

Хмельницький національний університет

Факультет: інженерії транспорту та архітектури

Кафедра: Технології машинобудування

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи магістра

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

на тему: Ремонт механізму регулювання положення крісла автомобіля Jaguar  
X-Туре із розробленням технології виготовлення деталі черв'ячне колесо

Виконав студент групи ПМТм-20-1 \_\_\_\_\_ (А.А. Осядлий)

Керівник магістерської роботи: \_\_\_\_\_ (В.П. Ткачук)

До захисту допускаю:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_ (В.П. Ткачук)

\_\_\_\_\_ 2021\_р.

Хмельницький – 2021 р.

## Анотація

Тема роботи: Ремонт механізму регулювання положення крісла автомобіля Jaguar X-Туре із розробленням технології виготовлення деталі черв'ячне колесо

Пояснювальна записка містить 91 сторінку і додатки (специфікації складальних креслень, комплект технологічної документації), графічна частина проекту складається з 9 листів формату А1.

Згідно із завданням необхідно було розробити план ремонту підйомного механізму крісла із розробленням технологічного процесу виготовлення деталі черв'ячне колесо.

В пояснювальній записці приводяться всі необхідні розрахунки, вона містить всі необхідні розділи і повністю відповідає встановленим вимогам.

У загальному розділі проекту проводиться аналіз технічних умов, виходячи із службового призначення виробу, етапи автоматизованого моделювання червячного колеса в САD Компас. формується план роботи та задачі, яка вирішується в подальших розділах проекту.

У технологічній частині проекту проводиться вибір оптимального виду заготовки, встановлюється необхідна кількість переходів для обробки кожної поверхні, визначається оптимальна структура технологічного процесу, який детально розробляється.

Розроблено пристрої для закріплення деталі на фрезерувальні операції та для контролю торцевого биття.

У науковому розділі

Розроблено заходи з охорони праці.

Автор проекту: Осядлий А.А.

2021 р.

/Підпис/ Дата



## Зміст

ВСТУП	7
1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Стан питання і постановка задачі дипломної роботи. ....	8
1.2 Види несправностей та їх причини. ....	8
1.3 Розроблення плану ремонтних робіт. ....	11
1.4. Створення робочого креслення черв'ячного колеса.....	14
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	22
2.1 Аналіз технологічності конструкції.....	22
2.2 Визначення типу та організаційної форми виробництва.....	23
2.3 Обґрунтування вибору варіантів заготівлі .....	25
2.4 Вибір технологічних баз.....	26
2.5 Розрахунок і визначення проміжних припусків .....	27
2.6 Вибір металорізального інструменту та режимів різання .....	29
2.7 Розроблення технологічного маршруту обробки деталі.....	33
2.8 Розробка керуючої програми .....	36
3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ .....	41
3.1 Проектування зубофрезерного пристосування.....	41
3.1.1 Розробка та вибір схем базування і установки .....	41
3.1.2 Розрахунок зусилля закріплення .....	43
3.1.3 Розмірне моделювання та аналіз конструкції пристосування на точність.....	46
3.1.4 Технічні характеристики конструкції розробленого пристосування .....	47
3.2 Проектування контрольного пристосування.....	48
3.2.1 Розрахунок пристрою на точність.....	49
3.3.2 Опис конструкції і роботи пристрою.....	50
4 ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ .....	51

4.1 Вплив якості оброблення обертових деталей на експлуатаційні властивості машини .....	51
4.2. Чисельний підхід до визначення контактних ліній черв'ячної передачі .....	61
4.3. Визначення координат точок профілю витка черв'яка в перерізі, паралельному його осі .....	63
4.4 Визначення координат точки контакту перерізу черв'яка з торцевим перерізом черв'ячного колеса.....	69
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА .....	75
5.1 Умови праці на робочих місцях .....	75
5.2 Опалення і вентиляція .....	80
5.3 Розрахунок штучного освітлення.....	81
ВИСНОВКИ .....	83
Перелік літературних посилань.....	84
Додатки .....	85

## ВСТУП

Одним з найважливіших завдань у галузі експлуатації автомобільного парку є подальше вдосконалення організації технічного обслуговування та поточного ремонту автомобілів з метою підвищення їх працездатності та водночас зниження витрат на експлуатацію. Актуальність зазначеного завдання підтверджується і тим, що на технічне обслуговування автомобіля витрачається у багато разів більше праці та коштів, ніж його виробництво. В даний час на базі науково-технічного прогресу отримує розвиток перевірена багаторічним досвідом планово-попереджувальна система технічного обслуговування і ремонту рухомого складу лісопромислового комплексу в цілому. Як в області організації автомобільних перевезень, так і в галузі технічної експлуатації автомобілів починають застосовуватися різні економіко-математичні методи аналізу, планування та проектування. Все ширше розробляються та впроваджуються нові методи та засоби діагностування технічного стану та прогнозування ресурсів безвідмовної роботи автомобілів. Створюються нові види технологічного обладнання, що дозволяють механізувати, а в ряді випадків і автоматизувати трудомісткі операції з обслуговування та ремонту рухомого складу. Розробляються сучасні форми управління виробництвом, які розраховані застосування електронно-обчислювальних машин з подальшим переходом на автоматизовану систему управління. За все зростаючого насичення народного господарства автомобілями сучасна система господарювання передбачає нові структурні підрозділи автомобільного транспорту – автокомбінати та виробничі об'єднання, ремонтно-обслуговуючі бази, які потенційно сприяють переходу на централізоване виробництво обслуговування та ремонту автомобілів. Найважливішим завданням у будь-якому господарстві є організація технічного обслуговування та поточного ремонту автомобілів. Цій актуальній темі присвячується дипломна робота.

# 1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1 Стан питання і постановка задачі дипломної роботи

У ремонтний бокс Toyota Центр «Гранд Мотор» поступив автомобіль Ягуар X-type із неробочим регулюванням сидіння водія по висоті.

Як відомо, на заводі у черв'ячному редукторі механізму регулювання встановлюється пластикове черв'ячне колесо на якому ламаються зубці. Зубці колеса руйнуються при частому використанні і при сидячій людині з великою вагою, а також і через те, що при безперервному використанні підйом і спуск 4-5 разів вона нагрівається і ламаються зуби.

При натисканні клавiш електроприводу звук двигуна чутний, але сидіння не підіймається і не опускається. дана проблема була взята за основу магістерської роботи і на її основі були сформульовані наступні задачі:

1. ідентифікувати причину непрацездатності вузла
2. розробити план ремонту
3. розробити конструкцію пошкодженої деталі
4. виконати аналіз наукових досліджень з метою удосконалення конструкції
5. розробити технологію виготовлення пошкодженої деталі
6. розробити спеціальний контрольний пристрій та металоріжучий інструмент.

## 1.2 Види несправностей та їх причини

Несправності в черв'ячному редукторі можуть бути виражені таким чином:

Протікання. Під час роботи спостерігається великий витік олії, внаслідок зносу сальника.

Несправність передачі. У механізмі може спостерігатись люфт, що порушує продуктивність обладнання

Пробуксування механізму. Редуктор, за збереження початкових налаштувань незмінними, починає періодично буксувати – працює з періодичними зупинками, чи ривками.

Високий рівень шуму. Звук, що видається редуктором під час роботи, вищий за допустимі значення.

Витік мастила. Можлива як у місці, де вмонтовані сальники, так і під кришкою механізму

Перегрів обладнання. Редуктор після тривалої роботи нагрівається довше, ніж звичайно. Найчастіше, у місці, де встановлені підшипники

Це є головними ознаками несправності. Причиною таких може бути знос двигуна, або інші причини: Пробки та віддушини встановлені неправильно, що призводить до порушення циркуляції повітря та перегріву механізмів.

Головне колесо зношене. Як основний механізм подачі енергії у вхідний та вихідний вал, головне черв'ячне колесо відповідає за стабільну роботу редуктора. Причиною зносу може бути стирання його граней і втрата герметичності від тертя, що виникає через несвоєчасну обробку Зношування підшипників. Ознаки такого можна визначити по корпусу, що сильно нагрівається під час роботи механізму.

Неправильне встановлення кришок на редукторі. Також до поломок може призвести погане закріплення: всередину двигуна потрапляють частки пилу та води, а також витікає масло, що використовується для забезпечення роботи та мастила коліс.

Неправильне налаштування потужностей. Кожен редуктор має рекомендовану межу. Перевищення рекомендованих показників може призвести до передчасного зносу Існує також ряд інших причин, але вони набагато рідше призводять до поломки редуктора. При виявленні будь-яких недоліків можна або замінити редуктор на новий, або провести самостійну діагностстику та ремонт механізму, що обійдеться дешевше за послуги майстра, або покупки нового обладнання.

Усунення несправностей

Для кожної причини є свій спосіб ремонту.

1. Неправильна установка сапунів та пробок При самостійному збиранні редуктора можливі подібні поломки. Посколення циркуляція повітря утруднена, масло нагрівається до межі, і це призводить до перегріву обладнання. Крім того, віддушина, що знаходиться нижче за рівень масла, перешкоджає його вільному виходу після згоряння. Масло протікає, а мастило не обробляє механізми належним чином. Це призводить до загинання хвостової частини хробака. В цьому випадку потрібно зібрати редуктор, як зазначено на схемі, а черв'яка виправити за допомогою токарного верстата, якщо розміри редуктора дозволяють проводити такі операції.

2. Черв'яковий люфт Коли черв'ячної парі з'являється люфт, це призводить до зносу головного, або додаткових коліс. Таким чином, для повернення редуктору справного стану, потрібна заміна зношених коліс. Якщо редуктор відноситься до типу двоступінчастих, його потрібно розбирати на дві частини. Якщо ви виявили проміжок між черв'яком і колесами передачі, слід скоротити його до мінімуму. Зробити це можна за допомогою зсувів бічних кришок. При таких операціях рекомендується періодично запускати механізм у тестовому режимі. Якщо колеса обертаються на нормальній швидкості, неполадка усунена. Слід враховувати той факт, що при первинному запуску редуктора підшипники можуть просадити колеса і утворити зазор. У цьому випадку він усувається за допомогою установки або заміни гумових прокладок під кришками.

3. Робота уривками, або шум усередині механізму Подібні несправності при зносі підшипників. В цьому випадку потрібна їхня негайна заміна. Виникнути несправність може внаслідок забруднення механізмів, або

4. Протікання олії Причина в такій несправності найчастіше виявляється у поганій герметизації кришки. Для виправлення неполадок потрібно затягнути тугіше болти, гайки або мечники. Також можна вибрати інший спосіб герметизації кришок редуктора.

5. Перегрів редуктора Можливий при недостатньому мастилі. Також причиною може бути неправильне перетягування кришки. У цьому випадку потрібно додати мастила або перевстановити кришку. Також при будь-яких причинах поломки та після закінчення ремонту, потрібно прочистити механізми та змінити масло.

### 1.3 Розроблення плану ремонтних робіт

Для вирішення проблеми непрацездатності механізму регулювання була розроблена інструкція, як порівняно просто можна відремонтувати механізм регулювання.

1. Від'єднуємо мінусову клему з акумулятора, головка 10. Інакше, як стверджує інструкція, при від'єднанні роз'ємну під сидінням, може статися несанкціоноване спрацювання піропатронів та подушок безпеки.

2. Від'єднуємо роз'ім. На блоці з проводами від подушок і т. д. під сидінням є болт головки на 6, його відкручуємо і витягуємо частину блоку з проводами. Потім натиснувши на пластикову клямку витягуємо 2 частину блоку (від'єднуємо повністю від сидіння).

3. Крісло, до упору, вперед.

4. Вигвинчуємо чотири болти заднього кріплення крісла, головка 10.

5. Крісло до упору назад.

6. Відвертаємо два болти переднього кріплення сидіння, головка 10.

7. Спинку крісла крутимо баранець щоб воно до упору лягло вперед і кладемо крісло на спинку, можна витягнути крісло з дверей так щоб блок який потрібно було зняти був до вас передом.

8. Демонтуємо вузол підйому.

Розбирання червячного редуктора.

1. Відвернувши три саморізи, знімаємо кришку редуктора. Головка на 6.35 (1/4 дюйма).

2. Відокремлюємо від редуктора вузол переміщення.

3. Дістаємо із порожнини редуктора відламані зуби. Як правило, їх три.

4. Відмиваємо в гасі або уайтспіриті редуктор, наносимо нове мастило (будь-яке консистентне) і забуваємо про нього до складання.



Рисунок 1.1 - Демонтоване сидіння автомобіля Ягуар X-тупе



Рисунок 1.2 – Механізм регулювання

5. З боку зворотної шестерні, видаляємо стопорне та завязе кільця. Стопорне – пружинне розрізне кільце. Його треба підчепити, чимось на зразок шила. На місце при складанні, воно встановиться легко, так як хвостовик гвинта має форму конуса.

6. Викручуємо з кронштейна ходовий гвинт.

7. Знімаємо з нього обмежувальну шайбу, запірну редуктора та завязу шестірни (всього три) шайби.

Щоб витягнути обмежувальну шайбу потрібно витягнути з неї стопорне кільце, а далі вона просто зніметься. Підчепити це маленьке стопорне колечко не так просто, але можливо. Тепер можна прогнати черв'яка щоб переконатися в цілісності валу і відсутності задирів. У нас був невеликий задир у верхній частині (можливо саме це і посприяло поломці червячного колеса).



Рисунок 1.3 – Зруйновані зубці червячного колеса

8. Молотком і зубилом, на лещатах, розбиваємо шестерню.



Рисунок 1.4 – Розбите пластикове черв'ячне колесо

Виконавши аналіз вузла встановлено, що причиною непрацездатності було зруйноване черв'ячне колесо. тому наступним етапом було створення робочого його робочого креслення.

#### 1.4 Створення робочого креслення черв'ячного колеса

Для створення робочого креслення черв'ячного колеса і 3D моделі був використаний пакет Компас.

Черв'якові передачі бувають із циліндричними архімедовими, циліндричними евольвентними, циліндричними конволютними та увігнутими глобоїдними черв'яками. Тут буде розглянута черв'ячна передача, що набула найбільш широкого поширення, з архімедовим черв'яком.

Для уніфікації (мінімізації номенклатури) зубонарізного інструменту та підвищення взаємозамінності черв'яків та коліс значення міжосьових відстаней  $a_w$  та номінальних значень передавальних чисел  $u$  черв'ячних передач регламентуються ДСТУ 2458-94, а значення модулів  $m$  та коефіцієнтів діаметра черв'яка  $q$  - ДСТУ 1.

Черв'яки традиційно виготовляють із загартованої конструкційної сталі, а зубчасті вінці коліс – найчастіше із бронзи або чавуну.

Матеріали черв'яка поділяють на групи: 1) нетермооброблювані; Найбільш застосовуваний матеріал - сталь 18ХГТ, твердість поверхні після цементації та загартування 56...63 НRC, Використовують також сталі 40Х, 40ХН, 35ХГСА з поверхневим загартуванням до твердості 45...55 НRC. У всіх цих випадках необхідні шліфування та полірування черв'яка. Застосування азотованих сталей 38Х2МЮА, 38Х2Ю дозволяє виключити шліфування хробака. Мало- та середньовуглецеві леговані сталі марок 20Х, 12ХН3А, 25ХГТ, 38ХМЮА застосовують для черв'яків високонавантажених передач, що працюють у реверсивному режимі. Черв'яки покращені та без термообробки застосовують лише у допоміжних малонавантажених передачах.

Черв'ячне колесо зазвичай виконують складовим: вінець – з антифрикційних відносно дорогих і маломіцних матеріалів; центр – із сталі; при невеликих навантаженнях – із чавуну. Матеріали вінців черв'ячних коліс поділяють на групи (у порядку зниження опірності заїданню та посиленому зносу); 1) олов'янисті бронзи (БРО10Ф1, БрО10Н1Ф1, Бр05Ц5С6 та ін); 2) безолов'янисті бронзи та латуні (БрА9Ж3Л, БрА10Ж4Н4Л, ЛАЖМц66-6-3-2 та ін.); 3) чавуни (СЧ15, СЧ20 та ін.). Чим вище вміст олова в бронзі, тим вона дорожча, але тим вище опір заїдання.

При виборі матеріалу колеса орієнтуються на очікувану швидкість  $v_s$  ковзання в зачепленні, м/с:

$$v_s = 0,45 \cdot 10^{-3} \cdot n_1 \cdot \sqrt[3]{T_2}$$

де,

$s$  – швидкість ковзання, м/с;  $n_1$  – частота обертання черв'яка,  $\text{хв}^{-1}$ ;  $T_2$  – крутний момент на черв'ячному колесі, Н·м.

Рекомендується застосовувати:

- БрО10Н1Ф1 при  $v_s < 25$  м/с;

- БрО10Ф1 при  $v_s < 12$  м/с;

- Бр05Ц5С5 при  $v_s < 8$  м/с;
- БрА9Ж3Л при  $v_s < 5$  м/с;
- БрА10Ж4Н4Л при  $v_s < 5$  м/с;
- СЧ15 ... СЧ20 при  $v_s < 2$  м/с.

Згідно розрахунків приймаємо матеріал черв'ячного колеса бронза марки Бр05Ц5С6 (ДСТУ ISO 4287:2012).

Найбільш повною програмою для розрахунку черв'ячних передач є бібліотека "Вали та механічні передачі 2D" у КОМПАС-3D. Під час запуску програми можна вибрати розрахунок черв'яка або черв'ячного колеса.

Виконавши необхідні виміри лінійних та діаметральних розмірів, здійснивши підрахунок зубів приступили до автоматичного створення черв'ячного колеса у програмі Компас.



Рисунок 1.5 - Вкладка "Вали та механічні передачі 2D"

При виконанні геометричного розрахунку можна вибрати розрахунок "По коефіцієнту усунення черв'яка" або "По міжосьовій відстані". Вибираємо за коефіцієнтом зміщення. Інакше треба буде вказати бажану міжосьову відстань.

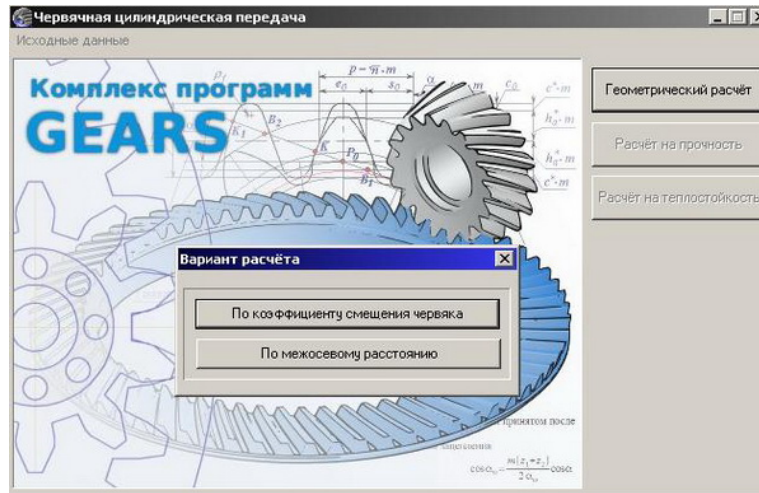


Рисунок 1.6 - Вибір типу розрахунку

У наступному вікні необхідно задати число заходів черв'яка, число зубів колеса, модуль, коефіцієнт діаметра черв'яка, вид черв'яка і т.д.

Наименование и обозначение параметра	Symbol	Value
1. Число витков червяка	$z_1$	
2. Число зубьев колеса	$z_2$	20
3. Модуль, мм	$m$	1.25
4. Коэффициент диаметра червяка	$q$	6.3
5. Вид червяка	—	ZA
7. Межосевое расстояние, мм	$a_w$	16.4375
7. Угол профиля зацепления, °	$\alpha_x$	20 ° 0' 0"
8. Коэффициент высоты головки витка червяка исходного контура	$h_{a1}^*$	1
9. Коэффициент радиального зазора у поверхности впадин червяка	$c_1^*$	0.2
10. Коэффициент радиального зазора исходного контура червячного колеса	$c_2^*$	0.2
11. Коэффициент расчетной толщины витка червяка	$s^*$	1.570796
12. Коэффициент радиуса кривизны переходной кривой витка червяка	$\rho_{\Gamma 1}^*$	0.3
13. Коэффициент радиуса образующей дуги окружности шлифовального круга	$\rho_{01}^*$	5.4
14. Направление линии витка	—	правое

Рисунок 1.7 - Геометричний розрахунок

Розрахунок можна виконати за модулями з вихідним контуром за, за дрібними модулями за вихідним контуром за ДСТУ 2458-94. Можливе виконання розрахунку і з нестандартними модулем, коефіцієнтом діаметра черв'яка та вихідним контуром.

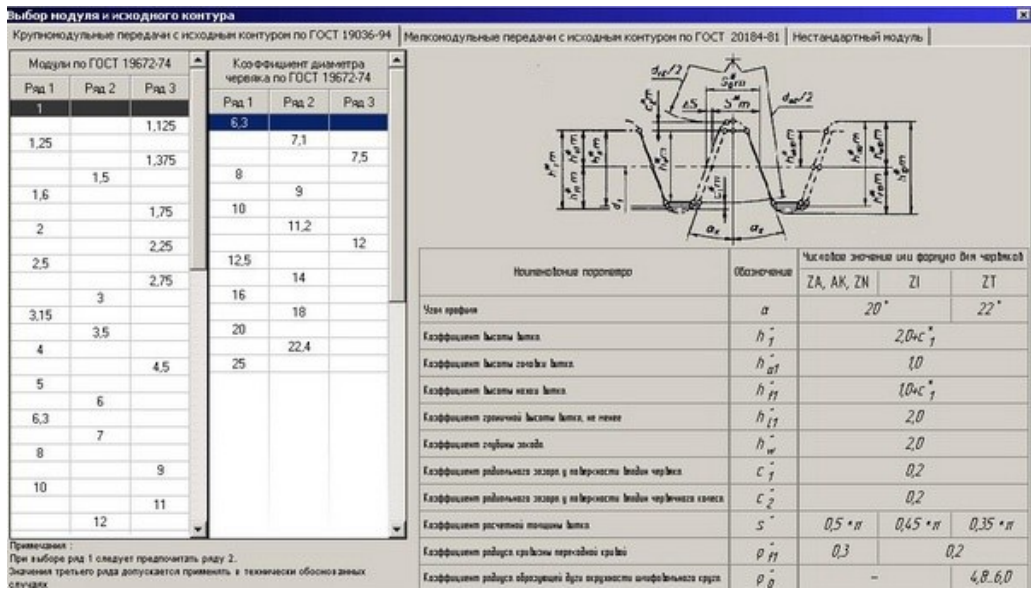


Рисунок 1.8 - Розрахунок по модулю і коеф. діаметра

При коректному введенні даних отримуємо опис контрольованих параметрів та якості зацеплення.

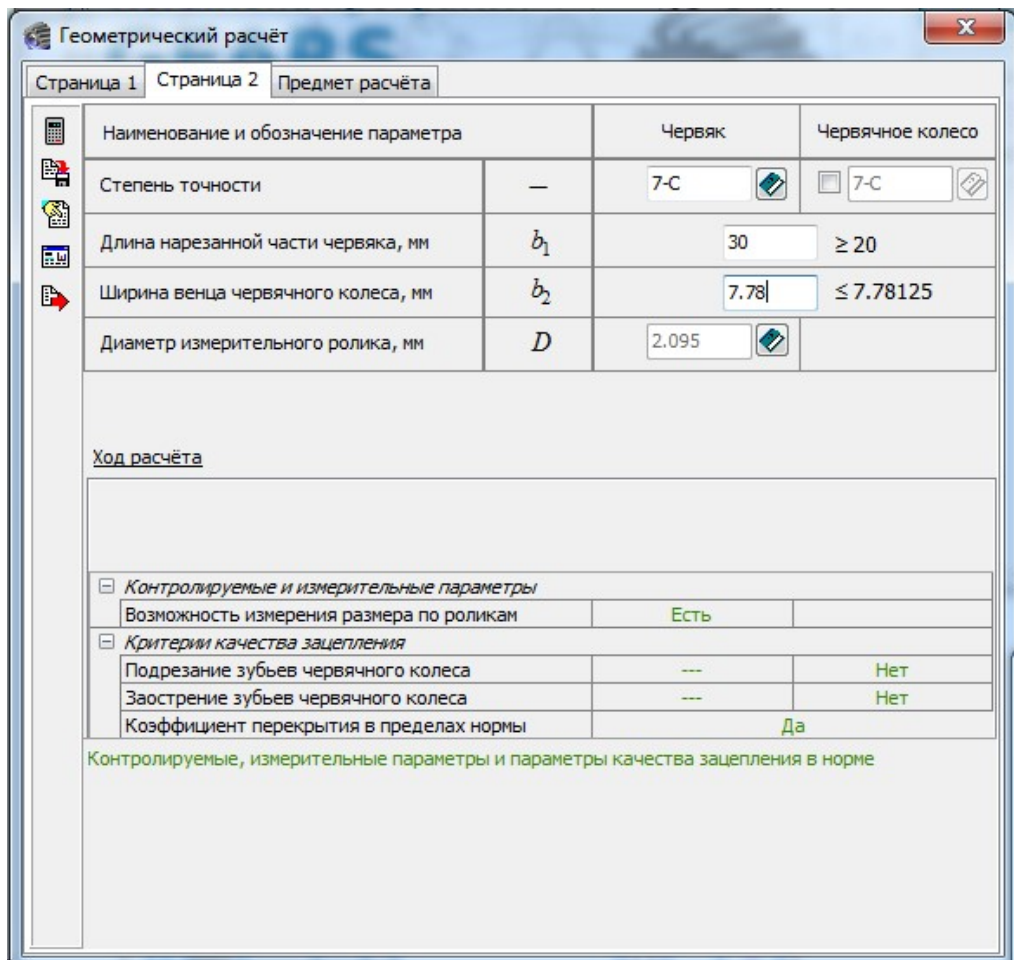


Рисунок 1.9 - Геометричний розрахунок

Також можна переглянути результати розрахунку у вигляді таблиці і навіть її роздрукувати.

Таблица 1. Геометрический расчёт цилиндрической червячной передач

Наименование и обозначение параметра	
<i>Исходные данные</i>	
Число витков (зубьев)	$z_1, z_2$
Модуль, мм	$m$
Козэффициент диаметра червяка	$q$
Вид червяка	—
Исходный контур	—
Угол профиля исходного контура	$\alpha_x$
Козэффициент высоты головки витка червяка исходного контура	$k_{a1}^*$
Козэффициент радиального зазора у поверхности впадин червяка (исходного контура червячного колеса)	$c^*$
Козэффициент расчётной толщины витка червяка	$s^*$
Козэффициент радиуса кривизны переходной кривой витка червяка	$\rho_{fn}^*$
Степень точности	—
Козэффициент смещения червяка	$x$
Направление линии витка	—
<i>Определяемые параметры</i>	
Межосевое расстояние, мм	$a_w$
Передаточное число	$u$
Делительный диаметр, мм	$d$
Начальный диаметр червяка, мм	$d_{w1}$
Делительный угол подъема	$\gamma$

Рисунок 1.10 - Результати геометричного розрахунку

Далі можна здійснити розрахунок на теплостійкість та отримати результат у вигляді таблиці.

За результатами розрахунку формується креслення черв'яка або черв'ячного колеса з усіма необхідними для виготовлення даними згідно з вимогами відповідних ДСТУ.

За результатами розрахунків генеруємо креслення та 3-D модель черв'ячного колеса.

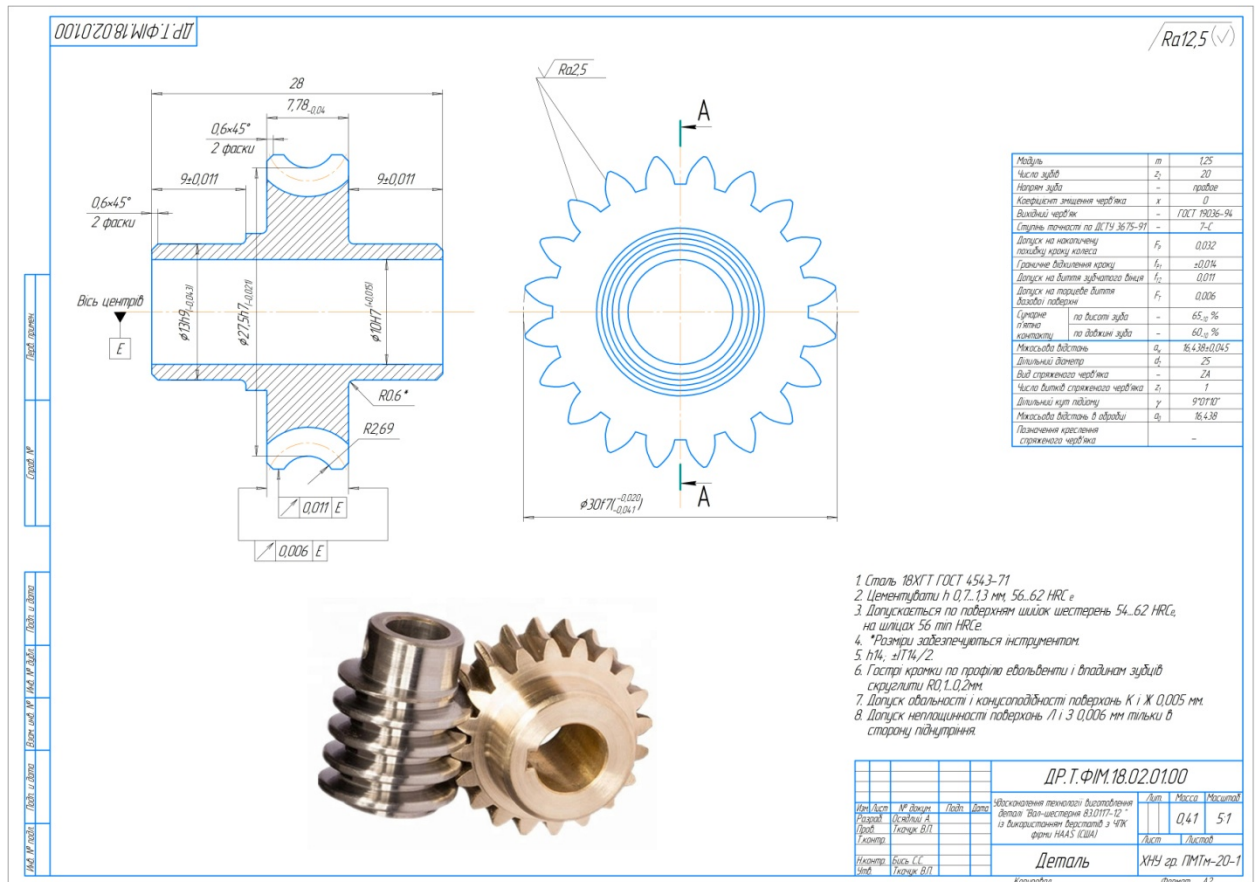


Рисунок 1.11 - Креслення деталі черв'ячне колесо

Аналізуючи креслення черв'ячного колеса, можна відзначити, що поверхні, що є базовими, при встановленні колеса в редуктор оброблені найбільш точно і мають значення допусків на розміри відповідні: у отвору 6 квалітету з шорсткістю Ra 0,63, а у торців ступиці 9 квалітету ,5 Ra, з чого можна зробити висновок, що отримання розмірів, що відповідають цим значенням можна досягти використовуючи верстати нормального класу точності з використанням стандартного інструменту. Виходячи з таблиці параметрів зубчастого колеса, розташованої на кресленні деталі, можна відзначити, що зубчасте колесо має 8 ступінь точності за ГОСТ 3675-81, досягти якого можна використовуючи на операціях зубообробки верстати нормальної точності.

Наступним етапом магістерської роботи було розроблення технологічного процесу та виготовлення деталі черв'ячне колесо.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Аналіз технологічності конструкції

Досконалість конструкції машини характеризується її відповідністю сучасному рівню техніки, економічністю та зручностями в експлуатації, при цьому варто враховувати можливості використання найбільш економічних та продуктивних технологічних методів її виготовлення стосовно заданого обсягу випуску та умов виробництва. Конструкцію машини, у якій ці можливості повністю враховані, називають технологічною. Оцінку технологічності конструкції даної машини, в порівнянні з іншою (кращого вітчизняного або зарубіжного зразка) проводяться, зіставляючи їх трудомісткість, собівартість та матеріаломісткість. Додаткову оцінку проводять за ступенем уніфікації марок матеріалів, уніфікації та нормалізації елементів виробу, раціональності поділу його на конструктивні та технологічні елементи, досягнутому рівню взаємозамінності елементів виробу, масі машини, конструктивної наступності оригінальних деталей та складових частин виробу, шорсткості поверхонь підготовки та освоєння виробництва виробу, а також можливості автоматизації його виготовлення. Вибір показників технологічності проводиться з урахуванням вимог ГОСТ 14.201-73 (забезпечення технологічності конструкції виробу).

Дана конструкція ролику являє собою тіло обертання складене з п'яти концентрично розташованих циліндричних поверхонь. Враховуючи умови праці деталі в вузлах спростити її конструкцію нераціонально; враховуючи технічні умови по термічній обробці матеріал деталі обраний раціонально. У деталі відсутні важкодоступні місця для обробки. У процесі обробки є можливість зміщення установочних, технологічних і вимірювальних баз, а також виконання різноманітних операцій за допомогою одних й тих самих установчих баз. Призначені граничні відхилення розмірів і параметри шорсткості відповідають один одному та не є завищеними. Відхилення від взаємного положення поверхні не є завищені та знаходяться у межах

геометричних похибок металорізальних верстатів нормальної точності. Є можливість безпосередньо контролювати задані на креслені розміри, що дозволяє використовувати для контролю розмірів калібри та шаблон.

Виконуємо кількісний аналіз. Визначаємо коефіцієнт точності деталі

$$K_{TO} = 1 - \frac{1}{A_{cp}} \quad (2.1)$$

де:  $A_{cp}$  – Середній квалітети відхилення поверхні

$$A_{cp} = \frac{1 \cdot n_1 + 2 \cdot n_2 + \dots + k \cdot n_n}{n_1 + n_2 + \dots + n_n} \quad (2.2)$$

де:  $k$  – квалітети відхилення розміру;

$n$  – кількість розмірів;

$$A_{cp} = \frac{2 \cdot 8 + 29 \cdot 14}{31} = 13.35$$

$$K_{TO} = 1 - \frac{1}{13.15} = 0.93 > 0.8$$

Визначаємо коефіцієнти шорсткості деталі

$$K_{ш} = \frac{1}{B_{cp}} \quad (2.3)$$

де:  $B_{cp}$  – середній квалітет шорсткості;

$$B_{cp} = \frac{0.01 \cdot r_1 + 0.02 \cdot r_2 + \dots + c \cdot r_n}{r_1 + r_2 + \dots + r_n} \quad (2.4)$$

де:  $c$  – шорсткість поверхні;

$r$  – кількість поверхонь;

$$B_{cp} = \frac{1.25 \cdot 2 + 2.5 \cdot 2 + 15 \cdot 6.3}{19} = 5.36$$

$$K_{ш} = \frac{1}{5.36} = 0.18 < 0.32$$

Враховуючи вище викладене та проведені розрахунки можна зробити висновок, що дана конструкція черв'ячного колеса є технологічною та не викликає складнощів при обробці.

## 2.2 Визначення типу та організаційної форми виробництва

У машинобудуванні розрізняють три типи виробництва: масове, серійне та одиничне та два методи роботи: потоковий та непоточний. У масовому виробництві вироби виготовляють безперервно відносно великих кількостях і протягом тривалого (кілька років) часу. Характерною ознакою масового виробництва є, однак, не кількість виробів, а виконання на більшості робочих місць тільки однієї закріпленої за ними операції, що постійно повторюється. Продукція масового виробництва – це вироби вузької номенклатури та стандартного типу, які випускаються широкого збуту споживачеві. Такою продукцією є автомобілі, трактори, велосипеди, електродвигуни, швейні машини тощо. У серійному виробництві виготовляють партії деталей та серії виробів, які регулярно повторюються через певні проміжки часу. Серійне виробництво; багатомоделне; його характерний ознака – виконання більшості робочих місць по кілька періодично повторюваних операцій. Продукцією серійного виробництва є машини типу (металорізальні верстати, стаціонарні двигуни внутрішнього згорання, насоси, компресори, обладнання для харчової промисловості тощо), що випускаються у значних кількостях.

Тип виробництва визначаємо із кількості деталей, що обробляються за рік. Враховуючи прийнятну річну програму випуску деталей, яка складає  $N_{річ}=5000$  шт. Маса деталі 0,14 кг.

Виробництво буде серійним, тому слід визначити партію запуску деталей:

Визначаємо її згідно формули,

$$n_{заг} = \frac{n_{річ}}{P_q} \times q \quad (2.5)$$

Де  $n$  - кількість деталей у партії запуску

$N= 5000$  річний запуск деталей, шт.;

$D_k=366$  число календарних днів в році;

$D_{вих}=105$  суботні та вихідні дні;

$T_{св} = 9$  кількість святкових днів

$$P_q = D_k - T_{\text{вих.}} - T_{\text{св}} \quad (2.6)$$

$$P_q = 366 - 105 - 9 = 252 \text{ дні,}$$

$P_q = 252$  – робочі дні у році;

$q = 8$  необхідний запас деталей на складі в днях,;

0,39 – коефіцієнт, що враховує втрату часу на ремонт;

0,95 – коефіцієнт що враховує регламентовані перерви;

$$f_{\text{вип}} = \frac{\Phi_{\text{роб}}}{N} = \frac{(D_k - T_{\text{вх}} - T_{\text{св}}) \times 2 \times 8 \times 0,95 \times 0,93 \times 60}{N} \quad (2.7)$$

$$f_{\text{вип}} = \frac{(366 - 105 - 9) \times 2 \times 8 \times 0,95 \times 0,93 \times 60}{5000} = 1.9$$

Де  $\Phi_{\text{роб}}$  – час робочої лінії на протягзі року.

Визначаємо величини партії запуску.

$$n = \frac{N}{P_q} \times q; \quad (2.8)$$

$$n = \frac{5000}{252} \times 8 = 158.73$$

Приймаємо партію запуску,  $n = 159$ .

### 2.3 Обґрунтування вибору варіантів заготівлі

Орієнтуючись на властивості матеріалу, приймаємо метод отримання заготовки круглий прокат або виливка.

До основних ливарних властивостей відносяться: - рідкотекучість; схильність до поглинання газів; усадка; схильність до утворення усадкових раковин; пір; ливарних напруг та тріщин; схильність до ліквідації та утворення неметалевих включень, зварюваність. Рідкотекучість – здатність металів і сплавів у рідкому стані заповнювати форму і відтворювати у виливку її

обриси. Природа рідкоплинності дуже складна і залежить від багатьох факторів. Рідкотекучість залежить від природи сплаву.

При одиничному виробництві (у нашому випадку) раціональніше використовувати прокат однак при запуску серійного виробництва більш раціонально виготовляти заготовки методом литва. Оскільки подібний механізм регулювання встановлюється на автомобілі Ford Mondeo то враховуючи кількість потенційних клієнтів приймемо потенційний попит на подібні деталі у розмірі 5000 шт на рік.

#### 2.4 Вибір технологічних баз

Вибір технологічних баз – відповідальний етап проектування технологічного процесу пов'язаного з побудовою маршруту обробки заготовки.

Основні принципи які бажано виконувати при виборі баз:

1. Принцип суміщення баз;
2. Принцип постійності баз;
3. Забезпечення стікості і надійності установок заготовок.

Деякі рекомендації по вибору при виборі технологічних баз:

1. Базові поверхні мають бути простими по формі і мати достатню довжину. Заготовка має займати у пристосуванні відповідне положення під дією власної ваги, а не у результаті прикладання сил затиску.

Базові поверхні мають бути геометрично правильні для забезпечення однозначності базування.

Неприпустимо використовувати поверхні із слідами роз'ємну штампів, ливарної форми, залишками від ливникової системи або іншими дефектами.

2. З точки зору експлуатації деталі чорнові базові поверхні повинні бути найбільш відповідальними. В цьому разі при їх обробці на наступних операціях забезпечується рівномірність припусків та однорідна за якістю поверхня.

3.3 метою забезпечення правильного взаємного розташування оброблюваних поверхонь відносно необроблюваних базами для першої операції обирають ті поверхні, які в готовій деталі повинні залишатись необробленими.

4. Після першої операції технологічні бази повинні бути замінені, оскільки двічі використовувати одні й ті самі бази не рекомендовано, а в більшості випадків недопустимо.

5. На всіх наступних операціях необхідно дотримуватись принципу суміщення технологічних, конструкторських та вимірювальних баз, а також принципу сталості баз.

В нашому випадку заготовка являє собою циліндричний пруток отже як базові поверхні використовуємо поверхню по зовнішньому діаметру і торці.

## 2.5 Розрахунок і визначення проміжних припусків

Виконаємо розрахунок припуску на найбільший діаметр деталі

$$\varnothing 30 f7 \begin{pmatrix} -0.020 \\ -0.041 \end{pmatrix}.$$

Визначимо елементи припуску  $\rho_0$  и  $\varepsilon_{уст}$

$$\rho_0 = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{кор}^2 + \rho_{ц}^2}, \quad (2.9)$$

де  $\rho_{см}$  – кривизна зміщення;

$\rho_{кор}$  – кривизна викривлення;

$\rho_{ц}$  – кривизна центрування.

$$\rho_{кор} = \Delta_k \times L,$$

де  $\Delta_k$  – питома кривизна;

$L$  – довжина заготовки.

Величина відхилення розташування заготовки центрування:

$$\rho_{\text{ц}} = 0,25\sqrt{\delta_3^2 + 1} \quad (2.10)$$

де  $\delta_3$  – допуск на поверхні, що використовуються в якості базових на фрезерно-центрувальних операціях;

Залишковий сумарне розташування заготовки після чорнової обробки:

$$\rho_{\text{ост}} = K_y \cdot \rho_0, \quad (2.11)$$

де  $K_y$  – коефіцієнт уточнення;

Похибка установки:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{i-1} \cdot K_y$$

Мінімальний припуск на чорнову обробку:

$$2Z_{\text{min}_i} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1}) + 2\sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \quad (2.12)$$

Проміжні розрахункові розміри по оброблюваних поверхнях максимальные припуски:

$$d_{\text{min}_{i-1}} = d_{\text{min}_i} + 2Z_{\text{min}_i}$$

$$d_{\text{max}_i} = d_{\text{min}_i} + Td_i$$

Мінімальні припуски

Максимальні припуски

$$2Z_{\text{min}_i} = d_{i-1} \text{ min} - d_{\text{max}_i}$$

$$2Z_{\text{max}_i} = d_{i-1} \text{ max} - d_{\text{min}_i}$$

Введите вид проката:

Сортовой  
 Поперечно-винтовой

Точность проката

Нормальная  
 Повышенная  
 Высокая

Диаметр проката, мм

Механическая обработка

<input type="checkbox"/>	Обдирка	IT 14
<input checked="" type="checkbox"/>	Точен. черн.	IT 12
<input type="checkbox"/>	Точен. п/чист.	IT 11
<input checked="" type="checkbox"/>	Точен. чист.	IT 10
<input type="checkbox"/>	Точен. тонк.	IT 9
<input type="checkbox"/>	Точен. тонк.	IT 8
<input type="checkbox"/>	Точен. тонк.	IT 7
<input type="checkbox"/>	Шлиф. черн.	IT 9
<input type="checkbox"/>	Шлиф. черн.	IT 8
<input type="checkbox"/>	Шлиф. чист.	IT 8
<input type="checkbox"/>	Шлиф. чист.	IT 7

Длина детали, мм

Min диаметр наиб. ступени, мм

Допуск на diam. наиб. ступени,

Вид припуска

двусторонний припуск  
 односторонний припуск

Расчётные данные

	Rz, мкм	h, мкм	Погр., мкм	Zz(min),мкм	d(min),мм	Td, мкм	d(max),мм	d(min),мм
Прокат	125	150	10,8	---	30,7766	1300	32,08	30,78

Окончательно принят

Рисунок 2.2 - Припуски та граничні відхилення розміру  $\varnothing 30 f7 \begin{matrix} -0.020 \\ -0.041 \end{matrix}$

## 2.6 Вибір металорізального інструменту та режимів різання

Вибір металорізального інструменту та режими різання було обрано за допомогою онлайн калькулятора Sandvik Coromant.

### 1.Точіння торця

ОБРАБОТКА ТОРЦА ПРУТКА

ТОЧЕНИЕ НАРУЖНОЕ, ТОЛЬКО ПОДРЕЗКА ТОРЦА / СМЕННАЯ

РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ

123 НВ  
БрОФ6.5-0.15

Токарный станок 03 - Средний (патрон 6-12")  
25 kW, 4000 1/min

Обрабатываемый диаметр DMS  mm  
 Ширина WIDTH  mm  
 Значение шероховатости Ra  μm

T-Max P

PRDCN 2525M 12  
Инструмент

RCGX 12 04 M0-AL N10  
Пластина

Rectangular shank -metric: 25 x 25

ШАГИ

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА

Скорость резания VC 281 m/min  
 Подача на оборот 0.68

Рисунок 2.3 - Вибір інструменту для підрізання торця

За результатами розрахунків приймаємо Різець Tmax P HR DCN 2525M AC пластина RCGX 12.04 MO-AC M10

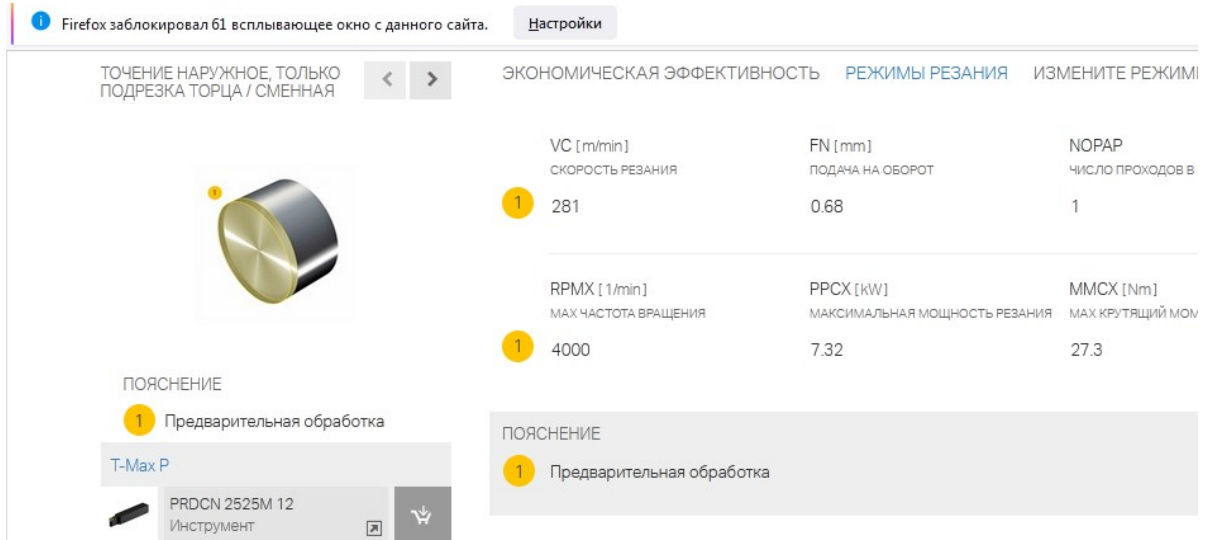


Рисунок 2.4 - Режимы резания для подрезания торца

$T = 1,5 \text{ мм}$ ,  $V = 281 \text{ м/хв.}$ ,  $S_o = 0,68 \text{ мм/об}$ ,  $n = 4000 \text{ об/хв.}$ ,  $T_o = 00.00.509 \text{ хв.с}$

## 2. Чорнове точіння зовнішнього контура деталі

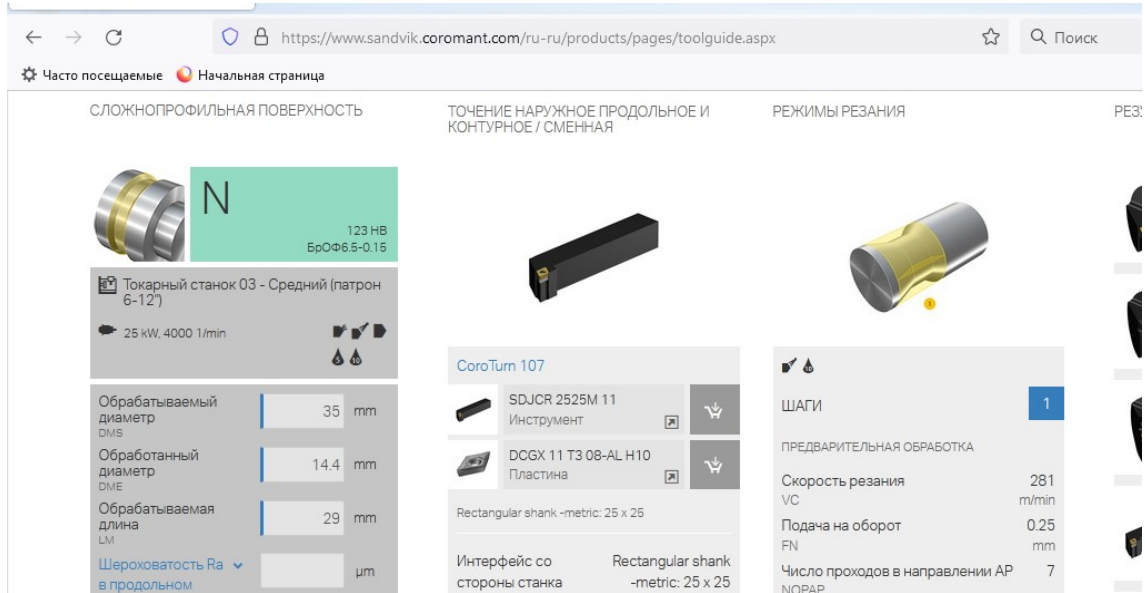


Рисунок 2.5 - Вибір інструменту для точіння зовнішнього контура деталі

За результатами розрахунків приймаємо Різець Turn 107 SDJCR 2525Y11 пластина DCGX 11 T308-AL H10

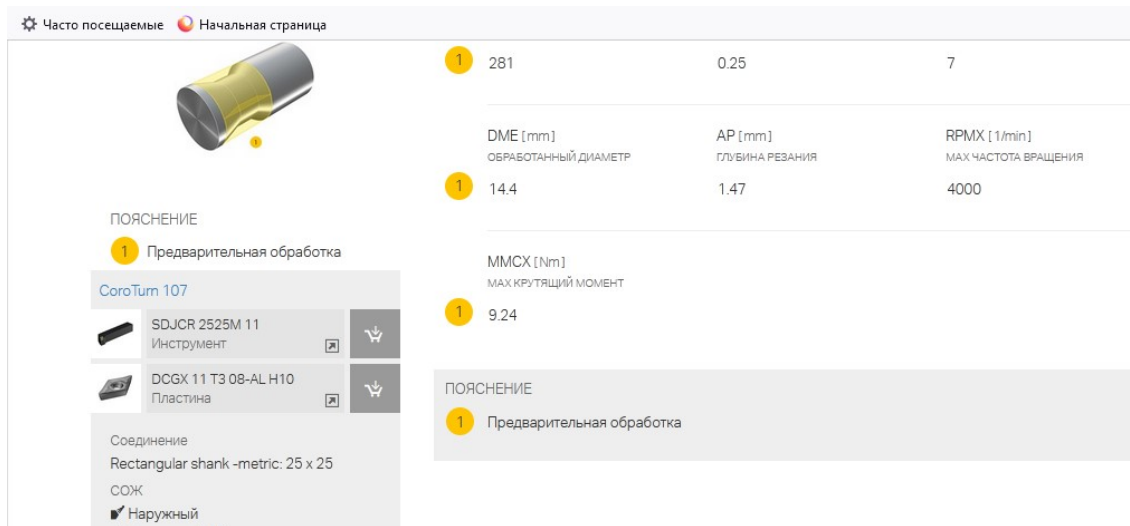


Рисунок 2.6 - Режимы різання для чорнового точіння зовнішнього контура деталі

$t = 1,47$  мм,  $V = 281$  м/хв.,  $S_o = 0,5$  мм/об,  $n = 4000$  об/хв., 7 роб. ходів  $T_o = 00.00.509$  хв.с

### 3. Чистове точіння зовнішнього контура

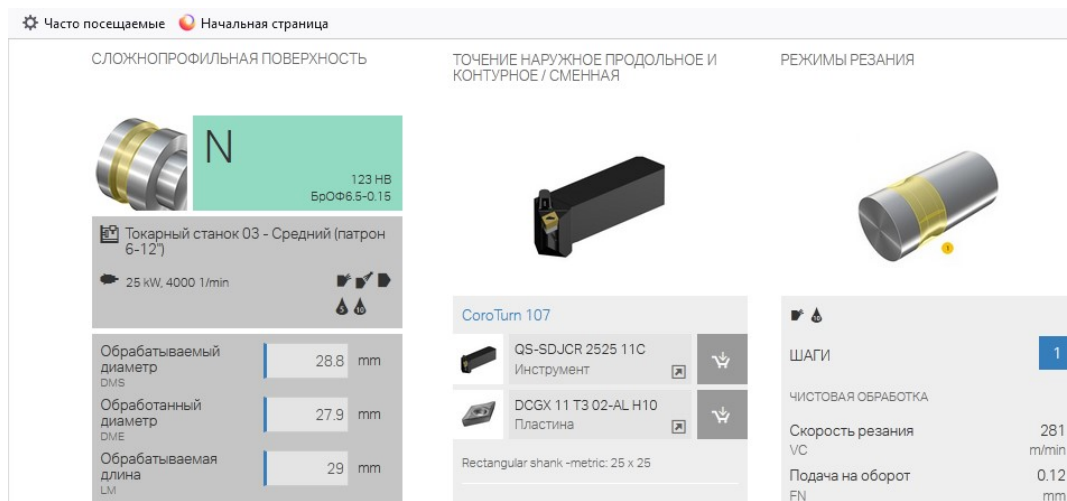


Рисунок 2.7 - Вибір інструменту для чистового точіння зовнішнього контура

За результатами розрахунків приймаємо різець Turn 107 QS-SVLBR 2020 JCR 2525Y11 пластина DCGX 11 T308-AL H10

$t = 0,5$  мм,  $V = 281$  м/хв.,  $S_o = 0,12$  мм/об,  $n = 3210$  об/хв., 1 роб. хід  $T_o = 00.00.509$  хв.

## 4. Свердлування отвору Ø 9

ОТВЕРСТИЕ В ДЕТАЛИ ВРАЩЕНИЯ

СВЕРЛЕНИЕ СВЕРЛАМИ С МОНОЛИТНОЙ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТЬЮ / ЦЕЛЬН.

РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ

123 НВ  
БрОФ6.5-0.15

Токарный станок 03 - Средний (патрон 6-12")  
25 kW, 4000 1/min

Хорошие условия

Обрабатываемый диаметр Ø11 9 mm

Глубина элемента обработки 28 mm

Еще...

CoroDrill 860

860.1-0900-044A1-GM X1VM  
Инструмент

Cylindrical shank (DIN 1835-A / DIN 6535-NA)  
-metric: 10

Стойкость, дет. TLIFEC 1440 Отверстия

Время обработки на элемент 00:01.734

ШАГИ 1

СВЕРЛЕНИЕ СВЕРЛАМИ С СИММЕТРИЧНОЙ ВЕРШИНОЙ

Скорость резания VC	113 m/min
Подача на оборот FN	0.27 mm
Минутная подача	1080

Рисунок 2.8 - Вибір інструменту для свердлування отвору Ø 9

СВЕРЛЕНИЕ СВЕРЛАМИ С МОНОЛИТНОЙ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТЬЮ / ЦЕЛЬН.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ ИЗМЕНИТЕ РЕЖИМЫ

VC [m/min] СКОРОСТЬ РЕЗАНИЯ	FN [mm] ПОДАЧА НА ОБОРОТ	N [1/min] ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ ШИ
1 113	0.27	4000
PPC [kW] МОЩНОСТЬ РЕЗАНИЯ	MMC [Nm] КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ	FFF [N] УСИЛИЕ ПОДАЧИ
1 2.31	5.52	961

ПОЯСНЕНИЕ

1 Сверление сверлами с симметричной вершиной

ПОЯСНЕНИЕ

Рисунок 2.9 - Режимы різання для для свердлування отвору Ø 9

За результатами розрахунків приймаємо свердло CoroDrill 860 860.1-0900-044A1-GM X1VM  $t = 0,5$  мм,  $V = 281$ м/хв.,  $S_o = 0,12$ мм/об,  $n = 3210$  об/хв., 1 роб. хід  $T_o = 00.00.509$  хв.

### 2.7 Розроблення технологічного маршруту обробки деталі

Технологічні маршрути являють собою сукупність всіх різних операцій, у результаті виконання яких змінюють форму, розміри, виконується з'єднання деталей у складальні одиниці та вироби, здійснюється контроль вимог кресленика та технічних вимог. Маршрутні

описи технологічного процесу полягають в скороченому записі усіх технологічних операцій в маршрутній карті та у послідовності виконання операцій без вказування переходів та режимів.

При виборі маршруту оброблення керуються наступними міркуваннями:

Для кожної операції вибирають обладнання і визначають конструктивну схему пристосування.

Завданням кожного попереднього переходу є підготовка поверхні заготовки під подальшу обробку і кожний наступний метод (операція або перехід) повинен бути точніше попереднього, тобто забезпечувати більш високі значення показників якості деталі. Тому механічна обробка ділиться на:

- чорнову обробку, коли видаляється більша частина припуску, що дозволяє виявити можливі дефекти заготовки; на перших одного-двох операціях. При базуванні по чорновим баз обробляються основні технологічні бази;

- чистову обробку, коли в основному забезпечується необхідна точність:

- далі йдуть операції місцевої обробки, за раніше оброблених поверхонь, оздоблювальні операції, коли досягається необхідна шорсткість поверхні і остаточно забезпечується точність деталі.

Контроль в ТП передбачений з метою технологічного забезпечення заданих параметрів якості обробленої деталі.

Розроблений ТП повинен містити загальний план обробки деталі і опис змісту операцій ТП і вибір типу обладнання. Він повинен бути прогресивним, забезпечувати підвищення продуктивності праці і якості деталі, скорочувати матеріальні і трудові витрати і бути екологічно безпечним.

Побудова технологічного маршруту обробки багато в чому визначається конструктивно-технологічними особливостями деталі.

Вибір маршрутно́ї технології істотно залежить від типу виробництва, рівня автоматизації і застосовуваного устаткування.

При серійному виробництві застосовують універсальні верстати з ЧПК, агрегатні спеціалізовані та спеціальні верстати. Перспективним в серійному виробництві є застосування гнучких виробничих систем (ліній, ділень, цехів), особливо при наявності умов для групової організації виробництва.

Вибір верстату на операцію визначають можливістю виготовлення на ньому деталей необхідної конфігурації та розмірів, а також забезпечення заданої якості її поверхні.

Маршрути обробки деталі будують на підставі обраних маршрутів обробки окремих поверхонь з урахуванням типу виробництва, схеми базування та призначених металорізальних верстатів.

Технологічний маршрут обробки деталі наводимо у вигляді послідовності обробки зі стислим змістом операцій (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 –Маршруту оброблення деталі черв'ячне колесо

№ операції	Обладнання	Зміст операції
1	2	3
005 заготівельна		Прокат (відрізна)
010 токарна з ЧПК	Токарний верстат з ЧПК моделі HAAS TL-1	Встановити, закріпити, зняти 1. Підрізати торець Ø35 в розмір 30 (28). 2. Точити начорно поверхню до Ø31 на довжину 30 з підрізанням торця . 3. Точити начорно поверхню до Ø13 на довжину 9 з підрізанням торця . 4. Точити начорно поверхню до Ø15 на довжину 2 з підрізанням торця 5. Свердлювати отвір Ø8 H7 (Ø10) на прохід 6. Розсвердлювати отвір Ø10 H7 на прохід 7. Контроль всіх виконаних розмірів
015 токарна з ЧПК	Токарний верстат з ЧПК моделі HAAS TL-1	Встановити, закріпити, зняти 1. Підрізати торець в розмір 28 3. Точити поверхню до Ø13 на довжину 9

		з підрізанням торця .
020 Зубофрезерна	Зубофрезерний верстат 5E32П	Встановити, закріпити, зняти Нарізати зубчастий вінець
025 Контрольна		Виконати контроль розмірів згідно креслення

## 2.8 Розробка керуючої програми

Виконавши усі необхідні розрахунки скористаємося програмним продуктом CAM ESPRIT для розроблення керуючої програми оброблення деталі вал-шестерня на токарному верстаті з ЧПК HAAS TL-1 (рис 2.10).



Рисунок 2.10 – Токарний верстат з ЧПК HAAS TL-1

Для створення програми токарного оброблення були виконані наступні дії:

1. Створено 3D модель у SolidWorks та завантажено у середовище Esprit (рис 2.11).

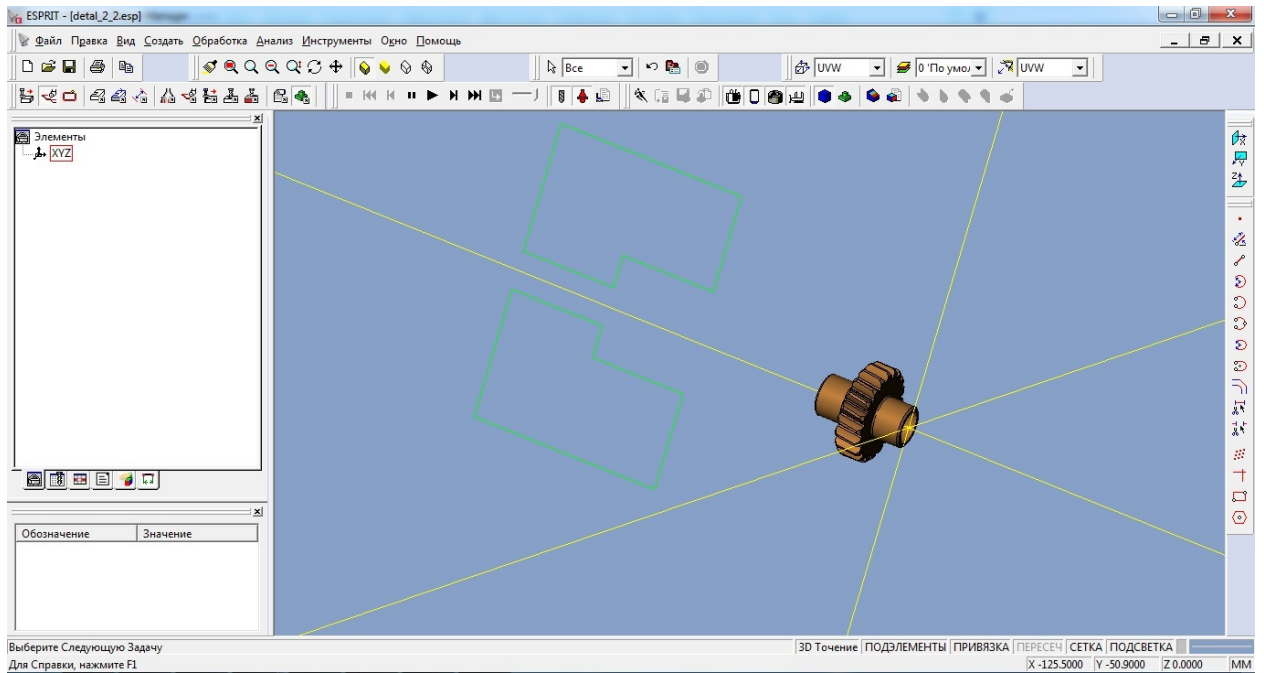


Рисунок 2.11 – 3D модель вала-шестерни у середовищі Esprit

## 2. Створено заготовку (рис 2.12)

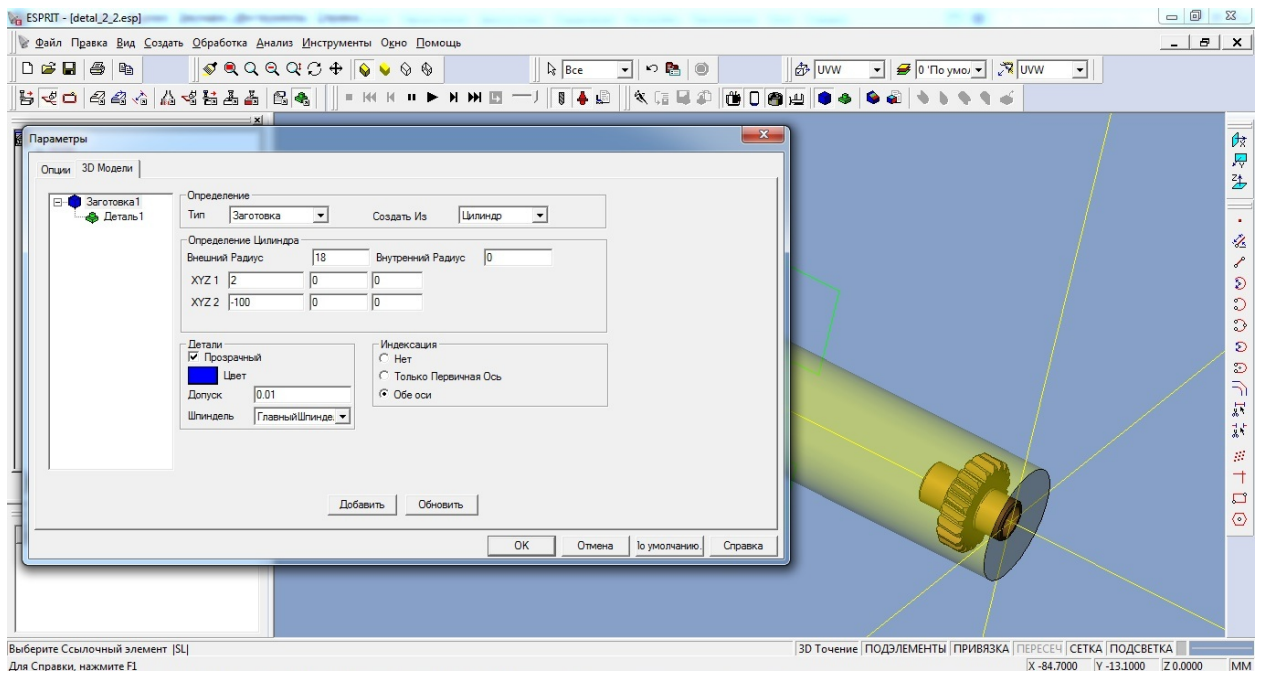


Рисунок 2.12 – Створення заготовки

## 3. Виконано розпізнання елементів профілю рис 2.13.

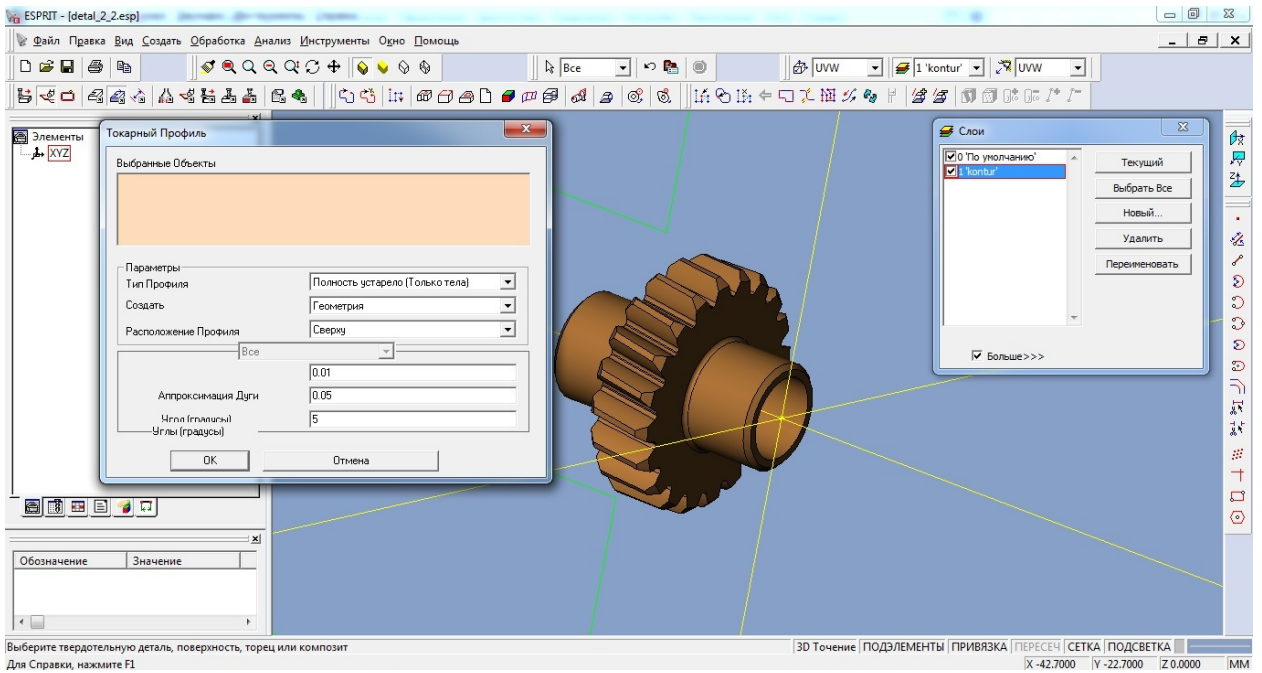


Рисунок 2.13 – Розпізнання в SAM Esprit елементів профілю

4. Вибрано вид оброблення – «Черновая обработка» (рис. 2.14).

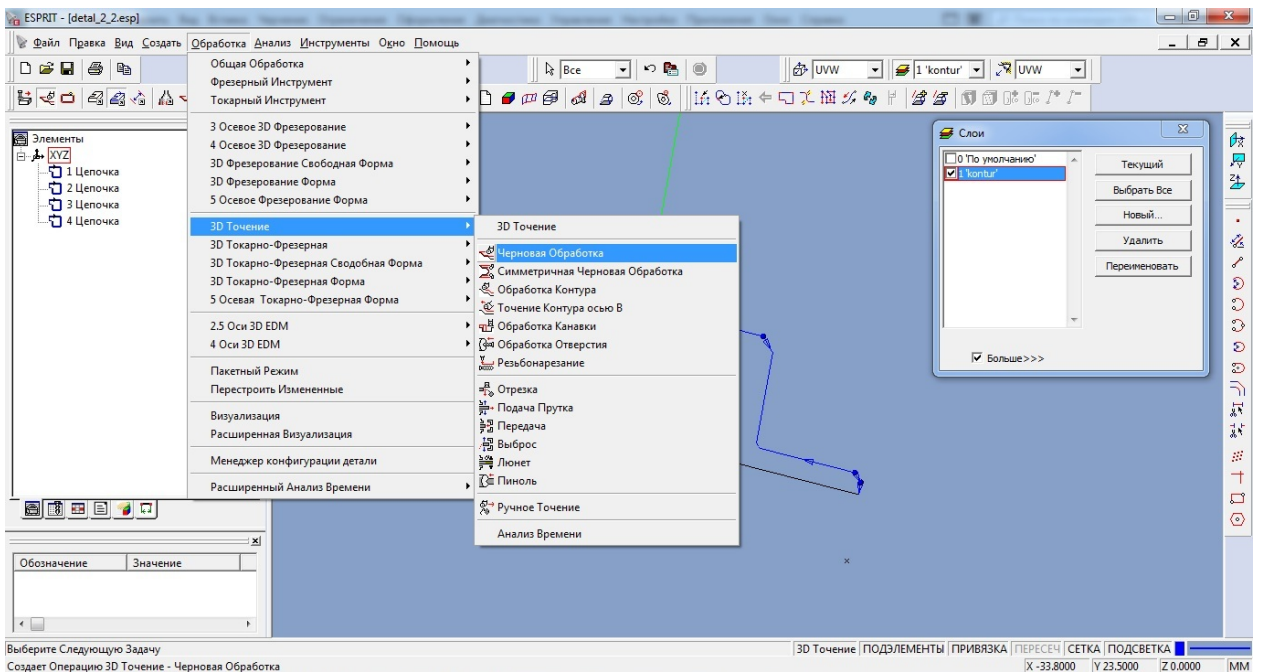


Рисунок 2.14 – Вибір виду оброблення

5. Вибрано металообробний інструмент та його параметри (рис. 2.15).

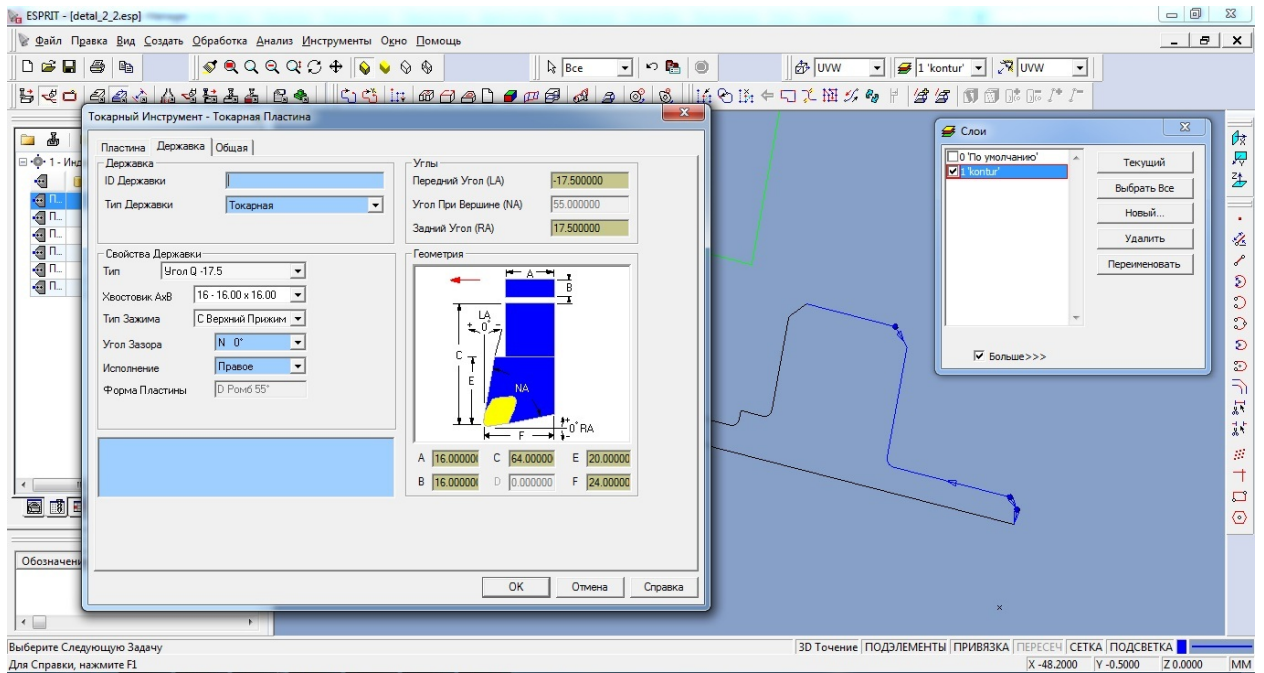


Рисунок 2.15 – Вибір металообробного інструменту

6. Вибрано режимі різання (рис 2.16).

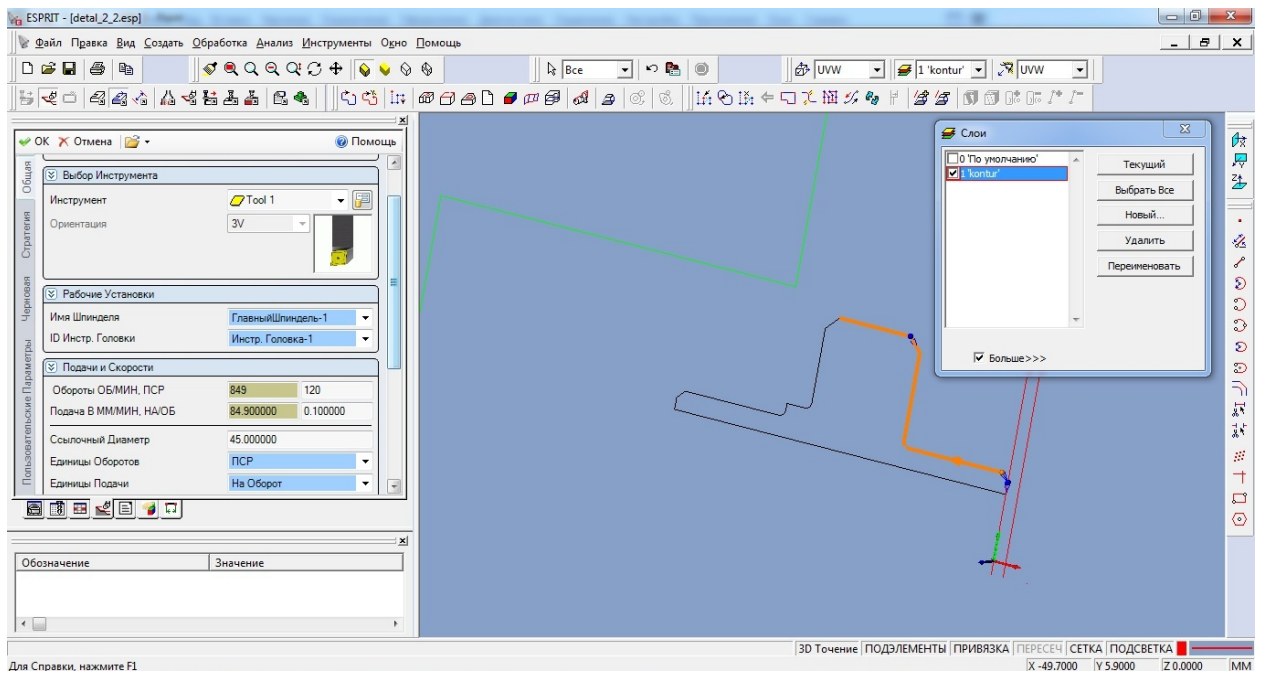


Рисунок 2.16 – Вибір режимів оброблення

7. Автоматично згенеровано траєкторію руху металорізального інструменту при обробленні контуру деталі (рис 2.17).

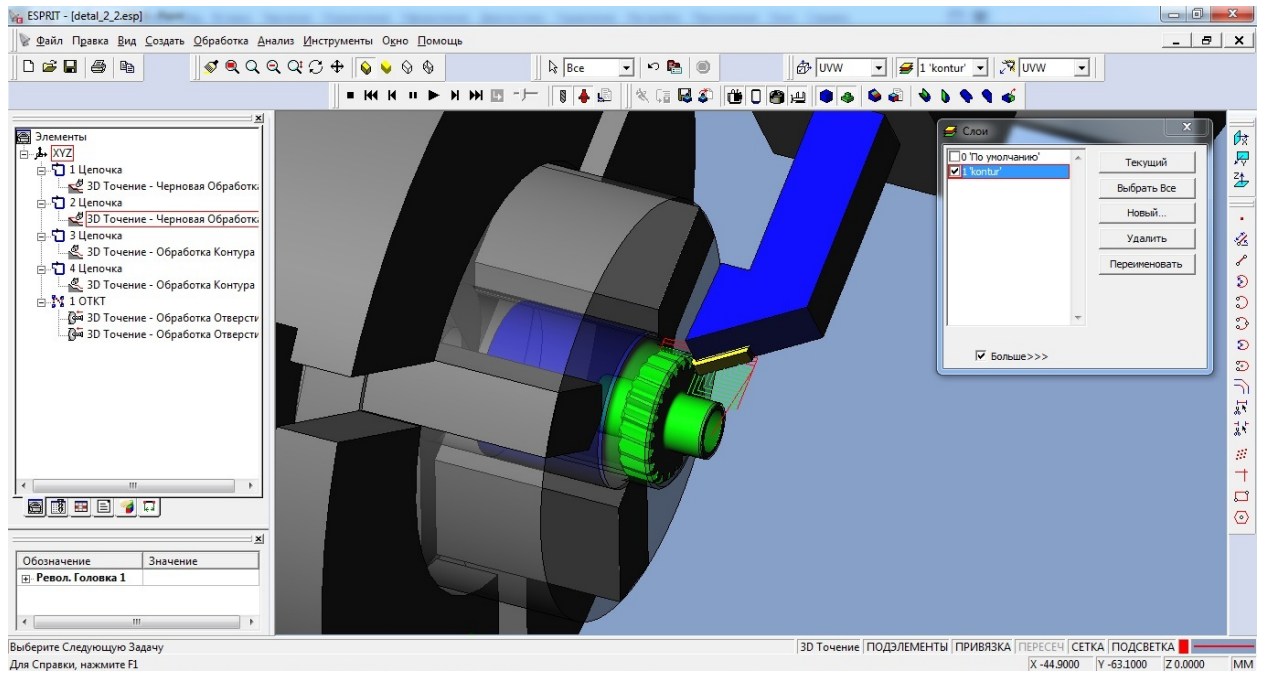


Рисунок 2.17 – Траектория ruchu металорізального інструменту при обробленні контуру вала-шестерні

8. Виконано автоматичне генерування програми оброблення в G-M кодах за допомогою постпроцесора (рис 2.18).

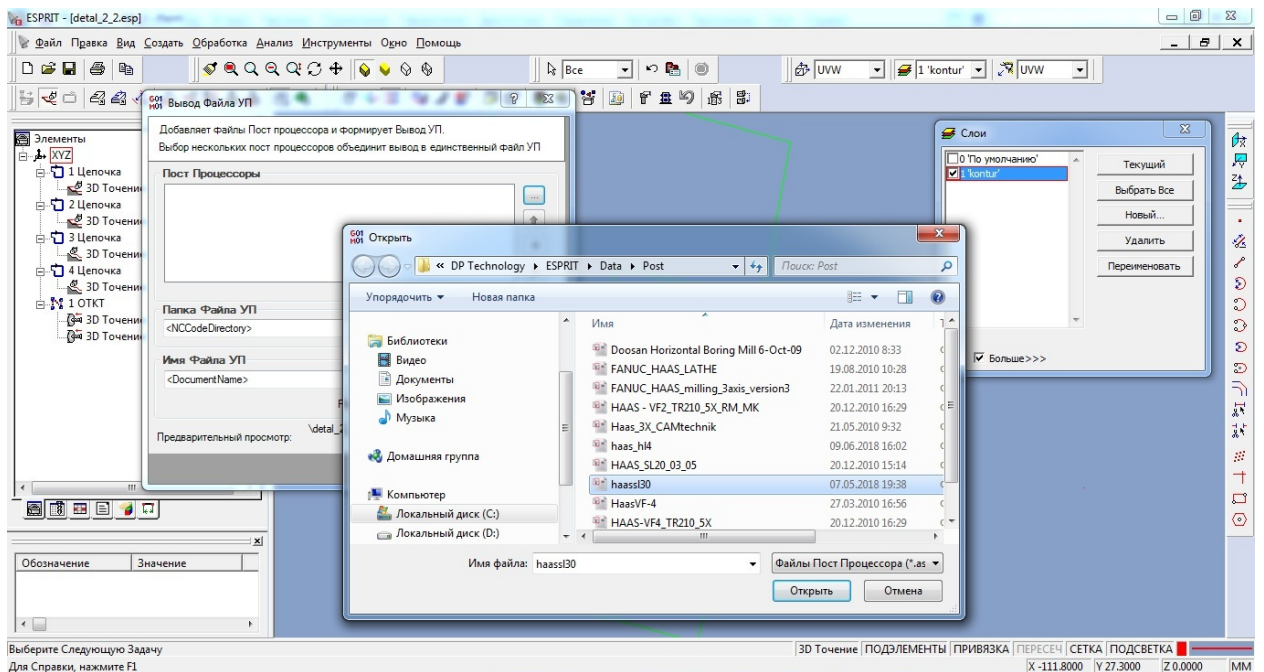


Рисунок 2.18 – Автоматичне генерування програми оброблення в G-M кодi

Керуюча програма наведена у додатку В.

### 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Проектування зубофрезерного пристосування

Пристосування спеціальне до зубофрезерного верстата 5Е32П для фрезерування зубчастого вінця черв'ячного колеса згідно креслення.

Пристосування призначено для оброблення фрезеруванням зубчастого вінця за кресленнями на налагодженому на розмір зубофрезерному верстаті 5Е32П.

Пристосування повинно задовольняти вимоги, вказані в розділі “Технічні вимоги”. Пристосування повинно відповідати умовам безпеки роботи, передбаченим ДСТУ ГОСТ 12.4.061:2008.

Склад пристосування і вимоги до конструкції.

Пристосування повинно складатися з наступних елементів:

- а) корпусу;
- б) затискного пристрою;
- в) механізмів керування приводом затискного пристрою.

Конструкція пристосування повинна бути простою і зручною у використанні.

Конструктивні вимоги до пристосування та його складових:

- а) габарити пристосування повинні відповідати розмірам робочої зони верстата 5Е32П і забезпечувати вільне позиціонування інструменту;
- б) встановлення і закріплення пристосування на верстаті повинно здійснюватися за допомогою стандартних кріпильних елементів;
- в) кріплення до столу верстата повинно зробити неможливим виникнення явища само відпускання кріпильних елементів, а також зсув і ковзання корпусу пристосування по столі верстата під час експлуатації.

#### 3.1.1 Розробка та вибір схем базування і установки

При повному базуванні заготовку необхідно залишити 6-ти ступенів вільності. Затискна сила забезпечує контакт із заготовкою і надає їй нерухомість.

Від правильного базування залежить точність механічної обробки, надійність і конструкція пристосування.

В якості установочної поверхні доцільно вибрати базову поверхню з достатніми розмірами. Бажано, щоб базові поверхні були попередньо оброблені.

Оптимальним варіантом вибору баз є варіант з мінімальною похибкою базування  $\varepsilon_\delta=0$ , якщо конструкторська і технологічні бази співпадають, або ж розмір, що утворюється є перпендикулярним до напрямку в якому виникає похибка. Для розглядуваної заготовки враховуючи форму та специфіку обробки доцільно прийняти як найбільш оптимальний варіант – базування за допомогою цетрових отворів.

Схема базування матиме наступний вигляд:

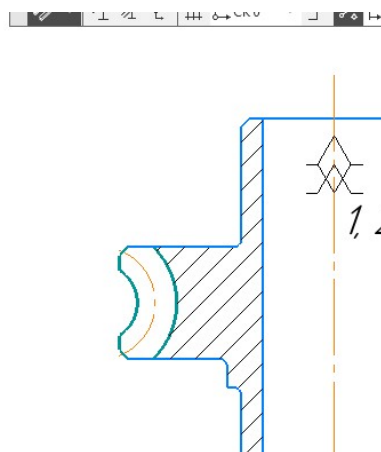


Рисунок 3.1 – Схема базування

При обробці на даній операції утворюються розміри:  $27,5_{-0,021}$  та  $30_{-0,34}$ . Вони є перпендикулярними до напрямку в якому можливе виникнення похибки базування. Таким чином похибка базування дорівнює нулю ( $\varepsilon_\delta=0$ ).

Отже дану схему базування можна прийняти як остаточну.

Схему установки заготовки вибираємо згідно вибраної раніше схеми базування.

Враховуючи, що заготовка є тілом обертання з центровими отворами, то установку доцільно виконувати в центрах. Опорними поверхнями є конічні поверхні центрів та рифлена поверхня опори пристосування.

Заготовка залишається нерухомо зафіксованою під час обробки у пристосуванні при дії сил різання завдяки дії сили тертя, що утворюються при дії сили затискання, між нижнім габаритним торцем деталі та рифленою поверхнею опори, до якої притискається заготовка.

Установочні та напрямні елементи використовувати недоцільно. Настроювання на розмір виконується мікрометричними гвинтами.

### 3.1.2 Розрахунок зусилля закріплення

В процесі закріплення сили затиску не повинні порушувати положення заготовки, яке вона витримала після базування. Сили затиску повинні бути достатніми для затиску і не пошкоджувати заготовку.

Конструкція затискного механізму повинна бути простою надійною і безпечною в роботі.

Визначимо головну складову сили різання за формулою [6]:

$$P_Z = \frac{10 \cdot C_P \cdot t^X \cdot S_z^Y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{MP} \quad (3.1)$$

де  $C_p = 68,2$ ;  $x = 0,88$ ;  $y = 0,72$ ;  $u = 1$ ;  $w = 0$ ;  $q = 0.86$  – емпіричні коефіцієнти [10, стр.282];

$S_z$  – подача на зуб;  $S_z = 0,025$  мм/зуб;

$t = 10,25$  мм – глибина різання;

$B$  – ширина фрезерування;  $B = 25$  мм;

$z$  – число стружкових канавок;  $z = 10$ ;

$D$  – діаметр фрези;  $D = 90$  мм;

$n$  – число обертів фрези за хвилину;  $n = 160$  об/хв;

$K_{MP}$  – поправочний коефіцієнт на якість оброблюваного матеріалу;

$$K_{MP} = 0,3 \text{ [10, стр.264].}$$

На основі перерахованих даних матимемо:

$$P_Z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 10,25^{0,88} \cdot 0,025^{0,72} \cdot 25^1 \cdot 10}{90^{0,86} \cdot 160^0} \cdot 0,3 = 580,97 \text{ (Н)}$$

Запишемо умову рівноваги сил:

$$\Sigma M = 0; \quad (3.2)$$

тобто

$$F_{TP} \cdot 8 = P_Z \cdot R_b \cdot K, \quad (3.3)$$

де  $R_b$  – радіус основного кола зубчастого вінця;  $R_b = 15,81$  мм;

$K$  – коефіцієнт запасу.

Коефіцієнт запасу визначається за формулою [8]:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6, \quad (3.4)$$

де  $K_0 = 2$  – гарантований коефіцієнт запасу;

$K_1 = 1,2$  – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання через випадкові нерівності;

$K_2 = 1,3$  – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання через затуплення ріжучого інструменту.

Інші коефіцієнти:  $K_3 = K_4 = K_5 = K_6 = 1$ .

Отже

$$K = 2 \cdot 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 3,12$$

Силу тертя можна записати як:

$$F_{TP} = (Q + G - F_{IP}) \cdot f, \quad (3.5)$$

де  $Q$  – сила на штокові гідроциліндра;

$f = 0,7$  – коефіцієнт тертя сталевий заготовки об сталеву рифлену опору;

$F_{\text{ПР}}$  – сила пружності пружини;

$G$  – вага заготовки.

Силу пружності пружини приймаємо  $F_{\text{ПР}} = 30 \text{ Н}$ .

Вага заготовки становить

$$G = m \cdot g = 0,14 \cdot 10 = 1,4 \text{ (Н)}$$

Отже рівняння рівноваги сил в кінцевому вигляді буде наступним:

$$1,4 \cdot (Q + G - F_{\text{ПР}}) \cdot f = P_Z \cdot Rb \cdot K \quad (3.6)$$

Звідси:

$$Q = \frac{(P_Z \cdot Rb \cdot K - 8 \cdot G \cdot f + F_{\text{ПР}} \cdot f \cdot 8)}{8 \cdot f} \quad (3.7)$$

Отримаємо:

$$Q = \frac{(80,97 \cdot 18,81 \cdot 3,12 - 8 \cdot 8 \cdot 0,7 + 30 \cdot 0,7 \cdot 8)}{8 \cdot 0,7} = 118 \text{ (Н)}$$

Таким чином шток гідроциліндра повинен розвивати силу не меншу ніж 118Н.

Діаметр гідроциліндра приводу заднього центра при прийнятому діаметрі штока  $d_{\text{шт}}=40 \text{ мм}$ :

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{\eta \cdot p \cdot \pi} + d_{\text{шт}}^2};$$

де  $\eta=0,85$  – коефіцієнта корисної дії гідроциліндра;

$p=10 \text{ МПа}$  – робочий тиск в гідросистемі.

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 6118}{0,85 \times 10 \times 3,14} + 40^2} = 59,2 \text{ мм};$$

Приймаємо гідроциліндр стандартного діаметра 63 мм[21].

### 3.1.3 Розмірне моделювання та аналіз конструкції пристосування на точність

Деталі в пристосуванні виготовляють в межах необхідної точності з допусками на лінійні розміри і допусками розташування поверхонь (непаралельність, неперпендикулярність і т. ін.).

На верстатах нормальної точності (Н) методом шліфування і пригонки можна досягти точність 6...7 квалітету і 6...9 степенів точності непаралельності або не перпендикулярності.

Поле розсіювання замикаючої ланки  $\delta(A_\Sigma)$  дорівнює сумі допусків складових ланок ( $\Sigma T_i$ ). При методі повної взаємозамінності повинні виконуватись наступні вимоги:

$$\delta(A_\Sigma) \leq (T_{A_\Sigma}); \quad (3.8)$$

$$\delta_k(\alpha_\Sigma) \leq T_k(\alpha_\Sigma) \quad (3.9)$$

Для лінійних розмірів (на довжині 160 мм) -  $\varepsilon_{\text{прист.}} = 0,125\text{мм}$ .

$$\delta(A_\Sigma) = \Sigma T_i = T_{A1} + T_{A2} + T_{A3} + T_{A4} + T_{A5}; \quad (3.10)$$

$$\delta(A_\Sigma) = 0,05 + 0,01 + 0,05 + 0,005 + 0,01 = 0,125(\text{мм});$$

$$\varepsilon_{\text{прист.}} \leq \delta(A_\Sigma); \quad 0,125 = 0,125.$$

Умови по точності виконуються.

Для підвищення точності пристосування доцільно втулку для центра шліфувати в складі корпусу.

Розмірний аналіз пристосування показано на рисунку 3.2.

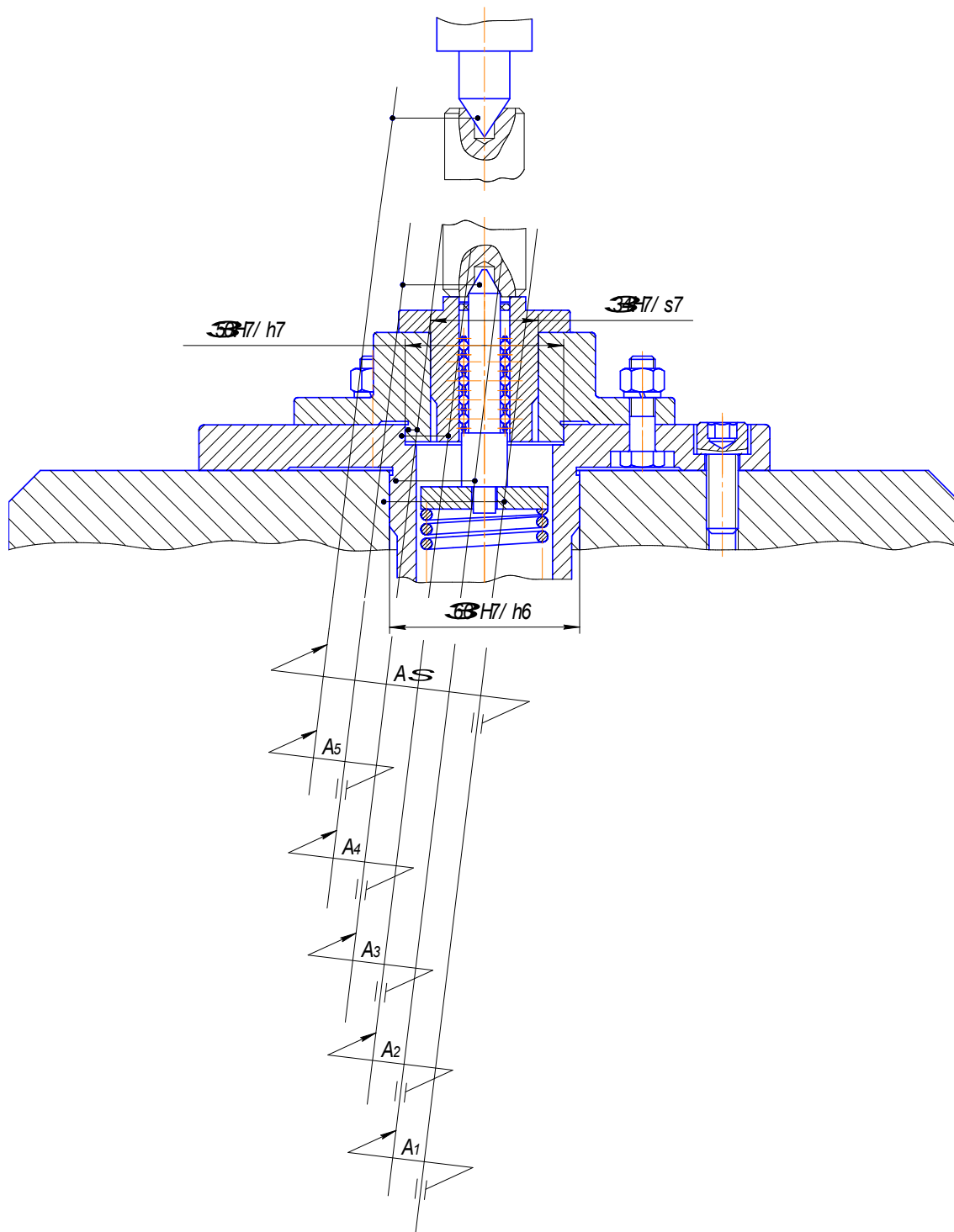


Рисунок 3.2 – Схема розмірного аналізу пристосування

3.1.4 Технічні характеристики конструкції розробленого пристосування

Для забезпечення точності обробки та надійності закріплення заготовки пристосування на зубофрезерній операції повинно мати наступну технічні характеристики:

- а) тиск в гідросистемі –  $p = 10$  Мпа;
- б) сила закріплення –  $Q = 11304$  Н;
- в) хід поршня гідроциліндра –  $h = 25$  мм;
- г) похибка установки на паралельність твірної зуба відносно осі деталі не більше –  $0,018$  мм.

### 3.2 Проектування контрольного пристосування

Згідно технічних вимог до виготовлення деталі необхідно контролювати радіальне биття подвох поверхнях вісі. Схема контролю показана на рис. 3.3.

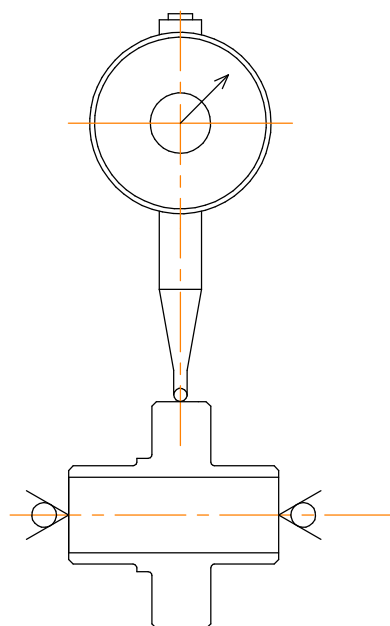


Рисунок 3.3 - Схема контролю

### 3.2.1 Розрахунок пристрою на точність

Визначаємо допустиму похибку обробки:

$$\varepsilon_{\text{доп}} = 0,3 \cdot T, \quad (3.11)$$

де  $T$ -допуск на контролюємий параметр,  $T = 0,05$  мм.

$$\varepsilon_{\text{доп}} = 0,3 \cdot 0,05 = 0,015 \text{ мм}$$

Визначаємо фактичну похибку обробки:

$$\varepsilon_{\phi} = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2 + \varepsilon_{\text{прил}}^2 + \varepsilon_{\text{зн}}^2}, \quad (3.21)$$

де  $\varepsilon_{\delta}$  – похибка базування деталі,  $\varepsilon_{\delta} = 0$  (технологічна база співпадає з конструкторською);

$\varepsilon_{\text{пр}}$  - похибка виготовлення пристрою,  $\varepsilon_{\text{пр}} = 0,007$  мм;

$\varepsilon_{\text{зн}}$  - похибка зношення пристрою,  $\varepsilon_{\text{зн}} = 0,01$  мм;

$\varepsilon_{\text{прил}}$  – похибка контрольно - вимірювального приладу:

$$\varepsilon_{\text{прил}} \approx \frac{Ц}{2}, \quad (3.22)$$

де  $Ц$  – ціна поділки контрольно - вимірювального приладу.

Для контролю параметрів биття і співвісність вибираємо індикатор годинникового типу ИЧ02 ДСТУ ГОСТ 577:2009, ціна поділки якого  $Ц = 0,01$  мм.

$$\varepsilon_{\text{прил}} \approx \frac{0,01}{2} = 0,005 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{\phi} = \sqrt{0^2 + 0,007^2 + 0,005^2 + 0,01^2} = 0,013 \text{ мм}$$

Отже фактична похибка обробки не перевищує допустиму  $\varepsilon_{\phi} < \varepsilon_{\text{доп}}$ .

### 3.3.2 Опис конструкції і роботи пристрою

Деталь центровими отворами базується на обертові центра пристрою. До циліндричних поверхонь деталі, які контролюються, підводимо індикатори і налагоджуємо індикатори на поверхню (створюємо попередній натяг) і обертаючи деталь на один оберт поступово фіксуємо покази індикатора.

## 4 ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

### 4.1 Вплив якості оброблення обертових деталей на експлуатаційні властивості машини

Специфіка умов і режимів експлуатації сучасного обладнання із обертовими деталями обумовлюється складними експлуатаційними умовами, включаючи гранично високі і гранично низькі температури, високою трудомісткістю аварійних ремонтів, технічного обслуговування, демонтажу і монтажу обладнання тощо. Тому до обладнання, що містить у своїй конструкції вали, штоки висуваються високі та жорсткі вимоги з безпеки, надійності, ефективності забезпечення необхідних робочих параметрів при одночасному зниженні витрат, трудомісткості монтажних-демонтажних робіт і робіт з технічного обслуговування.

Відхилення розмірів, форми і розташування поверхонь навіть в одній частині викликають відхилення форми або відхилення в розташуванні інших деталей збірної одиниці. Ці відхилення в цілому чинять певний вплив на показники функціональності виробів, що обумовлює необхідність оптимізації всіх факторів, які можуть впливати на їх якість.

По способу з'єднання деталей у пресових посадках розрізняють з'єднання, що отримуються:

- за допомогою прикладання осьової сили, що забезпечує взаємне зміщення суміжних деталей у задане положення - поздовжня запресовка;
- за рахунок температурних деформацій однієї із деталей (або обох), що вводяться без натягу одна в іншу;
- поперечна запресовка.

В обох випадках необхідна міцність з'єднання досягається створенням при монтажі монтажного натягу, який визначає величину контактного тиску, що виникає при сполученні поверхонь

Експлуатаційні показники пресових з'єднань залежать від багатьох конструкторсько-технологічних факторів: макро - та мікрогеометрії

спряжених поверхонь, відхилення їх форм,наприклад, від шорсткості, фактичного натягу між сполученими деталями та ін.

Параметри шорсткості поверхні залежать від багатьох факторів: методу обробки, режимів різання, геометричних параметрів і якості поверхонь різальної частини інструмента, пластичної і пружної деформації оброблюваного матеріалу, жорсткості системи верстат-приспособлення-інструмент-заготовка і зв'язаних з нею вимушених коливань і вібрацій при різанні, МОР й ін.На фінішних операціях обробки остаточно формується поверхневий шар деталей машин, але співвідношення параметрів шорсткості неоднозначне, нестабільне. Однак, управляючи фінішною операцією, можна отримати поверхневий шар, що відповідає вимогам, заданим кресленням і технічними умовами. Цілеспрямоване формування поверхневого шару із заданими властивостями є одним з найважливіших завдань при виготовленні деталей. Таким чином, проблема управління геометричними характеристиками і фізико хімічним станом поверхонь деталей актуальна. Ми навчилися керувати процесом формування відхилень форми і розташування поверхонь, хвилястості і шорсткості поверхонь. Але для нерівностей з розмірами до 1 мкм існує проблема керування процесом їх формоутворення. Труднощі відтворення таких нерівностей виникають з наступних причин: оксиди, як результат фізико-хімічних явищ на поверхні, є сумірними із заданими значеннями геометричних характеристик нерівностей; забруднення, неоднорідності на поверхні вимагають введення додаткових операцій по обробці поверхні; силові дії на мікро рівні повинні дозуватися і бути підконтрольні системі, що керується.

Крім перерахованих факторів, на утворення шорсткості можуть впливати й інші. Тому необхідно враховувати вплив лише основних факторів, що у значній мірі впливають на шорсткість поверхні.

На підставі аналізу виконаних науково-дослідних робіт можна зробити висновок про те, що шорсткість обробленої поверхні представляє насамперед

слід робочого руху частини кромки різального інструмента, контактуючої з оброблюваним матеріалом.

4.1 Оцінка умов формування в черв'ячній передачі масляного клину та перехід від граничного тертя до рідинного

Основними причинами виходу з ладу черв'ячних передач є наступні чинники, які описані в джерелі [8]: знос зубів колеса, заїдання, поверхневе руйнування зубів колеса (рис.4.1, 4.2).

Знос обмежує термін служби і залежить від мастила, точності установки передачі, забруднення мастила, частоти стартів і зупинок.

Глушіння найбільш очевидно відбувається з твердими матеріалами коліс, пошкодження поверхонь зубів частинками колісного матеріалу, звареного до черв'яка. У випадку з м'яким матеріалом колеса глушіння відбувається у вигляді "мотки" матеріалу колеса на поворотах у черв'яку.

Пластичне руйнування контактних поверхонь черв'ячних зубів колеса в основному спостерігаються під впливом великих перевантажень.



*а*



*б*



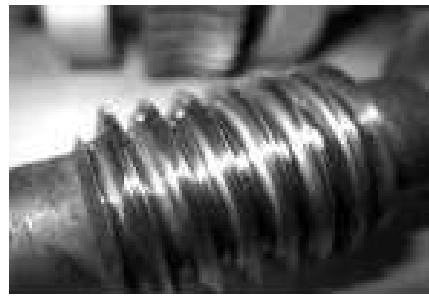
*в*

Рисунок 4.1 – Види пошкоджень витків черв'яка:

*a* – задири; *b* – знос і носіння; *в* – порушення втоми



*a*



*b*



*в*

Рисунок 4.2 – Види пошкодження зубів колеса:

*a* – втомне викришування; *b* – зношування; *в* – поломка

Черв'якові передачі у процесі роботи виділяють багато тепла, що негативно позначається на нагріванні олії понад гранично допустимою температури та втраті їм захисної здатності ефекту масляного клину та заїдання у передачі. Несприятливі умови змащування мають на увазі перехід до рідинного тертя у черв'ячній передачі. Рекомендації, викладені у джерелах [8, 9, 11, 12] свідчать, що необхідно застосовувати найбільш в'язкі олії, а крім того, активні протизадирні присадки, у разі використання кольорових металів для черв'ячних коліс. Рекомендовано використовувати глибокоочищені леговані індустріальні олії. У разі умови роботи передачі при повторно-короткочасному режимі роботи, слід забезпечити змащування зануренням у масляну ванну на всю висоту контактуючих зубів. У разі

розташування черв'яка зверху, застосовується примусове мастило безпосередньо в зону зачеплення.

Черв'ячна передача з циліндричним черв'яком є різновидом гвинтової, у якої початковий контакт зубів відбувається по лінії, а ні в точці: число зубів ведучого колеса мало, а кут нахилу зубів – великий, в порівнянні з іншим колесом в зачепленні. Таке колесо називають черв'яком, що є одне- або багатозахідним циліндричним гвинтом. Сполучене з черв'яком колесо називають черв'ячним. Його виконують у вигляді косозубого циліндричного колеса. Черв'ячні фрези для нарізування черв'ячних коліс повинні бути копією сполученого черв'яка за параметрами вихідного контуру, за виглядом і діаметром, виключаючи збіг за діаметром вершин для забезпечення радіального зазору між поверхнями вершин черв'яка та западин черв'ячного колеса. У джерелі [9] даються такі описи існуючих видів циліндричних черв'яків, що відрізняються профілем витка, способом чистового нарізування бічної поверхні:

1. Архімеді черв'як (умовне позначення ZA) – являє собою циліндричний гелікоїдний черв'як, теоретичний торцевий профіль якого є архімедовою спіраллю (рис. 4.3). Профіль витків у перерізі, паралельному осі черв'яка, є прямо бічною трапецією з кутом профілю  $\alpha_x = 20^\circ$ .

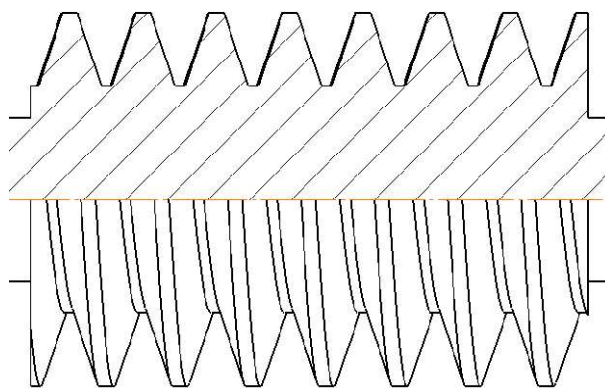


Рисунок 4.3 – Архімедовий черв'як ZA

2. Конволютний черв'як (умовне позначення ZN) – циліндричний гелікоїдний черв'як, теоретичний торцевий профіль якого є подовженою або укороченою евольвентою (рис. 4.4). Існує два різновиди конволютних черв'яків: черв'як ZN1 з прямолінійним профілем витка в перерізі, розташованій нормально до осі симетрії витка, і черв'як ZN2 з прямолінійним профілем витка в перерізі площиною, нормальною до осі симетрії западини на ділильному циліндрі. Кут профілю в нормальному перерізі витка та западини  $\alpha_n = 20^\circ$ .

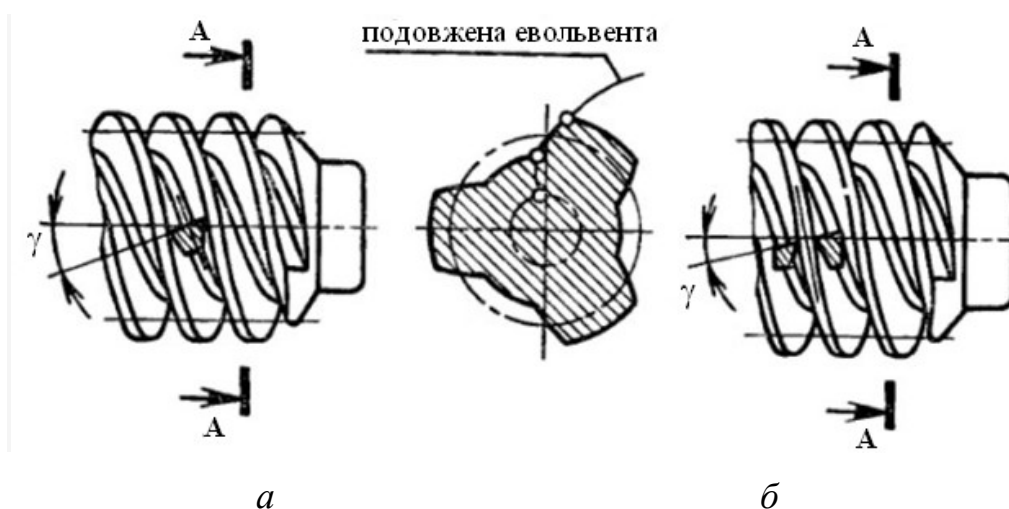


Рисунок 1.5 – Конволютний черв'як ZN

3. Евольвентний черв'як (умовне позначення ZL) – циліндричний черв'як, гелікоїдний черв'як, теоретичний торцевий профіль витків якого є евольвентою кола (рис. 4.5). Кут профілю в нормальному перерізі витка  $\alpha_n = 20^\circ$ .

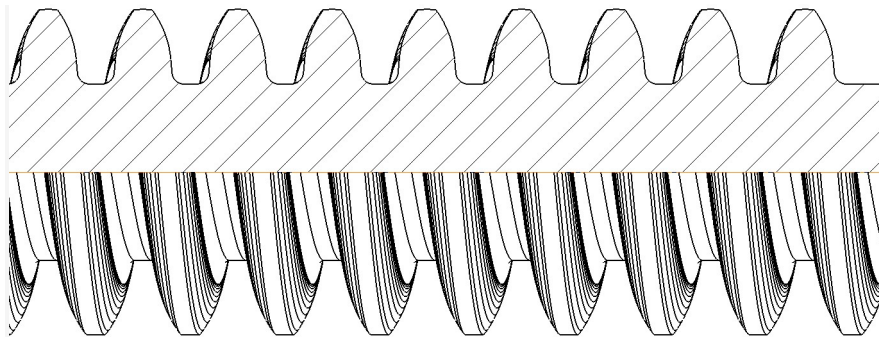


Рисунок 4.5 – Евольвентний черв'як ZI

4. Утворений конусом черв'як (позначення ZK) – нелінійний черв'як, у якого головна поверхня витка є згинаючою виробляючого конуса при його гвинтовому русі щодо черв'яка, при цьому необхідний збіг осей конуса, який виробляє черв'яка, що нарізується (рис. 4.6). Кут виробляючого конуса повинен дорівнювати  $20^\circ$ .

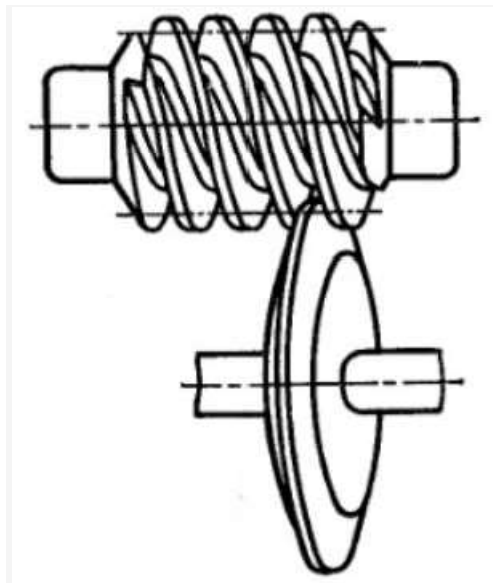


Рисунок 4.6 – Утворений конусом черв'як ZK

5. Утворений тором черв'як (позначення ZT) – нелінійчастий черв'як, у якого головна поверхня витка є огиальної частини зовнішньої поверхні тору

при його гвинтовому русі щодо черв'яка, при цьому необхідний збіг осей виробляє тора і черв'яка, що нарізується (рис. 4.7).

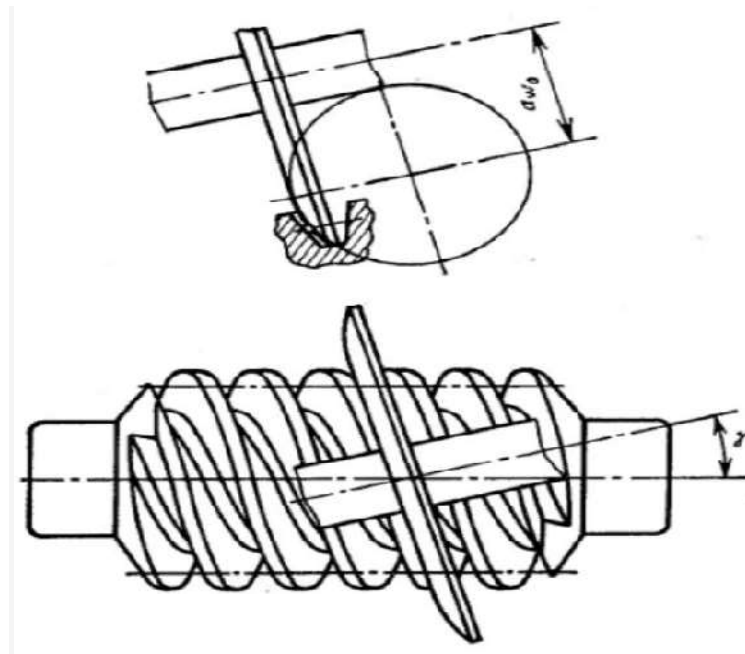


Рисунок 4.7 – Утворений тором черв'як ZT

У черв'ячному зачепленні існує область з поганими умовами ковзання. Крім цього, зона контакту спотворюється у зв'язку з деформаціями черв'яка.

#### *Глобоїдні передачі*

Виконання черв'яка та колеса глобоїдними (рис. 1.9) дозволяє збільшити несучі характеристики передачі. Це веде до збільшення числа зубів у зачепленні, що пояснюється “охопленням” черв'яком колеса. Як внаслідок цього, йде збільшення радіусів кривизни та кута розташування контактних ліній у зачепленні до напрямку вектора швидкості ковзання, що покращує умови для утворення ефекту масляного клину у зачепленні. Глобоїдні передачі сильно навантажені в тепловому плані внаслідок своєї компактності та малих габаритів і, отже, малої площі поверхні тепловіддачі

[8]. У зв'язку з цим їх застосування обмежується короткостроковими режимами для ефективної передачі великих моментів та супроводжується штучним примусовим охолодженням.

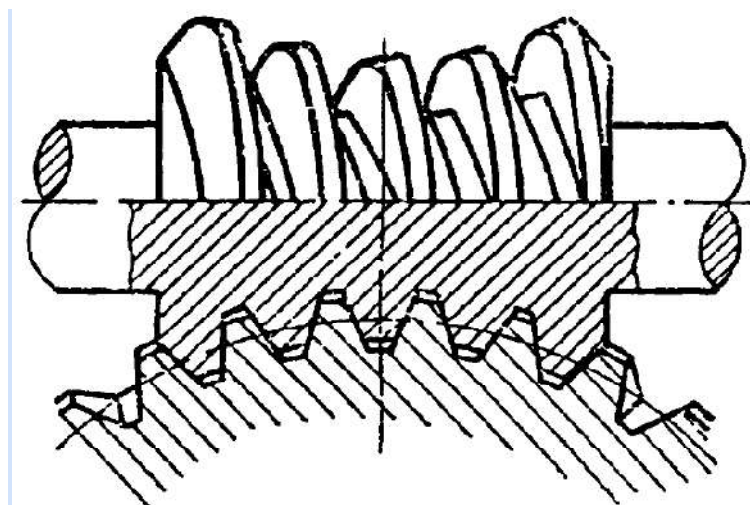


Рисунок 4.8 – Глобоїдний черв'як

У джерелі [9] наведено опис глобоїдної передачі як черв'ячної передачі, призначеної для передачі обертального руху між осями, що перехрещуються. Поверхня глобоїдного черв'яка утворена обертанням увігнутого відрізка дуги ділового кола черв'ячного колеса навколо осі черв'яка. Завдяки своїй формі глобоїдний черв'як повніше охоплює черв'ячне колесо, маючи в контакті більшу кількість зубів колеса. Недоліком є складність виготовлення та вища чутливість до похибки виготовлення. Теоретичний профіль витка глобоїдного черв'яка утворюється шляхом обертання лінії, що лежить у середній торцевій площині черв'ячного колеса, навколо осей черв'яка та колеса з ставленням кутових швидкостей, рівним передатному числу. Існують лінійні та нелінійчасті глобоїдні черв'яки, утворені відповідно обертанням прямої чи кривої лінії. Виготовлення черв'ячного колеса глобоїдної передачі ґрунтується на принципі збігу вихідних контурів черв'яка та колеса, за винятком параметрів, необхідних

для забезпечення зазору між поверхнями вершин черв'яка та впадин колеса в зачепленні.

Черв'якова глобоїдна передача використовується для передачі моменту між валами, що схрещуються, у разі, коли складається необхідність створення великих передавальних чисел за обмежених габаритів. Черв'як і черв'ячне колесо мають взаємно охоплюючу глобоїдну форму.

Порівняно з циліндровими черв'ячними передачами, глобоїдні мають такі особливості [4]:

- Кут розташування контактних ліній по відношенню до вектора швидкості ковзання близький до  $90^\circ$ , що сприяє інтенсивному надходженню мастила в зону контакту.
- Невелика різниця у кривизні поверхонь витка черв'яка та зуба колеса у місці контакту, що забезпечує сприятливу форму масляного клину та низькі контактні напруги.
- Ефект "охоплення", що полягає в одночасному контакті витка черв'яка з кількома зубами колеса, що дозволяє збільшити довжину контактних ліній.

#### *Передачі з увігнутим профілем витків черв'яка*

У даних передачах контактні лінії розташовані під великими кутами, (практично перпендикулярно) до напрямку векторів ковзання, ніж у зубчастому зачепленні. Фірми Flender та Kumera випускають передачі (рис. 1.10), основною перевагою яких є сприятливе розташування контактних ліній щодо векторів швидкості ковзання [14, 15]. Черв'якові передачі нечутливі до великих ударних навантажень при невеликій кількості обертів.

Передачі типу Savex мають увігнутий профіль бічної поверхні черв'яка та опуклу форму черв'ячного колеса. Зачеплення такого роду забезпечує краще змащування бічної поверхні зубів черв'яка та створення ефекту масляного клину. Завдяки цьому, зачеплення має більше високу здатність

навантаження, тривалий термін служби, менший знос, та забезпечує адаптацію до умов застосування та режиму навантаження.

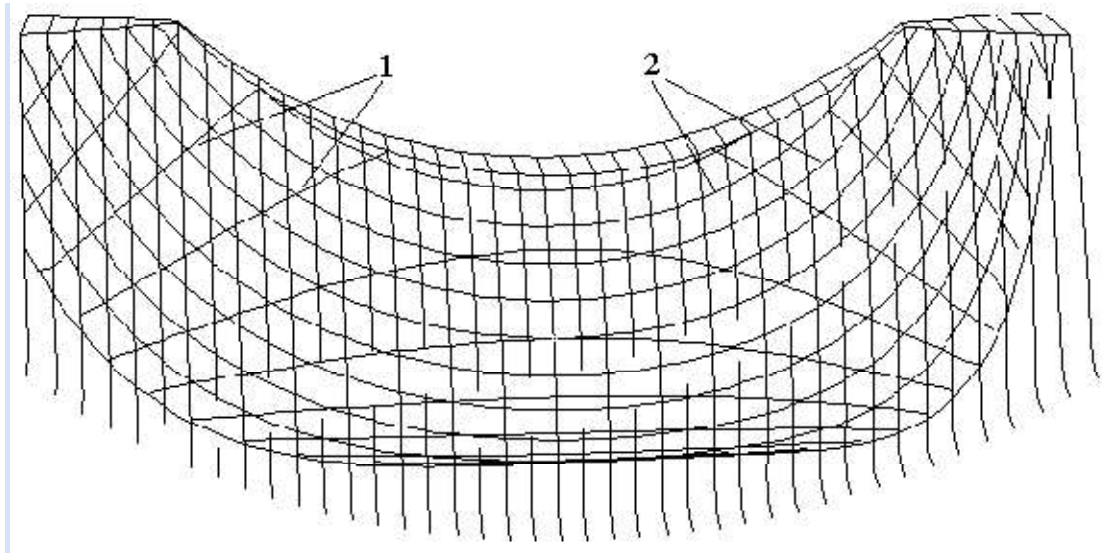


Рисунок 4.9 – Передачі Covera та Cavex відповідно з увігнутих осьовим профілем витка черв'яка: 1 – контактні лінії; 2 – напрямки швидкості ковзання

#### 4.2. Чисельний підхід до визначення контактних ліній черв'ячної передачі

Подання профілю витка черв'яка у вигляді координат  $\{x_{pi}, y_{pi}\}_{i=1}^{i=n}$  великої кількості його точок, може бути отримано при переході від аналітичного завдання профілю до чисельного.

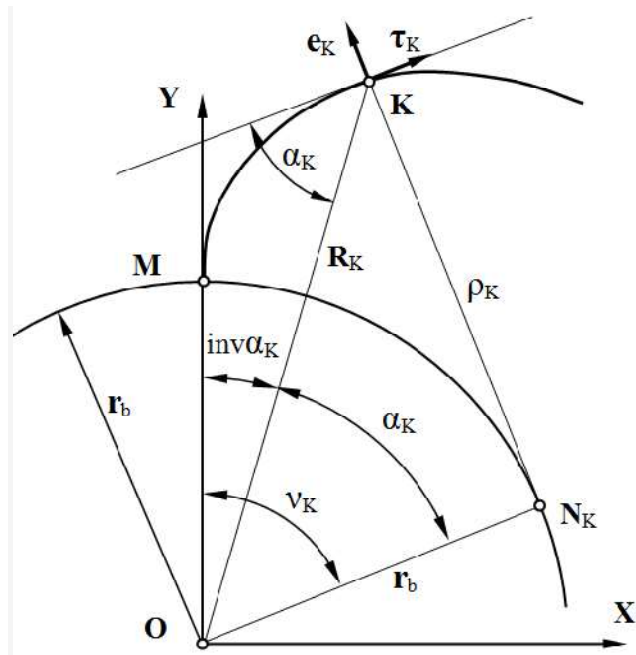


Рисунок 4.10 – Торцевий переріз евольвентного черв'яка

З рис. 4.10 зазначимо, що координата  $y_{pi}$  позначає переміщення точки К в осьову площину по гвинтовій лінії з гвинтовим параметром  $P = 0,5 \cdot m \cdot z_1$ . Координата  $x_{pi}$  (1) чисельно визначається за кутовому положенню осьової площини  $\psi$  (2), яка, у свою чергу, може бути знайдена з умови отримання заданої товщини витка (3) на ділільному діаметрі черв'яка.

$$x_{pi} = (\psi + inv\left(\arccos \frac{r_b}{y_{pi}}\right)) \cdot P, \quad (4.1)$$

$$\psi = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot m}{P} - inv\left(\arccos \frac{d_b}{d_1}\right), \quad (4.2)$$

$$b = 0,25 \cdot \pi \cdot m. \quad (4.3)$$

4.3. Визначення координат точок профілю витка черв'яка в перерізі, паралельному його осі

Визначення координат точок профілю витка черв'яка в перерізі, паралельному осі, за координатами його осьового профілю представлено на рис. 4.11.

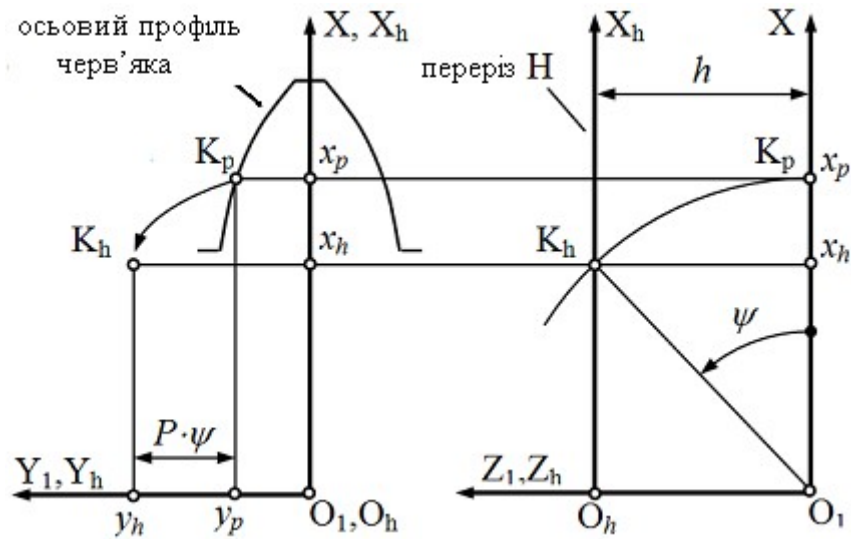


Рисунок 4.11 – Визначення координат точки профілю витка черв'яка у перерізі, паралельному його осі

Точка  $K_p(x_p, y_p)$  на осьовому профілі черв'яка в перерізі  $X_1O_1Y_1$  лежить на гвинтовій лінії на циліндрі радіусу  $x_p$ , яка перетинає переріз  $X_hO_hY_h$  в точці  $K_h(x_h, y_h)$ . При цьому вона повертається на кут і переміщається по  $O_1Y_1$  на  $P \cdot \psi$ . Для черв'яка з модулем  $m$  і числом заходів  $z_1$  гвинтовий параметр  $P = 0,5 \cdot m \cdot z_1$ , відповідно до цього, координати визначаються за формулами (4):

$$x_h = x_p \cdot \cos \psi; \quad y_h = y_p + P \cdot \psi; \quad \psi = \arcsin \frac{h}{x_p}. \quad (4)$$

Формули (4) дозволяють отримати координати точок профілю рейки  $\{x_{hi}, y_{hi}\}_{i=1}^{i=n}$ , що зачіпляється з торцевим перерізом черв'ячного колеса.

Програмуючи в середовищі Matlab, знаходимо осьовий профіль довільного витка (у разі – архімедова) черв'яка з схеми рис. 4.12.

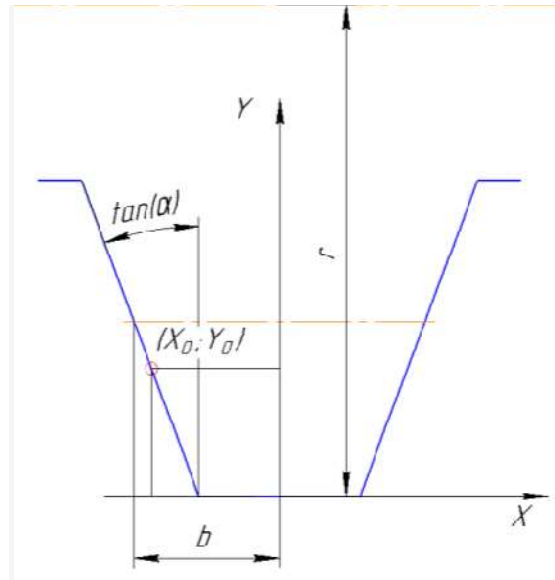


Рисунок 4.12 – Схема визначення координат точок осьового профілю архімедова черв'яка

Розроблена методика ґрунтується на поданні черв'ячної передачі у вигляді набору рейкових зачеплень у ряді торцевих перерізів черв'ячного колеса. Реалізуючи в Matlab, отримуємо, що необхідно розбити на перерізу лише частину колеса та черв'яка, що безпосередньо перебувають у зоні контакту. Обмеженнями для розбивки по перерізах є радіус виїмки черв'ячного колеса (рис. 4.13).

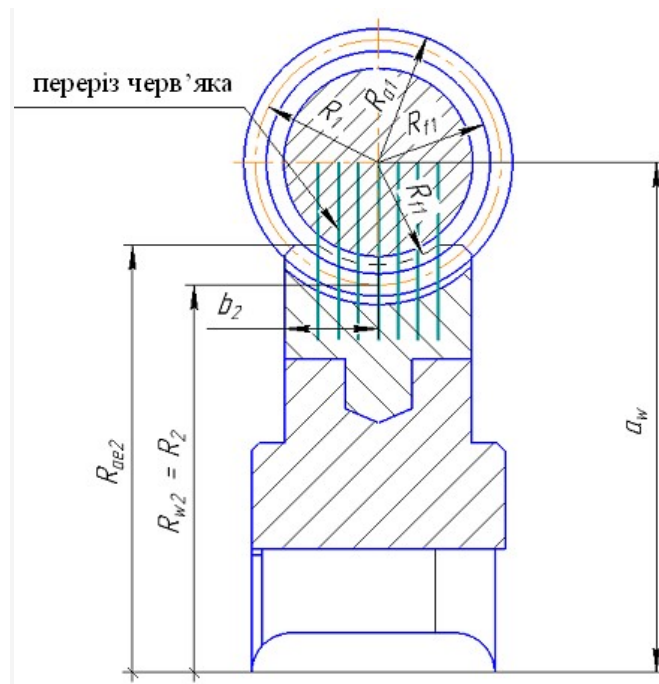


Рисунок 4.13 – Рейкові передачі, отримані у ряді торцевих перерізів колеса

Для Matlab вихідними даними з'явилися параметри зачеплення черв'ячної передачі:  $m = 4$  мм;  $q = 9$ ;  $x = 0$ ;  $z_2 = 31$ ;  $z_1 = 1,2,4$ . Для ілюстрації відмінності профілів архімедова та евольвентного черв'яків варіювалася кількість заходів черв'яка. На рис. 4.14–4.19 наводиться порівняння даних профілів. Грунтуючись на наведеному порівнянні для архімедової та евольвентної передач геометрія та параметри трибосполучення при невеликій кількості заходів черв'яка практично не відрізняються.

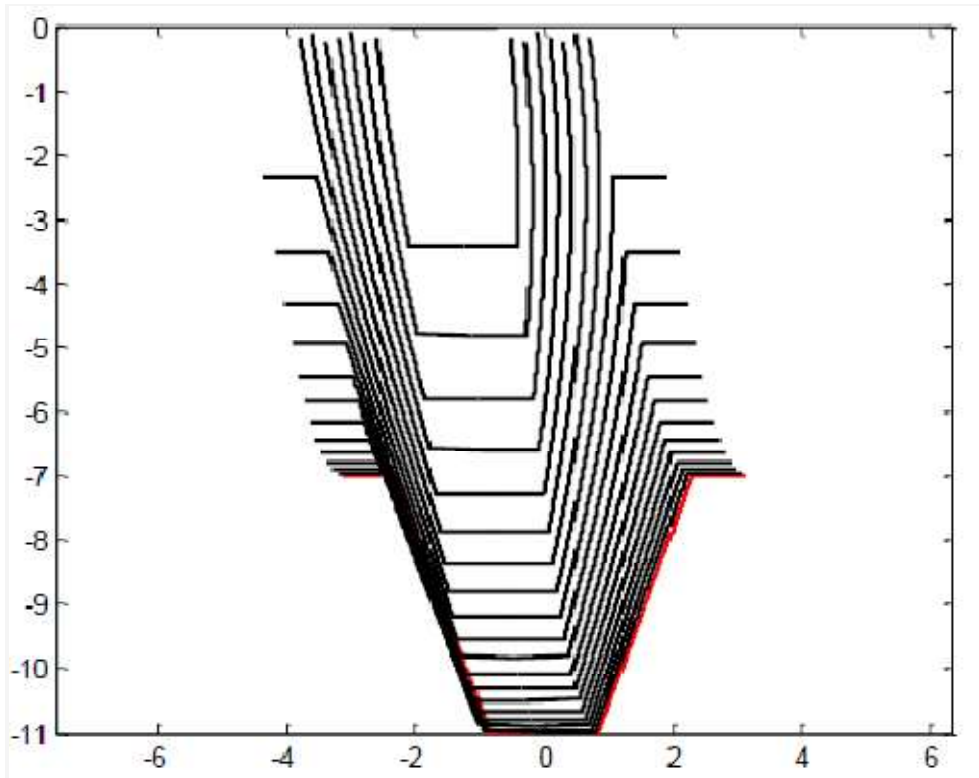


Рисунок 4.14 – Осьові перерізи архімедового черв'яка при  $z_1 = 1$

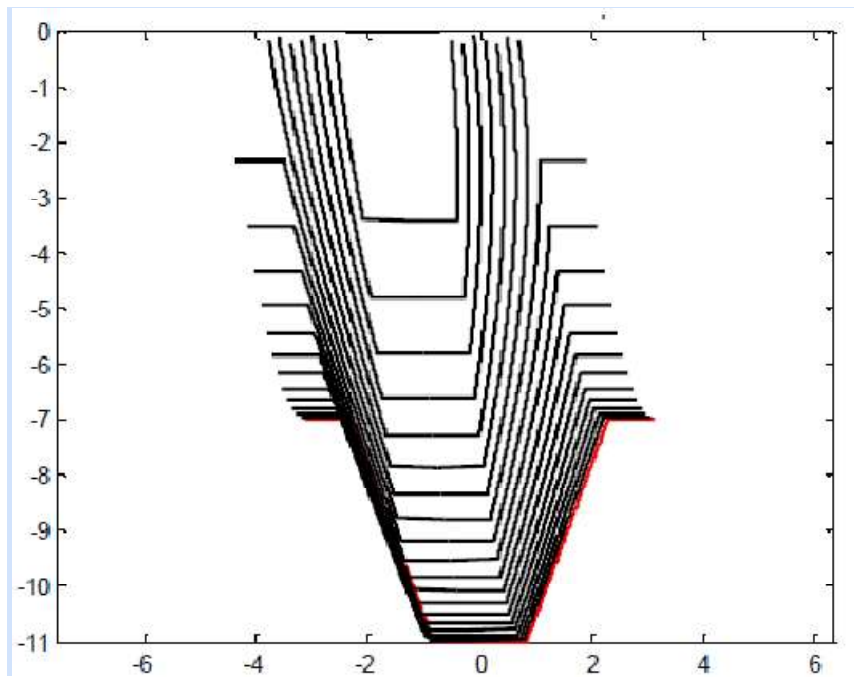


Рисунок 4.15 – Осьові перерізи евольвентного черв'яка при  $z_1 = 1$

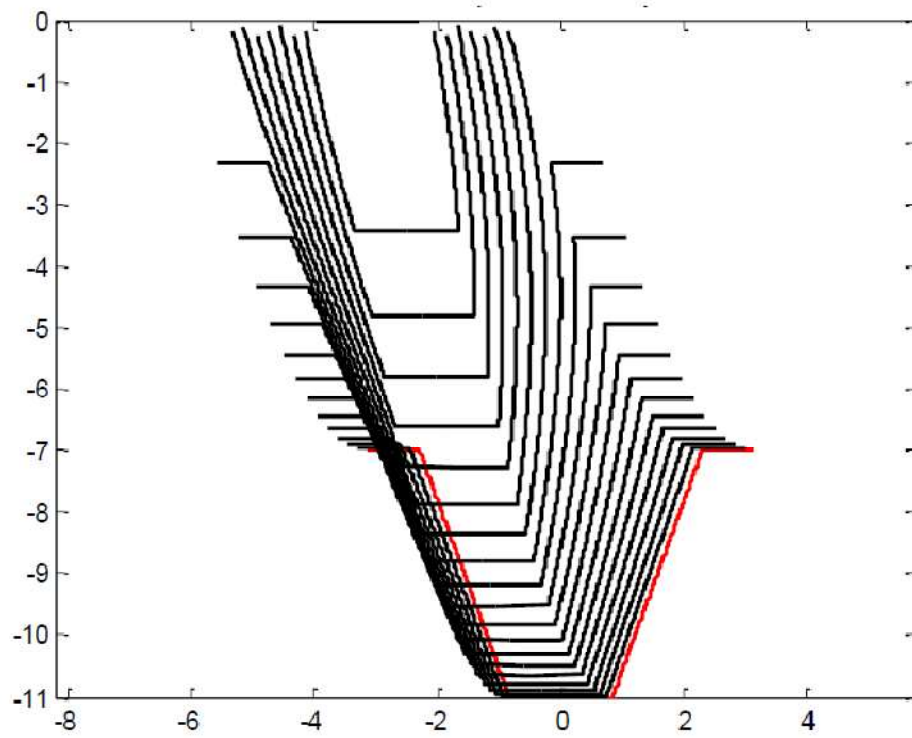


Рисунок 4.16 – Осьові перерізи архімедового черв'яка при  $z_1 = 2$

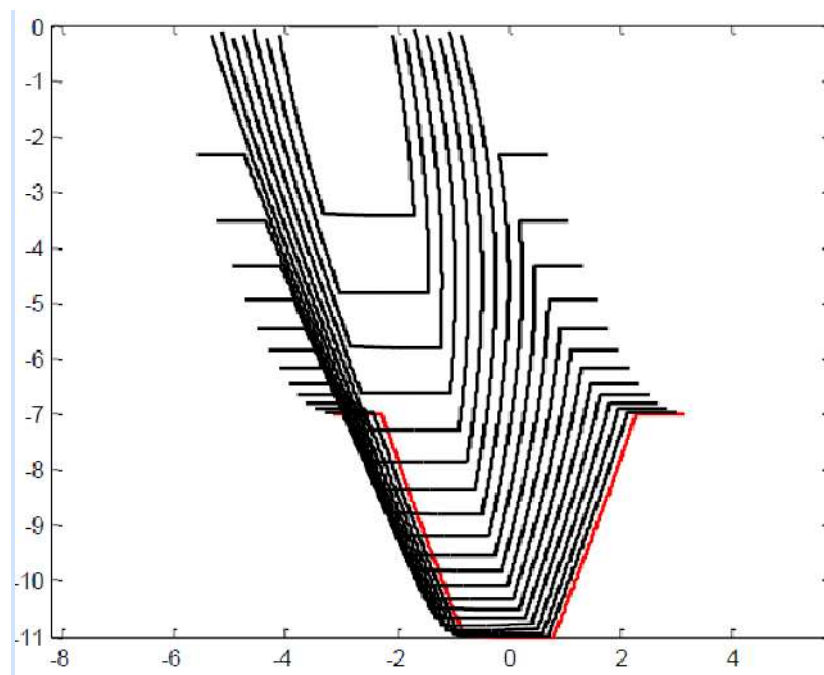


Рисунок 4.17 – Осьові перерізи евольвентного черв'яка при  $z_1 = 2$

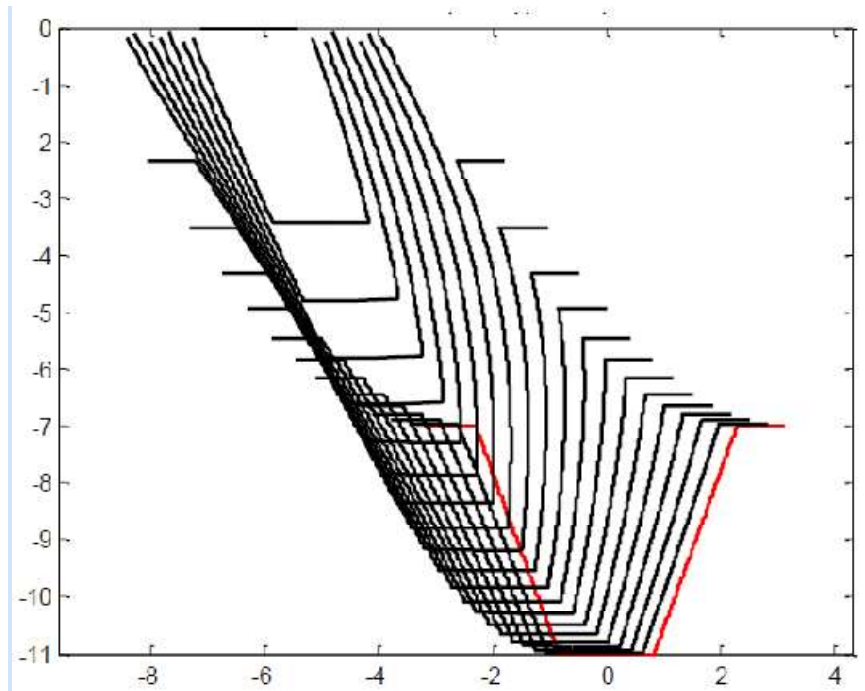


Рисунок 4.18 – Осьові перерізи архімедового черв'яка при  $z_1 = 4$

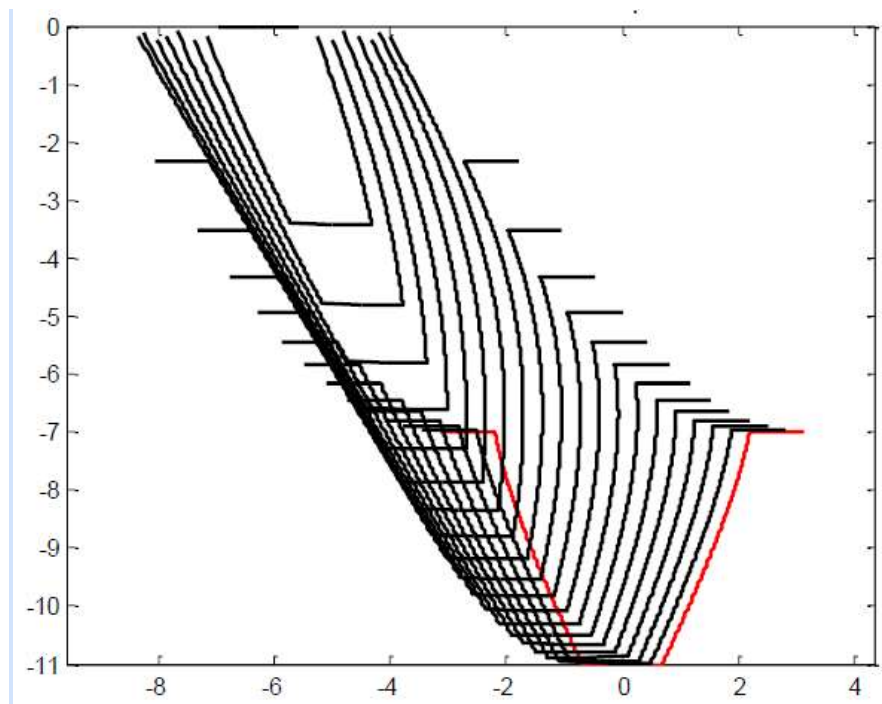


Рисунок 4.19 – Осьові перерізи евольвентного черв'яка при  $z_1 = 4$

#### 4.4 Визначення координат точки контакту перерізу черв'яка з торцевим перерізом черв'ячного колеса

Профіль зуба колеса в цьому перерізі визначається рядом точок контакту з заданими точками профілю зуба рейки. Умовою контакту профілів у точці К є проходження профільної нормалі є через полюс зачеплення С. Воно може бути записане у вигляді (4.5), як показано на рис. 4.11.

$$r + k = c. \quad (4.5)$$

У системі координат  $O_h X_h Z$ , жорстко пов'язаної з перетином черв'яка (6):

$$r = \begin{bmatrix} x_h \\ y_h \end{bmatrix}; \quad k = -k \begin{bmatrix} e_x \\ e_y \end{bmatrix}; \quad c = \begin{bmatrix} a_w - r_{w2} \\ P \cdot \varphi_1 \end{bmatrix}, \quad (4.6)$$

де  $a_w$  – міжосьова відстань передачі;  $r_{w1} = a_w - r_{w2}$  – початковий радіус черв'яка;  $r_{w2}$  – радіус початкового кола колеса;  $\varphi_1$  – кут повороту черв'яка;  $k$  – відстань від точки контакту до полюса. На підставі рівнянь (4.5) та (4.6) кут повороту черв'яка та координати точки контакту в системі координат, жорстко пов'язаної з перетином черв'яка визначаються за формулами (4.7, 4.8).

$$\begin{cases} x_h - k \cdot e_x = r_{w1} \\ y_h - k \cdot e_y = -P \cdot \varphi_1 \end{cases}; \quad y_h = \frac{x_h - r_{w1}}{e_x} \cdot e_y = -P \cdot \varphi_1 \quad (4.7)$$

$$\varphi_1 = \frac{y_h - k \cdot e_y}{P} = \frac{1}{P} \cdot \left( (x_h - r_{w1}) \cdot \frac{e_x}{e_y} - y_h \right), \quad (4.8)$$

$$\text{де } k = \frac{x_h - (a_w - r_{w2})}{e_x}.$$

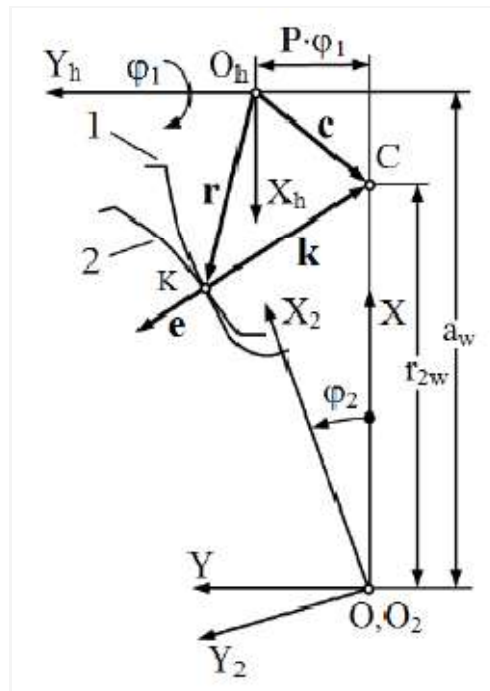


Рисунок 4.20 – Рейкове зачеплення у торцевому перерізі черв’ячного колеса

Хорти нормалі в точках  $\{x_{hi}y_{hi}\}_{i=1}^{i=n}$  профілю перерізу черв’яка можна визначити за формулою (4.9).

$$e_i = \begin{bmatrix} e_{xi} \\ e_{yi} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{1+(y'_{hi})^2}} \begin{bmatrix} -y'_{hi} \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (4.9)$$

Похідні  $y'_{hi}$ , що входять до формули (9), є чисельним диференціюванням функції, заданої точками  $\{x_{hi}y_{hi}\}_{i=1}^{i=n}$  [8].

Координати точки контакту у нерухомій системі координат OXZ визначаються за формулами (4.10).

$$x = a_w - x_h; \quad y = x_h - P \cdot \varphi_1. \quad (4.10)$$

Слід зазначити, що вони дозволяють збудувати поле зачеплення черв'ячної передачі. Використовуючи матрицю переходу від системи координат  $OXZ$  до системі координат  $O_2X_2Z_2$ , жорстко пов'язаної з черв'ячним колесом, можна визначити координати точки на торцевому профілі зуба колеса, що розглядається. (4.11)

$$x_2 = x \cdot \cos \varphi_2 + y \cdot \sin \varphi_2; \quad y_2 = -x \cdot \sin \varphi_2 + y \cdot \cos \varphi_2, \quad (4.11)$$

де  $\varphi_1$  – кут повороту колеса,  $\varphi_2 = \frac{z_1}{z_2} \cdot \varphi_1$ , де  $z_2$  – число зубів колеса.

На підставі наведених рівнянь, розбивши ширину зубчастого вінця колеса на ряд торцевих перерізів  $\{z_j\}_{j=1}^{j=m}$ , можна отримати ряд чисельно заданих функцій  $\{x_{2j}(\varphi_1), y_{2j}(\varphi_1)\}_{j=1}^{j=m}$ , які дозволяють побудувати контактні лінії на поверхні зуба колеса при низці кутів повороту черв'яка. При цьому в нерухомій та жорстко пов'язаній з колесом системах координат вводяться осі відповідно.

При кутовій швидкості черв'яка  $\omega_1$  вектор швидкості ковзання  $V_c$  в точці контакту  $K$  (рис. 4.20) у системах координат  $OXYZ$  та  $O_2X_2Y_2Z_2$  визначається за формулами (4.12, 4.13)

$$V_c = \begin{bmatrix} V_{cx} \\ V_{cy} \\ V_{cz} \end{bmatrix} = \omega_1 \left( \begin{bmatrix} -z_j \\ 0 \\ x_p \end{bmatrix} - \frac{z_1}{z_2} \begin{pmatrix} -(y_p + P \cdot \psi) \\ a_w - x_p \\ 0 \end{pmatrix} \right), \quad (4.12)$$

$$V_{c2} = \begin{bmatrix} V_{cx} \cdot \cos \varphi_2 + V_{cy} \cdot \sin \varphi_2 \\ -V_{cx} \cdot \sin \varphi_2 + V_{cy} \cdot \cos \varphi_2 \\ V_{cz} \end{bmatrix}. \quad (4.13)$$

При кутовій швидкості черв'яка  $\omega_1 = 1c^{-1}$  вектор швидкості ковзання  $V_{cj}$  у середній точці  $j$ -ї ділянки контактної лінії (рис. 2.10) у системі координат OXYZ визначається за формулами (4.14):

$$V_c = \begin{bmatrix} V_{cx} \\ V_{cy} \\ V_{cz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -z_c \\ 0 \\ x_c \end{bmatrix} - \frac{z_1}{z_2} \begin{pmatrix} -(y_c + P \cdot \varphi_1) \\ a_w - x_c \\ 0 \end{pmatrix}; \quad \begin{matrix} x_c = 0,5 \cdot (x_{hj+1} + x_{hj}) \\ y_c = 0,5 \cdot (y_{hj+1} + y_{hj}) \\ z_c = 0,5 \cdot (z_{j+1} + z_j) \end{matrix}. \quad (4.14)$$

Несучу здатність масляного клину на  $j$ -тої ( $j = 1 \dots m-1$ ) ділянці, рівним добутку довжини  $\Theta$  контактної лінії можна оцінити показником ділянки на нормальну складову орта швидкості ковзання (4.15).

$$\Theta_j = \frac{[\Delta_j \times V_{cj}]}{[V_{cj}]}; \quad \Delta_j = \begin{bmatrix} x_{hj+1} - x_{hj} \\ y_{hj+1} - y_{hj} \\ z_{j+1} - z_j \end{bmatrix}; \quad j = 1 \dots m-1. \quad (4.15)$$

#### 4.5 Побудова контактних ліній та їх оцінка за становищем щодо векторів швидкості ковзання

Побудова контактних ліній за наведеною вище універсальною методикою зроблено за допомогою програми Matlab. Результати наочно демонструють рис. 4.21–4.26. Зображені контактні лінії мають вхідну та вихідну сторони. Вхідна сторона розташовується у лівій частині перерізу колеса, так як моделювалося черв'ячне зачеплення з правим черв'яком.

Число заходів черв'яка  $z_1 = 1$ :

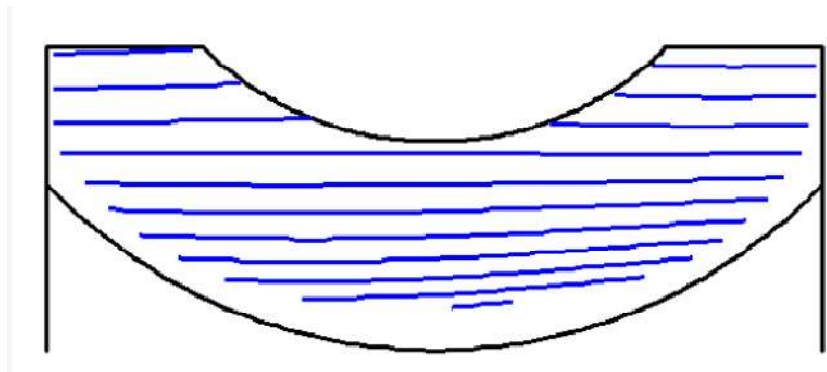


Рисунок 4.21 – Контактні лінії на зубі колеса при архімедовому черв'яку

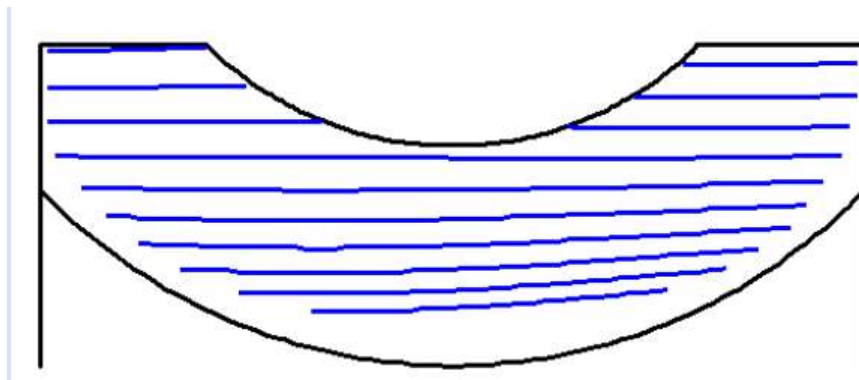


Рисунок 4.22 – Контактні лінії на зубі колеса при евольвентному черв'яку

Число заходів черв'яка  $z_1 = 2$ :

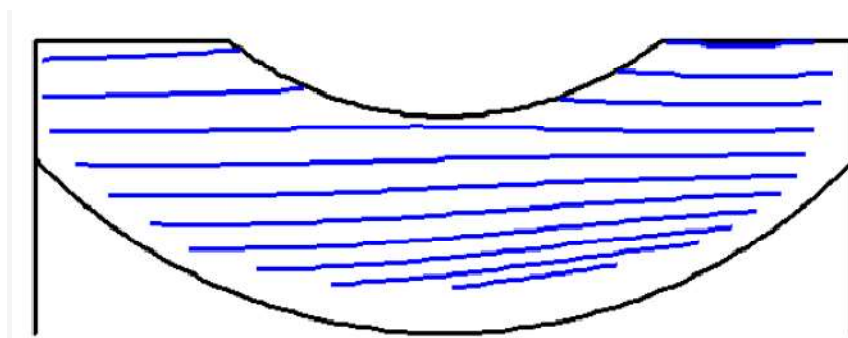


Рисунок 4.23 – Контактні лінії на зубі колеса при архімедовому черв'яку

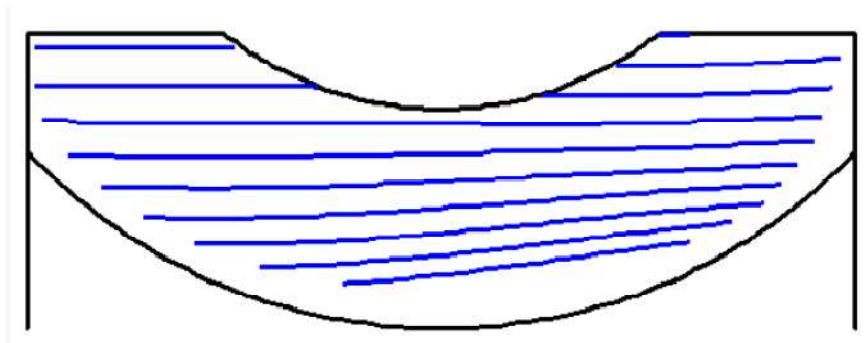


Рисунок 4.24 – Контактні лінії на зубі колеса при евольвентному черв'яку

Число заходів черв'яка  $z_1 = 4$ :

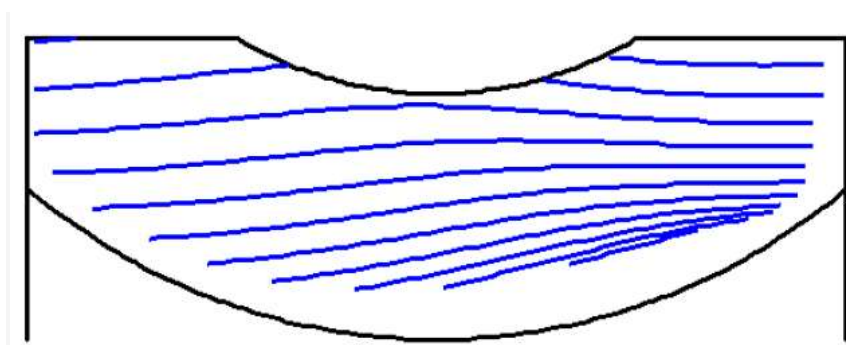


Рисунок 4.25 – Контактні лінії на зубі колеса при архімедовому черв'яку

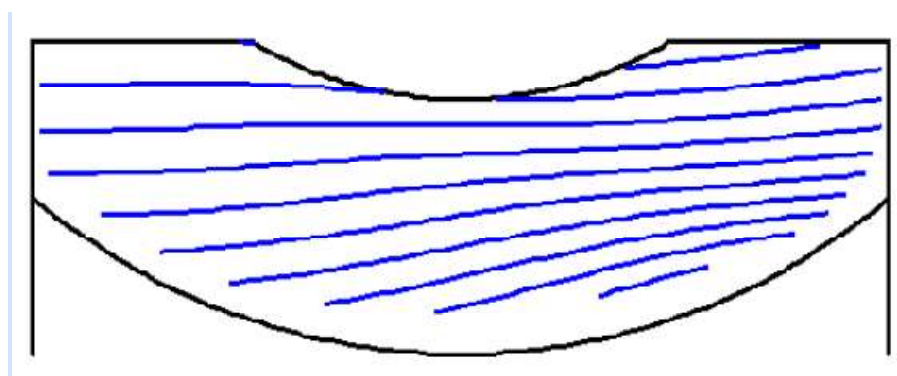


Рисунок 4.26 – Контактні лінії на зубі колеса при евольвентному черв'яку

Як порівняння наведені поля контактної зачеплення, виконані шляхом прямого моделювання нарізування та зачеплення черв'ячної передачі рис. 4.27, 4.28.

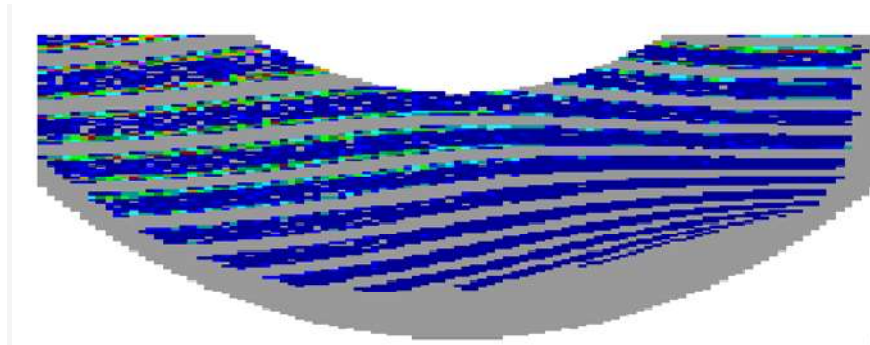


Рисунок 4.27 – Контактні лінії на зубі колеса при архімедовому черв'яку з числом заходів  $z_1 = 4$

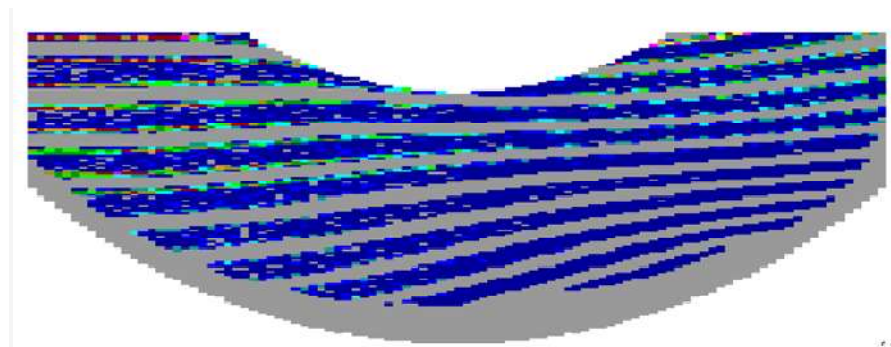


Рисунок 4.28 – Контактні лінії на зубі колеса при евольвентному черв'яку з числом заходів  $z_1 = 4$

У ході цієї роботи була розроблена універсальна методика знаходження контактних ліній черв'ячної передачі при довільному профілі витка черв'яка. Черв'ячна передача була представлена у вигляді рейкових зачеплень у ряді торцевих перерізів черв'ячного колеса. Визначено точки контакту профілів зуба колеса та зуба рейки. Оцінка та порівняння положення контактних ліній щодо векторів ковзання проведено для низки черв'ячних передач з евольвентним та архімедовим профілем витка.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 5.1 Умови праці на робочих місцях

В механічному цеху умови праці на робочих місцях складаються під дією великої кількості небезпечних та шкідливих факторів, що характеризуються великим різноманіттям.

Питання забезпечення охорони праці і навколишнього середовища в бакалаврській роботі розглядається як на стадії проектування вала так і в процесі експлуатації ріжучого інструменту (різців, фрез, абразивного інструменту).

Для успішного рішення цих задач необхідним є найбільш повне виявлення небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що відбивають специфіку процесів обробки матеріалів різанням.

Відповідно до ГОСТ 12.0.003-74 [9] небезпечні і шкідливі виробничі фактори підрозділяються:

- фізичні;
- хімічні;
- біологічні;
- психофізіологічні.

Характерними для процесів різання небезпечними і шкідливими факторами є:

1 Фізичні - рухливі частини устаткування, що пересувають заготовки і вироби, стружка і пил оброблюваного матеріалу, підвищена напруга в електричному ланцюгу, високі рівні шуму і вібрації й інше.

2 Хімічні — аерозолі при роботі з ЗОТЗ.

3 Біологічні — бактерії і мікроорганізми.

4 Психофізіологічні — фізичні перевантаження, перенапруга зору, монотонність праці.

Приміщення цеху, у якому будуть експлуатуватися верстати: фрезерні, токарні, шліфувальні, є вогнебезпечними. Основними причинами пожеж є:

- порушення технологічного режиму;
- несправність електроустаткування (коротке замикання, перевантаження);
- самозаймання промасленого дрантя;
- недотримання планового ремонту устаткування й інші.

Несприятливий вплив на природу можуть робити аерозолі твердих і рідких речовин (пилу, аерозолі ЗОТЗ), що утримуються у вентиляційних викидах, стічні води, тверді відходи (пил, стружка й інші), шум, вібрація.

Аналіз умов безпеки на робочому місці верстатника (ідентифікація небезпечних і шкідливих факторів, нормативні значення параметрів і вимог, міри захисту) даний у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 — Карта безпеки умов праці на робочому місці верстатника

№	Найменування небезпечних і шкідливих факторів	Нормований параметр, одиниці вимірювання	Нормативні показники, вимоги	Основні заходи щодо забезпечення нормативних показників, вимог	Нормативно-технічні документи
1	2	3	4	5	6
1	Рухомі частини верстатів, відкрита частина верстата, заготовки, що пересуваються, стружка, що відлітає, габарити станини, що виступають при роботі, зовнішні торці складальних одиниць і ін.			Огородження, щитки, екрани, фарбування відповідних елементів верстата в сигнальні кольори, захисні окуляри й ін.	ГОСТ 12.2.009-80 [23]
2	Недосконалість конструкцій органів керування і нераціональне їхнє розміщення, що приводить до випадків заземлення і попадання руки в рухомі частини верстата, до перевищень динамічних і статичних навантажень на людину, перенапрузі зорових аналізаторів і ін.	Сила струму I, mA		Виконання технічних і ергономічних вимог до органів керування на стадії проектування, виготовлення й експлуатації, ремонту.	ГОСТ 12.2.033-78 [23] ГОСТ 12.2.049-80 [23]
1	2	3	4	5	6

3	<p>Перевантаження, здатні викликати поломку деталей верстата, мимовільне опускання шпинделів, голівок, бабок і інших складальних одиниць, перебіги складальних одиниць за межі, що допускаються, включення режиму обробки до закінчення затиску деталі, мимовільне ослаблення при роботі пристроїв для закріплення патронів, інструмента, припинення подачі електроенергії, падіння тиску мастила в гідравлічних і пневматичних лініях.</p>			Запобіжні та блокуючі пристрої	ГОСТ 12.2.009-80 [23]
4	Електричний струм.	Сила струму I, mA		Ізоляція струмоведучих частин і забезпечення їхньої неприступності, подвійна ізоляція, захисне заземлення, занулення, відключення, використання електрозахисних засобів і пристроїв.	
5	<p>Пил і дрібна стружка:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- заліза оксид;</li> <li>- діоксид кремнію;</li> <li>- алюміній;</li> <li>- чавун.</li> </ul>	<p>ГДК<sub>р.з./</sub> ГДК<sub>ср.доб</sub> „ мг/м<sup>3</sup></p>	<p>6/0,5; 2/0,5; 2/0,5; 6/0,5.</p>	<p>Місцеві відсоси (пилостружкоприймачі), очищення повітря (пилестружкоосоджувальні камери, циклони, фільтри).</p>	ГОСТ 12.2.009-89 [23]

1	2	3	4	5	6
6	Продукти термічного	ГДК <sub>р.з./</sub>		Місцеві відсоси, загальнообмінні	СНиП

	розкладу мінеральних мастил, що входять до складу ЗОТЗ: - оксид вуглецю; - оксид сірки; - мастила мінеральні; - нітрит натрію.	ГДК <sub>ср.доб.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	20/3; 10/0,05; 5/0,5; 20/5.	а вентиляція, фільтри для очищення повітря (матерчасті, ячеїсті та ін), розсіювання шкідливих речовин в атмосфері.	2.04.05-92 [24]
7	Бактерії і мікроорганізми при експлуатації ЗОТЗ.			Введення в ЗОТЗ бактерицидних добавок, відновлення технологічних властивостей ЗОТЗ фізико-хімічними та іншими методами.	
8	Невідповідність параметрів мікроклімату нормативним значенням за умови виконання робіт середньої ваги.	t, °C; φ, %; V, м/с.	Середньої важкості II а холодний період року t=17...23 °C, φ не більше 75 %, V не більше 0,3 м/с. В теплий період року t 18-27 °C, φ не більше 75 %, V не більше 0,2÷0,4 м/с.	Загальобмінна вентиляція, опалення.	ГОСТ 12.1.005-88 [24]
1	2	3	4	5	6
9	Незадовільне освітлення зони обробки.	Штучне освітлення Е,Лк. Природне	Комбіноване освітлення, 2000,	Фіксація світильника в необхідних положеннях,	СНиП II 4-79

		освітлення, КПО, %	роботи середньої точності, 2 %.	відповідність освітленості нормативним вимогам, контроль освітленості, очистка скла у вікнах та світових ліхтарях	
10	Шум, вібрації	Рівень звуку, дБА. Рівень вібро- швидкості, Lv, м/с. Рівень, вібро- прискорення Ld, м/с <sup>2</sup> .	80  92 при f=63 Гц.  118 при f=63 Гц.	Вибір оптимальних режимів різання, конструктивних елементів устаткування, передач, підшипників, шестерень зі спеціальними видами зачеплення й інші, систем змащення, балансування, застосування полімерних матеріалів при виготовленні технологічного устакування, встановлення верстатів на віброізолюючі фундаменти	ГОСТ 12.1.003 -83 [23 ] ГОСТ 12.1.012 -90 [24]
1	2	3	4	5	6
11	Небезпечні і шкідливі фактори пожежі: - відкрите полум'я;		Клас приміщення механічного цеху по пожежній небезпеці	Виконання вимог системи запобігання пожежі і пожежного захисту.	ГОСТ 12.1.004 -91 [24]

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- іскри;</li> <li>- дим;</li> <li>- вогнегасячі речовини;</li> <li>- утрата міцності будівельних конструкцій та інші.</li> </ul>		„Д”.		
12	Тверді відходи (стружка).			Переробка металевих відходів.	
13	Відпрацьовані ЗОТЗ.			Очищення та регенерація.	

## 5.2 Опалення і вентиляція

Опалення виробничого приміщення намічається повітряне з використанням опалювально-рециркуляційного агрегату типу СДТ, встановлюваного в одному торців виробничого приміщення. Вентиляція передбачається природна через фрамуги світлових прорізів і механічна витяжна за допомогою вентиляційної установки.

Розрахунок механічної вентиляції:

Розрахунок механічної вентиляції проводимо виходячи з об'єму виробничого приміщення  $V = 535,2$  м<sup>3</sup>, коефіцієнта кратності повітрообміну  $K = 1,2$ .

1. Необхідна продуктивність вентилятора визначається за формулою:

$$Q = K \times V = 1,2 \times 535,2 = 642,24 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (5.1)$$

За [9] приймаємо вентилятор загального призначення радіальний типу В-Ц4-70 номер 6,3 із продуктивністю ( $Q_v = 7500$  м<sup>3</sup>/г, тиском  $H_v = 110$  кгс/м. і коефіцієнтом корисної дії  $\text{ККД} = 0,8$ ).

2. Визначаємо потужність двигуна:

$$N = K_3 \frac{Q_v \cdot H_v}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_n \cdot \eta_e}; \quad (5.2)$$

де,  $K_z$  – коефіцієнт запасу потужності двигуна,  $K_z = 1,1$ .

$Q_v$  – продуктивність вентилятору, м<sup>3</sup>/г  $Q_v = 7500$ .

$H_v$  – тиск вентилятору, кгс/м<sup>2</sup>,  $H_v = 110$ .

$\eta_p$  – ККД підшипника,  $\eta_p = 0,95$ .

$\eta_v$  – ККД вентилятору,  $\eta_v = 0,8$ .

Підставимо відомі дані в (6.2):

$$N = 1,1 \frac{7500 \cdot 110}{3600 \cdot 102 \cdot 0,95 \cdot 0,8} = 3,1 \text{ кВт}$$

За [9] приймаємо до установки електродвигун типу 4А100L4 потужністю  $N = 4,0$  кВт та числом обертів  $n = 1465$  об/хв.

Освітлення дільниці

Проектом передбачається забезпечення дільниці природним та штучним освітленням.

Природне освітлення намічається бічне. При розряді приміщення по зорових умовах роботи III відношення площі заскленних прорізів до площі ділянки рекомендується приймати від 1:5 до 1:6.

Приймаємо це відношення рівним 1:6. Тоді площа світлових прорізів повинна дорівнювати, м<sup>2</sup>:

$$S_{cp} = \frac{S_d}{6} = \frac{544}{6} = 90,7 \text{ м}^2 \quad (5.3)$$

За умовами планування дільниці намічаємо освітлення його природним світлом за допомогою 5 заскленних простінків, кожен розміром 4×5 метрів.

Штучне освітлення намічаємо комбіноване світильниками з ртутно-дуговими лампами.

### 5.3 Розрахунок штучного освітлення

Виходячи з розмірів об'єктів розрізнювання 0,5-1 мм. для розряду робіт IV норми освітленості робочих поверхонь складають – при комбінованому освітленні 300 лк.

Загальне освітлення :

1. При висоті дільниці  $H = 9,25$  м. відстані від стелі  $h_c = 4$  м. і висоті робочого місця верстатника  $h_{рм} = 1,2$  м. висота підвісу світильника складе:

$$H_{св} = H - h_c - h_{рм} = 9,25 - 4 - 1,2 = 4,05 \text{ м.} \quad (5.4)$$

2. Приймаємо прямокутне розташування світильників з лампами накаливання, при цьому відстань між світильниками:

$$L = 1,5 \times H_{св} = 1,5 \times 4,05 = 6,075 \text{ м.} \quad (5.5)$$

3. Визначаємо кількість світильників, шт.:

$$K_{св} = \frac{S\vartheta}{L^2} = \frac{544}{6,075^2} = 14,7 \text{ шт} \quad (5.6)$$

Приймаємо 16 світильників.

4. Визначаємо показник приміщення:

$$p = \frac{a \cdot b}{H_{св} \cdot (a + b)} = \frac{22,7 \cdot 24}{4,05 \cdot (22,7 + 24)} = 2,9 \quad (5.7)$$

де  $a$  і  $b$  – відповідно довжина і ширина дільниці, м.

5. У цьому випадку коефіцієнт використання світлового потоку буде складати

$$\eta_c = 0,43.$$

6. Визначаємо світловий потік одного світильника:

$$F_p = \frac{E_n \cdot S \cdot k \cdot Z}{\eta_c \cdot K_{св}} \quad (5.8)$$

де  $E_n$  – норма загального освітлення, лк,  $E_n = 300$

$K$  – коефіцієнт запасу світлового потоку,  $K = 1,4$

$S$  – загальна площа дільниці, м<sup>2</sup>,  $S = 544$

$Z$  – коефіцієнт нерівномірності освітлення,  $Z = 1,2$

$\eta_c$  – коефіцієнт використання світлового потоку,  $\eta_c = 0,43$

$K_{св}$  – кількість світильників, шт,  $K_{св} = 16$

Підставимо значення в (5.8)

$$F_p = \frac{300 \cdot 544 \cdot 1,4 \cdot 1,2}{0,43 \cdot 16} = 39851 \text{ лм} \quad (5.9)$$

## ВИСНОВКИ

Під час виконання магістерської роботи було ідентифіковано причину непрацездатності механізму регулювання положення крісла автомобіля Jaguar X-Type та розроблено план ремонтних робіт.

Освоєно методику автоматизованого проектування черв'ячних (та інших) зубчастих колі за допомогою ПО Компас 3D.

Розроблено технологію виготовлення зруйнованого черв'ячного колеса із використанням високопродуктивного обладнання з ЧПК форми HAAS.

За допомогою електронних он-лайн калькуляторів підібрано метало ріжучий інструмент та режими різання.

Розроблено керуючу програму в САМ Esprit для токарного оброблення черв'ячного колеса на верстаті з ЧПК.

Спроектовано верстатний пристрій для нарізання черв'ячного вінця колеса та контрольний пристрій для контролю радіального биття.

У дослідницькій частині роботи була розроблена універсальна методика знаходження контактних ліній черв'ячної передачі при довільному профілі витка черв'яка. Черв'ячна передача була представлена у вигляді рейкових зачеплень у ряді торцевих перерізів черв'ячного колеса. Визначено точки контакту профілів зуба колеса та зуба рейки. Оцінка та порівняння положення контактних ліній щодо векторів ковзання проведено для низки черв'ячних передач з евольвентним та архімедовим профілем витка.

У розділі охорони праці наведені рекомендації по організації безпечних умов праці на виробництві.

## Перелік літературних посилань

1. Справочник технолога – машиностроителя, т.1. Под. ред. Косиловой А.Г. и Мещерякова Р.К., М., Машиностроение, 1986, - 656с.
2. Справочник технолога – машиностроителя, т.2. Под. ред. Малова А.Н., М., Машиностроение, 1973, - 568с.
3. Бондаренко С.Г. Основи технології машинобудування : навч. посібник для студ. вищих техн. навч. закладів / С.Г. Бондаренко. – Львів : Магнолія, 2007. – 567 с.
4. Гордеев А.І. Курсове та дипломне проектування з технології машинобудування та металорізальних верстатів: Навчальний посібник / А.І. Гордеев, Є.А. Урбанюк, А.Є. Безносос, В.Г. Мігаль. – Хмельницький: ХНУ, 2005. – 294 с.
5. Горбацевич А. Ф., Шкред В. А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учебное пособие для вузов. — 5-е издание, стереотипное. Перепечатка с четвертого издания 1983 г. - М.: ООО ИД «Альянс», 2007. - 256 с.
6. Технологія машинобудування: методичні вказівки з курсового проектування для студентів напрямків підготовки “Інженерна механіка” та “Машинобудування” / В.Д. Каразей, Л.В.Присяжний, Ю.В. Савицький .- Хмельницький : ХНУ 2009.- 104с.
7. <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/pages/tools.aspx>
8. Решетов Д. Н. Детали машин : учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов / Д. Н. Решетов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1989. – 496 с. : ил.
9. Справочник по геометрическому расчету эвольвентных зубчатых и червячных передач / под ред. И. А. Болотовского. – М. : Машиностроение, 1986. – 448 с.

10. Чернавский С. А. Проектирование механических передач: учебно-справочное пособие для вузов – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1984. – 559 с.

11. Чернавский С. А. Курсовое проектирование деталей машин : пособие для учащихся машиностроительных специальностей техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1987. – 416 с. : ил.