

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Механіко-машинобудівний факультет

Кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
кваліфікаційної роботи ступеня магістра

студента Ляпченка Кирила Олеговича


академічної групи 131м-22н-1 ММФ

спеціальності 131 Прикладна механіка


спеціалізації \_\_\_\_\_

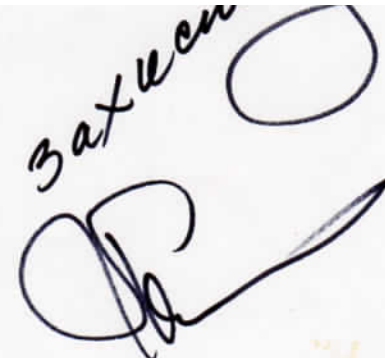
за освітньо-професійною програмою «Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва»

на тему: Дослідження технології механічного оброблення деталі "Колесо зубчасте" з визначенням раціональних параметрів точності засобів контролю

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної	Павлова С.Т.	85	80	

Встановлено, що матеріали даної кваліфікаційної роботи містять чутливу інформацію щодо реальних об'єктів критичної інфраструктури України, національної безпеки і оборони України, зокрема відомості про їх місце розташування, службове призначення, конструкторську і технологічну документацію, описи конструкторських матеріалів та їх властивості, іншу додаткову літературу та посилання. Узв'язку з чим такі матеріали не підлягають відкритому оприлюдненню та мають зберігатися відповідно до встановленого режиму закладом освіти.

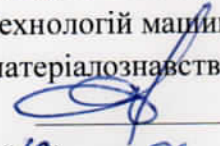
  
Дніпро  
2024

*Захисник*  


Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства

  
Дербоба В.А.  
« 10 » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**  
на випускню кваліфікаційну роботу  
ступеня магістра

студент Ляпченко Кирило Олегович  
академічної групи 131М-22Н-1 ММФ  
спеціальність 131 Прикладна механіка  
спеціалізації \_\_\_\_\_  
за освітньо-професійною програмою «Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва»  
на тему: Дослідження технології механічного оброблення деталі "Колесо зубчасте" з визначенням раціональних параметрів точності засобів контролю  
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 30.04.24 р. за № 382-С

Розділ	Зміст	Термін Виконання
	Аналіз технологічності конструкції деталі	

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

## Реферат

Пояснювальна записка: 58 с, 16 рис, 19 табл., 5 додатків, 12 джерел.

Тема: «Дослідження технології механічного оброблення деталі «Колесо зубчасте» з визначенням раціональних параметрів точності засобів контролю».

Ключові слова: деталь, технологія, токарна операція, верстат з ЧПК, САМ-система.

Об'єкт розроблення у кваліфікаційній роботі – технологія механічної обробки деталі «Колесо зубчасте» та її моделювання за допомогою САМ-системи.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка технологічного процесу механічної обробки деталі «Колесо зубчасте» з визначенням раціональних параметрів точності засобів контролю.

Результат роботи – наукове дослідження точності засобів контролю та керуюча програма для верстату з ЧПК.

Перевагою розробленої технології є мінімізація кількості технологічних операцій та числа верстатів у поєднанні з високим рівнем автоматизації процесу.

У кваліфікаційній роботі проведено аналіз технологічності деталі, вимог до точності розмірів, форми, взаємного розташування і шорсткості її поверхонь. Спроектована заготовка, розроблені детальні технологічні операції. Здійснено вибір металорізального верстату та сучасного різального інструменту. За допомогою САМ-системи розроблено програмний код для верстату з ЧПК.

Робота пов'язана з науковим напрямом кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства та виконана відповідно договору про співпрацю та договором про нерозголошення конфіденційної інформації та комерційної таємниці з ДП «Конструкторське бюро «Південне» ім. К.М.Янгеля».

## ЗМІСТ

Вступ .....	6
<b>1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ</b> .....	<b>7</b>
1.1 Характеристика об'єкта виробництва .....	7
1.2 Аналіз технологічності конструкції .....	9
<b>2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ</b> .....	<b>13</b>
2.1 Визначення серійності виробництва .....	13
2.2 Обґрунтування способу одержання заготовки .....	13
2.3 Вибір методів обробки поверхонь .....	15
2.4 Обґрунтування вибору верстату .....	19
2.5 Розрахунки та обґрунтування режимів обробки .....	21
2.6 Вибір вимірювальних інструментів .....	22
2.7 Вибір різальних інструментів .....	23
<b>3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ</b> .....	<b>25</b>
3.1 Розрахунок фасочних зубів .....	25
3.2 Розрахунок шліцьових зубів .....	28
3.2.1 Шліцьові перехідні зуби .....	33
3.2.2 Шліцьові чистові зуби .....	33
3.3 Розрахунок круглих зубів .....	35
3.3.1 Припуск на круглі зуби .....	35
3.3.2 Визначення профілю і розмірів круглих чорнових зубців в осьовому перерізі .....	36
3.3.3 Розрахунок шліцьових зубів у групі .....	37
3.3.4 Визначення діаметрів чорнових круглих зубів, мм .....	38

3.3.5 Круглі чистові зуби .....	38
3.4 Визначення загальної довжини протяжки.....	40
3.4.1 Відстань до першого зуба протяжки .....	40
3.4.2 Розміри задньої направляючої .....	40
3.4.3 Визначення загальної довжини протяжки.....	41
<b>4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ .....</b>	<b>42</b>
4.1 Крок 1. Побудова схеми поля допуску .....	42
4.1.1 Моделювання випадкових відхилень .....	44
4.2 Крок 2. Комп'ютерне моделювання вимірювально- контрольної системи .....	45
<b>Загальні висновки .....</b>	<b>51</b>
<b>Перелік посилань .....</b>	<b>52</b>
Додаток А .....	54
Додаток Б .....	55
Додаток В.....	56
Додаток Г .....	57
Додаток Д.....	58

## Вступ

Основне завдання технології машинобудування - виготовлення продукції необхідної якості, кількості при найменших витратах матеріалу, з мінімальною собівартістю і максимальною продуктивністю.

Основними напрямками розвитку науково-технічного прогресу (НТП) в машинобудуванні і технології машинобудування є прискорення НТП на базі переозброєння виробництва, впровадження нової техніки і матеріалів, прогресивної технології і систем машин, для комплексної механізації і автоматизації.

В даній кваліфікаційній роботі розроблено технологічний процес виготовлення деталі «Колесо зубчасте». Основу для проектування склав типовий технологічний процес механічної обробки. Найбільш доцільним методом отримання заготовки для деталі "Колесо зубчасте" є прокат, що дозволяє досягти коефіцієнта використання матеріалу 0,82. Технологічний процес механічної обробки проектується на основі робочого кресленника деталі і технічних умов на виготовлення виробу.

Якість виготовлення продукції визначається сукупністю властивостей процесу її виготовлення, відповідності цього процесу і його результатів встановленим вимогам. Конструкція деталі забезпечує вільний доступ ріжучого інструменту до оброблюваних поверхонь. Більшість поверхонь дозволяють обробку прохідними різцями, що дозволяє більш якісно обробляти деталь.

Позитивними сторонами є оптимальне співвідношення якості і шорсткості, а також те, що всі поверхні легкодоступні для інструменту.

## 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1 Характеристика об'єкта виробництва

**Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.**

експлуатації як самого колеса так і всього механізму. Шість отворів діаметром 50 мм необхідні для зменшення маси деталі.

Основними конструкторськими базами деталі у дисків є отвір та торець, які обробляють на першій операції від чорнових технологічних баз, якими є торець, що грає роль настановної бази 1, 2, 3, та зовнішня циліндрична поверхня, що є подвійною базою 4, 5. Ці поверхні визначають

Т  
Р  
Л  
С  
В  
4  
Д

**Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.**

для отримання різних відповідальних конструкцій, наприклад, осей, валів, зубчастих коліс, болтів або плунжерів. Зарубіжні аналоги можуть використовуватися для виготовлення деталей, які будуть застосовуватися на відкритому повітрі при низькій температурі. Прикладом можна назвати елементи мостів і залізничних конструкцій. Загартування призводить до суттєвого підвищення твердості поверхні, однак крихкість знизити можна тільки при відпуску. Досягти необхідних показників можна тільки при дотриманні особливостей технології. У багатьох випадках термічна обробка дозволяє істотно підвищити експлуатаційні характеристики металу. Рекомендації щодо виконання подібної процедури наступні

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

Висновок експертного висновку стосується до 500 градусів Цельсія.

В даному випадку застосування даного матеріалу доцільно. Хімічний склад сталі 40X наведено в таблиці 1.1, механічні властивості сталі наведені в таблиці 1.2.

# Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

## 1.2 Аналіз технологічності конструкції

Метою аналізу конструкції деталі на технологічність є виявлення недоліків конструкції за відомостями, що містяться в кресленнях і технічних вимогах, а також можливе поліпшення технологічності розглянутої конструкції. Аналіз технологічності проводиться, як правило, в два етапи: якісний і кількісний.

Деталь відноситься до класу дисків, усі деталі цього класу мають форму тіла обертання, довжина (висота  $H$ ) якої менша за діаметр  $D$  в 2 рази і більше, тобто.  $H < 0,5D$ . Жорсткість допускає отримання високої точності обробки (жорсткість вважається недостатньою, якщо для отримання точності 6 ... 9-го квалітетів відношення його довжини  $l$  до діаметру  $d$  понад 10 ... 12).

Визначимо жорсткість деталі:

$$\frac{L}{d_{\text{пр}}} \quad (1.1)$$

де  $L$  – довжина, мм;

$d_{\text{пр}}$  – наведений діаметр, визначений за формулою :

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

точність базування і закріплення деталей по кресленнях замовника на верстаті.

Кількісну оцінку технологічності конструкції деталі виконуємо за трьома показниками, передбачених нормативними документами.

Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів.

$$K_{y.e.} = \frac{Q_{y.e.}}{Q_e} \quad (1.3)$$

где  $Q_{y.e.}$  – число уніфікованих типорозмірів конструктивних елементів;

$Q_e$  – число типорозмірів конструктивних елементів.

З огляду на область розташування деталі і специфіку конструктивний параметрів

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

де  $A$  – квалітетобробки;

$n_i$  – число розмірів відповідного квалітета.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

$$B_{\text{con}} = \frac{\sum B \cdot n_i}{\sum n_i}, \quad (1.7)$$

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

процесу її виготовлення, відповідності цього процесу і його результатів встановленим вимогам.

Конструкція деталі забезпечує вільний доступ ріжучого інструменту до оброблюваних поверхонь. Більшість поверхонь дозволяють обробку прохідними різцями, що дозволяє ефективніше обробляти деталь. Позитивними сторонами є оптимальне співвідношення квалітета і шорсткості, те, що всі поверхні легкодоступні для інструменту. Для даних

## Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

механічних властивостей поверхонь і деталі в цілому і має гарні технологічні характеристики при обробці різанням. Співвідношення квалітетів точності і параметрів шорсткості більшості, оброблюваних поверхонь є оптимальним.

З точки зору забезпечення заданої точності і шорсткості поверхонь, деталь є середньої складності, доступ до всіх елементарних оброблюваних поверхонь відкритий. Будь-які вимірювальні операції можна проводити за допомогою елементарних пристосувань, без застосування спеціальних інструментів.

На підставі якісного та кількісного аналізу робимо висновок, що деталь є досить технологічною.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Визначення серійності виробництва

Завданням на виконання випускної кваліфікаційної роботи передбачено, що виробництво не є серійним. В сучасних складних соціально-економічних умовах саме одиничне виробництво є актуальним для машинобудівного підприємства, бо замовник сплачує найчастіше одиничні екземпляри машини чи устаткування. Але застосування обладнання з числовим програмним керуванням (ЧПК) нівелює різницю між одиничним і серійним виробництвом .

Відхилення розмірів, форми та взаємного розташування поверхонь негативно позначаються на експлуатаційних характеристиках деталі "Колесо зубчасте", тому рішення прийняті у технологічному розділі прямим чином впливають на якість та конкурентоздатність продукції.

### 2.2 Обґрунтування способу одержання заготовки

З о  
за  
ста

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

1113 52

де  $M_d$  - маса деталі;

$M_z$  - маса заготовки.

Маси деталі і заготовки визначені за допомогою опції МЦХ  
CAD-системи.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

бути визначені або розрахунково-аналітичним, або табличним методами. Для заданої деталі застосовано табличний метод. Для визначення проміжних (міжопераційних) припусків табличним методом застосовано кафедральні методичні рекомендації. Одержані таким чином проміжні припуски наведені в табл. 2.1- 2.2.

Вид обробки	Припуск
-------------	---------

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

шлізування

Таблиця 2.2 - Проміжні припуски на токарну обробку торцевих поверхонь деталі "Колесо зубчасте"

Таблиця

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

Таблиц

ТТТ	ТТТ	К 2	Свердління шести
	<p><b>Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.</b></p>	ів	госу- І
			ЮНИ Ч-

Продовження табл. 2.4

Обладнання	Послідовність операцій і переходів	Пристосування
Верстат токарно-фрезерний ЧПК	<p><b>Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.</b></p>	рони ач-

Обладнання
Протяжний верстат
Зубофрезерний верстат
Піч для термічної обробки
Зубошліфувальний верстат

**Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.**

Істосу-ня
Істо-ання ціальне
ціальне тосування (ІМНА ВКА)
ціальне тосування
ІМНА ВКА

## 2.4 Обґрунтування вибору верстату

Для токарно-фрезерної обробки вибрано токарно-фрезерний верстат з ЧПК

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.



Рисунок 2.2 Токарно-фрезерний верстат  
*PUMA 2600 SMX* з ЧПК

Позначення розшифровуються наступним чином:

*M* - верстат має фрезерну головку,

*S* - верстат має контршпindel.

Основні технологічні параметри верстату: Максимальна довжина обробки 1540 мм. Максимальний оброблюваний діаметр 660 мм. Потужність двигуна головного руху 30 кВт.

Максимальна швидкість обертання шпindelю 4000 об/хв.

Функція контршпинделя забезпечує різання із двох сторін за допомогою однієї установки, тим самим максимізуючи продуктивність та ефективність технології.

Наявність фрезерної головки дозволяє відмовитися від застосування фрезерного і свердлильного верстатів.

Програмне керування верстатом здійснюється Системою ЧПК

Ф:

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

М:

жний верстат

## 2.5 Розрахунки та обґрунтування режимів обробки

Розрахунки режимів різання ґрунтуються на використанні емпіричних формул, наведених у довідниках. Режими різання встановлені в такому порядку:

- 1) визначення глибини різання  $t$  в мм та кількість проходів  $i$ ;
- 2) вибір подачі  $s$  в мм/об;
- 3) визначення нормативної швидкості різання  $V$  (м/хв) і відповідного їй числа обертів  $n$  за хвилину, що допускаються заданим періодом стійкості різального інструменту;
- 4) визначення зусилля і потужності, що потрібні для різання;
- 5) перевірка можливості виконання роботи за вибраним режимом різання на заданому верстаті згідно з його експлуатаційними даними;
- 6) коригування вибраного режиму відповідно до паспортних даних верстату.

## 2.6 Вибір вимірювальних інструментів

Для вимірювання лінійних розмірів застосовано штангенциркулі з цифровими дисплеями, що мають підвищену точність (табл.2.5).

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Діаметр	Стадія	Глибина	Швидкість
---------	--------	---------	-----------

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

## 2.7 Вибір різальних інструментів

Вибір різальних інструментів здійснено із каталогів фірми *TaeguTec* та *Hoffman Group*, що є світовими лідерами у постачанні широкої номенклатури металорізального інструменту.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Д  
Т  
ла  
ду  
бора. На рис. 2.6 показані геометричні параметри застосованого правого різця *TaeguTec* для чорнового та чистового точіння сталі 40Х.

150

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

В  
пластин  
для чор  
Та  
СС

В  
пластин  
признач

СС

ВС

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

льної  
начена

, мм

і різальної  
у бора, що  
пі 40X.

1

### 3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ .РОЗРАХУНОК КОМБІНОВАНОЇ ШЛІЦЬОВОЇ ПРОТЯЖКИ

На комбінованій протяжці є круглі К, шліцьові Ш і фасочні Ф зуби. Послідовність зрізання припуску визначається обраною послідовністю зубів, наприклад ФШК або КШФ.

#### 3.1 Розрахунок фасочних зубів

Припуск  $A_\phi$  на фасочні зуби (на діаметр) визначаємо за формулою:

$$A_\phi = d_\phi - D_0 + 0,1, \quad \text{де}$$

$d_\phi$  – діаметр вершин за фасками, мм

$D_0$  – діаметр отвору під протягування.

Діаметр вершин за фасками визначено за формулою:

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

$d_{max}$  – верхній граничний розмір внутрішнього діаметра шліцьового отвору.

Припуск  $A$  на круглі зуби, коли отвір попередньо оброблено  
визначено за формулою:

# Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

$a$  – дісна товщина шару, який зрізається;

$L$  – довжина отвору.

Коефіцієнт заповнення стружкової канавки  $K$  обрано з урахуванням того, що деталь сталевана з межею міцності близько 600 МПа, а підйом на зуб становить (див. раніше): 0,25 мм. Тоді  $K = 3,5$ . При груповій схемі різання

$$a = S_z = 0,25 \text{ мм.}$$

За такої глибини стружкової канавки її об'єм дорівнюватиме об'єму стружки.

З умов міцності протягання отримана величина  $h$  не повинна перевищувати  $0,17 \cdot d = 3,4$  мм. Умова виконується. У зв'язку з цим не коригуємо в менший бік величину підйому на зуб:  $S_z = 0,25$  мм.

Таким чином,  $h = 8,2$  мм.

Попередній крок і максимальне число зубів, що одночасно працюють

Попередній крок  $t_1$  визначено за формулою:

$$t_1 = 2,65 \cdot h = 22 \text{ мм.}$$

Максимальне число зубів, що одночасно працюють, визначено як:

$$Z_{max} = \frac{L}{t_1} = 3,73 \text{ мм},$$

Відкидаючи дробову частину, отримуємо:

$$Z_{max} = 3.$$

Умова максимально допустимих коливань сили протягування:

$$Z_{max} \geq 3.$$

Умова виконується.

Геометричні параметри ріжучих і калібрувальних зубів Величина

переднього кута  $\gamma$  для ріжучих і калібрувальних зубів узяті

однаковими і прийняті для сталі з межею міцності 900 МПа:

$$\gamma = 15^\circ.$$

Головний задній кут  $\alpha$  – для ріжучих зубів:

$$\alpha = 2^\circ \text{ для трьох останніх зубів,}$$

$$\alpha = 3^\circ \text{ для решти зубів.}$$

Головний задній кут  $\alpha$  – калібрувальних зубів:

$$\alpha = 1^\circ.$$

Визначення профілю і розмірів чорнових зубів в осьовому перерізі а)

Найменший крок визначено за формулою.

$$t = L / (Z - 1) = 20,69 \text{ мм.}$$

б) Ширина спинки визначена за формулою

$$q = (0,25 \div 0,4) \cdot t = 4,10 \div 6,15 \text{ мм.}$$

Прийнято 4,5 мм.

в) Радіус спинки визначено за формулою

$$R = (0,65 \div 0,70) \cdot t = 13,45 \div 14,48 \text{ мм.}$$

Прийнято стандартне значення 16 мм

д) Кут спинки відсутній, оскільки вибираємо форму з криволінійною спинкою зуба.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

під протягування. Діаметр кожного наступного фасочного зуба збільшено на  $2\Delta d_{\phi} = 0,5$  мм.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

$D_{max}$  – верхній граничний розмір зовнішнього діаметра шліцьового отвору, мм

$d_{\phi}$  – діаметр вершин за фасками, мм.

Діаметр вершин за фасками визначено за формулою:

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Підйом на зуб обраний вище і становить

$$S_z = 0,25 \text{ мм.}$$

Глибина стружкової канавки в розрахунок за формулою:

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

$$h = 1,15 \sqrt{r} \quad \text{або} \quad h = 1,15 \sqrt{0,25} \quad 0,25 \quad 0,35 = 0,19 \text{ мм.}$$

З умов міцності протягання отримана величина  $h$  не повинна перевищувати  $0,17 \cdot D = 11,5$  мм. Умова виконується. У зв'язку з цим не коригуємо в менший бік величину підйому на зуб:  $S_z = 0,25$  мм.

Прийнято:  $h = 9$  мм.

За такої глибини стружкової канавки її об'єм дорівнюватиме об'єму стружки.

За умов стійкості протягання отримана величина  $h$  не повинна перевищувати

$$0,17 \cdot D = 11,05 \text{ мм.}$$

Умова виконана.

Попередній крок і максимальне число зубів, що одночасно працюють

Попередній крок  $t_1$  визначено за формулою:

$$t_1 = 2,65 \cdot h = 22 \text{ мм}$$

Максимальне число зубів, що одночасно працюють, визначено як:

$$Z_{max} = \frac{L}{t_1} = 3,73 \text{ мм,}$$

Без дробової частини, отримано:

$$Z_{max} = 3.$$

Умова максимально допустимих коливань сили протягування:

$$Z_{max} \geq 3.$$

Умова виконана.

Геометричні параметри ріжучих і калібрувальних зубів Величина

переднього кута  $\gamma$  для ріжучих і калібрувальних зубів узяті

однаковими і прийняті для сталі з межею міцності 900 МПа:

$$\gamma = 15^\circ.$$

Головний задній кут  $\alpha$  – для ріжучих зубів:

$$\alpha = 2^\circ \text{ для трьох останніх зубів,}$$

$\alpha = 3^\circ$  для решти зубів.

Головний задній кут  $\alpha$  – калібрувальних зубів:

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

г) Радіус дна канавки

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

табл. 3.2

Визначено діаметри чорнових шліцьових зубів

Шліцьові зуби працюють за груповою схемою різання (прийнято).

# Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Припуск на чорнові шліцьові зуби становить

$$d_{13ш} - d_{6ф} = 63,98 - 57,48 = 6,5 \text{ мм}$$

Шліцьові випуски утворюють профіль втулки методом послідовного наближення. Усі вони мають однакову товщину шліцьових виступів  $b_{ш}$ :

$$b_{ш} = b_{max} - \delta, \text{ де}$$

$\delta$  - величина розбивання западини шліцьового отвору після протягування;

$b_{max}$  - максимальне значення ширини западини.

Тоді

$$b_{ш} = 10,10 - 0,01 = 10,09 \text{ мм.}$$

Внутрішній діаметр  $d_{в}$  у всіх зубів однаковий

$$d_{в} = D_{п.н.} d_{11}, \text{ де}$$

$D_{п.н.}$  - діаметр передньої направляючої.

Тоді

$$d_{в} = 55d_{11}$$

Для зменшення тертя на бічних сторонах шліців виконані поднутрення:

$\varphi_{1в} = 2^\circ$  (на вершині стрічка 0,9 мм).

Перший шліцьовий зуб групи має фаски  $f_n$  одержувані викружками радіуса  $R_B$  з утворенням задніх додаткових кутів  $5-8^\circ$ . Під час протягування він прорізає завчасно западину шліцьового отвору, знімаючи вузьку стружку. Другий зуб має шліцьові виступи повної товщини і знімає припуск, який залишився після першого зуба. Таким чином, другий зуб підчищає стінки западини отвору.

Радіус викружки  $R_B = 48$  мм обрано з довідника.

### 3.2.1 Шліцьові перехідні зуби

Перехідні зуби призначені для плавного переходу від чорнових зубів до чистових і відрізняються від чорнових підйомом на зуб, який поступово зменшується. Це призводить до плавного зменшення сили протягування до моменту початку роботи чистових зубів.

Табл. 3.3

Кількість	Розподіл припуску за групами, мм
-----------	----------------------------------

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

(для забезпечення шорсткості до Ra 1,25-2,5)

скориговано для збігу розмірів

Підйом на зуб $s_z$ , мм	Число чистових зубців
-----------------------------	--------------------------

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

Діаметри останніх двох чистових зубів мають дорівнювати діаметру калібрувальних зубів.

Калібрувальні зуби забезпечують необхідний розмір протягнутого отвору. Діаметр калібрувальних зубів визначено за формулою

$$d_k = d_{max} - \delta, \quad \text{де}$$

$\delta$  – величина розбивання або усадки отвору після протягування.

Тоді

$$d_k = 65,066 - 0,01 = 65,065.$$

Крок калібрувальних зубів прийнято рівним кроку чистових зубів:

$$t_k = t_c = 22 \text{ мм.}$$

Кількість калібрувальних зубів прийнято:

$$z_k = 6$$

Головний задній кут  $\alpha$  калібрувальних зубів:

$$\alpha = 45^\circ.$$

### 3.3 Розрахунок круглих зубів

#### 3.3.1 Припуск на круглі зуби

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Глибина стружкової канавки  $h$  розрахована за формулою:

$$h = 1,13 \cdot \sqrt{L \cdot a \cdot K}, \quad \text{где}$$

$K$ – коефіцієнт заповнення стружкової канавки;

$a$ – дійсна товщина шару, який зрізається, мм;

$L$  – довжина отвору, мм.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Виходячи з умови максимально допустимих коливань сили протягування необхідно, щоб

$$Z_{max} \geq 3.$$

Умова виконана.

3.3.2 Визначення профілю і розмірів круглих чорнових зубів в осьовому перерізі

а) Найменший крок визначено за формулою

**Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.**

Прийнято 3,5 мм.

г) Радіус спинки

$$R = (0,65 \div 0,70) \cdot t = (0,65 \div 0,70) \cdot 17,65 = 11,47 \div 12,36 \text{ мм.}$$

Приймаємо стандартне значення 12 мм/.

д) Кут спинки відсутній, оскільки вибираємо форму з криволінійною спинкою зуба.

е) Ширина фаски  $f$  на ріжучих зубах вибрана не більше 0,02 мм (допускається не більше 0,05 мм).

ж  
Крок  
мм  
1  
Табл.  
3.  
Ч  
протяг

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

$$F_{\min} - F_{\max}$$

де  $F_{\min}$  – площа небезпечного перерізу.

Для визначення площі небезпечного перерізу обчислено діаметр протягання по першій западині за формулою

$$d_{\text{вп}} = D_{\text{вп}} - 2 \cdot h, \text{ де}$$

$D_{\text{вп}}$  – діаметр передньої направляючої;

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Число зубів у групі визначено за формулою

$$Z_c = \frac{C_p \cdot S^y \cdot d \cdot Z_{\max} \cdot K_y \cdot K_c \cdot K_i}{P_{\max}}, \text{ де}$$

$C_p = 700$ – Коефіцієнт, що залежить від властивостей оброблюваного матеріалу і форми зубів протяжки.

Тоді

**Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.**

На кожному зубі передбачено по 32 або 24 стружкорозподільні канавки.

Розташовані вони в шаховому порядку. Ширина канавки прийнята  $t = 0,8$  мм.

Кут профілю  $\Psi = 120^\circ$ , радіус дна  $r = 0,4$  мм, задній кут по дну  $4^\circ$ .

### 3.3.5 Круглі чистові зуби

Чистові зуби призначені для видалення дефектного шару, який залишився після чорнових зубів і для зменшення шорсткості обробленої поверхні до  $R_a 1,25$ –  $2,5$ .

Кількість чистових зубів і величина підйому на зуб (Табл. 3.6):

Підйом на зуб $S_z$ , мм	Число чистових зубців
0,10	2
0,05	1
0,04	1

Визначено діаметри чистових і калібрувальних зубів, мм

2.

$d_{\text{чист}} = 56,65 \text{ мм} \pm 0,01 = 56,66 \text{ мм}$

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

$d_{\text{кал}} = 56,65 \text{ мм} \pm 0,01 = 56,66 \text{ мм}$

Калібрувальні зуби забезпечують необхідний розмір протягнутого отвору. Діаметр калібрувальних зубів визначено за формулою

$$d_{\text{к}} = d_{\text{max}} \pm \delta = 56,65 + 0,01 = 56,66 \text{ мм},$$

де

$\delta$  – величина розбивання або усадки отвору після протягування.

Допуск на калібрувальні зуби приймаємо в "-".

Крок калібрувальних зубів дорівнює кроку чистових зубів

$$t_{\text{к}} = t_{\text{ч}} = 18 \text{ мм}.$$

Кількість калібрувальних зубів прийнято

$$Z_{\text{к}} = 7.$$

Головний задній кут  $\alpha$  калібрувальних зубів:

$$\alpha = 45^\circ.$$

### 3.4 Визначення загальної довжини протяжки

#### 3.4.1 Відстань до першого зуба протяжки

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

$$l_{\text{зн}} = (0,5 \pm 0,1) \cdot L = (0,5 \pm 0,1) \cdot 80 = 50 \pm 4 \text{ мм.}$$

Прийнято

$$l_{\text{зн}} = 40 \text{ мм.}$$

## 3.4.3 Визначення загальної довжини протяжки (Табл 3.7)

Ділянки протягання	Довжина ділянки, мм
--------------------	---------------------

**Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.**

За такого співвідношення  $L/d < 40$  протяжку немає необхідності розділяти протяжку на дві частини: першого і другого проходу.

#### 4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

Визначення методом комп'ютерного моделювання раціональних параметрів точності засобів контролю

4.1 Крок 1. Побудова схеми поля допуску. Комп'ютерне моделювання відхилень діаметра валу від номінального значення. Моделювання у

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Складено таблицю моделювання відхилень від номінального значення діаметра валу (табл. 4.2)

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Встановлено курсор на маркер, що знаходиться праворуч внизу знизу. Натиснуто ліву кнопку миші (далі ЛКМ) і не відпускаючи протягнуто вниз вздовж стовпця А, доки в стовпці не з'являться записи до Колесо100, включно. (рис. 4.4)

Виділе  
допом

сформ  
записа

Таблиця надстроєна.

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

і за

госпіль  
і)

4.1.1 Моделювання випадкових відхилень від номінального розміру (в мкм).  
Виконано:

АН

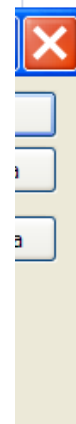
Запс

Отр

Зменшено  
одерж

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

с. 4.6)



4,8  
9,6

## 4.2 Крок 2. Комп'ютерне моделювання вимірювально-контрольної системи

Початкові дані та опис алгоритму моделювання:

Поставлена ціль досягається застосуванням імітаційно-статистичного моделювання методом «Монте-Карло» у програмі Microsoft EXCEL. Імітаційно-

**Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.**

моделювання (наприклад 100 деталей), але може бути вибранолюбим для цілей навчання.

У якості параметра, що вимірюється і контролюється, може бути розмір, або похибка діаметр  $D$  (дорівнює 65) центрального отвору. Далі вибрано розмір поверхні, до точності якої пред'являються високі вимоги. Допуск на розмір складає 29 мкм, верхнє

Початкові дані: Кресленик деталі, лінійний розмір:  $\varnothing 65$

$ES = 56$  мкм, нижнє відхилення  $EI = 27$  мкм.

У другому стовпці змодельовано істинний розмір (конкретно – відхилення від номінального значення), одержаний при прийнятих параметрах точності технології. Комп'ютерне моделювання дозволяє прийняти умову того, що саме істинне значення вказано у клітинці таблиці, чого немає можливості здійснити у реальних умовах вимірювання. Для моделювання істинного відхилення від номінального значення використано пакет аналізу, що входить у склад програми Microsoft EXCEL та призначений для вирішення складних статистичних та інженерних задач. Для аналізу даних за допомогою цих інструментів слід вказати початкові дані та вибрати параметри; аналіз виконується за допомогою відповідної

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

7 випадку  
повідного

ки істинне

, оскільки

) – істинне

кторів, що

Таблиця 4.2 Фрагменти електронної таблиці імітаційного моделювання процесу виготовлення, вимірювання і контролю колес (ряд строчок не показані для скорочення обсягу таблиці)

Випадкові	Балл	Випадкова	Балл				
-----------	------	-----------	------	--	--	--	--

**Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.**

моделюватися низький рівень налаштованості). Конкретно у нашому прикладі

$$E_{cp} = \frac{ES + EI}{2} = \frac{56 + 27}{2} = 42 \text{ мкм.}$$

Стандартне відхилення може бути змодельоване для технологічних процесів, які суттєво відрізняються за рівнем точності:

- Зниженої точності, при якій відношення величини поля допуску до стандартного відхилення дорівнює 4;
- Нормальної точності, при якій відношення величини поля допуску до стандартного відхилення дорівнює 6;
- Підвищеної точності, при якій відношення величини поля допуску до стандартного відхилення більше 6;

У прикладі, наведеному у табл.1, прийнято знижений рівень точності технології, при якому вказане відношення дорівнює 4 і при цьому стандартне відхилення прийнято рівним

В  
у  
прид  
 $\beta = \cdot$   
Тоді  
  
(  
точн  
у  
викс  
інди  
анал  
відп  
•  
•  
інші  
Д  
діал  
у  
відхі  
відп  
у  
двоє  
відп  
полі

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

обальною шкалою:  
ім відповідно бал  
ть у полі допуску.  
і формула

деталей при даній

вимірювання при  
мікромметр, скоба  
і вище інструмент  
с». При заповненні

і також імітувати й  
заповнити вікна

міру, тобто дійсне  
о підсумовування

я вимірювання за  
=«1», а бракованим  
дхилення лежить у  
рмулою

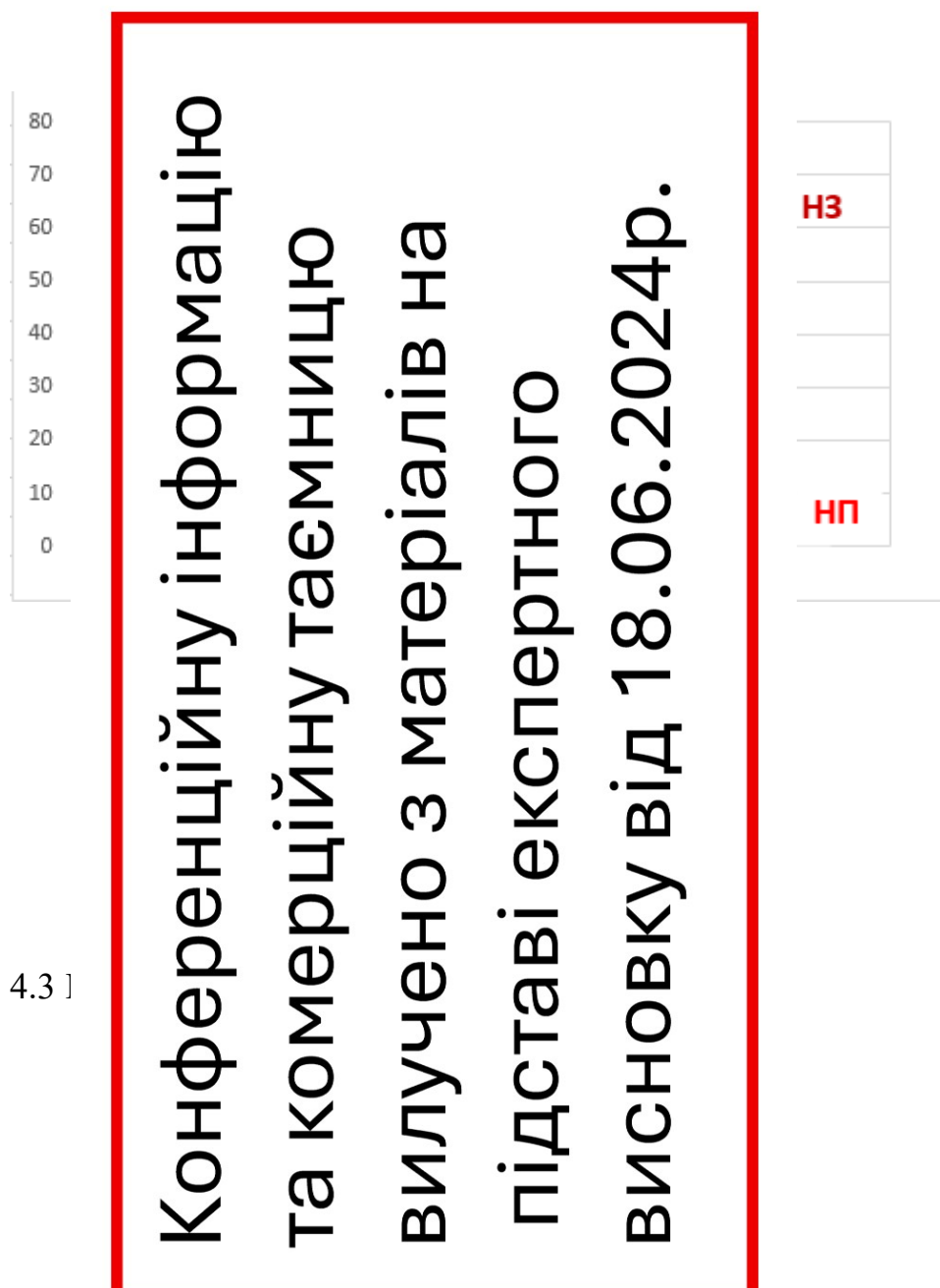
Сума балів (22) в стовпці 6 відображає відсоток придатних деталей при даній точності технології з урахуванням впливу розширеної невизначеності вимірювання типу **B**. Зіставлення суми балів у колонках 2 і 6 наочно демонструє, що похибка вимірювання істотно знизила відсоток придатних деталей.

Правильно забраковані деталі повинні мати «0» бал як у стовпці 3, так і у колонці 6. Для підрахунку їх кількості застосована формула

Неп стовпці	<b>Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.</b>	л у
Пра Для під		і б.
Неп стовпці		л у

Сума балів (2, 15, 81, 2) в стовпці 7,8,9,10 відображає відповідно відсоток правильно забракованих, неправильно забракованих, правильно прийнятих і неправильно прийнятих деталей. Зіставлення суми балів в зазначених колонках наочно демонструє, що похибка вимірювання суттєво впливає на кількість неправильно забракованих деталей (див. рис. 1)

Таблиця 4.3 ]



Відсоток неправильно забракованих деталей називають ризиком виробника, а відсоток неправильно прийнятих деталей – ризиком замовника.

З наведеного прикладу випливає, що в даному конкретному випадку виробник має бути зацікавлений застосувати вимірювальний прилад з меншою похибкою.

Повторне комп'ютерне моделювання при новому значенні меншої похибки показало зниження кількості неправильно забракованих деталей до 1%.

### Загальні висновки

Розроблено проєкт технологічного процесу механічної обробки деталі «Колесо зубчасте» з визначенням раціональних параметрів точності засобів контролю. Проведеним якісним та кількісним аналізом встановлено, що конструкція деталі "Колесо зубчасте" є технологічною. Але високі вимоги до точності поверхонь, зокрема до поверхонь зубців, які повинні бути оброблені за класом точності 7-8-8В з шорсткістю Ra 1,25 - обумовили відповідні принципові проєктні рішення. Для досягнення високої точності обробки деталі в проєкті технології застосовано сучасний токарно-фрезерний верстат з ЧПК моделі PUMA 2600 SMX та високоякісний різальний інструмент фірми TaeguTec. При цьому тонке точіння високоточних поверхонь здійснено з одного установу. В спеціальному розділі розроблено алгоритм моделювання переходів токарної обробки деталі "Колесо зубчасте" у САМ- системі Модуль ЧПК токарна обробка (SolidWorks), що дозволяє виключити помилки програмування.

## Перелік посилань

1. Новіков Ф. В. Математичне моделювання та оптимізація процесів металообробки : монографія / Ф. В. Новіков. – Х. : Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014. – 384 с.

<http://www.repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/8791>

2. Дідик Р.П. Технологія гірничого машинобудування [Підручник] / Р.П.

Дідик  
наук,

зкт. техн.

4. Наг  
КАЛІ  
ВУГЛ

ОРТОВИМ,

ХНІ З

НДНЦ» ;

[розр  
«Укр  
https://  
ya-mk  
z-spec

. – К. : ДП

[/vigotovlenn  
-kal-brovaniij-  
-jno-stal.pdf](#)

5. Дер  
О.В. )  
<http://>

практикум /  
2015. -116 с.  
[9.pdf](#)

6.Тех  
ЧПК  
https://

2600 SMX з

8. Дід  
точін  
В.В. )  
“Нац.

матеріалів :  
Р.П. Дідик,  
й навч. закл.

9. Кат  
https://  
https://  
<https://>

ment/

10. Ка  
<http://>

11. Те  
<https://>

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

12. Дербаба В.А. Evaluation of the adequacy of the statistical simulation modeling method while investigating the components presorting processes/  
В.А. Дербаба, В.В. Зіль, С.Т. Пацера // Scientific Bulletin of National Mining University. Scientific and technical journal. – Дніпропетровськ. – 2014. – № 5(143). – С. 45–50 (Журнал включено до Міжнародної наукометричної бази даних SciVerseSCOPUS).



Додаток Б

Дослідження достовірності контрольних процедур геометричних параметрів деталі.

№	Назва параметра	Вимірювальний інструмент	Відомості про інструмент	Відомості про вимірювання
1	Радіус R1	Циркуль	№ 20	0,2
2	Радіус R2	Циркуль	№ 20	0,2
3	Радіус R3	Циркуль	№ 20	0,2
4	Радіус R4	Циркуль	№ 20	0,2
5	Радіус R5	Циркуль	№ 20	0,2
6	Радіус R6	Циркуль	№ 20	0,2
7	Радіус R7	Циркуль	№ 20	0,2
8	Радіус R8	Циркуль	№ 20	0,2
9	Радіус R9	Циркуль	№ 20	0,2
10	Радіус R10	Циркуль	№ 20	0,2
11	Радіус R11	Циркуль	№ 20	0,2
12	Радіус R12	Циркуль	№ 20	0,2
13	Радіус R13	Циркуль	№ 20	0,2
14	Радіус R14	Циркуль	№ 20	0,2
15	Радіус R15	Циркуль	№ 20	0,2
16	Радіус R16	Циркуль	№ 20	0,2
17	Радіус R17	Циркуль	№ 20	0,2
18	Радіус R18	Циркуль	№ 20	0,2
19	Радіус R19	Циркуль	№ 20	0,2
20	Радіус R20	Циркуль	№ 20	0,2
21	Радіус R21	Циркуль	№ 20	0,2
22	Радіус R22	Циркуль	№ 20	0,2
23	Радіус R23	Циркуль	№ 20	0,2
24	Радіус R24	Циркуль	№ 20	0,2
25	Радіус R25	Циркуль	№ 20	0,2
26	Радіус R26	Циркуль	№ 20	0,2
27	Радіус R27	Циркуль	№ 20	0,2
28	Радіус R28	Циркуль	№ 20	0,2
29	Радіус R29	Циркуль	№ 20	0,2
30	Радіус R30	Циркуль	№ 20	0,2

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

## Додаток В

### Кресленняк деталі колесо зубчасте

Модуль, мм	<i>m</i>	10
Число зубців	<i>z</i>	28
Ступінь точності		7-8-В
Радиальне біття, мм	<i>F<sub>r</sub></i>	63
Діаметр ділльний, мм	<i>d</i>	280

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

№

1  
2  
3  
4

Зм.  
Розр.  
Пере

Нор.  
Зам

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

літки

масштаб

1:1

1

Г"  
МФ

Додаток Д. графічний матеріал до технологічного розділу  
Моделювання у САМ системі робочих процесів оброблення деталей

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

## ВІДГУК

### керівника випускної магістерської кваліфікаційної роботи здобувача Ляпченко Кирила Олеговича

Кваліфікаційна робота Ляпченко Кирила Олеговича виконана на актуальну тему:

Дослідження технології механічного оброблення деталі "Колесо зубчасте" з визначенням раціональних параметрів точності засобів контролю.

Кваліфікаційна робота може бути оцінена по розділах на відповідність вимогам стандартам вищої освіти та складовим опису кваліфікаційного рівня наступним чином:

- 1) 85 балів за аналітичний розділ, що містить аналіз технологічності конструкції деталі.
- 2) 75 балів за технологічний розділ, в якому виконано проєкт технології обробки деталі. Недоліком розділу є відсутність комплекту технологічної документації у складі маршрутної карти, операційних карт та карт ескізів.
- 3) 89 балів заслуговує спеціальний розділ. Недоліком розділу є відсутність аргументованого вибору послідовності виду зубців круглих, шліцьових, фасочних.
- 4) 85 балів заслуговує науково-дослідницький розділ. Але наведені у пояснювальній записці дані щодо завищеного відсотку неправильно відбракованих деталей у випадку застосування цифрового штангенциркуля є неадекватні. Бо такий результат пов'язаний з неправильно змодельованим інтервалом розсіювання відхилень розмірів у випадку застосування протяжки.

На 85 балів оцінена якість оформлення. Причина в тому, що здобувач не зміг виділити потрібний час на оформлення записки.

В цілому представлена на підпис випускна кваліфікаційна робота з урахуванням відмічених недоліків може бути оцінена на 85 балів (добре).

Керівник кваліфікаційної роботи  
канд. техн. наук, професор кафедри ТММ  
С.Т. Пацера



Ляпченко Кирил Олегович  
16.06.2014  
Здобувач