

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

Кафедра Механіко-машинобудівний факультет
Технологій машинобудування та матеріалознавства
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня магістра

студента Болкарьова Максима Андрійовича
(ПІБ)

академічної групи 131М-20н-1
(шифр)

спеціальності 131 Прикладна механіка
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва
(офіційна назва)

на тему Алгоритмічні моделі формоутворення поверхонь кругових зубців конічної шестерні

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
Кваліфікаційної роботи розділів	Проців В.В.			
Аналітичний	Проців В.В.			
Технологічний	Проців В.В.			
Спеціальний	Проців В.В.			
Науково-дослідницький	Проців В.В.			

Рецензент	Кравченко Ю.Г	Рецензія додається	
Нормоконтроль			

Дніпро
2022

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри

Технологій машинобудування та матеріалознавства
(повна назва)

(підпис)

В.В. Проців

(прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 2022 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня магістр
(бакалавр, спеціаліст, магістр)

студенту **Болкарьову М.А.** академічної групи **131М-20Н-1**

(прізвище та ініціали)

(шифр)

спеціальності **131 Прикладна механіка**

за освітньо-професійною програмою _____
Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва

(офіційна назва)

на тему **Алгоритмічні моделі формоутворення поверхонь кругових зубців конічної шестерні**

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 30.05

№ 307

Розділ	Зміст	Термін виконання
Аналітичний	Аналіз технологічності конструкції деталі.	Лютий 2022 р.
Технологічний	Розробка технології механічної обробки виготовлення конічної шестерні з круговими зубцями.	Березень 2022 р.
Спеціальний	Моделювання у САМ системі технології формоутворення поверхонь деталі, включно з візуалізацією утворення кругових зубців конічної шестерні.	Квітень 2022 р.
Науково-дослідницький	Алгоритмічні моделі розрахунків та формоутворенням поверхонь зубців з круговим зубом.	Квітень 2022 р.

Завдання видано

(підпис керівника)

Проців В.В.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі

14.01.2022

Дата подання до екзаменаційної комісії

30.05.2022

Прийнято до виконання

(підпис студента)

Болкарьов М.А.

(прізвище, ініціали)

Реферат

Пояснювальна записка: 72 с, 28 рис., 11 табл., 12 додатків, 24 джерела.

Тема кваліфікаційної роботи: Алгоритмічні моделі формоутворення поверхонь кругових зубців конічної шестерні

Конічна вал–шестерня широко використовується у машинобудуванні за рахунок плавності ходу, мінімального рівня шуму та великої здатності до навантажень. Тому має значення дослідження нових способів виготовлення деталі.

Метою кваліфікаційної роботи є порівняння різних способів виготовлення деталі, починаючи з перевірки традиційного способу виготовлення до новітніх, що можуть бути запропоновані з урахуванням сучасних технологій.

Об'єктом дослідження є процеси розрахунку й побудови алгоритмічної моделі формоутворення конічної шестерні з круговим зубом, відображення процесу геометричного розрахунку у вигляді формалізованої блокової схеми алгоритму.

Предмет дослідження – вдосконалення відомих методик розрахунків параметрів поверхонь деталей зубчастих зачеплень з круговими зубцями задля автоматизації процесу розрахунку.

Методика досліджень – комп'ютерне моделювання обробки за допомогою *Autodesk FeatureCam 2019*.

Результат роботи – отриманий геометричний блок алгоритмічної моделі, який доповнений геометричними блоками, що автоматизують виконання розрахунку.

Отриманні данні щодо основного часу виготовлення деталі за допомогою двох різних способів. Встановлено, що альтернативний спосіб виробництва на верстаті з ЧПК може бути використаний на виробництві. Але враховуючи усі фактори та результати досліджень, найбільш продуктивною стратегією виготовлення деталі слід вважати метод із застосуванням різцевої головки.

Наукова новизна полягає у створенні удосконаленої алгоритмічної моделі геометричного розрахунку утворення поверхонь кругових зубців

Практична цінність – використання алгоритмічної моделі у нових CAD та CAM-системах для проектування зубчастих коліс, що є доповнені додатковими блоками, які дозволяють оптимізувати процес розрахунку. У разі невідповідності отриманих даних, які не будуть задовольняти умови розрахунку, програма буде сама прораховувати та підбирати значення (наближене до початкового), яке задовольнить умови розрахунку. Наразі у відомій версії алгоритму, програма лише посилається на помилку та повідомляє користувачу о необхідності їх змін.

За допомогою сучасної програми *FeatureCam* виконано комп'ютерне моделювання обробки зубців шестерні за допомогою фрезерування. У переліку програми зазначено велику кількість стратегій які були перевірені. Найбільш доцільною стратегією є фрезерування за методом «Вертикальні та пологі».

Ключові слова: техпроцес, поковка, алгоритмічна модель, верстат з ЧПК, керуюча програма, дослідження, візуалізація, алгоритм.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 РОЗДІЛ АНАЛІТИЧНИЙ. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ДЕТАЛІ ...	9
1.1 Характеристика об'єкта виробництва.....	9
1.2 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	10
2 РОЗДІЛ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ВИГОТОВЛЕННЯ КОНІЧНОЇ ШЕСТЕРНІ З КРУГОВИМИ ЗУБЦЯМИ	14
2.1 Визначення виробничої програми випуску деталей.....	14
2.2 Обґрунтування форми та розміру заготовки.....	15
2.3 Вибір методів обробки поверхонь	17
2.4 Розрахунок припусків на механічну обробку	18
2.5 Детальна розробка технологічних операцій	20
2.6 Розрахунок норми часу	24
3 РОЗДІЛ СПЕЦІАЛЬНИЙ. МОДЕЛЮВАННЯ У САМ СИСТЕМІ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛІ, ВКЛЮЧНО З ВІЗУАЛІЗАЦІЄЮ УТВОРЕННЯ КРУГОВИХ ЗУБЦІВ КОНІЧНОЇ ШЕСТЕРНІ.....	28
4 РОЗДІЛ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ. УДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМІЧНОЇ МОДЕЛІ ГЕОМЕТРИЧНОГО РОЗРАХУНКУ УТВОРЕННЯ ПОВЕРХОНЬ КРУГОВИХ ЗУБЦІВ	34
4.1 Постановка задачі теоретичного дослідження	34
4.2 Методи розв'язання поставленої наукової задачі.....	35
4.3 Аналіз результатів	35
4.4 Наукова новизна	43
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	46
Перелік посилань	47
Додаток А. Кресленик деталі Вал–шестерня	49
Додаток Б. 3D модель деталі вал–шестерня.....	50
Додаток В. Кресленик заготовки деталі	51
Додаток Г. Комплект технологічної документації	52
Додаток Д. Карта наладки (операція 05 Токарна з ЧПК).....	65
Додаток Е. Карта наладки (операція 15 Зубонарізна).....	66

Додаток Ж. Графічний матеріал до спеціального розділу. Моделювання у САМ системі технології формоутворення поверхонь деталі, включно з візуалізацією утворення кругових зубців конічної шестерні.	67
Додаток З. Графічний матеріал до науково–дослідницького розділу. Алгоритмічні моделі розрахунків та формоутворенням поверхонь зубців з круговим зубом.	68
Додаток И. Відомість документів кваліфікаційної роботи.....	71
Додаток І. Відгук керівника кваліфікаційної роботи	72

ВСТУП

Машинобудування є одною з провідних галузей в Україні яка орієнтується на проектуванні, випуску машин та обладнання для багатьох галузей. Розвиток країни у деякій мірі залежить від машинобудування. Постійно створюється нове устаткування для оптимізації та покращень умов виробництва. Більшість речей, які ми використовуємо сьогодні і включають будь-які рухомі частини, були винайдені принаймні частково інженерами-механіками. Механізми корисні в повсякденному житті, оскільки дозволяють ефективно використовувати силу для спрощення роботи.

Майже кожного дня життя кидає виклик та спонукає до змін та набутті нових знань, інновацій у багатьох галузях. Щоб задовольнити цей широкий попит, галузь машинобудування та інженери-механіки можуть розробити компонент, машину, систему або процес. Це варіюється від макро- і мікросистем, від найбільших систем, таких як автомобілі та супутники, до найменших компонентів, таких як датчики та перемикачі.

Та яким гарним не був механізм, верстат, складальна одиниця, кожен з них має свій ресурс та з плином часу настає стадія зносу та поломки. В нинішній час підприємства України мають потребу у забезпеченні себе запасними частинами та спеціалізованим обладнанням для ремонтних цілей та виготовлення нових деталей. Звідси постає питання про їх придбання або власне виробництво.

Окреме місце у будові машин займають зубчаті колеса, які мають свою багату класифікацію. Тому вважається актуальним пошук та перевірка нових способів отримання шестерні, при виготовленні яких можна застосувати звичайний верстат з ЧПК та звичайний різальний інструмент. У подальшому, отриманий технологічний процес може бути застосованим для виготовлення різних видів зубчатих коліс та для їх ремонту.

Метою кваліфікаційної роботи є порівняння різних способів виготовлення деталі, починаючи з перевірки традиційного способу виготовлення до новітніх, що можуть бути запропоновані з урахуванням сучасних технологій.

Об'єктом дослідження є процеси розрахунку й побудови алгоритмічної моделі формоутворення конічної шестерні з круговим зубом, відображення процесу геометричного розрахунку у вигляді формалізованої блокової схеми алгоритму.

Предмет дослідження – вдосконалення відомих методик розрахунків параметрів поверхонь деталей зубчастих зачеплень з круговими зубцями задля автоматизації процесу розрахунку.

Методика досліджень – комп'ютерне моделювання обробки за допомогою *Autodesk FeatureCam 2019*.

Результат роботи – отриманий геометричний блок алгоритмічної моделі, який доповнений геометричними блоками, що автоматизують виконання розрахунку.

Отриманні данні щодо основного часу виготовлення деталі за допомогою двох різних способів. Встановлено, що альтернативний спосіб виробництва на верстаті з ЧПК може бути використаний на виробництві. Але враховуючи усі фактори та результати досліджень, найбільш продуктивною стратегією виготовлення деталі слід вважати метод із застосуванням різцевої головки.

Наукова новизна полягає у створенні удосконаленої алгоритмічної моделі геометричного розрахунку утворення поверхонь кругових зубців.

Практична цінність – використання алгоритмічної моделі у нових CAD та CAM-системах для проектування зубчастих коліс, що є доповнені додатковими блоками, які дозволяють оптимізувати процес розрахунку. У разі невідповідності отриманих даних, які не будуть задовольняти умови розрахунку, програма буде сама прораховувати та підбирати значення (наближене до початкового), яке задовольнить умови розрахунку. Наразі у відомій версії алгоритму, програма лише посилається на помилку та повідомляє користувачу о необхідності їх змін.

За допомогою сучасної програми *FeatureCam* виконано комп'ютерне моделювання оброки зубців шестерні за допомогою фрезерування. У переліку програми зазначено велику кількість стратегій які були перевірені. Найбільш доцільною стратегією є фрезерування за методом «Вертикальні та пологі».

У науково-дослідницькому розділі відображено адаптовану алгоритмічну модель розрахунку конічної шестерні з круговим зубом, яка пришвидшить розрахунок та отримання оптимальних даних для виготовлення деталі. Реалізація моделі досягнута за допомогою аналізу наукових публікацій, використанні теорії алгоритмів та використання сучасної *CAD* системи.

1 РОЗДІЛ АНАЛІТИЧНИЙ. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ДЕТАЛІ

Конструкція конічних зубчастих коліс, так само, як і циліндричних, є основним фактором, що визначає вибір схеми технологічного процесу їх виготовлення. Водночас конструкція конічних коліс та їх зачеплення мають свою особливу специфіку, що істотно впливає на створення окремих операцій технологічного процесу.

Шестерні цього типу мають лінію зубців у вигляді кола радіусу, за рахунок цього контакт у передачі відбувається в одній точці на лінії зачеплення, яка розташовується паралельно до осей шестерень. Завдяки такій конструкції шестірні працюють без гучних звуків, а також забезпечують плавність зачеплення.

Саме з цих та багатьох інших причин на сьогоднішній день шестірні з круговим зубом використовуються практично у всіх галузях діяльності, і особливо в машинобудуванні. Ці вироби можна побачити серед основних елементів практично будь-якого транспортного засобу. Як правило, вони здійснюють передачу крутного моменту до колеса від трансмісії.

Незважаючи на цілу низку незаперечних переваг, шестерні з круговим зубом все ж таки мають недоліки. У зв'язку з тим, що зубчаста передача працює із ковзанням, її ККД дещо нижчий, ніж у конічних парах із прямим зубом. Постійне ковзання точки контакту вимагає також застосування спеціальних мастил, що запобігають зносу поверхонь. Ресурс шестерень із круговим зубом дещо нижчий, ніж прямозубих. До недоліків, напевно, варто також зарахувати складність виготовлення такого виду шестерень.

1.1 Характеристика об'єкта виробництва

Вал–шестерня входить до складу головної передачі мостів трактора ХТЗ–17021.

Деталь розміщена у закритому корпусі та працює в умовах інтенсивного змащування мастилом при температурі 70 – 80°C.

Найбільш важливі поверхні заготовки – за якими встановлюють вал у радіальному та осьовому напрямках під час обробки зубців. До таких поверхонь відносяться шийки та опорні торці. Як бази при нарізанні зубців можуть застосовуватися ті поверхні, що забезпечують більш стійке положення заготовки в процесі нарізування зубців.

1.2 Аналіз технологічності конструкції деталі

Оцінка деталі на технологічність за її показниками спрямована на підвищення технологічного процесу, виготовлення та якості продукції. Оцінка деталі поділяється на два види:

- якісна (оцінка з боку виконавця на основі його досвіду);
- кількісна (виражається у вигляді числових показників).

Вал–шестерня має добрі базові поверхні. Деталь базується за допомогою універсальних верстатних пристроїв. Матеріал деталі дозволяє забезпечити необхідні механічні властивості, шорсткість необроблюваних поверхонь і конструктивні особливості деталі, не має обмежень під час забезпечення технологічних розмірів та допусків. Усі оброблювані поверхні, не передбачають технологічних труднощів. Шорсткість поверхонь можна забезпечити без застосування складних та багатоетапних операцій. Конструкція деталі налічує декілька поверхонь які вимагають більших зусиль для обробки. Основними конструкторськими базами деталі є шийка валу діаметром 110 мм та її торець, циліндрична поверхня діаметром 95 мм та шліцьове з'єднання $\text{Ø}82h7$. Форма вал–шестерні, розміри канавок дозволяють проводити обробку на одному токарному верстаті. Забезпечення необхідної шорсткості та точності поверхонь не викликає труднощів.

Можна виділити дві поверхні, а саме – шліцьове з'єднання з евольвентним профілем зуба $\varnothing 82h7$. Та значна увага приділяється виготовленню шестерні з круговим зубом.

В процесі виготовлення, немає можливості виконати усі операції за один установ, тому, необхідно провести перебазування деталі. Конструкція деталі забезпечує зручний вихід ріжучого інструменту, що позитивно впливає на її виготовлення.

Технологічні бази протягом всього процесу виготовлення деталі залишаються незмінними. Це дозволяє уникнути додаткових похибок.

За конструкторсько – технологічною класифікацією деталь являє собою тіло обертання. Кількісна оцінка технологічності конструкції деталі виконується за трьома з одинадцяти показників, передбачених ДСТУ 3974 – 2000:

1. Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів

$$K_{y.E} = \frac{Q_{y.E}}{Q_E}, \quad (1.1)$$

де $Q_{y.E}$ – число уніфікованих типорозмірів конструктивних елементів;

Q_E – число типорозмірів конструктивних елементів.

За таким конструктивними елементами, як діаметри отворів для кріплення, фаски, нарізи, коефіцієнт уніфікації $K_{y.E} = 0,82$.

2. Коефіцієнт точності обробки визначається за формулою

$$K_{T.ч} = 1 - \frac{1}{A_{CP}}, \quad (1.2)$$

де A_{CP} – середній квалітет точності обробки виробу.

$$A_{\text{cp}} = \frac{\sum A \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{9 \cdot 4 + 7 \cdot 1 + 10 \cdot 2 + 12 \cdot 1}{10} = 10,5, \quad (1.3)$$

де A – квалітет обробки;

n_i – число розмірів відповідного квалітету.

Підставивши отримане значення в формулу (1.4) отримаємо результат:

$$K_{\text{тч}} = 1 - \frac{1}{10,5} = 0,9. \quad (1.4)$$

При такому значенні коефіцієнта точності обробки деталей вважається технологічною, оскільки $K_{\text{тч}}$ більше нормативного значення (0,8).

3. Коефіцієнт шорсткості поверхні дорівнює

$$K_{\text{ш}} = 1 - \frac{1}{B_{\text{cp}}}, \quad (1.5)$$

де B_{cp} – середнє числове значення параметра шорсткості.

$$B_{\text{cp}} = \frac{\sum B \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{1,6 \cdot 5 + 0,6 \cdot 1 + 3,2 \cdot 1 + 12,5 \cdot 1}{12,5} = 1,94, \quad (1.6)$$

де B – числове значення параметра шорсткості;

n_i – число поверхонь з числовим значенням параметра шорсткості.

Для виготовлення даної деталі використовується конструкційна легована сталь 12ХНЗА ДСТУ 7806:2015. Обраний матеріал добре оброблюється різанням та

використовується для виготовлення шестерень, валів, черв'яків, кулачкових муфт, поршневих пальців та інших деталей, до яких висуваються вимоги високої міцності, пластичності, в'язкості серцевини та високої твердості робочих поверхонь, які працюють під дією ударних навантажень або при негативних температурах до $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Норми хімічного складу сталі 12ХН3А у гарячекатаному та кованому прокаті, поковках та штамповках наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Норми масової частки хімічних елементів у сталі 12ХН3А, (%).

Вуглецю	Кремнію	Марганцю	Хрому	Нікелю	Сірки	Фосфору
<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>S</i>	<i>P</i>
0,09-0,16	0,17-0,37	0,3-0,6	0,6-0,9	2,75 – 3,15	до 0,025	до 0,025

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 12ХН3А, (%).

Границя плинності	Тимчасовий опір	Відносне видовження	Відносне звуження	Ударна в'язкість	Твердість
$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_{ϵ} (МПа)	δ_S (%)	ψ (%)	RCU, Дж/см ²	НВ
690	830	10	50	78	250

Конструкція деталі вал–шестерня є технологічною.

2 РОЗДІЛ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ВИГОТОВЛЕННЯ КОНІЧНОЇ ШЕСТЕРНІ З КРУГОВИМИ ЗУБЦЯМИ

2.1 Визначення виробничої програми випуску деталей

Виробнича програма випуску деталей розраховується в залежності від річної потреби виробів і запасних частин. Виходячи із завдання, річна програма випуску виробів 2000 штук і в одному виробі застосовується дві деталі даного найменування.

$$N = N_{\text{в}} \cdot q \left(1 + \frac{h}{100}\right) = 2000 \cdot 1 \cdot 1 \left(1 + \frac{3}{100}\right) = 2060 \text{ шт/рік}, \quad (2.1)$$

де $N_{\text{в}}$ – річна програма випуску виробів;

q – кількість деталей даного найменування в одному виробі;

h – відсоток деталей, призначених на запасні частини (1 – 3%).

Одним з основних показників, який характеризує серійне виробництво – це величина партії деталей, яка запускається періодично (виріб виготовляється серіями, який складається з певних складових). Величина партії визначається за формулою:

$$n = \frac{N \cdot a}{F} = \left(\frac{2060 \cdot 10}{251}\right) = 82,07 \text{ шт}, \quad (2.2)$$

де a – періодичність запуску деталей у виробництво, днів;

F – кількість робочих днів за рік відповідно до законодавства.

Значення, отримане за формулою (2.2), округляється до найближчого числа, кратного річній програмі випуску для забезпечення рівномірності запуску. Величина партії деталей дорівнює 103 шт. Це 20 партій на рік.

2.2 Обґрунтування форми та розміру заготовки

У якості заготовки для механічної обробки деталі використовується сталеві штампована поковка, виготовлена за допомогою гаряче штампувального автомата. Розрахункова маса поковки визначається виходячи з її номінальних розмірів.

На початку проектування заготовки її номінальні розміри та маса відомі, тому величину розрахункової маси поковки обчислюють за допомогою даних деталі та розрахункового коефіцієнта, що встановлюється за ГОСТ 7505–89.

Деталь за формою підходить для групи деталей 1,1. Для цієї групи розрахунковий коефіцієнт від 1,2 до 1,6. Приймається 1,4.

Розрахункова маса поковки, визначається за формулою (2.3):

$$M_{п.р} = M_{д} \cdot K_p = 21,04 \cdot 1,5 = 31,56 \text{ кг} , \quad (2.3)$$

де $M_{п.р}$ – розрахункова маса поковки, кг;

$M_{д}$ – маса деталі, кг;

K_p – розрахунковий коефіцієнт, який дорівнює 1,5.

У ролі деформуючого обладнання виступають «Гарячі штампувальні автомати». Даному обладнанню відповідає клас точності – Т2. Матеріал, з якого виготовлена деталь – сталь 12ХНЗА, із вмістом вуглецю до 0,35%. Група сталі М1.

Визначення ступеня складності поковки

$$C = \frac{G_{п}}{G_{ф}} , \quad (2.4)$$

де G_{Π} – маса поковки; $G_{\Pi} = M_{\Pi,р} = 31,56$ кг;

G_{Φ} – маса геометричної фігури, в яку вписується форма поковки.

Масу геометричної фігури, в яку вписується форма, визначається за формулою 2.5

$$G_{\Phi} = \frac{n \cdot D_{\Phi}}{4} = 57,71 \quad (2.5)$$

$$C = \frac{G_{\Pi}}{G_{\Phi}} = 0,546 \quad (2.6)$$

Цьому числовому значенню відповідає ступінь складності $C2$. За знайденими вище, конструктивними характеристиками кування, а також за масою кування визначається вихідний індекс. Вихідний індекс – 17. Отримані розрахункові данні внесені в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Допуски та припуски на заготовку.

Розмір поверхні, мм	Параметр Ra , мкм	Основний припуск, мм	Додатковий припуск, мм	Загальний припуск, мм	Розмір поковки, мм
Ø269,3	3,2	3,2	0,3	3,5	Ø272,8 ^{+3.3} _{-1.7}
Ø110,0		3,0		3,3	Ø113,2 ⁺³ _{-1.5}
Ø95,0		2,7		3,0	Ø98,9 ^{+2.7} _{-1.3}
Ø82,0		2,7		3,0	Ø85,0 ^{+2.7} _{-1.3}
Ø64,0		2,7		3,0	Ø67,0 ^{+2.7} _{-1.3}
120,0		3,0	0,2	3,2	123,2 ⁺³ _{-1.5}
75,6		2,7		2,9	78,5 ^{+2.7} _{-1.3}
70,4		2,7		2,9	73,3 ^{+2.7} _{-1.3}
60,0		2,2		2,4	64,4 ^{+2.7} _{-1.3}
50,0		2,2		2,4	53,0 ^{+2.7} _{-1.3}

2.3 Вибір методів обробки поверхонь

Кількість технологічних переходів, їх кількість буде визначатися методами обробки поверхонь, які призначено згідно квалітетів та параметрів шорсткості. Вибрані методи обробки, що забезпечують виконання вимог кресленника наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Поверхні та методи їх обробки

Вид поверхні, розмір, мм	Квалітет	Шорсткість Ra , мкм	Метод обробки поверхні (МОП)
Зовнішня, Ø50мм	10	1,6 мкм	Чорнове точіння Чистове точіння
Зовнішня, Ø82h7мм	7	0,6 мкм	Чорнове точіння Чистове точіння Фрезерування шлиців
Зовнішня, Ø95мм	9	1,6 мкм	Чорнове точіння Чистове точіння Шліфування
Зовнішня, Ø109мм	10	1,6 мкм	Чорнове точіння Чистове точіння Шліфування
Зовнішня, Ø110мм	10	1,6 мкм	Чорнове точіння Чистове точіння Шліфування
Зовнішня, М64х6g	10	3,2 мкм	Чорнове точіння Чистове точіння Нарізання нарізі
Внутрішня, Ø10мм	12	12,5 мкм	Свердління
Зовнішні 40мм,50мм,70мм,120мм.	10	1,6 мкм	Чорнове точіння Чистове точіння Шліфування

Передбачуваний маршрут обробки « Вал – шестерня » наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Маршрут обробки деталі.

№	Найменування операції	Короткий зміст	Модель станка
05	Токарна	Виготовлення центрових отворів Повна токарна обробка деталі	<i>Doosan Puma 4100 LC</i>
10	Фрезерувальна	Виготовлення шліців	<i>Doosan Puma 4100 LC</i>
15	Зубонарізна	Попереднє нарізання зубців	<i>Gleason Phoenix 280C</i>
20	Термічна обробка	Загартовування та відпуск	–
25	Шліфувальна	Фінішне шліфування деталі	<i>JHU-2706CNC</i>
30	Зубонарізна	Остаточне нарізання зубців	<i>Gleason Phoenix 280C</i>
35	Контрольна	Комплексний контроль деталі	–

2.4 Розрахунок припусків на механічну обробку

У таблиці 2.4 наведено результати розрахунку припусків для розміру $\varnothing 110_{-0,087}$.
Усі подальші розрахунки будуть подані у вигляді таблиці. В основу розрахунків між операційних припусків покладено кафедральні методичні рекомендації.

Таблиця 2.4 – Розрахунок МОП

Метод обробки поверхні	Припуск, мм	Розрахунковий розмір, мм	Допуск мкм	Розмір, мм		Припуск, мкм	
				d_{min}	d_{max}	Z_{min}	Z_{max}
Зовнішня поверхня $\varnothing 110h9_{(-0,087)}$ мм							
Заготовка		113,113	1700	113,1	114,80		
Точіння чорнове	2,0	111,113	350	111,1	111,45	2,0	3,35
Точіння чистове	0,9	110,223	140	110,2	110,34	0,9	1,11
Шліфування	0,3	109,913	87	109,9	109,987	0,3	0,353

Метод обробки поверхні	Припуск, мм	Розрахунковий розмір, мм	Допуск мкм	Розмір, мм		Припуск, мкм	
				d_{min}	d_{max}	Z_{min}	Z_{max}
Зовнішня поверхня $\varnothing 95h9_{(-0,087)}$ мм							
Заготівля		97,813	1700	97,8	99,200		
Точіння чорнове	1,8	96,013	350	96,0	96,350	1,8	3,150
Точіння чистове	0,8	95,213	140	95,2	95,340	0,8	1,010
Шліфування	0,3	94,913	87	94,9	94,987	0,3	0,353
Зовнішня поверхня $\varnothing 50 h10_{(-0,1)}$ мм							
Заготівля		52,8	1000	52,8	53,80		
Точіння чорнове	1,9	50,9	250	50,9	51,15	1,9	2,65
Точіння чистове	1,0	49,9	100	49,9	50,00	1,0	1,15
Зовнішня поверхня $\varnothing 64 h10_{(-0,1)}$ мм							
Заготівля		66,8	1000	67,8	66,80		
Точіння чорнове	1,9	64,9	250	64,9	66,15	1,9	2,65
Точіння чистове	1,0	63,9	100	63,9	64,00	1,0	1,15
Зовнішня поверхня $40h10_{(-0,1)}$ мм							
Заготівля		42,3	1000	42,3	43,30		
Точіння чорнове	1,4	40,9	250	40,9	41,15	1,4	2,15

Метод обробки поверхні	Припуск, мм	Розрахунковий розмір, мм	Допуск мкм	Розмір, мм		Припуск, мкм	
				d_{min}	d_{max}	Z_{min}	Z_{max}
Точіння чистове	1,0	39,9	100	39,9	40,00	1,0	1,15
Зовнішня поверхня $50h10_{(-0,1)}$ мм							
Заготівля		52,8	1000	52,8	53,80		
Точіння чорнове	1,9	50,9	250	50,9	51,15	1,9	2,65
Точіння чистове	1,0	49,9	100	49,9	50,00	1,0	1,15
Зовнішня поверхня $70h10_{(-0,12)}$ мм							
Заготівля		72,78	1200	72,8	74,0		
Точіння чорнове	1,9	70,88	300	70,9	71,2	1,9	2,80
Точіння чистове	1,0	69,88	120	69,9	70,2	1,0	1,18

Метод обробки поверхні	Припуск, мм	Розрахунковий розмір, мм	Допуск мкм	Розмір, мм		Припуск, мкм	
				d_{min}	d_{max}	Z_{min}	Z_{max}
Зовнішня поверхня $120h10_{(-0,14)}$ мм							
Заготівля		123,06	1400	123,1	124,50		
Точіння чорнове	2,0	121,06	350	121,1	121,45	2,0	3,05
Точіння чистове	1,2	119,86	140	119,9	120,04	1,2	1,41

2.5 Детальна розробка технологічних операцій

Детальна розробка технологічної операції являє собою розробку документації з переліком операцій, технологічного оснащення, призначених режимів різання та визначеного часу на обробку.

Для операції 05 застосовано багатфункціональний верстат з ЧПК *DOOSAN PUMA 4100 LC*.



Рисунок 2.1 – Верстат з ЧПК *DOOSAN PUMA 4100 LC*.

Таблиця 2.5 – Характеристики верстата *DOOSAN PUMA 4100 LC*.

Опис характеристики	Значення
Діаметр патрона головного шпинделя	530 мм
Максимальний діаметр точіння	550 мм
Максимальна довжина точіння	2052 мм
Швидкість шпинделя	1500 об/хв
Двигун шпинделя	37 кВт
Прискорений хід по осі X	16 м/хв
Прискорений хід осі Z	20 м/хв
Крутний момент шпинделя	1611 Нм

На першій позиції передбачено чорнове та чистове точіння торця діаметром 64 мм та формоутворення центрових отворів, які надалі застосовані у якості

технологічних баз. Для виготовлення отворів використовується центральне свердло типу А: *Garant 111000 Ø 10 DIN 333 HSS*.

На другій позиції РГ передбачена повна токарна обробка деталі. Застосовується токарний різець *PCSNR 2020K9* з пластиною *CNMG 120912 HB 7110–1* для чорного точіння та різець *PCSNR 2020K9* з пластиною *CNMG 120412 wiper HB7020* для чистового точіння.

Для операції 05 «Токарна з ЧПК» відображено послідовність та формули розрахунку режимів різання.

$$S_o = S_{OT} \cdot K_{СП} \cdot K_{СИ} \cdot K_{SФ} \cdot K_{SЗ} \cdot K_{SЖ} \cdot K_{SM} \quad (2.7)$$

де S_{OT} - табличне значення подачі на оборот;

$K_{СП}$ - коефіцієнт, що враховує стан поверхні;

$K_{СИ}$ - коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту;

$K_{SФ}$ - коефіцієнт, що враховує наявність фасонної поверхні;

$K_{SЗ}$ - коефіцієнт, що враховує вплив загартування;

$K_{SЖ}$ - коефіцієнт, що враховує твердість технологічної системи;

K_{SM} - коефіцієнт, що враховує групу оброблюваного матеріалу.

$$S_o = 0,45 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 0,95 \cdot 1,0 = 0,3 \text{ мм/об} \quad (2.8)$$

По таблиці призначається швидкість різання 205 м/хв. Дане значення уточнюється за змінюваних умов обробки за формулою:

$$V = V_T \cdot K_{VM} \cdot K_{VI} \cdot K_{VY} \cdot K_{VN} \cdot K_{VЖ} \cdot K_{VII} \cdot K_{VO} \quad (2.9)$$

де V_T - матричне значення швидкості різання;

K_{VM} - коефіцієнт, що враховує марку оброблюваного матеріалу;

K_{VI} - коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту;

K_{VY} - коефіцієнт, що враховує кут в плані;

K_{VN} - коефіцієнт, що враховує вид обробки;

$K_{VЖ}$ - коефіцієнт, що враховує твердість технологічної системи;

$K_{V\Pi}$ - коефіцієнт, що враховує стан оброблюваної поверхні;

K_{VO} - коефіцієнт, що враховує вплив СОЖ.

$$V = 205 \cdot 1,0 \cdot 0,81 \cdot 1,2 \cdot 0,75 \cdot 0,93 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 158 \text{ м/хв.} \quad (2.10)$$

За розрахункової швидкості різання визначаємо потрібну частоту обертання шпинделя верстата

$$n = \frac{1000 \cdot V}{n \cdot d} = \frac{1000 \cdot 158}{3,14 \cdot 90} = 490 \text{ об/хв.} \quad (2.11)$$

Основний час на виконання переходу

$$T_o = \frac{L_{PX}}{S \cdot n} = \frac{310}{0,3 \cdot 490} = 2,10 \text{ хв,} \quad (2.12)$$

де L_{PX} – довжина робочого ходу інструмента.

Результати розрахунку представлені у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Результати розрахунку для токарної операції.

Перехід	S , мм/об	V , м/хв	t , мм	n , об/хв	$L_{рх}$,мм	T_o ,хв
1.Чорнове точіння	0,30	158	2,0	490	310	2,10
2.Чистове точіння	0,18	162	0,9	550	300	3,03
3.Виготовлення канавки(чор)	0,20	100	12,5	490	20	0,20
4.Виготовлення канавки(чис)	0,08	120	1,5	550	20	0,45
5.Обробка нарізі	2,00	55	2,0	150	40	0,30

2.6 Розрахунок норми часу

Виконується для операції 05 «Токарна з ЧПК» для визначення необхідної кількості часу для виконання робіт.

Основний, машинний час (T_o) операції, вже розрахований за формулою 2.13. Варто зазначити та врахувати перелік допоміжних етапів операції, які враховуються в процесі виготовлення деталі.

Допоміжний час на контрольні виміри перекривається завдяки повній автоматизації верстата, робочий може проводити виміри вже готової деталі. З усіх відомих засобів для вимірювання, використовується штангенциркуль.

Оперативний час, це сума машинного (основного часу на обробку деталі) та допоміжного часу на знаття та установку деталі, та допоміжного часу що витрачається на переходи.

$$T_{оп} = T_{уtc} + T_{пер} \quad (2.13)$$

Підготовчо – заключний час при обробці циліндричних поверхонь ріжучим інструментом , дорівнює 16 хв.

Час на обслуговування робочого місця розраховується як 4% від оперативного часу $T_{оп}$.

Час на відпочинок та особисті потреби розраховується як 4% від оперативного часу $T_{оп}$.

Штучний час на операцію розраховується за формулою (2.14)

$$T_{ш} = (T_o + T_d + k_{сер}) \cdot \left[1 + \frac{(a_{обс} + a_{потр})}{100} \right], \quad (2.14)$$

де T_o – основний час на виконання обробки, хв;

T_d – допоміжний час (на виконання переходів, вимірів, та переналадки);

$k_{сер}$ – коефіцієнт серійності;

$a_{обс}, a_{потр}$ – час на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, 4 % від $T_{оп}$.

Штучно калькуляційний час на операцію розраховується за формулою 2.15

$$T_{шк} = T_{ш} + \frac{T_{пз}}{n} \quad (2.15)$$

Таблиця 2.7 – Складові норми часу

Структурні складові норми часу		Значення, хв
T_o	Основний час на виконання роботи верстата по програмі	6,93
T_d	Допоміжний час на встановлення та зняття деталі (D_1)	0,42
	Допоміжний час, що пов'язаний з виконанням переходів (D_2)	0,50
	враховуються	
	- установка інструмента в револьверну головку	0,20
	- відкриття/закриття захисного щита	0,15

Структурні складові норми часу		Значення, хв
-вивести у вихідне положення та запустити програму		0,15
Допоміжний час на контрольні виміри а саме:		
Час перекривається	Вимірювання лінійних розмірів	
	20	0,07
	40,50	0,12
	70	0,14
	120	0,19
Вимірювання діаметрів		
	Ø50, Ø64	0,12
	Ø82, Ø95	0,14
	Ø110	0,16
$T_{оп}$	Оперативний час ($T_0 + D_1 + D_2$)	6,15
$T_{пз}$	Підготовчо-заключний час	16,00
$k_{сер}$	Коефіцієнт серійності	1,05
$T_{обс}$	Час на обслуговування робочого місця, 4% від $T_{оп}$	0,24
$T_{пот}$	Час на відпочинок та особисті потреби, 4% від $T_{оп}$	0,24
$T_{шт}$	Штучний час	7,13
$T_{шк}$	Штучно-калькуляційний час	7,52

Таблиця 2.8 – Зміст операцій

Операція 10 «Фрезерувальна»					
Модель верстата	Пристрій	T_0	T_D	$T_{пз}$	$T_{шк}$
DOOSAN PUMA 4100 LC	При верстаті	6,34	1	13,2	7,51
Зміст переходу	Різальний інструмент	Допоміжний інструмент			
Фрезерування шлиців Ø82h7	MXFX 120L01 R25– 02508 TT5523	Відсутній			
Характеристики переходу					
S , мм/зуб	V , м/хв	t , мм	$L_{рх}$, мм		
0,05	110	11	108		

Операція 25 «Шліфувальна»					
Модель верстата	Пристрій	T_o	T_d	$T_{пз}$	$T_{шк}$
<i>JHU-2706CNC</i>	При верстаті	3,15	0,5	12	3,31
Зміст переходу	Різальний інструмент	Допоміжний інструмент			
Повне шліфування деталі	Круг ПВ 100x10x20 23А 40 С2 К1	Відсутній			
S , мм	V , м/хв	t , мм	$L_{рх}$, мм		
0,003	40	0,3	310		
Операція 30 «Зубонарізна»					
Модель верстата	Пристрій	T_o	T_d	$T_{пз}$	$T_{шк}$
<i>Gleason Phoenix 280C</i>	При верстаті	20,2	1,55	12	21,39
Зміст переходу	Різальний інструмент	Допоміжний інструмент			
Нарізання зубців	Збірна зубонарізна головка Ø200 ГОСТ 11902-77	Відсутній			
Чорновий прохід					
S , мм/об	V , м/хв	t , мм			
1,2	32	10			
Чистовий прохід					
0,8	50	5			

3 РОЗДІЛ СПЕЦІАЛЬНИЙ. МОДЕЛЮВАННЯ У САМ СИСТЕМІ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛІ, ВКЛЮЧНО З ВІЗУАЛІЗАЦІЄЮ УТВОРЕННЯ КРУГОВИХ ЗУБЦІВ КОНІЧНОЇ ШЕСТЕРНІ.

В технологічному розділі, варіант отримання заготовки – штампована поковка. Такий вид заготовки дозволяє економити значну кількість матеріалу при виготовленні деталі. В спеціальному розділі, у вигляді заготовки обраний пруток. Даний тип заготовки зручний при базуванні деталі на верстаті та при виконанні візуалізації обробки. Моделювання механічної обробки деталі виконано для варіанту застосування одного верстата з ЧПК, але за два установи деталі.

Перший установ найбільш навантажений, на якому виконується найбільша кількість технологічних переходів. Завдяки сучасним технологіям, після виконання усіх операцій на першому установі, верстат проводить перехват деталі, та надалі виконуються технологічні переходи на другому установі. Перелік операцій зазначений в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Зміст технологічних переходів

Установ 1		Установ 2	
1	Точіння торцю	1	Точіння торцю
2	Чорнове, чистове точіння деталі	2	Точіння конусу
3	Обробка канавок 1 та 2	3	Фрезерування шестерні
4	Виготовлення нарізі	4	
5	Фрезерування шліців	5	

Важливим етапом обробки є фрезерування зубців шестерні. Для виконання цього технологічного переходу застосовується два інструменти – кінцева та сферична фреза. Вже на чорновому етапі надається форма зубцям за допомогою кінцевої фрези. Інструмент виконує рух за прямолінійною траєкторією, поступово знімаючи шар металу. Головна ціль – зняття найбільшої кількості матеріалу. На чистовому етапі виконується доведення усіх поверхонь до необхідних показників шорсткості. Схематичне відображення обробки зубців відображено на рисунках 3.1 – 3.2.

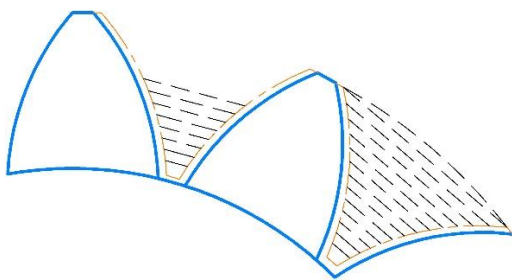


Рисунок 3.1 – Чорновий прохід

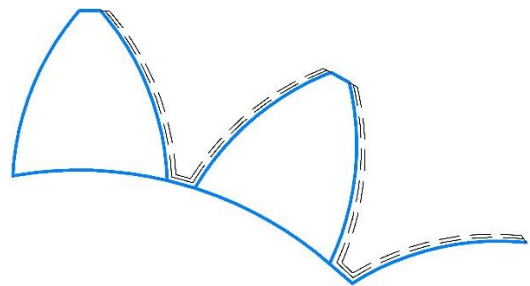


Рисунок 3.2 – Чистовий прохід

Обробка базується на використанні стратегії «вертикальні та пологі». Встановлюється порядок в якому обробляються вертикальні та пологі ділянки. Обраний варіант «Спочатку в гору». Дана функція дозволяє виконувати обробку від верхніх ділянок до нижніх. Інструмент виконує рух по безперервній спіралі. Цей параметр створює спіральний прохід між двома наступними один за одним замкнутими контурами. Це мінімізує кількість підйомів інструменту та максимізує час різання, водночас підтримуючи постійні режими навантаження та відхилення на інструменті. Приклад обробки зубців, відображено на рисунках 3.3 – 3.4.

Послідовність візуалізації обробки деталі відображений на малюнках 3.5 – 3.19. Додаються окремі документи з карткою налашки, застосованим інструментом та «Управляюча програма».

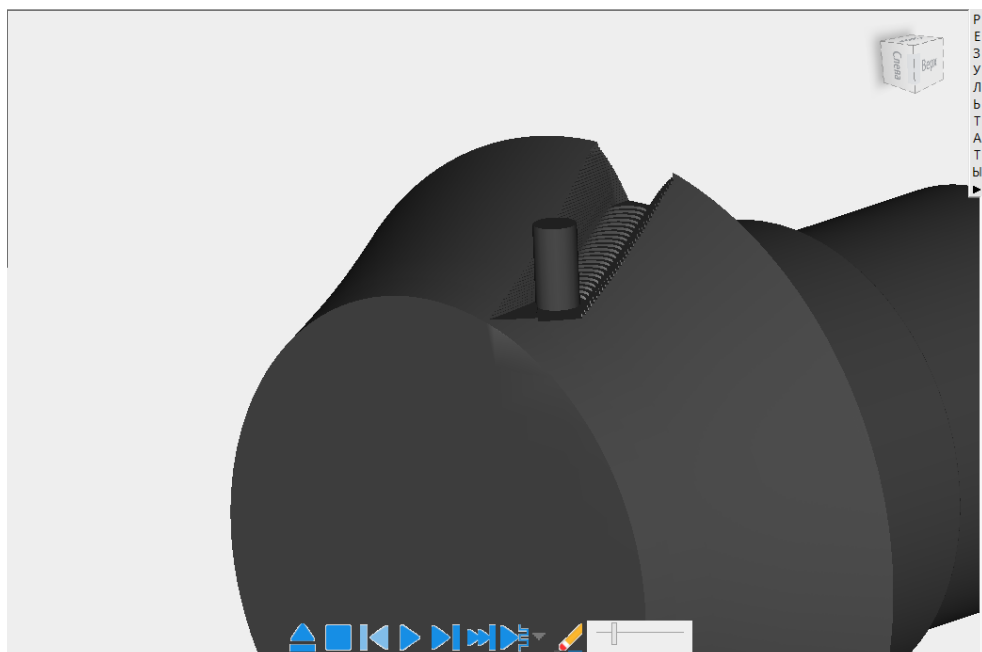


Рисунок 3.3 – Чорнова обробка



Рисунок 3.4 – Чистова обробка

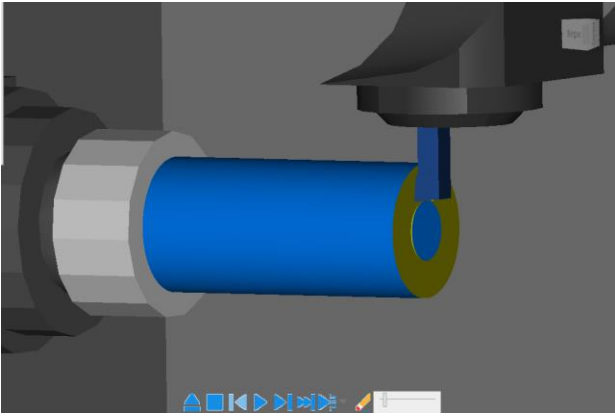


Рисунок 3.5 – Точіння торцю

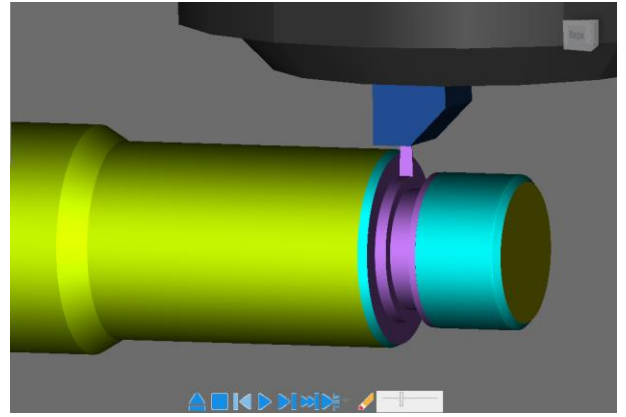


Рисунок 3.8–Чорнове точіння канавки1

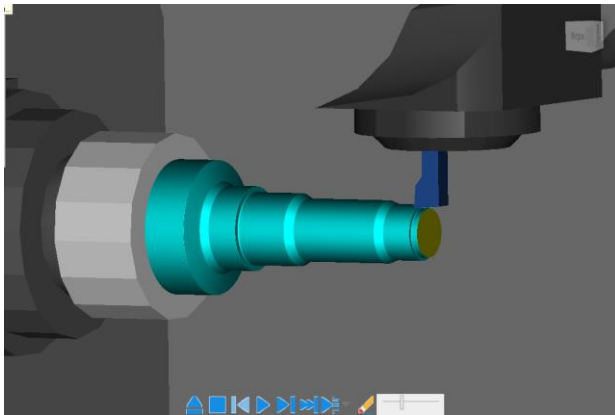


Рисунок 3.6 – Чорнове точіння

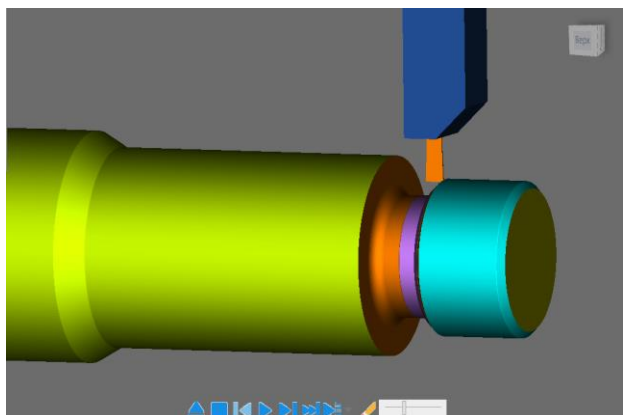


Рисунок 3.9– Чистове точіння канавки1

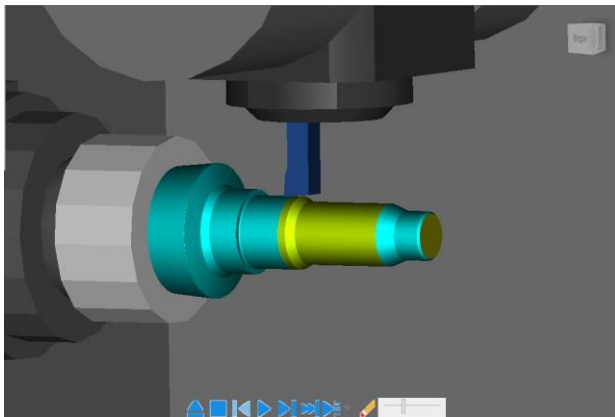


Рисунок 3.7 – Чистове точіння

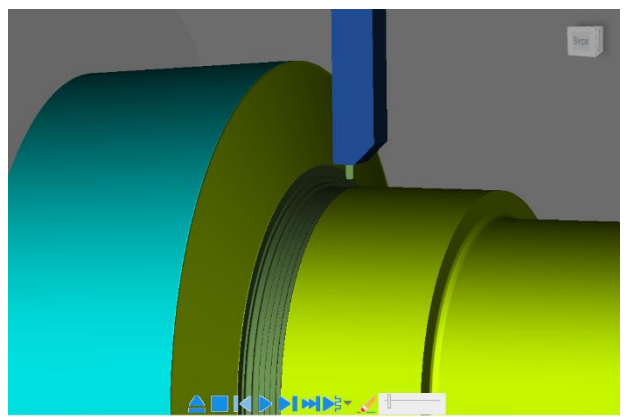


Рисунок 3.10–Чорнове точіння канавки2

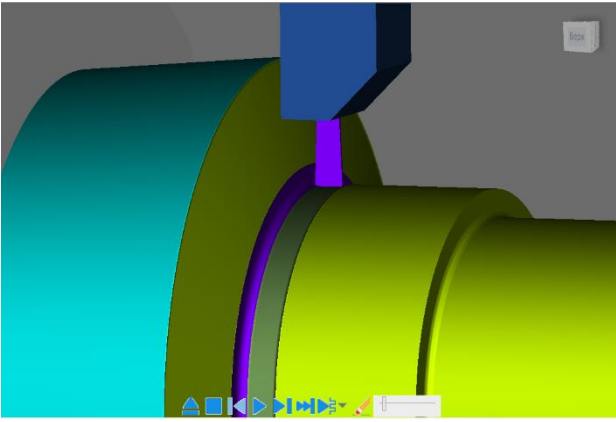


Рисунок 3.11- Чистове точіння канавки2

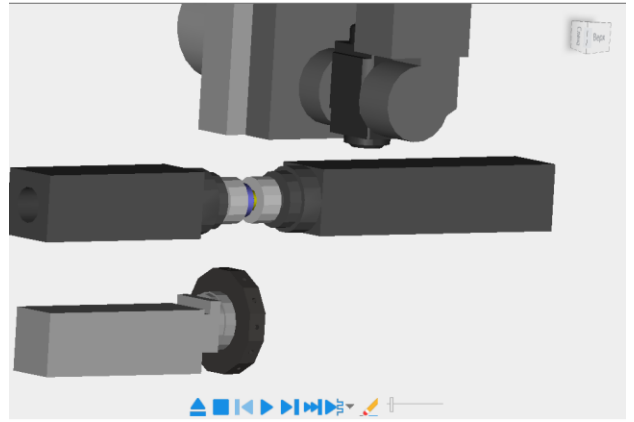


Рисунок 3.14 – Захват деталі

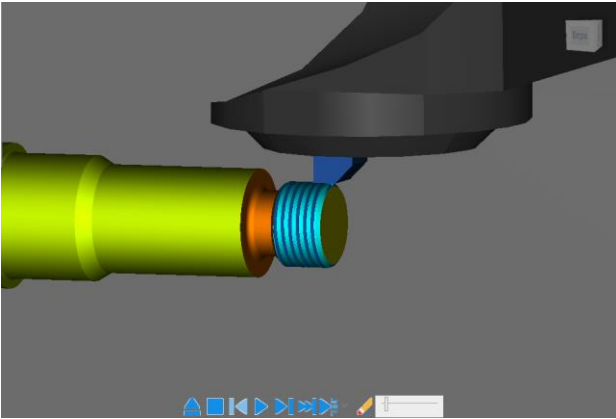


Рисунок 3.12 – Виконання нарізі

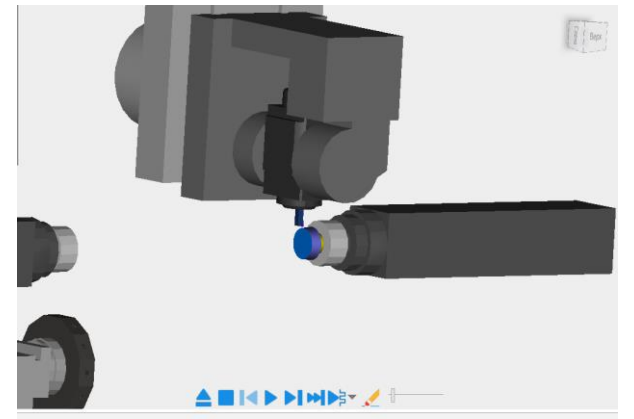


Рисунок 3.15 – Перенос деталі

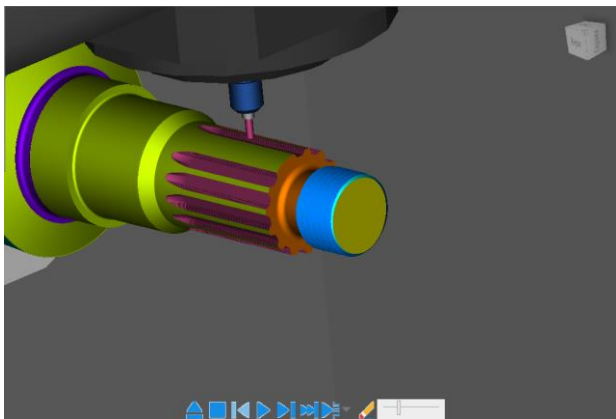


Рисунок 3.13 – Фрезерування шліців

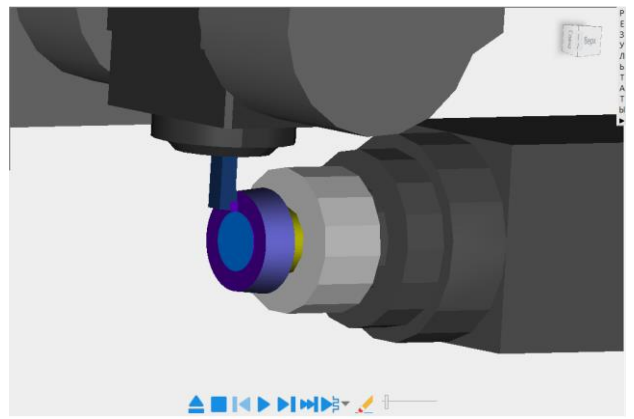


Рисунок 3.16 – Точіння торцю

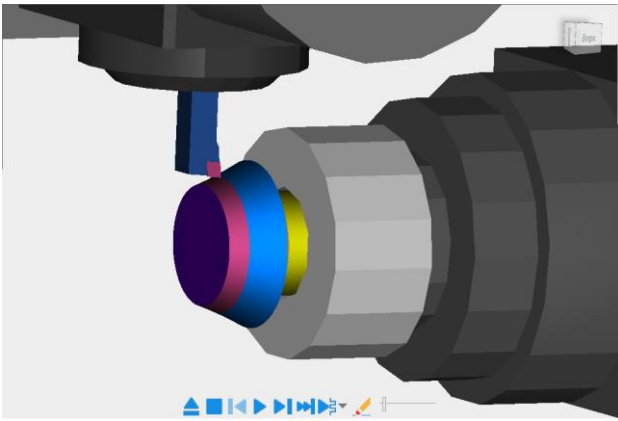


Рисунок 3.17 – Чорнове точіння конуса

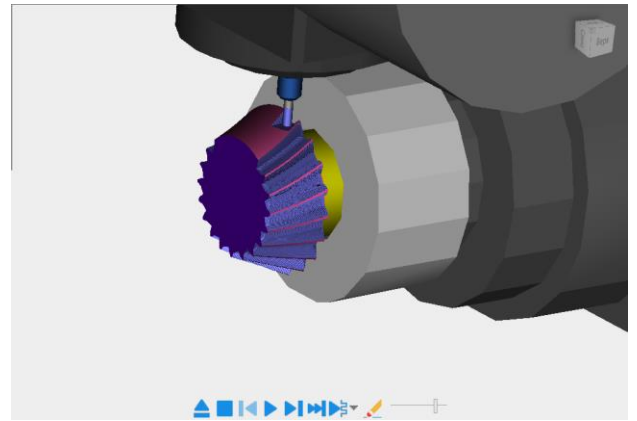


Рисунок 3.19 – Фрезерування зубців

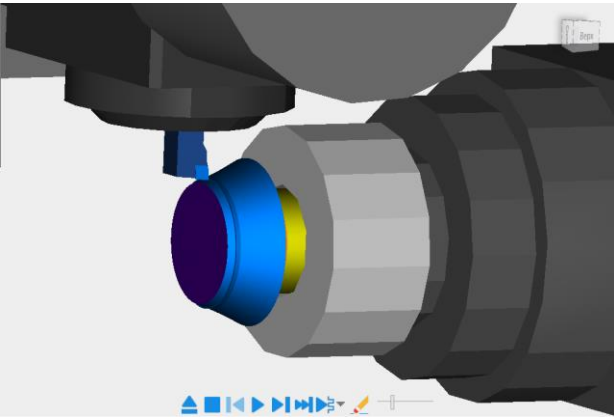


Рисунок 3.18 – Чистове точіння конуса

4 РОЗДІЛ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ. УДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМІЧНОЇ МОДЕЛІ ГЕОМЕТРИЧНОГО РОЗРАХУНКУ УТВОРЕННЯ ПОВЕРХОНЬ КРУГОВИХ ЗУБЦІВ

4.1 Постановка задачі теоретичного дослідження

Для постановки задачі дослідження виконано аналіз відомих методик розрахунків параметрів поверхонь деталей зубчастих зачеплень з круговими зубцями.

Геометричному розрахунку конічних і гіпоїдних шестерень з круглими зубцями присвячена значна кількість публікацій. []¹²³. Дослідження формування робочих поверхонь зубчастих шестерень присвячені твори Колчина []⁴, Литвина []⁵, Сегала []⁶, Ляшкова []⁷⁸, Шевельової []⁹.

Але послідовності розрахунків, що наведені в цих роботах, не супроводжуються блок-схемами алгоритмів розрахунку, що викликає певні методологічні труднощі.

Тому було поставлено завдання відобразити процес геометричного розрахунку у вигляді формалізованої блокової схеми алгоритму.

¹ https://otherreferats.allbest.ru/transport/00143891_0.html

² Теорія lopato_ga_kabatov_nf_segal_mg_konicheskіe_i_gipoidnye_peredach. https://www.studmed.ru/lopato-ga-kabatov-nf-segal-mg-konicheskіe-i-gipoidnye-peredachi-s-krugovymi-zubyami_04b26bf77ea.html

³ formoobrazovanie-rabochih-poverhnostey-chervyachnogo-kolesa-i-chervyaka-zuborezным-instrumentom-s-modifitsirovannoy-proizvodyaschey-poverhnostyu-metodom-kompyuternogo-imitatsionnogo-modelirovaniya.

<https://cyberleninka.ru/article/n/formoobrazovanie-rabochih-poverhnostey-chervyachnogo-kolesa-i-chervyaka-zuborezным-instrumentom-s-modifitsirovannoy-proizvodyaschey/pdf>

⁴ Колчин, Н. И. Аналитический расчет плоских и пространственных зацеплений / Н.И. Колчин. – М. : Машгиз, 1949. – 210 с

⁵ Литвин, Ф. Л. Теория зубчатых зацеплений : учебник / Ф. Л. Литвин. – М. : Наука, 1968. – 584 с

⁶ Лопато, Г. А. Конические и гипоидные передачи с круговыми зубьями. Справочное пособие / Г. А. Лопато, Н. Ф. Кабатов, М. Г. Сегаль. М. : Машиностроение, 1977. – 423 с

⁷ Ляшков, А. А. Геометрическое и компьютерное моделирование профилирования винтовых поверхностей с точечным касанием / А. А. Ляшков, А. В. Зыкина // Вестник СибАДИ. – 2012. – № 4(26). – С. 78-84

⁸ Ляшков, А. А. Компьютерные технологии при формообразовании поверхностей деталей / А. А. Ляшков // Омский научный вестник. Серия Приборы, машины и технологии. – 2011. – № 3(103). С. 10-13

⁹ Sheveleva, G. I. Theory of shaping and contact of moving bodies: monograph / G. I. Sheveleva. - М.: Mosstankin, 1999. - 494 p

4.2 Методи розв'язання поставленої наукової задачі

У процесі розв'язання задачі, було застосовано наступні методи:

- аналіз наукових публікацій;
- комп'ютерні експерименти щодо реалізації геометричних розрахунків за різними варіантами формоутворення поверхонь зубців;
- методи геометричного комп'ютерного моделювання;
- методи системного аналізу, включно теорію алгоритмів.¹⁰

4.3 Аналіз результатів

Метод розв'язання базується на розгляді принципу будування блок схем та за основу взятий принцип геометричного розрахунку шестерні у програмі АСКОН Компас3D. Використана блок-схема алгоритму наведено на рисунку 4.1.

Результатом розв'язання наукової задачі є отримана алгоритмічна модель геометричного блоку розрахунку шестерні, яка доповнена алгоритмічними блоками. Запропоновані внесення допомагають автоматизувати процес розрахунку.

Відображений матеріал може бути застосований у навчальних матеріалах або на виробництві.

Практичну значущість можна застосовувати у проектуванні власного продукту, адаптуванні інших процесів проектування деталей та механізмів. Та відобразити їх за допомогою алгоритмічної моделі.

У зв'язку з цим виконано адаптацію побудови алгоритму, з урахуванням класифікації¹¹ геометричних блоків:

- вхідних та вихідних даних;

¹⁰ Математична логіка та теорія алгоритмів: Лекції [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 124 «Системний аналіз» / О. В. Стусь ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 0,8 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 150 с

¹¹ <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=RM8mV3rQpd8>

- обчислень (обробки) даних;
- прийняття рішень.

Враховано також класифікацію алгоритмів щодо поділу на:

- лінійні;
- розгалужені.

Окрім того враховано правило створення циклів:

- з передумовою;
- з післяумовою.

Основні геометричні розміри визначають залежно від модуля та числа зубців. Висота і товщина зубців конічних коліс поступово зменшується з наближенням до вершини конуса.

Односторонній метод характеризується тим, що опуклі та увігнуті сторони зубців обох коліс виконуються окремо без зняття заготовки з верстата.

Для отримання однакового кута нахилу, кожна сторона зубця вимагає особливого налагодження верстата. Нарізання проводиться або двома односторонніми головками, одна з яких забезпечена зовнішніми різцями, інша внутрішніми, або однією двосторонньою, забезпеченою зовнішніми і внутрішніми різцями, що чергуються. Загалом потрібно чотири головки: дві чорнові та дві чистові односторонні. Метод забезпечує досить сприятливу зону дотику та задовільну форму зубця, але малопродуктивний і застосовується в індивідуальному та дрібносерійному виробництві.

Двосторонній метод характеризується тим, що для великого колеса застосовується двостороння головка одночасного нарізування опуклою і увігнутою сторін зубів, мале колесо виконується за одностороннім методом. Метод забезпечує хорошу зону дотику, чистоту оброблюваної поверхні та більш високу продуктивність. Широко застосовується у дрібносерійному виробництві.

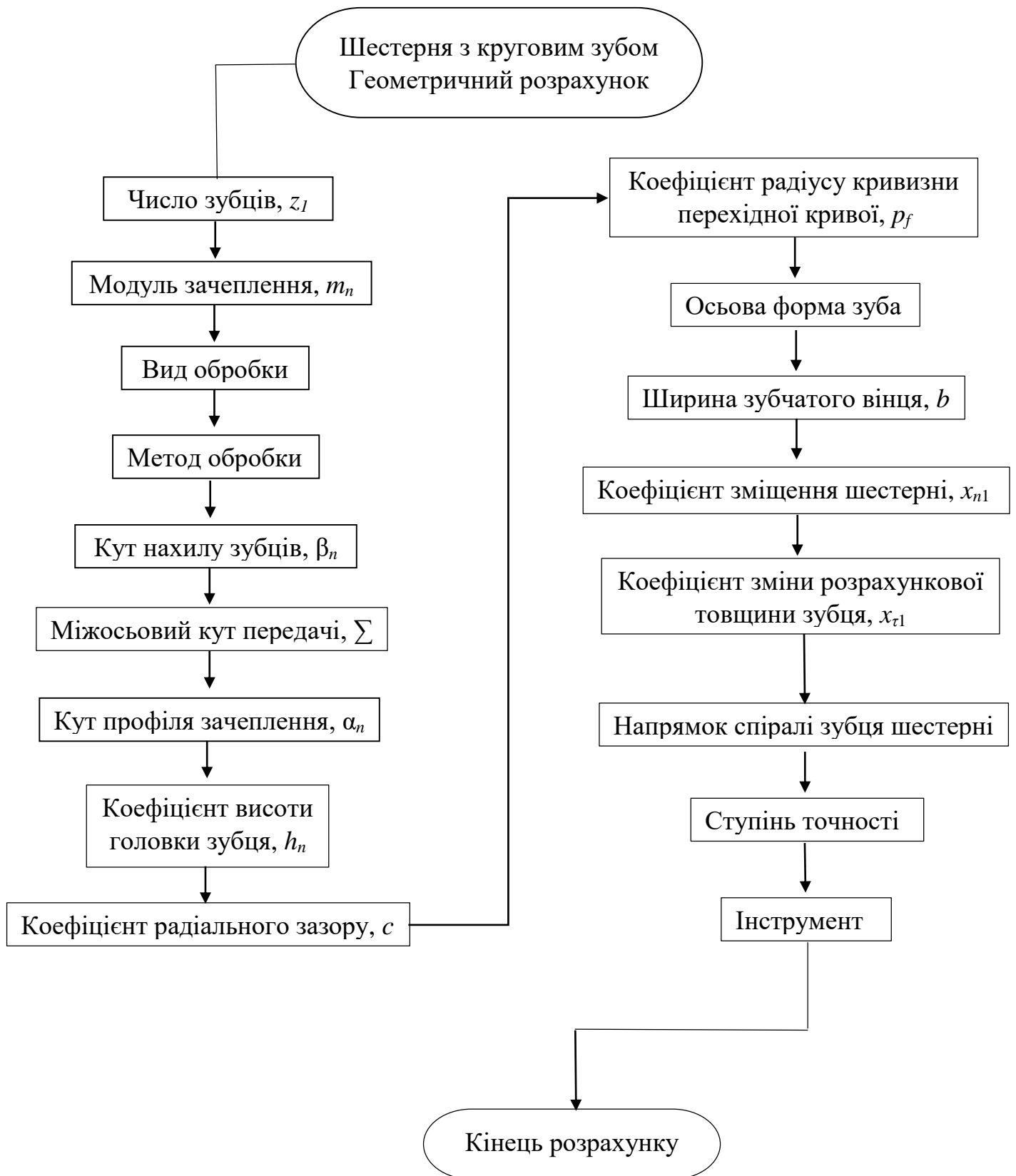


Рисунок 4.1 – Блок геометричного розрахунку

Обрано двосторонній вид обробки шестірні, оскільки цей спосіб є найбільш продуктивним з запропонованих.

Надалі постає вибір між одномірним та багатомірним видом обробки.

За умови, що обраний односторонній вид обробки:

Одномірний – спосіб нарізання застосовується при індивідуальному та дрібносерійному виробництві конічних пар з кутом нахилу від 0 до 40° та передавальним числом від 1 до 40. При цьому потрібний скорочений комплект різцевих головок.

Багатомірний – спосіб не рекомендується для застосування, тому що потрібна велика кількість різцевих головок з різними номерами різців. За наявності верстата з шпинделем, що нахиляється, спосіб можна застосувати, зробивши додатковий розрахунок.

За умови, що обраний двосторонній вид обробки є одномірний або багатомірний.

Одномірний – спосіб нарізання рекомендується для виробництва конічних пар невеликими партіями, що повторюються. При цьому потрібний скорочений комплект різцевих головок.

Багатомірний – спосіб (метод постійного налаштування) є основним і найпоширенішим методом масового та велико серійного виробництва конічних пар.

Для виготовлення вал-шестерні обраний вид обробки – одномірний.

Кут нахилу зубців (середній) як правило, для силових передач кут нахилу приймається 35°, а за підвищених вимог до плавності роботи встановлюється значення 40°.

Конічні зубчасті колеса застосовують у передачах, осі валів яких перетинаються під певним міжосьовим кутом. Міжосьовий кут передачі $\Sigma=90^\circ$. Кут зачеплення вихідного контуру за стандартом його приймають $\alpha=20^\circ$. Коефіцієнт висоти головки зуба це відношення відстані h_a між колами вершин зубів і ділильною до розрахункового модуля. Коефіцієнт радіального зазору це відношення відстані між поверхнею вершин одного колеса передачі та поверхнею западин іншого до розрахункового модуля .

Коефіцієнт радіусу кривизни перехідної кривої розраховується за відношенням:
 $r_f=0,4m$.

Осьова форма зуба. Розрізняють три різновиди конічних коліс за осьовою формою зубця, тобто по відносному розташуванню утворюючих ділильного конуса і конуса впадин у загальному осьовому перерізі. Обрана перша осьова форма. Вершини ділильного конуса та конуса впадин збігаються, висота ніжки зуба пропорційна конусній відстані. Кут конуса вершин призначається так, щоб зберегти постійний радіальний зазор по всій довжині зуба. Для цього утворюючи вершин конуса розташовують паралельно утворюючій конуса впадин сполученого колеса. Це дає можливість застосувати інструмент із великим радіусом закруглення у вершини, підвищивши міцність зуба та стійкість інструменту. Висота зуба з наближенням до вершини конуса зменшується.

Ширина зубчастого вінця у конічних коліс середніх розмірів не повинна бути більшою за довжину утворюючої ділильного конуса, щоб не знизити стійкість зуборізного інструменту і не підвищувати ймовірність руйнування зубців при концентрації навантаження на вузькому кінці. Також ширина зубчастого вінця істотно впливає на коефіцієнт осьового перекриття зубчастої передачі, який зменшується зі зменшенням ширини зубчастого вінця. Це необхідно враховувати особливо у випадках, коли величина коефіцієнта перекриття більша за рекомендоване значення.

Ступінь точності шестерні встановлюється залежно від вимог до кінематичної точності, плавності, потужності, що передається, а також від окружної швидкості.

На заключному етапі обрано різальний інструмент, а саме дві різцеві головки (чорнова та чистова). Вибір ґрунтується на раніше розрахованих показниках шестерні, а також враховується діаметр самої різцевої голівки та розведення різців.

Геометричний розрахунок шестерні відображений на рисунках 4.2 – 4.5.

Після геометричного розрахунку, за отриманими даними створюється 2D кресленик деталі та додаються усі необхідні конструктивні елементи. З отриманого

кресленика, відтворюється 3D модель. У CAD системі є вбудований алгоритм генерування моделі. Відтворення складається з таких етапів (рисунок 4.6):

- формування базової геометрії;
- формування базової поверхні положення інструменту;
- пошук стартових кутів різання;
- формування поверхонь положення інструменту;
- формування перерізів.

На завершальному етапі розрахунку виконується локалізація площі контакту, зняття контрольних розмірів з моделі, формування вирізу зубця, формування кругової копії зубця. Отримана 3D модель зберігається у окремому файлі.

Таблица 1. Геометрический расчёт конической передачи с круговыми зубьями

Наименование и обозначение параметра		Шестерня *1	Колесо *2
<i>Исходные данные</i>			
Число зубьев	z_1, z_2	20	55
Модуль средний нормальный, мм	m_n	6,696	
Модуль внешний окружной, мм	m_e	9,2	
Угол наклона зуба средний	β	35°00'00"	
Направление линии зуба	—	правое	левое
Межосевой угол передачи	Σ	90°00'00"	
Исходный контур	—	ГОСТ 16202-81	
Средний нормальный исходный контур	Угол профиля исходного контура	α_n	20°00'00"
	Кэффициент высоты головки зуба	h_n^*	1
	Кэффициент радиального зазора	c^*	0,25
	Кэффициент радиуса кривизны переходной кривой	ρ_f^*	0,25
Осевая форма зуба	—	первая	
Вид обработки	—	двухсторонний	
Метод обработки	—	одномерный	
Ширина зубчатого венца, мм	b	60	
Кэффициент смещения исходного контура	x_n	+0,235	-0,235
Кэффициент изменения расчётной толщины зубьев исходного контура	x_c	+0,026	-0,026
Степень точности	—	8-B	8-B
Свойства инструмента	Тип зуборезной головки	—	из полного комплекта
	Номинальный диаметр зуборезной головки, мм	d_0	400
	Развод резцов зуборезной головки для чистой двухсторонней обработки колеса, мм	W_2	4,6
	Поправочный коэффициент развода резцов	K_c	1
<i>Определяемые параметры</i>			
Число зубьев плоского колеса	\bar{z}	58,523	
Внешнее конусное расстояние, мм	R_e	269,208	
Среднее конусное расстояние, мм	R	239,208	
Угол делительного конуса	δ	19°58'59"	70°01'01"
Передаточное число	u	2,75	
Передаточное число эквивалентной конической передачи	M_{ϕ}	2,75	
Число зубьев эквивалентной конической шестерни	z_{ϕ}	20	
Расстояние от внешнего торца до расчётного сечения, мм	l_e	30	

Рисунок 4.2

Продолжение табл. 1.

Стр. 2

Наименование и обозначение параметра		Шестерня *1	Колесо *2
Высота ножки зуба в расчётном сечении, мм	h_f	6,798	9,943
Нормальная толщина зуба в расчётном сечении, мм	s_n	11,838	9,199
Сумма углов ножек зубьев	$\Theta_{f\Sigma}$	—	
Угол ножки зуба	Θ_f	1°37'40"	2°22'49"
Угол головки зуба	Θ_a	2°22'49"	1°37'40"
Увеличение высоты головки зуба при переходе от расчётного сечения на внешний торец, мм	Δh_{fe}	1,247	0,853
Увеличение высоты ножки зуба при переходе от расчётного сечения на внешний торец, мм	Δh_{fb}	0,853	1,247
Уменьшение высоты головки зуба в расчётном сечении, мм	δh_{fa}	0	0
Высота головки зуба в расчётном сечении, мм	h_a	8,269	5,124
Внешняя высота головки зуба, мм	h_{ae}	9,516	5,977
Внешняя высота ножки зуба, мм	h_{fb}	7,651	11,19
Внешняя высота зуба, мм	h_b	17,166	17,166
Угол конуса вершин	δ_a	22°21'46"	71°38'41"
Угол конуса впадин	δ_f	18°21'19"	67°38'12"
Средний делительный диаметр, мм	d	163,495	449,612
Внешний делительный диаметр, мм	d_e	184	506
Внешний диаметр вершин зубьев, мм	d_{ae}	201,885	510,085
Внешний диаметр вершин зубьев со срезом, мм	d'_{ae}	201,885	510,085
Расстояние от вершины до плоскости внешней окружности вершин зубьев, мм	B	249,748	86,383
<i>Контролируемые и измерительные параметры</i>			
<i>Расчёт постоянной хорды зуба и высоты до постоянной хорды в расчётном сечении</i>			
Постоянная хорда зуба, мм	\bar{s}_c	10,453	8,123
Высота до постоянной хорды зуба, мм	\bar{h}_c	6,366	3,646
<i>Расчёт делительной толщины зуба по хорде и высоты до хорды в расчётном сечении</i>			
Половина угловой толщины зуба в нормальном сечении	Ψ_n	0,046	0,005
Кэффициент, зависящий от угловой толщины зуба в расчётном сечении	$K_{\psi n}$	1	1
Делительная толщина зуба по хорде в расчётном сечении, мм	\bar{s}_n	11,834	9,199
Высота до делительной хорды зуба в расчётном сечении, мм	\bar{h}_n	8,404	5,135
Диаметр концентрической окружности, мм	$d_{\gamma 2}$	447,324	
Толщина зуба колеса по хорде на концентрической окружности диаметра $d_{\gamma 2}$, мм	$\bar{s}_{\gamma 2}$	11,637	
Высота до хорды зуба колеса в расчётном сечении на концентрической окружности диаметра $d_{\gamma 2}$, мм	$\bar{h}_{\gamma 2}$	8,483	

Рисунок 4.3

Наименование и обозначение параметра	Шестерня *1	Колесо *2
<i>Расчёт делительной толщины зуба и высоты до хорды в измерительном сечении</i>		
Внешний угол наклона средней линии зуба	$\beta_{лв}$	40°38'23"
Внутренний угол наклона средней линии зуба	$\beta_{лн}$	29°40'28"
Расчётное расстояние от внешнего торца до измерительного сечения, мм	l_x'	4,019
Величина преднамеренного смещения измерительного сечения, мм	l_x''	0
Принятое расстояние от внешнего торца до измерительного сечения, мм	l_x	30
Конусное расстояние до измерительного сечения, мм	R_x	239,208
Угол наклона средней линии зуба в измерительном сечении	$\beta_{лх}$	35°00'00"
Окружная толщина зуба в торцовом сечении, соответствующем конусному расстоянию R_x , мм	$s_{лх}$	14,451
Половина угловой толщины зуба в измерительном сечении	$\psi_{лх}$	0,046
Коэффициент, зависящий от угловой толщины зуба в измерительном сечении	$K_{\psi_{лх}}$	1
Делительная толщина зуба по хорде в измерительном сечении, мм *	\bar{s}_x	11,834
Коэффициент для расчёта высоты до делительной хорды зуба в измерительном сечении	$K_{лх}$	0,205
Высота до делительной хорды зуба в измерительном сечении, мм *	$\bar{h}_{лх}$	8,404
Диаметр концентрической окружности, мм	$d_{лх2}$	447,324
Толщина зуба колеса по хорде в измерительном сечении на концентрической окружности диаметром $d_{лх2}$, мм	$\bar{s}_{лх2}$	11,634
Высота до хорды зуба колеса в измерительном сечении на концентрической окружности диаметром $d_{лх2}$, мм	$\bar{h}_{лх2}$	8,483
<i>Проверка отсутствия подрезания зубьев у внешнего и внутреннего торцов</i>		
Внешний угол торцевого профиля зуба	$\alpha_{те}$	25°37'29"
Внутренний угол торцевого профиля зуба	$\alpha_{ти}$	22°43'45"
Угол торцевого профиля зуба в расчётном сечении	α_r	23°57'24"
Внешняя высота ножки зуба, мм	h_{fe}	7,651
Внутренняя высота ножки зуба, мм	h_{fi}	5,946
Наибольшая внешняя высота ножки зуба, ограничиваемая подрезанием, мм	\bar{h}_{fe}'	19,297
Наибольшая внутренняя высота ножки зуба, ограничиваемая подрезанием, мм	\bar{h}_{fi}'	12,344
Отсутствие подрезания зуба внешнего торца $\bar{h}_{fe}' \geq h_{fe}$	—	выполнено
Отсутствие подрезания зуба внутреннего торца $\bar{h}_{fi}' \geq h_{fi}$	—	выполнено

*1 Контролируемые и измерительные параметры даны со значениями и в расчётах изоляции колёс на зуборезных станках. В случае их изготовления по формулировки 3D-моделью колёс значения будут уточняться после построения 3D-модели колёс автоматически и замерами, и будут внесены в таблицы параметров и выходные элементы профилей зубьев на чертежах.

Рисунок 4.4

Наименование и обозначение параметра	Шестерня *1	Колесо *2
<i>Проверка нормальной толщины зуба на поверхности вершин в расчётном сечении</i>		
Число зубьев эквивалентного цилиндрического зубчатого колеса	z_r	21,281
Делительный диаметр среднего эквивалентного цилиндрического зубчатого колеса, мм	$d_{лr}$	173,97
Диаметр вершин зубьев среднего эквивалентного цилиндрического зубчатого колеса, мм	$d_{лrл}$	190,507
Угол профиля зуба в точке на окружности вершин среднего эквивалентного цилиндрического зубчатого колеса	$\alpha_{та}$	33°26'02"
Угол наклона средней линии зуба на поверхности вершин в расчётном сечении	$\beta_{ла}$	37°28'47"
Нормальная толщина зуба на поверхности вершин в расчётном сечении, выраженная в долях нормального модуля	$s_{ла}^*$	0,735
<i>Проверка степени сужения толщины зуба на поверхности вершин</i>		
Делительный диаметр внешнего эквивалентного цилиндрического зубчатого колеса, мм	$d_{лте}$	195,788
Делительный диаметр внутреннего эквивалентного цилиндрического зубчатого колеса, мм	$d_{лти}$	152,151
Внутренняя высота головки зуба, мм	$h_{лти}$	7,022
Диаметр вершин зубьев внешнего эквивалентного цилиндрического зубчатого колеса, мм	$d_{лтел}$	214,819
Диаметр вершин зубьев внутреннего эквивалентного цилиндрического зубчатого колеса, мм	$d_{лтил}$	166,195
Угол профиля на окружности вершин внешнего эквивалентного цилиндрического зубчатого колеса	$\alpha_{тае}$	34°44'17"
Угол профиля на окружности вершин внутреннего эквивалентного цилиндрического зубчатого колеса	$\alpha_{таи}$	32°23'31"
Внешний угол наклона средней линии зуба на поверхности вершин	$\beta_{лае}$	43°16'53"
Внутренний угол наклона средней линии зуба на поверхности вершин	$\beta_{лаи}$	31°53'52"
Внешняя окружная толщина зуба, мм	$s_{те}$	16,796
Внутренняя окружная толщина зуба, мм	$s_{ти}$	12,58
Внешняя нормальная толщина зуба на поверхности вершин, мм	$s_{лае}$	4,861
Внутренняя нормальная толщина зуба на поверхности вершин, мм	$s_{лаи}$	5,053
Коэффициент сужения нормальной толщины зуба	K_{γ}	0,962
Угол сужения нормальной толщины зуба на поверхности вершин	γ_a	0°09'01"
Условие по коэффициенту сужения $(0,7 \leq K_{\gamma} \leq 1,3)$	—	выполнено
Условие по углу сужения $(-2°51'53" \leq \gamma_a \leq 4°0'38")$	—	выполнено
<i>Проверка коэффициента перекрытия</i>		
Коэффициент торцевого перекрытия	ϵ_{α}	1,259
Рекомендованное минимальное значение коэффициента торцевого перекрытия	—	1
Коэффициент осевого перекрытия	ϵ_{β}	1,636
Рекомендованное минимальное значение коэффициента осевого перекрытия	—	1,25
Коэффициент суммарного перекрытия	ϵ_{γ}	2,064

Рисунок 4.5

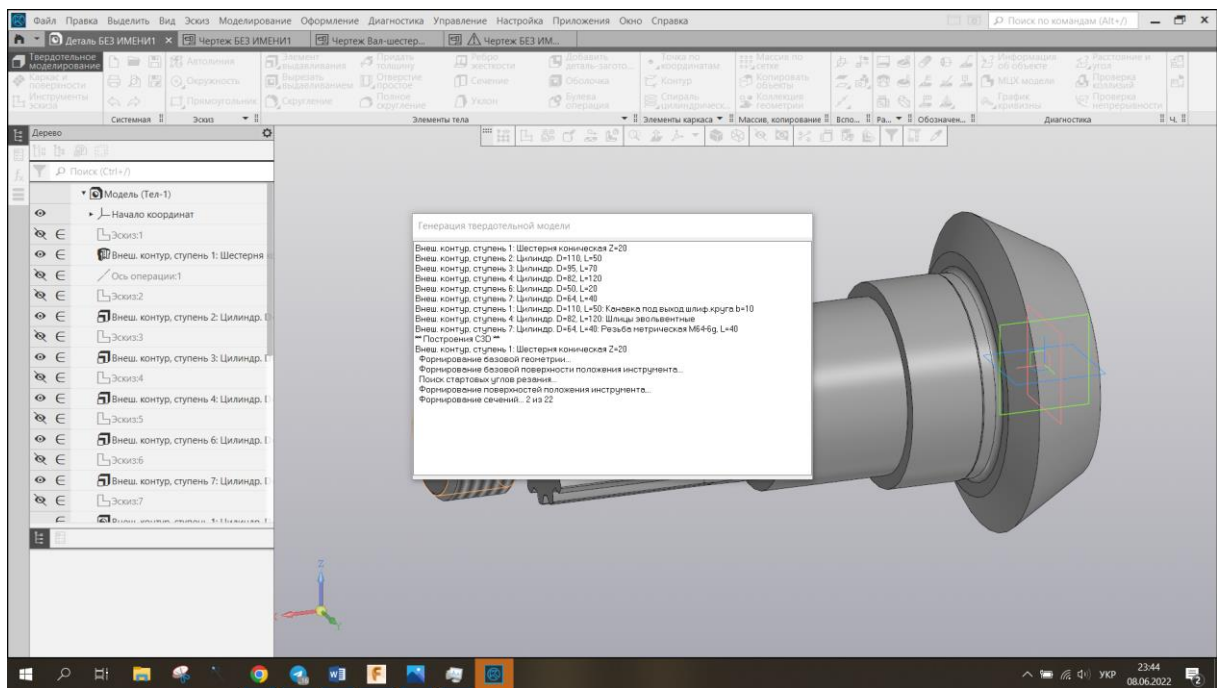


Рисунок 4.6 – Этапы моделювання 3D моделі

4.4 Наукова новизна

Наукова новизна полягає у створенні удосконаленої алгоритмічної моделі геометричного розрахунку утворення поверхонь кругових зубців.

Критерии качества зацепления		
Подрезание зуба у внешнего торца	Нет	Нет
Подрезание зуба у внутреннего торца	Нет	Нет
Коэффициент сужения в пределах нормы	Да	Да
Угол сужения нормальной толщины зуба на поверхности вершин в пределах нормы	Да	Да
Коэффициент торцового перекрытия в пределах нормы		Да
Коэффициент осевого перекрытия в пределах нормы		Да
Контролируемые, измерительные параметры и параметры качества зацепления в норме		

Рисунок 4.7 – Критерії якості зачеплення

У разі заповнення усіх даних можна зробити контрольну перевірку. Програма відображує результат перевірки та контроль якості показників зачеплення (рисунок 4.7).

Можливий й інший варіант отриманих результатів. Коли один з показників не відповідає нормам. Можна побачити червоне повідомлення щодо невідповідності (рисунок 4.8).

Критерии качества зацепления		
Подрезание зуба у внешнего торца	Нет	Нет
Подрезание зуба у внутреннего торца	Нет	Нет
Коэффициент сужения в пределах нормы	Да	Да
Угол сужения нормальной толщины зуба на поверхности вершин в пределах нормы	Да	Да
Коэффициент торцового перекрытия в пределах нормы	Да	
Коэффициент осевого перекрытия в пределах нормы	Нет	
Параметры качества зацепления не соответствуют норме.		

Рисунок 4.8 – Невідповідність розрахунку та заданих норм

Пропонується додати до алгоритмічної моделі блок *While loop* для автоматизації розрахунку. Оператор *while* створює цикл, який виконує задану інструкцію. Та буде її виконувати доки необхідне значення не задовольнить умови виконання завдання.

На прикладі коефіцієнта осьового перекриття. У більшості довідниках рекомендоване значення цього коефіцієнту $\geq 1,5$. Якщо у наявній алгоритмічній моделі цей показник менший, програма просто видає невідповідність контролюючих норм. Підвищення цього коефіцієнту можна досягти за рахунок збільшення кута нахилу лінії зуба та ширини зубчастого вінця. Доданий блок буде автоматично змінювати ширину зубчастого вінця на 1 поки отримане значення не задовольнить умову завдання та критерії зачеплення будуть у нормі.

До програмної реалізації цього алгоритму пропонується додати підпрограму та включення її у основну програму розрахунку. Підпрограма буде використана для контролю та перевірки отриманих розмірів деталі. Даний блок допоможе контролювати кількість неякісних деталей. За допомогою експериментальних розрахунків можливо вести статистику та визначати оптимальні умови виробу. Графічні матеріали до науково – дослідницького розділу відображені у додатку 3.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Розроблений технологічний процес базується на використанні спеціального зубофрезерного верстату *Gleason Phoenix 280C*. Також автоматизація токарних операцій досягнуті за рахунок використання верстата з ЧПК *Doosan Puma 4100 LC*.

У спеціальному розділі виконано моделювання у САМ системі технології формоутворення поверхонь деталі, включно з візуалізацією утворення кругових зубців конічної шестерні.

Отриманий технологічний процес може бути використаний в умовах дрібносерійного виробництва або у ремонтних цілях. За відсутності спеціального обладнання для обробки на верстаті *Doosan Puma 4100 LC* можна виготовляти деталь даного типу. Але для досягнення конкурентоспроможності, рекомендовано використовувати традиційний метод виготовлення конічної вал-шестерні з круговим зубом.

Перелік посилань

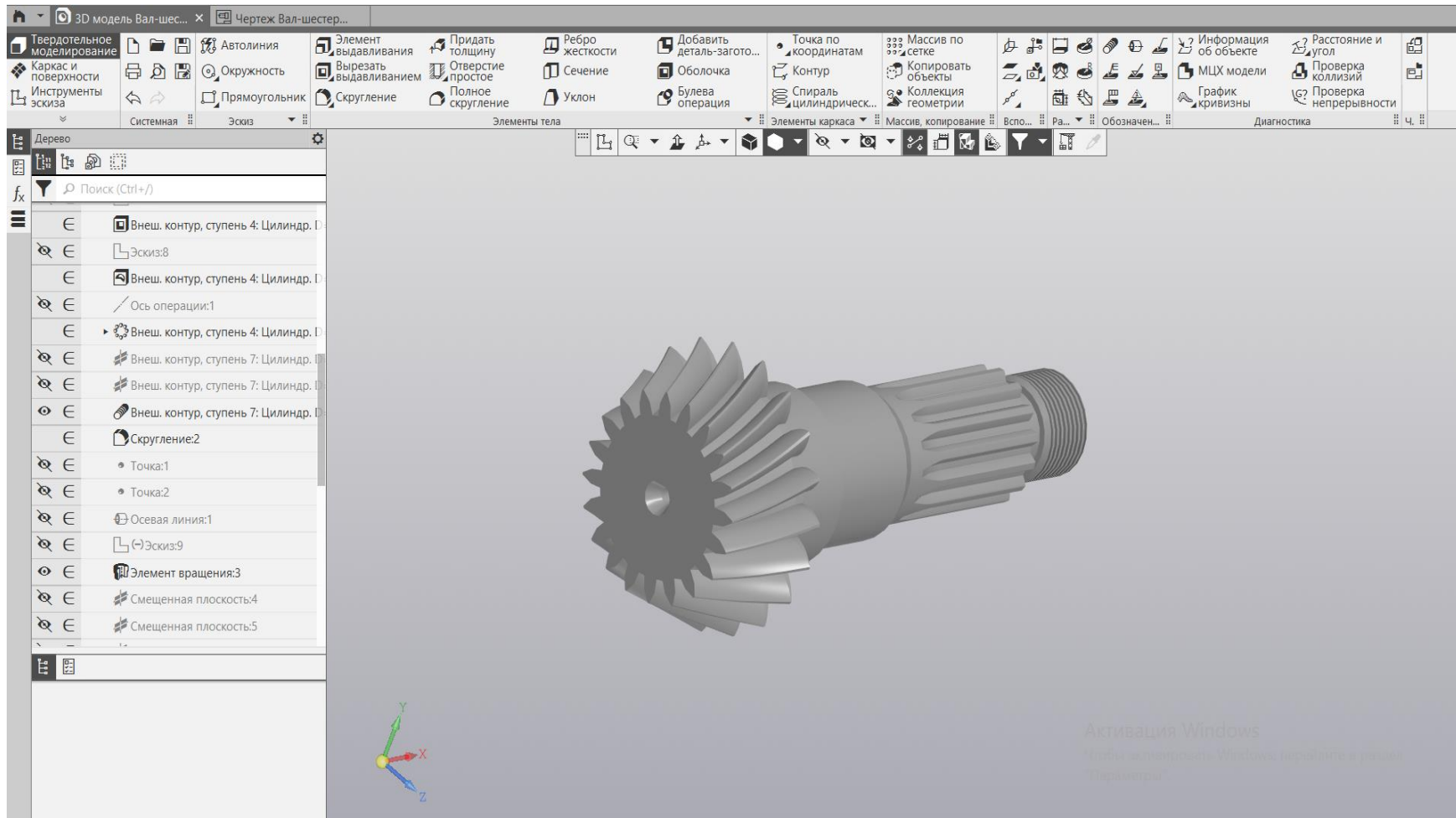
1. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи бакалаврів спеціальності 131 Прикладна механіка (освітньо-професійна програма «Комп'ютерні технології машинобудівного виробництва») / В.В. Проців, С.Т. Пацера, В.А. Дербаба, О.О. Богданов, С.Г. Пиньковський; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2020. – 44 с.
2. Справочное пособие составлено старшим преподавателем кафедры технологии горного машиностроения Пиньковским С.Г. на основании ГОСТ 7505–89 «Поковки стальные штампованные»
3. Калашников С. Н. Зуборезные резцовые головки. Изд. 2–е, перераб. и доп. М., «Машиностроение», 1972, 162 стр.
4. Сильвестров Б. Н. Справочник молодого зуборезчика: Учеб. пособие для техн. училищ. – М. Высш. школа, 1981. — 199 стр.
5. В. Г. Гинзбург, А. В. Шаманин. Типовые технологические процессы изготовления зубчатых передач. 1962. –115 стр.
6. Производство зубчатых колес: Справочник / С. Н. Калашников, А. С. Калашников, Г. И. Коган и др.; Под общ. ред. Б. А. Тайца.– 3–е изд., перераб. и доп.– М.; Машиностроение, 1990.– 464 стр.
7. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник / Под ред. В.И. Баранчикова. – М.: Машиностроение, 1990. – 399 с.
8. Справочное пособие по назначению операционных припусков на механическую обработку табличным методом / Сост.: С.Г. Пиньковский, Ю.Г. Кравченко, В.Г. Олейниченко. – Д.: НГАУУкраины, 2002.–15 с.
9. Марочник сталей и сплавов / Под ред. В.Г. Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989. – 638 с.
10. Обработка металлов резанием. Справочник технолога / Под ред. А.А.Панова. – М.: Машиностроение, 1988. – 736 с.

11. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ под ред. С.Ю. Романова.

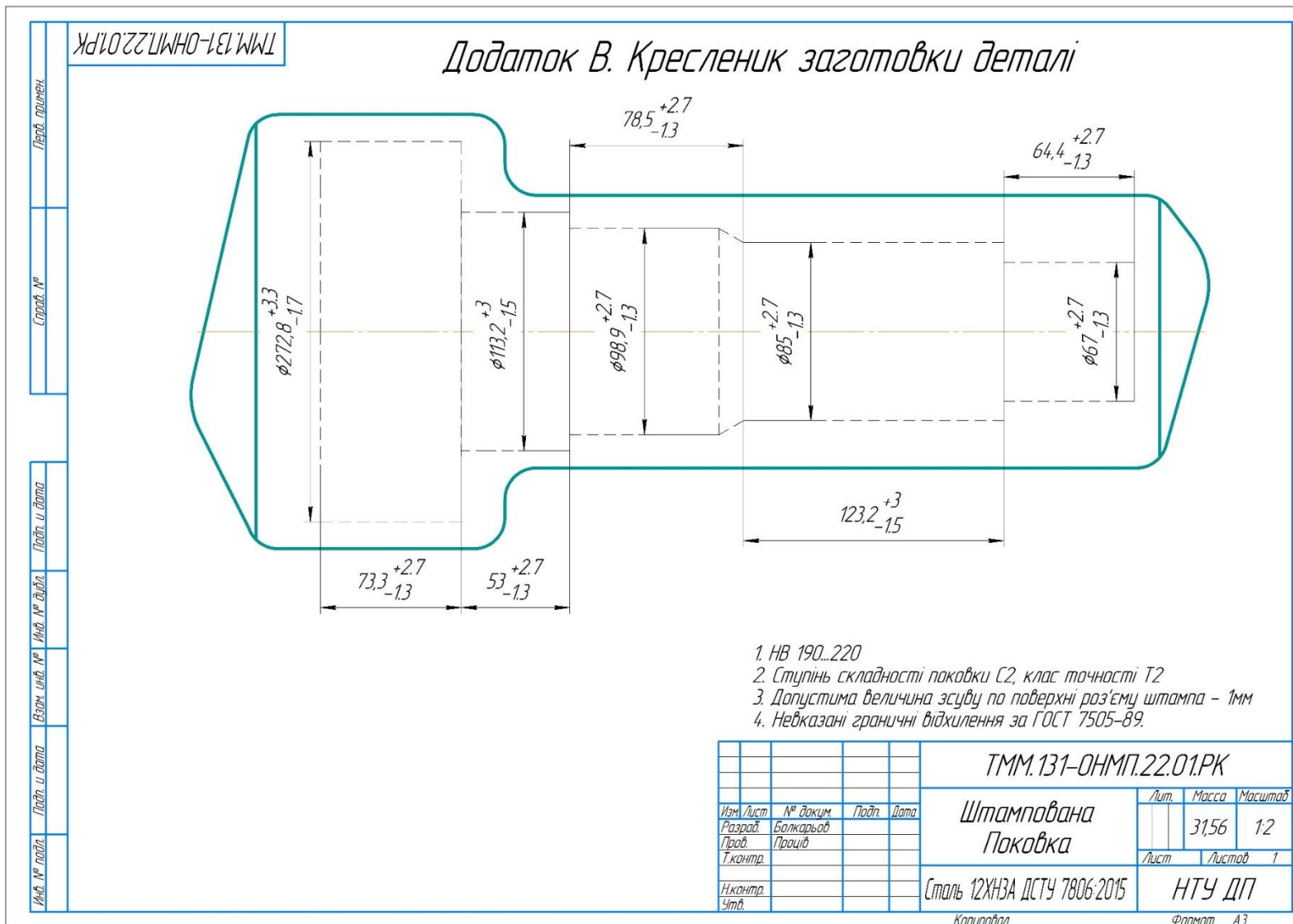
12. Кодирование технологической информации: Справочное пособие / С.Г. Пиньковский, В.Г. Олейниченко. – Д.: Национальный горный университет, 2003 – 24 с.

13. Комплектность и правила заполнения бланков технологических документов: Методическое пособие для самостоятельной работы / Сост. С.Г. Пиньковский, В.И. Холоша, Ю.Г. Кравченко. – Д.: Национальный горный университет, 2004.– 34 с.

Додаток Б. 3D модель деталі вал–шестерня



Додаток В. Кресленик заготовки деталі



Додаток Г. Комплект технологічної документації

	14	1
--	----	---

НТУ «ДП»	ТММ.131–ОНМП.22.01.ТД		02070743.01140.01302
Вал-шестерня			

«Затверджую»

Головний інженер ()

« » _____ 20 р.

*ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС
МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ
Конічна вал-шестерня з круговим зубом*

ПОГОДЖЕНО:

Метрол. контроль _____ ()

Вед. технолог _____ ()

Н. контроль _____ ()

Акт № _____ від «_____» _____ 20 р.

Гол. спеціаліст _____ ()

Нач. техбюро _____ ()

Розробник _____ (Болкаръов)

											02070743.01140.00001	2	1				
Розроб	Болкаръов						НТУ ДП			ТММ.131-ОНМП.22.01.ТД			02070743.10140.00001				
											Вал-шестерня						
Норм																	
M01	12ХНЗА ДСТУ 7806:2015/Поковка ГОСТ 7505-89																
M02	Код	ОВ	МД	ОН	Нвнтр.	КВМ	Код загот	Профіль та розміри			КД	МЗ					
	-	кг	21.04	1	31.6	0.8	Поковка	Ø175x375			1	31.56					
А	Цех	Уч.	РМ	Опер	Код, найменування операції			Позначення документа									
Б	Код, найменування обладнання						СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОВД	ЕН	ОП	Кшт	Тпз	Тшт
А 01	10	1	1	05	4233, Токарна з ЧПК			02070743.60146.00001; ТТИ102.25240.00105;ІОП 1-5									
Б 02	041100, Doosan Puma 4100 LC						-	18217	2	-	1	1	1	103			
03																	
А 04	10	2	2	10	4261, Вертикально-фрезерна			02070743.60140.00002; ТТИ102.25240.00105;ІОП 2-6									
Б 05	041600, Doosan Puma 4100 LC						-	18632	3	-	1	1	1	103			
06																	
А 07	10	3	3	15	4153, Зубонарізна			02070743.60140.00003;ІОП 1-5									
Б 08	041530, Gleason Phoenix 280C						-	12287	3	-	1	1	1	103			
09																	
А 10	10	4	4	20	5000, Термічна обробка												
11																	
А 12	10	5	5	25	4131, Шліфувальна			02070743.60140.00005;ТТИ102.25240.00105;ІОП 1-5									
Б 13	041310, JHU-2706CNC						-	18873	3	-	1	1	1	103			
14																	
А 15	10	6	6	30	4153, Зубонарізна			02070743.60140.00006;ІОП 1-5									
Б 16	041530, Gleason Phoenix 280C						-	12287	3	-	1	1	1	103			

МК

										02070743.01140.00001			2		
										ТММ.131-ОНМП.22.01.ТД					
А	Цех	Уч.	РМ	Опер	Код, найменування операції					Позначення документа					
Б	Код, найменування обладнання				СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОВД	ЕН	ОП	Кшт	Тпз	Тшт
К/М					Позначення, код					ОПШ	ЕВ	ЕН	КИ	Нросх.	
А 01	10	7	7	35	0200, Контрольна					02070743.30103.00008; ГТИ102.25240.00102					
Б 02	Стіл БТК				-	12913	5	-	1	1	1	103			
03															
04															
05															
06															
07															
08															
09															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															

МК

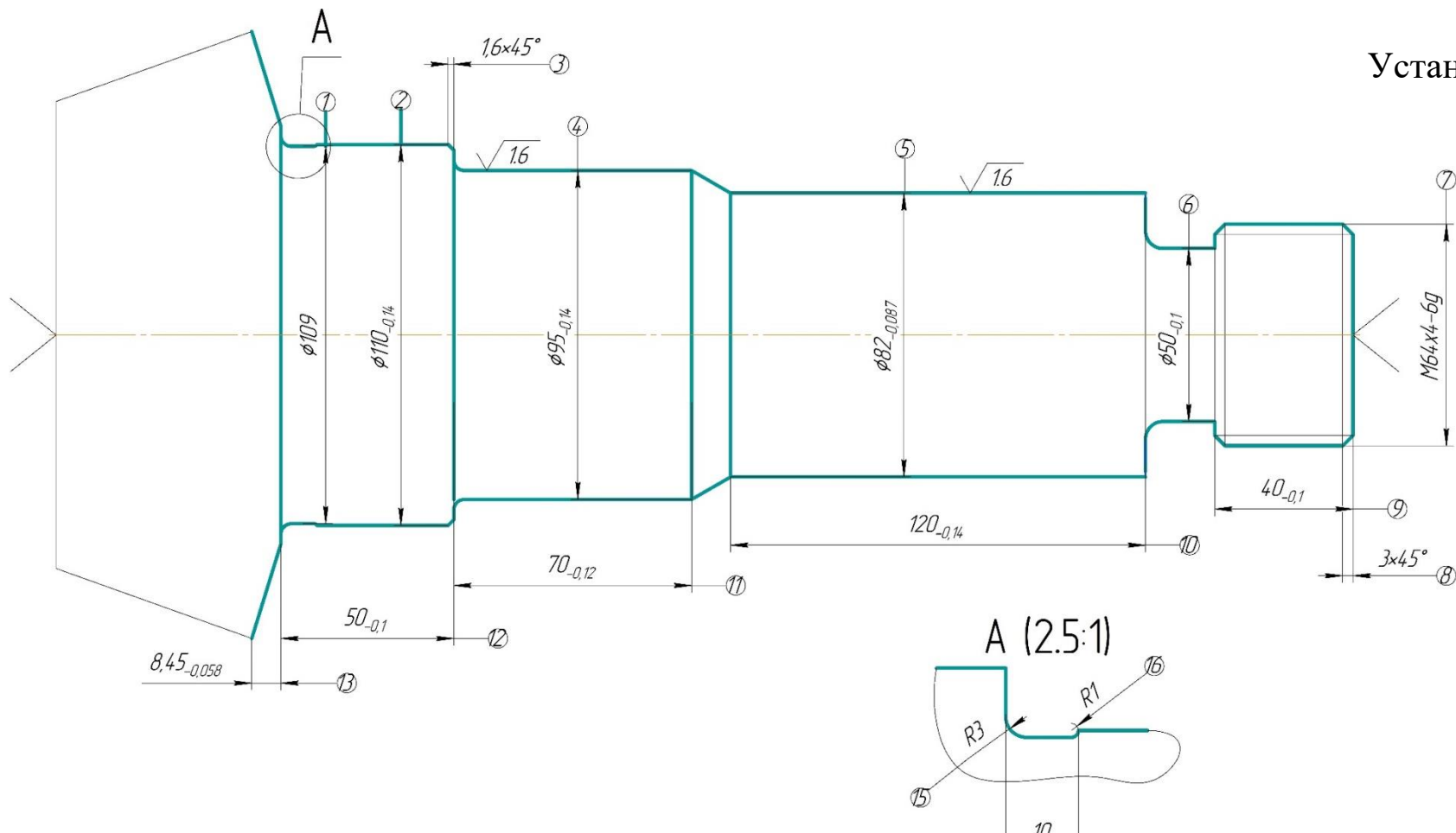
										02070743.10140.00001	2	1		
Розроб	Болкаръов			НТУ ДП	ТММ.131- ОНМП.22.01.ТД					02070743.60140.00001				
					Вал – шестерня						10	1	1	05
Н. контр.														
Найменування операції		Матеріал			Твердість	ОВ	МД	Профіль та розміри			МЗ	КОВД		
Токарна з ЧПК		12ХНЗА ДСТУ 7806:2015			НВ 190..220	КГ	21.04	Ø175x375			31.56	1		
Обладнання, система ЧПУ		Позначення програми			То	Тд	Тпз	Тшт	СОЖ					
Doosan Puma 4100 LC		-			6.93	2.36	16.00	7.13	Емульсія 2-5% НГЛ-205					
Р			ПИ	Д или В, мм	L, мм	t, мм	i	S, мм/об	п, об/хв	V, м/хв				
Установ А														
О 01	1. Встановити, закріпити та зняти заготовлю										0.5			
Т 02	292210, Патрон Garant 310600 DIN 702-4													
03														
О 04	2. Виконати чорнове точіння, витримавши розміри 2,4,5,7-12										0.3			
Т 05	281110, Різець PCSNR 2020К9 CNMG 120912 НВ 7110; 411000, ШЦЦ-I-300-0,1 ДСТУ 166:2009													
Р 06		1	110	310	2.0	0.3	490	158						
07														
О 08	3. Виконати чистове точіння, витримавши розміри 2,4,5,7-12										0.3			
Т 09	281110, Різець PCSNR 2020К9 CNMG 120412 WIPER НВ7020; 411000, ШЦЦ-I-300-0,1 ДСТУ 166:2009													
Р 10		1	110	300	0,9	0.18	550	162						
11														
О 12	4. Точити канавку, витримавши розмір 6										0.1	0.2		
Т 13	281220, Різець SFGB32-3; Пластина SFC 3 TT9080; 414000, ШЦЦ-I-300-0,1 ДСТУ 166:2009													
Р 14		1	50	20	12.5	1	0.20	490	100					
15														

ОК

							02070743.10140.00001	2		
					ТММ.131-ОНМП.22.01.ТД		02070743.60140.00001	05		
Р		ШИ	Д или В, мм	L, мм	t, мм	i	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	
01	5. Точити канавку, витримавши розмір 6							0.1	0.45	
02	281220, Різець SFGB32-3. Пластина SFJ 3 TT9080; 414000, ШЦЦ-I-300-0,1 ДСТУ 166:2009									
03		1	50	20	1.5	1	0.08	500	120	
04										
05	6. Точити канавку, витримавши розміри							0.1	0.45	
06	281220, 281220, Різець SFGB32-3; Пластина SFC 3 TT9080; 414000, ШЦЦ-I-300-0,1 ДСТУ 166:2009									
07		1	109	10	1	1	0.2	490	100	
08										
09	7. Нарізати різьблення (M64x6g), витримавши розміри 7,8,9							0.12	0.3	
10	281410, Різець SER 2525 M22 22ER 6.00 ISO TT7010; 414000, Калібр 8221-0189 ГОСТ 17756-72									
11		1	64	40	2	1	2.0	150	55	
12	Установ Б									
13	1. Точити, витримавши розміри 1,2							0.1	0.4	
14	281110, Різець PCSNL 2020K9 CNMG 120912 HB 7110; 411000, ШЦЦ-I-300-0,1 ДСТУ 166:2009									
15		1	175	60	2	1	0.3	490	158	
16										
17										
18										
19										

ОК

				02070743.60146.00001		2	1
Розроб	Болкарьов			НТУ «ДП»	ТММ.131-ОНМП.22.01.ТД	02070743.20140.00001	
				Вал-шестерня			10
Н. контр.						1	05



KE

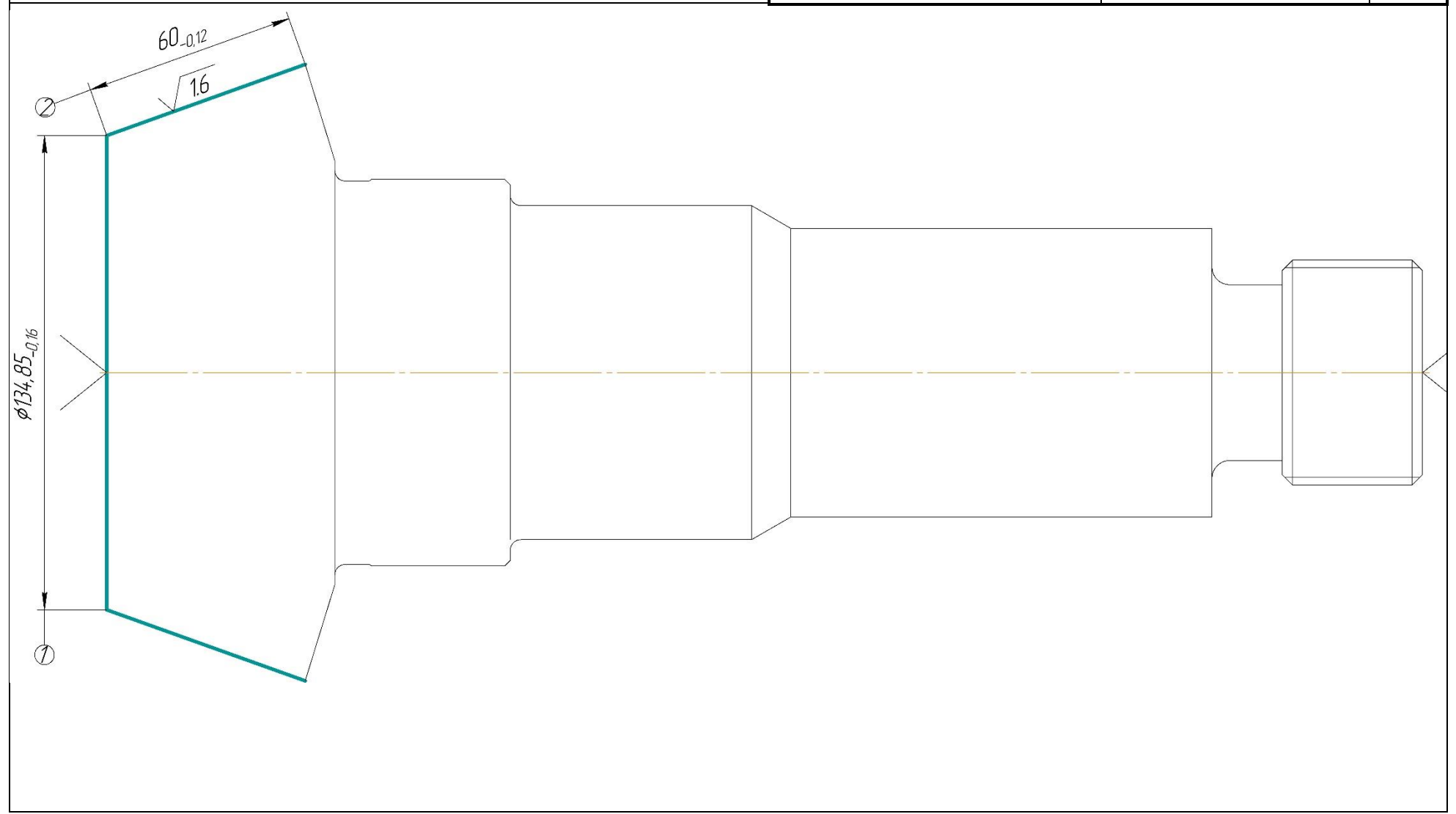
02070743.60140.00001

2

ТММ.131-ОНМП.22.01.ГД

02070743.20140.00001

05

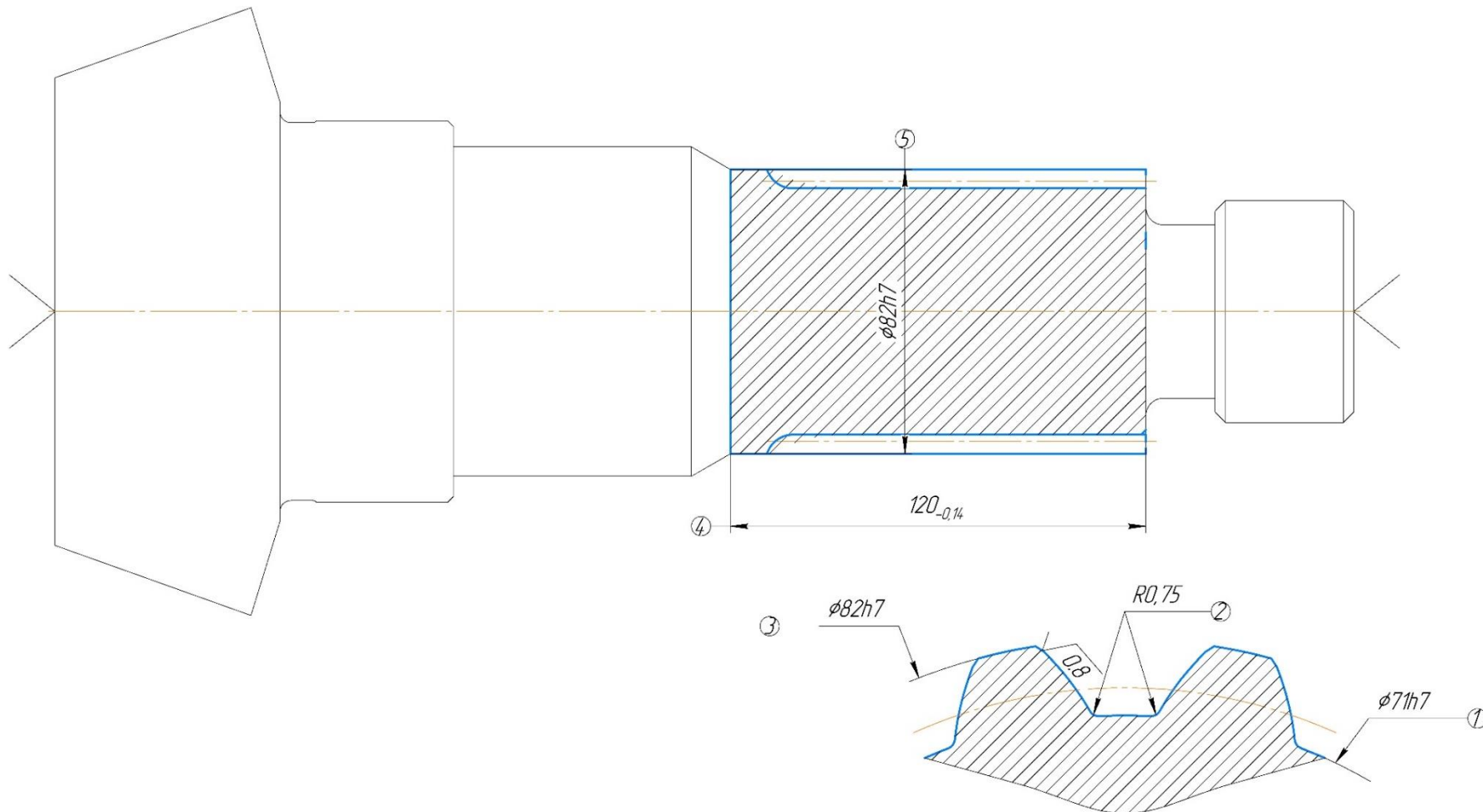


КЭ

										02070743.10140.00002	1	1	
Розроб	Болкарьов			НТУ ДП	ТММ.131-ОНМП.22.01.ТД					02070743.60140.00002			
Н. контр.													
Вал – шестерня										10	2	2	10
Найменування операції			Матеріал		Твердість	ОВ	МД	Профіль та розміри			МЗ	КОВД	
Фрезерувальна			12ХНЗА ДСТУ 7806:2015		НВ 190..220	КГ	21.04	Ø175x375			31.56	1	
Обладнання, система ЧПУ			Позначення програми		То	Тд	Тпз	Тшт	СОЖ				
Doosan Puma 4100 LC			-		6.34	1	18.3	7.51	Емульсія 2-5% НГЛ-205				
Р					ПИ	Д или В, мм	L, мм	t, мм	i, мм	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	
О 01	1.Фрезерувати шліці, витримавши розміри 1-5										1		
Т 02	282284, Фреза 2520-0686 5.0 А ГОСТ 6637-80;Кільце 1-82x5xh7 ГОСТ 24969-81												
Р 03					1	82	108	11	1	0.05	400	110	
04													
05													
06													
07													
08													
09													
10													
11													
12													
13													
14													

ОК

				02070743.10140.00002		1	1
Розроб	Болкарьов			НТУ «ДП»	ТММ.131-ОНМП.22.01.ТД	02070743.60140.00002	
				Вал-шестерня			10
Н. контр.						2	10

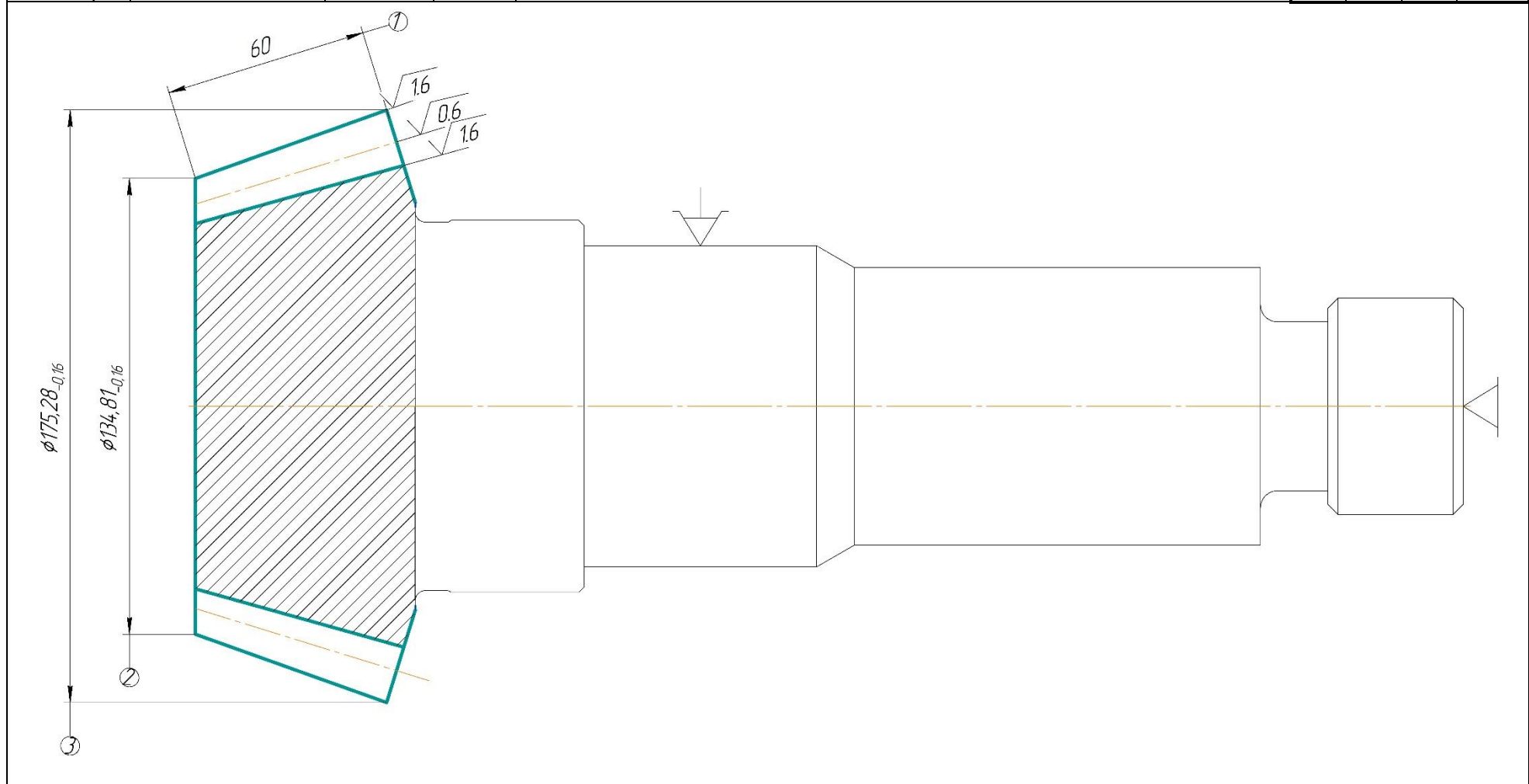


КЭ

										02070743.10140.00003		1	1
Розроб	Болкаръов			НТУ ДП	ТММ.131-ОНМП.22.01.ТД					02070743.60140.00003			
Н. контр.				Вал-шестерня					10	3	3	15	
Найменування операції		Матеріал			Твердість	ОВ	МД	Профіль та розміри			МЗ	КОВД	
Зубонарізна		12ХНЗА ДСТУ 7806:2015			НВ 190..220	КГ	21.04	Ø175x375			31.56	1	
Обладнання. система ЧПУ		Позначення програми			То	Тд	Тпз	Тшт	СОЖ				
Gleason Phoenix 280C		-			20.2	1.55	12	21.39	Емульсія 2-5% НГЛ-205				
Р			ПШ	D или B, мм		L, мм	t, мм	i	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв		
О 01	1. Встановити, закріпити та зняти деталь												
Т 02	292210, Патрон Garant 310600 DIN 702-4												
03													
О 04	2. Попередньо нарізати зубці, витримавши розміри												
Т 05	283141, Збірна зубонарізна головка Ø200 ГОСТ 11902-77												
Р 06				176	65	10	1	1.2	-	32			
07													
О 08	3. Остаточньо нарізати зубці, витримавши розміри												
Т 09	283141, Збірна зубонарізна головка Ø200 ГОСТ 11902-77												
Р 10				176	65	5	1	0.8	-	50			
11													
12													
13													
14													

ОК

				02070743.10140.00003		1	1
Розроб	Болкарьов			НТУ «ДП»	ТММ.131-ОНМП.22.01.ТД	02070743.60140.00003	
Н. контр.				Вал-шестерня			10 3 3 15

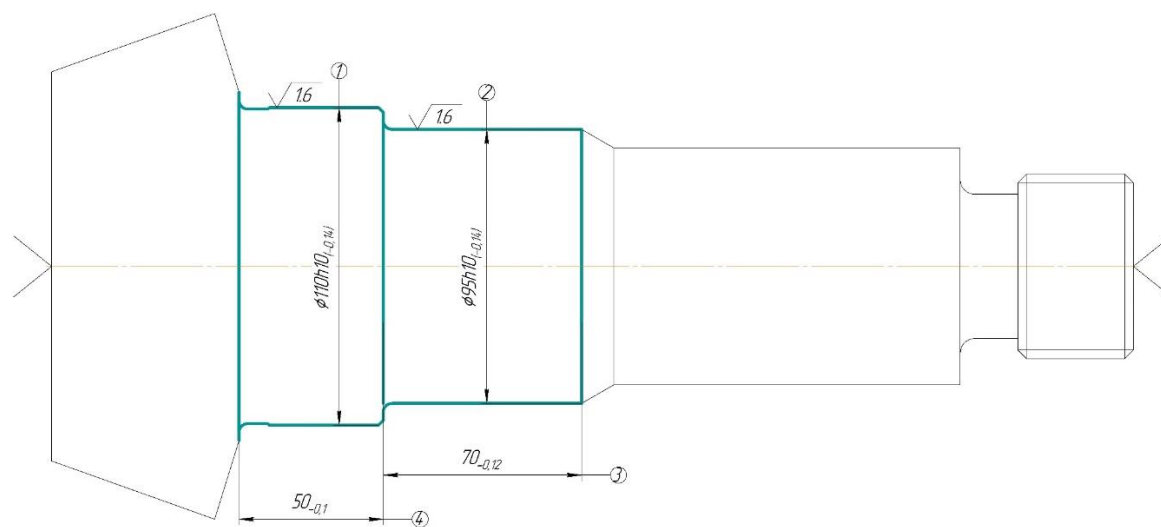


КЭ

										02070743.10140.00005		1	1				
Розроб	Болкаръов			НТУ ДП	ТММ.131-ОНМП.22.01.ТД					02070743.60140.00005							
										Вал –шестерня				10	5	5	25
Н. контр.																	
Найменування операції				Матеріал			Твердість	ОВ	МД	Профіль та розміри			МЗ	КОВД			
Шліфувальна				12ХН3А ДСТУ 7806:2015			НВ 190..220	КГ	21.04	Ø175x375			31.56	1			
Обладнання, система ЧПУ				Позначення програми			То	Тд	Тпз	Тшт	СОЖ						
JHU-2706CNC				-			3.1	0.5	12	3.31	Емульсія 2-5% НГЛІ-205						
Р				ПИ	Д или В, мм	L, мм	t, мм	i	S, мм	п, об/хв	V, м/хв						
О 01	1. Встановити, закріпити та зняти деталь																
Т 02	292150, Центр Garant 320657 DIN 702-4																
03																	
О 04	2. Шліфувати, витримавши розміри 1-4																
Т 05	284110, ПВ 100x10x20 23А 40 С2 К1 ДСТУ ISO 603-1:2019; 411000 ШЦЦ-I-300-0,1 ДСТУ 166:2009																
Р 06				1	110	315	0.3	1	0.003	-	45						
07																	
О 08																	
Т 09																	
Р 10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	

ОК

				02070743.10140.00005		1	1
Розроб	Болкаръов			НТУ «ДП»	ТММ.131-ОНМП.22.01.ТД	02070743.60140.00005	
				Вал-шестерня			
Н. контр.						10	5
						5	25



КЭ

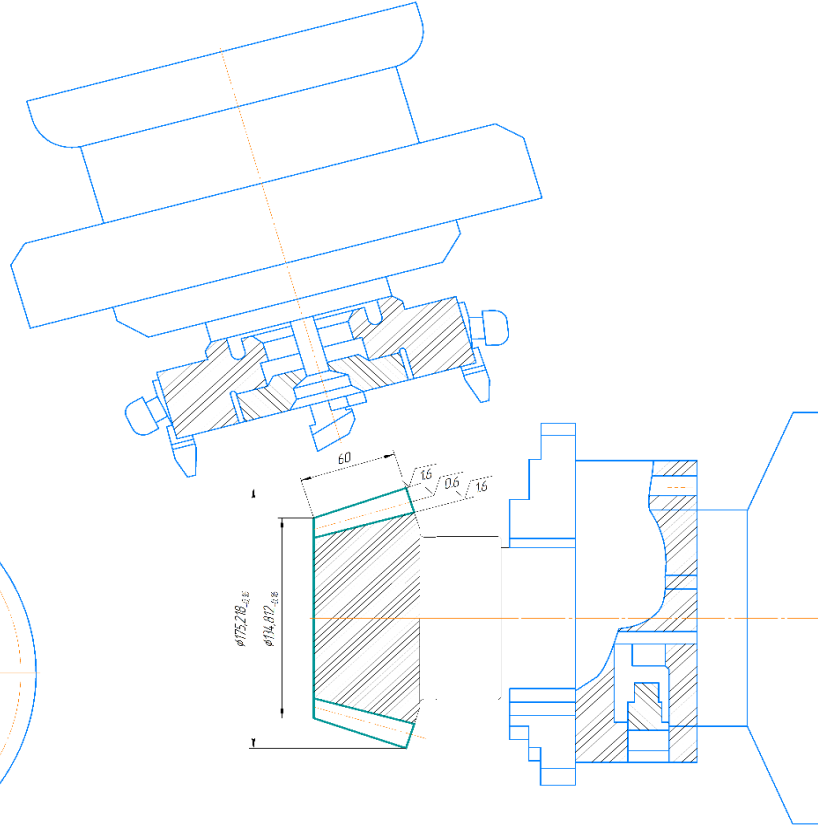
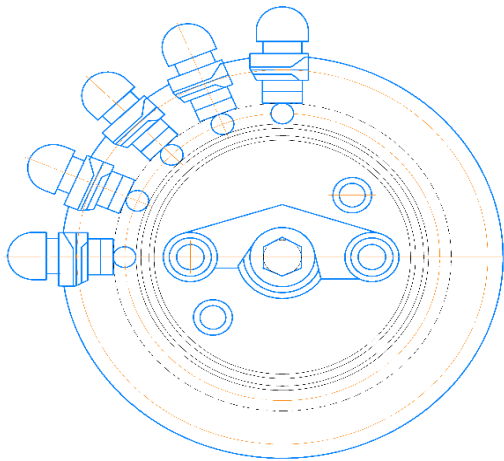
Додаток Е. Карта наладки (операція 15 Зубонарізна)

ТММ.131-ОНМП22.01РК



Додаток Е. Операція 15, Зубонарізна
 Верстат Gleason Phoenix 280C
 $T_0=20.2$ $T_D=1.55$ $T_{ПЗ}=12$ $T_{ШК}=21.39$

Питання		Місцева служба інженерно-технічної підтримки		
Інструмент		Зубна зубонарізна головка #220 GBLT 11902-77		
Допоміжні деталі		Патрону і патрон 1103500 ЛМН 7107 4		
Параметри режиму різання	V _м /хв	S _м /мм/об	f, мм	
	32	1,2	10	
Параметри шкату різальної головки	V _м /хв	S _м /мм/об	f, мм	
	50	0,8	5	



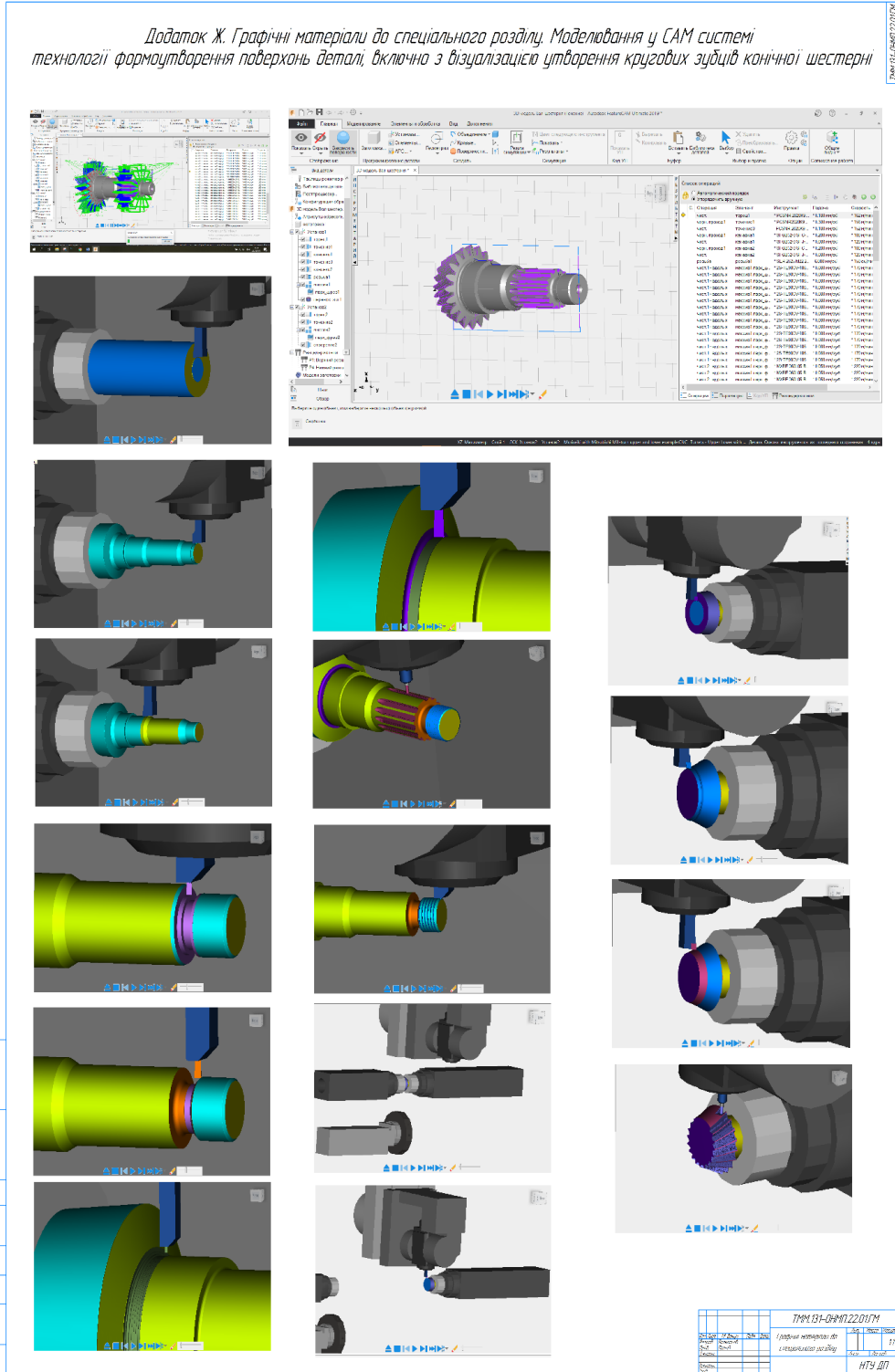
Лист 1 з 1
 Сторінка 1 з 1
 Версія 1.0
 Дата 10.08.2018

ТММ.131-ОНМП22.01РК		Лист		Масштаб	
Інженер	В. Данилюк	Лист	11	Масштаб	1:1
Проєктант	В. Данилюк	Лист	11	Масштаб	1:1
Начальник		Лист	11	Масштаб	1:1
Лист		Лист	11	Масштаб	1:1

Карта наладки
 НТУ ДП

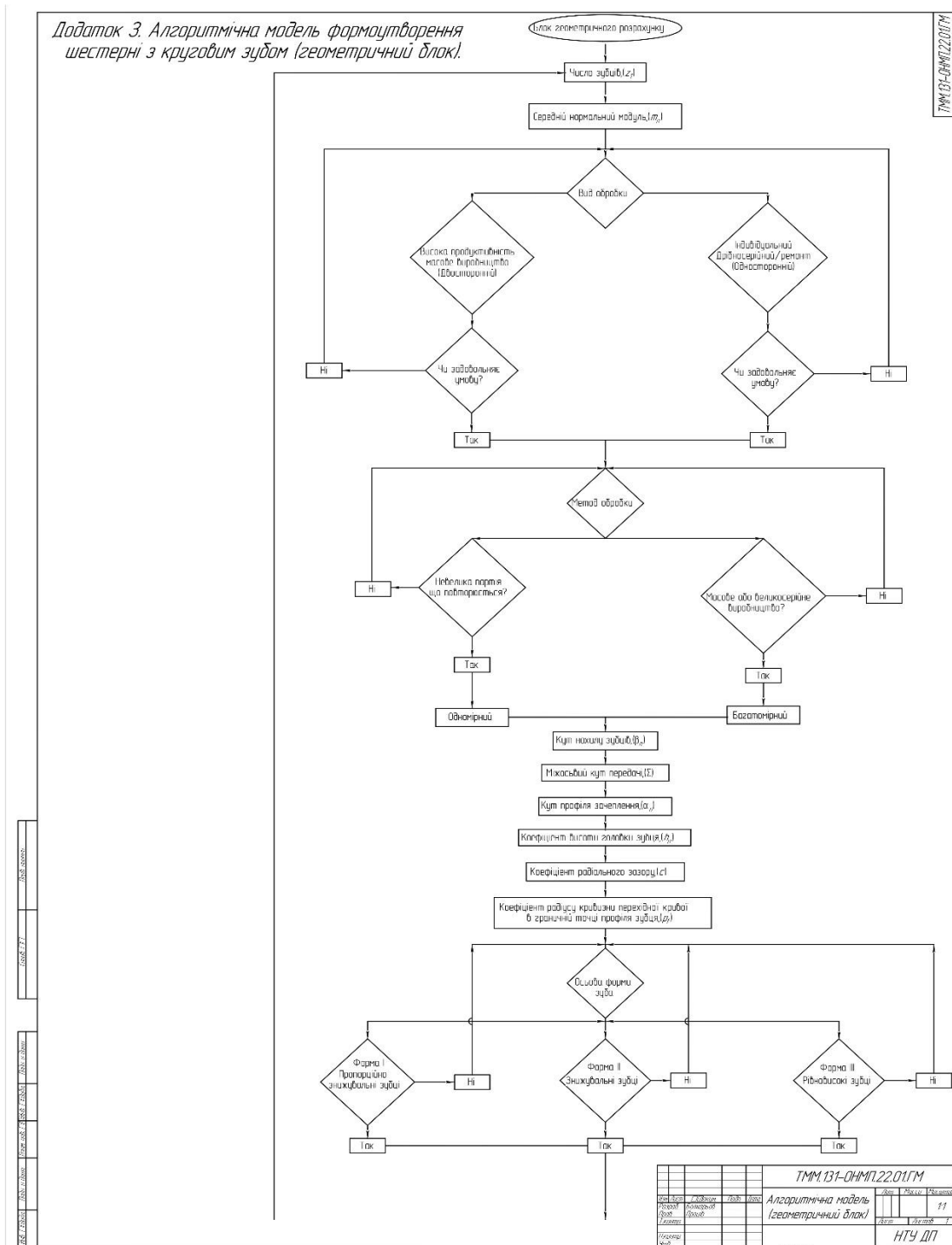
Додаток Ж. Графічний матеріал до спеціального розділу. Моделювання у САМ системі технології формоутворення поверхонь деталі, включно з візуалізацією утворення кругових зубців конічної шестерні.

Додаток Ж. Графічні матеріали до спеціального розділу. Моделювання у САМ системі технології формоутворення поверхонь деталі, включно з візуалізацією утворення кругових зубців конічної шестерні

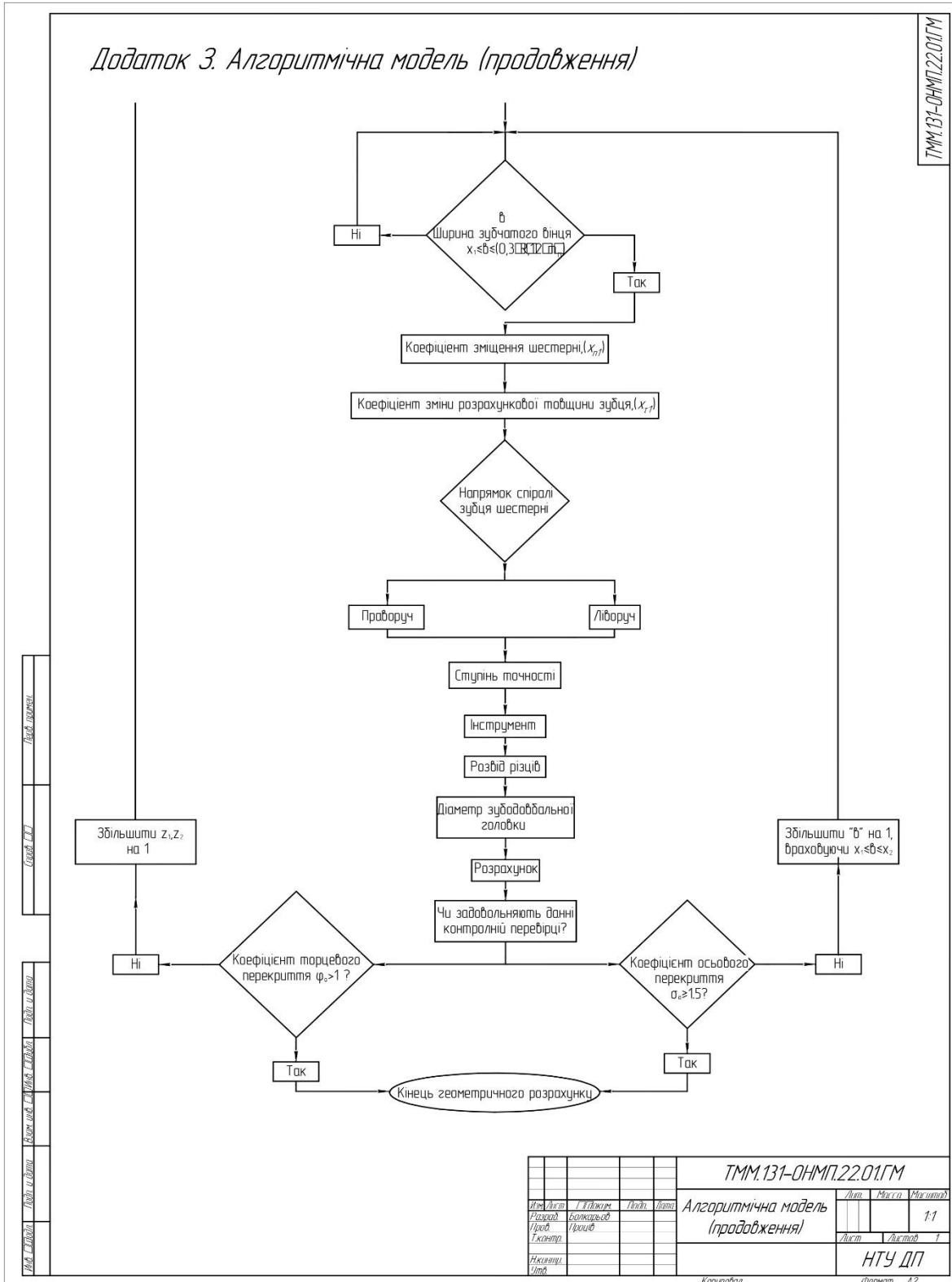


ТНМ 131-0117.22.0171		№	11
№	1	Сторінка	11
№	1	Вид	HTY ДП
№	1	Дата	10

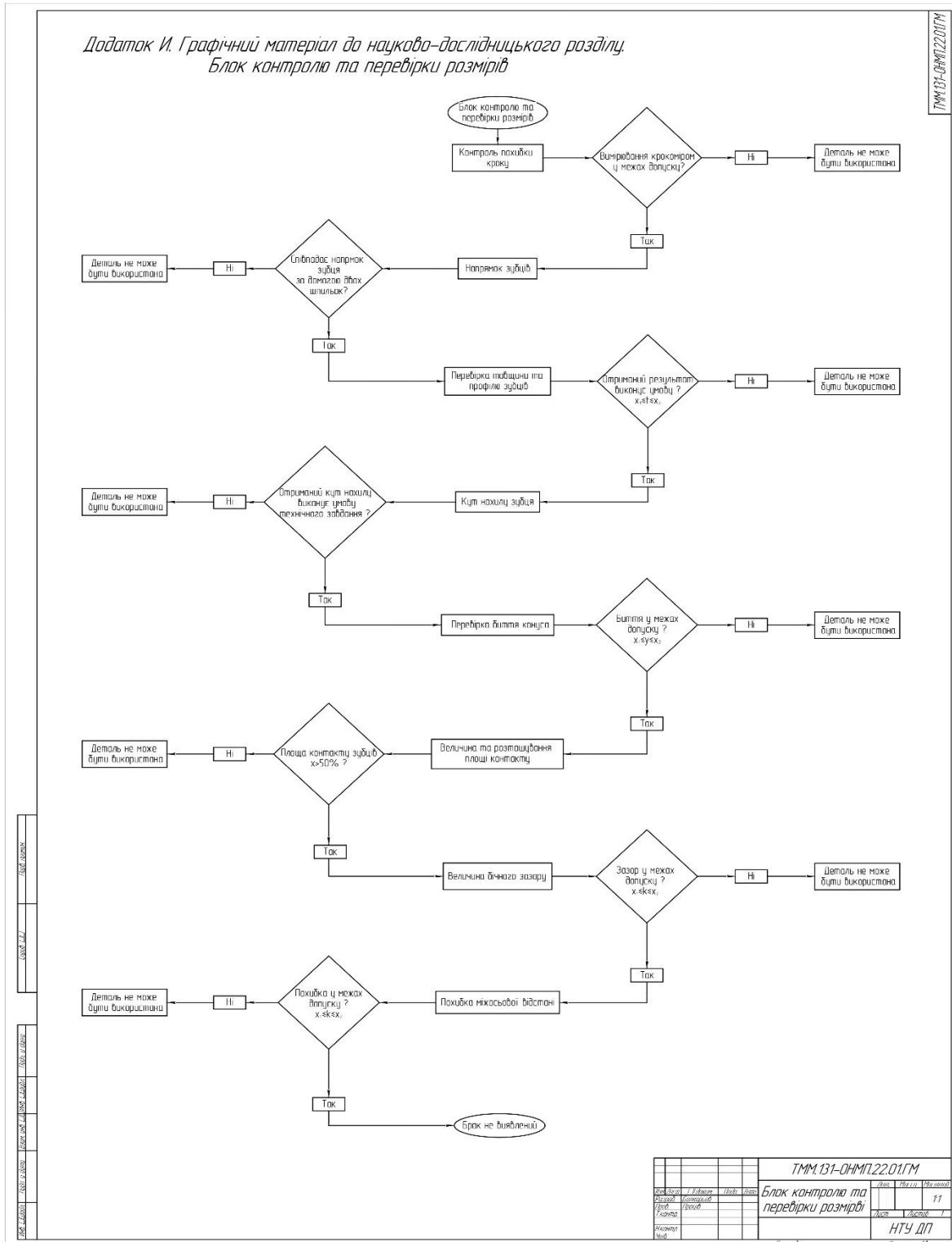
Додаток 3. Графічний матеріал до науково–дослідницького розділу. Алгоритмічні моделі розрахунків та формоутворенням поверхонь зубців з круговим зубом.



Додаток 3. Алгоритмічна модель (продовження)



Додаток И. Графічний матеріал до науково–дослідницького розділу. Блок контролю та перевірки розмірів



Додаток І. Відомість документів кваліфікаційної роботи

Поз.	Фор	Позначення	Найменування	Кіл. арк	Примітки
1					
2			<u>Документація</u>		
3					
4	A4	TMM.131.ОНМП.22.01.	Пояснювальна записка	69	
5	A4	02070743.01140.01302	Комплект документації	14	
6			Презентаційні матеріали		Е-файл
7					
8			<u>Графічні матеріали</u>		
9					
10	A0	TMM.131.ОНМП.22.01.	Вал–шестерня	1	РК
11	A2	TMM.131.ОНМП.22.01.	Вал–шестерня (заготовка)	1	РК
12	A0	TMM.131.ОНМП.22.01.	Наладка технологічна оп05	1	
13	A1	TMM.131.ОНМП.22.01.	Наладка технологічна оп15	1	
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
					TMM.131.ОНМП.22.01
Из	Лис	№ Докум.	Підп	Дата	
Розроб.	Болкарьов				Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи
Керівни	Проців				
Н.контр.					
Утв.					
					Лит
					Лис
					Листі
					НТУ «ДП»

Додаток І. Відгук керівника кваліфікаційної роботи