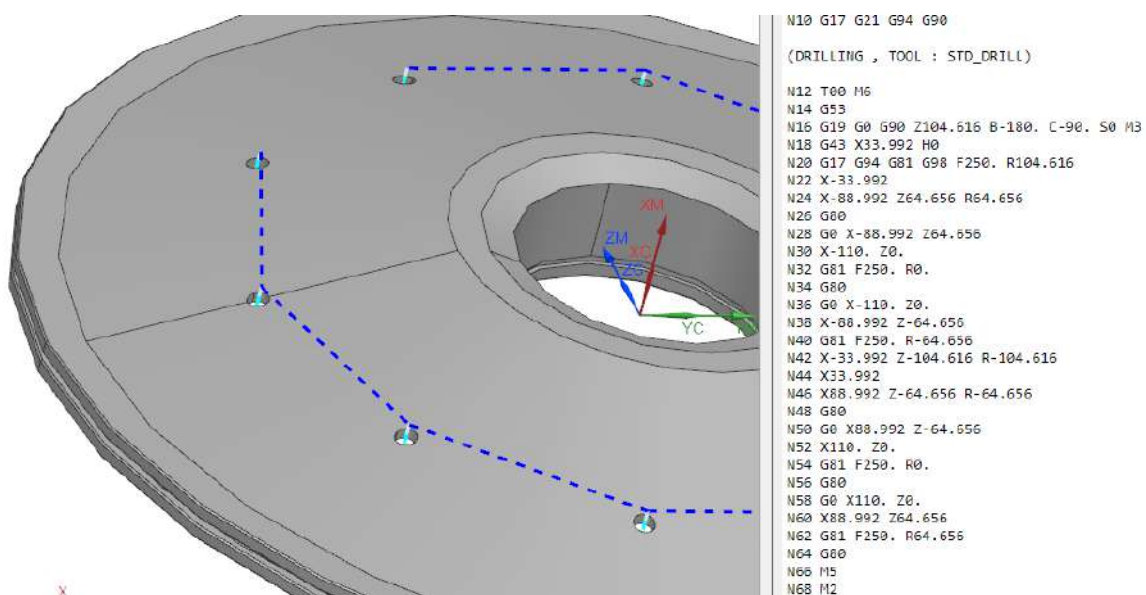


Рисунок 1.18 – Программа обработки в G кодах

### 1.8.3 Розробка фрезерної операції

Етапи розробки технологічної операції показано на рис. 1.19 – 1.22.

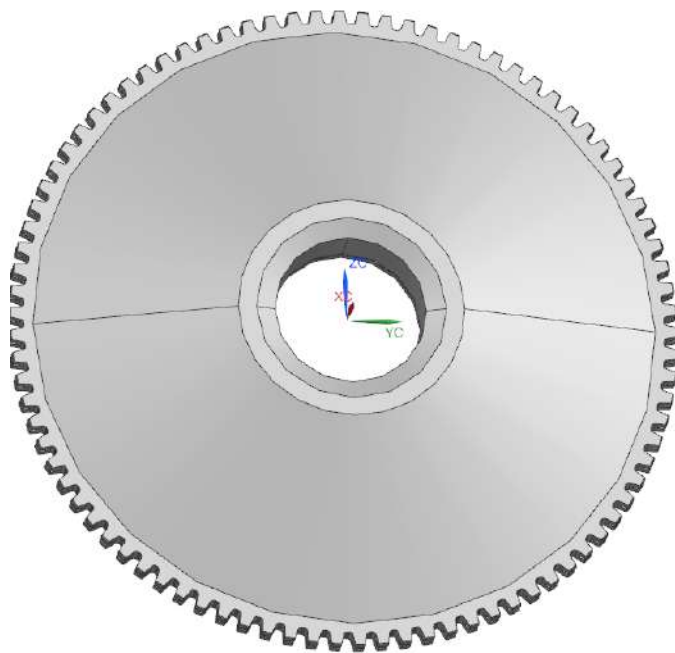


Рисунок 1.19 – 3D модель операційного ескізу

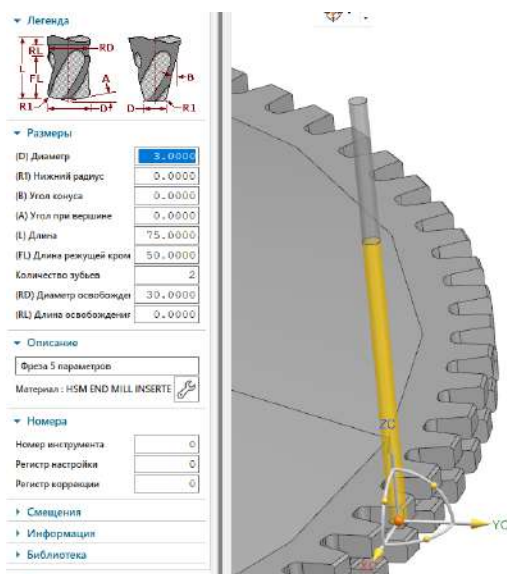


Рисунок 1.20 – Орієнтація інструменту відносно поверхні обробки

Умовно на рисунку 1.21 показана обробка кількох зубів.

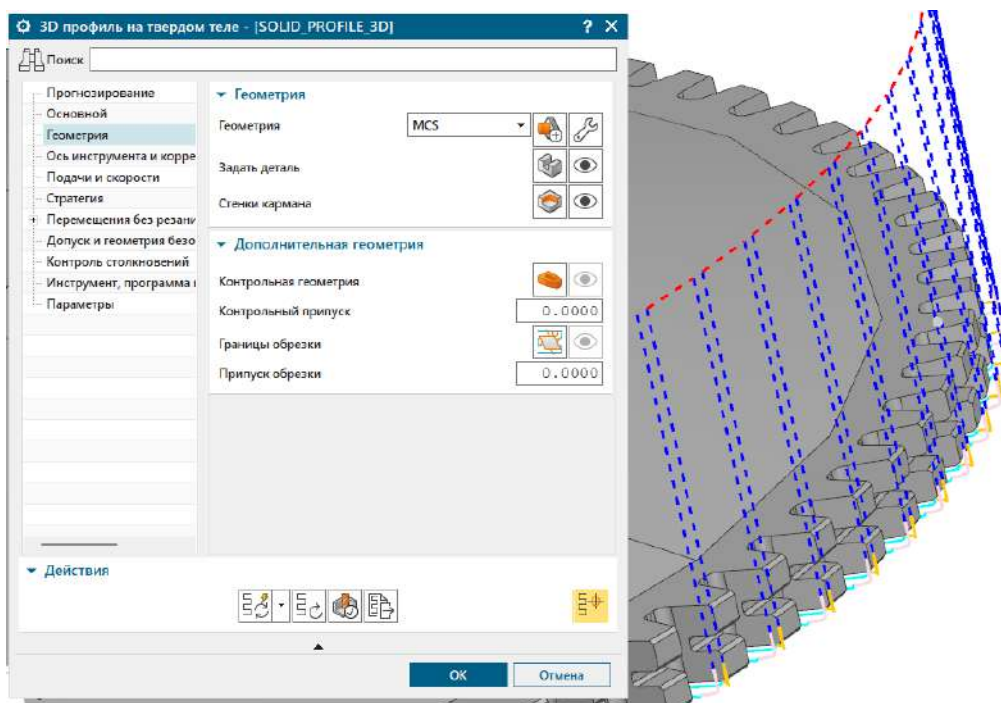


Рисунок 1.21 – Траектория обработки поверхности на фрезерной операции

```
(SOLID_PROFILE_3D , TOOL : MILL)
N12 T00 M6
N14 G54
N16 G17 G0 G90 X169.601 B0. C128.761 S1061 M3
N18 G43 Z30. M0
N20 Z-16.5
N22 G94 G1 Z-19.5 F250.
N24 X169.364
N26 X168.94
N28 X168.394
N30 X167.809
N32 X167.31 Z-20.
N34 X162.364
N36 X162.246
N38 X162.128
N40 X162.06
N42 X162.034
N44 X162.038
N46 X162.042
N48 X162.034
N50 X162.025
N52 X162.051
N54 X162.118
N56 X162.237
N58 X162.354
N60 X167.287
N62 X167.784 Z-19.5
N64 X168.369
N66 X168.918
N68 X169.346
N70 X169.59
N72 Z-16.5
N74 G0 Z30.
N76 X169.179
N78 Z-16.5
N80 G1 Z-19.5
N82 X168.96
N84 X168.585
N86 X168.055
N88 X167.471
N90 X166.966 Z-20.
N92 X161.953
N94 X161.834
N96 X161.715
N98 X161.646
N100 X161.614
N102 X161.592
N104 X161.57
N106 X161.537
N108 X161.504
N110 X161.525
N112 X161.59
N114 X161.707
N116 X161.822
N118 X166.661
N118 X166.661
N120 X167.148 Z-19.5
N122 X167.73
N124 X168.292
N126 X168.747
N128 X169.028
N130 Z-16.5
N132 G0 Z30.
N134 X167.913
N136 Z-16.5
N138 G1 Z-19.5
N140 X167.754
N142 X167.391
N144 X166.88
N146 X166.298
N148 X165.789 Z-20.
N150 X168.735
N152 X168.497
N154 X168.39
N156 X168.293
N158 X168.179
N160 X168.256
N162 X168.484
N164 X165.204
N166 X165.68 Z-19.5
N168 X166.256
N170 X166.827
N172 X167.308
N174 X167.624
N176 Z-16.5
N178 G0 Z30.
N180 X165.812
N182 Z-16.5
N184 G1 Z-19.5
N186 X165.692
N188 X165.362
N190 X164.873
N192 X164.298
N194 X163.787 Z-20.
N196 X158.717
N198 X158.479
N200 X158.366
N202 X158.218
N204 X158.095
N206 X158.124
N208 X158.347
N210 X162.924
N212 X163.386 Z-19.5
N214 X163.953
N216 X164.532
N218 X165.035
N220 X165.385
N222 Z-16.5
N224 G0 Z30.
N226 X162.894
N228 Z-16.5
N230 G1 Z-19.5
```

Рисунок 1.22 – Программа обработки в G кодах

## 2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 2.1 Проектування робочого пристосування

#### 2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування

Конструкція пристосування показана на рисунку 2.1. Базування виконується по конструкторській базі. Закріплення виконується за допомогою розтискної оправки 6 від дії переміщення конусної втулки 7. Рух втулки 7 забезпечується переміщенням штоку та пружного поршня від дії стисненого повітря. Розтиск відбувається коли стиснене повітря видаляється та починає діяти пружина 4. Пристосування монтується на столі шліцефрезерного верстату 5А352ПФ2.

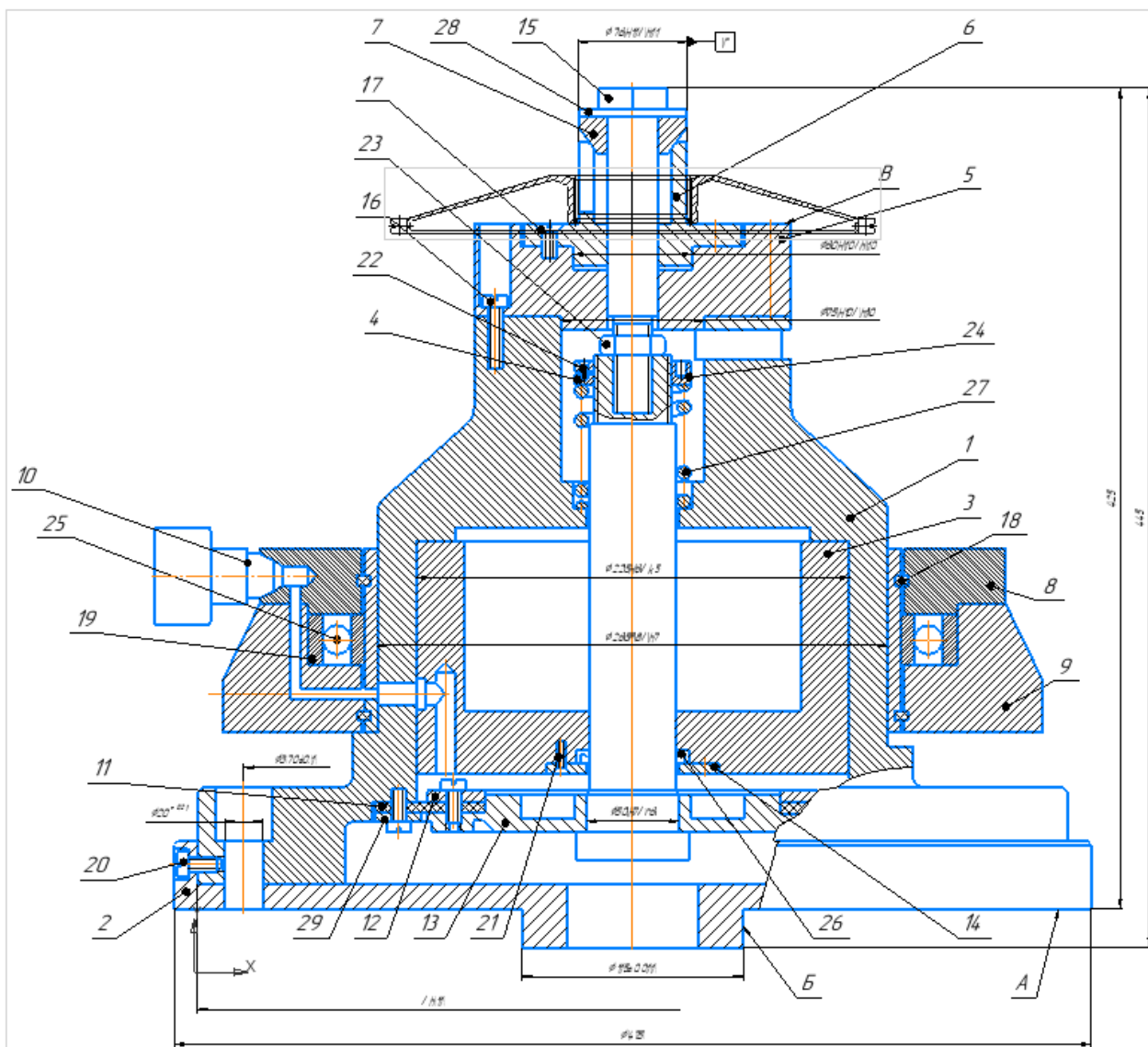


Рисунок 2.1 – Конструкція пристосування для нарізки зубів

### 2.1.2 Розрахунок пристосування на точність

Базування деталі для операції фрезерування буде проводитися в розтискній оправці, так як в цьому випадку похибка базування не впливає на симетричність розташування поверхонь.

Дана схема - одна з базових схем для деталей з точно обробленим отвором і торцем.

Похибка установки визначається за формулою (2.1):

$$\varepsilon_{уст} = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_{закр}^2} \quad (2.1)$$

Розрахунок похибки базування за формулою (2.2):

$$\varepsilon_{\delta} = S_{\max} = T_D + T_d = 0,02 + 0,12 = 0,14 \text{ мм}; \quad (2.2)$$

де  $T_D$  - допуск на посадочне місто пристосування,

$T_d$  - допуск на посадочне місто деталі.

Напрямок затиску такий самий, як і напрямок обробки, тому  $\varepsilon_z = 0$ .

$$\varepsilon_y = \varepsilon_{\delta} = 0,14 \text{ мкм}$$

Заготовка спирається в пристосування по діаметру  $\varnothing 76^{(+0,12)}$ . Щоб деталь не рухалася в осьовому напрямку, її кінець спирається на опорні поверхні основи.

Точність пристосування буде точністю отвору.

Перевіримо стан забезпечення точності проектованого пристосування за формулою (2.3):

$$S_{\max} \leq T_d - k \sqrt{(k_1 \times \varepsilon_{\delta})^2 + \varepsilon_z + (k_2 \times \omega)^2} \quad (2.3)$$

де  $\varepsilon_z = 0$  тому що силовий напрямок сили затиску перпендикулярний досліджуваному розміру.

$\omega = 0,07$  мм - середня економічна точність обробки за одну операцію, у зв'язку з недостатністю довідкових даних порівняємо середню економічну точність обробки до середньої економічної точності обробки в блешні, [5. таб. 5.3, стр. 64].

$$k_1 = 0,6;$$

$$k_2 = 0,35;$$

$$k_p = 1,0;$$

Тоді

$$S_{\max} \leq 0,12 - 1\sqrt{(0,6 \times 0,14)^2 + 0 + (0,35 \times 0,07)^2} = 0,033 \text{ мм}$$

Виходячи з отриманих значень, можна зробити досить грубу посадку, але так як в даному пристосуванні можлива обробка більш точних деталей, то припускаємо посадку Н7 на посадковий розмір розтискної оправки.

### 2.1.3 Визначення необхідної сили затиску

Для того щоб утримувати деталь при механічній обробці, необхідно, щоб моменти тертя об опорні поверхні перевищували моменти різання. Метод визначення необхідних сил фіксації заснований на принципі статичної рівноваги. Розрахункова схема для визначення зусилля затиску наведена на рисунку 2.2.

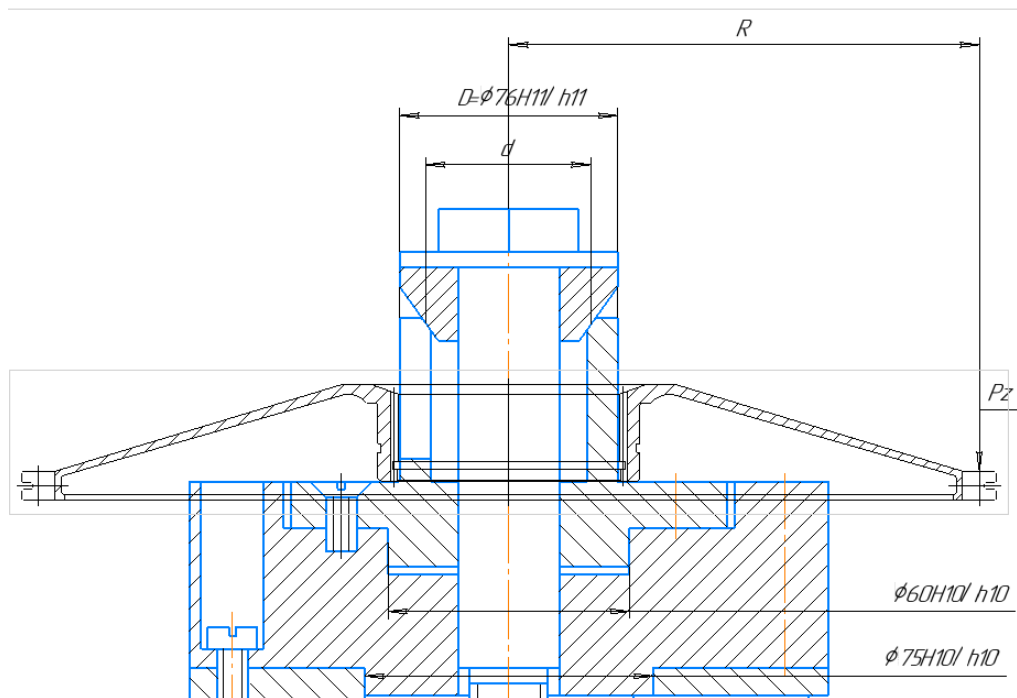


Рисунок 2.2 – Конструктивна схема зубчастого фрезерного пристосування

Для того, щоб запобігти обертанню і зсуву під дією крутного моменту  $M$  і осьової сили, необхідно докласти зусилля,  $N$  з формули (2.4) та за формулою (2.5):

$$W_{cm} = \frac{P_z \cdot R}{\frac{f \cdot (D^3 - d^3)}{3 \cdot (D^2 - d^2)}} \quad (2.4)$$

де  $P_z$  – окружна сила, Н

$R$  – радіус заготовки,  $R = 329,3$  мм

$D$  – максимальний діаметр опори,  $D = 76$  мм

$d$  – мінімальний діаметр опори,  $d = 70$  мм

$f$  – коефіцієнт тертя,  $f = 0,25$

$$P_z = 10C_p m^{X_p} S_o^{Y_p}, \text{ Н} \quad (2.5)$$

де  $C_p$  – коефіцієнт, що враховує матеріал оброблюваної деталі;

$m$  – модуль колеса, мм;

$S_o$  – подача на оборот заготовки, мм;

$X_p, Y_p$  – коефіцієнти модуля и подачі на оберт відповідно.

Згідно з картою 3 с.519  $S_o = 0,5$  мм/об, згідно з паспортом машини  $S_o = 0,2$  мм/об [5]. З коефіцієнтами можна ознайомитися в таблиці 1.41 с.291 довідника [5].

$$P_z = 10 \cdot 82 \cdot 2^{0,75} \cdot 0,2^{0,6} = 525,1 \text{ Н}$$

$$W_{cm} = \frac{525,1 \cdot 329,3}{\frac{0,25 \cdot (76^3 - 70^3)}{3 \cdot (76^2 - 70^2)}} = 18939 \text{ Н}$$

$$W_d = 1,5 \cdot 18939 = 28408 \text{ Н}$$

Основне призначення затискних пристроїв полягає в надійному закріпленні заготовки в процесі її обробки.

У розрахунковому пристрої затискний пристрій приводиться в рух пневматичним приводом, який повинен забезпечувати необхідне зусилля затиску  $W_d = 28408$  Н. Виходячи з цієї умови, визначаємо діаметр пневмоциліндра за формулою (2.6):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot W_d}{3,14 \cdot P_{нов} \cdot \eta}} \quad (2.6)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 28408}{3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,9}} = 317 \text{ мм}$$

Параметри пневмоциліндра беремо згідно з таблицею 18, сторінка 91 довідника [5]. Діаметр  $D = 320$  мм

Знайдемо дійсну силу затиску на штоку за формулою, Н

$$P_{шт}^{\rho} = \frac{3,14 \cdot 320^2}{4} \cdot 0,4 \cdot 0,9 = 28938,24 \text{ Н}$$

Відповідно до [5, табл. 7.3, с. 139] виділимо параметри пневматичного пристрою:

- товщина стінки пневмоциліндра – 6 мм;
- діаметр штока – 45 мм;
- діаметр різьблення на штоку – М16.

У розрахунковому пристосуванні заготівля затискається за допомогою штока. Тому необхідно провести тестовий розрахунок на розрив штока за формулою (2.6).

Площа поперечного перерізу обчислюється за формулою (2.7):

$$F_{см} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (2.7)$$

де  $D$  – діаметр штока,  $D = 45$  мм;

$$F_{см} = \frac{3,14 \cdot 45^2}{4} = 1589,62 \text{ мм}^2$$

$$\sigma_{см} = \frac{28938,24}{1589,62} = 18,2 \text{ МПа} \leq 400 \text{ МПа}$$

## 2.2 Проектування контрольного пристосування

Цей контрольний пристрій (рис. 2.3) призначений для перевірки профілю зубів. Принцип роботи пристрою полягає в тому, що на пластині розташована стійка зі штоком. Стрижень торкається поверхні заготовки і передає вимірювальні дані через важіль до індикаторного годинника. Індикаторний годинник використовується для регулювання тиску контакту стрижня з поверхнею заготовки. На пластину також встановлюється оправка, на яку кріпиться сама деталь.

Радіальне биття визначається як різниця між найбільшою і найменшою відстанями від точок реальної поверхні, які знаходяться далеко від осі центру деталі.

В даній схемі базування, похибка базування дорівнює максимальному зазору між внутрішньою поверхнею деталі і зовнішнім штифтом. При цьому деталь кріпиться на оправку з натягом, і тому зазор відсутній, а отже, похибка базування дорівнює нулю.

Також, похибка затиску дорівнює нулю, оскільки деталь також кріпиться на оправку з натягом.

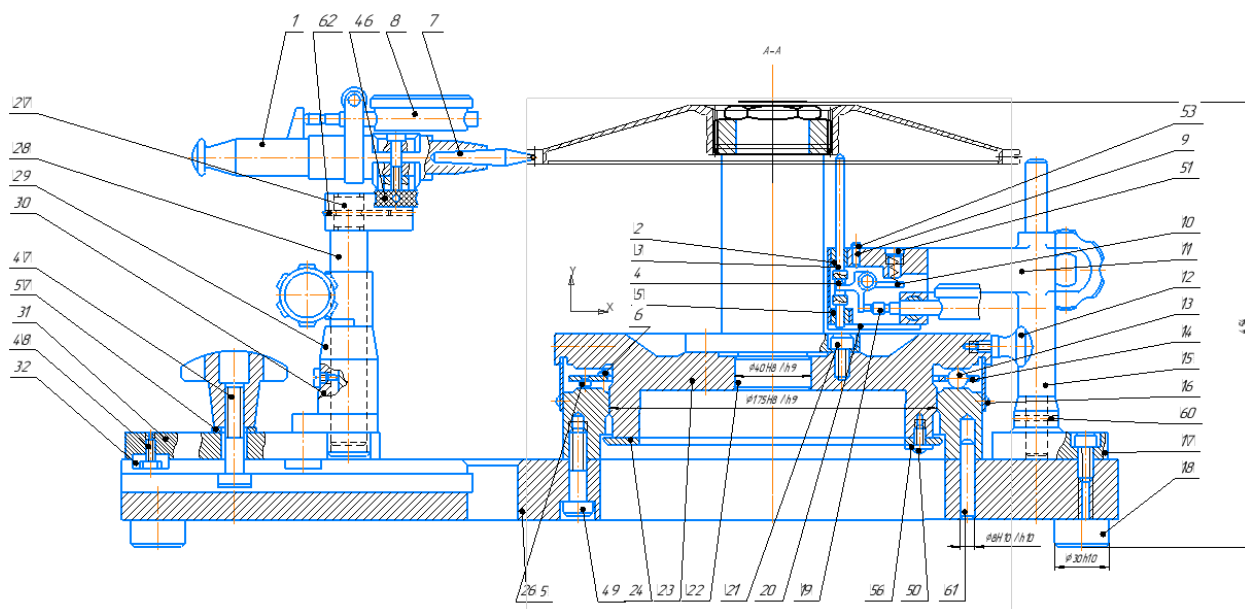


Рисунок 2.3 – Конструкція контрольного пристосування

## 3 АВТОМАТИЗАЦІЯ

### 3.1 Використання систем штучного інтелекту на виробництві

Штучний інтелект (ШІ) не замінює людей у обробній промисловості, але дозволяє роботам та персоналу співпрацювати для виконання завдань.

У міру того, як машини стають розумнішими, вони зможуть виконувати все більше і більше завдань, що повторюються. Це дозволить їхнім колегам-людям витратити більше часу на вирішення інших проблем.

Швидкість, точність та контроль якості у виробництві покращаться у міру впровадження систем штучного інтелекту [6].

Повністю автономна фабрика завжди була провокаційною ідеєю, яка часто використовується в спекулятивній фантастиці. Це місце майже безлюдне і повністю управляється системами штучного інтелекту, що керують роботизованими виробничими лініями. Але навряд чи ШІ використовуватиметься у виробництві у межах практичного горизонту планування.

Реалістична концепція використання ШІ у виробництві більше нагадує набір додатків для компактних дискретних систем, управляючих конкретними виробничими процесами. Вони діятимуть більш менш автономно і реагуватимуть на зовнішні події більш розумними і навіть людськими способами — від зносу інструменту, збою системи до пожежі або стихійного лиха [6]. Зовнішній вид фабрики майбутнього показано на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Фабрика майбутнього [6]

ШІ у виробництві — це інтелект машин, який виконує завдання, подібні до людських, — реагуючи на внутрішні та зовнішні події і навіть передбачаючи події — автономно. Машини можуть виявити зношування інструменту або щось несподіване (можливо, навіть щось очікуване), а також відреагувати та обійти проблему [6].

Історики відстежують прогрес людства від кам'яного віку до бронзового віку, залізного віку і т. д., оцінюючи еволюційний розвиток, заснований на оволодінні людиною природним середовищем, матеріалами, інструментами та технологіями. Людство в даний час переживає повік інформації, також відомий як кремнієвий вік. У цю епоху, засновану на електроніці, люди колективно вдосконалюються за допомогою комп'ютерів, використовують безпрецедентну владу над світом природи і мають синергетичну здатність здійснювати речі, немислимі кілька поколінь тому.

На рисунку 3.2 показано один з перших програмованих комп'ютерів, який започаткував початок нової ери.

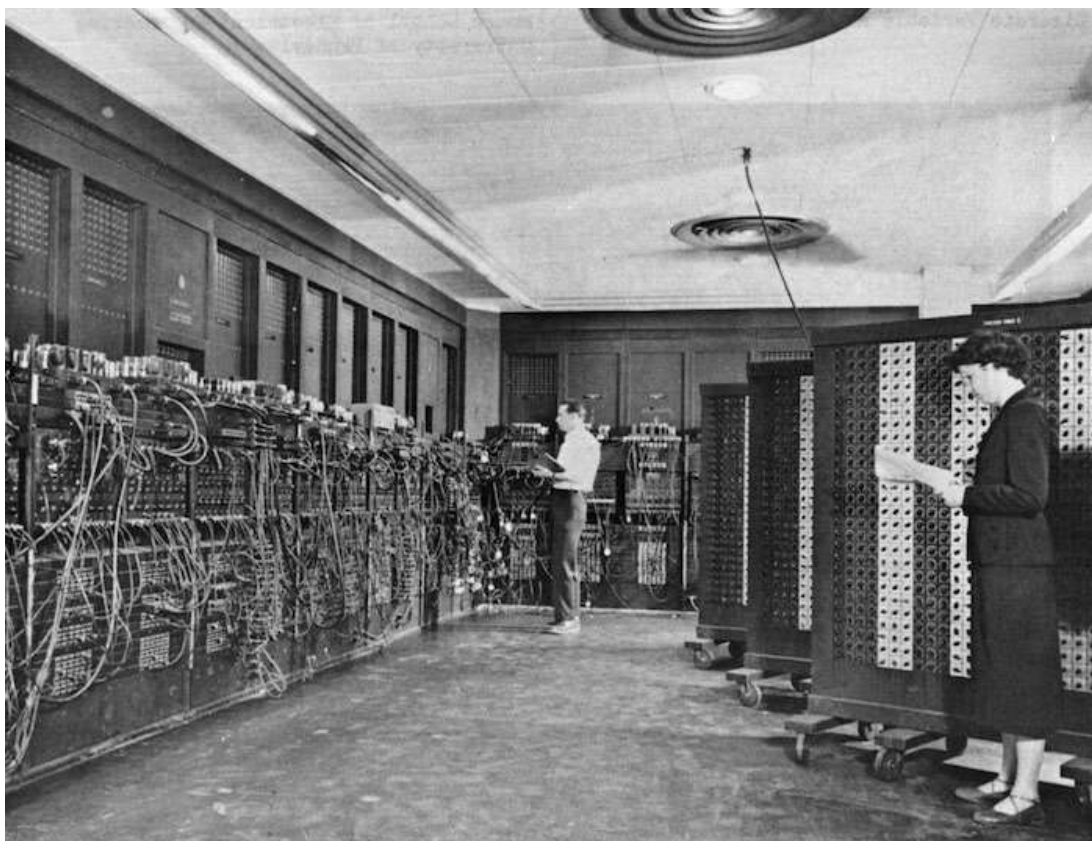


Рисунок 3.2 – Електронний числовий інтегратор та комп'ютер (ENIAC), у Лабораторії балістичних досліджень у Філадельфії, у 1947–1955 роках [6].

У міру того, як комп'ютерні технології розвиваються і стають дедалі здатнішими робити те, що люди традиційно робили самі, штучний інтелект став природним розвитком. Люди мають вибір, як застосовувати машинне навчання та штучний інтелект. Одна річ, яку ШІ робить добре, це допомагає творчим людям робити більше. Воно не обов'язково замінює людей; ідеальні програми допомагають людям робити те, в чому вони особливо хороші, — у виробництві, наприклад, виготовлення компонента на заводі або проектування продукту чи деталі [6].

Все частіше йдеться про співпрацю людей та роботів. Незважаючи на широко поширену думку про промислові роботи як про автономні та «розумні», більшість з них потребують ретельного контролю. Але вони стають розумнішими завдяки інноваціям у галузі штучного інтелекту, які роблять співпрацю між людьми та роботами безпечнішими та ефективнішими.

Сьогодні більшість ШІ в обробній промисловості використовується для вимірювань, неруйнівного контролю (НК) та інших процесів. Ї допомагає у розробці продуктів, але виробництво все ще знаходиться на ранніх стадіях впровадження ШІ. Верстати залишаються відносно тупими. У новинах йдеться про автоматизовані цехові інструменти, але багато заводів світу, як і раніше, покладаються на старе обладнання, що часто має лише механічний або обмежений цифровий інтерфейс. На рисунку 3.3 показано один з можливих шляхів розвитку систем візуалізації.



Рисунок 3.3 – Датчики надають інформацію про різні фактори, включаючи подачу матеріалу та енергоспоживання [6].

У нових виробничих системах є екрани — інтерфейси «людина-комп'ютер» та електронні датчики, що забезпечують зворотний зв'язок про постачання сировини, стан системи, енергоспоживання та багато інших факторів. Люди можуть візуалізувати те, що вони роблять, або на екрані комп'ютера або на машині. Шлях вперед стає зрозумілим, як і діапазон сценаріїв використання ІІІ у виробництві.

Сценарії на найближчу перспективу включають моніторинг процесу обробки в режимі реального часу та моніторинг вхідних даних про стан, таких як зношування інструменту. Такі програми підпадають під категорію «попереджувального обслуговування». Це очевидна можливість для ІІ: алгоритми, які споживають безперервні потоки даних від датчиків, знаходять значущі закономірності та застосовують аналітику для прогнозування проблем та оповіщення груп технічного обслуговування для вирішення їх до того, як вони відбудуться. Датчики всередині машини можуть стежити, що щось відбувається. Це може бути акустичний датчик, що відстежує зношування ременів або шестерень, або датчик, що контролює знос інструменту. Ця інформація буде пов'язана з аналітичною моделлю, яка зможе передбачити, скільки життя залишилось у цьому інструменті [6].

У цехах адитивне виробництво стає важливим методом і призвело до додавання до системи безлічі нових типів датчиків, що відстежують нові умови, що впливають на матеріали та технології виготовлення, які набули широкого поширення лише в останні 10 років.

#### Поточний стан штучного інтелекту у виробництві

ІІІ уможливує набагато більш точне проектування виробничого процесу, а також діагностику та усунення проблем, що виникають у процесі виробництва, за допомогою цифрового двійника. Цифровий двійник - це точна віртуальна копія фізичної деталі, верстата або деталі, що виготовляється. Це набагато більше, ніж модель САД. Це точне цифрове уявлення деталі і того, як вона поведеться, наприклад, у разі дефекту. (Всі деталі мають дефекти, тому вони виходять з ладу.) ІІІ необхідний для застосування цифрового двійника під час проектування та обслуговування виробничого процесу.

Великі підприємства можуть багато виграти від впровадження ІІІ, а також отримати фінансові можливості для фінансування цих інновацій. Але деякі з найбільш творчих проектів були профінансовані малими та середніми підприємствами, наприклад, проектувальниками за контрактом або виробниками, які постачають технологічно ємні галузі, такі як аерокосмічна промисловість [6].

Багато підприємств намагаються обійти більших конкурентів, швидко впроваджуючи нове обладнання чи нові технології. Пропозиція цих послуг диференціює виробничий простір, але у деяких випадках вони впроваджують нові інструменти та процеси без знань чи досвіду. Це може бути правильно з погляду дизайну чи з погляду виробництва; через це складно поринути у адитивне виробництво. У цьому сценарії підприємств може мати більше стимулів для впровадження ІІІ, ніж у великих підприємств: використання інтелектуальних систем, які можуть забезпечити зворотний зв'язок, допомогти в налагодженні та введенні в експлуатацію, може допомогти невеликому вискочку зайняти революційну позицію на ринку [6].

По суті комплексний інженерний досвід може бути вбудований у виробничий процес. Тобто інструменти з вбудованим штучним інтелектом можуть постачатися зі знаннями, необхідними для керування їх установкою, впровадженням, датчиками та аналітикою для виявлення проблем в експлуатації та обслуговуванні. (Ця аналітика, швидше за все, буде включати так звані «неконтрольовані моделі», навчені шукати закономірності зворотного зв'язку від датчиків, не пов'язані з відомими проблемами, шляхом пошуку дивних або «неправильних» аспектів, що підлягають дослідженню.)

Реальним прикладом цієї концепції є DRAMA (цифрове адитивне виробництво для аерокосмічної галузі, що реконфігурується), спільний дослідницький проект вартістю 14,3 мільйона фунтів стерлінгів (19,4 мільйона доларів США), розпочатий у листопаді 2017 року. Autodesk входить до консорціуму компаній, що працюють з Центром виробничих технологій для створення прототипу «фабрики цифрового навчання». Весь технологічний ланцюжок адитивного виробництва дублюється цифровими технологіями; об'єкт буде реконфігуруватися відповідно до вимог різних користувачів та дозволить тестувати різні варіанти апаратного та програмного забезпечення. Розробники створюють «базу знань» у галузі адитивного виробництва, щоб допомогти у впровадженні технологій та процесів.

На рисунку 3.4 показано один з прикладів застосування систем с ІІІ у ракетно-космічній галузі. У DRAMA Autodesk відіграє ключову роль у проектуванні, моделюванні та оптимізації, повністю беручи до уваги наступні процеси, що відбуваються на виробництві. Розуміння впливу виробничого процесу на кожну деталь є важливою інформацією, яку люди можуть автоматизувати, а потім внести в процес проектування за допомогою генеративного проектування, щоб дозволити цифровому проектуванню працювати ближче до фізичного [6].



Рисунок 3.4 – Приклад застосування систем с ШІ у ракетно-космічній галузі [6]

Цей сценарій передбачає можливість ефективно запакувати наскрізний робочий процес для продажу виробнику. Воно може включати все: від програмного забезпечення до фізичного обладнання на заводі, цифрового двійника обладнання, системи замовлень, яка обмінюється даними з системами ланцюжка поставок заводу, а також аналітику для моніторингу методів виробництва і збору даних у міру проходження вхідних даних через виробничий процес . система. По суті, створення систем "фабрика в коробці" [6].

#### Фабрика у коробці

Така система дозволить виробнику поглянути на деталь, виготовлену сьогодні, порівняти її з деталлю, виготовленою вчора, побачити, чи здійснюється контроль якості продукції, і проаналізувати контроль, що не руйнує, виконаний для кожного процесу на лінії. Зворотний зв'язок допоможе виробнику зрозуміти, які саме параметри використовувалися для виготовлення цих деталей, а потім на основі даних датчиків побачити де є дефекти. Приклад подібної системи показано на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 – Проект «Фабрика у коробці» [6]

Штучний інтелект також можна використовувати для оптимізації виробничих процесів, а також для того, щоб зробити ці процеси більш гнучкими та реконфігурованими. Поточний попит може визначити планування цеху і створити процес, який можна реалізувати для майбутнього попиту. Ці моделі потім можна використовувати для їх порівняння та зіставлення. Потім цей аналіз визначає, що краще: мати менше великих адитивних машин або багато менших машин, які можуть коштувати дешевше і бути переспрямовані на інші проекти, коли попит знизиться. Аналіз «що, якщо» є поширеним застосуванням ШІ [6].

Моделі будуть використовуватися для оптимізації планування цехів, так і послідовності процесів. Наприклад, термообробку адитивної деталі можна виконати прямо на 3D-принтері. Можливо, матеріал поставляється попередньо загартованим або його необхідно повторно загартувати, що вимагатиме ще одного термічного циклу. Інженери можуть опрацювати різні сценарії «що, якщо», щоб визначити, яке обладнання має бути на підприємстві — можливо, має сенс передати частину процесу до субпідряду іншої прилеглої компанії.

Ці програми штучного інтелекту можуть змінити бізнес-кейс, який визначає, чи зосередиться завод на одному внутрішньому процесі, чи візьметься за кілька продуктів чи проектів. Останнє зробить завод стійкішим. На прикладі аерокосмічної галузі, яка переживає спад, можливо її виробничі операції могли б адаптуватися, виробляючи також і медичні деталі.

У сучасному технологічному ландшафті, що швидко розвивається, машинне навчання змінює правила гри в різних галузях [6].

Однією з галузей, де відбуваються значні перетворення, є машинобудування. Оскільки інтеграція штучного інтелекту та машинного навчання (МН) стає дедалі поширенішою, традиційні парадигми машинобудування переглядаються. У цій статті розглядається глибокий вплив машинного навчання в машинобудуванні, що проливає світло на інновації, проблеми та майбутні перспективи у цій галузі.

#### Приклади застосування

1. Поліпшення оптимізації дизайну (рис. 3.6) штучного інтелекту та машинного навчання.



Рисунок 3.6 – Використання систем ШІ у дизайні [6]

Алгоритми машинного навчання змінюють етап проектування у машинобудуванні. Аналізуючи великі набори даних і запускаючи моделювання, моделі машинного навчання можуть оптимізувати конструкції продуктів підвищення ефективності, довговічності і продуктивності. Тепер інженери можуть

досліджувати широкий спектр можливостей проектування, що призводить до більш інноваційних та економічно ефективних рішень [6].

## 2. Виведення профілактичного обслуговування новий рівень

Машинне навчання дозволяє інженерам-механікам прогнозувати та запобігати збоєм обладнання. Завдяки моніторингу та аналізу даних у реальному часі алгоритми машинного навчання можуть виявляти аномалії та закономірності, що вказують на потенційні проблеми в обладнанні. Такий запобіжний підхід скорочує час простоїв, мінімізує витрати на технічне обслуговування та забезпечує довговічність механічних систем.

## 3. Удосконалення автономних транспортних засобів та робототехніки

Машинне навчання відіграє ключову роль у розробці автономних транспортних засобів та роботів. У галузі машинобудування ці технології засновані на алгоритмах машинного навчання для навігації, розпізнавання об'єктів та прийняття рішень. Ця конвергенція здійснює революцію в транспортній та обробній галузях.

## 4. Просування енергоефективності

Енергозбереження є найважливішим завданням у машинобудуванні, і ML пропонує рішення, що оптимізують використання енергії. Інтелектуальні системи, що базуються на алгоритмах машинного навчання, можуть налаштовувати системи опалення, вентиляції та кондиціонування, освітлення та інші механічні компоненти, щоб мінімізувати споживання енергії без шкоди для комфорту та продуктивності [6].

## 5. Аналіз досягнень матеріалознавства

На рисунку 3.7 показана концептуальне зображення систем ШІ та МО у поєднанні з розвитком андроїдної робототехніки. Машинне навчання прискорює відкриття та розробку матеріалів. Аналізуючи властивості та поведінку різних матеріалів, моделі машинного навчання допомагають інженерам вибрати найбільш підходящі матеріали для конкретних застосувань, що призводить до створення більш надійних та ефективних механічних систем.



Рисунок 3.7 Можливе майбутнє інженерної діяльності [6]

#### 6. Оптимізація управління ланцюжками поставок

Ефективне управління ланцюжками постачання має життєво важливе значення в машинобудуванні. Алгоритми машинного навчання полегшують прогнозування попиту, оптимізацію запасів та планування логістики, гарантуючи наявність необхідних компонентів у потрібний момент, скорочуючи витрати та підвищуючи ефективність виробництва.

## 4 СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

### 4.1 Сучасні технології отримання зубів та шліць

Представлено метод зубофрезерування, при якому траєкторія інструменту, а не форма інструмента, визначає характеристики зубчастого колеса, такі як діаметральний крок або кут тиску. Нова концепція евольвентного фрезерування забезпечує цю функціональність, одночасно забезпечуючи ефективність обробки та універсальність виробництва. Результатом є «демократизація» зубофрезерування, перехід від спеціалізованих одноцільових верстатів до багатофункціональних верстатів, які можуть економічно виробляти невеликі партії, оскільки не потрібні дорогі фрезерні верстати або різальні верстати. На рисунку 4.1 показана сучасна технологія отримання зубів з використання фрез фірми Sandvich [7].



Рисунок 4.1 – Отримання зубів фрезами Sandvich [7]

Евольвентне фрезерування, або InvoMilling, використовує стандартні фрезерно-токарні верстати та готові різальні інструменти для виробництва невеликих та середніх партій прямозубих та косозубих шестерень.

Виготовлення зубчастих коліс зазвичай передбачає індивідуальне замовлення. Один менеджер зубофрезерної компанії сказав: «Ми спеціалізуємося

на гвинтових та прямозубих зубчастих колесах для різних галузей промисловості, багато з яких обробляються відповідно до конкретних вимог клієнтів. Замовнику може знадобитися конкретна шестерня, партія шестерень або комплектуючі автомобільних трансмісій. В основному ми виготовляємо від одного до 100 компонентів, але у нас також є замовлення на виробництво до 2000 зубчастих коліс протягом року. Для деяких продуктів постачання «точно в термін» є нормою, особливо коли йдеться про компоненти автомобільних коробок передач» [7].

Донедавна такий виробничий сценарій означав, що виробнику зубчастих коліс доведеться використовувати спеціальні одноразові інструменти для виготовлення зубчастих коліс для кожного проекту, щоб виготовляти великі обсяги. Однак створення нового інструменту та програмування для кожного зубчастого колеса обходиться дорого.

Новий підхід до зубофрезерування ґрунтується на використанні багатокординатного фрезерно-токарного верстата. Компанія Sandvik Coromant Co. розробила евольвентне фрезерування та пропонується у співпраці з DMG/Mori Seiki USA Inc. Евольвентне фрезерування, або InvoMilling, є альтернативою спеціалізованому процесу черв'ячної обробки, що традиційно використовується для виготовлення зубчастих коліс. Для шестерень з числом зубів від 25 до 30 час циклу InvoMilling можна порівняти з однозахідною зубофрезерною обробкою інструментами зі швидкорізальної сталі. Однак можливість поєднати безліч операцій в одній установці і на одному верстаті може скоротити загальний час циклу. Також час очікування нової зубофрезерної фрези може становити тижні, а придбання нового коду ЧПУ InvoMilling займає лічені години [7].

У цьому процесі багатовісного зубофрезерування універсальні верстати оснащені інструментами, що складаються з готових пластин для виготовлення прямозубих і косозубих шестерень. Він може виготовляти прямозубі та косозубі шестерні за допомогою дискової фрези, оснащеної канавковими пластинами. При одночасному русі осей X і B або осей Y і B інструмент рухається евольвентною траєкторією. Отже, зміни форми шестерні відбуваються залежно від траєкторії інструмента, а чи не від форми інструмента. Для цієї мети ідеально підходять фрезерно-токарні верстати (рисунок 4.2).



Рисунок 4.2 – Отримання зубів на токарно-фрезерному верстаті [7]

При евольвентному фрезеруванні простору зубів зовнішньої прямозубої шестерні на заготовці фрезерують торцеву канавку в осьовому напрямку. Для наступних різів шестерня злегка обертається, узгоджуючись з одночасним радіальним врізанням інструменту InvoMilling, створюючи криву евольвентну форму.

Тепер у діалоговому програмному забезпеченні MORI-AP можна програмувати процеси InvoMilling, яке доступне для фрезерно-токарних центрів DMG/Mori Seiki моделі NT. Гнучка вісь В з діапазоном обертання  $\pm 120^\circ$ , висока швидкість та точність двигуна з прямим приводом, а також можливість індексації  $0,0001^\circ$  дозволяють виробляти шестірні з якістю до DIN 6 [7].

Зубофрезерна обробка традиційно виконується на спеціальному верстаті, який може виробляти інші компоненти трансмісії. Однак через недостатню гнучкість зубофрезерна обробка не є оптимальним рішенням, коли необхідно робити безліч різних типів або невеликі партії зубчастих коліс.

InvoMilling є комбінацією пазового і токарного фрезерування. Це дозволяє обробляти одним і тим же інструментом шестірні будь-якого кута гвинтової лінії як евольвентного, так і неевольвентного профілю. На рисунках 4.3 – 4.7 показано цей процес.

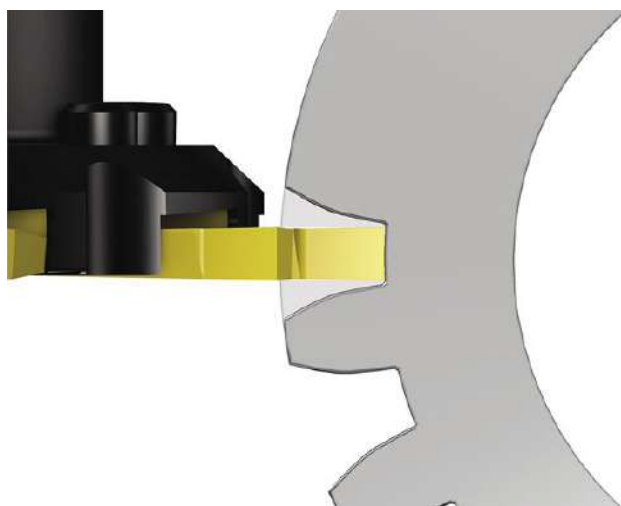


Рисунок 4.3 – Фрезерування пазу [7]

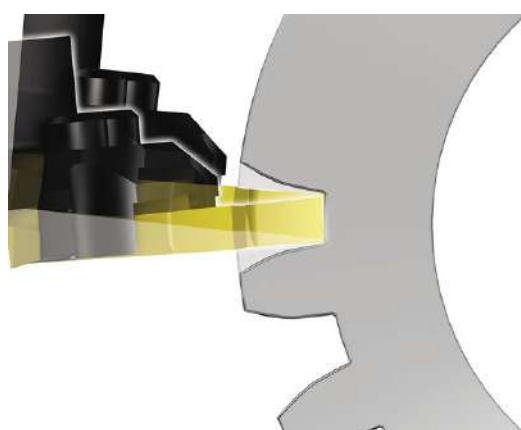


Рисунок 4.4 – Обробка корню та виступу [7]

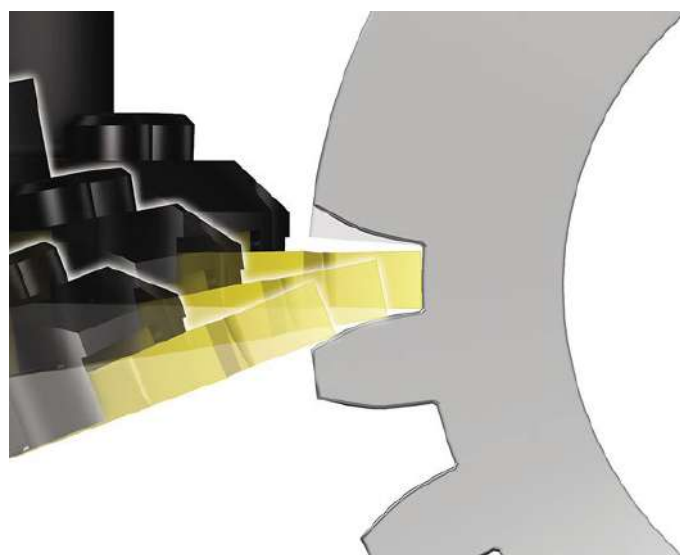


Рисунок 4.5 – Фрезерування низу профілю [7]

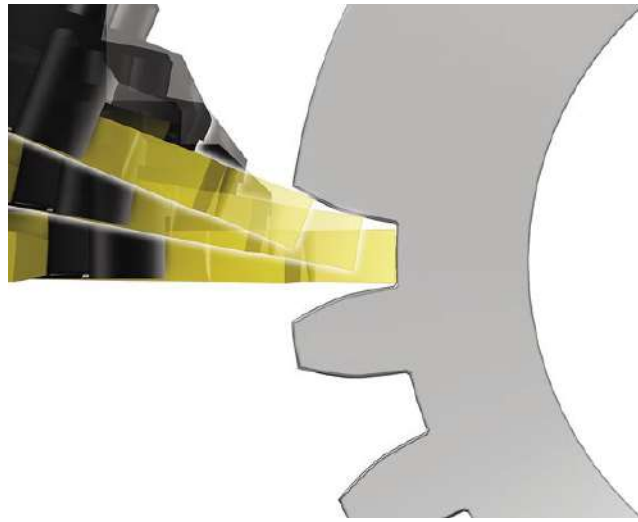


Рисунок 4.6 – Фрезерування верхньої частини профілю зубу [7]



Рисунок 4.7 – Готовий зуб [7]

При евольвентному фрезеруванні простору зубів зовнішньої прямозубої шестерні на заготовці фрезерують торцеву канавку в осьовому напрямку. Для наступних різів шестерня злегка обертається, узгоджуючись з одночасним радіальним врізанням інструменту InvoMilling, створюючи криву евольвентну форму.

Тепер у діалоговому програмному забезпеченні MORI-AP можна програмувати процеси InvoMilling, яке доступне для фрезерно-токарних центрів DMG/Mori Seiki моделі NT. Гнучка вісь В з діапазоном обертання  $\pm 120^\circ$ , висока швидкість та точність двигуна з прямим приводом, а також можливість індексації  $0,0001^\circ$  дозволяють виробляти шестірні з якістю до DIN 6.

Зубофрезерна обробка традиційно виконується на спеціальному верстаті, який може виробляти інші компоненти трансмісії. Однак через недостатню гнучкість зубофрезерна обробка не є оптимальним рішенням, коли необхідно робити безліч різних типів або невеликі партії зубчастих коліс.

InvoMilling є комбінацією пазового і токарного фрезерування. Це дозволяє обробляти одним і тим же інструментом шестірні будь-якого кута гвинтової лінії як евольвентного, так і неевольвентного профілю. Ця серія ілюструє цей процес.

На рисунку 4.8 показано фрези для нарізки зубів фірми Sandvick [7].

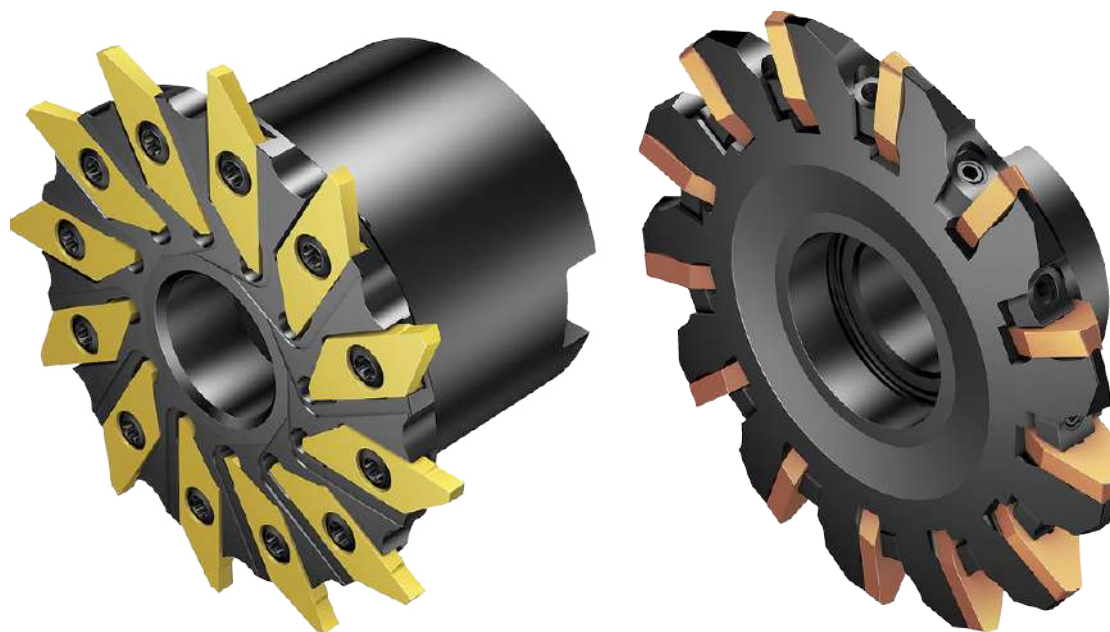


Рисунок 4.8 – Фрези для нарізки зубів фірми Sandvick [7]

Евольвентне фрезерування дозволяє виготовляти прямозубі та косозубі шестерні з використанням спеціальних фрез, таких як CoroMill 161 та двох типорозмірів CoroMill 162, які разом охоплюють модулі від 2 до 12.

Евольвентне фрезерування надає кілька ключових переваг. Оскільки кожен різальний інструмент охоплює кілька модулів зубчастих коліс, загальні витрати на інструмент для невеликих та середніх партій нижчі, ніж при порівнянних процесах черв'ячної обробки. Крім того, час виконання замовлення не є проблемою, тоді як час виготовлення інструменту для черв'ячної обробки може становити від 8 до 12 тижнів.

Одним з недоліків евольвентного фрезерування є те, що воно дещо обмежене для великих модулів зубчастих коліс, але цей процес використовувався для виготовлення зубчастого колеса модуля 18 включно діаметром 800 мм.

Інший виробничий процес, використовуваний виготовлення зубчастих коліс, — кінцеве фрезерування — є гнучким, але повільним. Евольвентне фрезерування поєднує швидкість дискового різання з гнучкістю кінцевого фрезерування і, враховуючи всі обставини, може бути до 10 разів швидше, ніж використання кінцевих фрез для виготовлення зубчастих коліс [7].

#### Змінні пластини

Сучасна технологія змінних пластин уможливілює цей новий метод зубофрезерування, оскільки позитивна геометрія кожної пластини створює низькі сили різання, що дозволяє використовувати високий рівень режимів різання, забезпечуючи при цьому точні профілі для вузьких діапазонів допусків. При евольвентному фрезеруванні можна отримати зубці шестерні рівня якості 6, DIN 3962 або вище. Крім того, обробка поверхні завтовшки більше 3 мкм R<sub>z</sub> може бути досягнута за рахунок правильного застосування інструментів на досить жорстких машинах.

Крім виробництва зубчастих коліс із рівнем якості, порівняним із зубофрезерною обробкою, евольвентне фрезерування може забезпечити різні припуски на шліфування шестерень. Тобто на бічних поверхнях шестерень можна залишити матеріал, який потім можна зішліфувати для отримання шестерень дуже точної форми та якості поверхні.

Час циклу евольвентно-фрезерних модулів зубчастих передач з 4 по 10 при числі зубів менше 30 можна порівняти з однозахідною черв'ячною обробкою інструментами з швидкорізальної сталі. Оскільки багатозадачному верстаті можна інтегрувати безліч операцій, обробку часто можна виконати за один установ. Це призводить до скорочення термінів виконання замовлень та переналагодження і, як наслідок, до підвищення рівня незавершеного виробництва при виробництві одиничних, малих та середніх партій [7].

Завдяки цій ефективності навіть у тих випадках, коли час циклу евольвентного фрезерування більший, ніж при черв'ячній обробці, загальний час виробництва коротший. Оскільки виготовлення спеціального інструменту не потребує часу, виробництво може розпочатися одразу після завершення нової установки.

## 5 РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ. ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДЕТАЛІ

Розрахунок напружено-деформованого стану деталі виконуємо у NX ADVANTAGE SIMULATION.

Аналіз напружено-деформованого стану (НДС) деталі ступици в програмному забезпеченні Siemens NX вимагає кількох етапів. Нижче наведено загальний опис цих етапів:

Моделювання деталі. Спочатку нам потрібно створити 3D-модель деталі ступици в Siemens NX. Використовуємо інструменти моделювання для створення геометрії деталі та додавання необхідних осей, отворів, фасок та інших деталей.

Задання матеріалу. Визначаємо матеріал, з якого виготовлена деталь ступици. Вводимо властивості матеріалу, такі як модуль юнга, міцність на розтяг, міцність на стиск, коефіцієнт Пуассона та інші.

Задання умов навантаження. Визначаємо умови, за яких деталь буде функціонувати. Це може включати статичні, динамічні, термічні навантаження тощо. Задаємо значення навантажень, їхню розподіленість і напрямок.

Мешування (генерація сітки). Створюємо сітку (меш) для деталі, яка буде використовуватися для розрахунків. Задаємо необхідну густину меші для точних результатів.

Виконання аналізу. Запускаємо аналіз НДС, вибравши відповідні параметри, такі як тип аналізу, тип меші, умови зв'язків, типи навантажень та інше. Програмне забезпечення Siemens NX автоматично обчислить напруженості та деформації в деталі.

Візуалізація результатів. Переглядаємо та аналізуємо результати аналізу на візуальному рівні. Відображаємо напруженості та деформації на моделі деталі для кращого розуміння результатів.

Тривимірна модель показана на рисунку 5.1.

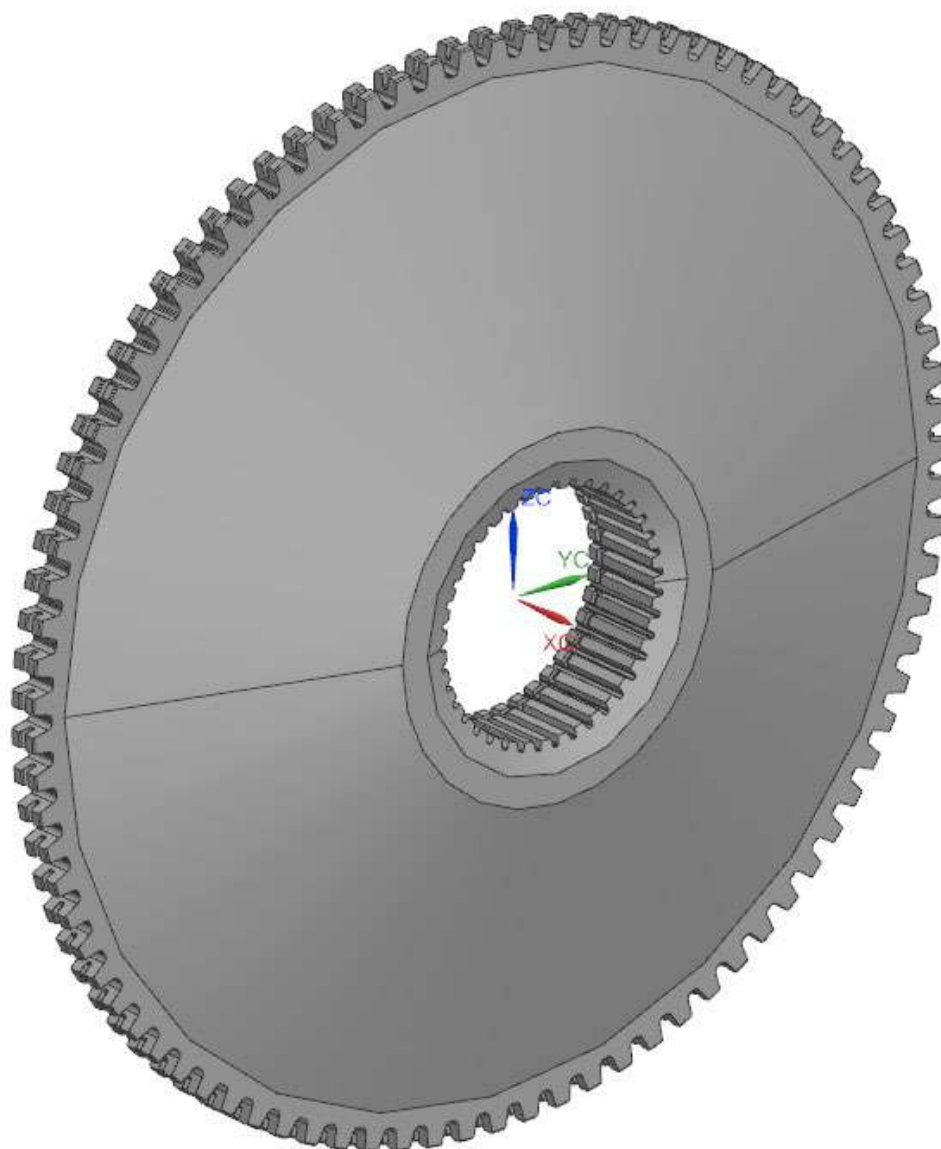


Рисунок 5.1 – Тривимірна модель заданої деталі

На першому етапі розрахунку виконуємо розбивку моделі сіткою кінцевих елементів, результат показано на рисунку 5.2.

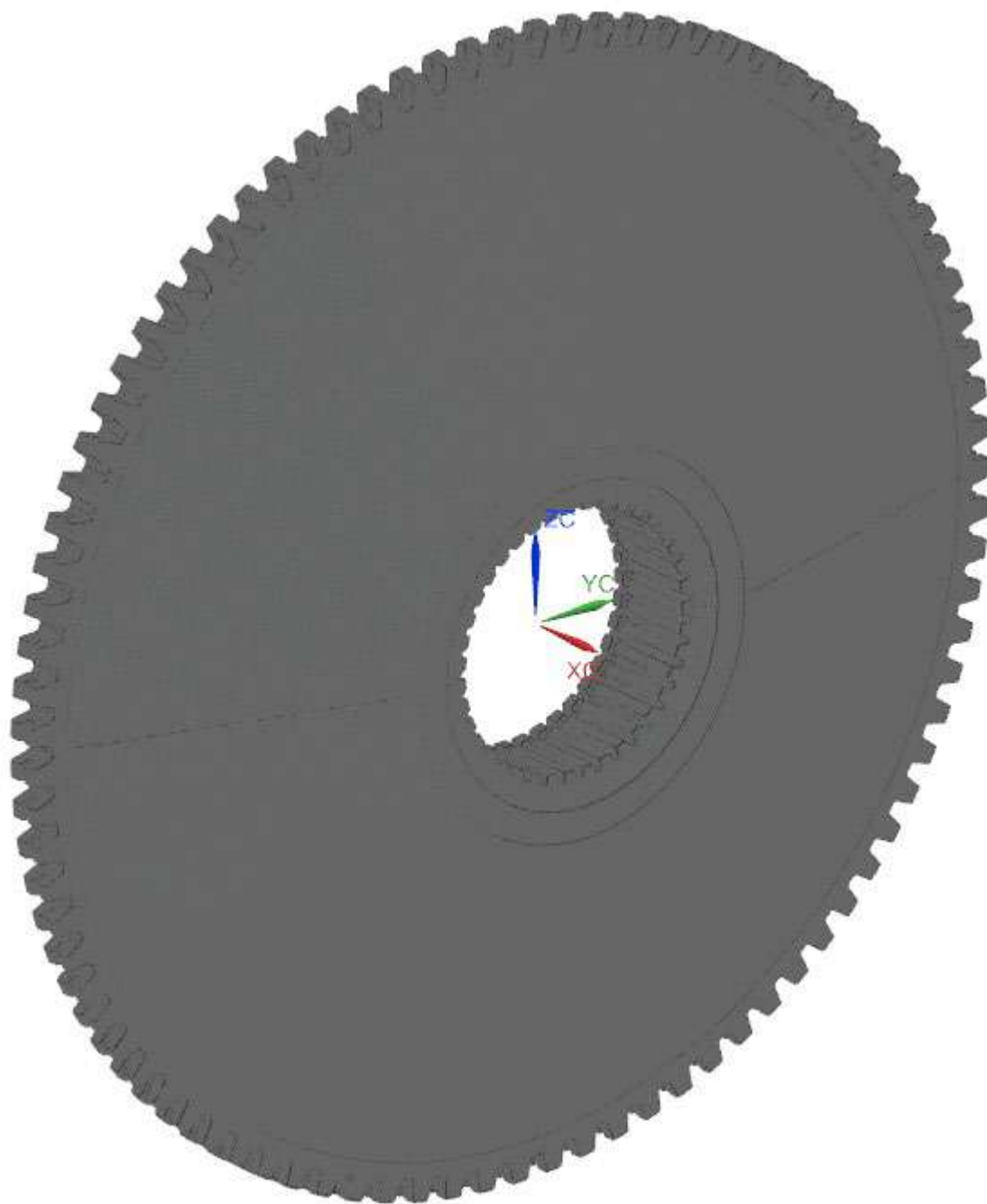


Рисунок 5.2 – Модель розбита на сітку кінцевих елементів

Другий етап виконуємо прикладення обмежень, що унеможливають переміщення деталі у окремих напрямках (рисунок 5.3).

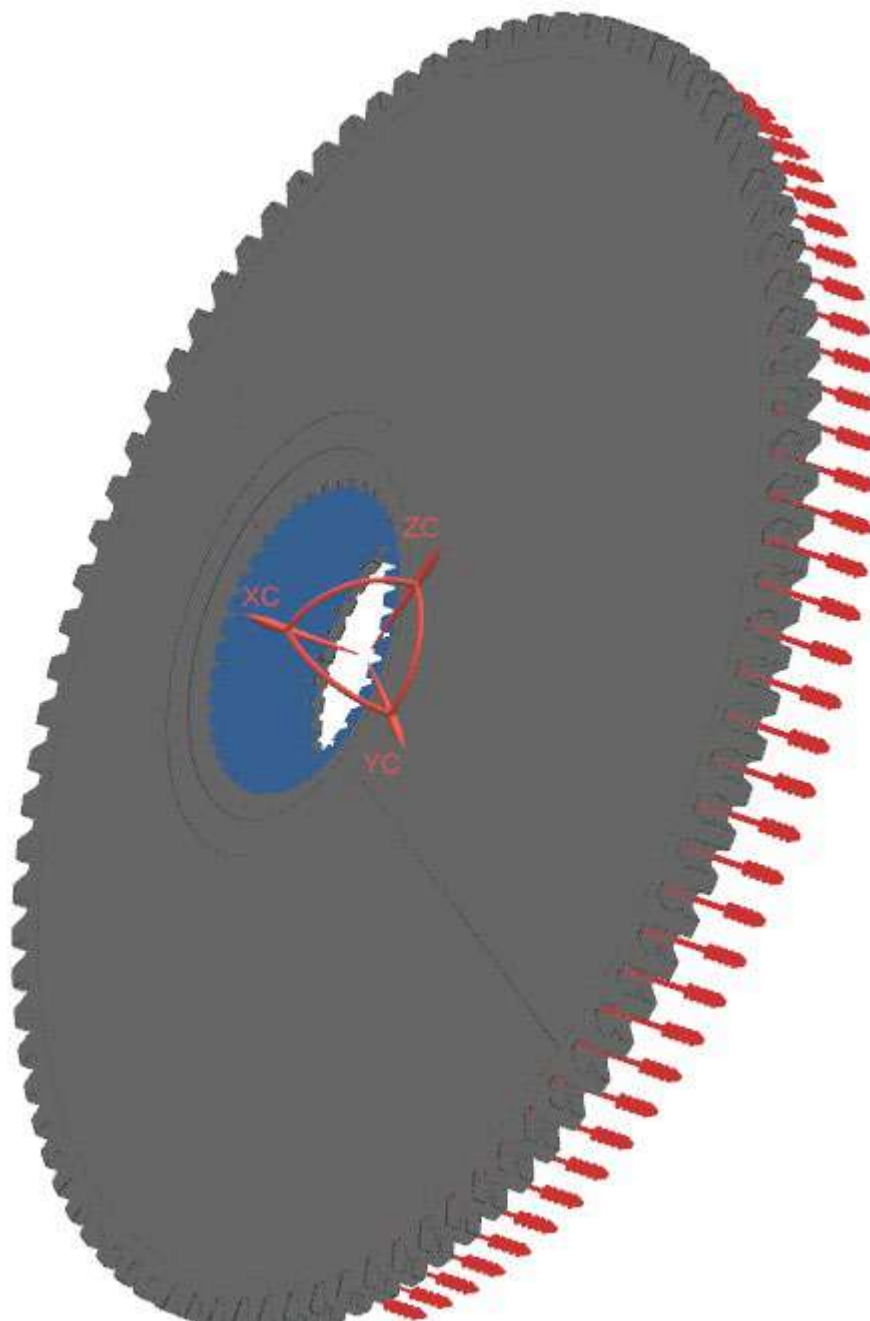


Рисунок 5.3 – Схема прикладення обмежень та навантажень

Наступним етапом виконуємо розрахунок напружено-деформованого стану (рисунок 5.4).

Деталь\_sim1 : Solution 1 Результат  
 Subcase - Normal Modes 1, Форма 10, 1.754E+03Гц  
 Напряжение - По элементам, По Мизесу  
 Мин. : 0.01, Макс. : 1376.50, Единицы = МПа  
 СК : Абсолютная прямоугольная  
 Деформация : Перемещение - По узлам Величина

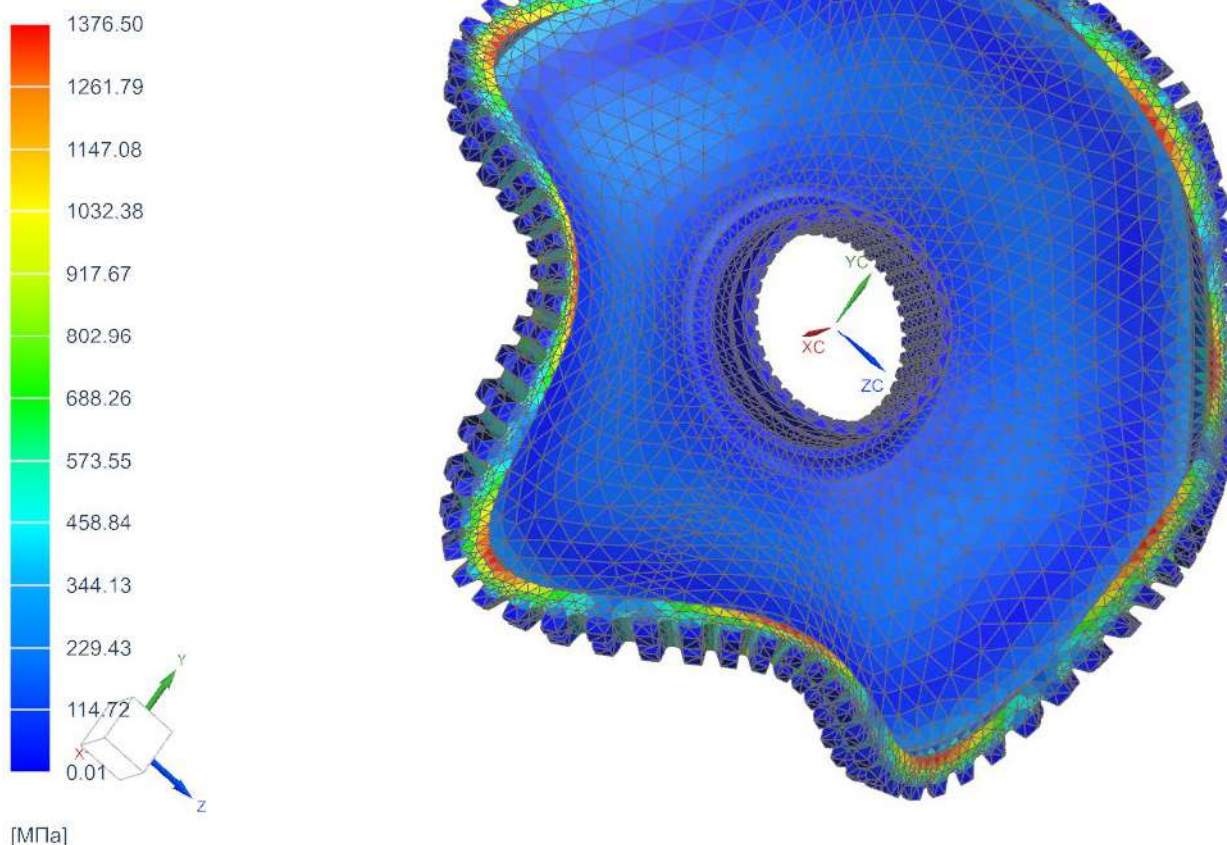


Рисунок 5.4 – Результат розрахунку напружено деформованого стану

Аналіз напружено-деформованого стану деталі ступиця в програмному забезпеченні NX показує, що під дією прикладених навантажень найбільш небезпечним перерізом буде поверхня, біля зовнішніх зубів і для зменшення наявної концентрації напружень було б доцільно або змінити її розміри в сторону збільшення радіусу закруглення, або виконати її зміцнення одним з методів поверхнево-пластичного деформування.

## 6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ

Оцінка очікуваної економічної ефективності заходів є важливим кроком у процесі прийняття рішень щодо інвестування та реалізації проектів. Ця оцінка допомагає визначити, наскільки вигідним буде проект з економічної точки зору і чи варто вкладати кошти та ресурси у його реалізацію.

Операції, які виконуються на універсальному обладнанні замінені верстатами з ЧПК. В базовому технологічному процесі було чотири операції (таблиця 6.1 та 6.2).

Результати розрахунків занесемо в таблиці 6.1 – 6.17.

Заробітна плата основних виробничих робітників, грн. [8, с.13].

Фонд заробітної плати складається з прямої оплати праці, яка включає оплату роботи відрядників на основі розцінок і оплату роботи почасових працівників за тарифом [8, с.13] за формулою (6.1):

$$Z_o = \sum_{i=1}^{m_{оп}} t_{штi} \cdot C_{тар} \cdot K_6 \cdot k_{доп} \cdot k_{соц}, \quad (6.1)$$

де  $m_{оп}$  – кількість операцій у технологічному процесі (таблиця 6.1 та 6.2);

$t_{штi}$  – норма штучного часу виконання і-ої операції, год (таблиця 6.1 та 6.2);

$C_{тар}$  – годинна тарифна ставка виробничого робітника верстатника на операції, грн. [8, т.А.1, с.33];

$K_6$  – коефіцієнт, що враховує оплату основного робітника верстатника при багатOVERSTATному обслуговуванні [8, т.2.1, с.13];

$k_{доп}$  – коефіцієнт, що враховує додаткову заробітну плату [8, с. 13];

$k_{соц}$  – коефіцієнт, що враховує страхові внески, [8, с. 13].

Заробітна плата допоміжних робітників, грн [8, с.14].

Основна та додаткова заробітна плата всіх інших робітників (наладчиків, електронників, транспортних робітників) за формулою (6.2):

$$Z_n = \frac{C_{тар.н} \cdot \Phi_p \cdot Ч_n \cdot k_{доп} \cdot k_{соц}}{N}, \quad (6.2)$$

де  $C_{тар.н}$  - годинна тарифна ставка, грн. [8, т.А.1, с.33];

$\Phi_p$  - річний фонд часу одного, год [8, с. 13];

$Ч_n$  - чисельність робітників відповідної категорії, чел.

Амортизаційні відрахування на обладнання та дороге оснащення з тривалим терміном служби, грн [8, с.14] за формулою (6.3):

$$A_{від} = \sum_{i=1}^{m_{оп}} \frac{K_i \cdot H_{ai} \cdot t_{oi}}{100 \cdot F_d \cdot 60}, \quad (6.3)$$

де  $K_i$  – первісна вартість обладнання (оснащення) на  $i$ -ої операції, грн. (таблиця 6.1 та 6.2);

$H_{ai}$  – річна норма амортизаційних відрахувань на обладнання (оснащення) на  $i$ -ої операції (таблиця 6.1 та 6.2);

$t_{oi}$  – основний (машинний) час на  $i$ -ої операції, хв (таблиця 6.1 та 6.2);

$F_d$  – дійсний (ефективний) фонд часу роботи устаткування (3 розділ), год.

Витрати на інструмент, грн [8, с.15] за формулою (6.4):

$$S_{ин} = \sum_{i=1}^{m_{оп}} \sum_{j=1}^{n_{ин}} \frac{C_{инij} \cdot t_{штij} \cdot \eta_m}{T_{ij} \cdot (n_j + 1)}, \quad (6.4)$$

де  $C_{инij}$  – ціна інструменту  $j$ -го виду на  $i$ -ої операції, що визначається за каталогами підприємств, фірм-постачальників інструменту чи сайтах мережі інтернет, грн./шт.;

$t_{штij}$  – штучний час роботи  $j$ -го інструменту на  $i$ -ої операції, хв (таблиця 6.1 та 6.2);

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

$T_{ij}$  – період стійкості інструменту  $j$ -го виду на  $i$ -ої операції, хв [8, т.3.8, с.22];

$n_{ин}$  – номенклатура інструментів на  $i$ -ої операції [8, т.3.8, с.22];

$n_j$  – число переточок інструменту  $j$ -го виду до повного зношування або кількість ріжучих граней інструменту [8, т.3.8, с.22].

Витрати на технологічну електроенергію, грн [8, с.16] за формулою (6.5):

$$S_e = \frac{N_B \cdot k_N \cdot k_q \cdot k_{од} \cdot k_w \cdot t_{штк}}{\eta \cdot k_B} \cdot C_e, \quad (6.5)$$

де  $N_B$  – встановлена потужність головного електродвигуна, кВт (таблиця 6.1 та 6.2);

$k_N$  – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за потужністю [8, с.16];

$k_q$  – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за часом [8, с.16];

$k_{од}$  – середній коефіцієнт одночасної роботи всіх електродвигунів верстата [8, с. 16];

$k_w$  – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі заводу [8, с. 16];

$C_e$  – вартість 1 кВт·год електроенергії (тариф для підприємств становить 3,45 грн. за 1 кВт · год).

Витрати на обслуговування та ремонт обладнання, грн [8, с.16] за формулою (6.6):

$$S_p = \frac{C_{то} \cdot K_p \cdot C_p}{N}, \quad (6.6)$$

де  $C_{то}$  – залишкова вартість обладнання, грн.

$K_p$  – коефіцієнт відрахувань до ремонтного фонду [8, с. 16];

Витрати на налаштування інструментів поза верстатом [8, с.16] за формулою (6.7):

$$S_n = \frac{\varphi \cdot C_{гн} \cdot t_{ін} \cdot t_o \cdot K_T}{T_m \cdot m \cdot 60}, \quad (6.7)$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт, що враховує випадковий спад та поломки інструменту [8, с.16];

$C_{гн}$  – середньогодинна заробітня плата наладчиків, грн./год [8, т.А.1, с.32];

$t_{ін}$  – середній час налаштування одного інструменту, хв [8, с. 17];

$t_o$  – основний час роботи інструменту на операції, хв. (таблиця 6.1 та 6.2);

$K_m$  – коефіцієнт, що враховує питому вагу основного технологічного часу у штучному часі [8, с.17];

$T_m$  – середня стійкість інструменту, хв. [8, т. 3.15, с. 32];

$m$  – число граней ріжучої пластини, що не переточується, з механічним кріпленням, шт. [8, с. 17].

Інші загальновиробничі витрати, грн [8, с.17] за формулою (6.8):

$$I_n = 3_o \cdot k_{заг}, \quad (6.8)$$

де  $k_{заг}$  – коефіцієнт, що враховує інші загальновиробничі витрати [8, с.17].

Таблиця 6.1 – Вихідні дані базового ТП

Розрахункові параметри	Варіанти технологічного процесу			
	Базовий ТП			
Річна програма випуску деталей $N_p$	5000			
Модель верстата	TOS sui 40	TOS sui 40	TOS sui 40	TOS sui 40
Штучний час $T_{шт}$ , хв.	2,37	5,16	1,44	4,31
Розряд верстатника	5			
Розряд наладчика	4			
Основний час $t_{oi}$ , хв	1,25	3,74	0,89	3,56
Тарифна ставка основного робітника, грн/год	65,1	65,1	65,1	65,1
Число змін $m$	2			
Оптова ціна верстата $F$ , грн	450000	450000	450000	450000
Число верстатів, шт	1	1	1	1
Сервісний термін обслуговування верстата $n$ , років	10	10	10	10
Норма амортизаційних відрахувань $N_a$ %	12,2	12,2	12,2	12,2
Встановлена потужність електродвигунів, $N$	7,5	7,5	7,5	7,5

Таблиця 6.2 – Вихідні дані операції з ЧПК

Розрахункові параметри	Варіанти технологічного процесу
	Комплексна операція
1	1
Річна програма випуску деталей $N_p$	5000
Модель верстата	Haas SL30
Штучний час $T_{шт}$ , хв.	10,6
Розряд верстатника	5
Розряд наладчика	4
Основний час $t_{oi}$ , хв	6,45
Тарифна ставка основного робітника, грн/год	65,1

Продовження таблиці 6.2

1	1
Число змін $m$	2
Оптова ціна верстата $F$ , грн	873700
Число верстатів, шт	1
Сервісний термін обслуговування верстата $n$ , років	15
Норма амортизаційних відрахувань $H_a$ %	12,2
Встановлена потужність електродвигунів, $N$	29,8

Розраховуємо технологічну собівартість по елементним методом для базового та комплексного ТП:

а) тип виробництва базового та комплексного технологічного процесу, скориставшись даними щодо трудомісткості операцій;

б) кількість верстатів на кожну операцію  $C_p$  (формула 6.1);

в) прийнята кількість робочих місць  $P$  (формула 6.4);

г) фактичний коефіцієнт завантаження верстата  $\eta_{зф}$  (формула 6.9).

$$\eta_{зф} = \frac{C_p}{P}; \quad (6.9)$$

Кількість операцій  $O$ , що виконуються на робочому місці за формулою (6.10):

$$O = \frac{\eta_{зф}}{\eta_{зф}}. \quad (6.10)$$

Таблиця 6.3 – Розрахунок коефіцієнта закріплення операцій базового ТП

№ опер.	Найменування операції	$T_{шт}$ , хв.	$C_p$	$P$	$\eta_{зф}$	$O$	$K_{зoi}$
025	Токарна	2,37	0,06	1	0,06	1,11	1,11
030	Токарна	5,16	0,12	1	0,12	1,25	1,25
035	Токарна	1,44	0,03	1	0,03	2,52	2,52
040	Токарна	4,31	0,1	1	0,1	1,89	1,89

$$\sum O = 6,77$$

Коефіцієнт закріплення операцій  $K_{зoi}=6,77/4=1,69$ . Отже, тип виробництва – багатосерійний.

Таблиця 6.4 – Розрахунок коефіцієнта закріплення операцій комплексної операції

№ опер.	Найменування операції	$T_{шт, хв.}$	$C_p$	$P$	$\eta_{зф}$	$O$	$K_{зОi}$
025	Токарна з ЧПК	10,6	0,25	1	0,25	1,95	1,95

Заробітну плату основних виробничих робітників розраховуємо за формулою (6.1).

Таблиця 6.5 – Заробітна плата верстатника базового ТП

№ опер	Найменування операції	$T_{шт, хв.}$	$C_{тар, грн}$	$k_{доп}$	$k_{соц}$	$K_6$	$Z_o, грн$
025	Токарна	2,37	65,1	1,2	1,4	1	4,32
030	Токарна	5,16	65,1	1,2	1,4	1	9,41
035	Токарна	1,44	65,1	1,2	1,4	1	2,62
040	Токарна	4,31	65,1	1,2	1,4	1	7,86

$$\sum Z_o = 24,21$$

Таблиця 6.6 – Заробітна плата верстатника комплексної операції

№ опер	Найменування операції	$T_{шт, хв.}$	$C_{тар, грн}$	$k_{доп}$	$k_{соц}$	$K_6$	$Z_o, грн$
025	Токарна з ЧПК	10,6	65,1	1,2	1,4	1	19,32

Заробітна плата допоміжних робітників (наладчиків) – за формулою (6.2).

Таблиця 6.7 – Заробітна плата наладчиків за базовим ТП

№ опер	Найменування операції	$C_{тар.н, грн}$	$\Phi_r, год$	$Ч_n$	$k_{доп}$	$k_{соц}$	$Z_n, грн$
025	Токарна	50,9	2028	1	1,2	1,4	173,42
030	Токарна	50,9	2028	1	1,2	1,4	173,42
035	Токарна	50,9	2028	1	1,2	1,4	173,42
040	Токарна	50,9	2028	1	1,2	1,4	173,42

$$\sum = 693,68$$

Таблиця 6.8 – Заробітна плата наладчика комплексної операції

№ опер	Найменування операції	$C_{тар.н, грн}$	$\Phi_r, год$	$Ч_n$	$k_{доп}$	$k_{соц}$	$Z_n, грн$
025	Токарна з ЧПК	50,2	2028	1	1,2	1,4	173,42

Амортизаційні відрахування на обладнання – за формулою (6.3).

Таблиця 6.9 – Відрахування на амортизацію обладнання базового ТП

№ опер.	Найменування операції	$T_{шт, хв.}$	К, грн	$H_a, \%$	$F_d$	$A_{від, грн.}$
025	Токарна	2,37	450000	12,2	2056	1,05
030	Токарна	5,16	450000	12,2	2056	2,29
035	Токарна	1,44	450000	12,2	2056	0,64
040	Токарна	4,31	450000	12,2	2056	1,92

$$\sum A_{від} = 5,9$$

Таблиця 6.10 – Відрахування на амортизацію обладнання комплексної операції

№ опер.	Найменування операції	$T_{шт, хв.}$	К, грн	$H_a, \%$	$F_d$	$A_{від, грн.}$
025	Токарна з ЧПК	10,6	873700	12,2	2056	9,2

Витрати на інструмент розраховуємо за формулою (6.4).

Таблиця 6.11 – Витрати на інструмент базового ТП

№	Операція	$T_{шт, хв.}$	Ці, грн	Інструменти	$n_i,$ кількість інстр.	Стійкість $T, хв$	Число переточок, $n$	$\eta_{мі}$	$S_{ін}, грн$
025	Токарна	2,37	127	Різець	1	60	30	0,53	0,09
030	Токарна	5,16	134	Різець	1	60	40	0,72	0,2
035	Токарна	1,44	127	Різець	1	60	30	0,62	0,05
040	Токарна	4,31	134	Різець	1	60	40	0,82	0,19

$$\sum = 4$$

$$\sum = 0,53$$

Таблиця 6.12 – Витрати на інструмент комплексної операції

№	Операція	$T_{шт, хв.}$	Вартість			Стійкість $T, хв$	$\eta_{мі}$	Число ріж. граней $n$	$S_{ін}, грн$
			Інструментальний блок*, у.о.	Інструмент*, у.о.	Пластину у.о.				
025	Токарна з ЧПК	10,6	248	114	13,5	60	0,2	4	1,01

\* – Витрати, включені в договір про постачання обладнання

$$\sum = 1,01$$

За формулою 6.7 знайдемо витрати на налаштування інструментів поза верстатом за базовим та новим варіантом:

$$S_{\text{баз}} = \frac{1,3 \cdot 693,68 \cdot 16 \cdot 13,28 \cdot 0,71}{60 \cdot 4 \cdot 60} = 9,45$$

$$S_{\text{нов}} = \frac{1,3 \cdot 173,42 \cdot 5 \cdot 10,6 \cdot 0,61}{60 \cdot 4 \cdot 60} = 0,11$$

Витрати на технологічну електроенергію розраховуємо за формулою (6.5).

Таблиця 6.13 – Витрати на силову електроенергію базового ТП

№	Найменування операції	T <sub>штг</sub> , хв.	Ц <sub>е</sub> , грн./кВт·год	N <sub>е</sub> кВт	k <sub>N</sub>	k <sub>ч</sub>	k <sub>од</sub>	k <sub>W</sub>	η <sub>е</sub>	k <sub>в</sub>	S <sub>е</sub>
025	Токарна	2,37	3,45	7,5	0,9	0,7	1	1,08	0,85	1,1	0,54
030	Токарна	5,16	3,45	7,5	0,9	0,7	1	1,08	0,85	1,1	1,62
035	Токарна	1,44	3,45	7,5	0,9	0,7	1	1,08	0,85	1,1	0,45
040	Токарна	4,31	3,45	7,5	0,9	0,7	1	1,08	0,85	1,1	1,35

$$\sum = 3,96$$

Таблиця 6.14 – Витрати на силову електроенергію комплексної операції

№ опер	Найменування операції	T <sub>штг</sub> , хв.	Ц <sub>е</sub> , грн./кВт·год	N <sub>е</sub> кВт	k <sub>N</sub>	k <sub>ч</sub>	k <sub>од</sub>	k <sub>W</sub>	η <sub>е</sub>	k <sub>в</sub>	S <sub>е</sub>
025	Токарна з ЧПК	10,6	3,45	29,8	0,9	0,7	1	1,08	0,85	1,1	13,22

Витрати на обслуговування та ремонт обладнання розраховуємо за формулою (6.6).

Таблиця 6.15 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання базового ТП

№ опер.	Найменування операції	Коефіцієнт відрахувань до ремонтного фонду, K <sub>p</sub>	C <sub>p</sub>	S <sub>p</sub> , грн
025	Токарна	0,02	0,041	0,82
030	Токарна	0,02	0,041	0,82
035	Токарна	0,02	0,041	0,82
040	Токарна	0,02	0,041	0,82

Таблиця 6.16 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання комплексної операції

№ опер.	Найменування операції	Коефіцієнт відрахувань до ремонтного фонду, $K_p$	$C_p$	$S_p$ , грн
025	Токарна з ЧПК	0,02	0,085	4,1

Інші загальновиробничі витрати, грн [8, с.17] розраховуємо за формулою (6.8):

$$I_{\text{баз}} = 24,21 \cdot 0,2 = 4,84$$

$$I_{\text{комп}} = 19,32 \cdot 0,2 = 3,86$$

Узагальнені результати розрахунку технологічної собівартості обробки за варіантами наведено у табл. 6.17.

Таблиця 6.17 – Розрахунок елементів технологічної собівартості, грн.

Елементи собівартості		Варіанти	
		Базовий ТП	Комплексна операція
Заробітна плата верстатника	$Z_o$	24,21	19,32
Заробітна плата наладчика	$Z_n$	693,68	173,42
Відрахування на амортизацію обладнання	$A_{\text{від}}$	5,9	9,2
Витрати на ремонт та обслуговування обладнання	$S_p$	3,28	4,1
Витрати на налаштування інструменту поза верстатом	$S_n$	9,45	0,11
Витрати на різальний інструмент	$S_{\text{ін}}$	0,53	1,01
Витрати на електроенергію	$S_e$	3,96	13,22
Витрати інші	$I_n$	4,84	3,86
Технологічна собівартість	$C_T$	745,85	224,24

Розрахуємо умовний економічний ефект, грн [15, с.6] за формулою (6.11):

$$E_{yp} = (C_1 - C_2) \cdot N, \quad (6.11)$$

де  $C_1$  та  $C_2$  – собівартість одиниці продукції базового ТП та комплексної операції, грн.;

$N$  – річний випуск продукції, шт.

$$E_{\text{ур}} = (745,85 - 224,24) \cdot 5000 = 2608050 \text{ грн.}$$

Отже, впровадження комплексної операції в ТП знижує витрати на 2608050 грн. щорічно, що свідчить про успішність та ефективність запропонованих технологічних заходів.

## 7 ОХОРОНА ПРАЦІ

Розрахуємо загальне штучне освітлення в механічному цеху згідно даних, що наведено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 Габарити механічного цеху

Приміщення, цеха	Довжина, м	Ширина, м	Висота, м	$h_p$ , м	$\rho_c$ , %	$\rho_{ст.}$ %	$\rho_{п.}$ %
механічний	72	42	12	0,8	70	50	30

Для якісного виконання робіт в механічному цеху, згідно ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення», нормоване загальне штучне освітлення становить  $E_n = 200$  лк. [9].

Аналізуючи види робіт, згідно технологічного процесу, можна вважати, що найменший розмір об'єкта розрізнення становить 1-5мм, розряд зорової роботи можна вибрати  $V_v$ . Для забезпечення освітлення в приміщенні найбільш доцільно вибрати світильники типу РПП. В цих світильниках можна застосовувати лампами високого тиску ДРЛ або ДРІ. Вони є економічними, мають високий світловий потік, економічні, стабільно працюють тривалий час. Згідно класифікації світильників за типом кривої сили світла світильник РПП має  $D$  – косинусний тип. [10, рис. 3.1]. Для організації найбільш раціонального освітлення використовують коефіцієнт світильника ( $L/h$ ) – відношення відстані ( $L$ ) між рядами або сусідніми світильниками у ряду до висоти ( $h$ ) їхнього підвісу над робочою поверхнею [10, дод.В]. Для світильника РПП -  $L/h = 1,6$ .

Розраховуємо кількість рядів світильників у приміщенні за формулою (7.1):

$$N_p = \frac{B}{(H - h_p) * \left[ \frac{L}{h} \right]} \quad (7.1)$$

$$N_p = \frac{42}{(12 - 0,9) * 1,6} = 2,36 \approx 3 \text{ ряди}$$

Визначаємо максимально допустиму відстань між рядами світильників за формулою (7.2):

$$L_{max} = \frac{B}{N_p} \quad (7.2)$$

$$L_{max} = \frac{42}{3} = 14 \text{ м}$$

Розраховуємо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею за формулою (7.3):

$$h = \frac{L_{max}}{\frac{L}{\bar{h}}} \quad (7.3)$$

$$h = \frac{14}{1,6} = 8,75 \text{ м}$$

Розраховуємо висоту звисання світильника від стелі за формулою (7.4):

$$h_3 = H - h_p - h \quad (7.4)$$

$$h_3 = 12 - 0,8 - 8,75 = 2,75 \text{ м}$$

Розраховуємо індекс приміщення за формулою (7.5):

$$i = \frac{A * B}{h * (A + B)} \quad (7.5)$$

$$i = \frac{72 * 42}{8,75 * (72 + 42)} = 3,03$$

Коефіцієнт запасу, значення якого залежить від умов експлуатації світильників, становить  $K_3 = 1,5$ . Коефіцієнт нерівномірності (мінімального) освітлення  $z$  для ламп ДРЛ та ДРІ дорівнює 1.15.

Коефіцієнт використання світлового потоку залежить від індекс приміщення, типу світильника та коефіцієнтів відбиття стелі, стін та підлоги. Аналізуючи всі характеристики по додатку Д згідно рекомендацій методичних вказівок  $\eta = 65\%$

Визначаємо сумарний світловий потік освітлювальної установки за формулою (7.6):

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_H * S * k_3 * Z}{\eta} \quad (7.6)$$

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{200 * 72 * 42 * 1,5 * 1,15}{0,65} = 1605046 \text{ лм}$$

Визначаємо розрахункову загальну кількість світильників у приміщенні за формулою (7.7):

$$N^* = N_{LED}^* = \frac{A * B}{L_{max}^2} \quad (7.7)$$

$$N^* = \frac{72 * 42}{14^2} = 15,42$$

Визначаємо розрахунковий світловий потік лампи за формулою (7.8):

$$\Phi_L^* = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N_L} \quad (7.8)$$

$$\Phi_L^* = \frac{1605046}{15,42} = 104088 \text{ лм}$$

Технічні характеристики ртутних дугових ламп ДРЛ і ДРИ наведено в табл.3 [10], найближче до розрахункового значення світлового потоку стандартної лампи  $\Phi_L = 103000$  лм. Це лампа типу ДРІ, потужністю 1000Вт.

Визначаємо коефіцієнт пропорційності за формулою (7.9):

$$m = \frac{\Phi_L^*}{\Phi_L} \quad (7.9)$$

$$m = \frac{104088}{103000} = 1,01$$

Визначаємо оптимальну кількість світильників у приміщенні за формулою (7.10):

$$N = N^* * m \quad (7.10)$$

$$N = 15,42 * 1,01 = 15,57$$

Приймаємо кількість світильників 15

Визначаємо загальну розрахункову освітленість за формулою (7.11):

$$E_{\rho} = \frac{\Phi_L * N_{\Phi L} * \eta}{S * k_3 * Z} \quad (7.11)$$

$$E_p = \frac{103000 * 15 * 0,64}{72 * 42 * 1,5 * 1,15} = 189,55 \text{ лк}$$

Виходячи з розрахунків, при рівномірному розміщені ламп, отримуємо три ряди по п'ять світильників, в кожному світильнику одна лампа ДРІ1000. Ескіз розташування світильників на плані приміщення рис.7.1.

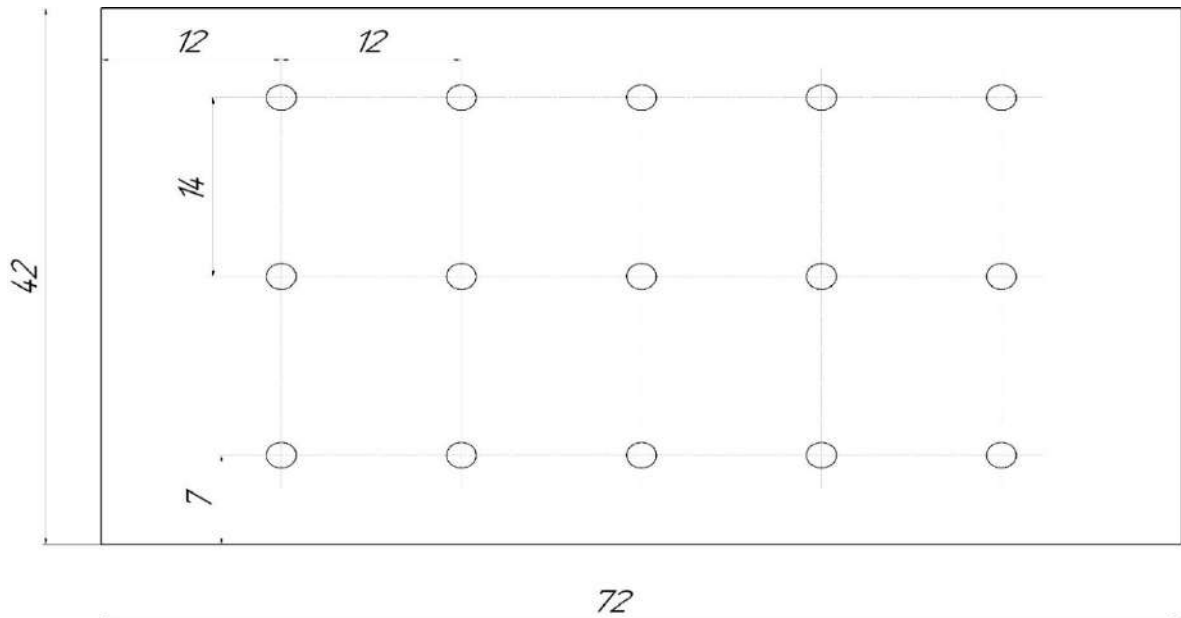


Рисунок 7.1 – Схема розташування світильників у виробничому приміщенні

Для підтримки здоров'я працюючих необхідно не тільки забезпечити рівень освітленості, що рекомендується ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення», але також необхідно дотримуватись вимог ДСН 3.3.6.042-99. «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень», ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації». [11, 12].

Таким чином, основним фактором, що забезпечує робітникам комфортні та безпечні умови праці є постійне виконання вимог нормативно-правових актів, що діють у нас в країні. Контроль за якісним виконанням зазначених вимог виконує служба охорони праці та інші державні установи та організації.

## ВИСНОВКИ

При виконанні магістерської роботи були використано все доступне інноваційне програмне забезпечення таке як КОМПАС, AUTOCAD, NX, NXCAN, NX ADVANTAGE SIMULATION. У CAD програмах були виконанні всі креслення та схеми. У програмному забезпеченні NX було виконано розробка технологічних операцій механічної обробки та аналіз напружено-деформованого стану.

Розроблено та розраховано конструкції робочого та контрольного пристосувань. У розділі автоматизація розглянуто переваги та перспективи використання систем штучного інтелекту у виробництві. У спецзавдання проаналізовано нові можливості отримання зубців при використанні нового прогресивного інструменту фірми SANDVICK.

Отже, результати магістерської роботи підтверджують, що використання інноваційного програмного забезпечення в процесі виготовлення деталей типу диск має великий потенціал для підвищення якості продукції, підвищення ефективності виробництва та стимулювання технологічного розвитку в даній галузі промисловості.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Справочник технолога - машиностроителя. Т.1 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. - М.: Машиностроение, 1985.
2. Маталин А.А. и др. Проектирование технологических процессов обработки деталей на станках с числовым программным управлением.-Л., 1977г.
3. Обработка металлов резанием: Справочник технолога/ А.А. Гаков., В.В. Аникин, Н.Г. Бойм и др.; Под общ. ред. А.А. Гакова.- М.: Машиностроение.1988.-736 с., ил.
4. Стружестрах Е.И. Справочник нормировщика.М.: Машиностроение,1961.-Т.2.- 890 с.
5. В.А. Богуслаев, В.А. Лиховицер, А.С.Смирнов. Станочные приспособления, монография., – г. Запорожье , изд. ОАО «Мотор Сич». 2000 г.,461 с.
6. <https://www.autodesk.com/design-make/articles/ai-in-manufacturing>
7. <https://www.richconn-cnc.com/gear-processing-process-7-steps-make-you-feel-simple.html>
8. Методичні рекомендації для дипломного проектування “Оцінка економічної ефективності технічних рішень” для студентів зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання / Укл. Г.В. Пухальська - Запоріжжя: НУ«Запорізька політехніка», 2023 - 43 с
9. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01]. К. : Мінрегіон України, 2018. 133 с. URL : [https://ledeffect.com.ua/images/\\_\\_\\_branding/dbn2018.pdf](https://ledeffect.com.ua/images/___branding/dbn2018.pdf)
10. Методичні вказівки до лабораторного заняття «Розрахунок загального рівномірного штучного освітлення виробничих приміщень» з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі»: для студентів усіх спеціальностей та форм навчання /Укл. : В.І. Шмирко, О.В. Коробко, Ю.І. Троян. – Запоріжжя: каф. ОПіНС. НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 36с., 3 рис., 12 табл.
11. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. [Чинний від 1999-12-01]. К. : МОЗ України, 1999. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va037282-99>
12. ДСН 3.3.6.039-99Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації, [Електронний ресурс] Чинний від 1999-12-01. К. : МОЗ України, 1999. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.







			Обозначение	Наименование		Прим
		27.		Планка	1	
		28.		Стійка	1	
		29.		Конус	1	
		30.		Втулка	1	
		31.		Планка	1	
		32.		Палець	1	
		33.		Планка	1	
		34.		Індикаторний годинник	1	
		35.		Планишайба	1	
		36.		Кільце	1	
		37.		Вал	1	
		38.		Вал	1	
		39.		Індикаторний годинник	1	
		40.		Вал	1	
		41.		Втулка	1	
		42.		Планка	1	
		43.		Сухар	1	
		44.		Ручка	1	
		45.		Ручка	1	
		46.		Ручка	1	
		47.		Вісь	1	
				<i>Стандартні вироби</i>		
		48.		Гвинт М8х15	4	
				ГОСТ 1491 - 80		
		49.		Гвинт М12х15	4	
				ГОСТ 1491 - 80		
		50.		Гвинт М8х10	4	
				ГОСТ 1491 - 80		
		51.		Гвинт М10х12	4	
				ГОСТ 1491 - 80		
		52.		Штіфт М10х30		
				ГОСТ 3129-70	4	
		53.		Штіфт М8х10		
				ГОСТ 3129-70	4	
		54.		Шайба 10х5		
				ГОСТ 11371-78	1	
		55.		Штіфт М10х15		
				ГОСТ 3129-70	4	
						Лист
						2
Арк	№ докум	Подп.	дата	НУЗП 401132.045		

