

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет транспорту та механічної інженерії

(повне найменування факультету)

Кафедра прикладної механіки та мехатроніки

(повна найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

**РОЗРОБКА ЦИКЛОЇДАЛЬНОГО РЕДУКТОРА ДЛЯ СТВОРЕННЯ
ВИСОКОГО МОМЕНТУ СИЛИ**

спеціальність 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Прикладна механіка»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти

групи ІМ-41

Горшкальов Владислав Вадимович

(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Сичук Віктор Анатолійович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу

допущено до захисту

«__» _____ 20__ р.

Гарант освітньої програми:

к.т.н., доцент

Божко Тетяна Євгенівна

(підпис)

Луцьк – 2025 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Транспорту та механічної інженерії

Кафедра Прикладної механіки та мехатроніки

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Освітня програма: Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ Р. Редько

“ _____ ” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ
Горшкальову Владиславу Вадимовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Розробка циклоїдального редуктора для створення високого моменту сили

Керівник роботи: Сичук Віктор Анатолійович, к.т.н., доцент,

затверджені наказом закладу вищої освіти від «31» грудня 2024 р., № 910/01-07

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи «01» червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Теоретичні відомості про циклоїдальний редуктор, технічні характеристики фрезерного верстата з ЧПК

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити)

Вступ. 1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. 2 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ. 3 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ. 4 ОХОРОНА ПРАЦІ. Висновки. Список використаних джерел.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

1. Види механічних редукторів – 1 ф. А1; 2. Циклоїдальний редуктор та його складові – 1 ф. А1; 3. Послідовність створення деталі фрезеруванням – 1 ф. А1; 4. Електрична схема системи – 1 ф. А1

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання

1.03.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	<i>ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ</i>	<i>15.03.25</i>	
2.	<i>КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ</i>	<i>11.04.25</i>	
3.	<i>ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ</i>	<i>16.04.25</i>	
4.	<i>ОХОРОНА ПРАЦІ</i>	<i>20.04.25</i>	
5.	<i>Оформлення графічної частини</i>	<i>11.05.25</i>	
6.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	<i>24.05.25</i>	
7.	<i>Представлення роботи до захисту</i>	<i>30.05.25</i>	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Горшкальов В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Сичук В.А.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Горшкальов В.В. Розробка циклоїдального редуктора для створення високого моменту сили. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Прикладна механіка» спеціальності 131 Прикладна механіка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел (згідно структури кваліфікаційної роботи, затвердженої кафедрою).

Робота включає в себе наступні питання які були розглянуті: сутність редуктора; сутність роботи зубчастих редукторів; редуктори швидкості та редуктори; різні типи редукторів; вибір редуктора; обслуговування зубчастого редуктора; моделювання профілю роботи циклоїдального редуктора; 3D моделювання елементів циклоїдального редуктора; підготовка техпроцесів виготовлення елементів редуктора; розробка електричної схеми стенду для визначення моменту сили; особливості безпеки праці в механообробному цеху.

Ключові слова: циклоїдальний редуктор, ЧПК, моделювання.

ABSTRACT

Gorshkalev V.V. Development of a cycloidal gearbox for creating a high torque. Manuscript.

Bachelor's qualification work of OP "Applied Mechanics" specialty 131 Applied Mechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

The bachelor's qualification work consists of an introduction, 4 chapters, conclusions, a list of used sources (according to the structure of the qualification work approved by the department).

The work includes the following issues that were considered: the essence of the reducer; the essence of the operation of gear reducers; speed reducers and gearboxes; different types of reducers; choice of reducer; maintenance of the gear reducer; modeling of the profile of the operation of the cycloidal reducer; 3D modeling of cycloidal reducer elements; preparation of technical processes for manufacturing reducer elements; development of an electrical circuit of a stand for determining the moment of force; features of occupational safety in a machining shop.

Keywords: cycloidal reducer, CNC, modeling.

ВСТУП

Зубчасті редуктори, їх застосування та роль у робототехніці

Зубчасті редуктори є одними з найважливіших елементів механічних передач у машинобудуванні, зокрема в галузі робототехніки. Їх основна функція — передача обертового моменту з одного валу на інший із зміною частоти обертання та крутного моменту. Іншими словами, редуктори дозволяють зменшити швидкість обертання двигуна та збільшити силу, яку він може прикладати до навантаження.

Зубчастий редуктор складається з кількох шестерень різного діаметру, які з'єднані таким чином, щоб зменшити швидкість обертання привідного валу і збільшити крутний момент на виході. Така система дозволяє ефективно керувати рухом, зменшуючи навантаження на електродвигун та забезпечуючи точність і плавність роботи виконавчих механізмів.

Редуктори застосовуються практично у всіх сферах техніки — від побутової техніки до промислових установок. У робототехніці вони відіграють особливо важливу роль, оскільки дозволяють створювати компактні та потужні приводні системи для маніпуляторів, мобільних платформ, сервомеханізмів та інших складних систем.

Існує кілька основних типів зубчастих редукторів:

1. **Циліндричні** — найпростіші та найпоширеніші. Вісь обертання шестерень паралельна. Такі редуктори часто використовують у промисловості та транспорті.
2. **Конусні** — використовуються для передачі обертання між перехрещеними валами (зазвичай під кутом 90 градусів).
3. **Черв'ячні** — дозволяють досягати дуже великого передатного відношення при компактних розмірах. Характеризуються плавністю ходу та здатністю до самогальмування.

4. **Планетарні** — забезпечують високу компактність при великому передавальному числі. Складаються з центрального сонячного колеса, сателітів та обойми. Дуже ефективні в умовах обмеженого простору.

У сучасній робототехніці найчастіше використовуються **планетарні** та **черв'ячні** редуктори. Планетарні редуктори відзначаються високою передачею крутного моменту при мінімальних габаритах, що робить їх ідеальними для сервоприводів у маніпуляторах, екзоскелетах та роботизованих руках. Їх компактність і точність також дозволяють використовувати їх у колісних приводах мобільних роботів.

Черв'ячні редуктори часто застосовують там, де потрібна висока стабільність та самогальмування — наприклад, у підйомних механізмах роботів або механізмах, які повинні фіксувати положення без подачі енергії.

У легких мобільних платформах, зокрема в освітніх або DIY-проектах, часто використовуються прості пластикові редуктори циліндричного типу, які інтегровані з малопотужними двигунами.

Зубчасті редуктори — це невід'ємна частина більшості механізмів, що забезпечують точну, ефективну та надійну передачу руху. У робототехніці вони відіграють ключову роль, дозволяючи зменшити навантаження на приводи, забезпечити плавний рух та досягати високої точності позиціонування. Залежно від задачі, інженери вибирають тип редуктора, орієнтуючись на компактність, передатне число, зносостійкість та ефективність.

1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

Редуктор: типи, використання та функції [3].

1.1 Сутність редуктора

Редуктор – це тип механічного пристрою, розробленого для зменшення швидкості обертання вхідного валу та одночасного посилення вихідного крутного моменту. Він досягає цього за допомогою послідовності взаємопов'язаних шестерень, де високошвидкісний вхідний вал входить у зачеплення з набором шестерень для зміни швидкості та крутного моменту. Конкретна конфігурація та кількість шестерень у редукторі залежать від бажаних характеристик швидкості та крутного моменту, адаптованих до конкретного застосування.



Рисунок 1.1 – Двоступінчастий редуктор

Зубчасті редуктори стають необхідними, коли ведуча шестерня менша за розміром і кількістю зубців порівняно з веденою шестернею. Така конфігурація контрастує з підвищувальною передачею, де ведуча шестерня порівняно більша та містить більше зубців, ніж ведена шестерня.

Зубчасті редуктори незамінні в автомобільній промисловості, особливо в таких транспортних засобах, як легкові та вантажні автомобілі. Вони перетворюють високошвидкісне обертання, що генерується двигуном, на рух з меншою швидкістю, що дозволяє шинам ефективно використовувати та керувати потужністю двигуна безпечним та ефективним способом.

1.2 Сутність роботи зубчастих редукторів

Зубчасті редуктори, також відомі як редуктори або коробки передач, є критично важливими механічними компонентами, що використовуються в широкому спектрі промислового обладнання. Їхня основна функція полягає в перетворенні високошвидкісної енергії обертання від двигунів на нижчі, більш керовані вихідні швидкості, одночасно збільшуючи вихідний крутний момент. Адаптуючи співвідношення швидкості та крутного моменту, зубчасті редуктори дозволяють машинам працювати з оптимальною ефективністю для конкретних застосувань, від конвеєрних стрічок та систем обробки матеріалів до автоматизації та робототехніки. Зазвичай, редуктор складається з більшої шестерні (веденої), що знаходиться в парі з меншою шестернею (ведучою), причому обидві шестерні входять у зачеплення та обертаються разом, утворюючи основу механізму зниження швидкості.

У базовій конструкції редуктора, коли більша шестерня приводить в рух меншу шестерню, менша шестерня робить два оберти за кожен оберт більшої шестерні. Хоча така конструкція збільшує вихідну швидкість, це призводить до зменшення крутного моменту. І навпаки, коли менша шестерня приводить в рух більшу шестерню, швидкість зменшується, а крутний момент збільшується, що часто є бажаним результатом у промислових приводних системах, що потребують високої сили при знижених швидкостях.

Процес зниження швидкості досягається за допомогою точних передавальних чисел, які узгоджують характеристики вхідної та вихідної швидкості та крутного моменту з вимогами приводного застосування. Редукторні механізми змінюють передачу енергії між первинним двигуном (наприклад, електродвигуном) та веденим механізмом, точно контролюючи

співвідношення між обертовими шестернями, забезпечуючи надійність та максимізуючи продуктивність у різних секторах.

Процес роботи редуктора

Передавальне число

Передавальне число є фундаментальним фактором продуктивності редуктора, який кількісно визначає, як шестерні різних розмірів взаємодіють для передачі обертального руху та механічної енергії. Це число визначається, головним чином, шляхом порівняння кількості зубців або довжини кола ведучої шестерні з веденою. Наприклад, якщо менша шестерня виконує два оберти за кожен оберт більшої шестерні, передавальне число становить 2:1, що вказує на те, що вихідна швидкість зменшується вдвічі, а вихідний крутний момент подвоюється, за умови відсутності значних втрат потужності.

Цей приклад ілюструє важливу концепцію, яку можна поширити на складніші системи зубчастих передач, відомі як складні зубчасті передачі або багатоступінчасті коробки передач. Ці вдосконалені вузли часто використовують кілька пар зубчастих передач для поступового перетворення високих вхідних обертів за хвилину (об/хв) у значний вихідний крутний момент. Наприклад, у планетарному редукторі взаємодія сонячної, планетарної та кільцевої шестерень забезпечує надзвичайно компактні рішення з високим крутним моментом для автоматизації та сервоприводів.

Під час розрахунку передавального числа враховуються лише вхідна (ведуча) шестерня та вихідна (ведена) шестерня; будь-які проміжні холості шестерні не впливають на загальне передавальне число, але можуть змінювати напрямок обертання. Щоб визначити передавальне число, порахуйте кількість зубів на ведучій та веденій шестернях. Наприклад, якщо ведуча шестерня має 7 зубів, а ведена — 30, ведуча шестерня повинна обернутися приблизно 4,3 рази, щоб ведена шестерня зробила один оберт. Вибір ідеального передавального числа має вирішальне значення для узгодження вихідної потужності двигуна з

вимогами конкретного застосування, що покращує енергоефективність, керування рухом та механічну довговічність.

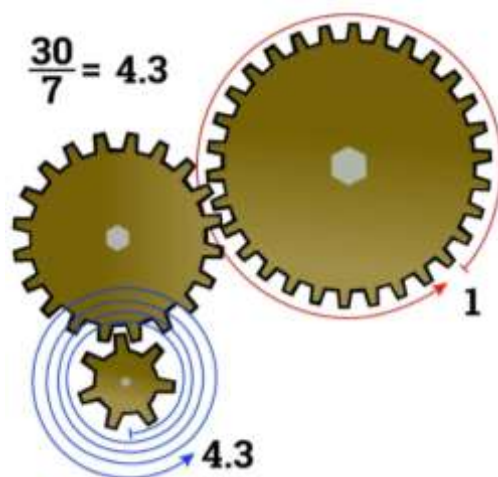


Рисунок 1.2 – Триступеневий редуктор

Крутний момент редуктора шестерні

Крутний момент – це обертальна сила, яка подається на редуктор і згодом перетворюється на іншу комбінацію сили та швидкості, зберігаючи при цьому той самий рівень потужності. Редуктор розроблений для збільшення або зменшення крутного моменту, що видається приводним двигуном, прямо пропорційно зміні кількості вихідних обертів за хвилину (об/хв). Вибираючи різні ступені та конфігурації передач, такі як гвинтові, прямозубі, конічні або черв'ячні, інженери можуть досягти бажаного балансу між швидкістю та крутним моментом для різних промислових застосувань, включаючи пакувальне обладнання, конвеєри та важке гірничодобувне обладнання.

Редуктори відіграють вирішальну роль у збільшенні або зменшенні вихідного крутного моменту, залежно від їх розміру та типу. Високошвидкісні редуктори зазвичай використовуються для посилення сили для важких навантажень, тоді як низькошвидкісні редуктори забезпечують вищі швидкості для точних застосувань. Передавальне число, яке визначається відносними розмірами та кількістю зубців шестерень, безпосередньо впливає на крутний момент, що створюється на вихідному валу. Цей важливий принцип лежить в основі роботи всіх коробок передач, редукторів швидкості та промислових

передач, захищаючи продуктивність та подовжуючи термін служби компонентів, запобігаючи перевантаженню двигунів та механічних систем.

Привідна шестерня

Привідні шестерні або зубчасті передачі точно спроектовані для зміни швидкості, крутного моменту або напрямку обертового валу, відіграючи важливу роль у системах передачі потужності. У своїй найпростішій формі мала ведуча шестерня входить у зачеплення з більшою шестернею, з'єднаною з вихідним валом, що сприяє необхідному зниженню передачі. Привідні шестерні є основоположними для забезпечення змінної вихідної швидкості від постійного джерела живлення, адаптуючи високошвидкісні двигуни до вимог швидкості та крутного моменту конвеєрів, змішувачів та автоматизованих виробничих ліній.

На зображенні нижче срібний черв'ячний вал функціонує як ведуча шестерня у двоступеневому черв'ячному редукторі. Парна черв'ячна передача (черв'ячне колесо), показана з латуні, входить у зачеплення з черв'ячним валом для забезпечення плавної та надійної передачі потужності за різних умов навантаження. Черв'ячні редуктори цінуються за їх здатність забезпечувати високі передавальні числа в компактному корпусі та за їхню властиву нереверсивність, що додає рівень безпеки та стабільності положення в ліфтах та підйомниках.

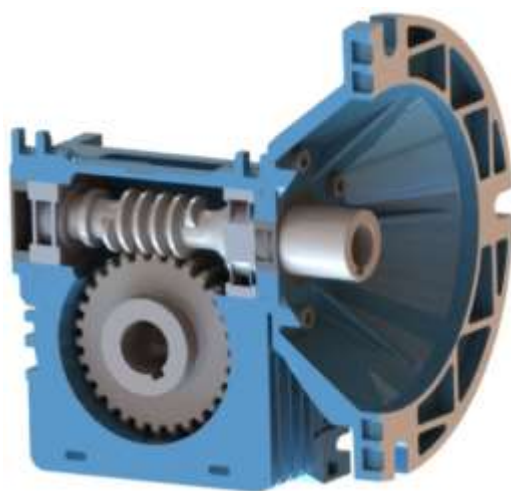


Рисунок 1.3 – Черв'ячний редуктор

Ведена шестерня

Ведена шестерня кріпиться до вихідного валу та передає змінений крутний момент і швидкість до застосування. Як правило, це більша шестерня в приводному комплекті, і її конструкція може відрізнятися залежно від вимог застосування. Ведені шестерні можуть мати форму косозубих шестерень для тихішої роботи, конічних шестерень для зміни осі обертання або планетарних систем для високої вантажопідйомності в компактних просторах. У складних зубчастих передачах, таких як у прикладі нижче, дві ведені шестерні з'єднані з окремими вихідними валами (валами В та С). Передавальне число для веденої шестерні на валу В ідентичне передаваному числу на валу С, що забезпечує синхронізований вихід — вирішальну характеристику в багатьох синхронізованих виробничих процесах.

Правильний вибір веденої шестерні, а також матеріалу шестерні та профілю зуба, безпосередньо впливає на ефективність редуктора, зносостійкість та загальну надійність системи. Консультації з провідними виробниками редукторів або досвідченими інженерами гарантують, що обраний редуктор відповідає механічним, експлуатаційним та екологічним вимогам кожного промислового проекту.

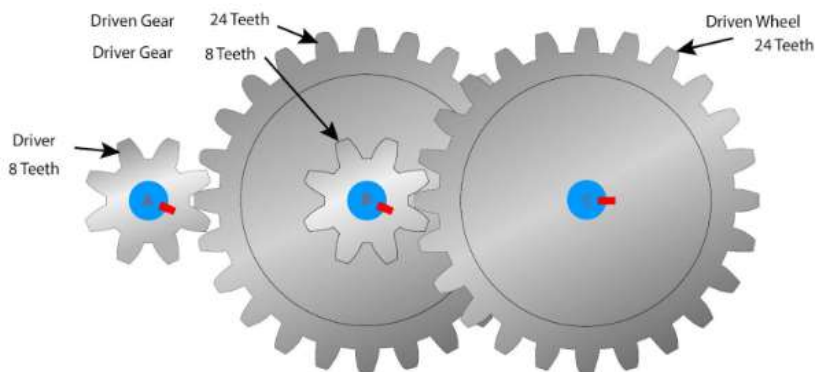


Рисунок 1.4 – Складена зубчаста передача

Поширені типи редукторів та їх застосування

Існує кілька поширених типів редукторів, що використовуються в різних галузях промисловості, кожен з яких має унікальні переваги для певних застосувань. Колінчасті редуктори відомі своєю тихою роботою та високою ефективністю, що робить їх ідеальними для прецизійного машинобудування та систем автоматизації. Черв'ячні редуктори, як показано вище, пропонують дуже високі передавальні числа та часто використовуються в конвеєрах, ліфтах та важкій техніці. Планетарні редуктори забезпечують високу щільність крутного моменту в компактній конструкції та широко використовуються в робототехніці, керуванні рухом та сервоприводах. Вибір відповідного типу редуктора — на основі необхідного крутного моменту, швидкості, орієнтації монтажу та робочого циклу — має вирішальне значення для досягнення оптимальної продуктивності та надійності вашого обладнання.

Як вибрати правильний редуктор для вашого застосування

Під час оцінки редукторів для придбання або визначення специфікації, важливими факторами, які слід враховувати, є необхідний вихідний крутний момент, бажане передаточне число зниження швидкості, стиль кріплення (наприклад, на лапах або на валу), обмеження фізичних розмірів та сумісність з джерелом вхідного живлення (електричні, гідравлічні або пневматичні двигуни). Також слід враховувати такі характеристики, як допуск люфту, показники ефективності, тип змащення та рівень шуму, щоб забезпечити відповідність редуктора робочому навантаженню та середовищу застосування. Провідні виробники часто надають детальні технічні характеристики продукції та інженерну підтримку, щоб допомогти користувачам вибрати найбільш підходящий редуктор швидкості для їхнього конкретного промислового або комерційного застосування.

Інвестування в правильний редуктор не тільки підвищує експлуатаційну ефективність та термін служби обладнання, але й мінімізує час простою, збільшує економію енергії та забезпечує безперебійну інтеграцію з існуючими системами приводу.

1.3 Редуктори швидкості та редуктори

Редуктор швидкості, також відомий як редуктор або коробка передач, - це механічний пристрій, розроблений для точного регулювання та контролю швидкості обертання від електродвигуна або іншого первинного двигуна, перш ніж вона буде передана промислового обладнанню або машинам. Завдяки інтеграції зубчастої передачі, що складається з різних комплектів шестерень, редуктор швидкості ефективно знижує високу швидкість обертання вала двигуна до більш керованої швидкості, що призводить до значного збільшення вихідного крутного моменту. Шестерні всередині редуктора швидкості зазвичай мають більше зубців, ніж вхідна (ведуча) шестерня, що дозволяє вихідній (веденій) шестерні обертатися з меншою швидкістю, одночасно посилюючи крутний момент, що робить редуктори швидкості важливими в застосуваннях, що вимагають високого крутного моменту та контрольованої швидкості.

Встановлений між джерелом живлення, таким як двигун змінного або постійного струму, та механізмом, який він приводить у рух, редуктор швидкості оптимізує вихідну потужність двигуна відповідно до вимог обладнання. Завдяки поєднанню спеціально розроблених великих і малих шестерень, редуктори швидкості точно знижують вхідну швидкість і забезпечують більшу механічну перевагу у вигляді множення крутного моменту. Ця здатність точно налаштувати швидкість і крутний момент не тільки забезпечує кращий контроль над автоматизацією та виробничими процесами, але й підвищує ефективність системи, продовжує термін служби обладнання та забезпечує безпечну експлуатацію. Сьогодні промислові редуктори швидкості є невід'ємною частиною робототехніки, конвеєрів, обробки матеріалів, харчової промисловості, пакувального обладнання та безлічі інших приводних застосувань.

Зменшувачі швидкості

Редуктори швидкості, які іноді називають зубчастими редукторами або редукторами, бувають чотирьох основних конфігурацій: черв'ячні, планетарні, прямозубі та конічні, з варіантами одноступінчастої або багатоступінчастої передачі. Кожна конфігурація використовує унікальні конструкції зубчастих передач для забезпечення певних коефіцієнтів зниження швидкості та механічних властивостей. Поширені варіації форми їх зубчастих передач включають циліндричні, конічні, гвинтові та конусно-циліндричні передачі. Для отримання додаткової інформації про типи та застосування дивіться наш детальний розділ про редуктори швидкості.

Вибираючи редуктор для промислового або комерційного використання, важливо враховувати ключові параметри, такі як передавальне число, номінальний крутний момент, вхідна швидкість, вихідна швидкість, спосіб монтажу та ефективність. Відповідність вимогам вашого застосування правильному типу редуктора може підвищити експлуатаційну надійність, зменшити споживання енергії та знизити витрати на обслуговування з часом.

Черв'ячні редуктори швидкості

Черв'ячний редуктор швидкості включає черв'ячне колесо та черв'ячний вал для досягнення значних передавальних чисел, зазвичай від 10:1 до 60:1. Ця конструкція прямокутного редуктора швидкості забезпечує перпендикулярне розташування вхідного та вихідного валів і розроблена без можливості реверсивного руху, що забезпечує власне запобігання зворотному ходу та підвищує безпеку та надійність системи. Черв'ячні редуктори є популярними завдяки своїй тихій роботі та здатності витримувати ударні навантаження, що робить їх ідеальними для конвеєрних систем, ліфтів та важкого обладнання, де критично важлива компактність та довговічність.



Рисунок 1.5 – Черв'ячний редуктор швидкості

Планетарні редуктори швидкості

Планетарні редуктори або епіциклічні коробки передач пропонують низку переваг: компактну та легку конструкцію, низький профіль (дорожній просвіт), виняткову ефективність передачі (часто понад 97% на ступінь), подовжений термін служби та високий вихідний крутний момент у співвідношенні механізми передачі. Ці якості дозволяють планетарним редукторам забезпечувати високу щільність потужності в обмеженому просторі, що зазвичай використовується в сервосистемах, робототехніці, точній автоматизації та мобільному обладнанні. Їхня конструкція з низьким люфтом та рівномірний розподіл крутного моменту сприяють подовженню терміну служби системи та стабільній роботі.

Однак, вдосконалена внутрішня конструкція планетарних редукторів вимагає більш спеціалізованого монтажу та проактивного обслуговування для підтримки максимальної експлуатаційної ефективності та запобігання зносу або перекосу шестерень. Для максимального збільшення терміну служби планетарних редукторів в інтенсивних або безперервних умовах експлуатації рекомендується регулярна перевірка змащення та періодична перевірка зубців шестерень.



Рисунок 1.6 – Планетарний редуктор швидкості

Циліндричні редуктори швидкості прямої передачі

Циліндричні редуктори використовують паралельні осі, прямозубі шестерні, розташовані у простій, міцній конфігурації. Їхнє пряме зачеплення забезпечує високий механічний ККД та чудовий крутний момент, що робить їх придатними для високошвидкісних застосувань з високим навантаженням. Циліндричні редуктори є одними з найпоширеніших типів редукторів швидкості у виробництві, обробці та передачі енергії завдяки своїй простій конструкції, надійності та економічній ефективності. Вони зазвичай використовуються в конвеєрних приводах, змішувачах та насосних системах, де пріоритетами є стабільне зниження швидкості та мінімальне технічне обслуговування.

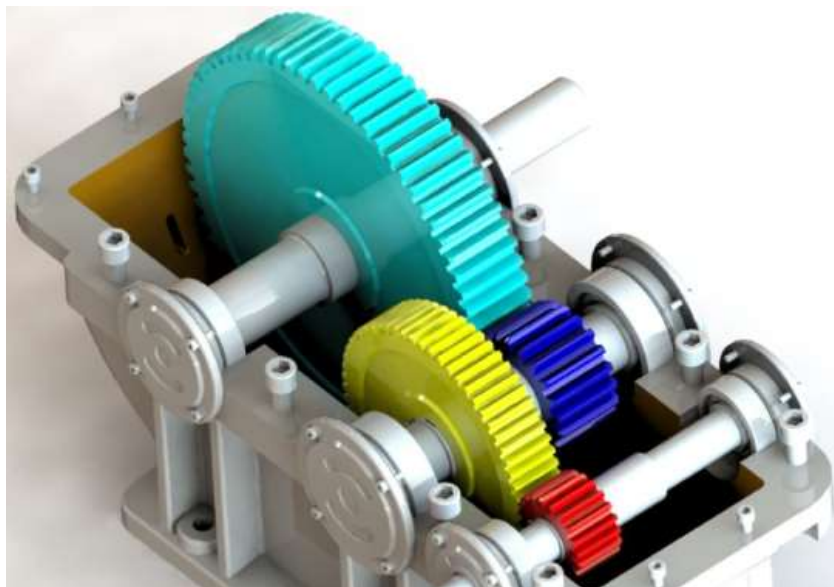


Рисунок 1.7 – Циліндричний редуктор швидкості

Конічні редуктори швидкості

Конічні редуктори розроблені для застосування з прямим кутом передачі, що вимагає низького передавального числа та ефективної передачі високих крутних моментів. Завдяки кутовим шестерням, часто конічної або скошеної форми, така конфігурація дозволяє користувачам перенаправляти рух з однієї осі на іншу, наприклад, змінювати напрямок обертання з поперечної на поздовжню площину. Конічні редуктори особливо цінуються в застосуваннях, що вимагають надійної передачі потужності та компактних профілів встановлення, таких як верстати, автомобільні системи та конвеєри. Підвищеної продуктивності можна досягти шляхом інтеграції гвинтових шестерень для тихішої та ефективнішої роботи та вищого коефіцієнта зачеплення. Під час вибору конічного редуктора швидкості слід ретельно оцінити такі фактори, як вантажопідйомність, діапазон передавальних чисел, орієнтація валу та варіанти кріплення, щоб забезпечити відповідність вимогам проекту.



Рисунок 1.8 – Конічний редуктор швидкості з гелікоїдними шестернями

1.4 Різні типи редукторів

Редуктор – це пристрій, який регулює швидкість обертання за допомогою шестерень, вирівнювання валів та конфігурацій шестерень. Він зазвичай використовується в системах редукторної передачі, де приводний двигун інтегрований з коробкою передач або редуктором.

Редукторні передачі можуть включати різні типи коробок передач, включаючи планетарні, циліндричні, з паралельними валами, черв'ячні або гвинтові, кожна з яких виконує певні функції для задоволення потреб застосування. Більшість редукторів мають кілька серій шестерень з різними передавальними числами, що сприяє значному зниженню передачі..

Типи редукторів

Конічні редуктори

Конічні редуктори мають кутовий кривошип, який дозволяє змінювати напрямок обертання системи з поперечного на поздовжній. Вони розроблені компактними, але водночас здатними витримувати значну потужність від трифазних асинхронних двигунів, синхронних двигунів або асинхронних серводвигунів.

Подібно до гвинтових та гіпоїдних редукторів, конічні редуктори працюють з мінімальним шумом, забезпечуючи високу продуктивність та виняткову енергоефективність.



Рисунок 1.9 – Кутовий редуктор

Циклоїдний редуктор

У циклоїдному редукторі вхідний вал приводить у рух підшипниковий вузол, який переміщує циклоїдний диск, який, у свою чергу, з'єднаний з вихідним валом. Зубці циклоїдного диска входять у зачеплення з кулачковим штовхачем, оснащеним штифтовими або голчастими підшипниками. Цей механізм дозволяє вихідному валу обертатися зі значно меншою швидкістю та з більшим крутним моментом порівняно з вхідним валом.

Основною перевагою циклоїдних редукторів є їхня здатність усунути люфт, забезпечуючи точність та правильність, необхідні для робототехнічних застосувань та верстатів. Крім того, їхня конструкція контакту кочення призводить до зменшення зносу та підвищення довговічності.



Рисунок 1.10 – Циклоїдальний редуктор

Мультиредуктор зубчастої передачі

Зубчастий редуктор складається з послідовності шестерень, які передають потужність від вхідного вала до вихідного. Ці редуктори використовуються в установках, що потребують значної потужності, і працюють на паралельних осях. Найпростіша конфігурація включає дві шестерні: ведучу та ведену. Більш складні версії включають додаткові проміжні шестерні між ведучою та веденою шестернями для подальшого покращення передачі потужності.



Рисунок 1.11 – Мультиредуктор редуктор

Гелікоїдні редуктори

Гелікоїдні редуктори компактні та довговічні, розроблені для роботи з високими перевантаженнями та економії місця. Вони ідеально підходять для застосувань, що вимагають роботи на середніх та високих швидкостях. Гелікоїдні шестерні мають похилі зубці, що покращує коефіцієнт зачеплення, зменшує шум та збільшує міцність. Їхня синхронізована конструкція забезпечує безперервне зачеплення та більшу площу контакту.

Кутові зубці гелікоїдних шестерень дозволяють отримати довший профіль зубців, зберігаючи при цьому таку ж кількість зубців, як і у прямозубої шестерні.



Рисунок 1.12 – Гелікоїдний редуктор

Гіпоїдні шестерні

Гіпоїдні передачі мають конічну форму та використовуються для передачі потужності між валами, що не перетинаються. Зміщення між меншою гіпоїдною шестернею та більшою гіпоїдною шестернею дозволяє їм плавно зчіплюватися без перешкод. Така конструкція забезпечує великий коефіцієнт контакту, що дозволяє передавати важкі навантаження з плавною роботою та зниженим шумом, подібно до косозубих редукторів. Гіпоїдні редуктори здатні досягати значного зниження швидкості.

Гіпоїдні передачі зазвичай використовуються в тих випадках, коли вали розташовані під прямим кутом, а відстань між ними обмежена. Вони часто служать проміжним рішенням між конічними та черв'ячними передачами.



Рисунок 1.13 – Гіпоїдний редуктор

Магнітні редуктори

Магнітні редуктори являють собою особливий тип редукторів, які працюють за допомогою магнітного притягання, а не фізичного контакту. Замість зубців шестерень вони використовують протилежно розташовані магніти, які відштовхуються один від одного, що дозволяє їм застосовувати силу під різними кутами без прямого контакту. Така конструкція виключає знос, оскільки шестерні фізично не торкаються одна одної.

Більше того, магнітні шестерні не потребують змащення або герметичних бар'єрів. Зазвичай вони виготовляються з використанням постійних магнітів або електромагнітів, що робить їх низькообслуговуваним та довговічним варіантом.

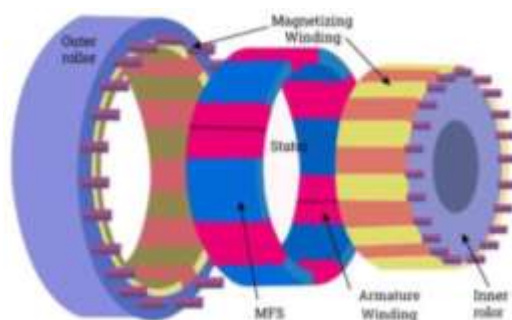


Рисунок 1.14 – Магнітний редуктор

Планетарний редуктор

Планетарний редуктор складається з центральної сонячної шестерні, обертових планетарних шестерень та великого вінцевого зубчастого колеса. Планетарні шестерні підтримуються вихідним валом, внутрішнім вінцевим зубчастим колесом та сонячною шестернею. Потужність передається через сонячну шестерню в центрі, яка приводить планетарні шестерні в рух навколо внутрішнього вінцевого зубчастого колеса. Це обертання планетарних шестерень потім приводить у рух вихідний вал, який забезпечує вихідну потужність.

Планетарний редуктор пропонує тривалий термін служби, компактні розміри, високу вантажопідйомність, низький рівень шуму, високий вихідний крутний момент та відмінну ефективність. Він має розподіл потужності та багатозубне зачеплення, що робить його дуже універсальним редуктором, придатним для різних застосувань.



Рисунок 1.15 – Планетарний редуктор

Редуктори з прямозубими зубчастими колесами

Циліндричні редуктори мають прямі зубці, розташовані паралельно осі. Вони є найпоширенішим типом зубчастих редукторів і можуть включати кілька передач з різними передавальними числами. Циліндричні редуктори відомі своєю високою ефективністю, мінімальним люфтом і надійною стійкістю.



Рисунок 1.16 – Циліндричний редуктор

Черв'ячний редуктор

Черв'ячний редуктор має вхідну черв'ячну шестерню та вихідну черв'ячну шестерню, розташовані під прямим кутом. Він перетворює високу швидкість двигуна на нижчу вихідну швидкість зі збільшеним крутним моментом. Черв'ячні редуктори особливо підходять для компактних застосувань завдяки своїй компактній конструкції та малому діаметру вихідної шестерні, водночас забезпечуючи відмінне зниження швидкості в компактному корпусі.

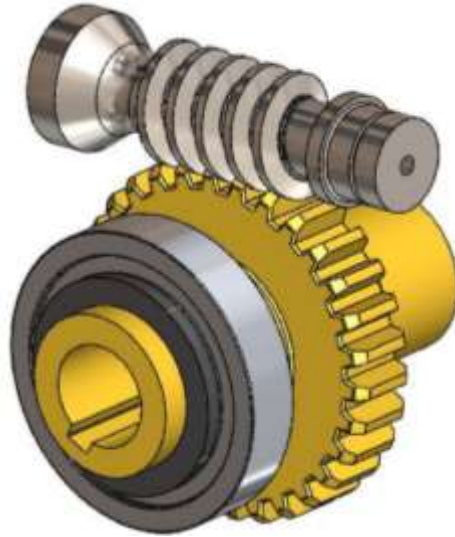


Рисунок 1.17 – Черв'ячний редуктор

Осі редукторів

Коаксіальна вісь редуктора

Коаксіальний редуктор використовує планетарні шестерні, які обертаються навколо центральної сонячної шестерні. Як вхідна, так і вихідна шестерні розташовані концентрично, що підвищує крутний момент та ефективність. Зазвичай від трьох до п'яти планетарних шестерень входять у зачеплення з внутрішньою шестернею, розподіляючи потужність між кількома гілками. Конструкція спрямована на рівномірний розподіл потужності.



Рисунок 1.18 – Коаксіальний редуктор

Монтаж редуктора

Основні варіанти кріплення редукторів – це кріплення на основі та кріплення на валу.

- Основа – кріплення на основі включає ніжки для кріплення редуктора болтами до певної платформи. Це найпоширеніший спосіб встановлення редукторів.
- Вал – редуктори, що кріпляться на валу, мають порожнистий вихідний вал, який розміщений над веденим валом.

Ортогональні осі

Зубчасті редуктори з ортогональними осями, такі як конічні редуктори, мають вхідний та вихідний вали, перпендикулярні один одному. Хоча вони менш точні, ніж зубчасті редуктори з паралельними осями через менш оптимальний контакт зубців, вони зазвичай використовуються для передачі потужності та розгалуження.



Рисунок 1.19 – Редуктор з ортогональними осями

Паралельні осі

Паралельноосьові редуктори мають паралельні вихідний та вхідний вали. Вони мають дуже високу точність та ефективність передачі. Паралельноосьові редуктори можуть використовувати стандартні прямозубі або косозубі шестерні великого розміру. Вони використовуються в машинах з високими обертами з боку навантаження, таких як крани, ліфти та конвеєри.



Рисунок 1.20 – Паралельноосьовий редуктор

Косі осі

Коли вхідна та вихідна осі зубчастого редуктора зміщені, але ортогональні, це називається зубчастим редуктором з косими осями. Така конструкція має непересічні, непаралельні осі зі зміщеною центральною лінією шестерні, що призводить до більшого контакту поверхні зубів та вищого коефіцієнта контакту. Як наслідок, це призводить до збільшення крутного моменту та плавнішої передачі потужності.

1.5 Вибір редуктора

Перед придбанням редуктора необхідно врахувати кілька факторів. Основна роль редуктора полягає в регулюванні характеристик крутного моменту та швидкості між вхідним та вихідним валами системи. Тому розуміння крутного моменту та швидкості обертання в конкретному застосуванні є надзвичайно важливим.

Крутний момент двигуна

Редуктор збільшує крутний момент двигуна та забезпечує нове значення крутного моменту для конкретного застосування. Виробники вказують як максимальні, так і мінімальні значення крутного моменту в ньютон-метрах (Нм) для своєї продукції, з різною щільністю крутного моменту для різних редукторів.

Швидкість двигуна

Ще однією ключовою функцією редуктора є зниження швидкості двигуна, яка виражається в передавальному відношенні. Швидкість обертання двигуна регулюється цим передаточним числом для досягнення бажаної вихідної швидкості, яка зазвичай вимірюється в обертах за хвилину.

Вибір редуктора

На цьому етапі вибору вкрай важливо проконсультуватися з експертом, інженером або конструктором, який знайомий з редукторами, через різноманітність доступних типів, кожен з яких підходить для різних функцій та специфікацій. Початкові критерії включають визначення конфігурації вхідного та вихідного валів.

Розміри редуктора

Вибір правильних розмірів редуктора передбачає вибір відповідного типу валу, такого як ортогональний, коаксіальний або паралельний. Кожен тип валу має певну орієнтацію відносно редуктора — перпендикулярну, вирівняну або паралельну.

Продуктивність двигуна

Для застосувань, що піддаються ударним або циклічним навантаженням, важливо враховувати ці умови під час вибору редуктора. Це гарантує, що редуктор зможе ефективно обробляти підвищений крутний момент.

Операційна ефективність

Важливо вибрати редуктор, який працює ефективно, щоб ефективно керувати довгостроковими витратами. Вибір правильного редуктора може запропонувати значні переваги з точки зору економічної ефективності з часом.

Вибір коробки передач

Планетарні редуктори

Планетарні редуктори підходять для застосувань, що вимагають швидкого прискорення, низьких швидкостей та високого крутного моменту. Вони зазвичай використовуються в обробних центрах, верстатах та сільськогосподарській техніці.

Черв'ячна передача

Черв'ячні редуктори використовуються в установках з високим передавальним числом. Вони дешевші, ніж інші редуктори, і працюють дуже тихо. Черв'ячні редуктори використовуються на конвеєрах, лебідках та вантажно-розвантажувальних пристроях завдяки своїй нереверсивності.

Вибір зубчастої передачі

Зубчасті редуктори призначені для високопотужних застосувань і пропонують економію коштів на технічне обслуговування завдяки своїй винятковій продуктивності та низькому передавальному числу.

Конічний редуктор

Конічні редуктори дозволяють змінювати напрямок обертання. Вони компактні, міцні та здатні витримувати значні зусилля. Однак вони можуть мати нижчу продуктивність, вищу вартість та потребувати частого обслуговування. Зазвичай вони використовуються в сільськогосподарській техніці та важких конвеєрах.

Вибір правильного редуктора

Зубчасті редуктори відіграють вирішальну роль у різних машинах і є необхідними для безперебійної роботи. Правильний вибір зубчастого редуктора забезпечує ефективність та результативність системи. Досвідчений виробник може надати рекомендації щодо оптимального рішення для будь-якого застосування.

1.6 Обслуговування зубчастого редуктора

Після вибору відповідного зубчастого редуктора, дотримання регулярного графіка технічного обслуговування є вирішальним для його ефективної та результативної роботи. Регулярне технічне обслуговування є важливим для запобігання збоєм, помилкам та зниженню продуктивності. Планові перевірки допомагають мінімізувати або уникнути потенційних проблем.

Мастильний матеріал

Виробники редукторів надають або рекомендують спеціальні мастильні матеріали для своєї продукції. Мастило повинно мати правильні властивості для оптимізації продуктивності. Під час періоду обкатки може знадобитися фільтрувати мастило для видалення забруднень. Також важливі регулярні перевірки якості та рівня мастила.

Забруднення редуктора

У редукторі має бути присутня лише мастило. Забруднювачі, такі як пил і вода, які можуть потрапляти через несправні ущільнення, можуть завдати значної шкоди шестерням.

Зберігання редукторів

Зубчасті редуктори слід зберігати в чистих, сухих приміщеннях з контрольованим кліматом, з надійно закритими кришками, вентиляційними отворами та зливами. Навіть коли вони не працюють, цикл змащення необхідно підтримувати, а редуктор слід періодично обертати, щоб забезпечити рівномірний розподіл мастила.

Вібрація або шум редуктора

Шум часто є ранньою ознакою проблем із шестеренним редуктором. Робота редуктора без навантаження може допомогти оцінити проблему. Постійний шум і вібрація можуть свідчити про необхідність капітального ремонту або заміни.

Перегрів редуктора

Перегрів зазвичай сигналізує про недостатнє змащування. Регулярна перевірка температури поверхні редуктора може запобігти перегріву, який часто спричиняється тертям через недостатню кількість змащувального матеріалу.

Правильне технічне обслуговування забезпечує надійну роботу редуктора протягом багатьох років.

1.7 Висновок щодо розділу

- **Зубчастий редуктор** – це механічна система шестерень, розташованих таким чином, що вхідна швидкість може бути знижена до меншої вихідної швидкості, але при цьому вихідний крутний момент залишається таким самим або більшим.
- **Зубчастий редуктор** використовується, коли ведуча шестерня менша та має менше зубців, ніж ведена. Це відрізняється від ситуації, коли ведуча шестерня більша та має більше зубців, ніж ведена, що називається підвищувальною передачею.
- **Зубчастий редуктор** – це редуктор швидкості, який змінює швидкість обертання за допомогою шестерень, положення вала та розташування шестерень. Вони широко використовуються з обладнанням для редукторної передачі, де структура передачі об'єднує приводний двигун та коробку передач або зубчастий редуктор.
- Існують певні фактори, які необхідно оцінити перед прийняттям рішення про придбання зубчастого редуктора. Основне призначення зубчастого редуктора – адаптувати характеристики крутного моменту та швидкості вхідної та вихідної осей механізму.
- Регулярне технічне обслуговування та ремонт зубчастих редукторів є необхідністю та настійно рекомендується. Завдяки регулярній оцінці можна мінімізувати або уникнути несправностей, помилок та низької продуктивності.

2 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Моделювання профілю роботи циклоїдального редуктора

З метою створення більшого моменту сили на вихідному валу редуктора (по відношенню до моменту сили на валу самого двигуна) спроектуємо профіль циклоїдального редуктора з передаточним числом 10:1. Тобто 10 обертів валу двигуна перетворяться в 1 оберт вихідного валу редуктора. Теоретично момент сили повинен збільшитися в 10 разів.

Застосуємо програмне забезпечення Cycloidal gear calculator. На рис. 2.1 показано налагодження розмірів профілю необхідної нам циклоїди.

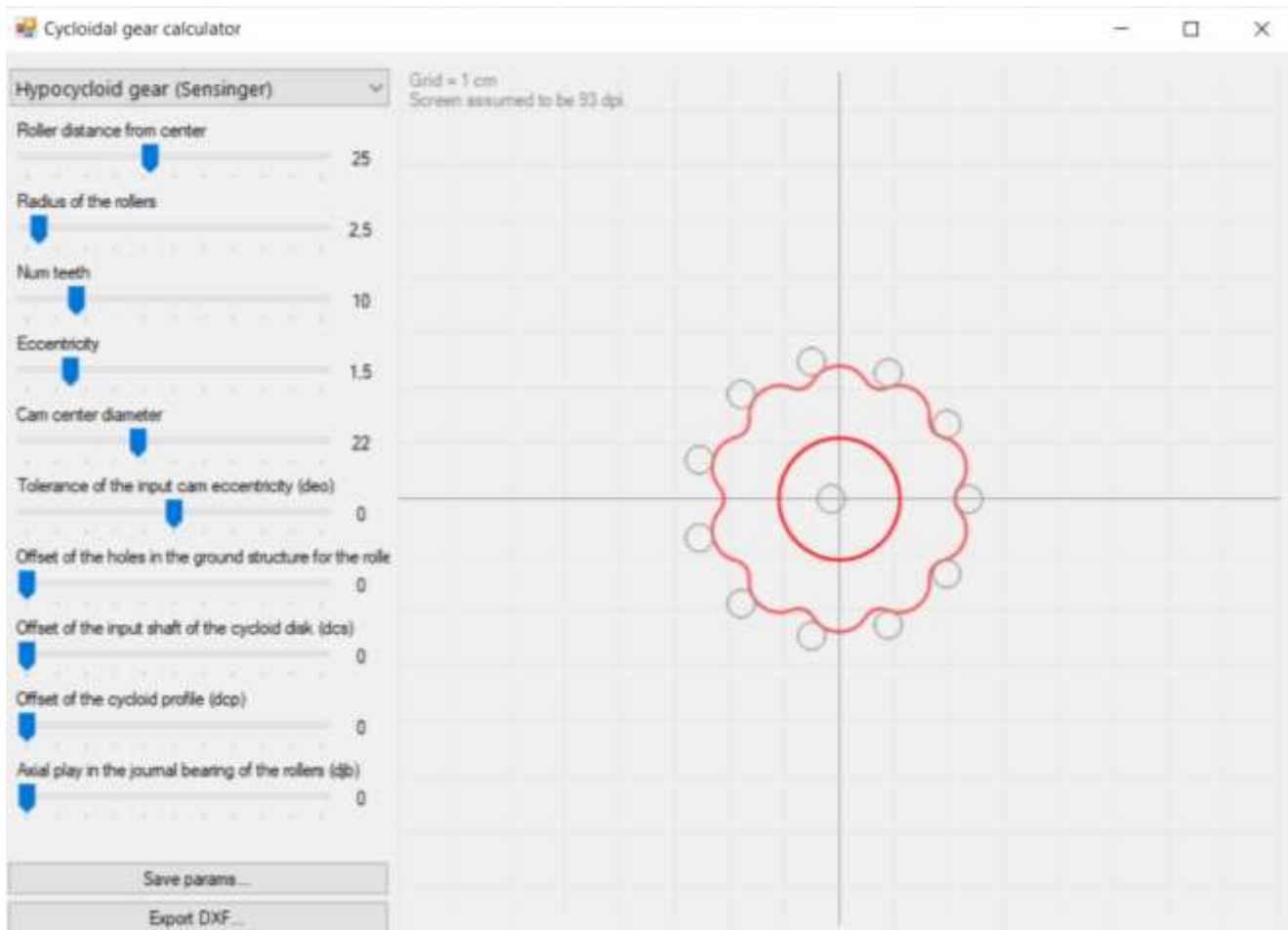


Рисунок 2.1 – Налаштування профілю циклоїди

Обираємо наступні параметри:

- відстань зовнішнього ролика до центру = 25 мм;

- радіус ролика = 5 мм;
- кількість зубців = 10;
- ексцентриситет = 1,5мм;
- діаметр посадочного місця під підшипник = 22мм (в даному випадку даний розмір є не важливим оскільки буде коригуватися в залежності від підбраного діаметру підшипника).

Обрані параметри зумовлені геометрією крокового двигуна NEMA 23 до якого буде даний редуктор прикріплений.

Профіль зберігаємо в DXF файл для подальшого редагування в САПР програмному забезпеченні SolidWorks.

2.2 3D моделювання рухомого колеса циклоїдального редуктора

В програмі SolidWorks відкриваємо DXF профіль.

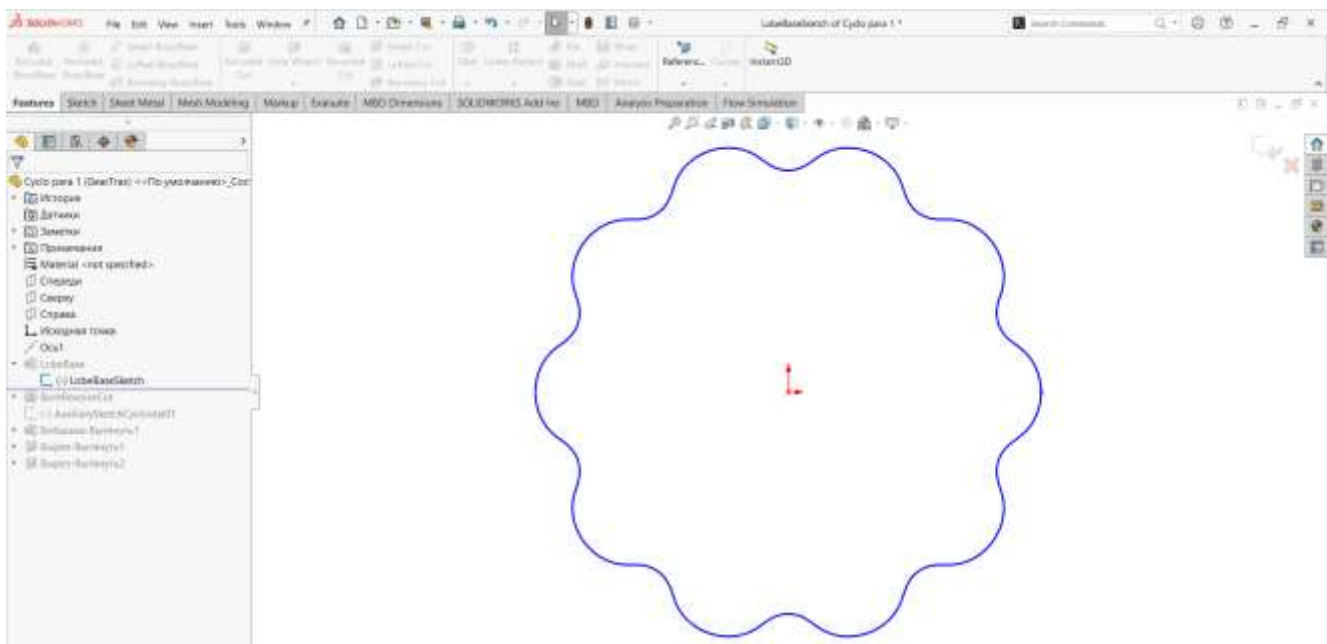


Рисунок 2.2 – Імпортування DXF профілю в середовище SolidWorks.

Далі необхідно застосувати функцію Витягнута бобишка і потовщити на 4мм даний контур, тобто утвориться фігурна дископодібна деталь. Результат роботи представлено на рисунку 2.3.

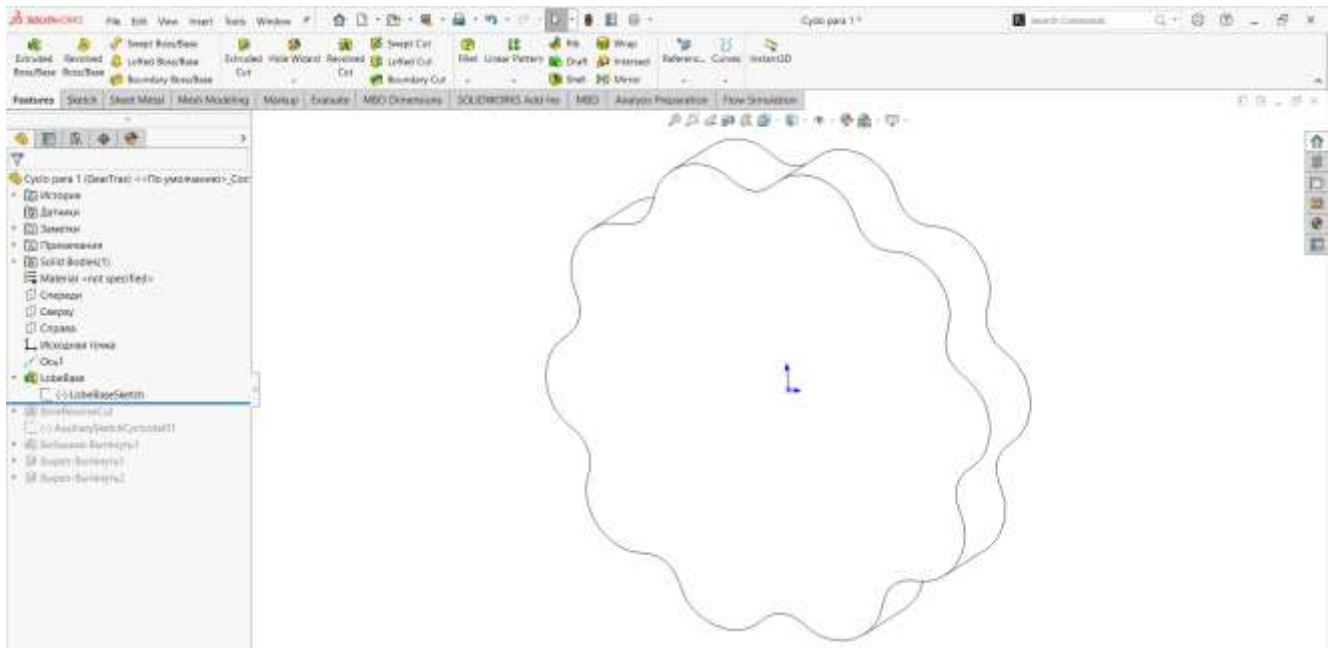


Рисунок 2.3 – Імпортування DXF профілю в середовище SolidWorks.

В режимі ескізу так як показано на рис. 2.4 будуємо чотирикутник, який потім за допомогою команди Повернутий виріз «провертаємо» навколо центральної осі.

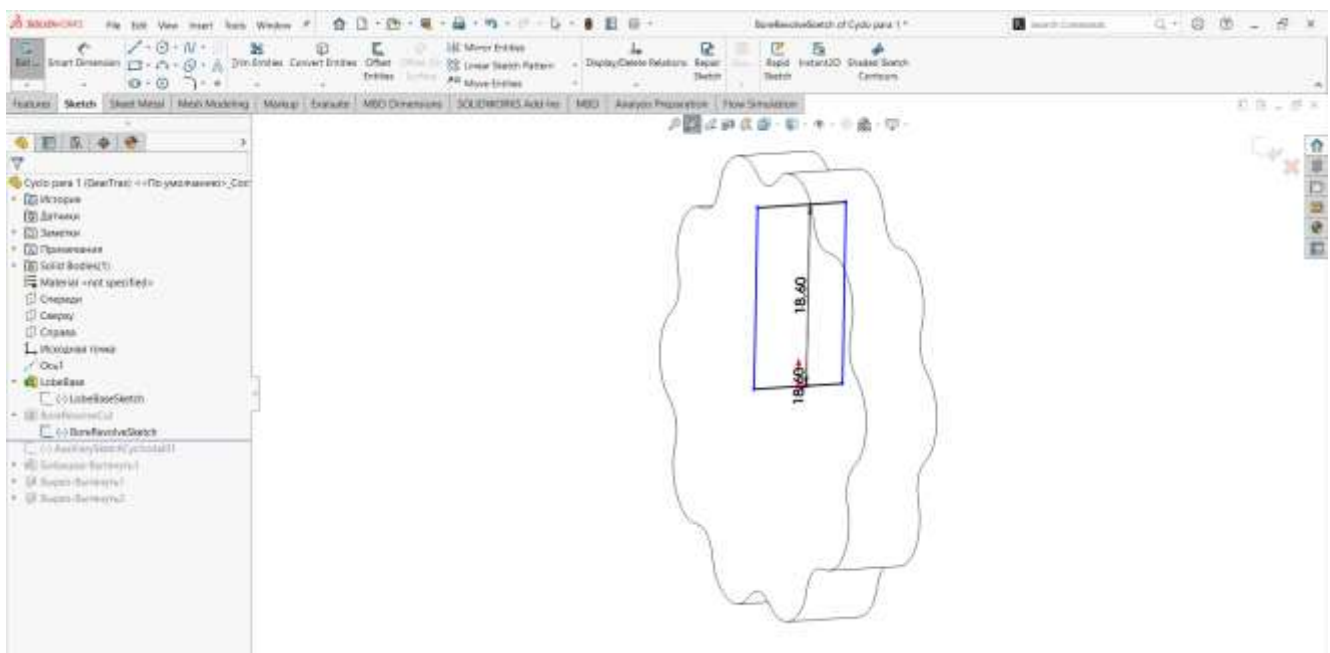


Рисунок 2.4 – Моделювання отвору.

В результаті (рис. 2.5) отримаємо центральний отвір, який зумовлений діаметром обраного підшипника.

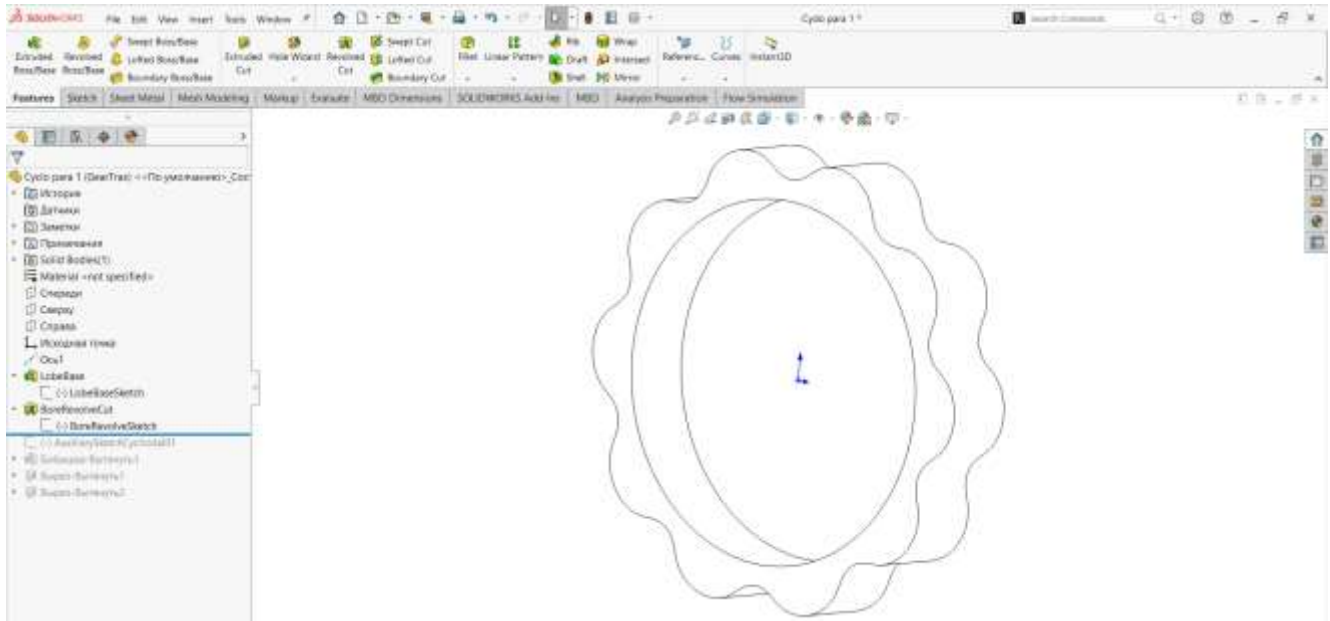


Рисунок 2.5 – Побудований центральний отвір.

Далі центральний отвір частково закриваємо матеріалом (користуємося командою Витягнута бобишка) і таким чином створимо упорну поверхню для підшипника. Результат роботи представлено на рисунку 2.6.

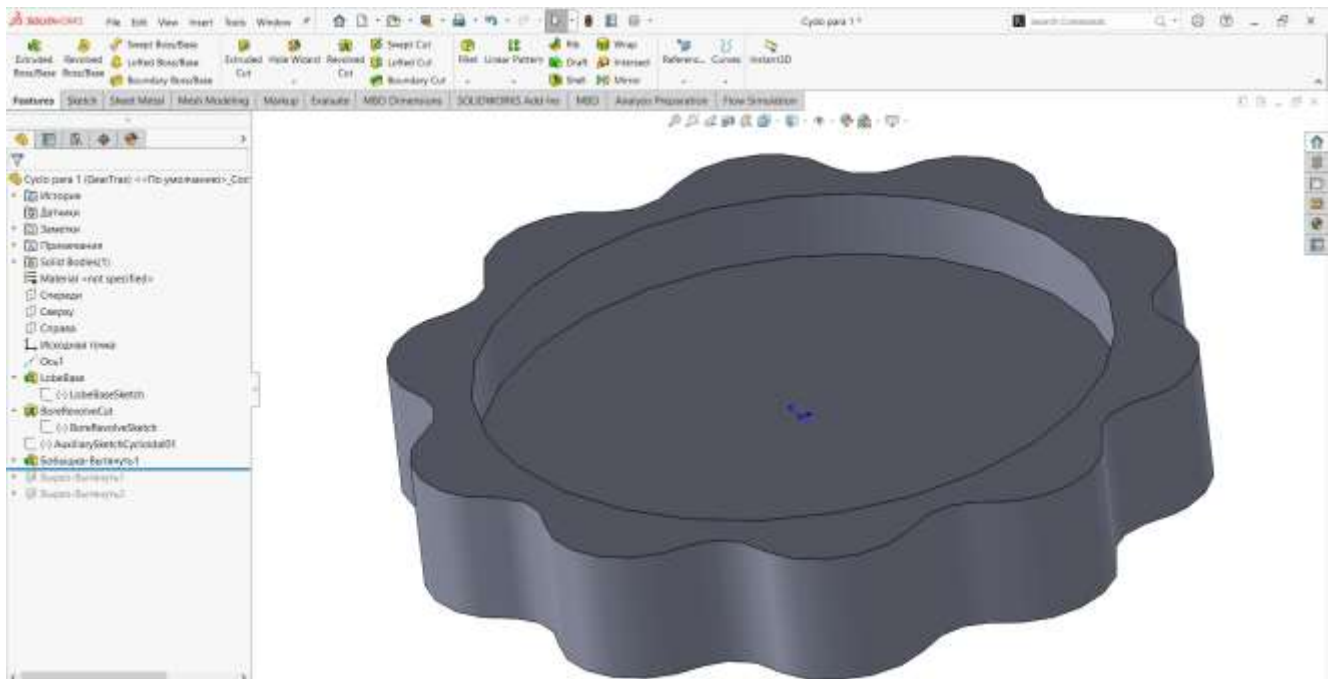


Рисунок 2.6 – Моделювання упорної поверхні під підшипник.

Далі моделюємо центральний отвір через який буде проходити вихідний вал крокового мотора. Результат представлено на рисунку 2.7.

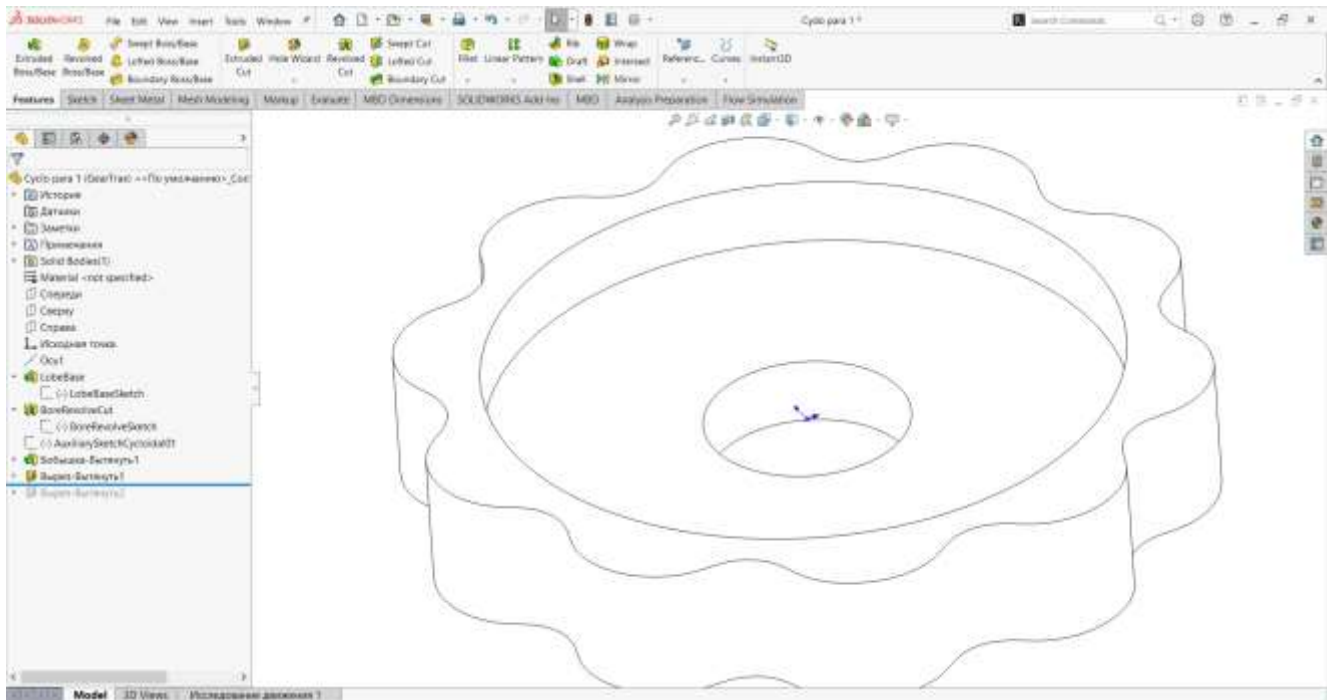


Рисунок 2.7 – Моделювання отвору для вихідного валу крокового мотора.

Також будемо 6 отворів (рис. 2.8) через які будуть проходити тонкі ролики, які будуть передавати штовхальний момент рухомого колеса.

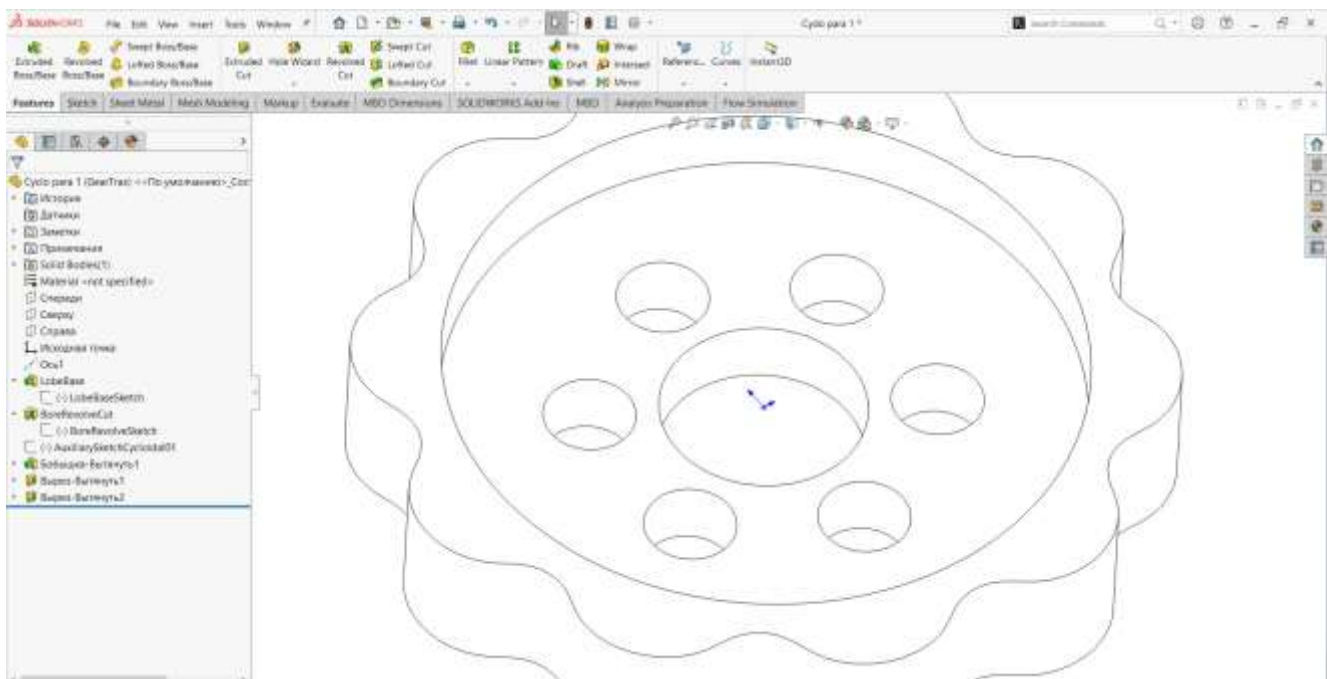


Рисунок 2.8 – Моделювання 6 отворів.

Подібним чином будуть моделюватися і інші деталі.

2.3 3D моделювання інших деталей циклоїдального редуктора

Коротко опишемо послідовність моделювання корпусу циклоїдального редуктора. Нижче представлені зображення послідовності моделювання.

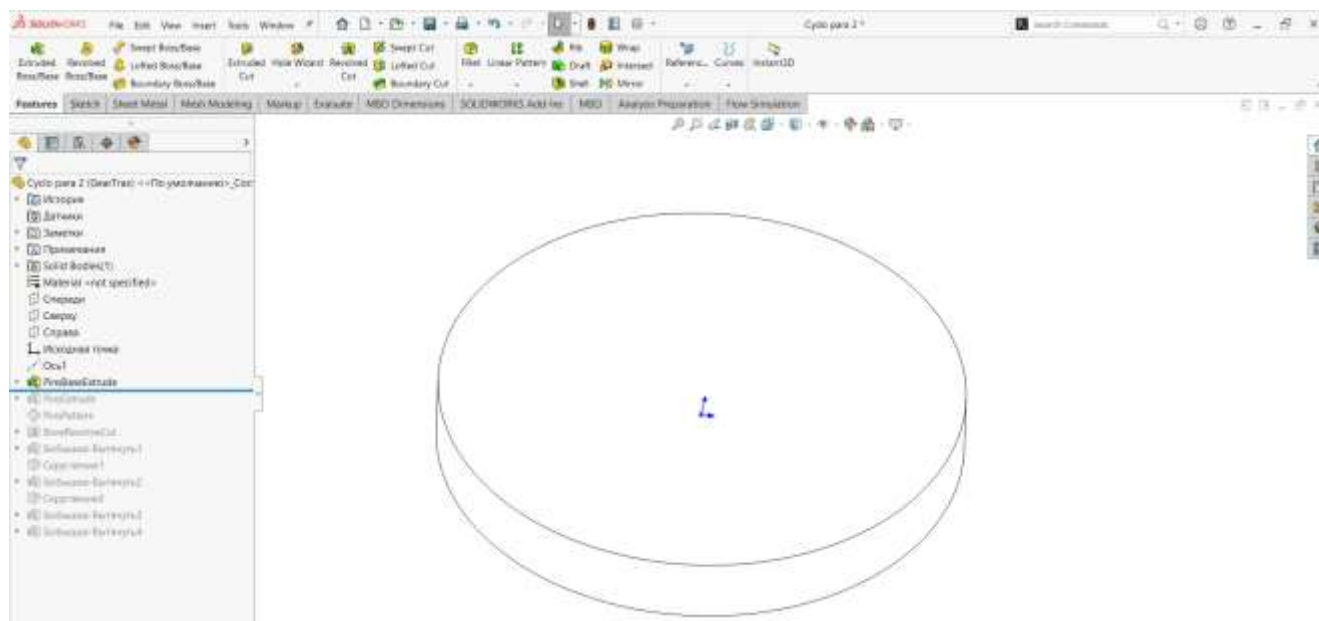


Рисунок 2.9 – Моделювання основи корпусу.

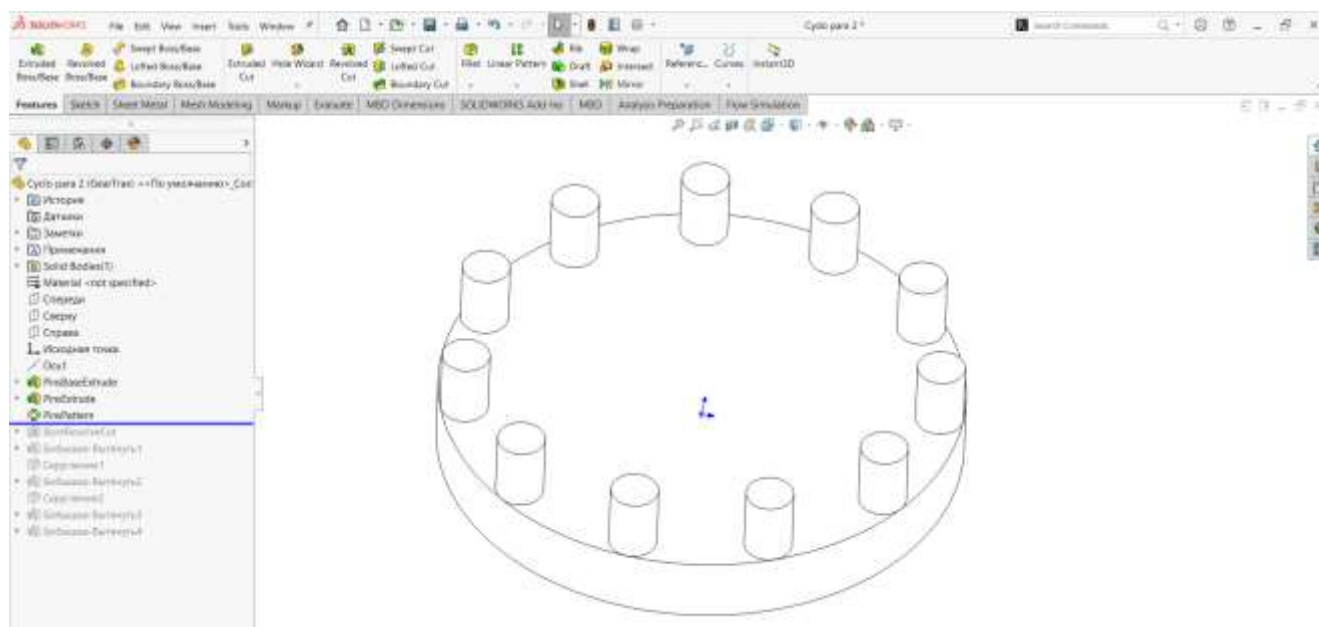


Рисунок 2.10 – Моделювання масиву «роликів» по яких буде перекинутися рухоме колесо.

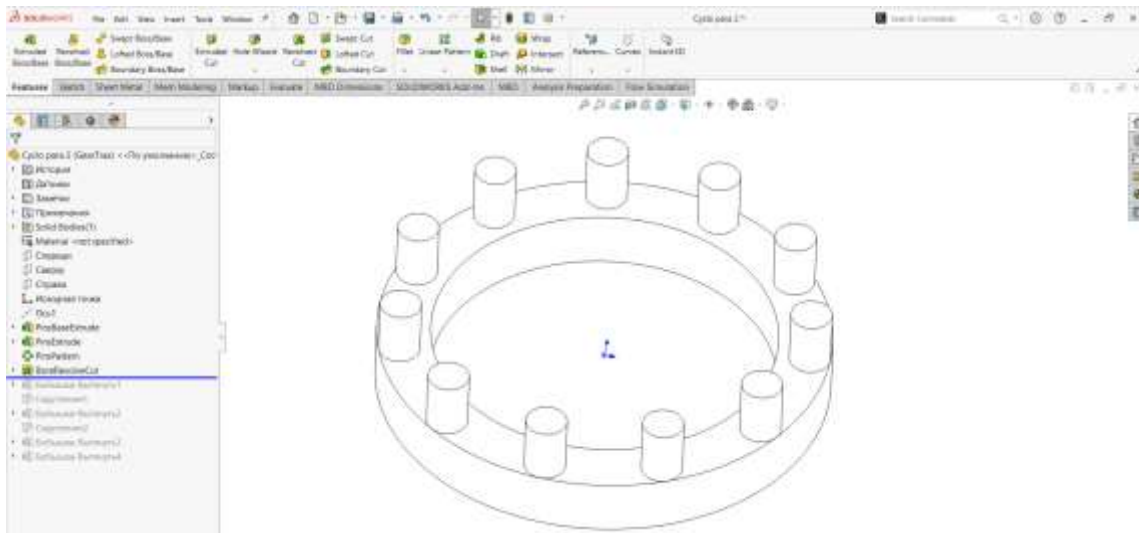


Рисунок 2.10 – Моделювання центрального отвору.

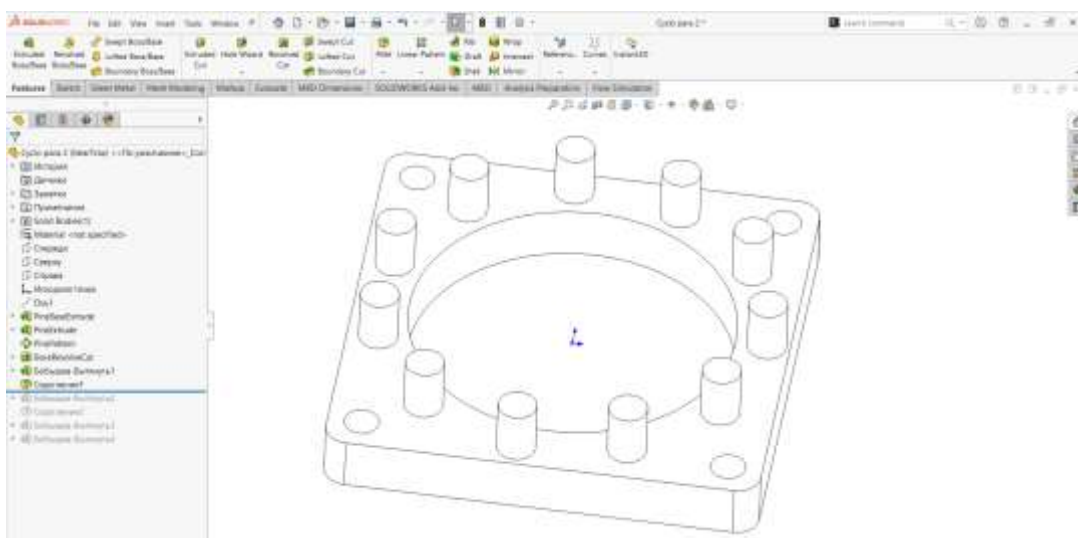


Рисунок 2.11 – Квадратна платформи яка буде кріпитися до крокового мотора.

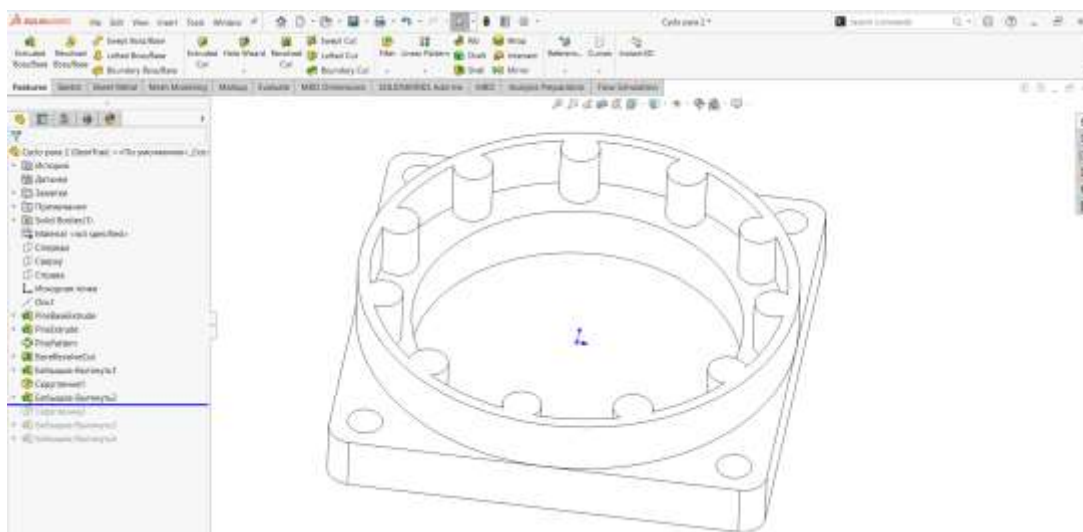


Рисунок 2.12 – Зовнішні межі циклоїди.

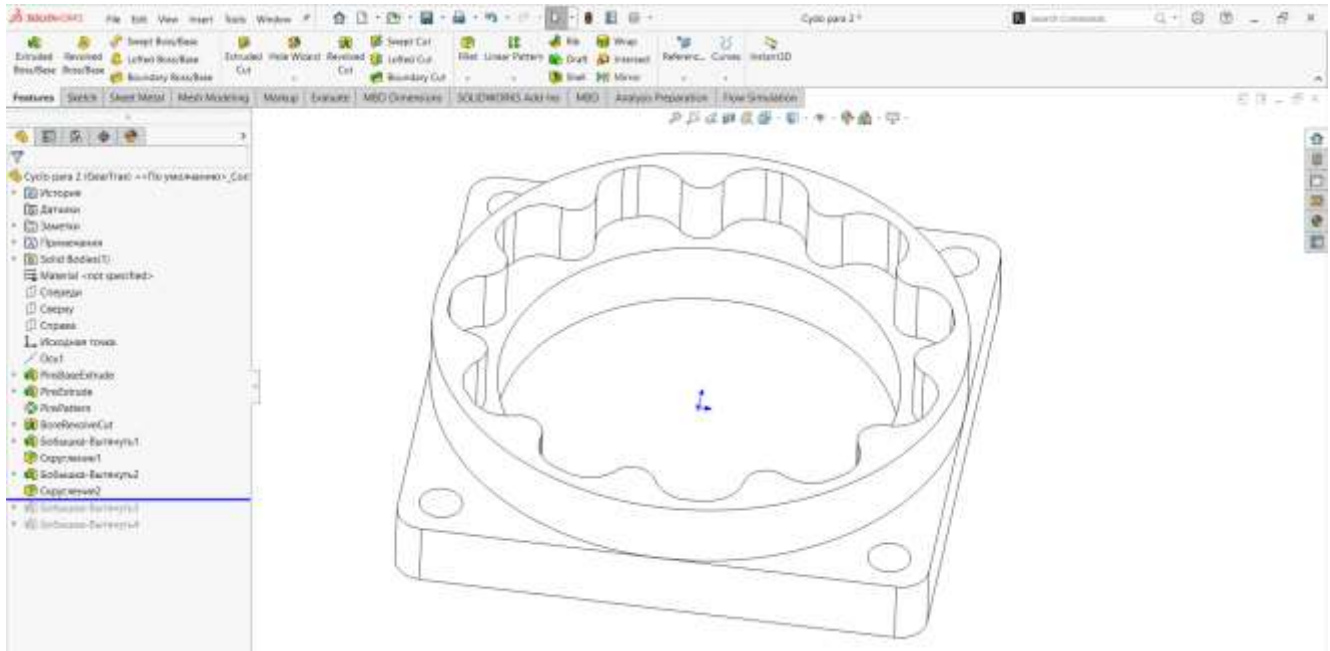


Рисунок 2.13 – Скруглення циклоїди.

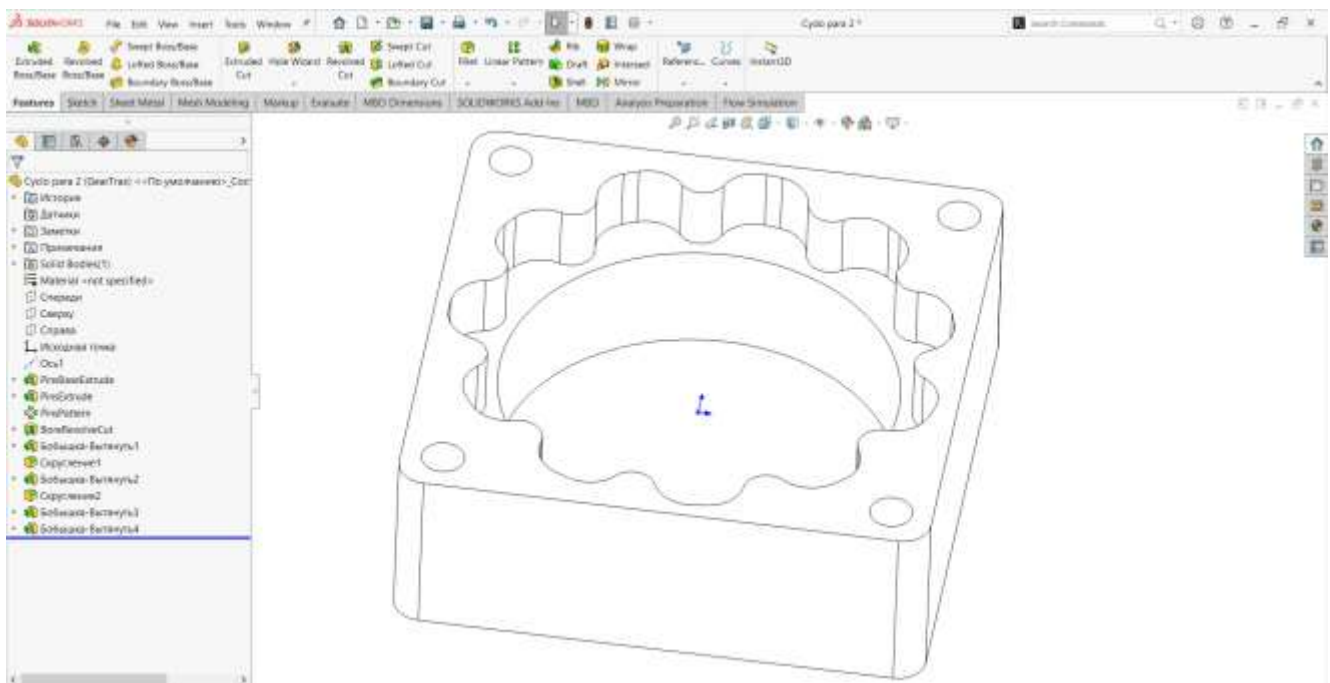


Рисунок 2.14 – Остаточні формування корпусу.

Наступні рисунки представляють основні ключові елементи циклоїдального редуктора.

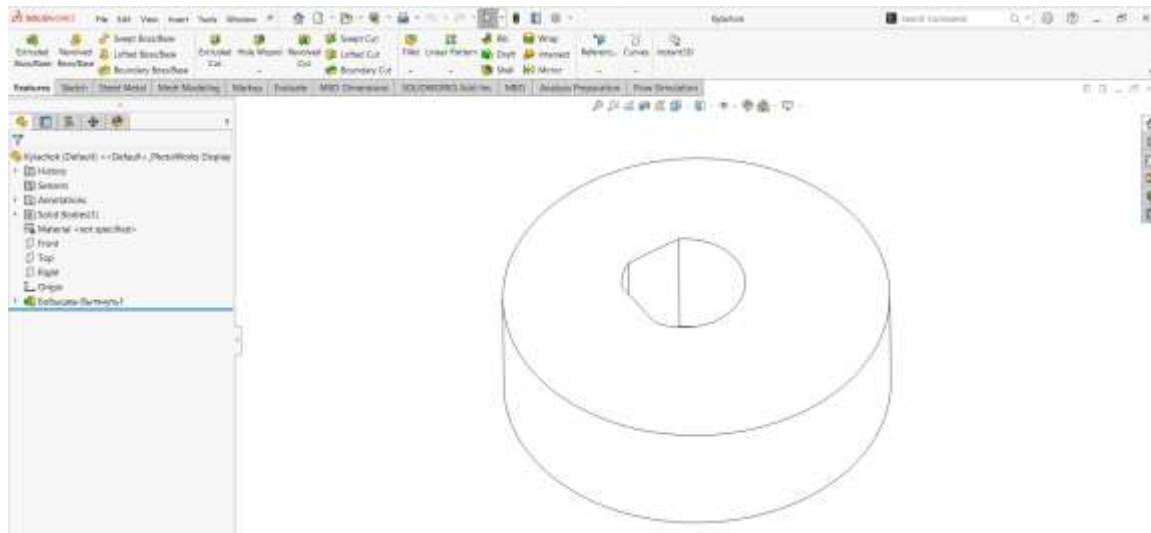


Рисунок 2.15 – Ексцентрик який одягається на вихідний вал мотора.

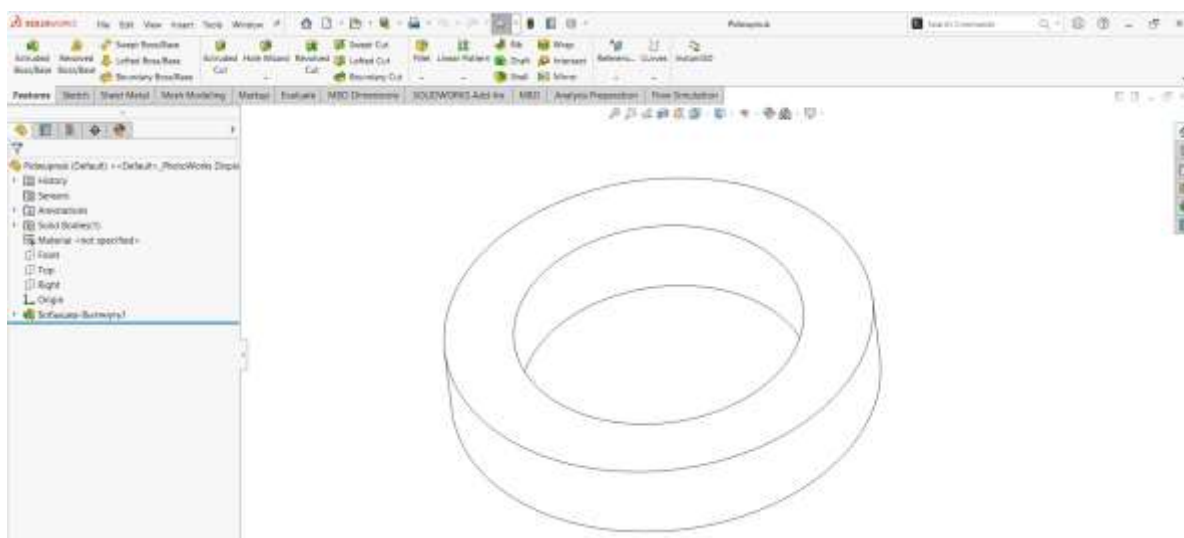


Рисунок 2.16 – Спрощена модель підшипника.

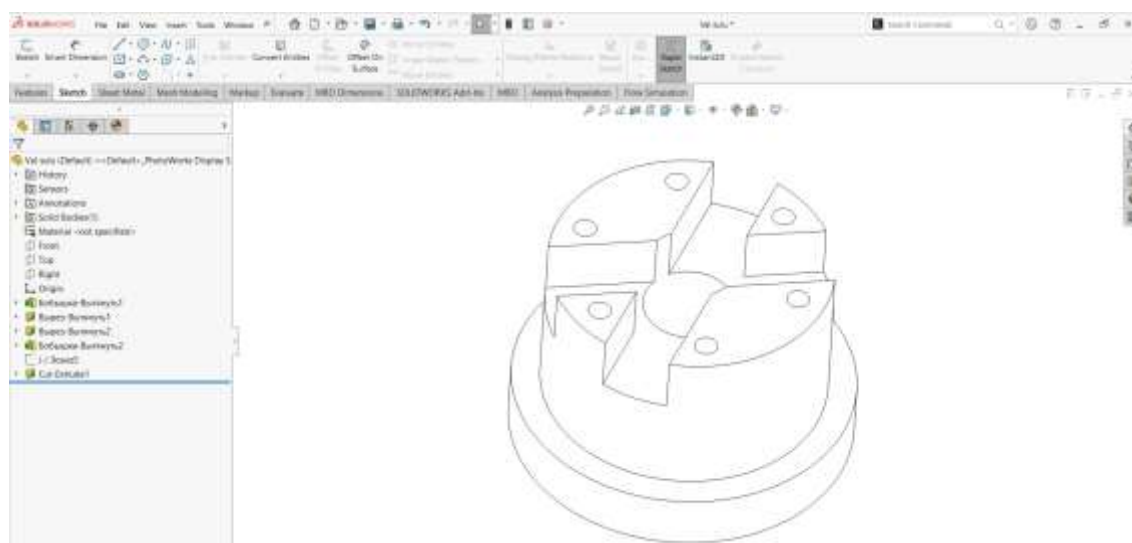


Рисунок 2.17 – Силовий вал.

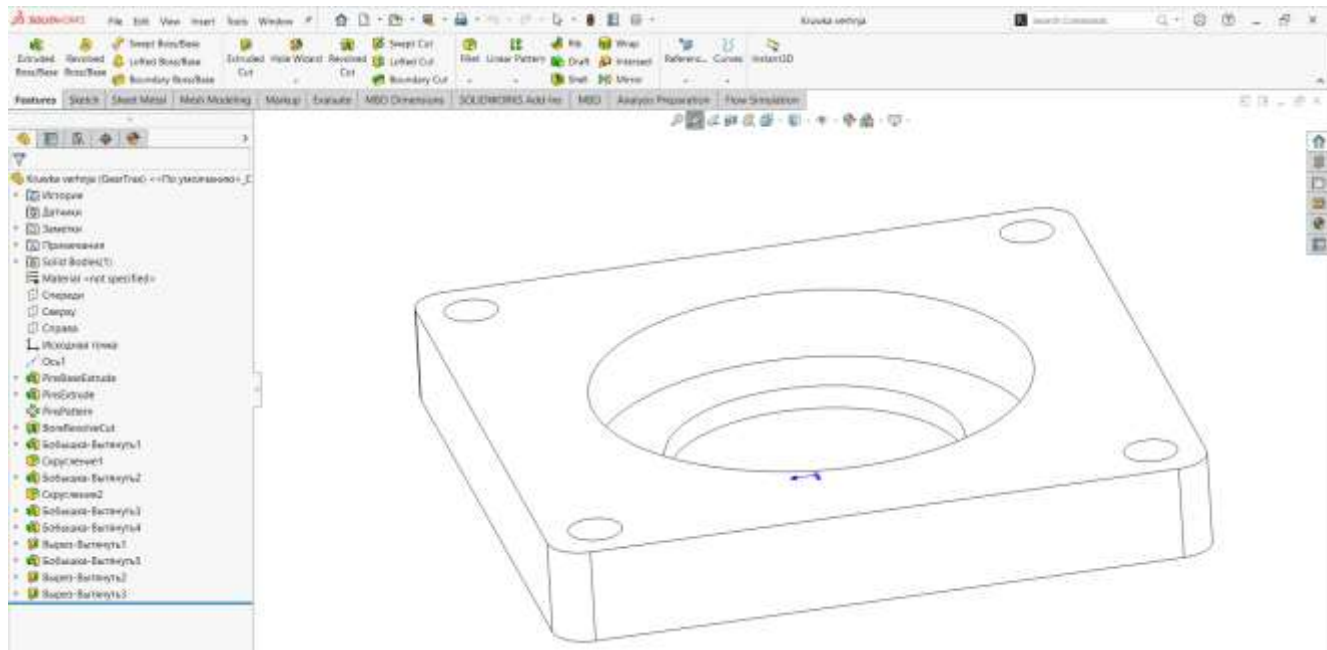


Рисунок 2.18 – Прижимна кришка.

Виконавши моделювання усіх базових необхідних елементів можна приступати до моделювання цілісного редуктора.

2.4 Утворення збірної одиниці та перевірка кінематики

Для перевірки правильності компоновки і що усе деталі добре пасують одна до одної їх треба зібрати в єдиний вузол. Уся сутність збирання деталей полягає в необхідному взаєморозміщенню деталей. До прикладу центральна вісь валу повинна співпадати з центральною віссю отвору, таким чином моделюється розміщення валу в отворі. Крім такого розміщення ще можуть бути до прикладу такі як:

- паралельність поверхонь;
- перпендикулярність поверхонь;
- концентричність поверхонь;
- дотичність поверхонь;
- розташування під певним кутом поверхонь;
- розташування на певній відстані поверхонь;
- накладання поверхонь;
- і інші.

Результат проведених налагоджень представлено на рисунку 2.19.

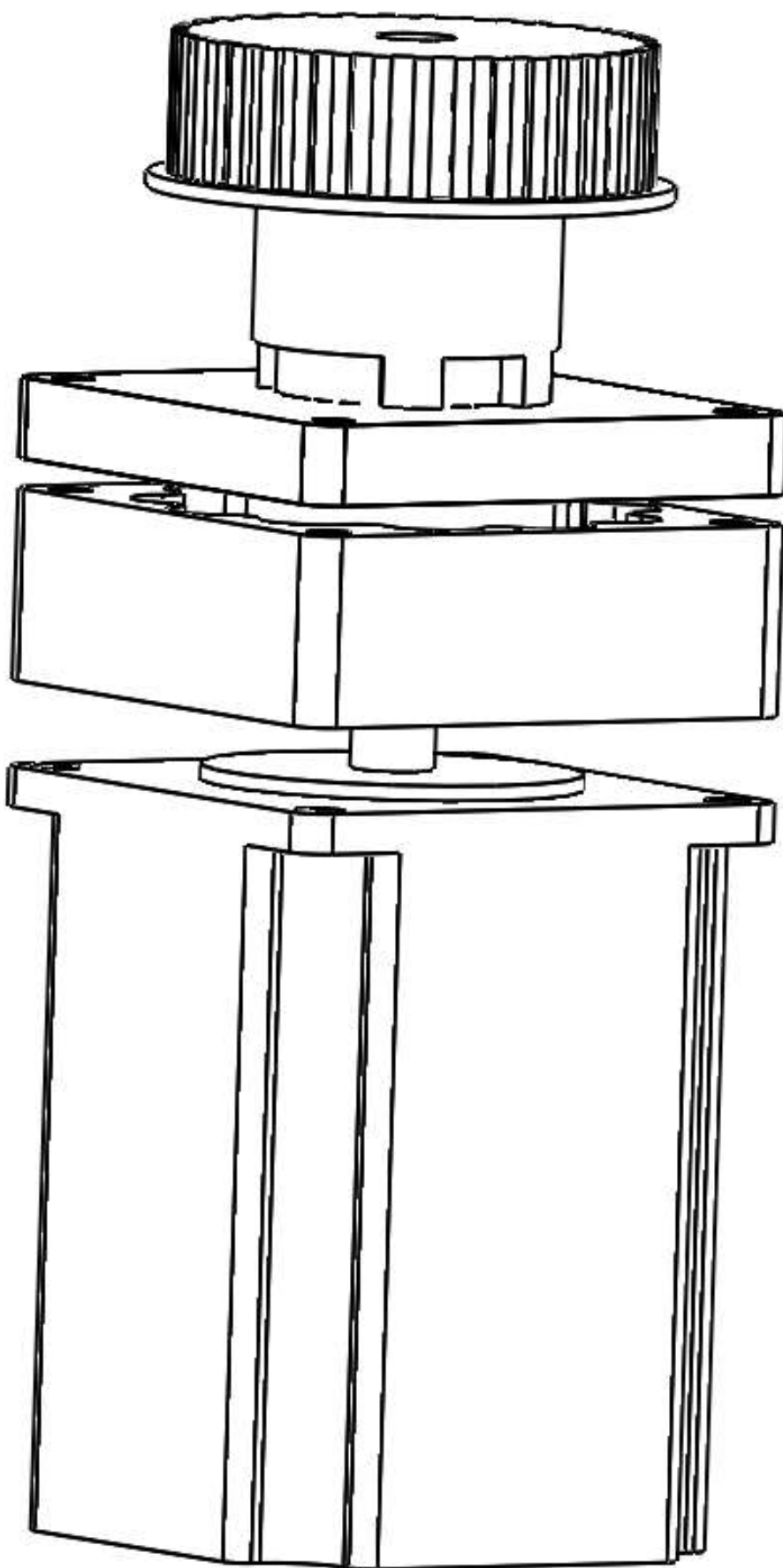


Рисунок 2.19 – Циклоїдальний редуктор з кроковим двигуном.

Далі з метою перевірки кінематичного руху редуктора, що перекочування рухомого колеса правильне всю збірку варто перевірити на рух. Skorистаємося модулем Motion Study в програмному забезпеченні SolidWorks. Надамо обертальний рух (на рисунку 2.20 позначено поворотною стрілкою) вихідному валу крокового мотора і запусимо симуляцію руху.

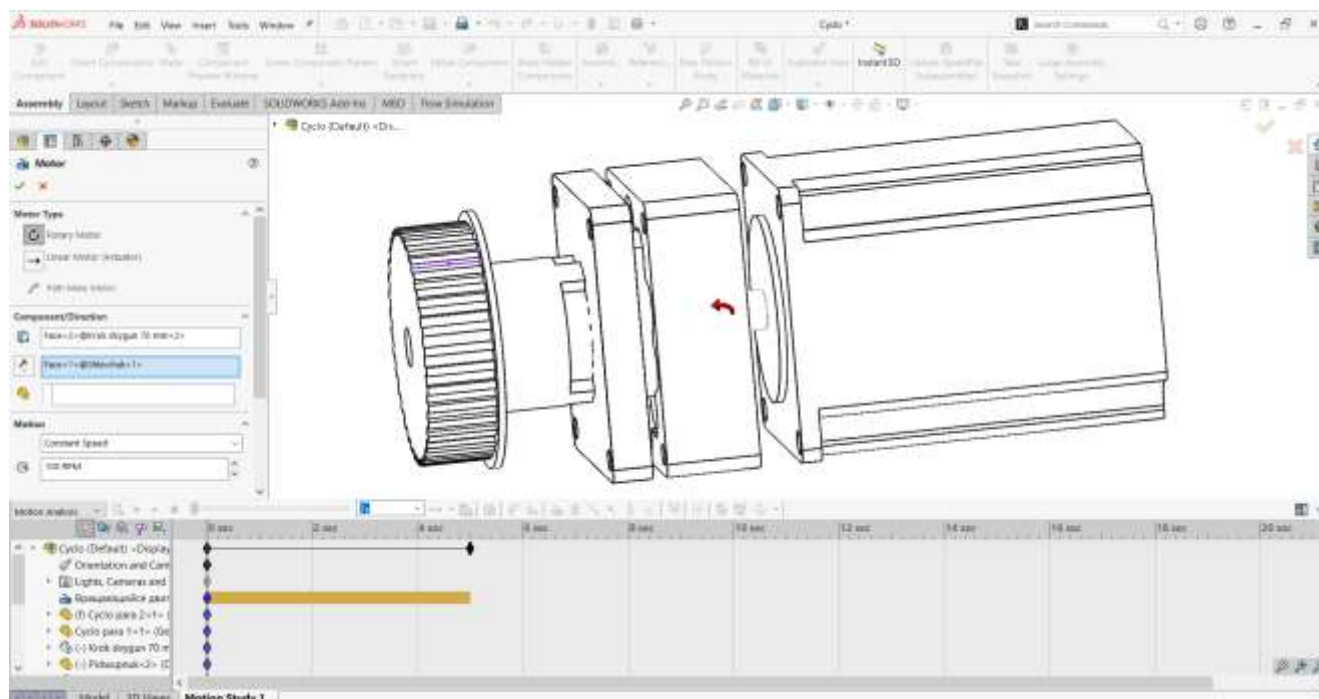


Рисунок 2.20 – Симуляція руху циклоїдального редуктора.

Симуляція успішно показала обертання вихідного шківa, що свідчить про коректність конструкції збірки.

В результаті проведеної роботи можна переходити до виготовлення редуктора використавши необхідні матеріали.

2.5 Висновки щодо розділу

В даному розділі здійснено моделювання усіх необхідних частин редуктора. Усі деталі було віртуально зібрано в один вузол. Також було змодельовано рух системи, в результаті чого редуктор успішно показав працездатність.

3 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Підготовка техпроцесу виготовлення рухомого колеса

Здійснивши моделювання усіх необхідних деталей редуктора можна приступити до їх безпосереднього виготовлення.

Приведемо приклад виготовлення рухомого колеса фрезеруванням. Налагодження процесу обробки будемо проводити в програмному забезпеченні FeatureCAM.

Отже, в даній програмі відкриваємо попередньо змодельовану 3D модель рухомого колеса (рис. 3.2) попередньо обравши тип обробки фрезеруванням та одиницю вимірювання – мм (рис. 3.1).

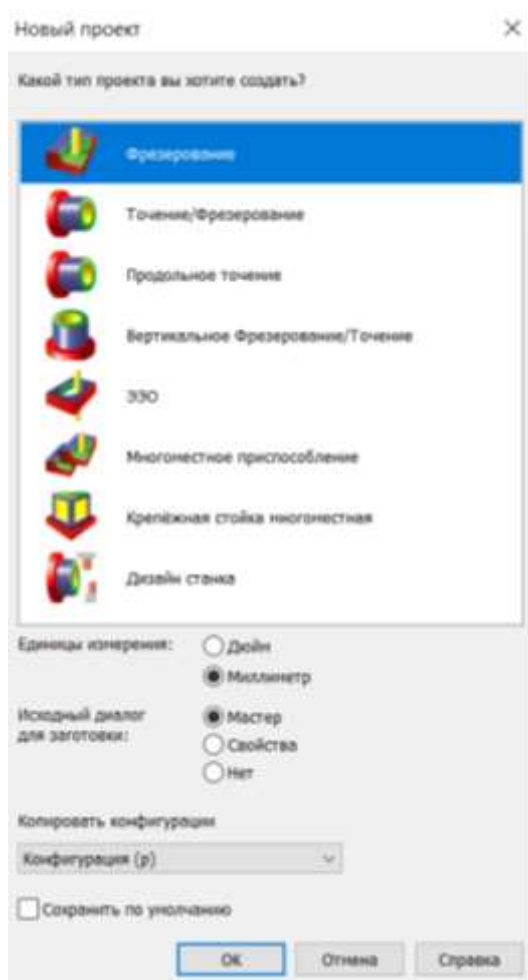


Рисунок 3.1 – Вибір типу обробки виготовлення деталі

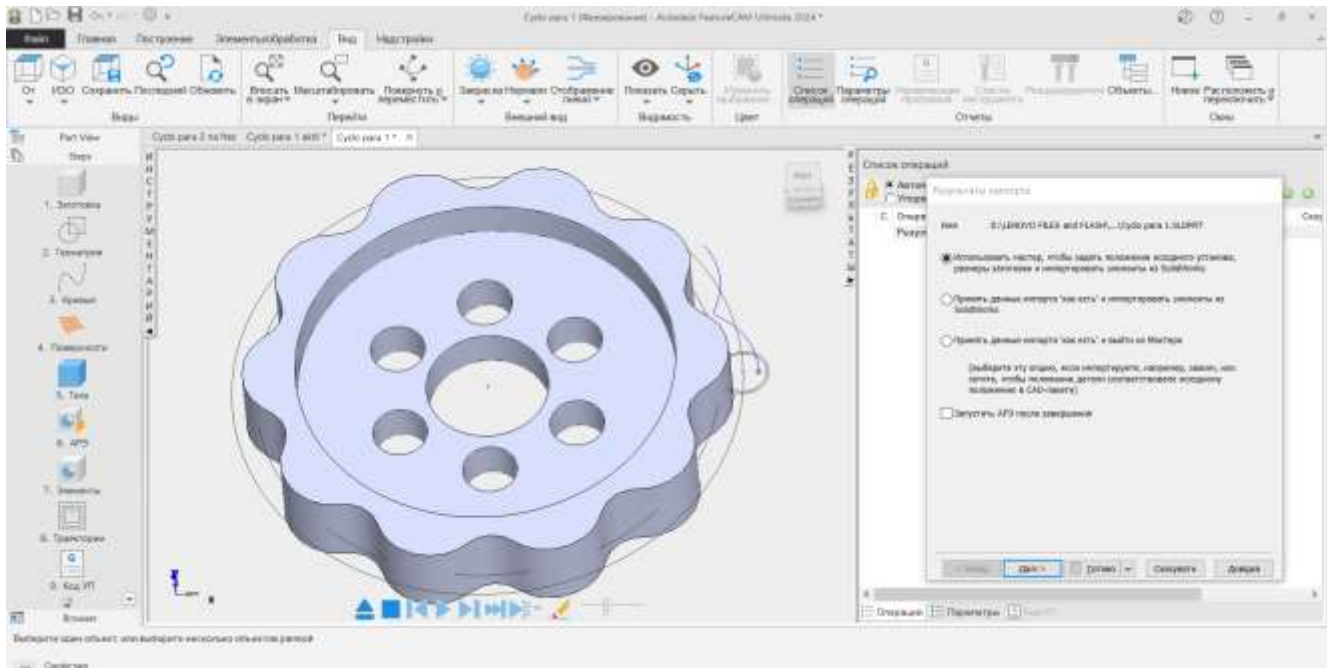


Рисунок 3.2 – Початок налагодження обробки рухомого колеса

Далі розміщуємо деталь згідно осей X Y Z (рис. 3.3). Дане розміщення регламентується самими осями які є на трьох осьовому фрезерному верстаті з ЧПК.

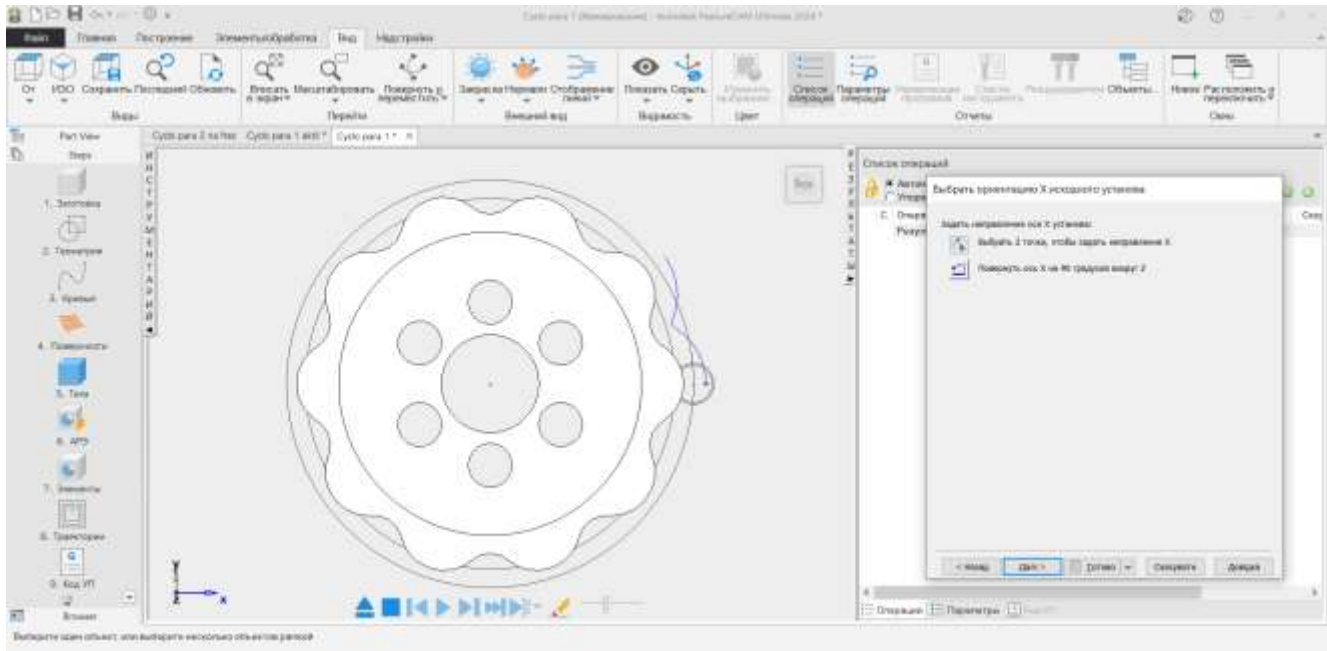


Рисунок 3.3 – Розташування деталі згідно осей X Y Z

Далі необхідно обрати форму заготовки та її геометричні розміри (рис. 3.3). В нашому випадку буде паралелепіпед з розмірами 52,5 x 50 x 8 мм.

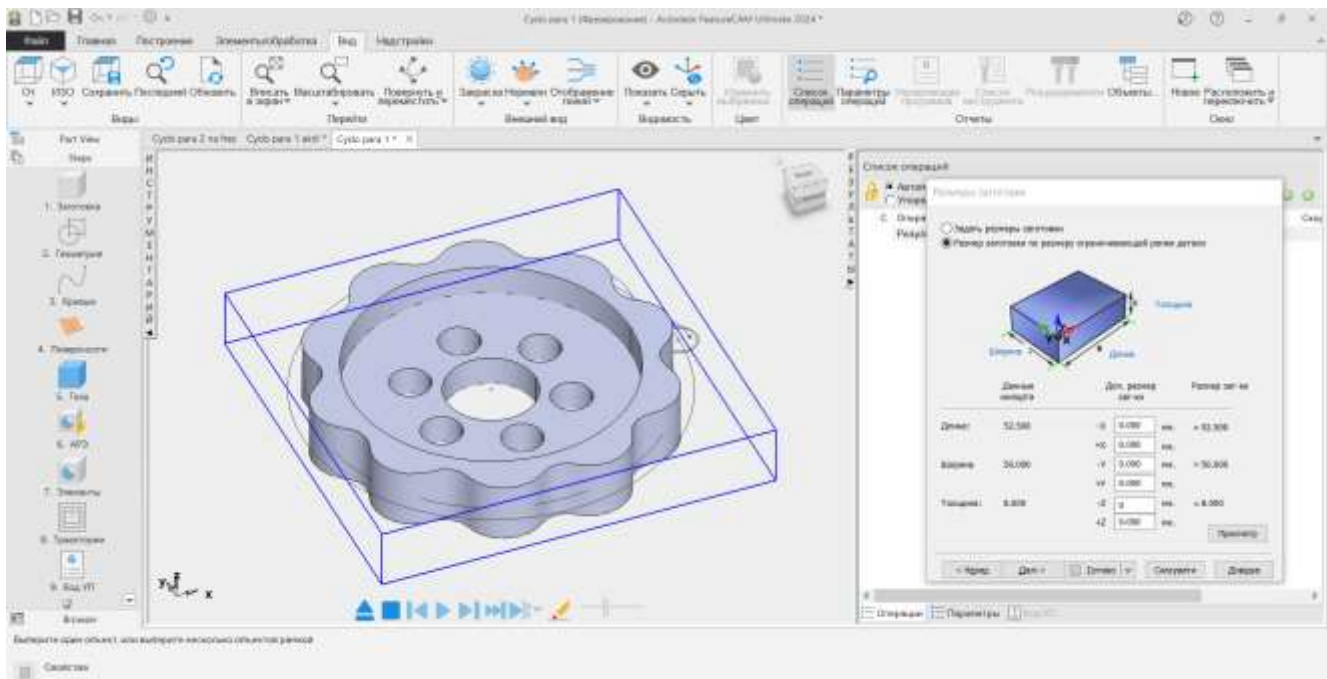


Рисунок 3.4 – Вибір форми та розміру заготовки

Далі необхідно вибрати нульове положення фрези (рис. 3.5), тобто по суті систему координатного відліку. В нашому випадку обираємо в центрі заготовки і на її поверхні.

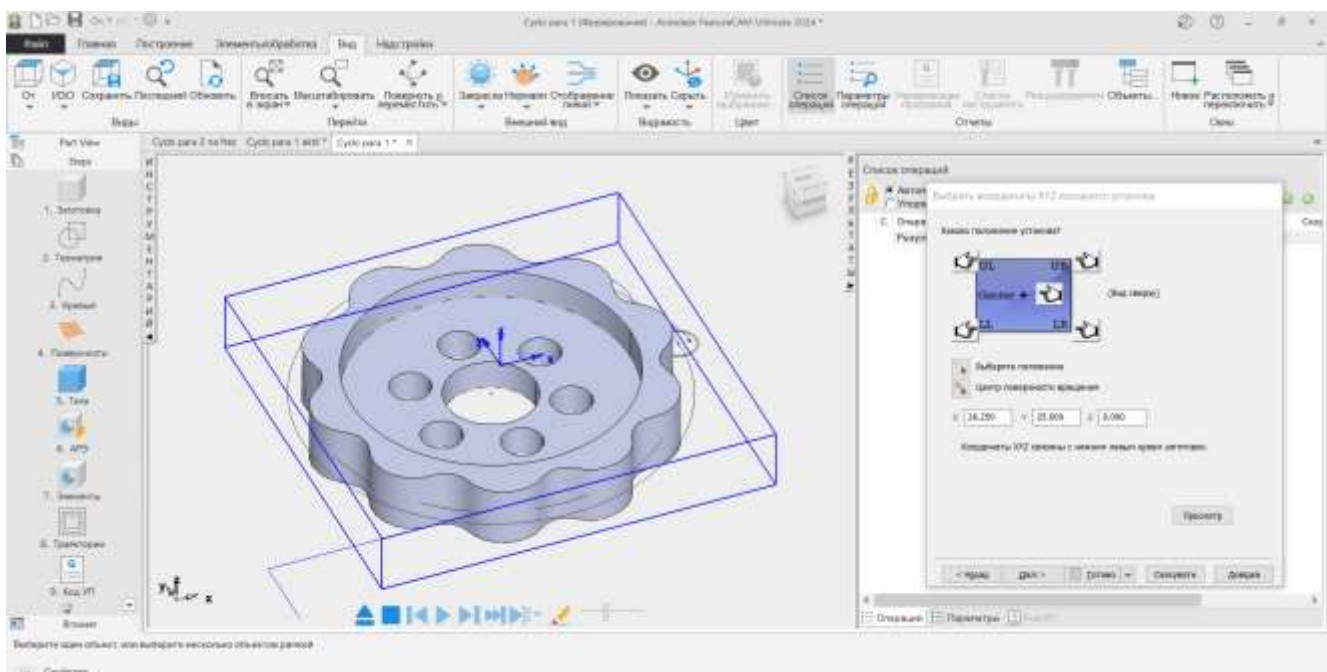


Рисунок 3.5 – Визначення нульового положення фрези

Далі застосуємо спеціальний функціонал програми FeatureCAM, а саме автоматичне розпізнавання елементів (рис. 3.6) 3D моделі деталі. Дана опція визначить усі частини деталі (отвори, кармани, криволінійні поверхні, виступи, тощо), а далі призначить найоптимальніші інструменти для обробки та режими різання.

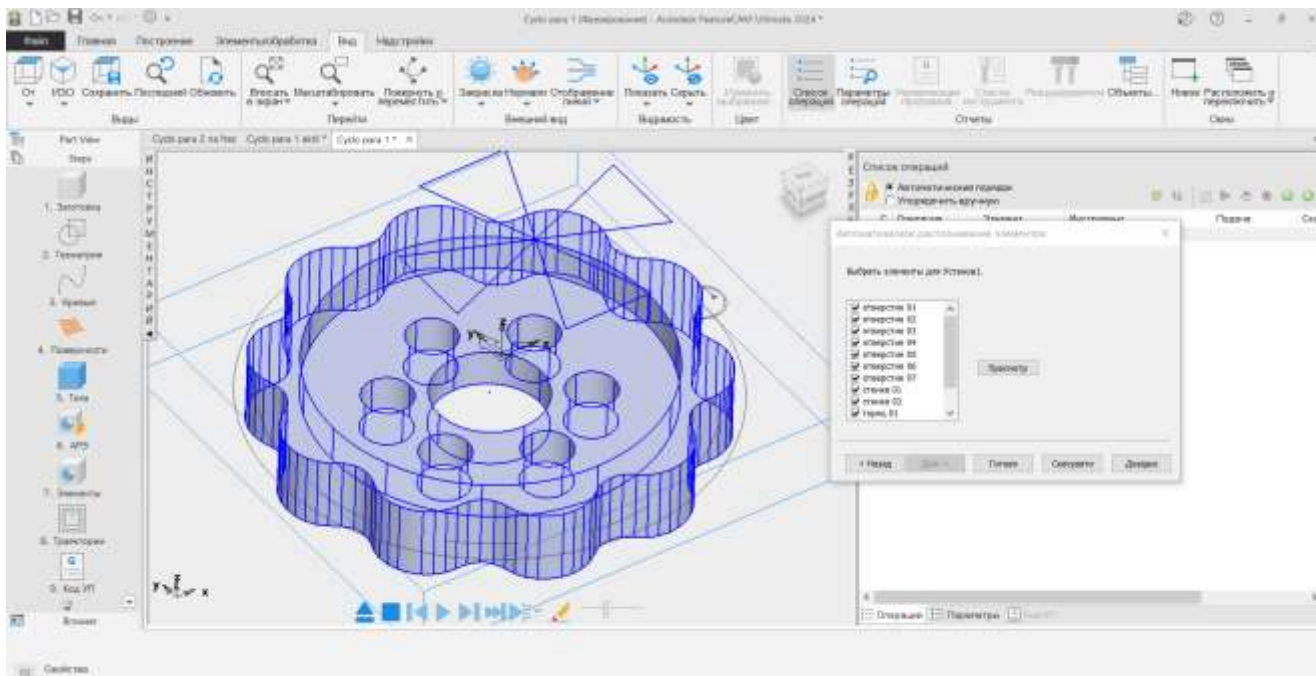


Рисунок 3.6 – Застосування опції автоматичного розпізнавання елементів

Проте в нашому випадку режими різання та інструменти варто обрати самому. Представимо їх на рис. 3.7.

Л	Б	Т	А	Т	Ы							
						С.	Операция	Элемент	Инструмент	Подача	Скорость	Глубина
							черн. проход 1	карман1	* конц.фрезаM0600.reg	* 1000.0 мм/мин	* 13000 об/мин	4.000 мм
							черн. проход 1	карман2	* конц.фрезаM0300.reg	* 800.0 мм/мин	* 13000 об/мин	4.000 мм
							черн. проход 2	карман2	* конц.фрезаM0300.reg	* 800.0 мм/мин	* 13000 об/мин	4.000 мм
							паз	канавка2	конц.фрезаM0600.reg	522.6 мм/мин	10834 об/мин	4.000 мм
							паз	канавка1	конц.фрезаM0600.reg	* 1000.0 мм/мин	* 13000 об/мин	8.000 мм
							Результаты					

Рисунок 3.7 – Інструменти та режими різання на обробку рухомого колеса.

Здійснивши усі необхідні налагодження обов'язковим етапом є перегляд симуляції обробки (рис. 3.8) деталі оскільки вона дасть зрозуміти чи налагодження зроблено правильними.

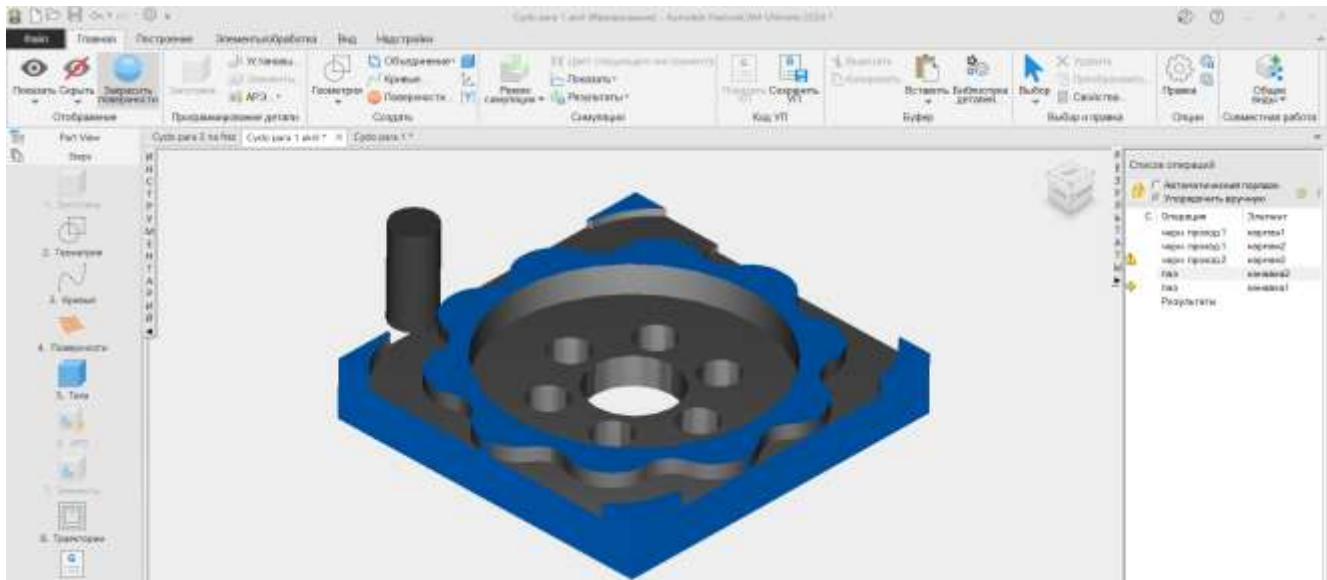


Рисунок 3.8 – Симуляція обробки.

Далі можна переглянути майбутній результат (рис. 3.9) роботи і оцінити чи він є прийнятним.

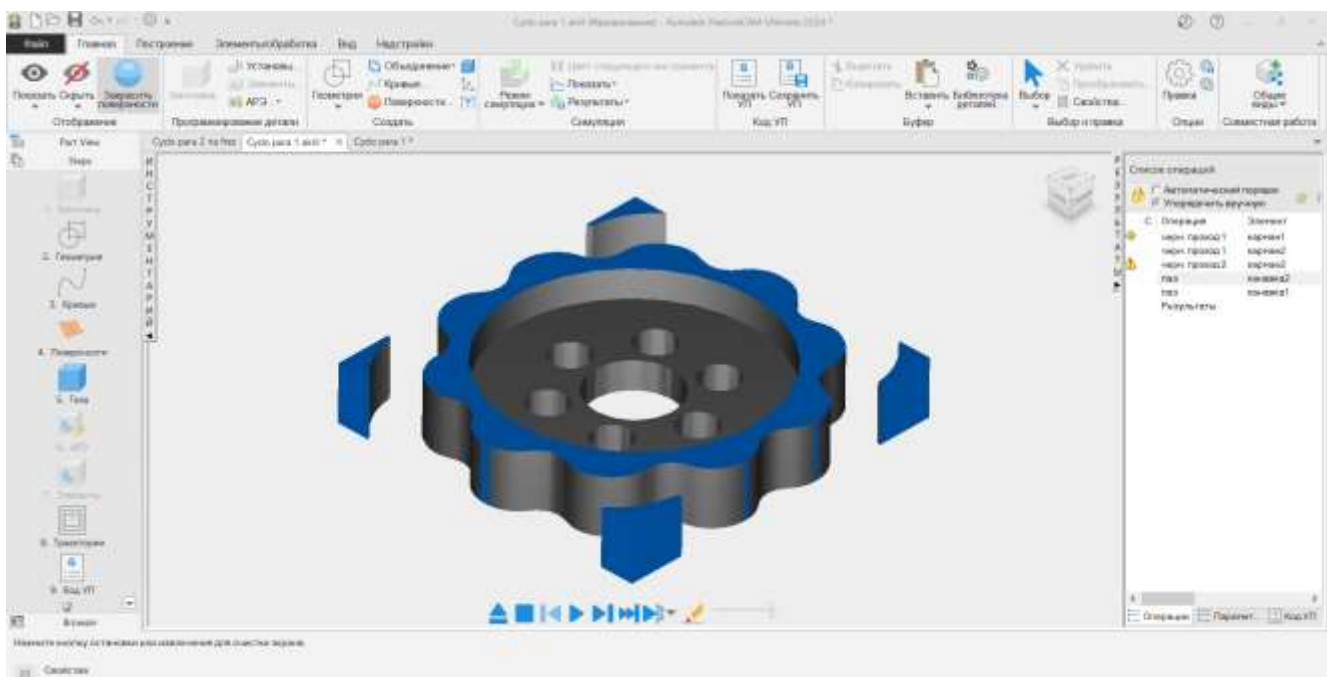


Рисунок 3.9 – Результат обробки.

Переконавшись у правильності усіх етапів можна згенерувати G-код згідно якого трьохосьовий фрезерний верстат здійснить обробку деталі. На рисунку 3.10 представимо фрагмент згенерованого програмного коду.

```
Код УП  
N35 G00 G92 X0 Y0 Z0  
N40 ( ROUGH1 POCKET КАРМАНИ )  
N45 M6 T1  
N50 G94  
N55 X0.506 #13000 M01  
N60 S3.0  
N65 G01 E-1.0 F500.  
N70 G03 X-0.493 Y0.999 R0.999 F1000.  
N75 X-1.492 Y0. R0.999  
N80 X0.022 Y-1.514 R1.514  
N85 X1.536 Y0. R1.514  
N90 X0.022 Y1.514 R1.514  
N95 X-0.749 Y1.303 R1.514  
N100 G02 X-2.494 Y0.423 R15.021  
N105 G03 X-3.318 Y-0.841 R1.375  
N110 X-3.206 Y-1.393 R1.375  
N115 X0.022 Y-3.512 R3.512  
N120 X3.534 Y0. R3.512  
N125 X0.022 Y3.512 R3.512  
N130 X-3.384 Y0.859 R3.512  
N135 X-3.634 Y-1.156 R8.241  
N140 X-3.442 Y-2.925 R8.241  
N145 X-0.641 Y-5.47 R3.27  
N150 X0.022 Y-5.51 R5.51  
N155 X5.532 Y0. R5.51  
N160 X0.022 Y5.51 R5.51  
N165 X-5.488 Y0. R5.51  
N170 Y-4.71 Y-3.579 R5.51  
-----  
Операции | Параметры | Код УП
```

Рисунок 3.10 – G-код на обробку.

Аналогічним чином здійснено налагодження техпроцесу усіх необхідних деталей. В результаті обробки отримали необхідні деталі (рис. 3.11).



Рисунок 3.11 – Виготовлені деталі циклоїдального редуктора.

Далі необхідно провести експерименти для оцінки зростання моменту сили на вихідному валу редуктора в порівнянні з валом двигуна.

3.2 Формування електричної схеми роботи крокового двигуна

Для функціонування крокового двигуна необхідно розробити електричну схему. Таким чином можна провести силові експерименти.

На рисунку 3.12 представлено розроблену електричну схему. В ній застосовуються наступні елементи:

- Кроковий двигун NEMA 23;
- Контролер - плата Arduino UNO;
- Драйвер крокового двигуна DM556;
- Блок живлення на 5В та 12В, щоб жити вище перелічені елементи.

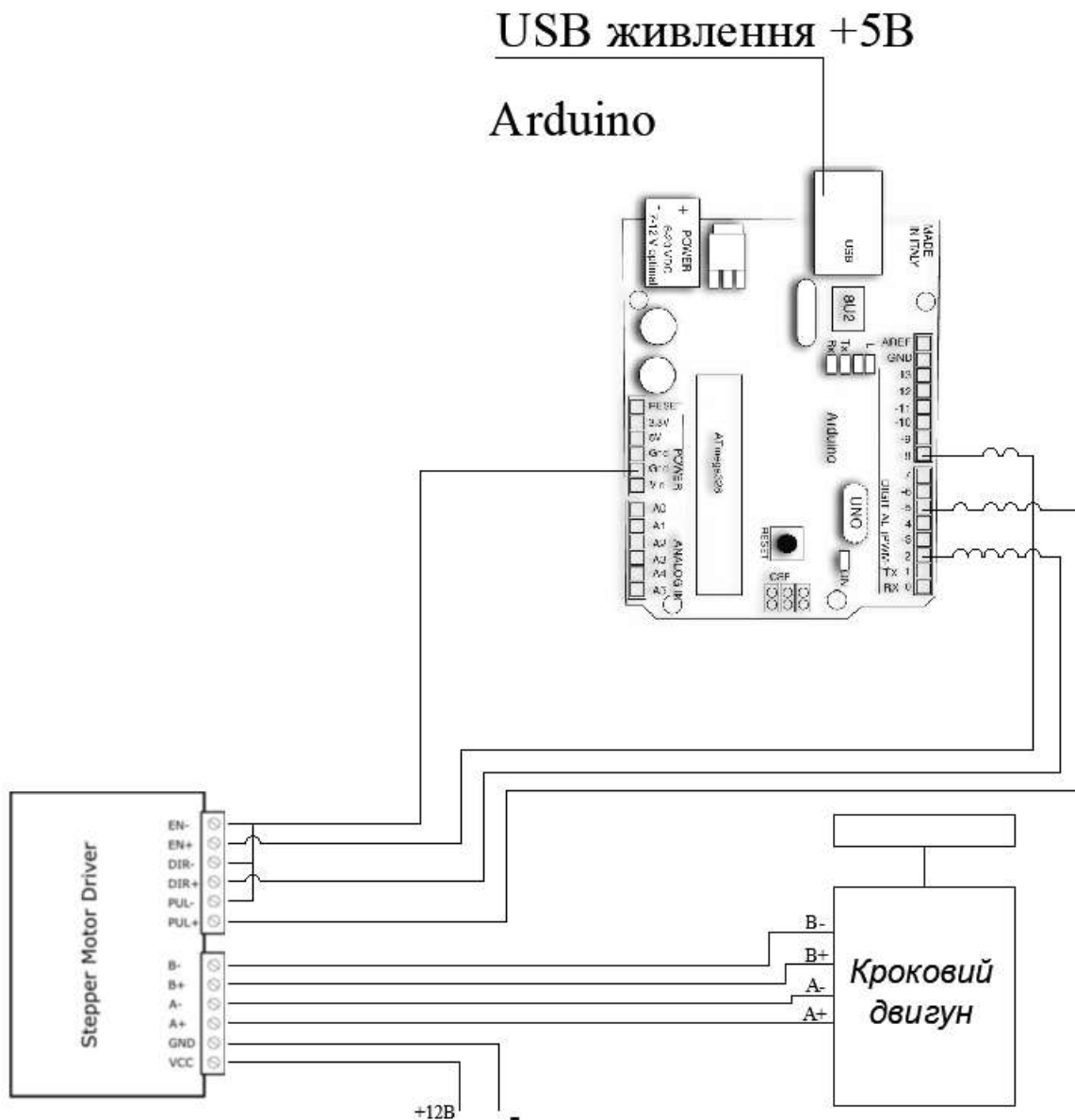


Рисунок 3.12 – Розроблена електрична схема.

Тепер варто перейти до експериментальних досліджень

Нижче приведено програмний код для Ардуіно

```

const int stepPin1 = 5;
const int dirPin1 = 2;
const int enPin1 = 8;

void setup() {
pinMode(stepPin1,OUTPUT);
pinMode(dirPin1,OUTPUT);
pinMode(enPin1,OUTPUT);
digitalWrite(enPin1,LOW);
digitalWrite(dirPin1,HIGH);
}

void loop() {

    digitalWrite(dirPin1,HIGH);
    for(int x = 0; x < 2000; x++) {           // 200 це 1 оберт
ротора (з редуктором треба 2000)
        digitalWrite(stepPin1,HIGH);
        delayMicroseconds(5000);
        digitalWrite(stepPin1,LOW);
        delayMicroseconds(5000);
    }
    delay (2000);

}

```

3.3 Експерименти щодо визначення моменту сили на валах

Сутність експерименту полягала в наступному:

- Перший варіант на роторі двигуна насаджено шків;
- На шківі намотана мотузка;
- Вмикається двигун і шків починає намотувати мотузку;
- Мотузка прикріплена до електронної ваги (імітація підйому вантажу);
- Мотор повинен працювати до появи «зриву»;
- Фіксація навантаження в момент «зриву».

На рисунку 3.13 показано дослідний стенд.



Рисунок 3.13 – Дослідний стенд – варіант 1.

Другий дослід майже аналогічно тільки шків посаджено на вихідний вал з редуктора, тобто кроковий двигун працює в парі з циклоїдальним редуктором. Дослідний стенд другого варіанту зображено на рисунку 3.14.

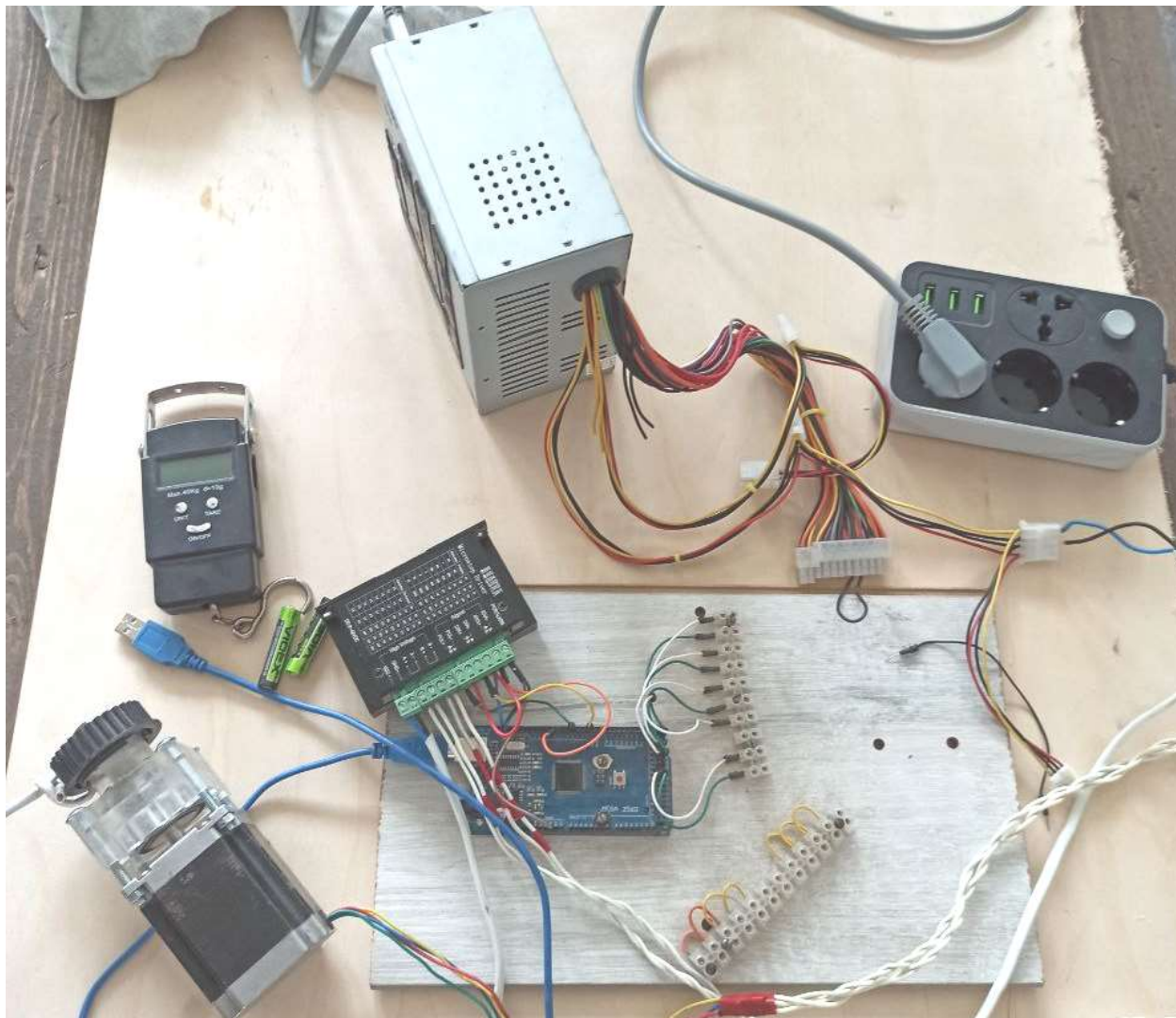


Рисунок 3.14 – Дослідний стенд – варіант 2.

Результати першого і другого варіанту показано на рис. 3.15.



Тест 1



Тест 2

Рисунок 3.15 – Результати.

Як видно з рисунку 3.15 в першому варіанті двигун зміг підняти 2,17 кг, а в другому 12,98 кг. Перерахуємо в момент сили скориставшись формулою

$$M = F * r \quad (1)$$

де

F – сила, в нашому випадку $F = m * g$;

де m – маса вантажу (показник на електронній вазі);

g – прискорення вільного падіння

r – радіус шківів

отже варіант 1 --- $M = 2,17 * 9,8 * 0,024 = 0,51 \text{ Н*м}$

варіант 2 --- $M = 12,98 * 9,8 * 0,024 = 3,05 \text{ Н*м}$

очікуване збільшення моменту сили в 10 разів (в нас вийшло в 6 разів) експериментально не підтверджено враховуючи невисоку якість виготовлення редуктора та не оптимальні електричні параметри роботи крокових двигунів. Проте підтверджено суттєве збільшення моменту сили за рахунок використання циклоїдального редуктора в парі з кроковим двигуном, що може слугувати матеріалом для подальших досліджень та розвитку тематики.

3.4 Висновки щодо розділу

В розділі описано методику підготовки техпроцесів виготовлення деталей на трьохосьовому верстаті з ЧПК. Здійснено безпосереднє виготовлення усіх необхідних елементів для циклоїдального редуктора. Розроблено електричну схему роботи дослідного стенду. Було зібрано стенд по пошуку моменту сили на вихідному валі крокового двигуна та на вихідному валу циклоїдального редуктора. Проведені експерименти та зроблено висновки.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Особливості безпеки праці в механообробному цеху

Розглянемо та опануємо інформацію викладену в джерелі [1].

Загальні положення

1. Ці правила безпеки праці доповнюють Загальні правила безпеки. Ви повинні знати та дотримуватися обох.

2. Працівники не повинні знімати або виводити з ладу будь-які захисні пристрої, окрім випадків, коли це дозволено. Захисні пристрої, зняті для ремонту, повинні бути негайно замінені або встановлені тимчасові огорожі.

3. Машини та обладнання повинні експлуатуватися лише уповноваженим персоналом.

4. Жодна машина не повинна залишатися без нагляду під час руху.

5. Чищення, змащування або регулювання будь-якої машини не повинні проводитися під час руху машини.

6. Матеріали, що підлягають обробці, повинні бути надійно закріплені або затиснуті на робочих поверхнях перед запуском машини.

7. Ключі або інші регульовальні інструменти ніколи не повинні залишатися таким чином, щоб вони могли сповзти, бути викинуті або впасти під час запуску машини.

8. Використовуйте щітку, спеціальний інструмент або гачок для видалення стружки, стружки або інших матеріалів з робочого місця. Не можна брати сипучу стружку голими руками; слід використовувати металеві гачки.

9. Обертювий вал, хоча й здається гладким, може зачепити вільний або рваний одяг, волосся або ганчірки для витирання. Під час роботи поблизу будь-яких обертювих механізмів завжди потрібні належний одяг та обережність.

10. Під час затягування заготовки в кулачках патрона за допомогою гайкового ключа оператор повинен стежити за тим, щоб ключ правильно сидів; оператор повинен займати правильну позицію під час затягування кулачків, щоб запобігти падінню, якщо ключ зісковзне.

11. Під час розміщення або видалення важких виливків або заготовок з машин оператор повинен звернутися за допомогою або скористатися послугами крана, щоб запобігти травмуванню.

12. Оператори повинні тримати руки подалі від різців та прутків під час роботи з машинами. Оператори повинні тримати руки подалі від робочого місця, поки машина працює.

13. Оператори повинні стояти так, щоб вони могли легко дістатися до елементів керування машиною.

14. Різаки та інструменти повинні бути на вільному місці перед запуском машин.

15. Після кожного використання очищайте стружку, розливи тощо на машинах та навколо них.

Токарні верстати

16. Перед запуском верстатів усі матеріали повинні бути належним чином закріплені в патронах та цангах.

17. Не залишайте ключ патрона в патроні після зняття заготовки з патрона.

18. Тримайте руки подалі від обідків патрона, коли токарний верстат рухається.

19. Не намагайтеся накрутити патрон на шпindel токарного верстата, коли живлення увімкнене, оскільки він може перехресно нарізати різьбу та спричинити нещасний випадок.

20. Під час токарної обробки заготовки на центрах слід використовувати токарні кулачки безпечного типу.

21. Перед увімкненням живлення переконайтеся, що задня бабка, тримач інструменту та заготовка належним чином закріплені.

22. Небезпечно переміщувати ремені ступінчастого шківа руками, коли ремені рухаються з увімкненим живленням; використовуйте штангу для ременя або іншу відповідну палицю.

23. Не намагайтеся регулювати інструмент, коли токарний верстат працює.

24. Оператори не повинні намагатися використовувати мікрометри на обертових заготовках.

Свердлильні верстати

25. Ніколи не намагайтеся утримувати заготовку під дрилем рукою; надійно закріпіть її на столі перед запуском верстата.

26. Під час затягування свердла в патроні свердлильного верстата, вийміть ключ відпускання перед запуском верстата, інакше ваша рука може бути скручена навколо шпинделя. Ніколи не залишайте ключ у патроні.

27. Використовуйте правильно заточені свердла для різання до потрібного розміру.

28. Використовуйте свердло лише з правильною швидкістю; занадто швидке зусилля або подача можуть призвести до поломки свердел та серйозних травм.

29. Якщо заготовка зісковзне із затискача, ніколи не намагайтеся зупинити її руками. Зупиніть верстат, щоб виконати будь-яке регулювання або ремонт.

30. Свердла ніколи не можна перевантажувати, чинячи надмірний тиск на важіль подачі. Інструменти можуть зламатися та спричинити травму.

Фрезерні верстати

31. Перед початком роботи верстата всі деталі повинні бути належним чином закріплені, а всі незакріплені предмети видалені зі столів.

32. Різаки повинні бути перевірені на наявність тріщин або поломок перед встановленням і повинні бути надійно закріплені перед початком роботи.

33. Оператори повинні тримати голови та руки подалі від різців під час роботи верстата.

34. Напилки або інші імпровізовані виступи не повинні використовуватися для видалення інструментів з конічним хвостовиком. Відповідні виступи є в інструментальних кімнатах.

35. Навколо будь-якого заготовки, що виступає за межі столу верстата, повинні бути встановлені захисні кожухи.

36. Фрези та інші загартовані інструменти не повинні бити сталевим молотком. Слід використовувати дерев'яні, шкіряні або мідні молотки.

37. Перед початком роботи повинні бути вибрані відповідні подачі та швидкості.

38. Верстати повинні бути зупинені перед будь-якими спробами вимірювання або перевірки роботи.

39. Захисні кожухи та перегородки повинні використовуватися для захисту інших від летючої стружки, олії або охолоджувальних рідин.

40. Оператори повинні переконатися, що різці та подачі обертаються у правильному напрямку, щоб різці не піднімалися та не заклинювали. Такий нещасний випадок може призвести до травмування заготовки, верстата та оператора.

Експлуатація та шліфувальні машини

41. Увага: Усі шліфувальні круги працюють на небезпечних швидкостях.

42. Слідкуйте за тим, щоб шліфувальний круг легко сидів на шпинделі. Небезпечно застосовувати силу до нього, і він не повинен бути занадто вільним.

43. Між кругом та його фланцями слід розмістити шайби, фланцеві покриття або стискаючий матеріал. Якщо використовується промокальний папір, він не повинен бути товщим за 1 мм.

44. Після встановлення круга дайте йому розвинути повну робочу швидкість протягом принаймні однієї хвилини; тим часом стійте осторонь, щоб уникнути небезпеки. Ніколи не починайте роботу, доки не буде проведено це випробування на швидкість і круг не буде належним чином оброблений. Ні за яких умов круг не повинен обертатися швидше, ніж безпечні оберти за хвилину, рекомендовані виробником, як зазначено на етикетці.

45. Не докладайте зусиль до холодного круга, а застосуйте його поступово, даючи йому можливість нагрітися, тим самим зменшуючи ймовірність поломки. Це стосується початку роботи вранці в холодних приміщеннях та нових кругів, які зберігалися в холодному місці.

46. Верстати для правки кругів, крім алмазних, повинні бути оснащені захисними кожухами над різцями для захисту від відлітаючих шматочків, зламаних різців або частинок круга.

47. Оператор повинен переконатися, що круг вільно обертається та правильно встановлений перед початком роботи.

48. Усі круги повинні пройти перевірку "кільцем" перед встановленням на верстати.

49. Під час роботи зі шліфувальними машинами не слід носити рукавички.

50. Пиловловлювачі або інші витяжні системи повинні бути ввімкнені під час шліфувальних операцій на обладнаних ними верстатах.

51. Інструменти або інші незакріплені предмети повинні триматися подалі від працюючих машин.

52. Захисні кожухи кругів повинні бути на місці та в належному стані під час роботи машини.

53. Безпечні робочі швидкості позначені на кругах виробниками.

54. Оператори не повинні обертати круги швидше, ніж рекомендовані швидкості.

55. Оператори повинні уникати стояння безпосередньо перед шліфувальними кругами, особливо під час запуску.

56. Круги, завантажені або засмічені металом, не повинні використовуватися до їхньої обробки.

57. Шліфувальні круги, що мають нерівну форму або не збалансовані, необхідно вирівняти перед використанням.

58. Під час роботи шліфувальних машин слід носити захисні окуляри з боковими щитками.

59. Шліфувальні круги повинні бути оснащені підставками для інструментів, вони не повинні зношуватися більше ніж на одну восьму дюйма від каменю, а заготовка повинна бути міцно закріплена на них.

60. Небезпечно регулювати підставку для інструментів під час руху шліфувального круга. Підставка може зісковзнути та зламати круг.

61. Бік наждачного круга не повинен використовуватися для шліфування, якщо це не круг спеціального типу для цієї мети.

62. Будьте особливо обережні під час шліфування вузьких інструментів. Вони можуть застрягти між підставкою та кругом.

Стругальні, формувальні та довбальні верстати

63. Перед запуском верстатів робочі місця повинні бути надійно закріплені, а всі інструменти зняті зі столів.

64. Хід верстата повинен бути належним чином відрегульований, щоб звільнити робочу поверхню та робочі столи верстатів.

65. Оператори повинні стояти подалі від заготовки, яка виступає за межі столів фугувального верстата.

66. Оператори не повинні намагатися регулювати хід або положення плунжера під час різання.

67. Оператори повинні стояти так, щоб до елементів керування верстатом було легко дістатися.

68. Під час роботи верстатів руки слід тримати подалі від клапанів. Не можна регулювати інструменти, коли клапани підняті.

69. Для захисту інших працівників, які працюють поблизу, мають бути передбачені екрани від стружки або обрізків, що летять.

70. Оператори повинні займати правильну позицію під час затягування довгих гайкових ключів для закріплення заготовки на верстатах, щоб запобігти падінню та напруженню у разі зісковзування ключа.

4.2 Чому важлива безпека машин

Розглянемо та опануємо інформацію викладену в джерелі [2].

Як роботодавець, ви повинні враховувати, як ваші працівники використовують обладнання. Ви також повинні мати належні умови технічного обслуговування, щоб забезпечити його безпеку у використанні.

Рухоме обладнання може призвести до травм, коли:

- люди можуть бути вражені рухомими частинами або викинутим матеріалом

- частини тіла можуть бути зтягнуті або затиснуті між роликками, ременями та шківовими приводами

- гострі краї можуть спричинити порізи та серйозні травми, гострі частини можуть спричинити ножові поранення або прокол шкіри.

- частини з шорсткою поверхнею можуть спричинити тертя або стирання

- люди можуть бути защемлені між частинами, що рухаються разом, або до нерухомої частини машини, стіни чи іншого об'єкта, або 2 частини, що рухаються одна повз одну, можуть спричинити зсув

- деталі, матеріали та викиди (такі як пара або вода) можуть бути достатньо гарячими або холодними, щоб спричинити опіки або ошпарювання

- електрика може спричинити ураження електричним струмом та опіки.

Травми можуть статися частіше, коли:

- техніка стає ненадійною та виходить з ладу

- машини використовуються неправильно через брак досвіду або навчання

Оцінка та управління ризиками

Перш ніж ви або ваші працівники використовувати будь-яку машину, вам слід подумати про те, які ризики можуть виникнути та як ними можна керувати. Перевірте, чи машина укомплектована, чи встановлені всі захисні засоби, та чи не має дефектів. Термін «захист» включає захисні пристрої, блокування, дворучні елементи керування, світлові захисні пристрої та чутливі до тиску килимки.

За законом, постачальник повинен забезпечити належні захисні засоби та інформувати покупців про будь-які ризики («залишкові ризики»), які неможливо було усунути. Користувачі повинні знати про них та керувати ними.

Переконайтеся, що ви визначаєте та керуєте ризиками, пов'язаними з погано розробленими захисними засобами. Вони можуть бути незручними у використанні або легко ігноруватися, що може спонукати ваших працівників ризикувати травмами та порушувати закон. Якщо вони це роблять, з'ясуйте, чому, та вживайте відповідних заходів для управління цим.

Створіть безпечну систему роботи для використання та обслуговування машини. Технічне обслуговування може вимагати перевірки критичних функцій, погіршення яких може спричинити ризик.

Перегляньте будь-які залишкові ризики, перелічені в інформації, що надається разом із машиною. Переконайтеся, що вони включені до безпечної системи роботи.

Переконайтеся, що кожна статична машина встановлена належним чином та є стабільною (зазвичай закріпленою).

Виберіть правильну машину для роботи

Не розміщуйте машини в місцях, де клієнти або відвідувачі можуть наразитися на небезпеку.

Переконайтеся, що ви визначили та управляєте ризиками, пов'язаними з електричними, гідравлічними або пневматичними джерелами живлення.

Переконайтеся, що машина:

- безпечний для будь-яких робіт, які необхідно виконувати під час налаштування, нормального використання, усунення засмічень, проведення ремонтних робіт у разі поломки та планового технічного обслуговування

- належним чином вимкнений, ізольований або заблокований перед будь-якими діями щодо усунення засмічень, очищення або регулювання

Використовуйте контрольні заходи

Запобігання доступу до небезпечних частин

Подумайте, як ви можете зробити машину безпечною. Можливо, знадобиться використовувати комбінацію заходів.

Заходи, які ви використовуєте для запобігання доступу до небезпечних частин, повинні бути в такому порядку:

1. Використовуйте стаціонарні захисні огороження (наприклад, закріплені гвинтами або гайками та болтами) для захисту небезпечних частин, коли це практично можливо.

Використовуйте найкращий матеріал для цих захисних огорож – пластик може бути легко видно, але його можна легко пошкодити. Якщо ви використовуєте дротяну сітку або подібні матеріали, переконайтеся, що отвори недостатньо великі, щоб забезпечити доступ до рухомих частин.

2. Якщо стаціонарні захисні огороження непрактичні, використовуйте інші методи, наприклад, блокування захисного огороження, щоб машина не могла запускатися, поки захисне огороження не закрито, і щоб його не можна було відкрити, поки машина ще рухається.

У деяких випадках можна використовувати системи відключення, такі як фотоелектричні пристрої, чутливі до тиску мати або автоматичні захисні огороження, якщо інші захисні огороження непрактичні.

3. Якщо захисні огороження не можуть забезпечити повний захист, використовуйте пристосування, тримачі або штовхачі, якщо це практично можливо.

4. Контролюйте будь-який ризик, що залишився, надаючи оператору необхідну інформацію, інструкції, навчання, нагляд та відповідне захисне обладнання.

Інші заходи контролю

Якщо машини керуються програмованими електронними системами, зміни до будь-яких програм повинна вносити компетентна особа (особа, яка має необхідні навички, знання та досвід для безпечного виконання роботи). Ведіть облік таких змін та перевіряйте, чи вони були внесені належним чином.

Переконайтеся, що перемикачі керування чітко позначені, щоб показати їхню функцію.

За потреби розміщуйте елементи керування аварійною зупинкою, наприклад, грибоподібні кнопки, у межах легкої досяжності.

Переконайтеся, що елементи керування розроблені та розміщені таким чином, щоб уникнути випадкового спрацьовування та травмування, наприклад, використовуючи дворучні елементи керування, де це необхідно, та закриваючи кнопки запуску та педалі.

Не дозволяйте неавторизованим, некваліфікованим або непідготовленим особам користуватися машинами – ніколи не дозволяйте дітям працювати з машинами або допомагати їм. Деякі вразливі працівники, такі як новачки, молодь або люди з інвалідністю, можуть бути особливо піддані ризику. Кожен, хто користується машиною, потребує належного інструктажу, навчання та нагляду.

Належне навчання має гарантувати, що ті, хто користується машиною, компетентні в її безпечному використанні. Це включає забезпечення належних навичок, знань та досвіду. Іноді потрібна офіційна кваліфікація, наприклад, для операторів бензопил.

Керівники також повинні бути належним чином навчені та компетентні, щоб бути ефективними. Їм може знадобитися додаткове спеціалізоване навчання, і для керівників існують визнані курси.

Переконайтеся, що робоча зона навколо машини чиста та охайна, вільна від перешкод або небезпек для ковзання та спотикання, а також добре освітлена.

Безпека машин для працівників

Забезпечення безпеки машин

Щоб забезпечити безпеку машин, слід перевірити, чи вони належним чином обслуговуються та придатні для використання. Переконайтеся, що вони відповідають вимогам роботи, працюють належним чином та що всі заходи безпеки встановлені.

Приклади заходів безпеки включають захисні кожухи, ізолятори, механізми блокування та аварійні вимикачі.

Використовуйте машину належним чином та відповідно до інструкцій виробника.

Переконайтеся, що ви носите відповідний захисний одяг та спорядження, необхідні для цієї машини, такі як захисні окуляри, засоби захисту слуху та захисне взуття.

Запобігання нещасним випадкам та травмам

Не використовуйте машину або прилад, на якому прикріплено знак небезпеки або табличку. Ці знаки повинна знімати лише уповноважена особа, яка переконалася, що машина або процес тепер безпечні.

Ніколи не носіть звисаючих ланцюгів, вільного одягу, кілець та не тримайте розпущене довге волосся, яке може потрапити в рухомі частини.

Не відволікайте людей, які користуються машинами.

Ніколи не знімайте будь-які захисні пристрої, навіть якщо вони, здається, ускладнюють роботу.

4.3 Висновки щодо розділу

В даному розділі висвітлені питання щодо безпеки праці в механообробному цеху, тобто яке поведження працівників повинно бути при використанні різного механізованого обладнання. Також в переконливій манері доказано важливість безпеки машин. Тобто що треба робити, щоб не виникали небезпечні ситуації, а у разі їх виникнення які дії повинні бути проведені.

ВИСНОВКИ

Аналіз матеріалів першого розділу призвів до наступних висновків•
Зубчастий редуктор – це механічна система шестерень, розташованих таким чином, що вхідна швидкість може бути знижена до меншої вихідної швидкості, але при цьому вихідний крутний момент залишається таким самим або більшим.

- Зубчастий редуктор використовується, коли ведуча шестерня менша та має менше зубців, ніж ведена. Це відрізняється від ситуації, коли ведуча шестерня більша та має більше зубців, ніж ведена, що називається підвищувальною передачею.

- Зубчастий редуктор – це редуктор швидкості, який змінює швидкість обертання за допомогою шестерень, положення вала та розташування шестерень. Вони широко використовуються з обладнанням для редукторної передачі, де структура передачі об'єднує приводний двигун та коробку передач або зубчастий редуктор.

- Існують певні фактори, які необхідно оцінити перед прийняттям рішення про придбання зубчастого редуктора. Основне призначення зубчастого редуктора – адаптувати характеристики крутного моменту та швидкості вхідної та вихідної осей механізму.

- Регулярне технічне обслуговування та ремонт зубчастих редукторів є необхідністю та настійно рекомендується. Завдяки регулярній оцінці можна мінімізувати або уникнути несправностей, помилок та низької продуктивності.

Другий розділ був присвячений здійснено моделювання усіх необхідних частин редуктора. Усі деталі було віртуально зібрано в один вузол. Також було змодельовано рух системи, в результаті чого редуктор успішно показав працездатність.

В третьому розділі описано методику підготовки техпроцесів виготовлення деталей на трьохосьовому верстаті з ЧПК. Здійснено безпосереднє виготовлення усіх необхідних елементів для циклоїдального

редуктора. Розроблено електричну схему роботи дослідного стану. Було зібрано стан по пошуку моменту сили на вихідному валі крокового двигуна та на вихідному валу циклоїдального редуктора. Проведені експерименти та зроблено висновки.

В четвертому розділі висвітлені питання щодо безпеки праці в механообробному цеху, тобто яке поведження працівників повинно бути при використанні різного механізованого обладнання. Також в переконливій манері доказано важливість безпеки машин. Тобто що треба робити, щоб не виникали небезпечні ситуації, а у разі їх виникнення які дії повинні бути проведені.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Матеріали за посиланням https://www.wiu.edu/facilities_management/ehs/manuals/mechanical_maint.php
2. Матеріали за посиланням <https://www.hse.gov.uk/work-equipment-machinery/introduction.htm>
3. Матеріали за посиланням <https://www.iqsdirectory.com/articles/gearbox/gear-reducers.html>
4. Деталі машин. Розрахунок та конструювання: підручник / Г. В. Архангельський, М. С. Воробйов, В. С. Гапонов, О. І. Дубинець, О. І. Пилипенко, А. В. Гайдамака, С. Л. Панов, А. С. Столбовий. – Київ: Талком, 2014. – 684 с.
5. Павлище В. Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: підручник / В. Т. Павлище. – Львів : Афіша, 2003. – 560 с.
6. Герасименко В. В. Моделювання зубчастих коліс та валів: навч. посібник / В. В. Герасименко, Д. Ю. Бородін, І. М. Бєлих. – Харків : ТОВ «ПЛАНЕТА-ПРІНТ», 2019. – 164 с.
7. Довідка програми SolidWorks
8. Довідка програми FeatureCAM