**Ю. В. Булига, С. І. Сухоруков**

# Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін «Комп'ютерна графіка в технологічному проектуванні» та «Комп'ютерна графіка в машинобудуванні»

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Вінницький національний технічний університет

**Ю. В. Булига, С. І. Сухоруков**

# Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін «Комп'ютерна графіка в технологічному проектуванні» та «Комп'ютерна графіка в машинобудуванні»

Вінниця
ВНТУ
2012

Рекомендовано до друку Методичною радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (протокол № 10 від 17.06.2010 р.)

Рецензенти:
**І. О. Сивак,** доктор технічних наук, професор
**І. Н. Дудар,** доктор технічних наук, професор
**В. Ф. Анісімов,** доктор технічних наук, професор

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін «Комп'ютерна графіка в технологічному проектуванні» та «Комп'ютерна графіка в машинобудуванні»/ Ю. В. Булига, С. І. Сухоруков. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 78с.

Методичні вказівки містять теоретичний та лабораторний матеріал геометричних побудов, вправи та приклади їх виконання.

Призначені для студентів денної та заочної форми навчання.

**ЗМІСТ**

Вступ ..... 4
Практичне моделювання ..... 5
Лабораторна робота 1 Зубчате колесо ..... 9
Лабораторна робота 2 Ведений вал ..... 18
Лабораторна робота 3 Ведучий вал-шестерня ..... 21
Лабораторна робота 4 Черв'як ..... 25
Лабораторна робота 5 Черв'ячне колесо ..... 30
Лабораторна робота 6 Корпус редуктора ..... 37
Лабораторна робота 7 Кришка редуктора ..... 52
Лабораторна робота 8 Кришки підшипників, маслозатримні кільця і інші деталі редуктора ..... 57
Лабораторна робота 9 Збірка редуктора ..... 59
Лабораторна робота 10 Створення деталі в збірці та виконання розрізу моделі ..... 73
Висновки ..... 77
Література ..... 77

# ВСТУП

Враховуючи швидкий розвиток комп'ютерних технологій в сучасному освітньому середовищі стає необхідним глибоке вивчення сучасних систем автоматизованого проектування (САПР).

Це, насамперед, пов'язано з підвищенням об'єму розумової праці студента, тобто, необхідністю управління проектною документацією, дослідженням об'єктів і аналізом процесів, що відбуваються в них.

Сучасні САПР дозволяють вести комплексне проектування, починаючи з постановки завдання і закінчуючи отриманням креслень і програм для верстатів з числовим програмним управлінням.

Сучасний ринок САПР пропонує широкий спектр програмних продуктів для вирішення великого кола завдань. Не дивлячись на відсутність чітко позначених меж, всі ці продукти можна класифікувати за рівнями:

Верхній рівень - багатофункціональна інтеграція системи з єдиною структурою даних і набором проблемно-орієнтованих додатків, а також вузькоспеціалізовані системи (ANSYS, CATIA, Eds/unigraphics, Pro/engineer, EUCLID, Inventor, NASTRAN, ADAMS, I-DEAS та ін.).

Середній рівень - представлений групою незалежних продуктів, що працюють на основі єдиної структури даних. Як правило, пакети цього класу випускаються промисловими партнерами розробника структури даних базової моделюючої системи (Mechanical Desktop, PRELUDE, Designspace, Dinamic Designer Motion, Moldflow, Solidworks і ін.).

Нижній рівень - сукупність програм, орієнтованих на оформлення конструкторської і технологічної документації. Ці програми, як правило, не пов'язані єдиною структурою даних. Проте програми цього рівня істотно підвищують темпи і якість конструкторсько-технологічної документації (AUTOCAD, T-flex, КОМПАС і ін.).

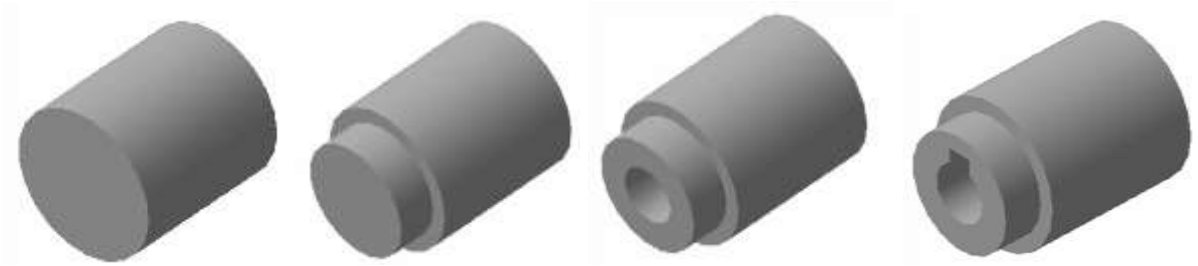
Метою виконання лабораторних робіт є закріплення й поглиблення теоретичних знань з дисципліни, а також опанування основ проектування тривимірних моделей в системі КОМПАС-3D.

## ПРАКТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Розробка тривимірної моделі - складний творчий процес, який припускає у проектувальника не тільки знання предмета проектування і програмних засобів, але і наявність неординарного і гнучкого мислення. Чому це творчий процес? Тому, що одну і ту ж модель, навіть для вже повністю розробленого виробу, можна побудувати різними способами. У своїй практиці я неодноразово стикався з випадками, коли файл однієї і тієї ж деталі, змодельованої різними людьми, розрізнявся в об'ємі в 2-3 рази! І це все через нераціонально вибраний спосіб побудови.

**Основні поняття твердотільного геометричного моделювання**

Загальноприйнятим порядком моделювання твердого тіла є послідовне виконання однієї з трьох логічних операцій (об'єднання, віднімання і перетини) над об'ємними елементами. Приклад виконання таких операцій показаний на рис. 1.



а) б) в) г)

Рисунок 1 – Булеві операції над об’ємними елементами: а) створення циліндра; б) об’єднання двох циліндрів; в) віднімання циліндра; г) віднімання призми

Отримання об’ємних елементів, над якими виконуються вищезгадані операції, здійснюється кінематичним способом. При цьому в результаті переміщення плоскої фігури (твірної) в просторі уздовж напрямної "залишається" слід, який і визначає форму елемента (рис. 1). Поверхня деталі, що вийшла в результаті, обмежує деякий об’єм. Створений елементарний об’єм і є найпростішою твердотільною геометричною моделлю. У КОМПАС-3D плоска фігура, на основі якої утворюється тіло, називається ескізом, а формоутворювальне переміщення ескіза - операцією. Інші системи твердотільного моделювання можуть підтримувати іншу термінологію подібних елементів.

Основні поняття твердотільного моделювання в КОМПАС-3D.

**Ескіз**

Ескіз завжди плоский і може розташовуватися в одній з ортогональних плоскостей проекцій, на плоскій грані існуючого тіла або в допоміжній конструктивній плоскості. Ескіз зображається на плоскості стандартними засобами креслярсько-графічного редактора КОМПАС-2D. При цьому доступні всі команди побудови і редагування зображення. У формоутворенні беруть участь контури (замкнуті чи ні), що мають стиль

лінії «основна».

Операція

У КОМПАС-3D доступні такі 4 типи операцій:

– обертання ескіза навколо осі, яка лежить в площині ескізу;

– витискування ескіза в напрямі, перпендикулярному до плоскості ескіза;

– кінематична операція - переміщення ескіза уздовж напрямної;

– побудова тіла по перерізах.

Кожна операція має додаткові опції, що дозволяють задавати правила побудови тіла. Строго визначені і вимоги до ескізу, над яким виконується та або інша операція.

Після створення основи деталі (первинний об’єм) всі подальші створені тіла або об’єднуються з попереднім, або віднімаються від нього, тобто проводиться одна з булевих операцій: об'єднання, віднімання (перетин). "Прямих" команд, що здійснюють булеві операції в КОМПАС-3D, немає. Реалізовуються вони за допомогою операцій «приклеювання» (об'єднання) або «вирізання» (віднімання) новостворюваних об’ємів. Кожен з них є елементом, утвореним за допомогою перерахованих вище операцій над новими ескізами. При виборі типу операції потрібно відразу вказати, або буде створюваний елемент відніматися з основного об’єму, або додаватися до нього.

Прикладами віднімання об’єму від деталі можуть бути різні отвори, проточки, канавки, а прикладами додавання об’єму – бобишки, виступи, ребра. Подібна технологія моделювання отримала назву – моделювання за допомогою технологічних елементів.

Допоміжна геометрія

Допоміжною геометрією називаються елементи моделі, які явно не беруть участь у формоутворенні, а служать для базування і побудови формоутворювальної геометрії (ескізів, траєкторій, геометричних обчислень і ін.)

У КОМПАС-3D можна створити допоміжну площину і осі, задавши їх положення одним з передбачених в системі способів. Як допоміжні елементи можуть використовуватися і конструктивні ескізи, тобто плоскі контури, над якими не виконуються операції.

Елементи твердотільної геометричної моделі

Грань – гладка (необов'язково плоска) частина поверхні деталі.

Ребро – крива, що розділяє дві грані.

Вершина – точка на кінці ребра.

Тіло деталі – область, обмежена гранями деталі. Вважається, що ця область заповнена однорідним матеріалом деталі.

Елемент – ескіз, операція, конструктивний і інший об'єкт, використаний при створенні моделі.

Дерево побудов – екранний елемент, що відображає ієрархію

(порядок, історію) створення геометричної моделі.

**Загальні рекомендації щодо побудови тривимірних моделей**

Розглянемо деякі правила, які допоможуть зробити проектовані моделі витонченішими і раціональнішими. Їх необов'язково дотримуватися, а в окремих випадках навіть ці рекомендації не діють. Проте для тих, хто тільки вчиться тривимірному моделюванню, вважаю, вони будуть вельми корисні.

- Прагніть будувати модель з використанням як можна меншої кількості тривимірних формоутворювальних операцій. Один із способів досягнення цього - раціональна побудова ескізів.
- У КОМПАС-3D є команди, які за один виклик дозволяють виконувати декілька формоутворювальних операцій. У такому разі слід виконувати якомога більше операцій за один сеанс роботи з такою командою. Наприклад, в деталі необхідно зробити заокруглення радіусом 5 мм на декількох ребрах. Вам слід зробити їх за один виклик команди заокруглення, навіть якщо ребра не стикуються між собою. З цього правила виходить, що такі операції, як скруглення, фаска, нахил і інші, бажано виконувати на завершальному етапі побудови моделі, коли вся основна геометрія вже побудована.
- Перед початком формування деталі добре продумайте всі етапи її побудова. Особливу увагу приділіть створенню основи. Якщо при доопрацюванні моделі ви виконуєте операцію перетину, яка видаляє з моделі всю основу, то можливе виникнення помилок розрахунку моделі. Цього слід уникати.
- Не перенавантажуйте модель допоміжною геометрією: використовуйте при можливості плоскі грані моделі як опорні площини, а як напрямні осі - ребра.
- Прагніть будувати деталь так, щоб її якомога простіше було розмістити в збірці. Наприклад, ви можете не починати побудову, відштовхуючись від однієї з базових площин, а створити зміщену площину, видаливши таким чином деталь від точки початку координат. Або будувати деталь так, як ніби вона нахилена під певним кутом, під яким вона повинна бути розміщена в збірці.
- Як у деталі, так і в збірці для копіювання типових елементів максимально використовуйте команди створення масивів.
- Якщо ви не створюєте параметричну модель, то:
  - відключіть параметризацію;
  - зафіксуйте деталь після її остаточного розміщення в збірці і видаліть непотрібні сполучення.

Якщо ви дотримуватиметеся цих правил, вам буде простіше не тільки проектувати, але і редагувати або доопрацьовувати модель.

Існує два основні способи моделювання в КОМПАС-3D: від низу до

верху і зверху вниз. Спосіб проектування від низу до верху має на увазі побудову кожної деталі окремо з подальшим їх додаванням в збірку. Проектування зверху вниз - це послідовне створення всіх деталей прямо в збірці. Найчастіше застосовується змішаний спосіб, при якому велика частина деталей проектується і редагується окремо, а потім вставляється і розміщується в збірці. Деякі компоненти, які при побудові потребують прив'язки до тих або інших об'єктів збірки, можна створювати в режимі контекстного редагування.

## Побудова тривимірної моделі одноступінчатого циліндричного редуктора

В даних лабораторних роботах ми розглянемо процес побудови тривимірної моделі редуктора. Вибраний спосіб побудови - від низу до верху, тобто спочатку ми створимо по черзі всі моделі деталей, складових редуктор, після чого зберемо їх в збірку.

Перед початком роботи рекомендується створити окрему папку, в якій будуть зберігатись моделі деталей редуктора і сам файл збірки.

## Лабораторна робота 1

### *Зубчате колесо*

**Мета роботи**

Оволодіти навиками побудови тривимірної моделі зубчатого колеса за допомогою системи КОМПАС-3D

**Короткі теоретичні відомості**

При моделюванні зубчатого колеса будуть допущені деякі спрощення, для прискорення та спрощення побудов. Зокрема, замість евольвент, що формують профіль зуба, будуть використані звичайні дуги, максимально наближені до евольвенти.

**Порядок виконання роботи**

Створіть новий документ КОМПАС-Деталь, збережіть його під ім'ям Колесо зубчате. Встановіть в деталі орієнтацію *Ізометрія XYZ* (за допомогою меню кнопки *Орієнтація*, на панелі *Стандартна*). У всіх моделях деталей редуктора, що проектується, орієнтація повинна бути однаковою.

1. Виберіть у дереві побудови площину *XYZ* та натисніть кнопку *Ескіз*. Побудуйте в ескізі контур половини перерізу зубчатого колеса. Контур ескіза не повинен містити розривів або перетинати сам себе. Крім того, в ескізі обов'язково повинні бути одна вісь - горизонтальний відрізок, виконаний стилем *Осьова*, що проходить через точку початку координат ескіза (рис. 1.1).

Зверніть увагу, всі фаски і заокруглення, які повинні бути на колесі, вже накреслені в ескізі на кутах контуру. Тим самим уникаємо необхідності створювати ці тривимірні елементи за допомогою окремих операцій в моделі.

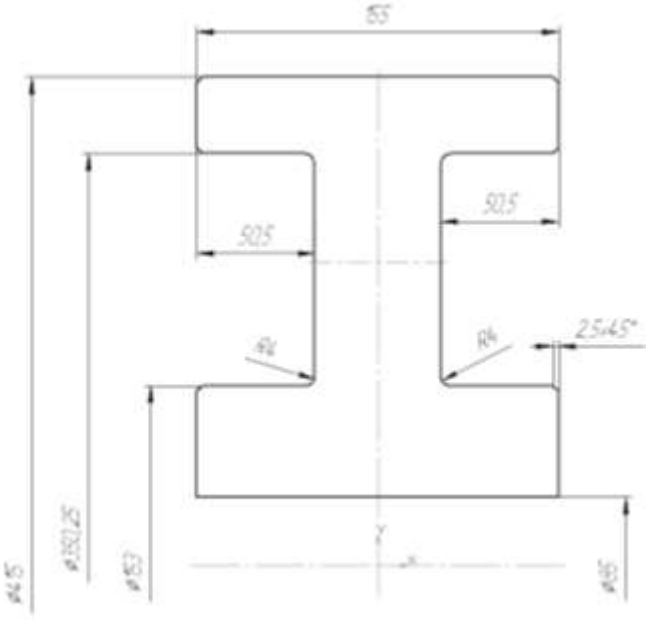



Рисунок 1.1 – Ескіз базової операції обертання колеса

2. Виділіть ескіз і натисніть кнопку *Операція обертання* на панелі інструментів *Редагування деталі*. На вкладці *Тонка стінка* панелі властивостей, при виборі *Тип побудови тонкої стінки* виберіть значення *Немає*. Решту настройок не змінюйте і натисніть кнопку *Створити об'єкт* (рис. 1.2).

Рисунок. 1.2 – Заготовка зубчатого колеса

3. Виділіть всю деталь (верхній елемент дерева побудови) і виконати команду *Властивості* деталі контекстного меню. Призначте деталі такий або інший колір, що більше нагадує сталь, і встановіть такі значення оптичних властивостей:

• загальний колір - 25 %;
• дифузія - 50 %;
• дзеркальність - 60 %;
• блиск - 40 %;
• випромінювання - 85 %.

4. Приступимо до створення отворів в диску колеса і паза шпони у маточині. Виділіть в дереві побудови площину *ZY* і почніть побудову ескіза. У цьому ескізі розмістіть чотири отвори діаметром 83,7 мм. Центри отворів повинні лежати на колі діаметром 258 мм. Профіль вирізу паза шпони можна накреслити умовно (рис. 1.3).

5. Завершіть створення ескіза і виконайте команду *Вирізати витискуванням*, встановивши напрям витискування - *Два напрями*, і величину витискування - *Через все* для обох напрямів. Зверніть увагу: таке ж видалення матеріалу можна було виконати за допомогою двох операцій вирізування: спочатку отворів на товщину диска, а потім паза - на ширину маточини.

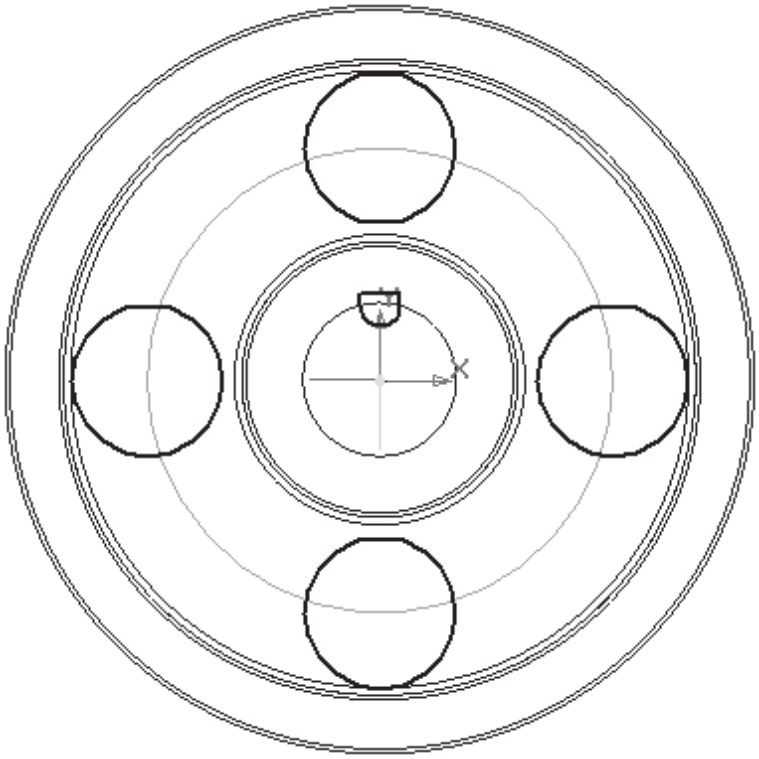


Рисунок 1.3 – Ескіз для вирізу отворів в дискові і шпонкового паза

Більш раціональним є рішення, коли профілі всіх вирізів зібрані в одному ескізі, а вирізування здійснюється наскрізь через всю модель (у обидва напрями від площини ескіза). Отримана модель показана на рис. 1.4.

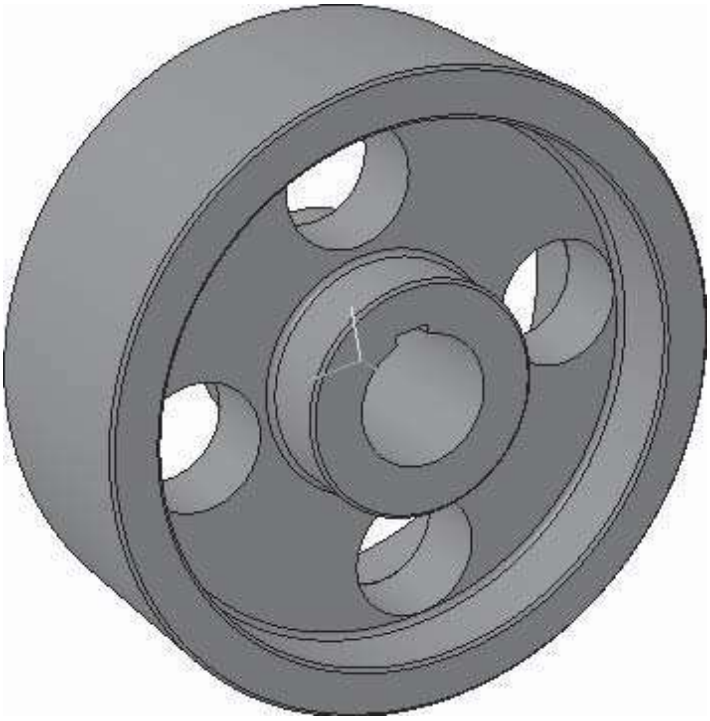


Рисунок 1.4 – Модель колеса без зубчатого вінця

Створення зубчатого вінця колеса відбуватиметься таким чином:

спочатку ми виконаємо один виріз між зубами в заготівці колеса, потім побудуємо конструктивну вісь, що збігається з геометричною віссю колеса, і скопіюємо отриманий виріз по колу (кількість копій буде рівна кількості зубів).

При побудові прямозубого колеса необхідно виконати ескіз профілю вирізу між зубами колеса в торцевій площині колеса, після чого вирізати його витискуванням через все колесо.

При побудові косозубого колеса, в нашому випадку з кутом нахилу лінії зуба 15°, виріз пройде уздовж криволінійної траєкторії, що обгинає поверхню вінця колеса, проекція якої на нормальну площину складе вказаний кут з віссю колеса.

При використанні КОМПАС-3D виділяють два методи побудови вирізів косозубого колеса.

Перший варіант - виконання вирізу по перетинах. При цьому в моделі колеса будуються ескізи-перетини, площини яких віддалені від бічної поверхні колеса на величину $l = i \cdot b/(n_c - 1)$, де $i$ - порядковий номер ескіза, $b$ - ширина колеса, $n_c$ - кількість перетинів або ескізів. Перший ескіз лежить на торцевій плоскості зубчатого вінця, останній - на протилежній торцевій площині, останні рівномірно розміщені між ними. Кожний наступний ескіз профілю вирізу між зубами повернений на кут $\alpha$ відносно зображення попереднього ескіза. Цей кут визначається співвідношенням $\alpha = l \cdot tg\beta / d_к$, де $\beta$ - кут нахилу лінії зуба, $d_к$ - ділильний діаметр зубчатого колеса (рис. 1.5).

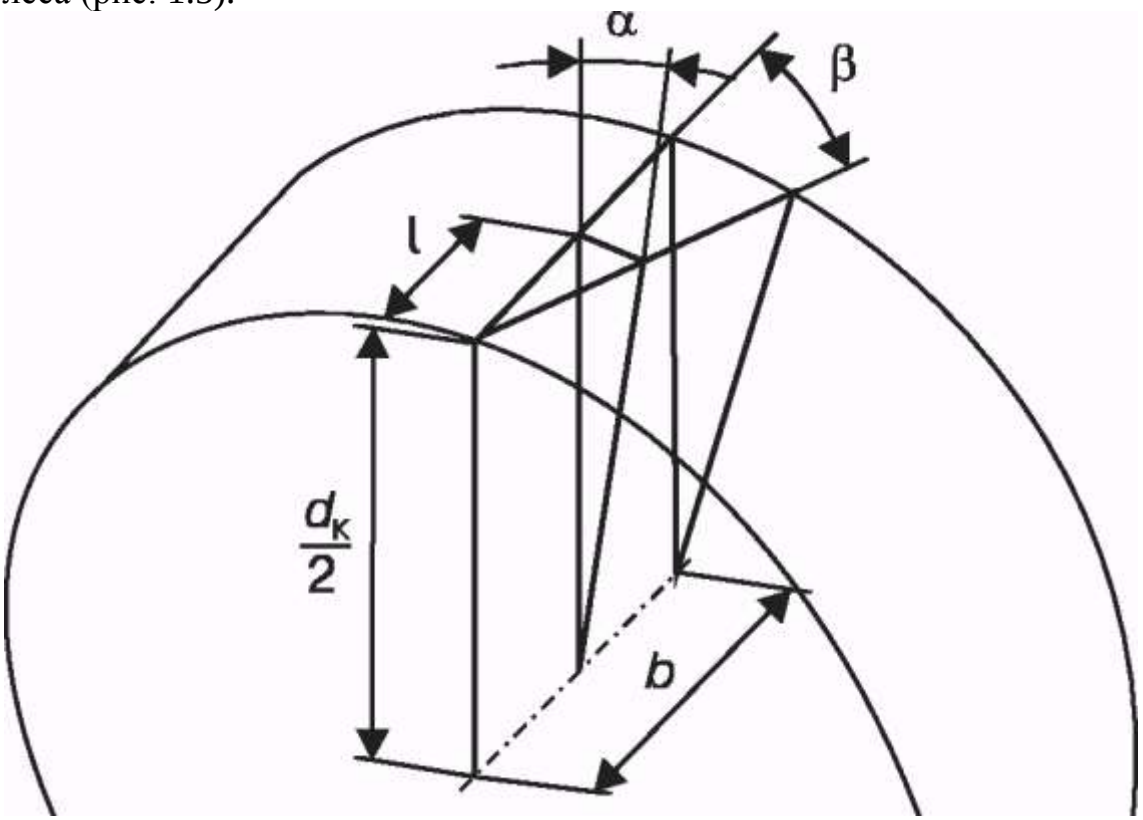



Рисунок 1.5 – Залежність кута повороту ескіза а від відстані до площини ескіза

Даний спосіб підходить для програмної реалізації зубчатого вінця, коли можна створити цикл, в якому одна за одною будуватимуться зміщені площини, а в них - ескізи перетинів, що зміщуються на кут α. Створивши операцію вирізання по перетинах, ви отримаєте достатньо точний виріз між зубами, проте цьому методу властиві деякі недоліки. Матеріал, який вирізується між двома суміжними ескізами, все одно вирізується по прямій. З цього висновок - чим більше ескізів, тим точніше вийдуть зуби в колесі, але при дуже великій кількості зубів істотно важка їх побудова і сповільнюється перестроювання зубчатого вінця.

Другий спосіб - виконання вирізу між зубами кінематичною операцією. Суть методу полягає в тому, що в моделі колеса будується сегмент просторової кривої, що імітує лінію нахилу зуба. Уздовж цієї кривої «протягується» профіль вирізу, формуючи таким чином ідеально точний виріз між зубами. Крива - це фрагмент спіралі, кут підйому витків якої рівний куту 90° - β (β - кут нахилу лінії зуба). Така спіраль повинна мати дуже великий крок і малу кількість витків (набагато менше одиниці).

Порядок побудови

1. Виділіть торцеву поверхню (плоску бічну грань) обода колеса і побудуйте паралельну їй допоміжну площину на відстані 2,5 мм (для того, щоб ескіз вирізу в колесі розміщувався в тій же площині, що і в шестерні, оскільки ширина шестерні більша ширини колеса на 5 мм). Щоб виконати дану операцію, використовуйте інструмент *Зміщена площина* панелі *Допоміжна геометрія*. Почніть побудову ескіза. Ескіз можна розміщувати в будь-якому місці уздовж ділильного кола на допоміжній площині. Зубчате колесо при складанні редуктора доведеться сполучати з шестернею, тому необхідно так створювати виріз зубів на колесі і шестерні, щоб відразу формувалось зачеплення. Цього можна досягти, вирізуючи першими в колесі і шестерні саме ту пару зубів, яка і буде находитись в зачепленні. З даної причини ми створювали зміщену площину, а не будували ескіз прямо на бічній поверхні обода.

2. Побудуйте в ескізі допоміжні кола, що позначають ділильний діаметр (радіус 202 мм), а також лінію виступів (радіус 207,5) і западин зубів (радіус 195,125 мм). Створіть горизонтальну допоміжну пряму, що проходить через центр колеса (точка початку координат ескіза). За допомогою інструмента *Допоміжна пряма* панелі *Геометрія* відкладіть вниз від цієї горизонтальної прямої шість допоміжних ліній так, щоб всі вони проходили через точку початку координат і були зміщені між собою на кут $\gamma/8$, де $\gamma = 360°/z_к$ ( $z_к$ - кількість зубів колеса). У нашому випадку цей кут буде рівний 0,633° або 0°38'. Розділення кута профілю зуба у на вісім частин умовне і прийняте для полегшення побудови.

3. Прив'язуючись до сітки допоміжних ліній, побудуйте контур профілю вирізу між зубами (рис. 1.6).

Замість евольвент створіть звичайні дуги (команда *Дуга за 3*

*точками*).

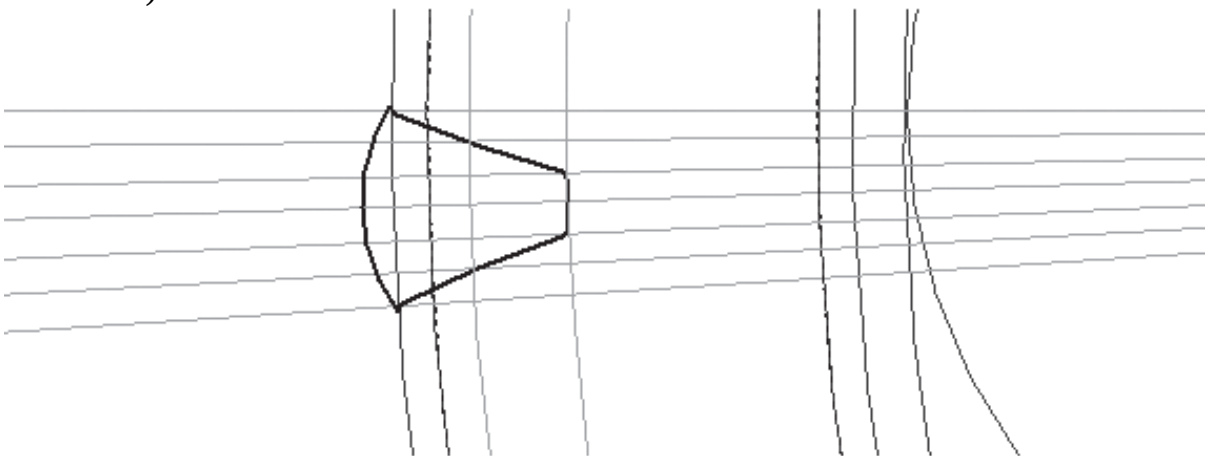


Рисунок 1.6 – Ескіз профілю вирізу між зубами

Ці дуги обов'язково повинні проходити через точки зачеплення, що знаходяться на перетині допоміжного ділильного кола, а також першої і п'ятої допоміжних прямих, відповідно (враховуючи тільки ті прямі, які відкладалися під кутом γ/8 від горизонталі). Завершите редагування ескіза.

4. Формування спіралі - напрямної. Перехід на панель інструментів *Просторові криві*. У вікні моделі виберіть допоміжну площину (площина, в якій лежить ескіз вирізу) і натисніть кнопку *Спіраль циліндрична* на панелі *Просторові криві*. Використовуючи елементи управління на вкладці *Побудова панелі властивостей*, налаштуйте параметри створюваної спіралі таким чином:

• спосіб побудови - за числом витків і кроком;

• кількість витків - 0,04 (визначається конструктивно під час побудови так, щоб виток спіралі був трохи більший ширини колеса);

• крок витків - 4721,8 мм;

• напрям побудови - обернений напрям (обернений щодо нормалі до базової площини спіралі);

• напрям витків - вправо;

• початковий кут спіралі - 182°. Це кут, який задає початок першого витка на опорній площині спіралі. Він визначається приблизно при побудові (необхідно, щоб початок витка потрапив всередину контуру ескізу вирізу між зубами);

• початкова точка спіралі - збігається з точкою початку координат опорної площини (тобто лежить на осі колеса);

• діаметр витків спіралі (задається на вкладці *Діаметр* панелі властивостей) - рівний ділильному діаметру колеса (404 мм).

Натисніть кнопку *Створити об'єкт* для завершення формування спіралі (рис. 1.7).

Отриманий об'єкт лише віддалено нагадує спіраль внаслідок великого заданого кроку витків і надзвичайно малої їх кількості. Проте з математичної точки зору - це саме спіраль.

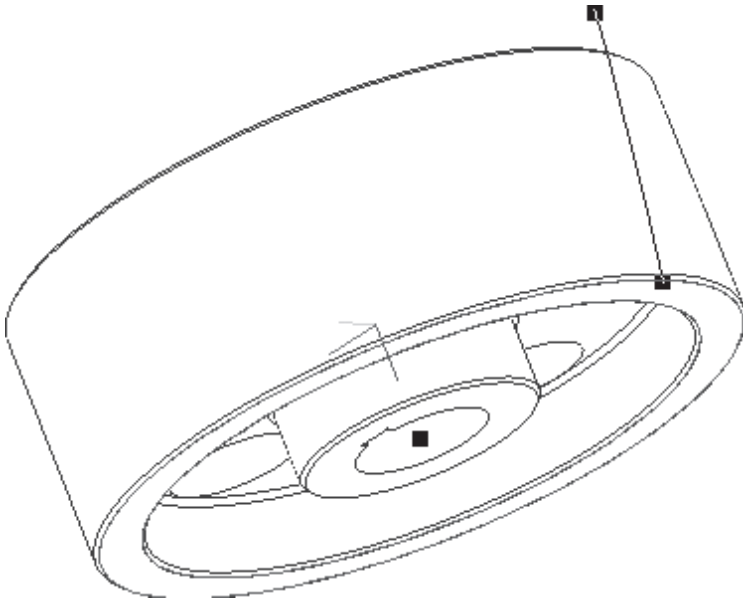


Рисунок 1.7 – Побудова спіралі-напрямної для вирізання матеріалу між зубами (спосіб відображення моделі - без невидимих ліній)

Кут підйому витків спіралі (позначимо його φ) визначається із співвідношення $tg\varphi = h/l$, де $h$ - висота спіралі, $l$ - довжина витків. Відповідно, довжину і висоту витків можна визначити з рівнянь: $h = t \cdot n$ та $l = \pi \cdot d \cdot n$, де $t$ - крок спіралі, $n$ - кількість витків спіралі і $d$ - діаметр спіралі. Підставляючи попередні два вирази в рівняння для визначення $tg\ \varphi$, отримаємо $tg\varphi = t/(\pi \cdot d)$. Враховуючи те, що кут $\varphi$ = 90° - $\beta$, визначаємо необхідний крок спіралі: $t = \pi \cdot d \cdot tg(90^\circ - \beta)$. Підставивши сюди значення діаметра спіралі (404 мм) і кута нахилу лінії зуба (15°), ви отримаєте величину кроку спіралі - 4721,8 мм.

Кінематичне вирізання

1. Натисніть кнопку *Вирізати кінематично* панелі інструментів *Редагування деталі*. Клацніть на кнопці *Перетин* на вкладці *Параметри* панелі властивостей, потім відразу виділіть ескіз профілю вирізу між зубами в дереві побудова. Ескіз у вікні моделі і в дереві побудови повинен підсвітитись червоним кольором, а в полі праворуч від кнопки *Перетин* повинно відобразитися його найменування. Далі клацніть на кнопці *Траєкторія* і в дереві побудови або прямо на моделі виділіть спіраль. На моделі відразу сформується фантом операції вирізання. Прослідкуйте, щоб в групі кнопок *Рух перетину* була натиснута кнопка *Зберігати кут нахилу*. Підтвердіть виконання операції, натиснувши кнопку *Створити об'єкт*. Ми отримали перший виріз в зубчатому вінці колеса (рис. 1.8).

2. Перейдіть на панель *Допоміжна геометрія* і натисніть кнопку *Вісь конічної поверхні*. Після цього натисніть в моделі на внутрішній поверхні отвору під вал. Якщо на панелі спеціальної побудови натиснута кнопка *Автостворення*, то ви відразу отримаєте потрібну допоміжну вісь. Інакше доведеться самостійно натиснути кнопку *Створити об'єкт*.

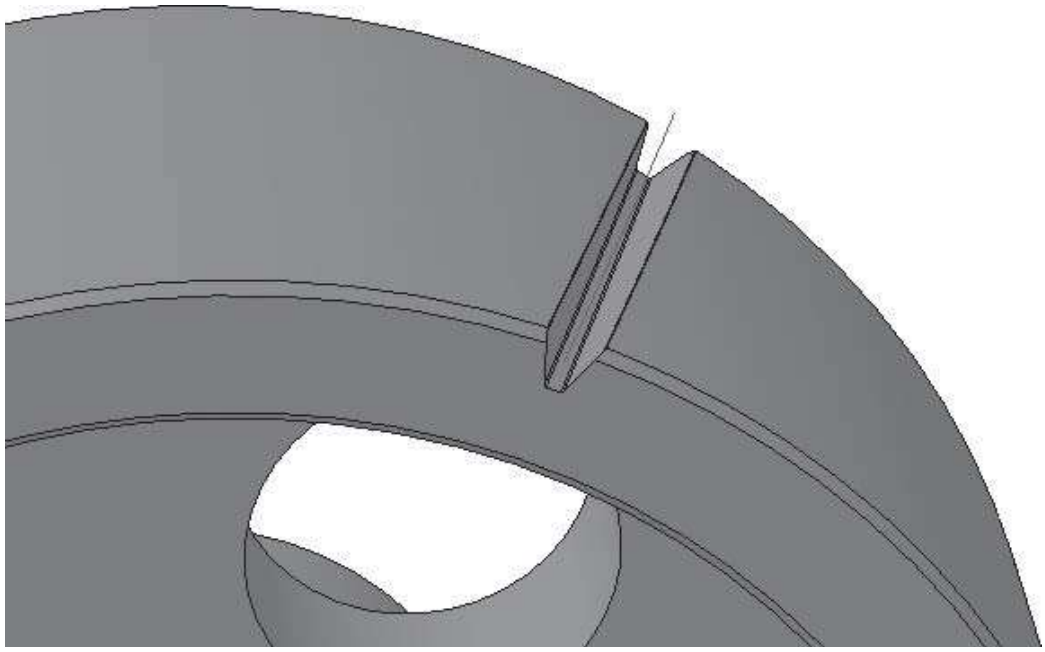


Рисунок 1.8 – Ескіз видавлювання зуба

3. Поверніться на панель *Редагування деталі*, де натисніть кнопку *Масив по концентричній сітці*. У дереві побудови деталі як об'єкт для копіювання виділіть операцію кінематичного вирізання. Після цього натисніть на кнопці *Вісь масиву* панелі властивостей, а в дереві побудови виділіть рядок, відповідний створеній осі конічної поверхні. У вікні моделі буде побудований попередній фантом масиву (за замовчуванням в ньому лише чотири копії). У полі N2 на панелі властивостей введіть кількість копій по кільцевому напряму, рівну кількості зубів колеса (z = 71), і натисніть кнопку *Створити об'єкт*.

Для кращого подання моделі приховайте спіраль, допоміжну вісь і площину, скориставшись командою *Приховати* контекстного меню дерева побудов.

Тривимірна модель косозубого зубчатого колеса зображена на рис. 1.9.

**Контрольні запитання**

1. При виконанні якої операції стає активною властивість *Тонка стінка*?
2. Які методи застосовуються при побудові вирізів косозубого колеса?
3. Які операції розміщені на панелі *Просторові криві*?
4. У якому випадку ескіз у дереві побудови підсвічується червоним кольором?
5 Який порядок використання операції *Вісь конічної поверхні*?

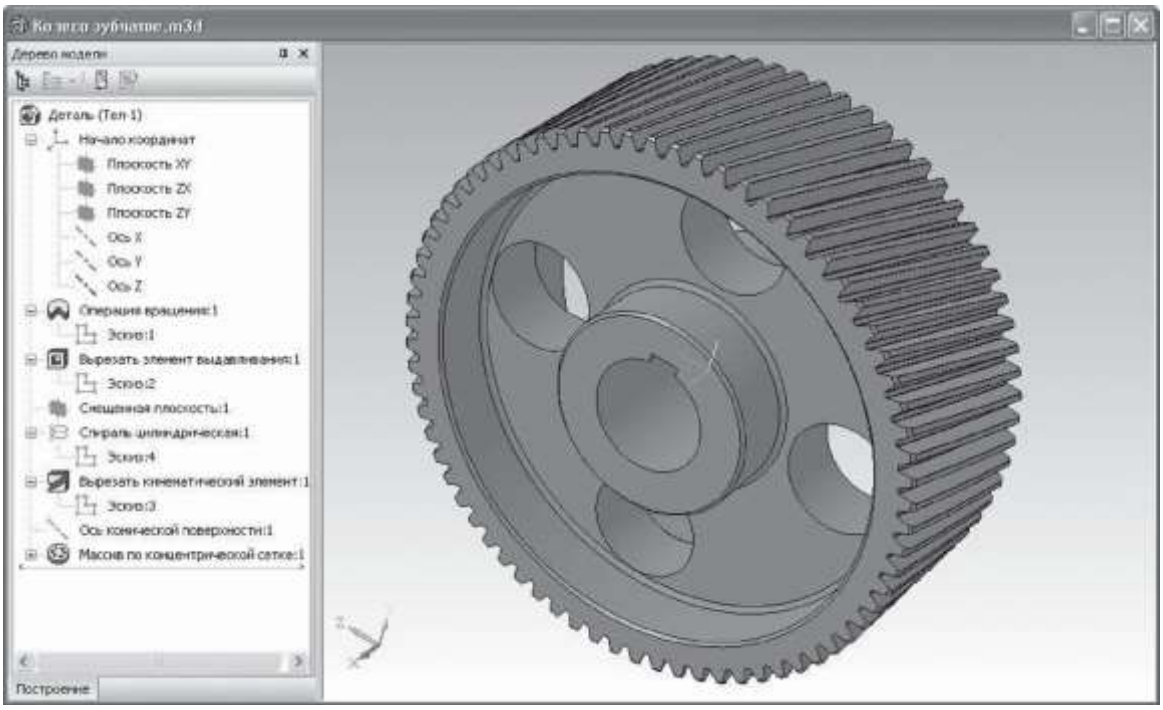


Рисунок 1.9 – 3D – модель косозубого зубчатого колеса

## Лабораторна робота 2

### *Ведений вал*

**Мета роботи**

Оволодіти навиками побудови тривимірної моделі вала за допомогою системи КОМПАС-3D

**Порядок виконання роботи**

Створіть новий документ КОМПАС-Деталь, встановіть в ньому орієнтацію *Ізометрія XYZ* і збережіть цей файл під ім'ям Вал ведений.m3d. Будь-який вал (окрім колінчастих) - це тіло обертання, тому як базову при моделюванні ми використовуватимемо операцію *Обертання*.

1. Виділіть в дереві побудов площину *XY* і натисніть кнопку *Ескіз*. Побудуйте половину контуру веденого вала та вісь обертання (розміри вала вказані на рис. 2.1).

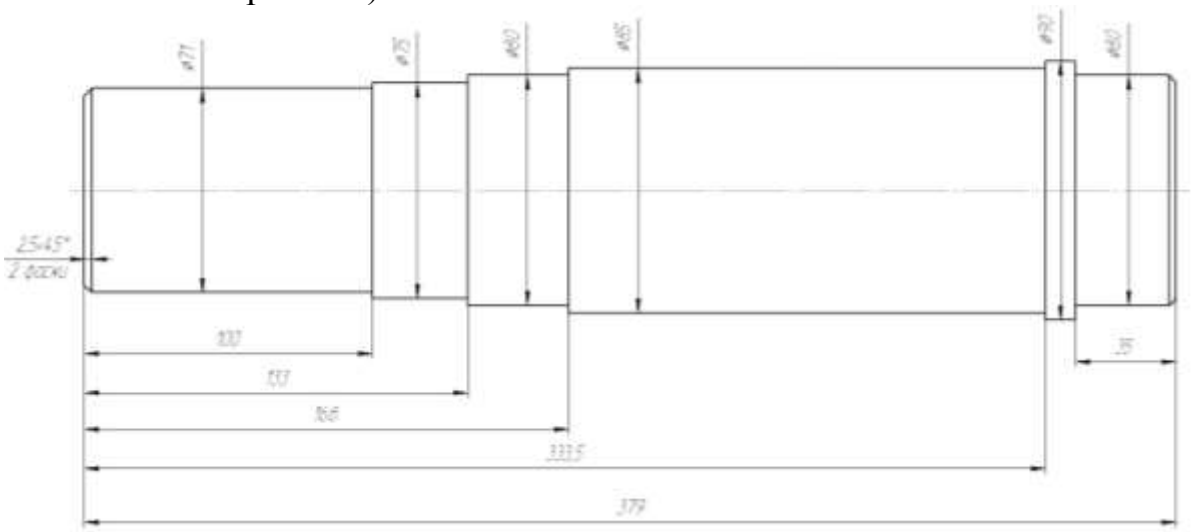



Рисунок 2.1 – Розміри вала

Зверніть увагу на побудований контур, щоб він не мав зайвих перетинів. Побудуйте невеликі заокруглення (1-1,6 мм) в місцях переходу одного ступеня в інший (рис. 2.2).

2. Натисніть кнопку *Операція обертання* на панелі *Редагування деталі*. Оскільки контур ескіза не замкнутий, то операція автоматично буде налаштована на створення тонкостінного тіла. Щоб цього уникнути, на панелі властивостей обов'язково натисніть кнопку *Сфероїд*, після чого перейдіть на вкладку *Тонка стінка* і в списку *Тип побудови тонкої стінки* виберіть пункт *Немає*. Натисніть кнопку *Створити об'єкт* для завершення виконання операції обертання (рис. 2.3).

3. У властивостях деталі виберіть інший колір вала, а також встановіть такі значення оптичних властивостей:

• загальний колір - 80 %;

• дифузія - 80 %;

• дзеркальність - 70 %;
• блиск - 10 %;
• випромінювання - 20 %.

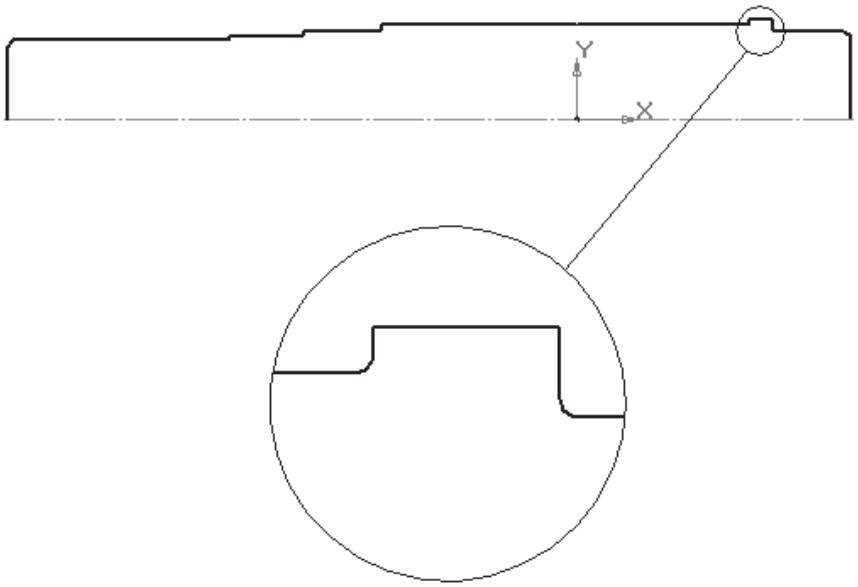



Рисунок 2.2 – Ескіз вала

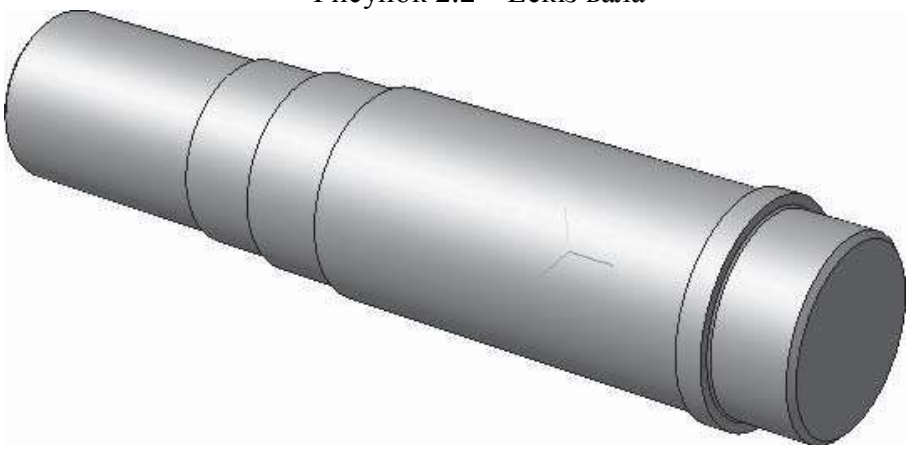


Рисунок. 2.3 – Початок формування моделі вала

Залишилося створити шпонкові пази на вихідній ділянці вала і ступеня вала під колесо. Розміри шпонки на вихідній ділянці вала (b×h×t) – 90×20×12 мм та 110×22×14 мм для з'єднання вала і зубчатого колеса (глибина паза на вихідному ступені - 7,5 мм, в ступені під колесо - 9 мм).

1. Активуйте панель інструментів *Допоміжна геометрія* і в групі команд побудови допоміжних площин натисніть кнопку *Зміщена площина*. Як базову вкажіть площину *ZX*. Виберіть прямий напрям зсуву побудови площини і введіть значення величини зсуву, рівне половині діаметра ступеня вала під зубчате колесо (42,5 мм). Натисніть кнопку *Створити об'єкт*.

2. Виділіть допоміжну площину і створіть на ній ескіз паза шпонки. Перейдіть на панель *Редагування деталі* і натисніть кнопку *Вирізати витискуванням*. Встановіть прямий напрям витискування і задайте

величину (глибину) вирізання, рівну 9 мм (рис. 2.4). Натисніть кнопку *Створити об'єкт* для завершення побудови паза шпонки.

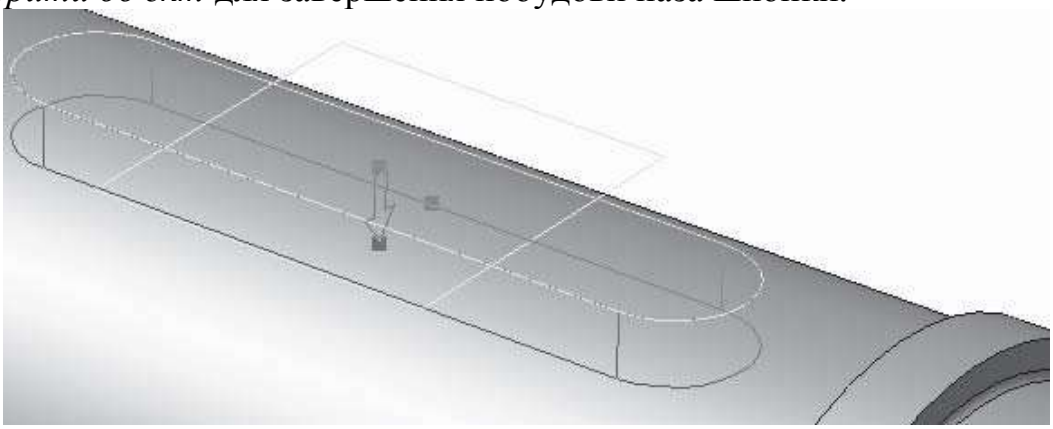


Рисунок 2.4 – Процес видавлювання паза шпонки

3. Повторіть всі вказані дії для вихідної ділянки вала (допоміжну площину змістіть на 35,5 мм в прямому напрямі, а паз виріжте на глибину 7,5 мм). Створіть невелике заокруглення (радіус 0,6 мм) на нижніх гранях обох пазів. Відключіть видимість допоміжної площини, щоб вона не заважала в подальшій роботі.

Готова модель веденого вала редуктора представлена на рис. 2.5.

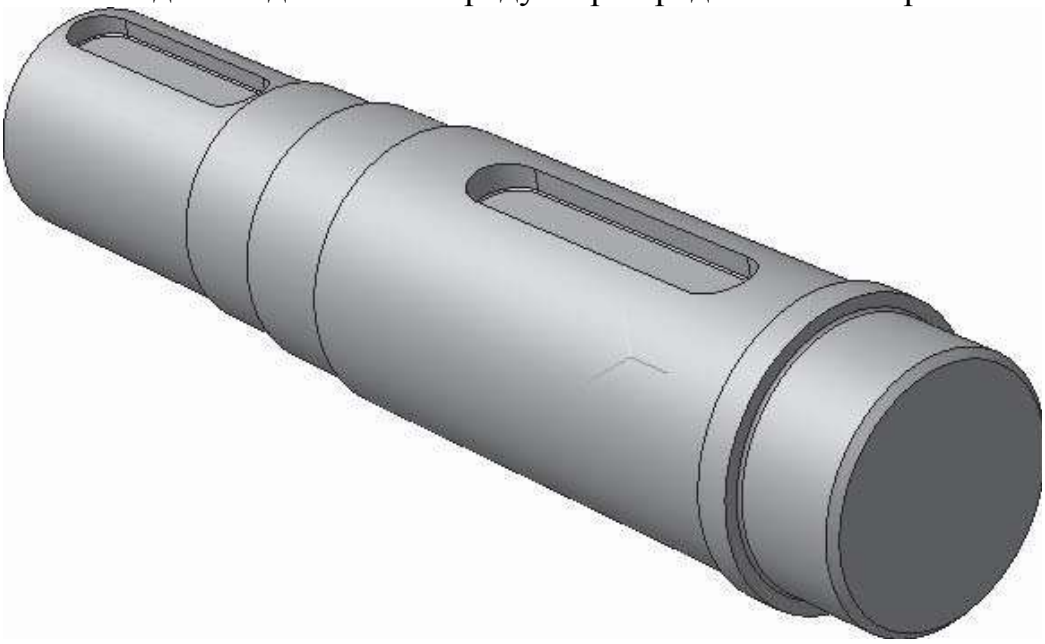


Рисунок 2.5 – Ескіз веденого вала

**Контрольні запитання**

1. Які операції необхідно провести, щоб позбутись побудови тонкостінного тіла?
2. Які команди розташовані на панелі інструментів *Допоміжна геометрія*?
3. Які способи побудови моделі паза шпонки?

## Лабораторна робота 3

### *Ведучий вал-шестерня*

**Мета роботи**

Оволодіти навиками побудови тривимірної моделі вала-шестерні за допомогою системи КОМПАС-3D

**Короткі теоретичні відомості**

Ведучий вал і вал-шестерня виконуються разом. Створення цієї деталі подібне до побудови деталей в лабораторних роботах № 1 та № 2, проте при моделюванні вала-шестерні існує декілька відмінностей. По-перше, це положення ескіза вирізу між зубами, а по-друге, це розміщення самої моделі в просторі.

Оскільки в редукторі вісь шестерні зміщена від осі колеса по горизонталі на величину міжосьової відстані, будемо будувати модель вала-шестерні не з початку координат, а змістивши її по осі *Z* на відстань $a_w$, що дозволить при складанні вставити модель шестерні, прив'язуючись до точки початку координат. Якщо при цьому буде правильно розміщений ескіз вирізу між зубами, то складання зубчатого зачеплення відбудеться автоматично і не буде потреби накладати сполучення на зубчату пару.

**Порядок виконання роботи**

1. Натисніть кнопку *Зміщена площина* на панелі *Допоміжна геометрія* і побудуйте допоміжну площину, віддалену від площини XY (базова) на відстань 259 мм у зворотному напрямі (проти направлення осі *Z*). Ця допоміжна площина і буде базовою для моделі шестерні. Розміри вала-шестерні наведені на рис 3.1.

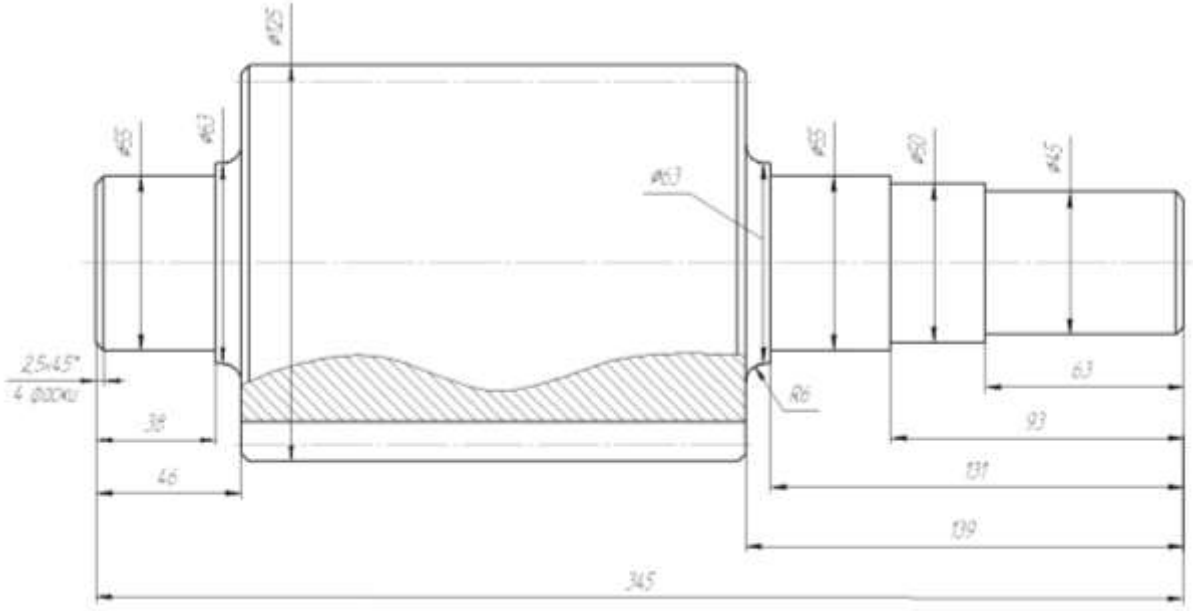



Рисунок 3.1 – Розміри ведучого вала-шестерні

2. Виділіть зміщену площину і почніть побудову ескіза на ній. Сформуйте контур вала-шестерні (рис. 3.2).

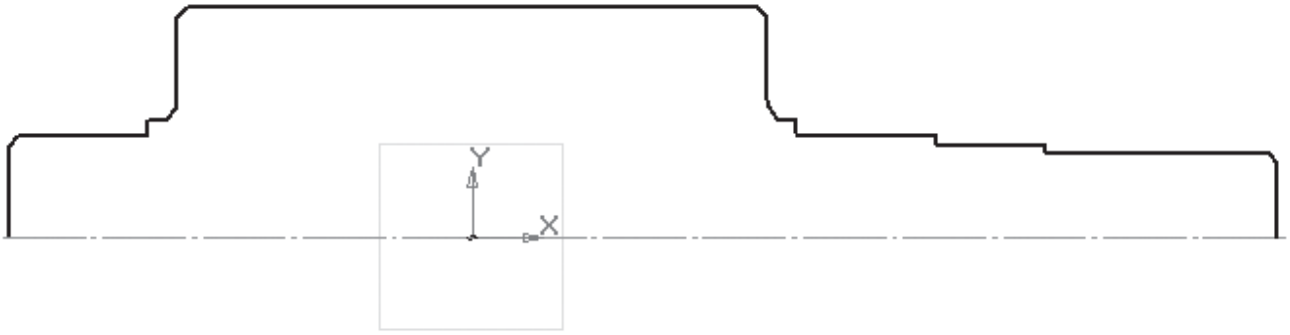



Рисунок 3.2 – Ескіз контуру ведучого вала-шестерні

3. За допомогою *Операції обертання* створіть модель вала-шестерні (вал необхідно виконати суцільним сфероїдом без тонкої стінки). На вихідному ступені створіть паз шпонки (розміри шпонки ведучого вала – 56×14×9 мм). Спочатку створюємо допоміжну площину, а потім вирізаємо паз витискуванням на глибину 5,5 мм (рис. 3.3).

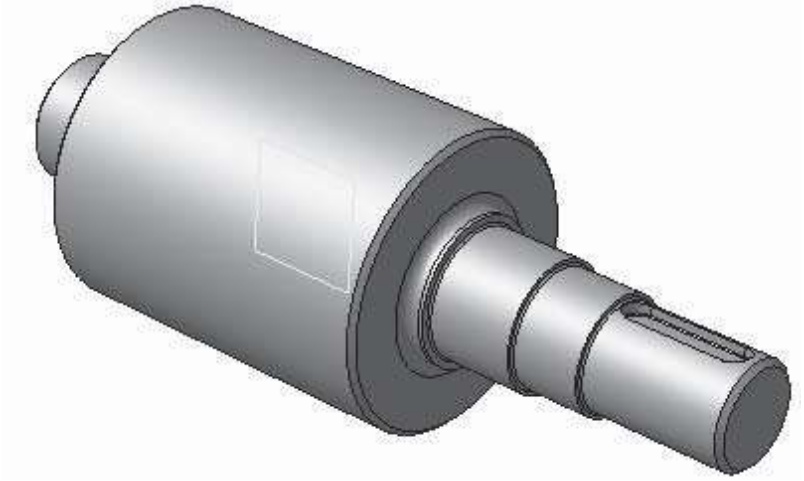


Рисунок 3.3 - Початок формування нового вала

Далі приступаємо до побудови зубчатого вінця. Порядок його формування не відрізняється від створення зубчатого колеса: спочатку створюємо один виріз, а потім копіюємо його по концентричній сітці. Сам виріз між зубами буде сформований за допомогою кінематичного вирізування.

1. Виділіть праву бічну грань шестерні (праву, якщо дивитися на вал-шестерню з колеса). Запустіть процес створення ескіза, в якому створіть ескіз вирізу між зубами.

Порядок побудови ескіза вирізу між зубами:

1) створіть вертикальну допоміжну пряму, зміщену ліворуч від початку координат ескіза на 259 мм;

2) побудуйте горизонтальну пряму, що проходить через центр початку

координат. За допомогою команди *Допоміжна пряма* панелі *Геометрія* побудуйте дві лінії, зміщені між собою на кут γ/8 вниз від горизонтальної прямої і чотирьох допоміжної лінії з таким же зсувом вверх по горизонталі. Всі ці лінії повинні проходити через точку початку координат. Кут γ дорівнює 360° / $z_ш$ ($z_ш$ - кількість зубів шестерні). Для нашої шестерні цей кут рівний 2,25° (2°15');

3) створіть три кола, виконані стилем лінії *Допоміжна*, які позначаємо: ділильне коло (радіус 57 мм), коло западин (радіус 50,125 мм) і виступів зубів (радіус 62,5 мм);

4) сформуйте зображення ескіза, як показано на рис. 3.4. Замість евольвенти можна будувати дуги по трьох точках. Створіть також невеликі заокруглення на ніжці і головці зубів. Верхню дугу трохи вигніть вгору, щоб вона пройшла вище за коло вершин зубів - при такому її розміщенні ви можете бути упевнені в тому, що потрібний об’єм матеріалу буде вирізаний повністю.

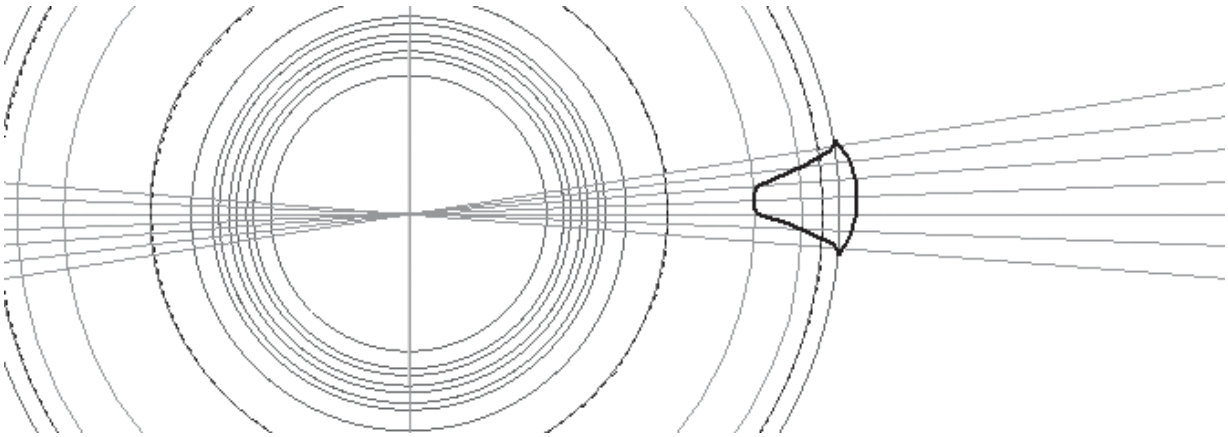


Рисунок 3.4 – Ескіз вирізу між зубами шестерні

2. Створимо напрямну для кінематичного вирізання. Принцип побудови повторює процес створення напрямної для вирізування зубів колеса (команда *Спіраль циліндрична* панелі *Просторові* криві), тому далі наведені тільки параметри спіралі:

• спосіб побудови - за числом витків і кроку;

• кількість витків - 0,125 (визначається конструктивно);

• крок витків - 1332,4 мм (для кута нахилу лінії зубів 15° і діаметра витків 114 мм);

• напрям побудови - зворотний;

• напрям навивки - лівий;

• початковий кут спіралі - 0° (за замовчуванням витки повинні починатися безпосередньо із ескіза);

• точка прив'язки - координати в опорній площині спіралі (-259;0);

• діаметр спіралі - 114 мм.

Для підтвердження побудови спіралі натисніть кнопку *Створити*

*об'єкт*.

3. Кінематичне вирізання. Натисніть кнопку *Вирізати кінематично* на панелі інструментів *Редагування деталі* і вкажіть початковий об'єкт для операції ескіз профілю вирізу і спіралі - напрямну. Скопіюємо вирізи і сформуємо зубчатий вінець. За допомогою команди *Вісь конічної поверхні* створіть конструктивну вісь шестерні. Для цього після виклику команди вкажіть будь-яку циліндрову поверхню вала-шестерні.

4. Натисніть кнопку *Масив по концентричній сітці* на панелі *Редагування деталі*. Як вісь для копіювання вкажіть тільки що створену конструктивно вісь, а об'єктом копіювання служитиме операція кінематичного вирізування. Задайте кількість копій по колу, рівну 20 (кількість зубів шестерні) і натисніть кнопку *Створити об'єкт*. Використовуйте команду *Приховати* контекстного меню, щоб прибрати з моделі допоміжні елементи: дві конструктивні площини, спіраль і вісь масиву. 3D-модель вала-шестерні готова (рис. 3.5).

Рисунок 3.5 – 3D-модель ведучого вала-шестерні

**Контрольні запитання**

1. Які варіанти налаштування операції *Зміщена площина*?

2. Які елементи побудови необхідно використати при застосуванні операції *Масив по концентричній сітці*?

## Лабораторна робота 4

### *Черв'як*

**Мета роботи**

Оволодіти навиками побудови тривимірної моделі черв'яка за допомогою системи КОМПАС-3D

**Короткі теоретичні відомості**

Черв'ячне зачеплення - це один з тих типів механічних передач, тривимірну модель яких виконати зовсім не просто навіть досвідченому конструктору. На відміну від зубчатого циліндричного зачеплення, де принцип побудови очевидний, в черв'ячному зачепленні є багато складних побудов.

Припустимо, необхідно спроектувати модель черв'ячного зачеплення із такими параметрами:

- обертовий момент – 2200 Н·м;
- кутова швидкість черв'якового колеса – 2,5 $с^{-1}$;
- передавальне число передачі u – 25;
- ступінь точності передачі $n_{ст}$ – 8;
- кількість заходів черв'яка $z_ч$ – 2;
- коефіцієнт діаметра черв'яка q – 10;
- модуль зачеплення m – 8 мм;
- розміщення черв'яка - верхнє.

В результаті проектних розрахунків були набуті такі значення параметрів і характеристики передачі:

- кількість зубів колеса $z_к$ – 50;
- міжосьова відстань передачі $a_w$ – 240 мм;
- ділильний діаметр колеса $d_к$ – 400 мм;
- ділильний діаметр черв'яка $d_ч$ – 80 мм;
- ширина зубчатого вінця колеса $b_к$ – 72 мм;
- довжина нарізної частини черв'яка $b_ч$ – 112 мм;
- кут підйому лінії витка γ – 11,31°.

**Порядок виконання роботи**

Створіть документ КОМПАС-Деталь, встановіть орієнтацію *Ізометрія XYZ* і збережіть документ на жорсткому диску.

Модель вала-черв'яка буде виконана обертанням ескіза половини контуру перетину. Для зручності складання цей ескіз слід розмістити так, щоб вал був зміщений вгору по осі *Y* на величину міжосьової відстані. Діаметр і довжину ступенів вала можете задати довільними, важливо лише витримати розміри нарізної частини черв'яка: її ширина 112 мм, а зовнішній діаметр 96 мм ($d_ч$ + 2·m). Ескіз повинен розміщуватися в

площині *ZY*.

Побудова ескіза контуру вала-черв'яка

1. Побудуйте дві допоміжні вертикальні лінії, рівновіддалені в обидві сторони від початку координат на відстань 56 мм ($b_ч/2$).

2. За допомогою кнопки *Осьова лінія по двох точках* панелі *Позначення* побудуйте горизонтальну осьову. Ординати обох кінців осьової повинні бути рівні - 240 мм.

3. Викличте команду *Паралельна пряма* панелі *Геометрія* і створіть допоміжну горизонтальну лінію вище осьової на 40 мм (половина зовнішнього діаметра витків черв'яка). Через точки перетину цієї прямої і дві вертикальних прямих побудуйте ще дві допоміжні лінії, нахилені до вертикалі під кутом 20° (половина кута профілю витка черв'яка).

4. Будуємо ще 4 горизонтальних прямих, зміщених вгору від осьової. Вони позначатимуть контури ступенів вала. Приймаємо такі значення діаметрів: 32, 36, 40 і 45 мм (зміщувати лінії потрібно на половину величини наведених значень).

Сітка допоміжних ліній на ескізі повинна виглядати, як на рис. 4.1.

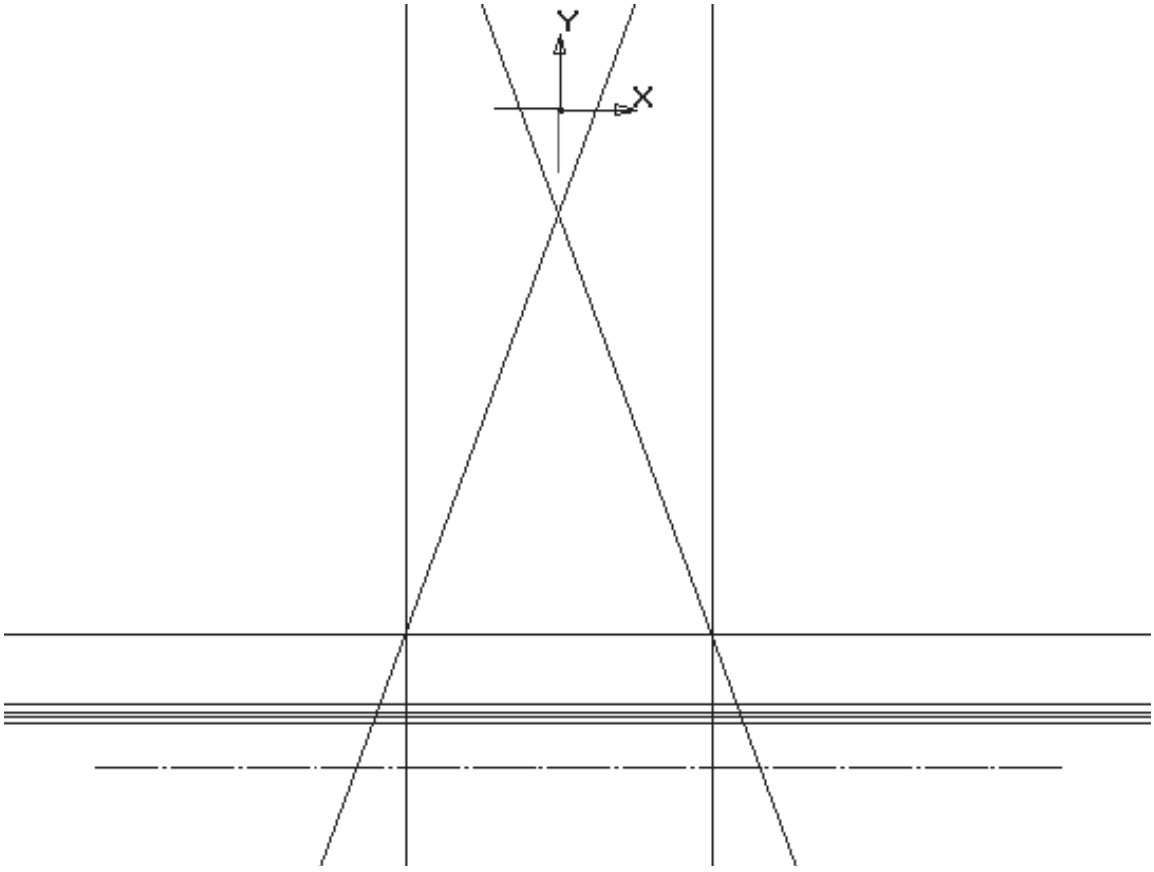



Рисунок 4.1 – Допоміжна геометрія при побудові ескіза контуру вала-черв'яка

Прив'язуючись до вузлів цієї сітки, побудуйте контур вала-черв'яка (рис. 4.1) і виконайте команду *Операція обертання* панелі *Редагування деталі*.

Витки вала-черв'яка можна сформувати за допомогою кінематичного вирізання. За траєкторію вирізу слід узяти циліндричну спіраль і так підібрати значення її параметрів, щоб кут підйому спіралі був рівний куту підйому витків черв'яка, а її діаметр - ділильному діаметру черв'яка. Суть складання полягає у визначенні такого положення ескіза для кінематичної операції, щоб після вирізання витки черв'яка увійшли точно між зубами черв'ячного колеса. Відстань, на яку необхідно змістити ескіз від вертикальної осьової (лінії, що сполучає центр колеса з центром черв'яка), можна приймати рівним 2,5·P або 3,5·P, де P – крок витків черв'яка ($P = \pi \cdot m$, де $m$ – модуль черв'ячного зачеплення). Будемо використовувати значення 3,5·P, щоб ескіз точно вийшов за межі нарізної частини черв'яка.

Виконайте створення ескіза вирізу між витками вала-черв’яка в площині *ZY* у такій послідовності.

1. Побудуйте дві вертикальних допоміжних прямих: першу через точку початку локальної системи координат ескіза, другу (лінія симетрії майбутнього зміщеного ескіза вирізу між витками) - лівіше за першу пряму на 87,92 мм (3,5·P).

2. Створіть чотири горизонтальних допоміжних прямих: перша повинна збігатися з віссю вала-черв'яка (ордината 240), останні три позначають діаметр западин, вершин і ділильний діаметр витків черв'яка (відповідно вищі за першу пряму на 30, 40 і 48 мм).

3. Побудуйте допоміжну лінію, що перетинає горизонтальну пряму, яка позначає ділильний діаметр. Цю лінію потрібно створити в точці, яка лежить лівіше на 6,28 мм (P/4) від лінії симетрії вирізу між витками, і нахилити під кутом 70° до горизонталі (див. рис. 4.2). Для цього необхідно скористатися командою *Допоміжна пряма* панелі *Геометрія*, заздалегідь створивши на ділильному діаметрі точку, через яку повинна пройти пряма. Зсув допоміжної точки визначаємо виходячи з того, що відстань уздовж осі черв'яка між точками перетину ділильного циліндра і поверхонь вирізу між витками дорівнює половині кроку витків. Звідси відстань до точки, через яку повинна пройти пряма, що позначає контур вирізу, до лінії симетрії рівна P/4.

4. Побудуйте відрізок від точки перетину похилої допоміжної лінії і діаметра западин до точки перетину цієї ж лінії з діаметром вершин. Симетрично відобразіть відрізок (виділіть його і виконайте команду *Симетрія* панелі *Редагування*) щодо лінії симетрії ескіза. З’єднайте кінці відрізків, що вийшли, двома вертикальними відрізками. Вийдіть з режиму редагування ескіза.

Тепер необхідно створити траєкторію, як таку слід використати циліндричну спіраль з кутом підйому витків, рівним куту підйому витків черв'яка.

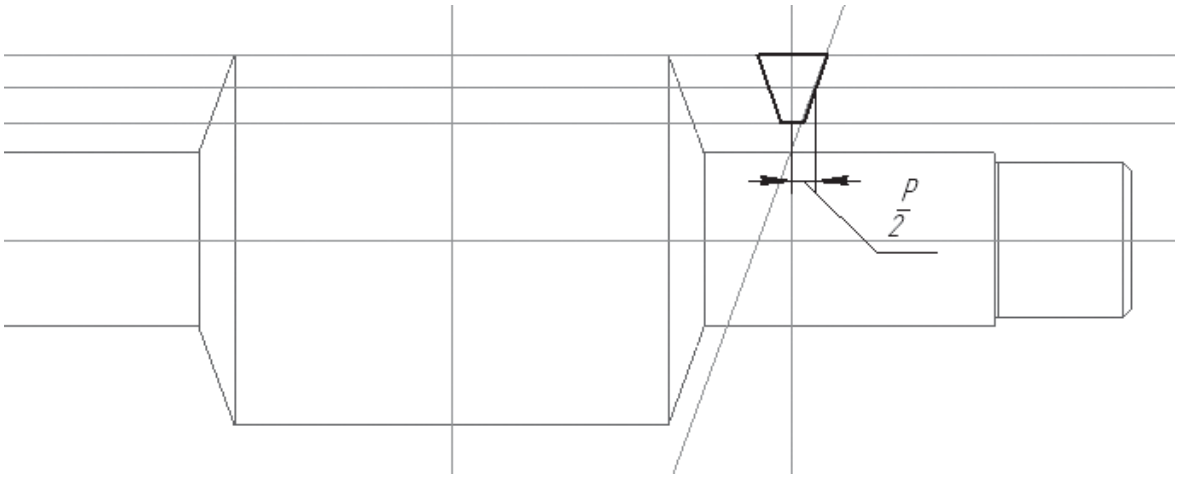



Рисунок 4.2 – Ескіз вирізу між витками червяка

Спершу створимо допоміжну площину (команда *Зміщена площина* панелі *Допоміжна геометрія*), віддалену на 87,92 мм в оберненому напряму від площини XY. Створена площина буде опорною для спіралей-напрямних. Вона проходить точно посередині зображення в ескізі вирізу між витками черв'яка.

Перейдіть на панель *Просторові криві*, виділіть зміщену площину і натисніть кнопку *Спіраль циліндрична*. Побудуйте спіраль з такими параметрами:

- спосіб побудови – за кроком витків і висотою;
- крок витків – 25,12 мм ($P = \pi \cdot m$);
- висота витків (задається параметром *Висота спіралі*) – 176 мм (значення довільне, воно визначається конструктивно з таким розрахунком, щоб витки спіралі пройшли через всю нарізну частину черв'яка);
- напрям побудови – прямий;
- напрям навивки – правий;
- початковий кут – 270 (при такому куті перший виток починається точно на площині ескізу вирізу, що є обов'язковою умовою для коректного виконання кінематичного вирізування);
- точка прив'язки спіралі – має координати (240; 0);
- діаметр спіралі (задається на вкладці *Діаметр*) – дорівнює ділильному діаметру черв'яка (80 мм).

Завершивши побудову спіралі, виконаєте операцію *Вирізати кінематично* панелі *Редагування деталі*. За бажання на зовнішньому ступені вала можете виконати паз шпонки (рис. 4.3).

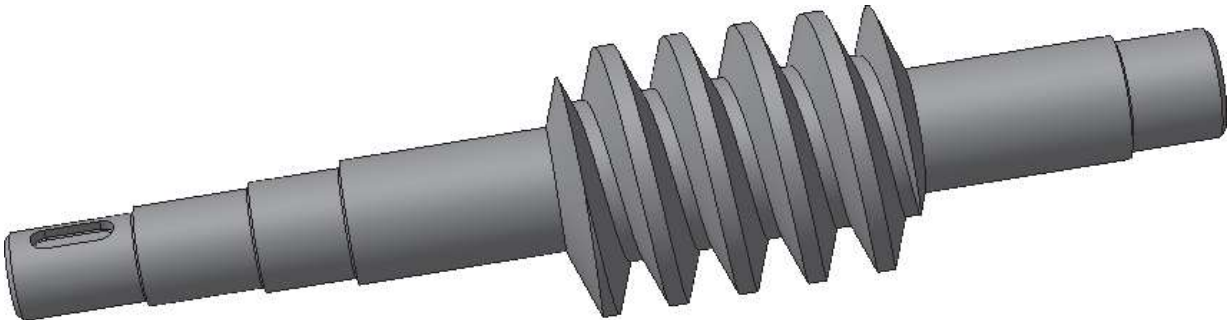


Рисунок 4.3 – 3D-модель вала-черв'яка

**Контрольні запитання**

1. Як забезпечити збіг зубців та западин зубців при складанні?
2. Які параметри налаштування доступні при виконанні операції *Симетрія*?

## Лабораторна робота 5

### *Черв'ячне колесо*

**Мета роботи**

Оволодіти навиками побудови тривимірної моделі черв'ячного колеса за допомогою системи КОМПАС-3D

**Короткі теоретичні відомості**

Колесо в черв'ячному зачепленні дуже рідко є єдиною деталлю. Причина полягає в тому, що враховуючи велике тертя в точці зачеплення матеріал колеса повинен мати хороші антифрикційні властивості. Найчастіше використовують безоловянисту і олов'янисту бронзу. Проте виготовлення цілого колеса з такого дорогого матеріалу дуже невигідне, тому черв'ячні колеса, як правило, виконують складеними: обід виконують з бронзи, а маточину - з дешевшого матеріалу (чавун, конструкційні сталі). Обід з маточиною сполучають за допомогою напресовки, фіксують гвинтами і ін. У зв'язку з цим модель черв'ячного колеса буде виконана як збірка, а маточина і обід, які входять в неї, виконані окремими деталями.

Найбільша проблема при формуванні вінця черв'ячного колеса - це важкість точного розміщення ескіза вирізу, оскільки на відміну від циліндричних зубчатих коліс, в яких ескіз завжди перпендикулярний до осі колеса (навіть у косозубих колесах), площина цього ескіза для черв'ячного колеса «обертається» по спіралі навколо осі колеса. З цієї причини єдине місце, де можна без особливих зусиль розмістити ескіз вирізу, - це середня площина колеса, перпендикулярна до його осі.

Оскільки черв'ячне колесо входить в зачеплення з черв'яком, то вирізи у вінці колеса формуватимуться по тій же траєкторії, що і витки черв'яка, тобто кут нахилу лінії зуба вінця рівний куту підіймання гвинтової лінії черв'яка.

**Порядок виконання роботи**

Для побудови моделі обода необхідно додатково визначити деякі параметри черв'ячного колеса:

діаметр вершин зубів колеса – 416 мм;

діаметр западин – 380 мм;

найбільший діаметр колеса – 428 мм;

товщина обода (відстань від лінії западин зубів до краю обода в діаметральному напрямі) – 15,6 мм.

Створіть новий документ, встановіть в ньому орієнтацію *Ізометрія XYZ* і запустіть процес виконання ескіза в площині *XY*. У ескізі потрібно буде виконати контур профілю поперечного перерізу обода черв'ячного колеса.

Щоб створити контур, побудуйте п'ять горизонтальних допоміжних прямих: перші чотири повинні бути зміщені щодо осі *X* на величину

половини найбільшого діаметра, діаметра вершин, ділильного діаметра (400 мм), діаметра допоміжного кола (480 мм) і діаметра западин, остання пряма - розміщена нижче за лінію, що позначає діаметр западин на величину товщини обода. Створіть також три вертикальні лінії: дві рівновіддалені від осі *Y* на відстань 36 мм ($b_k/2$) і одну, що проходить через початок координат ескіза. Проточку в ободі, в яку упиратиметься виступ на диску маточини, виконайте конструктивно. Для побудови дуги заздалегідь створіть допоміжне коло радіусом 32 мм на перетині допоміжного кола та вербальної прямої, що йде через початок координат. З допомогою команди *Безперервне введення* об'єктів панелі *Геометрія* побудуйте контур обода (див. рис. 5.1). Виконайте в контурі дві фаски ($4 \times 45°$) або під час виконання команди *Безперервне введення об'єктів*, або за допомогою операції *Фаска* панелі *Геометрія* після створення контуру. Додайте в ескіз горизонтальний відрізок, виконаний стилем лінії *Осьова,* що проходить через початок координат.

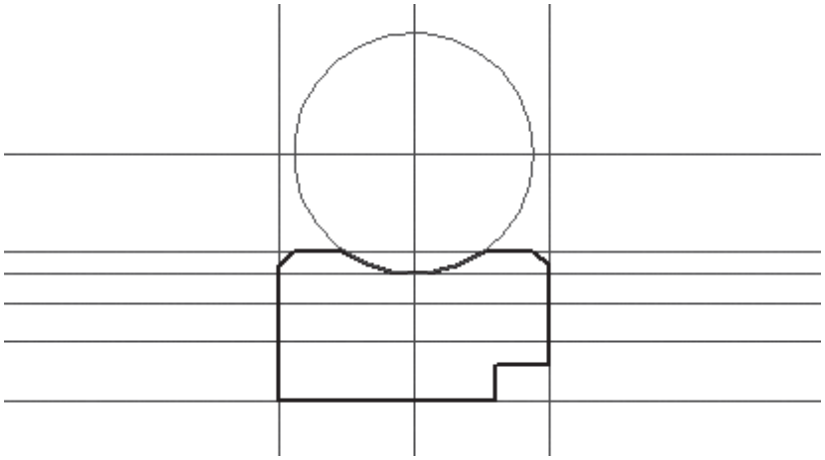


Рисунок 5.1 – Ескіз контуру перерізу обода черв'ячного колеса

Виконаємо операцію обертання. Оскільки контур ескіза замкнутий, то система за замовчуванням запропонує створювати суцільне тверде тіло.

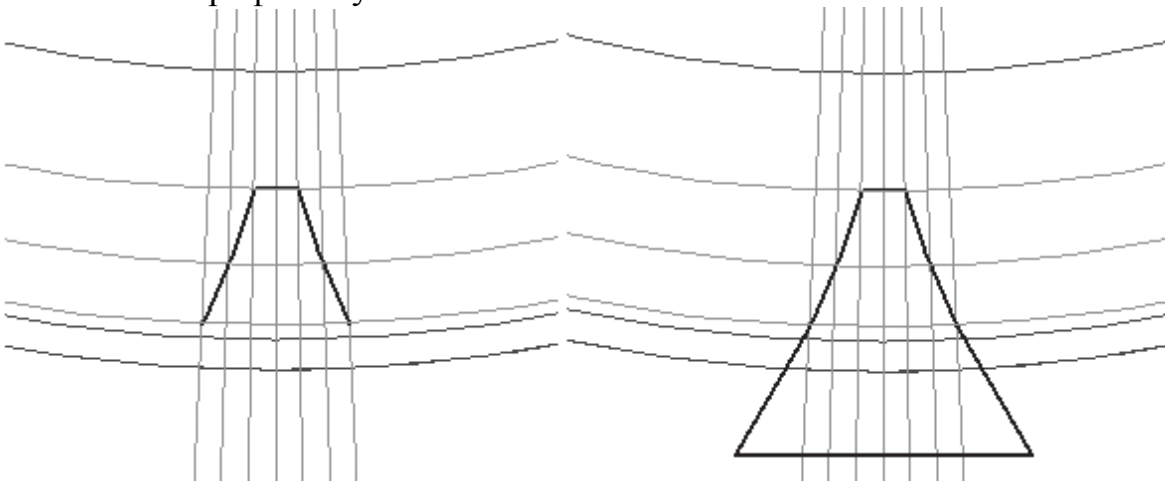
В площині *ZY* (середній повздовжній площині колеса) сформуємо ескіз вирізу між зубами. Накресліть ескіз спрощено, замінюючи евольвенти дугами по трьох точках. Зображення профілю вирізу створюється аналогічно виконанню ескізів зубчатого колеса і вала-шестерні.

Креслення профілю вирізу повинен бути розміщений в нижній частині ескіза через такі причини. Черв'як встановлюється над колесом, це означає, що виріз між зубами колеса, який буде в зачепленні з витком черв'яка і який ми будемо копіювати по колу, повинен розташовуватися зверху обода. Проте оскільки при побудові ескіза в площині *ZY* або паралельних нею площинах система перевертає модель, то в самому ескізі зображення профілю повинно знаходитися нижче за вісь абсцис.

Перед викреслюванням ескіза створіть три допоміжні кола, що позначають діаметр западин (380 мм), діаметр виступів (416 мм) і ділильний діаметр (400 мм) зубів колеса. Після цього за допомогою команди *Допоміжна пряма* панелі *Геометрія* побудуйте набір ліній, що проходять через центр локальної системи координат ескіза: одну - вертикальну і по три з кожного боку від неї, зміщених між собою на кут $\gamma/8 = 0{,}9$, де $\gamma = 360°/z_k$ ($z_k$ – кількість зубів черв'ячного колеса).

Використовуючи команду *Дуга по 3 точках* панелі *Геометрія*, побудуйте контур вирізу на перетинах допоміжних кіл і ліній (рис. 5.2, а).

Щоб після кінематичного вирізання ескіз зрізав кромку зубів при виході з тіла колеса, необхідно замість верхнього найбільшого кола побудувати фігуру, показану на рис. 5.2, б. Розміри відрізків довільні, головне, щоб обидва бічні відрізки були дотичними до дуг, що замінюють евольвенти профілю зуба.



а) б)

Рисунок 5.2 – Побудова ескіза профілю вирізу між зубами черв’ячного колеса

Будуємо напрямні для кінематичного вирізання. Їх буде дві, оскільки ескіз операції лежить в середній площині колеса, і вирізати будемо двічі в обидві сторони від ескіза.

Як напрямну будемо використовувати спіраль з такими параметрами:

– спосіб побудови – за числом витків і висотою;

– базова площина спіралі – проходить через вісь колеса, перпендикулярно до осі черв'яка (у моделі це площина *XY*);

– центр спіралі (точка прив'язки) – точка перетину осі черв'яка і базової площини, тобто точка, що лежить на осі черв'яка і має координати (0; 240);

– початок витків – в площині ескіза, тобто в середній площині колеса, для кожної спіралі визначається окремо;

– діаметр спіралі – ділильний діаметр черв'яка (80 мм);

– кут підйому спіралі – кут підйому гвинтової лінії черв'яка (з нього розраховується крок);

– кількість витків – 0,25.

Для зменшення можливого спотворення ширини зубів необхідно змістити центр спіралі на величину *x* вверх від осі черв'яка, при цьому діаметр спіралі збільшити на 2*x*. Таким чином зачеплення не порушується, а вирізування витків проходить по дугах більшого радіуса, ніж раніше. Це приводить до того, що ескіз не так різко підніматиметься вгору і сам підрізатиме кромки на торцях зубів колеса.

Це параметри побудови першої спіралі. Таку саму криву треба побудувати по другу сторону від базової площини (напрям витків протилежний).

Будуємо спіраль.

Виділіть площину *XY* і запустіть команду *Спіраль циліндрична* панелі *Просторові криві*. Виберіть відповідний спосіб побудови і задайте кількість витків, рівну 0,25. Ординату базової точки збільшить на 15 мм від потрібної (з 240 до 255 мм), а діаметр задайте рівним 110 мм (на 30 мм більший за ділильний діаметр черв'яка), щоб не порушити зачеплення. Для обчислення висоти спіралі скористаємося залежністю $h = P \cdot n = \pi \cdot m \cdot n$, де *n* - кількість витків. Підставляючи значення, отримаємо висоту спіралі – 6,283 мм.

Побудуйте ще одну спіраль на цій же площині. Точку прив'язки, кількість витків, висоту, напрям навивки витків і діаметр встановіть такими ж, як і у попереднього об'єкта, змініть тільки напрям побудови з прямого на обернений. Якщо ви всі правильно побудували, обидві спіралі повинні сходитися в одній точці на площині ескіза профілю вирізу між зубами (рис. 5.3).

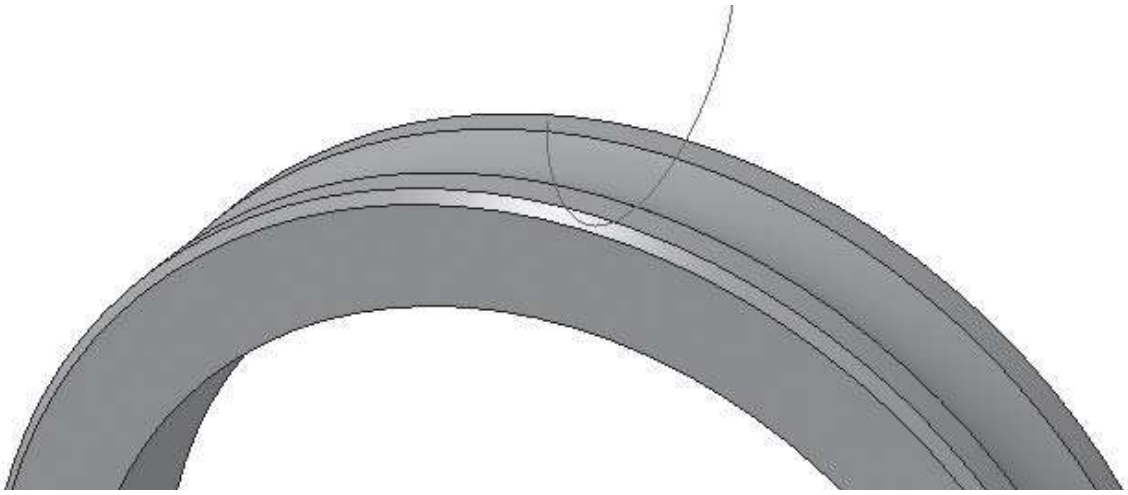


Рисунок 5.3 – Напрямна для вирізування зубів черв'ячного колеса

Тепер двічі виконайте операцію *Вирізати кінематично* панелі *Редагування деталі*, використовуючи ескіз профілю вирізу і спіралі-напрямної. Ескіз, після виконання першого вирізу, використаємо повторно для формування другого піввирізу. Побудуйте також чотири отвори

діаметром 10 мм в нижній частині обода так, щоб їх центри лежали точно на колі краю обода (рис. 5.4). Отвори створіть за допомогою вирізання витискуванням, ескіз операції розмістіть на торцевій поверхні колеса, а глибину витискування встановіть рівною 25 мм.

Створіть конструктивну вісь конічної поверхні (яка збігається з віссю колеса), після чого за допомогою операції *Масив по концентричній сітці* панелі *Редагування деталі* сформуйте вінець черв'ячного колеса (рис. 5.5). Копіювати необхідно обидві кінематичні операції, складові вирізу між зубами, кількість копій в кільцевому напрямі встановити рівною 50. Не забудьте приховати всі допоміжні об'єкти в моделі: обидві спіралі і конструктивна вісь.

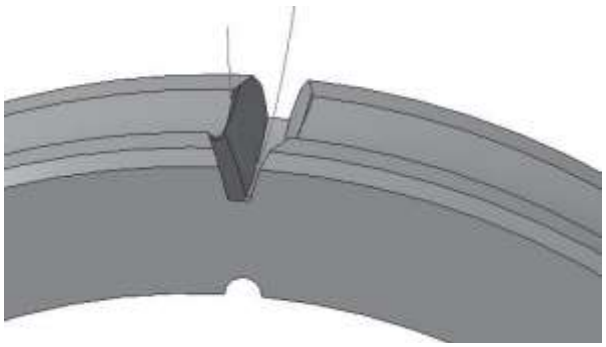


Рисунок 5.4 – Перший виріз між зубами черв'ячного колеса і отвір під фіксуючий гвинт

Рисунок 5.5 - 3D-модель обода черв’ячного колеса

Побудуйте модель маточини і фіксуючого гвинта. Гвинт ми не вставляємо з бібліотеки, тому що після прикручення обода до маточини головки гвинтів спилюються, а самі гвинти після цього ще потрібно і розкернувати. З цієї причини ми відразу змоделюємо гвинт.

Модель маточини виконуємо довільно, не обмежуючи себе будь-якими точними розмірами, за винятком того, що верхня частина ескіза обертання основи маточини повинна точно доповнювати нижню частину аналогічного ескіза обода (рис. 5.6). Крім того, виступ на диску маточини, який входить в паз на ободі, повинен бути трохи нижче, ніж висота цього паза.

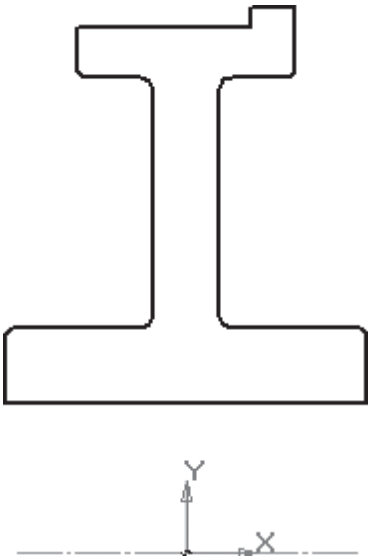



Рисунок 5.6 – Ескіз для створення основи маточини черв'ячного колеса

Додайте в модель круглі вирізи в диску, паз шпонки і отвори під гвинти (їх ескіз повинен бути таким самим, як і в ободі) (рис. 5.7).

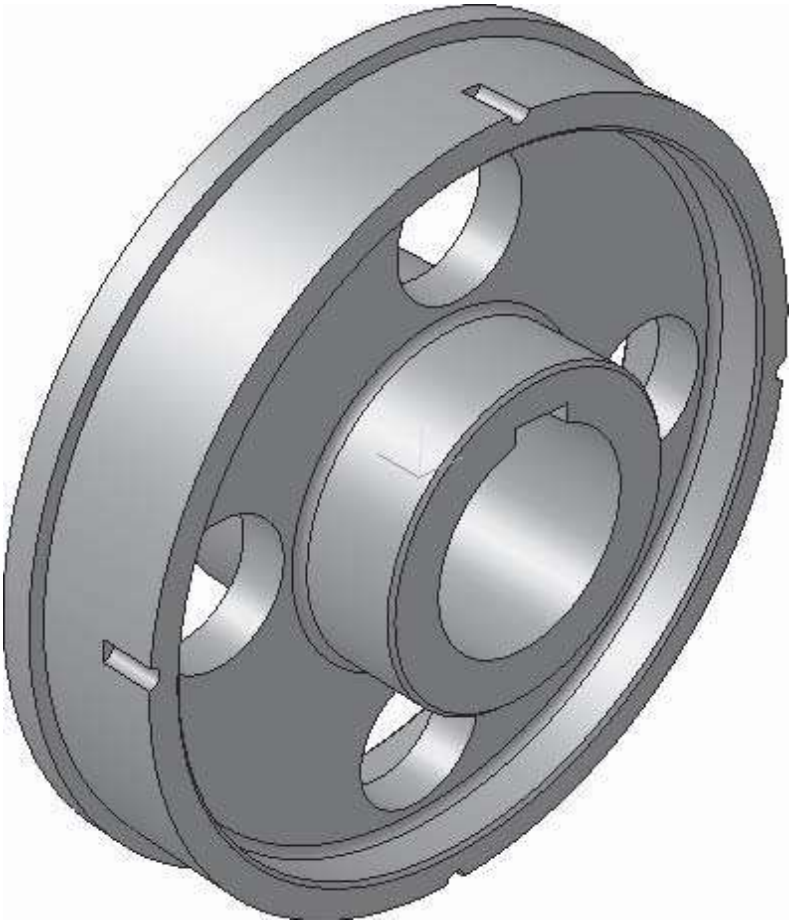


Рисунок 5.7 – 3D-модель ступиці черв’ячного колеса

Складемо отримані моделі у збірку. На початку зробимо збірку черв’ячного колеса, у яку входять ступиця, обід та 4 гвинти.

При створенні збірки черв’ячного зачеплення (рис. 5.8) вставляємо модель черв’яка та збірки колеса в точку початку координат.

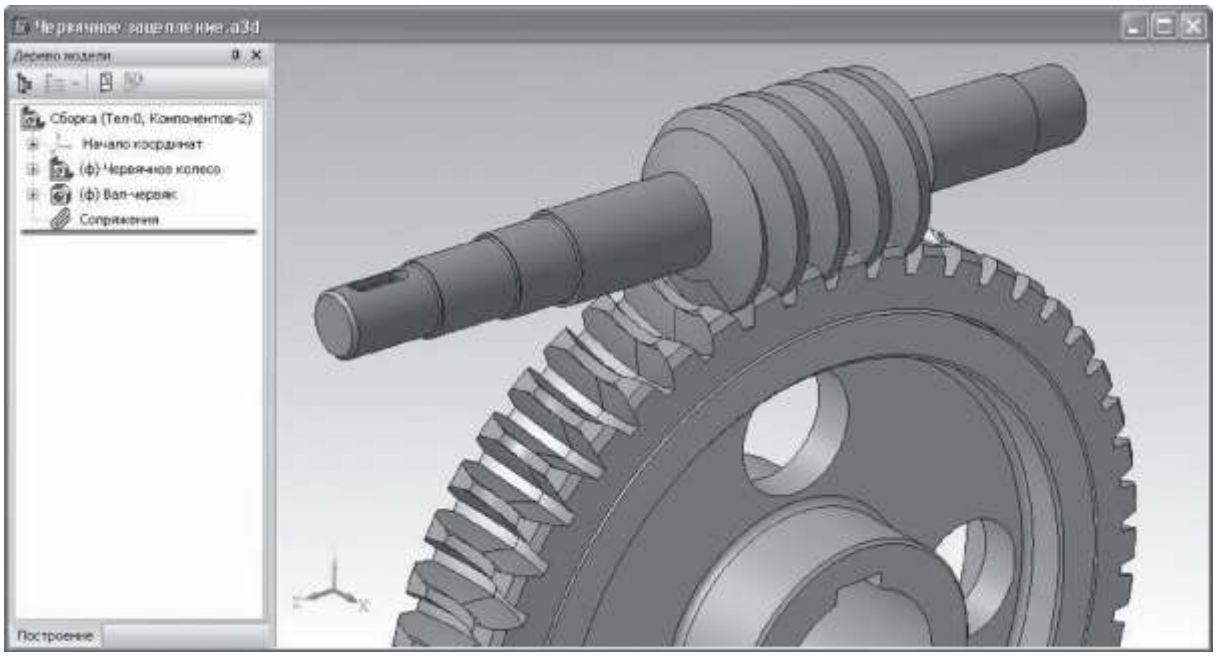



Рисунок 5.8 – 3D-модель черв’ячного зачеплення з верхнім розташуванням черв’яка

**Контрольні запитання**

1. Які особливості використання операції *Безперервне введення об'єктів*?
2. Які елементи побудови необхідно використати при застосуванні операції *Вирізати кінематично*?
3. Які операції необхідно застосувати при побудові вирізу між зубами черв'ячного колеса?

## Лабораторна робота 6

### *Корпус редуктора*

**Мета роботи**

Оволодіти навиками побудови тривимірної моделі корпуса редуктора за допомогою системи КОМПАС-3D

**Короткі теоретичні відомості**

Корпусні деталі механізмів дуже складні для моделювання, враховуючи наявність різних конструктивних елементів: опорних лап, фланців, отворів під кріпильні болти і тому подібне Більш того, будь-яка деталь окрім технологічних повинна відповідати певним естетичним вимогам, що ще більше ускладнює проектування і моделювання виробу.

**Порядок виконання роботи**

Почнемо зі створення документа КОМПАС-Деталь, устанавлюємо орієнтацію *Ізометрія XYZ* і зберігаємо документ у файл під ім'ям Корпус.m3d.

Дуже важливо для таких великих і складних моделей правильно вибрати частину деталі, яка служитиме основою в моделі. За основу приймаємо фланець корпуса, тому що саме його довжина і ширина визначають габарити корпуса.

1. Виділіть площину *ZX* і почніть створення ескіза на ній.

2. Слід врахувати, що зображення опорних поверхонь бобишек і місць кріплення кришок підшипників на ескізі не вказуємо – вони будуть формуватися пізніше. Отриманий ескіз повинен виглядати як на рис. 6.1.

3. Після завершення редагування ескіза створіть фланець, видавивши ескіз за допомогою команди *Операція видавлювання* убік, протилежний нормалі, на відстань 13 мм (товщина фланця корпуса). Краще в полі *Відстань 2* на панелі властивостей ввести значення 13,01, а не рівно 13. Це пов'язано з тим, що надалі ми «приклеюватимемо» до фланця стінки і інші елементи корпуса, і буде краще, якщо вони трохи перетинатимуться (при «приклеюванні» встик пізніше можуть виникнути помилки розрахунку геометрії моделі, не залежні від користувача).

4. Перейдемо до створення стінок корпуса. Почнемо з передньої стінки. Виділіть нижню плоску грань фланців і викличте команду *Ескіз*. Прив'язуючись до вже існуючої геометрії 3D-моделі, побудуйте ескіз, показаний на рис. 6.2. Товщина стінки корпуса дорівнює 8 мм. Закінчіть побудову ескіза, відтиснувши кнопку *Ескіз* на панелі *Поточний стан*.

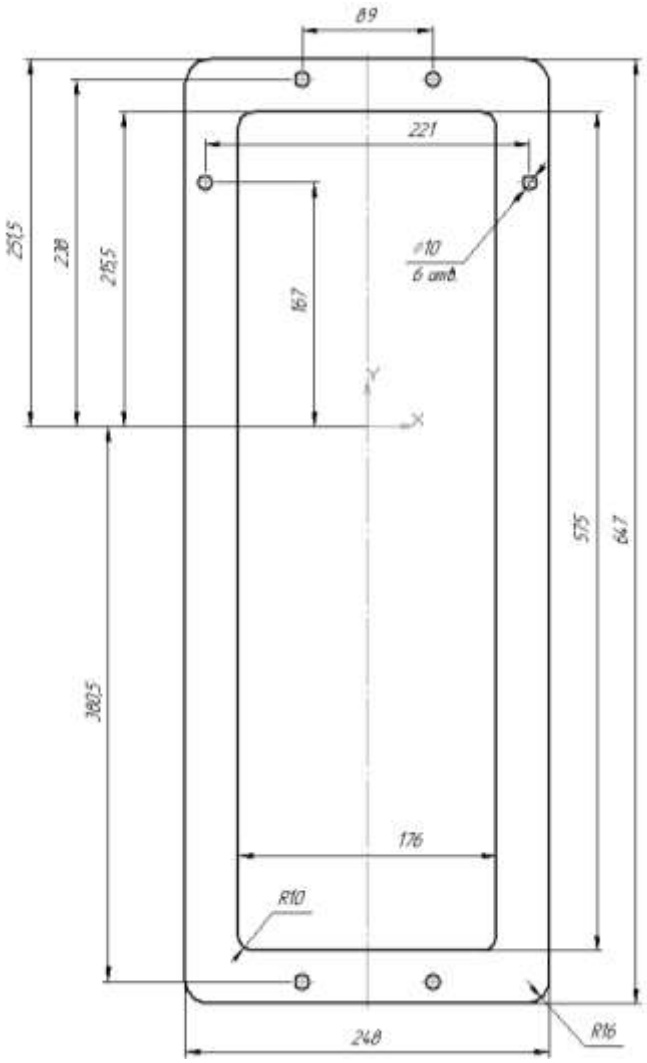



Рисунок 6.1 – Ескіз для формування фланця корпуса

5. Починаємо створення ескіза в площині *ZY*. Нарисуйте в ньому криву, що окреслює вигин передньої стінки редуктора (рис. 6.3). При створенні цього ескіза необхідно врахувати, що система, встановлюючи орієнтацію по нормалі до площини ескіза, повертає модель на 180°. Це означає, що зображення всіх ескізів, розміщених в площині *ZY* або в паралельних їй площинах (які відповідають зображенням головного вигляду), доведеться рисувати симетрично щодо горизонтальної осі.

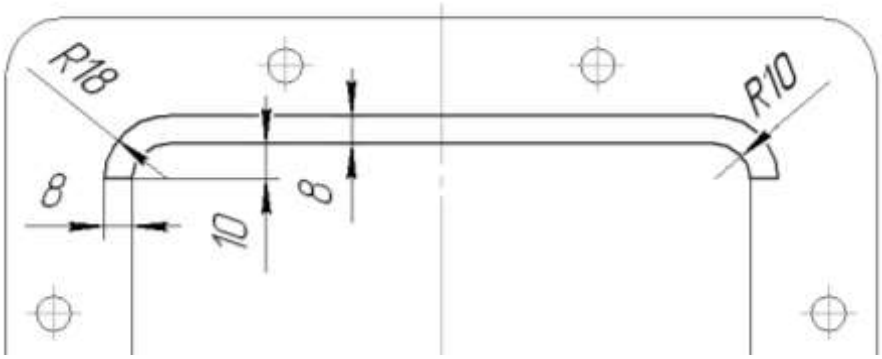



Рисунок 6.2 – Ескіз профілю передньої стінки редуктора

Зверніть увагу, що початок траєкторії повинен лежати точно в площині ескіза кінематичної операції. З цього виходить, що якщо ви видавили фланець на 13,01 мм, то і ордината початку траєкторії в другому ескізі повинна дорівнювати 13,01 мм. Не більше і не менше (тому, що ескіз лежить в нижній горизонтальній грані фланця). Інакше ви просто не зможете виконати кінематичну операцію.

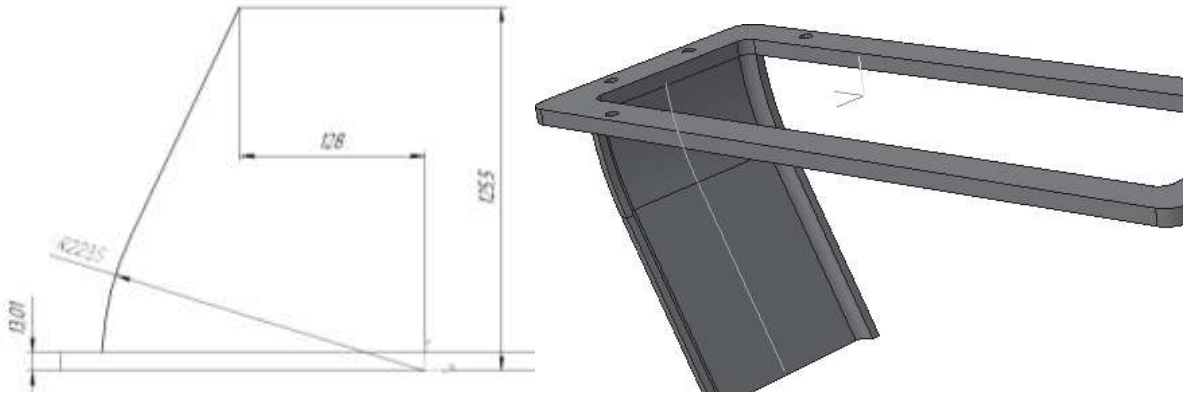



Рисунок 6.3 – Додання передньої стінки корпуса редуктора

6. Створивши ці два ескізи, натисніть кнопку *Кінематична операція* панелі *Редагування деталі* і побудуйте передню стінку редуктора. Як базовий ескіз вкажіть профіль стінки, а як траєкторію - тільки що створену криву-контур корпуса. У групі кнопок *Рух перетину* натисніть кнопку *Паралельно самому собі*. Створіть кінематичну операцію. В результаті до фланця редуктора буде додана його передня стінка (рис. 6.3).

7. Аналогічно створіть і задню стінку корпуса редуктора. Ескіз кінематичної операції матиме ту ж форму, що і на рис. 6.2, тільки розміститься на лівій стороні фланця (у режимі редагування ескіза - в нижній частині ескіза).

8. Тепер можна перейти до побудови бічної стінки. Її можна виконати звичайним витискуванням на величину товщини стінок, просто заповнивши матеріалом деталі проміжок між задньою і передньою стінками корпуса. Ескіз операції витискування повинен повторювати контури країв вже побудованих стінок і фланця корпуса (рис. 6.4). Опорна площина ескіза - внутрішня торцева грань фланця (уздовж його довгої сторони).

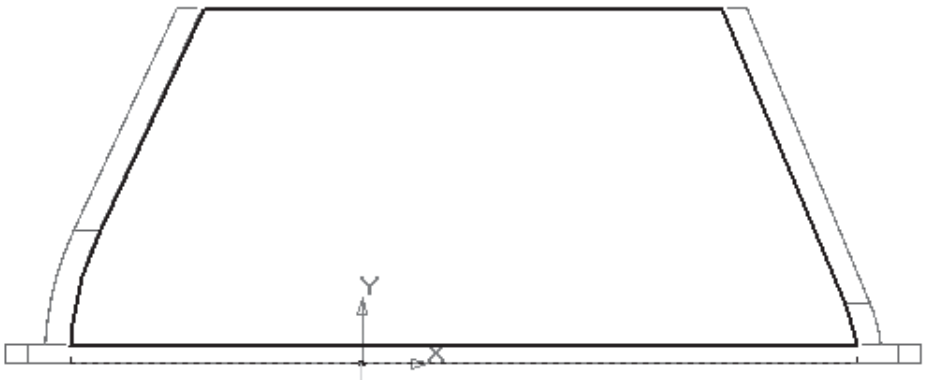



Рисунок 6.4 – Ескіз для витискування бічної стінки корпуса редуктора

9. Завершивши побудову ескіза, виконайте операцію *Видавлювання*, встановивши зворотний напрям дії операції, а величину видавлювання рівною 8 мм (рис. 6.5).

Рисунок 6.5 – Додання бокової панелі

Другу бічну стінку будемо створювати на наступних операціях побудови.

10. Наступним кроком в побудові моделі корпуса буде створення місць кріплення кришок підшипників. Відстань від зовнішньої поверхні бічної стінки редуктора до опорної поверхні, на яку лягає торець кришки підшипника, складає 40 мм. Створіть площину, зміщену назовні від корпуса редуктора, віддалену на 40 мм від зовнішньої поверхні корпуса. Створіть на цій плоскості ескіз, що складається з півкола радіусом 100 мм (радіус кришки підшипника веденого вала) з центром в точці початку координат і відрізка, що з’єднує кінці побудованої дуги (рис. 6.6). Завершіть створення ескіза.

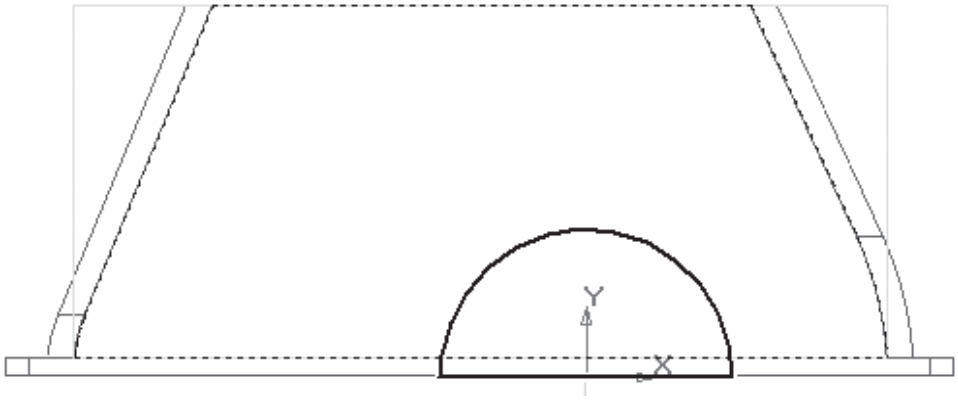



Рисунок 6.6 – Ескіз формування кришки

11. Тепер створіть такий самий ескіз на зовнішній грані бічної стінки корпуса (на тій грані, відносно якої ми будували зміщену допоміжну площину). Тільки радіус півкола буде складати 106 мм, щоб місце кріплення кришки було сформоване з невеликим нахилом. Обов'язково з'єднайте кінці побудованої дуги відрізком.

12. Натисніть кнопку *Операція по перерізах* на панелі *Редагування*

*деталі*. Як початкові об'єкти для даної команди вкажіть два ескізи. У моделі сформується місце під кришку підшипника веденого вала (рис. 6.7) з невеликим нахилом.

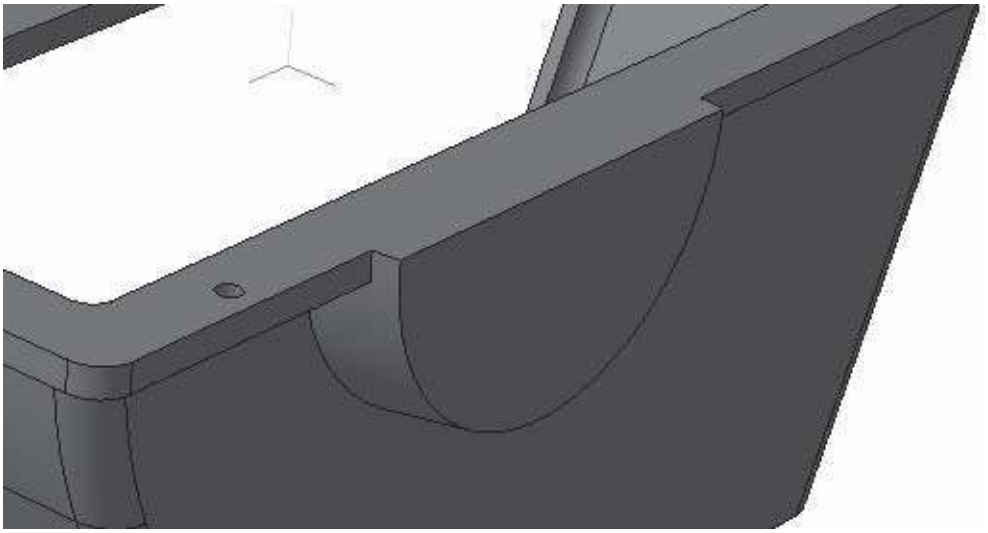
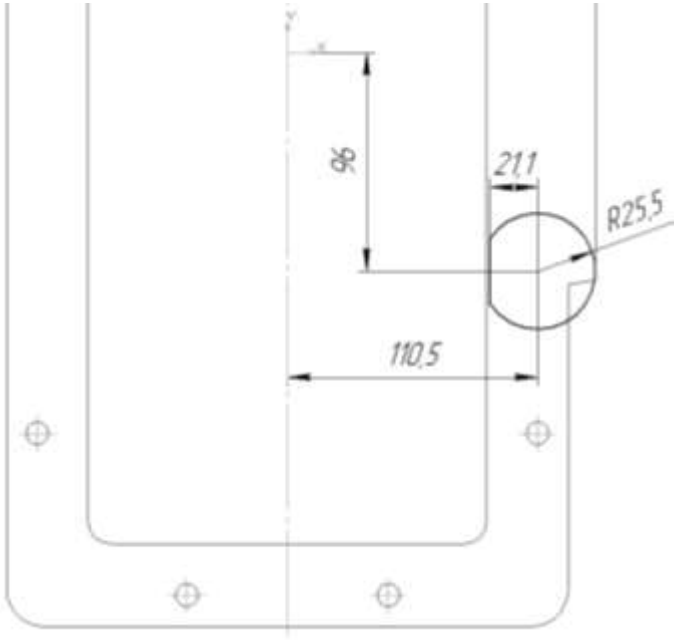


Рисунок 6.7 – Місце кріплення кришки підшипника

13. Аналогічно побудуйте місце кріплення кришки підшипника ведучого вала. При цьому використовуйте вже створену зміщену площину і зовнішню грань стінки корпуса. Радіуси півкола складають 88 і 94 мм, відповідно (розміри під кришку підшипника швидкохідного вала). Крім того, центри кіл зміщені в ескізах вліво на величину міжосьової відстані передачі (259 мм). Для побудови використовуйте команду *Операція по перерізах* .




14. Створюємо бобишки під болти, що з’єднують корпус і кришку редуктора. Виділіть площину *ZX* і побудуйте в ній ескіз першого перерізу бобишки (рис. 6.8). Координати центра півкола повинні збігатися з координатами центра отвору під болт в бобишці, а радіус півкола задайте рівним 25,5 мм.

Рисунок 6.8 – Ескіз першого перерізу бобишки

15. Бобишки ми також створюватимемо за допомогою *Операції по перерізах*. Для цього нам необхідно виконати ще один переріз. Побудуйте

допоміжну площину, паралельну площині *ZX* і зміщену вниз від неї на величину 70 мм (висота бобишок). Створіть на цій площині ескіз, в якому розміщати коло радіусом 16 мм. Центр кола повинен мати ті ж координата, що і центр дуги в ескізі першого перерізу.

16. По двох побудованих ескізах створіть операцію по перерізах, в результаті вийде перша бобишка з боку веденого вала. Щоб створити другу таку ж бобишку (рис. 6.9), дзеркально відобразіть її відносно площини *XY*. Для цього використовуйте команду *Дзеркальний масив* панелі *Редагування деталі*, після виклику якої спочатку виділіть в дереві побудови площину симетрії, а потім об'єкт для копіювання - *Операцію по перетинах*, що сформувала першу бобишку. Для створення дзеркальної копії натисніть кнопку *Створити об'єкт*.

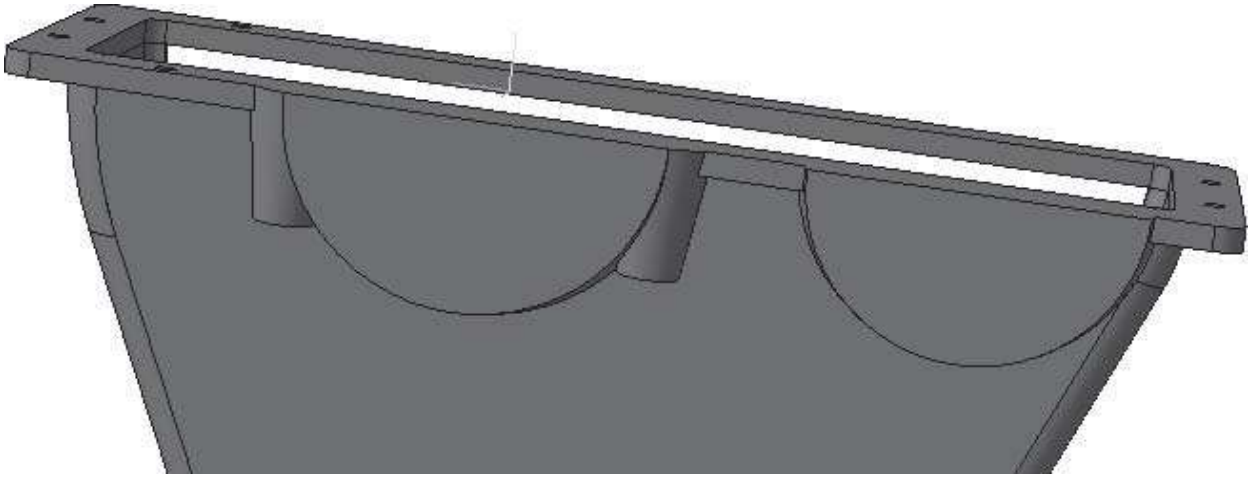


Рисунок 6.9 – Бобишки

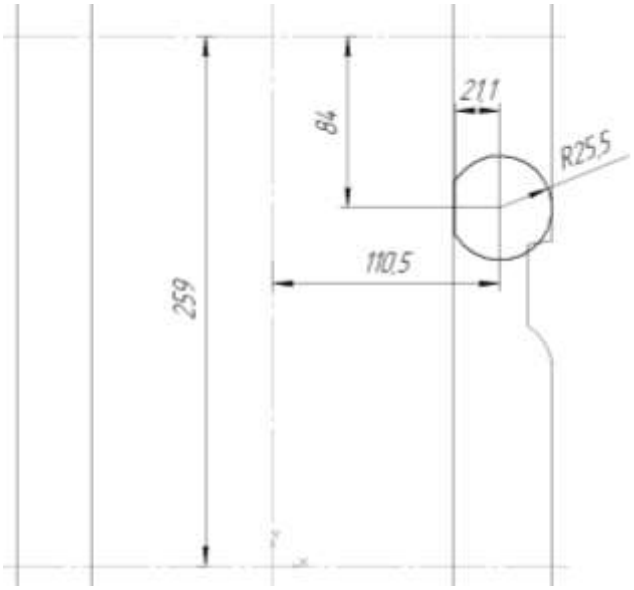



Рисунок 6.10 – Бобишки ведучого вала

17. За таким же принципом будуються бобишки на місцях кріплення кришок ведучого вала (рис. 6.10). Проте перед тим, як виконати дзеркальне відображення, необхідно буде створити допоміжну площину, паралельну площині *XY* і зміщену від неї у зворотному напрямі на величину міжосьової відстані (259 мм).

Саме цю площину слід вказати при наступному виконанні команди *Дзеркальний масив* для створення копії бобишки праворуч від тихохідного вала.

18. Створимо отвори під кріпильні болти в місцях кріплення кришок підшипників. Виберіть бічну плоску грань, на яку будуть встановлюються кришки, і викличте команду *Отвір* на панелі інструментів *Редагування деталі*. На панелі *Вибір отвору* вкажіть отвір під ім'ям *Отвір 4* і задайте для нього такі значення параметрів: діаметр зенківки 13 мм, діаметр отвору 12 мм (діаметр фіксуючих кришку гвинтів) і глибина отвору H = 30 мм. Введіть координати точки прив’язки центра отвору на опорній площині: абсциса - 0, ордината - 85 (значення ординати додатне, оскільки вісь *Y* в ескізах на площинах, паралельних площині 2y, направлена вниз).

19. Виконаєте ще п'ять таких же отворів на тій же площині з такими координатами: на веденому валу - (-73,61; 42,5) і (73,61; 42,5), на ведучому валу - (-259; 75), (-194,05; 37,5) і (-323,95; 37,5). Координати розміщення отворів можете розрахувати вручну, виходячи з того, що радіуси розміщених болтів на кришках веденого вала - 85 мм, ведучого - 75, а болти зміщені між собою на 60°. Отвори під гвинти показані на рис. 6.11.

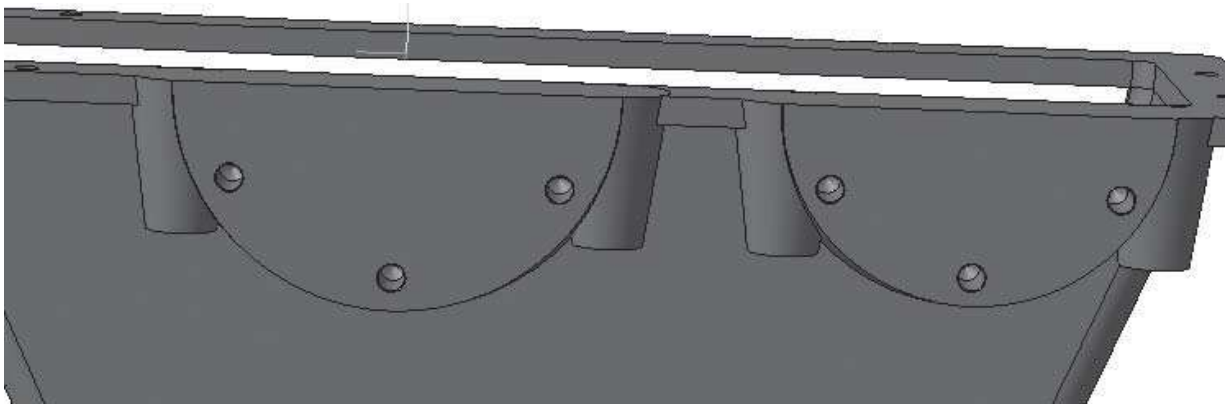


Рисунок 6.11 – Отвори під фіксуючі гвинти в місцях кріплення кришок підшипників

20. Додаємо основу моделі корпуса. Оптимальною площиною для розміщення ескіза є *XY*. Почніть створення ескіза і додайте в нього такі допоміжні прямі:

• чотири горизонтальних прямих. Перша з них повинна бути зміщена вниз від осі X на 262 мм (найнижча точка редуктора), дві наступні позначають товщину основи (вони вище за першу пряму відповідно на 4 і 12 мм), і остання пряма позначає товщину опорного фланця корпуса, рівну 17 мм (тобто, абсциса цієї прямої складає 245 мм);

• три вертикальних прямих. Перша проходитиме через точку початку координати, а дві інші повинні бути зміщені від неї на 77,5 і 144,75 мм вправо. Останні дві вертикальні лінії позначають межі опорних лап корпуса.

21. Відштовхуючись від точок перетину допоміжних ліній і використовуючи команду *Безперервне введення об'єктів* панелі *Геометрія*, побудуйте контур поперечного перерізу основи (рис. 6.12).

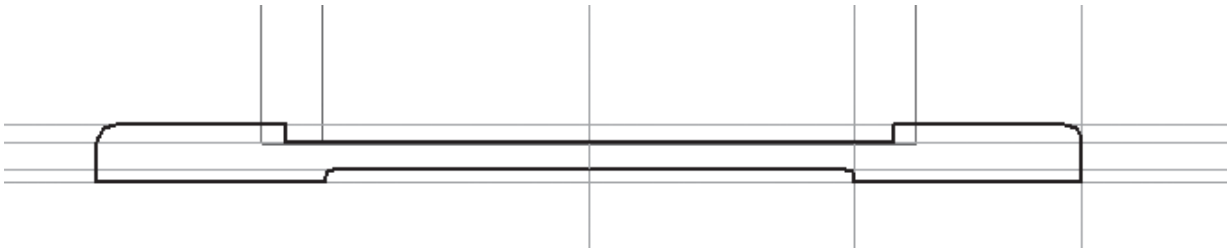


Рисунок 6.12 – Ескіз перерізу днища корпуса

Спочатку виконуємо половину ескіза, а потім симетрично відображаємо її відносно вертикальної осьової лінії.

22. Закінчивши побудову ескіза, викличте команду *Операція видавлювання*. Виберіть напрям видавлювання - *Два напрями*, задайте величину видавлювання в прямому і зворотному напрямах по 129 і 273 мм, відповідно.

23. Нам необхідно створити два ребра жорсткості в моделі: окремо під кожною кришкою підшипника. Почнемо з ребра жорсткості на місці кріплення кришки веденого вала. Виділіть в дереві моделі ортогональну площину *XYZ*, побудуйте в ній ескіз ребра (рис. 6.13). Розміри не мають великого значення, головне, щоб кінці контуру, який в даному випадку складається всього з одного відрізка, знаходилися в тілі деталі.

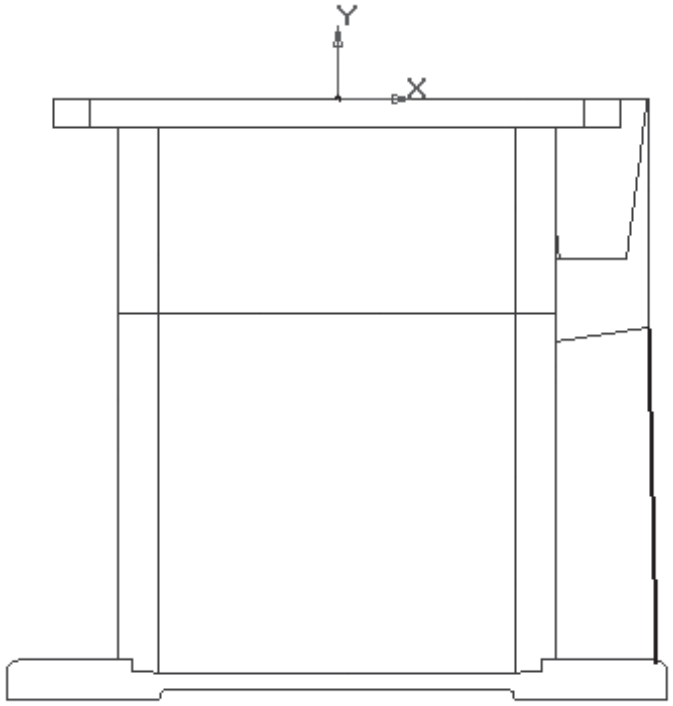



Рисунок 6.13 – Ескіз ребра жорсткості

24. Вийдіть з режиму редагування ескіза і натисніть кнопку *Ребро жорсткості* на панелі *Редагування деталі*. Набудуйте параметри операції таким чином:

• положення ребра - в площині ескіза;

• напрям побудови - зворотний;

• кут нахилу - 3°;

• спосіб побудови тонкої стінки (настроюється на вкладці *Товщина*) - *Середня площина*;

• товщина ребра (задається на вкладці *Товщина*) - 4 мм.

Після цього натисніть кнопку *Наступний сегмент* (вона розміщена на вкладці *Параметри*) до тих пір, поки стрілка, що відображає напрям побудови нахилу на фантомі операції, не указуватиме у бік бічної стінки редуктора. Після цього можете завершити настройку параметрів операції і створити ребро жорсткості (рис. 6.14).

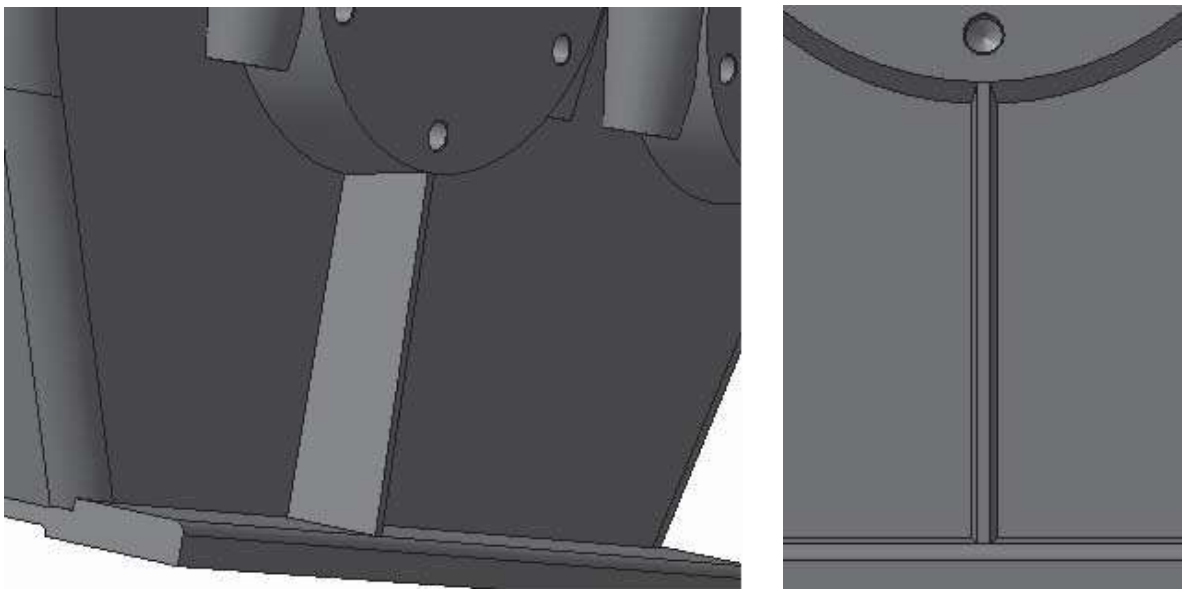


Рисунок 6.14 – Ребро жорсткості

25. Аналогічно виконайте друге ребро, що розміщується під місцем кріплення кришки швидкохідного вала. Як базову площину для його ескіза виберіть площину, відносно якої виконувалося дзеркальне копіювання правої бобишки на швидкохідному валу (ця площина паралельна площині *XY* і знаходиться на відстані 259 мм від неї). Параметрам формоутворювальної операції *Ребро жорсткості* задайте такі ж настройки, як і при побудові першого ребра.

26. Натисніть кнопку *Дзеркальний масив* на панелі *Редагування деталі*. Вкажіть як площину симетрії площину *ZY*, а як об'єкти копіювання такі елементи деталі (їх краще виділяти в дереві побудови):

• операція витискання бічної стінки;

• операції додавання матеріалу по перерізах, що формують місця кріплення кришок і бобишки на корпусі;

• всі отвори під фіксуючі гвинти;

• ребра жорсткості.

Натисніть кнопку *Створити об'єкт*, щоб отримати дзеркальну копію вибраних елементів (рис. 6.15).

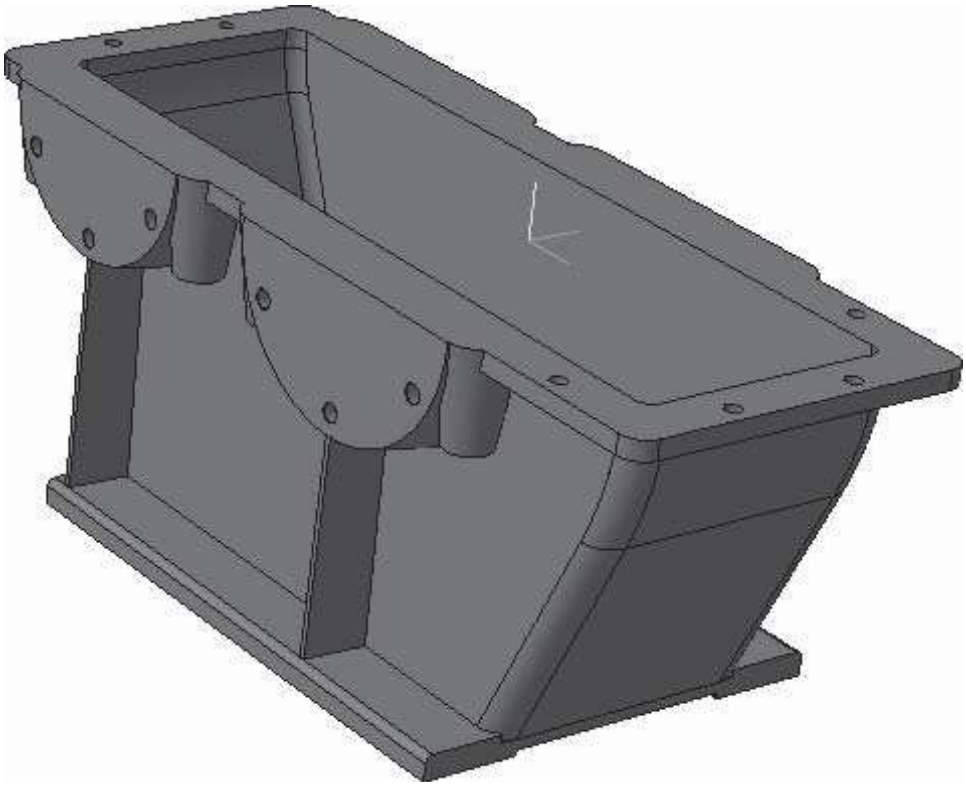


Рисунок 6.15 - Використання дзеркального відображення

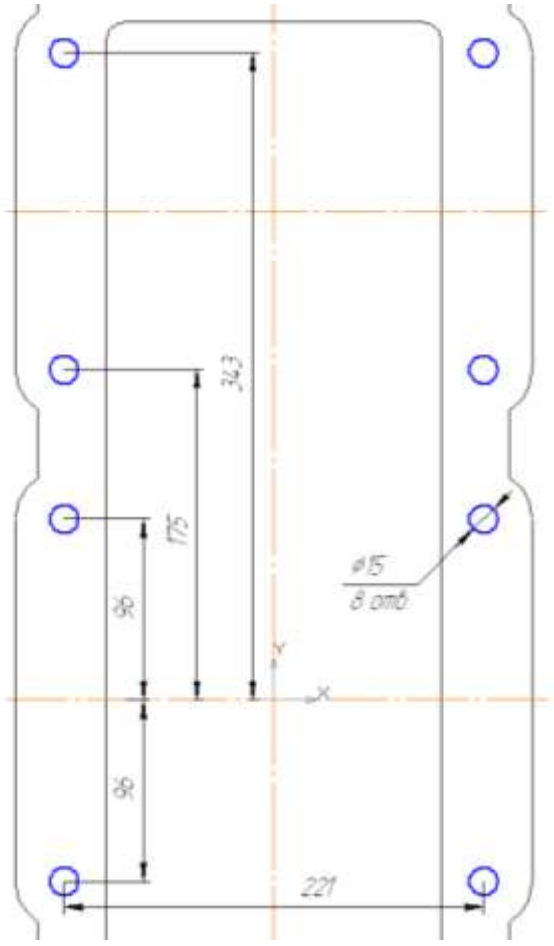



Рисунок 6.16 – Отвори під болти

27. Додамо в моделі отвори під болти в бобишках і отвори в самому корпусі під підшипники обох валів.

Для ескіза отворів в бобишках виберіть верхню плоску грань фланців, яка збігається з ортогональною площиною *ZX* (рис 6.16). Для формування отворів в бобишках скористайтеся інструментом *Вирізати видавлюванням* панелі *Редагування деталі*. Слід вибрати прямий напрям вирізання (тобто, у напрямі нормалі до площини ескіза), а величину видавлювання задати рівною 70 мм (висота бобишок).

Ескіз отворів під підшипники міститиме два кола з діаметрами, рівними діаметрам зовнішнього кільця підшипників ведучого і веденого валів (відповідно 120 і 140 мм). Центр першого кола (для ведучого вала) збігається з точкою початку координат ескіза. Центр другого (меншого) кола зміщений на 259 мм вправо по осі *X* (рис. 6.17). Сам ескіз повинен бути розміщений на площині *ZX*.

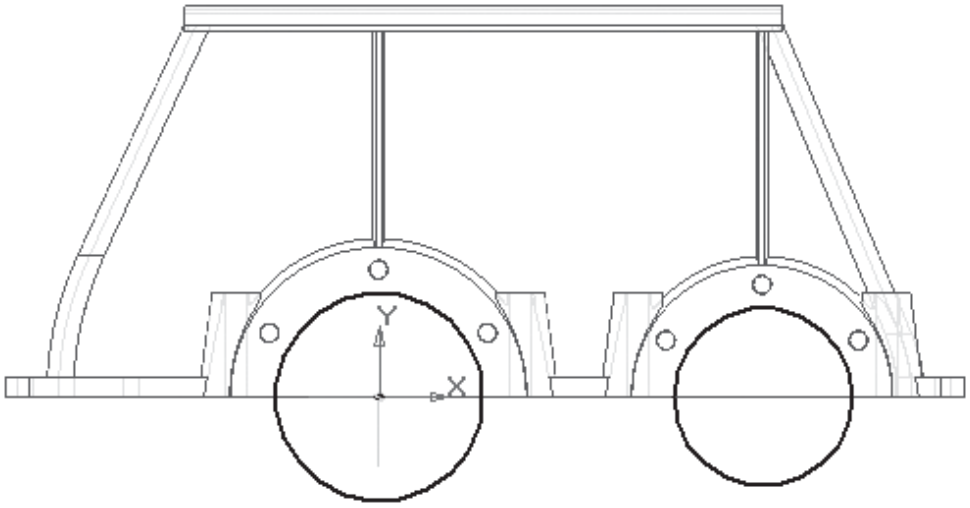



Рисунок 6.17 – Ескіз отворів під підшипник

28. Створіть отвори за допомогою *Вирізання видавлюванням*. Напрям вирізу - *Два напрями*, спосіб видавлювання по кожному з направлення - *До найближчої поверхні*. При виборі такого способу витискування немає необхідності указувати точне значення величини витискання - система визначить його автоматично (рис. 6.18).

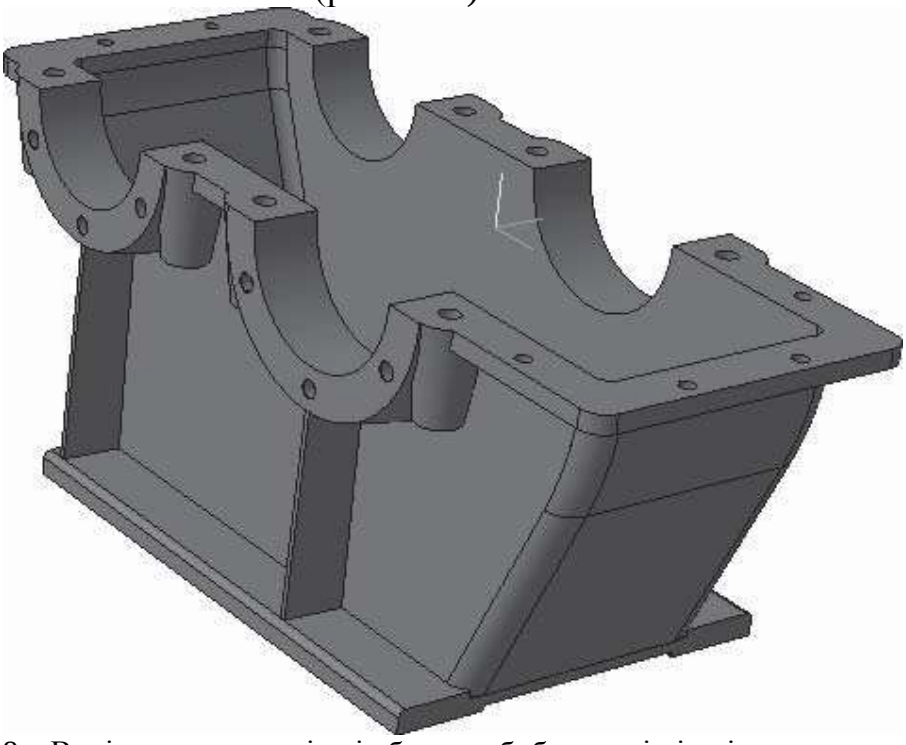


Рис. 6.18 – Вирізування отворів під болти в бобишках і під підшипники в корпусі

29. Для більшої реалістичності моделі додайте заокруглення всередині і зовні корпуса, на кромках, фланцях і ін. Радіуси закруглень визначте конструктивно. Намагайтесь за один виклик команди *Заокруглення* виконувати як можна більше закруглень ребер з одним радіусом.

Побудова отвору, куди буде вставлений масловказівний покажчик.

1. Запустіть процес побудови ескіза в площині *ZY*. Побудуйте контур виступу на корпусі, в який вставлений масловказівний жезл.

2. Побудуйте відрізок стиля *Осьова*, який збігається з обводом корпуса (тобто з проекцією лінії зовнішньої поверхні передньої стінки на площину ескіза). Створіть перпендикулярну допоміжну пряму до цього відрізка (команда Перпендикулярна пряма панелі Геометрія), що проходить через точку перетини проекції опорної площини ніші під масловказівний покажчик і контур обводу корпуса. Створіть ще одну допоміжну пряму так, щоб вона збігалася з першим відрізком. Продовжіть цей відрізок уздовж побудованої прямої до точки перетину допоміжних ліній. Створіть ще один відрізок від точки перетину прямих по нормалі до осьової лінії. Отриманий ескіз показаний на рис. 6.18.

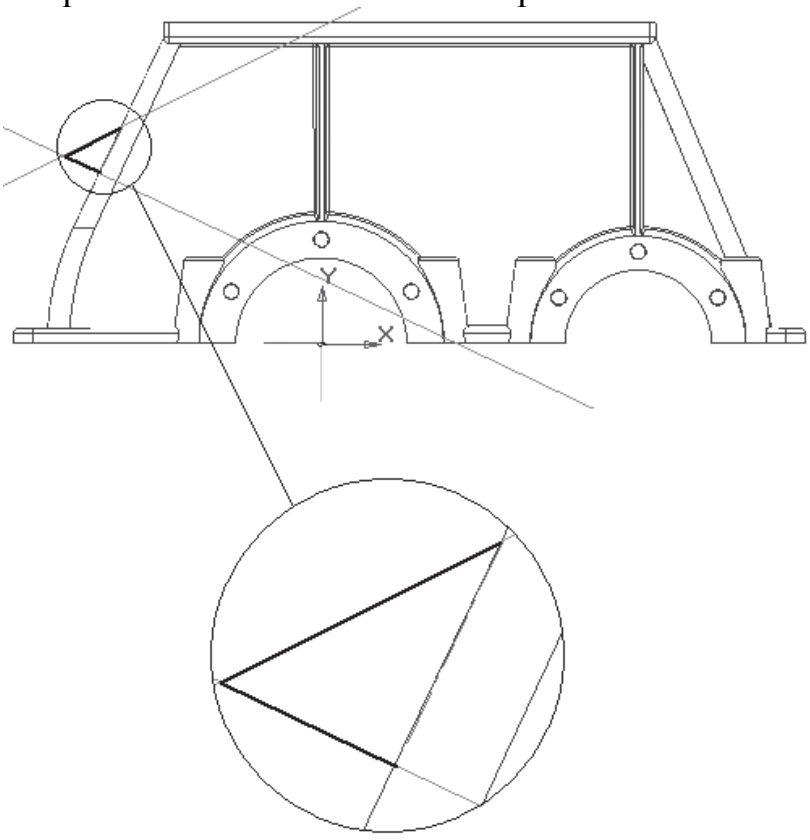



Рисунок 6.18 – Контур ніші під покажчик рівня масла

3. Виконайте команду *Операція обертання* панелі *Редагування деталі* для тільки що сформованого ескіза. Зі списку *Напрям*, який відкривається, виберіть пункт *Середня площина*, а в полі *Кут 1* введіть значення 180 (в результаті ескіз буде повернений на 90° в кожну сторону від площини

ескіза). Завершіть виконання операції (рис. 6.19).

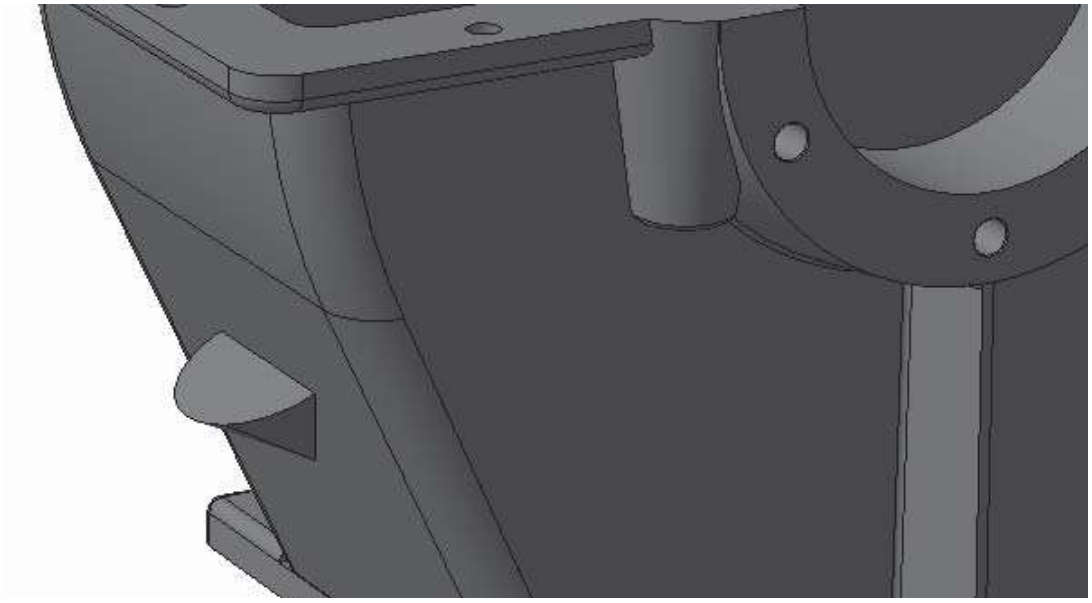


Рисунок 6.19 – Початок формування ніші в корпусі під масловказівний покажчик

4. Створіть ще один ескіз в цій же площині. У ньому розмістіть один відрізок, який позначить опорну поверхню ніші (рис. 6.20).

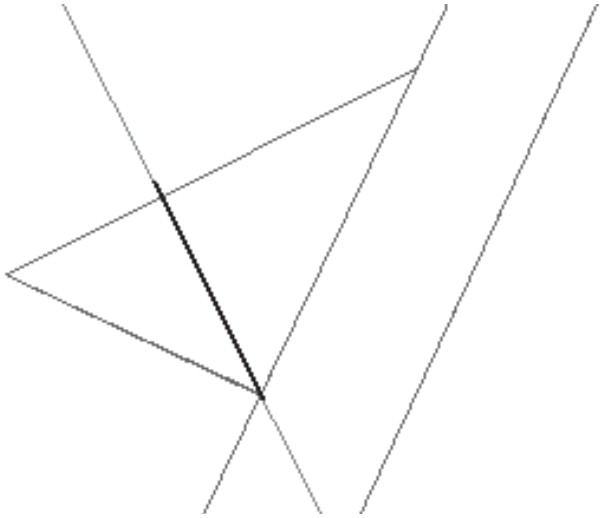


Рисунок 6.20 – Ескіз для формування опорної поверхні під масловказівний покажчик

4. Використовуємо останній ескіз, виконайте команду *Переріз по ескізу* панелі *Редагування деталі*. Прослідкуйте, щоб на панелі властивостей було вибрано прямий напрям відсікання.

5. Створіть ще один ескіз на плоскій грані, створеній перерізом по ескізу. В ньому побудуйте коло з діаметром, рівним діаметру ступеня покажчика (рис. 6.21), він складає 16 мм. Для даного ескіза виконайте операцію вирізання витискуванням на відстані 12 мм в прямому напрямі.

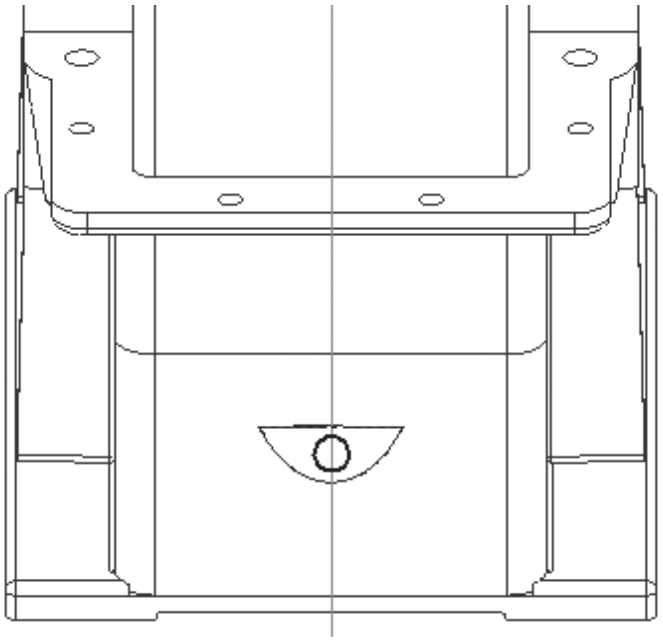


Рисунок 6.21 – Ескіз першого отвору в ніші

6. Аналогічно виконайте ще одне вирізання, вже власне отвори в корпусі під масловказівний покажчик. Розмістіть коло діаметром 9 мм на тій же площині, що і попередній ескіз. Величину витискання визначте довільно, виходячи з того, що отвір повинен наскрізь проходити через передню стінку, але при цьому не торкнутися днища корпуса. Рекомендую прийняти відстань вирізання, рівною 100 мм. Прослідкуйте також, щоб центри кіл двох останніх ескізів точно збігалися (можна просто скопіювати перше коло в другий ескіз, прив'язуючись до початку координат, а потім зменшити його діаметр до 9 мм), інакше отвори в ніші будуть не співвісні. Отриманий отвір для масловказівного покажчика на рис. 6.22.

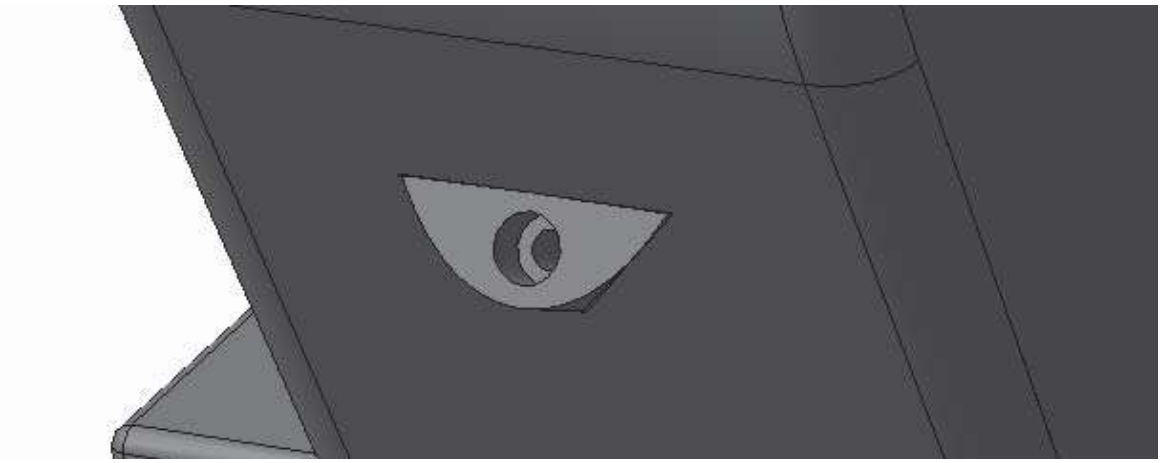


Рисунок 6.22 – Місце під масловказівний покажчик

Виріжте в опорних лапах отвори під фундаментні болти (∅20 мм).

Таким чином, ми завершили створення складної моделі корпуса

одноступінчатого редуктора (рис. 6.23).

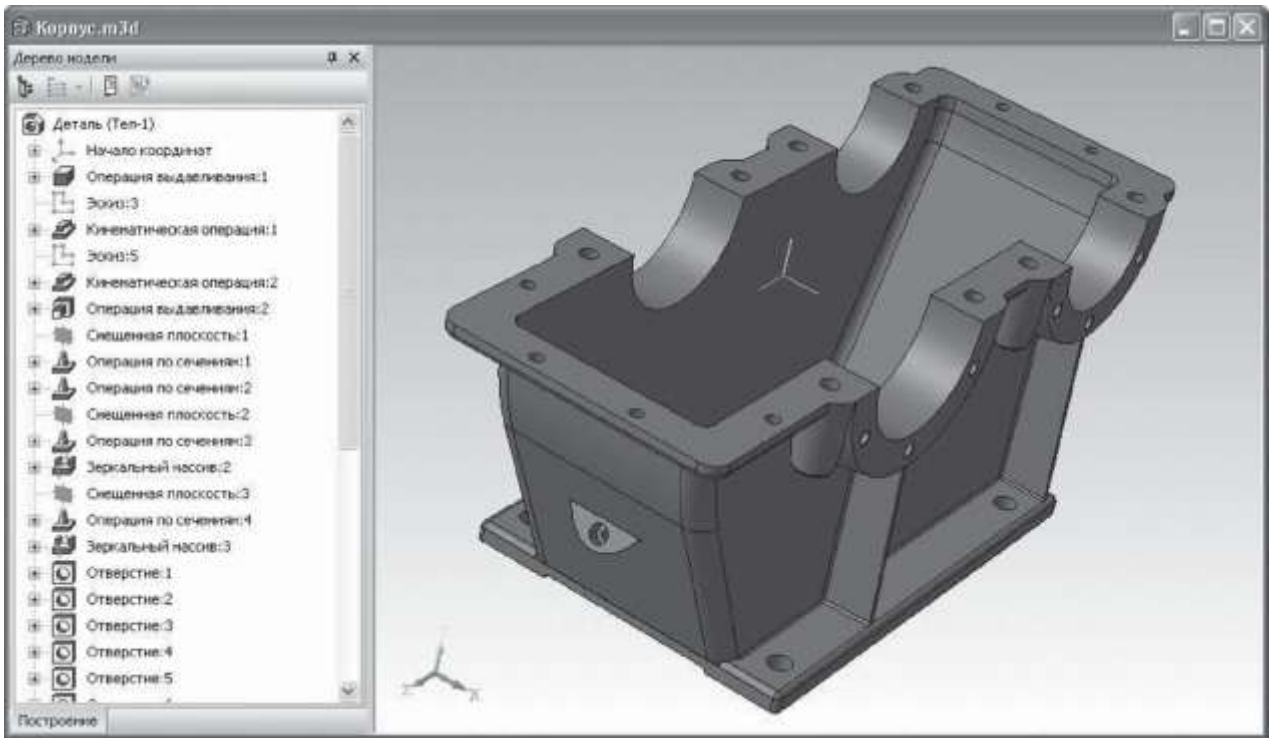



Рисунок 6.23 – 3D-модель корпуса редуктора

**Контрольні запитання**

1. Які елементи побудови необхідно використати при застосуванні команди *Операція по перерізах*?
2. Які особливості використання операції *Дзеркальний масив*?
3. Параметри формоутворювальної операції *Ребро жорсткості*?

## Лабораторна робота 7
## *Кришка редуктора*

**Мета роботи**

Оволодіти навиками побудови тривимірної моделі кришки редуктора за допомогою системи КОМПАС-3D

**Короткі теоретичні відомості**

Кришка редуктора має деякі істотні відмінності зовнішнього вигляду від корпуса редуктора, проте порядок її побудови буде таким же, як і процес створення корпуса. Більш того, більшість конструктивних елементів (фланці, місця кріплення кришок підшипників, бобишки) виконуються аналогічно тим же елементам на корпусі редуктора.

**Порядок виконання роботи**

Створіть новий документ, встановіть орієнтацію *Ізометрія XYZ* і збережіть його під ім'ям Кришка редуктора.

1. Першим кроком, як і при виконанні моделі корпуса, буде створення фланця кришки. Виділіть площину *ZX*, створіть в ній ескіз повздовжнього перерізу фланця, після чого видавіть його в прямому напрямі на відстань 10 мм (товщина фланця кришки редуктора). Ескіз фланця повторює форму фланця корпуса, тому його необхідно скопіювати з моделі корпуса.

2. У верхній плоскій грані фланця побудуйте ескіз поперечного перерізу стінки кришки редуктора. Зображення ескіза подібне до поперечного перерізу стінки корпуса. Різниця полягає лише в тому, що товщина стінки кришки менша товщини стінки корпуса і складає 7,5 мм.

3. У кришці немає передньої і задньої стінок, тому формування стінки кришки ми виконаємо за один виклик команди *Кінематична операція*. Напрямною слугуватиме контур кришки редуктора, розміщений в ескізі на площині *ZY* (рис. 7.1). Зверніть увагу: контур в ескізі необхідно відобразити щодо осі *X*, оскільки система при створенні ескіза в площині *ZY* (або паралельній їй) розміщує модель таким чином, що вона стає перевернутою.

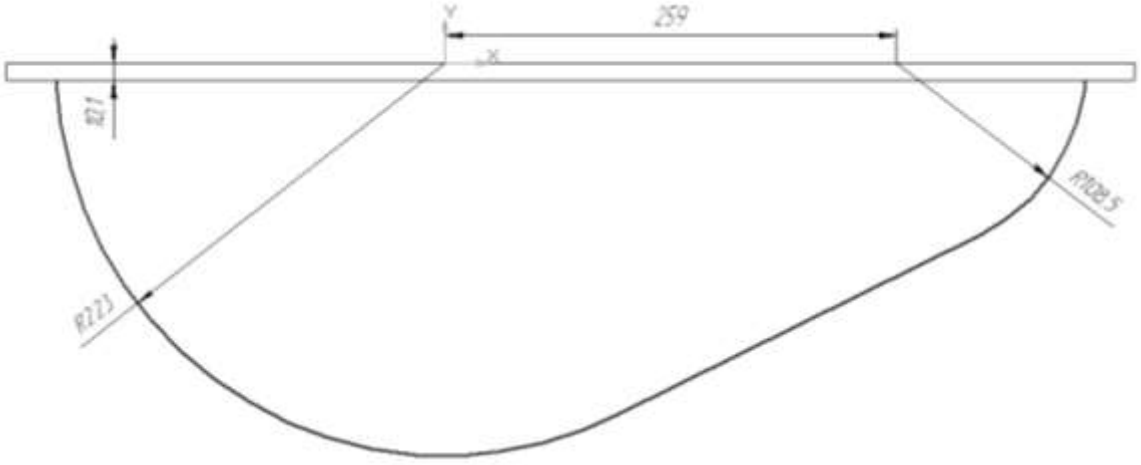



Рисунок 7.1 – Контур кришки редуктора

4. Виконайте кінематичну операцію. Переконаєтеся, що в групі кнопок *Рух перерізу* натиснута кнопка *Зберігати кут нахилу*. Відразу зробіть невидимим ескіз-траєкторію (команда контекстного меню *Приховати* в дереві побудов). В результаті ви отримаєте стінку кришки редуктора (рис. 7.2).

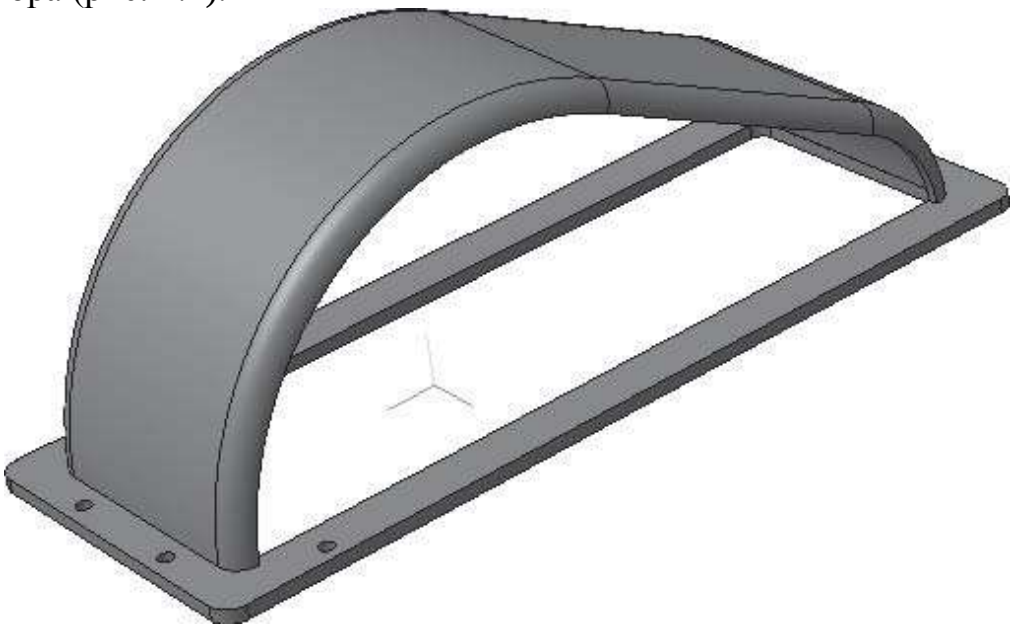


Рисунок 7.2 – Початок формування кришки редуктора

5. Створіть бічну стінку кришки за допомогою *Операції витискання*. Як і при побудові бічної стінки корпуса, виконуючи ескіз для витискання, користуйтеся прив'язками до вже існуючої геометрії деталі. По суті зображення в ескізі є еквідистантою до напрямної, що використана в попередній операції. Контур в ескізі повинен бути замкнений, тобто краї еквідистанти слід з'єднати відрізком. Сам ескіз повинен розміщуватися в площині, яка збігається з внутрішньою бічною гранню фланця, розміщеною уздовж довгої його сторони. При такому розташуванні ескіза витискання виконується в протилежному до нормалі направленні, а його величина дорівнює товщині стінки кришки (7,5 мм).

6. Далі одне за одним створіть місця кріплення кришок підшипників, а також бобишки на них. Порядок побудов аналогічний створенню таких же елементів корпуса. Для місць кріплення кришок підшипника спочатку виконуємо площину, зміщену щодо зовнішньої поверхні бічної стінки (40,5 мм). Потім побудуйте два ескізи з півколом і відрізком, що сполучає його кінці, в кожному ескізі. Один з ескізів розташуйте в зміщеній допоміжній площині (радіус 100 мм), інший (радіус 106 мм) - на зовнішній поверхні бічної стінки кришки редуктора. Виконайте операцію по перерізах. Аналогічно проводимо побудову для місця кріплення кришки підшипника швидкохідного вала. Радіуси півкола складають 88 і 94 мм, відповідно.

7. Бобишки створюються аналогічно, тільки допоміжну площину для

ескіза верхньої опорної площини бобишок потрібно зміщувати в прямому напрямі (на 70 мм). Ескізи основи і верхньої площини бобишок скопіюйте з моделі корпуса. Як і в корпусі, кожну праву бобишку отримуйте за допомогою дзеркального копіювання (команда *Дзеркальний масив* панелі *Редагування деталі*). Після проведених перетворень модель прийме такий вигляд (рис. 7.3). Зверніть увагу, що всі перераховані тривимірні елементи додані тільки з одного боку кришки.

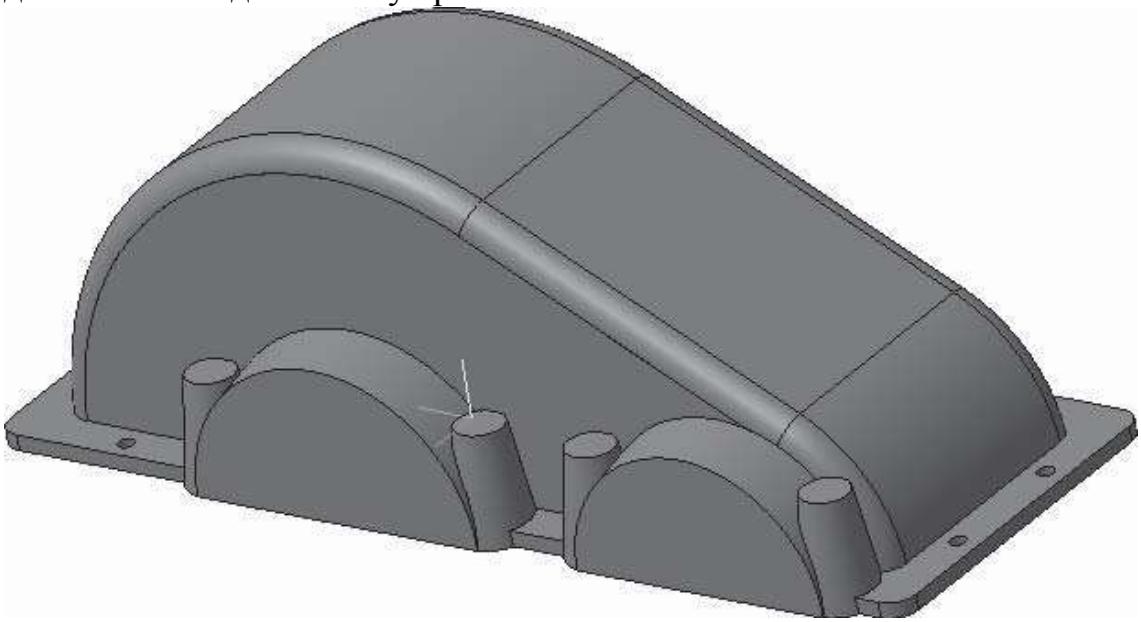


Рис. 7.3 – Додання місця кріплення кришок

8. За допомогою послідовних викликів команди *Отвір* побудуйте шість отворів під гвинти, що фіксують кришки підшипників. Побудова проводиться аналогічно методиці, наведеній в лабораторній роботі № 6.

9. Створіть ребро жорсткості над місцем кріплення кришки підшипника тихохідного вала. Ескіз ребра розмістіть в площині *XY* приблизно так, як показано на рис. 7.4.

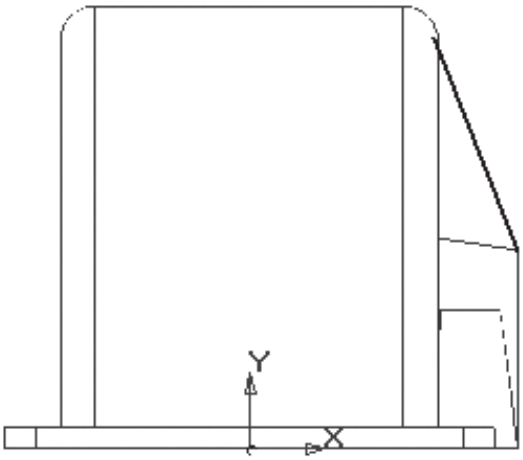



Рисунок 7.4 – Ескіз ребра жорсткості кришки редуктора

10. За допомогою елементів управління панелі властивостей набудуйте параметри команди *Ребро жорсткості*:

- положення ребра - в площині ескіза;
- напрям побудови - зворотний;
- кут нахилу ребра - 3°;
- товщина ребра (задається на вкладці *Товщина*) - 4 мм;
- тип побудови тонкої стінки (вибирається зі списку, що розкривається, на вкладці *Товщина*) - середня площина.

11. Створіть ребро жорсткості (рис. 7.4). Над місцем кріплення кришок підшипника швидохідного валу ребро жорсткості створювати не треба.

12. Знову скористайтеся командою *Дзеркальний масив* панелі *Редагування деталі* і створіть копії бічної стінки бобишок і інших елементів кришки, симетричних щодо площини *ZY*. Для цього після виклику команди і вказання площини симетрії, виділіть в дереві побудови моделі всі формоутворювальні операції, окрім перших двох (витискання і кінематична), потім натисніть кнопку *Створити об'єкт*.

13. Створіть отвори під болти в бобишках і під підшипники в кришці способом, аналогічним описаному в лабораторній роботі № 6.

14. Сформуйте заокруглення на фланцях, опорних поверхнях бобишок і інших місцях в моделі кришки (рис. 7.5).

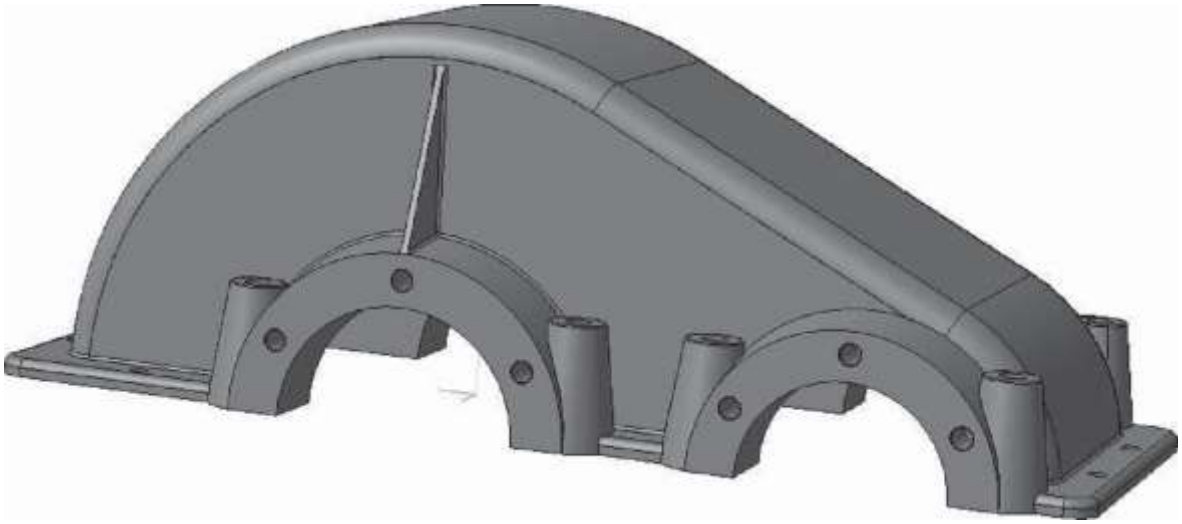


Рисунок 7.5 – Доопрацювання кришки редуктора

15. Залишилося сформувати отвір, що дозволяє оглядати нутрощі редуктора без його зупинки і розбирання, а також чотири отвори під болти, які фіксуватимуть кришку оглядового отвору на кришці редуктора. Ці отвори створимо за допомогою команди *Вирізати витисканням* панелі *Редагування деталі*, а ескіз для цієї операції розмістимо на плоскій грані верхньої стінки редуктора. У ескізі необхідно побудувати прямокутник розміром 100 × 75, після чого створити заокруглення на його кутах радіусом 10 мм кожне. Точка перетину діагоналей прямокутника знаходилася на осі *Y*. Навпроти середини кожної сторони прямокутника створіть коло радіусом 4,5 мм. Центри верхнього і нижнього кіл повинні бути віддалені від сторін прямокутника на 12,5 мм, центри бічних кіл - на відстань удвічі меншу.

На рис. 7.6 подана завершена 3D-модель кришки редуктора.

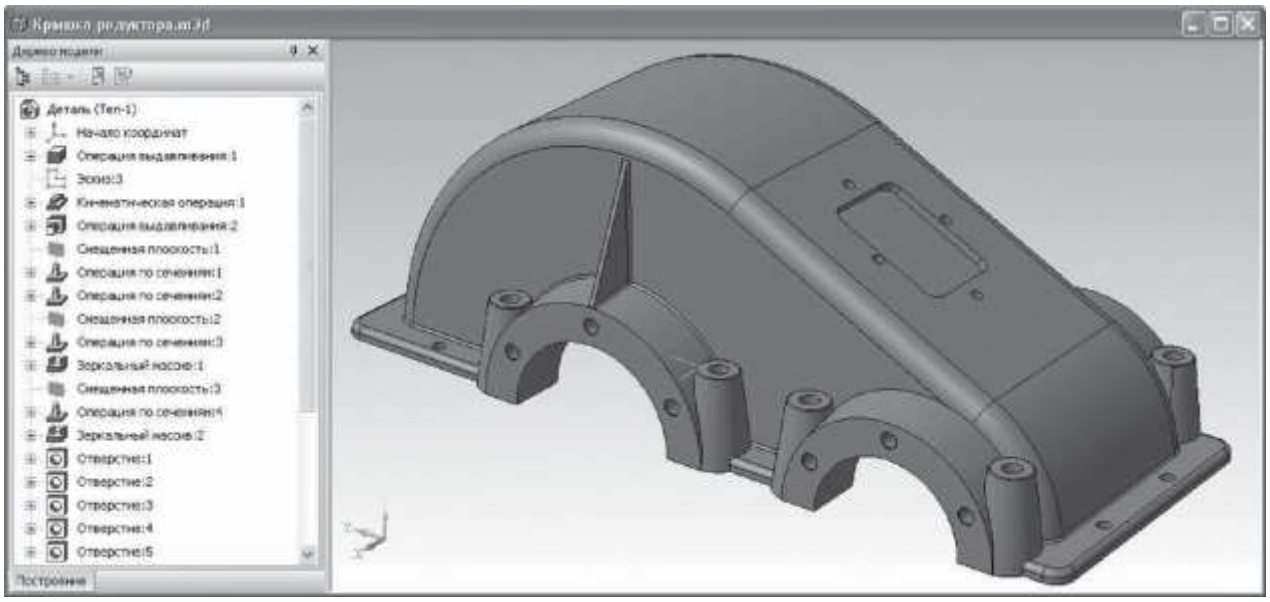


Рисунок 7.6 – 3D-модель кришки редуктора

**Контрольні запитання**

1. Які елементи побудови необхідно використати при застосуванні команди *Кінематична операція*?

2. Як впливає зміна властивостей *Рух перерізу* на форму побудованої 3D-моделі?

3. Які типи отворів доступні при використанні команди *Отвір*?

## Лабораторна робота 8

### *Кришки підшипників, маслозатримні кільця та інші деталі редуктора*

**Мета роботи**

Оволодіти навиками побудови тривимірних моделей кришки підшипників, маслозатримних кілець та інших деталей редуктора за допомогою системи КОМПАС-3D

**Короткі теоретичні відомості**

Решта всіх деталей редуктора (кришки підшипників, маслозатримні кільця, масловказівний покажчик, кришка оглядового отвору, ручка-віддушина, кільця розпорів і ін.) зовсім проста в порівнянні з корпусом і кришкою. Більшість з них виконані всього лише однією або двома формоутворювальними операціями (як правило, операцією обертання).

**Порядок виконання роботи**

Для створення маслозатримних кілець креслимо ескіз контуру профілю перерізу половини кільця, додаємо вісь і виконуємо обертання (рис. 8.1). У моделі редуктора є два різних кільця: на веденому і ведучому валах, тому створювати їх доведеться окремо (якщо бути точним, то маслозатримних кілець чотири, але вони попарно однакові, тому на кожен вал ми вставлятимемо два кільця з одного файла).

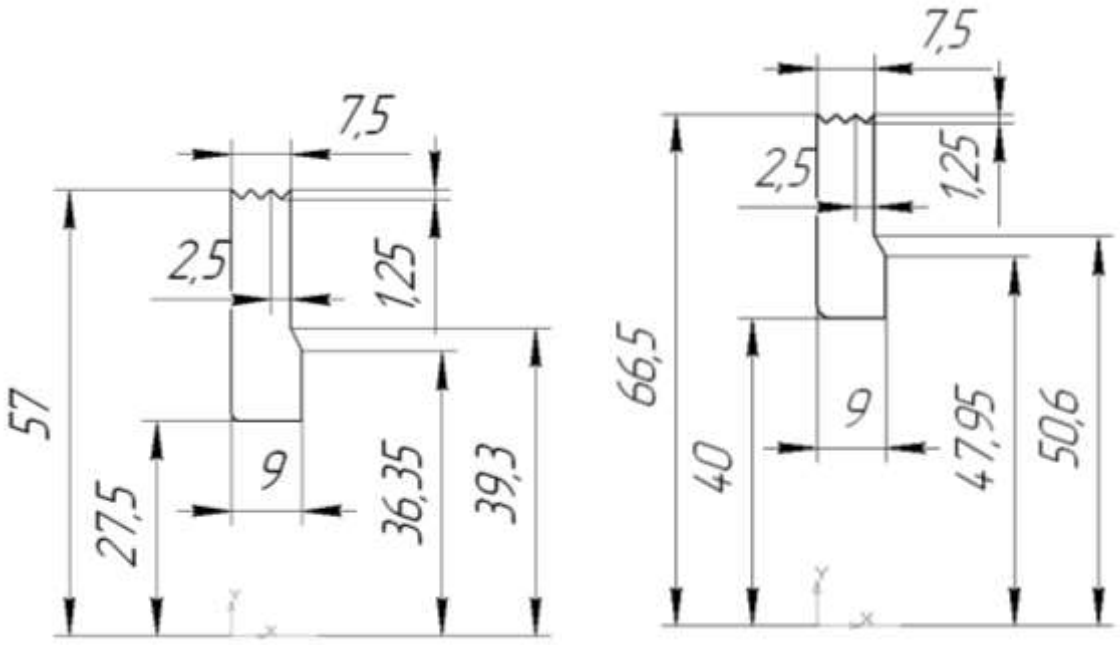



Рисунок 8.1 – Ескізи для побудови 3D-моделей маслозатримного кільця

Побудова кришки підшипника (їх також повинно бути дві: на тихохідному і швидкохідному валах). Спочатку виконується операція обертання ескіза, який містить контур перерізу половини кришки і вісь

обертання, а потім на фланцях кришки вирізуються отвори діаметром 12 мм під фіксувальні гвинти (рис. 8.2).

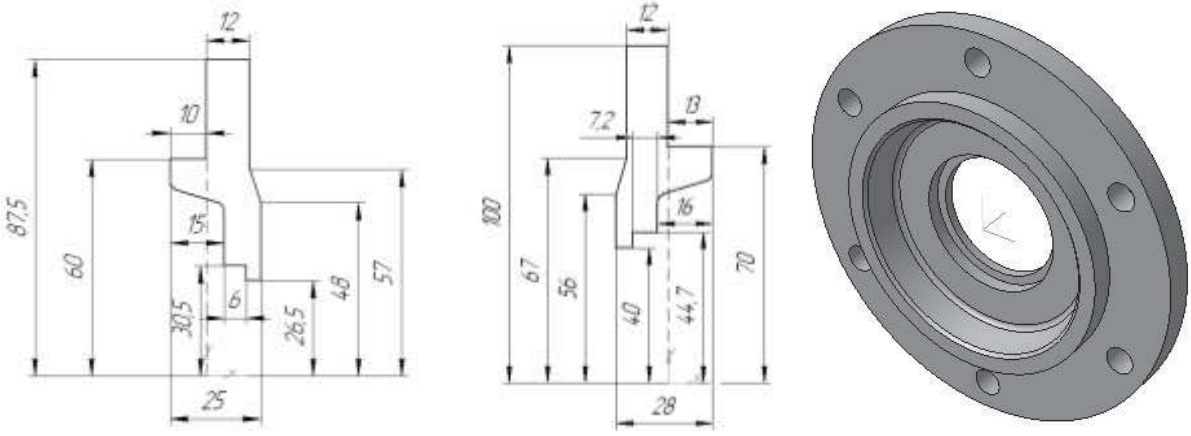
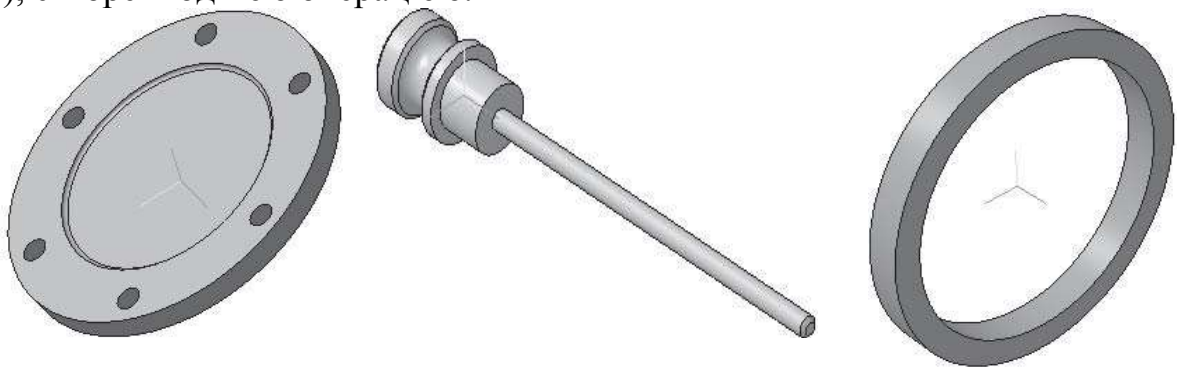



Рисунок 8.2 – Побудова 3D-моделі кришки підшипника з наскрізним отвором

Глухі кришки будуються подібно до кришок з наскрізним отвором (їх також повинно бути дві). Відміна полягає тільки в тому, що в глухих кришках немає отвору для виходу вала, тому ескіз їх базової операції обертання незамкнений (його кінці лежать на осі обертання). Це варто враховувати при настроюванні параметрів обертання: на панелі властивостей необхідно буде встановити спосіб виконання операції – сфероїдний та відключити створення тонкої стінки. Порядок побудови такий: накреслити контур половини перерізу глухої кришки; виконуємо команду *Операція обертання*; після чого на фланці вирізуємо шість отворів, розміщених на колі відповідного діаметра (рис. 8.3, а).

Такі деталі як масловказівний покажчик (рис. 8.3, б) і кільце (рис. 8.3, в), створені однією операцією.



а) б) в)

Рисунок 8.3 –Деталі редуктора а) кришка; б) масловказівний жезл в) кільце

**Контрольні запитання**

1. Які елементи побудови та типи ліній ескіза необхідно використати при застосуванні команди *Операція обертання*?

## Лабораторна робота 9

### *Складання редуктора*

**Мета роботи**

Оволодіти навиками створення збірки редуктора з тривимірних моделей деталей за допомогою системи КОМПАС-3D

**Короткі теоретичні відомості**

Складання є завершальним етапом розробки (проектування) будь-якого виробу. Як правило, процес складання набагато простіший процесу побудови складної 3D-моделі.

В даній лабораторній роботі ми навчимось вставляти в збірку стандартні або бібліотечні компоненти (болти, гайки, шайби, підшипники), правильно сполучати компоненти, а також копіювати компоненти за допомогою команд створення масивів.

**Порядок виконання роботи**

Створіть документ КОМПАС-Збірка, встановіть в ньому орієнтацію *Ізометрія XYZ* і збережіть.

1. Натисніть кнопку *Додати з файла* на панелі інструментів *Редагування збірки*. Система видасть стандартне вікно відкриття файла, в якому вам необхідно перейти в папку, в якій зберігаються всі файли проекту. Виберіть файл, в якому зберігається виконана вами модель зубчатого колеса і натисніть кнопку *Відкрити*. Вікно відкриття файла зникне, а в збірці з'явиться фантомне відображення моделі зубчатого колеса, яке переміщатиметься по документу за покажчиком миші. Фантом компонента, що додається, прив'язаний до покажчика в точці початку своєї локальної системи координат (ЛСК) його необхідно вставити в точку початку системи координат документа-збірки. Це можна виконати двома способами: підвести покажчик на початок координат і, коли біля нього виникне умовне зображення точки, клацнути кнопкою миші або ввести у відповідні поля на панелі властивостей нульові координати.

2. Тепер вставимо в збірку ведений вал. Знов скористайтеся командою *Добавте з файла* і виберіть файл моделі веденого вала. Як і при вставці колеса, сумістіть центр ЛСК моделі, що додається, з початком координат збірки, після чого вставте компонент, клацнувши кнопкою миші (рис. 9.1). Колесо і вал були створені таким чином, що при вставці моделей в точку початку координат зубчате колесо вийшло насадженим на вал. Просто зафіксуйте модель вала в просторі збірки (команда контекстного меню *Включити фіксацію* в дереві побудов).

Рисунок 9.1 – Вставка веденого вала в збірку

3. Слідом за веденим валом додамо в збірку ведучий вал-шестерню. Дійте так само, як і при вставці веденого вала і зубчатого колеса: вставте вал-шестерню в точку початку координат збірки. Оскільки при побудові моделі шестерні ми зміщували її вправо на величину міжосьової відстані, а при вирізанні першої пари зубів ескіз розміщували так, щоб він автоматично увійшов до зачеплення з аналогічним ескізом колеса, то зуби передачі відразу після вставки увійдуть до зачеплення (рис. 9.2).

4. Перейдемо до складання підшипникових вузлів на валах. За допомогою команди *Повернути* панелі *Вигляд* розверніть збірку у вікні уявлення так, щоб зовнішній ступінь веденого вала був направлений до вас. Вставте модель з файлу *Кільце* в довільне місце збірки, недалеко від веденого вала (рис. 9.10, а). Відразу точно позиціонувати кільце не вдасться, тому в даному випадку не обійтися без сполучень. Клацніть на кнопці *Співвісність* на панелі інструментів *Спряження*. Як об'єкти для сполучення по черзі вкажіть будь-яку циліндричну поверхню спочатку на кільці, потім на веденому валу. Задати об'єкт для спряження можна тільки у вікні моделі, клацнувши на ньому кнопкою миші.

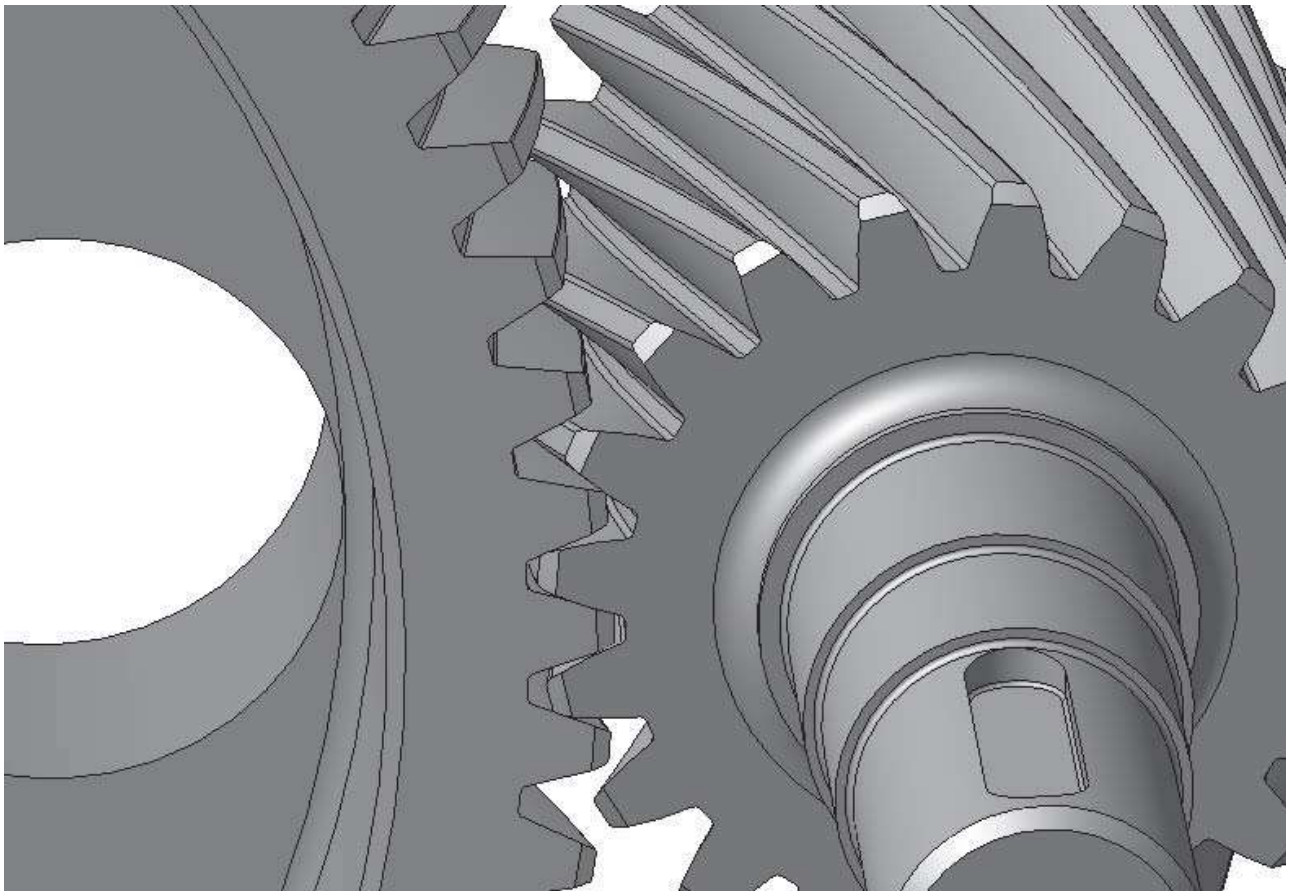


Рисунок 9.2 – Зубчате косозубе зачеплення

При виділенні об'єкт (грань, площина, ребро і ін.) підсвічує червоним кольором. Якщо ви помилилися і неправильно вибрали об'єкт, натисніть кнопку *Вказати наново* на панелі спеціального управління і знов виберіть об'єкт. Якщо на панелі спеціального управління натиснута кнопка *Автостворення об'єкта*, то відразу після задання циліндричних граней на кільці і валу кільце переміститься і прийме таке положення, щоб його вісь і вісь вала збігалися (рис. 9.3, б). Залишилося тільки пересунути кільце вгору по валу і обперти його в торець зубчатого колеса. Для цього натисніть кнопку *Збіг об'єктів* панелі *Спряження* і по черзі вкажіть у вікні збірки плоску бічну грань маточини колеса і бічну грань кільця, якою вона повинна прилягати до колеса. Кільце відразу займе своє місце (рис. 9.3, в). Натисніть кнопку *Перебудувати*. Розкрийте вузол *Група спряжень* в дереві моделі, щоб впевнитися, що в нього додано два елементи, які відповідають кожному з доданих в збірку сполучень.

5. Додайте в збірку з файла *Кільце маслозатримне*. За допомогою команди *Співісна* встановіть спряження цього кільця з валом. Після виклику команди *Збіг об'єктів* відтисніть кнопку *Автостворення об'єкта*. Потім, як і зазвичай, вкажіть дві плоских грані, які необхідно з’єднати (одну на кільці, другу на валу), після чого в групі кнопок *Орієнтація* на панелі властивостей натисніть кнопку *Зворотня орієнтація*.

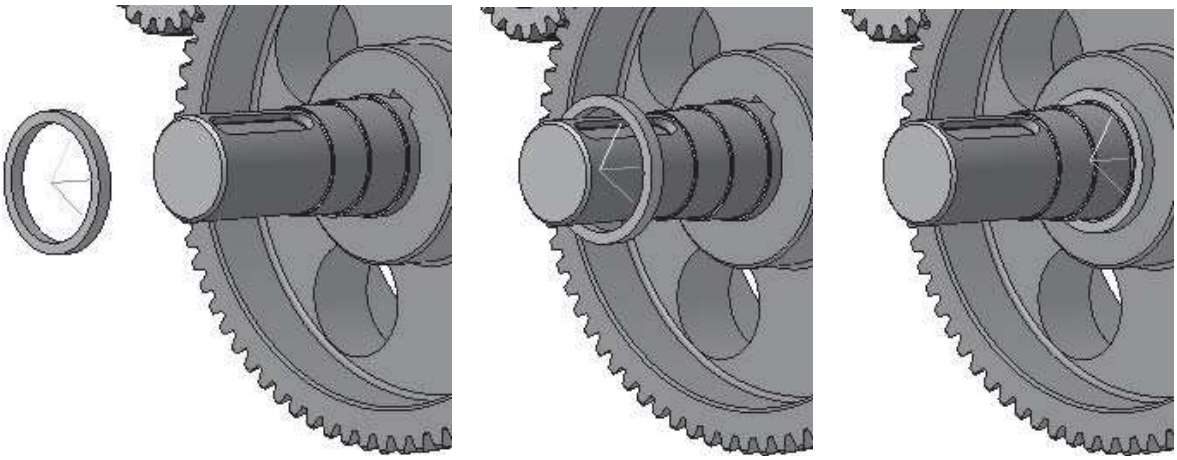


Рисунок 9.3 – Вставка і розміщення кільця: додавання компонента в збірку (а), накладення сполучення *Співісність* (б), накладення сполучення *Збіг об'єктів* (в)

В результаті маслозатримне кільце розвернеться на 180° (не відмінюючи дії спряження) і займе необхідне положення (рис. 9.4). Для фіксації компонента обов'язково натисніть кнопку *Створити об'єкт*, оскільки автостворення було відключене.

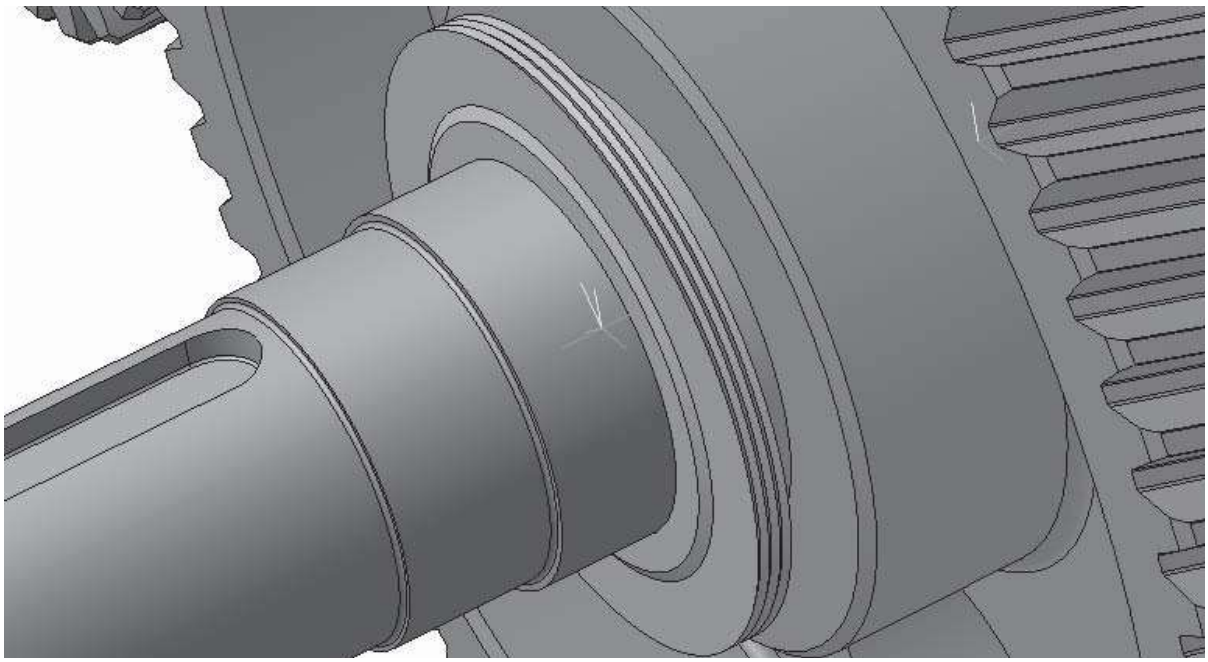


Рисунок 9.4 – Вставка маслозатримного кільця

6. Вставка підшипника. Система КОМПАС-3D має в своєму розпорядженні просторову базу типових тривимірних моделей, починаючи від шайб і кілець і закінчуючи фланцями, ніпелями, трійниками і ін. Ці моделі входять до складу бібліотеки стандартних виробів. Безумовно, що в цій бібліотеці присутні різні типорозміри підшипників.

Щоб викликати цю бібліотеку, виконаєте команду меню *Бібліотеки – Стандартні вироби – Вставити елемент*. У вікні збірки з'явиться вікно бібліотеки, в якому по розділах згруповані різні стандартні конструктивні

елементи.

7. Розкрийте розділ *Підшипники кочення _ Тип 0. Радіальні кулькові* (рис. 9.5). Двічі клацніть на пункті *Підшипник* ГОСТ 8338-75 (потрібний нам типорозмір підшипника), після чого у вікні бібліотеки відобразиться таблиця всіх параметрів даного підшипника (рис. 9.6). Клацніть на будь-якому з параметрів в розділі *Конструкція і розміри* і у вікні, що з'явилося, виберіть необхідний типорозмір підшипника.

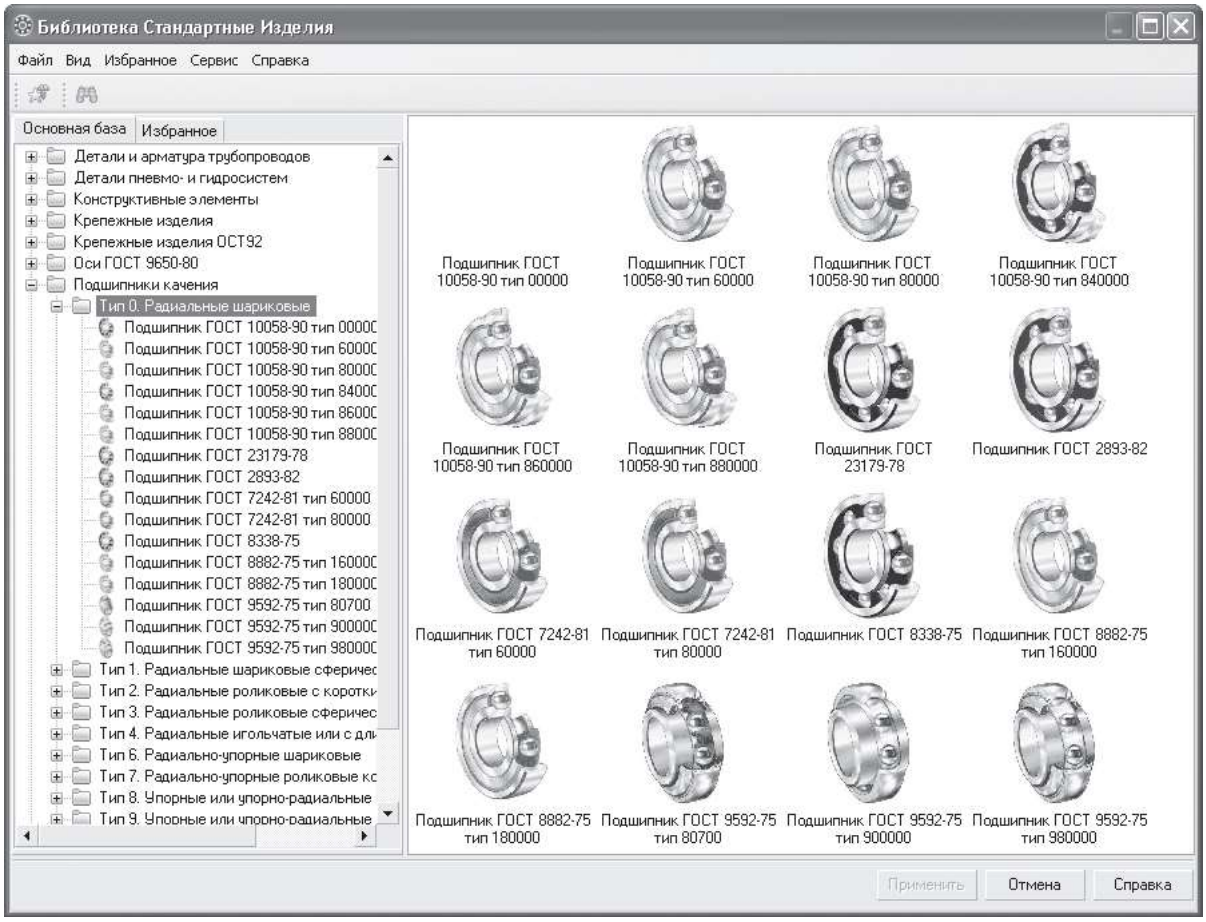



Рисунок 9.5 – Бібліотека стандартних виробів

Зніміть прапорець *Створити об'єкт*. Вибравши всі розміри, натисніть кнопку *Застосувати*. Вікно бібліотеки закриється, і підшипник можна буде вставити в будь-яку точку збірки. Зверніть увагу, в дереві збірки значок підшипника відрізняється від значків інших деталей - таким значком позначаються всі стандартні (бібліотечні) компоненти збірки.

9. Після вставки підшипника створіть спряження *Співвісна* циліндричної поверхні його внутрішнього кільця і поверхні ділянки вала під підшипник, а також сполучення *Збіг об'єктів* між бічною плоскою гранню внутрішнього кільця і поверхнею виступу на маслозатримній кришці, в яку повинно впертися внутрішнє кільце підшипника. Перший підшипниковий вузол успішно складений (рис. 9.7).

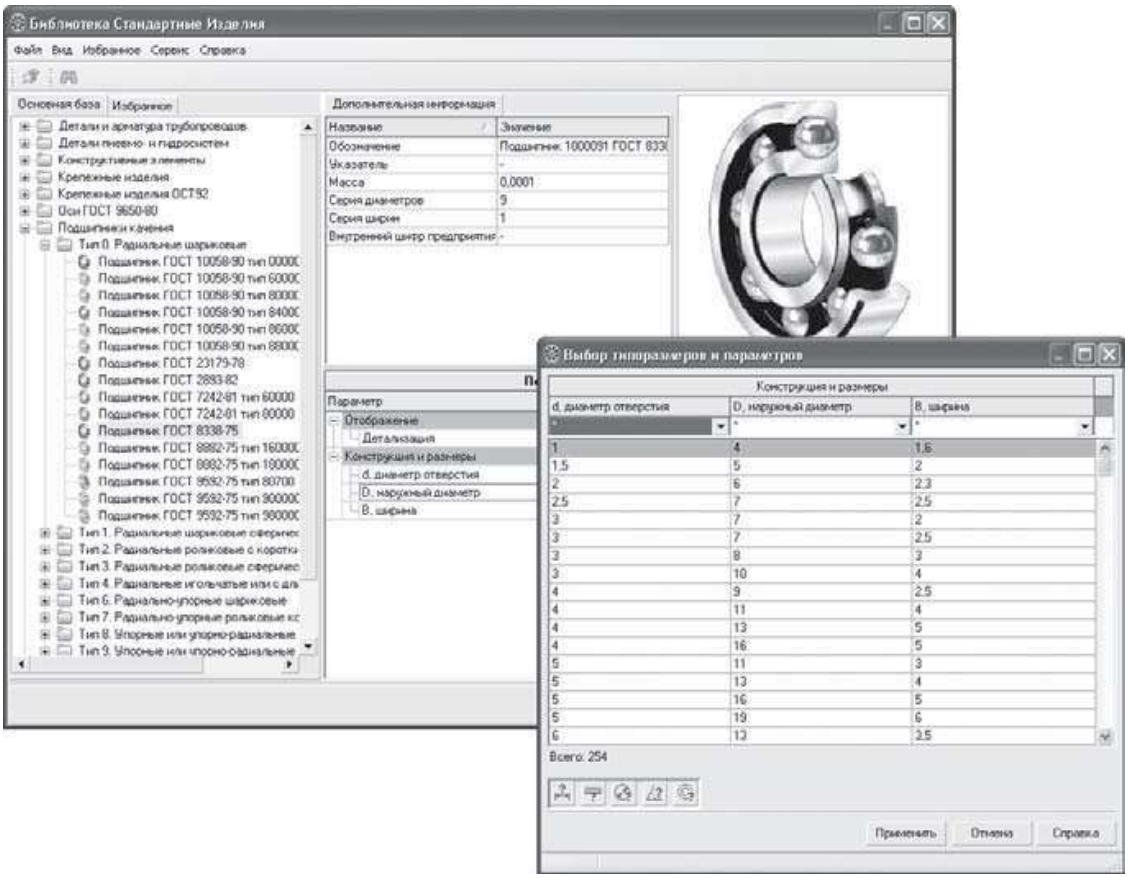


Рисунок 9.6 – Розміри підшипника

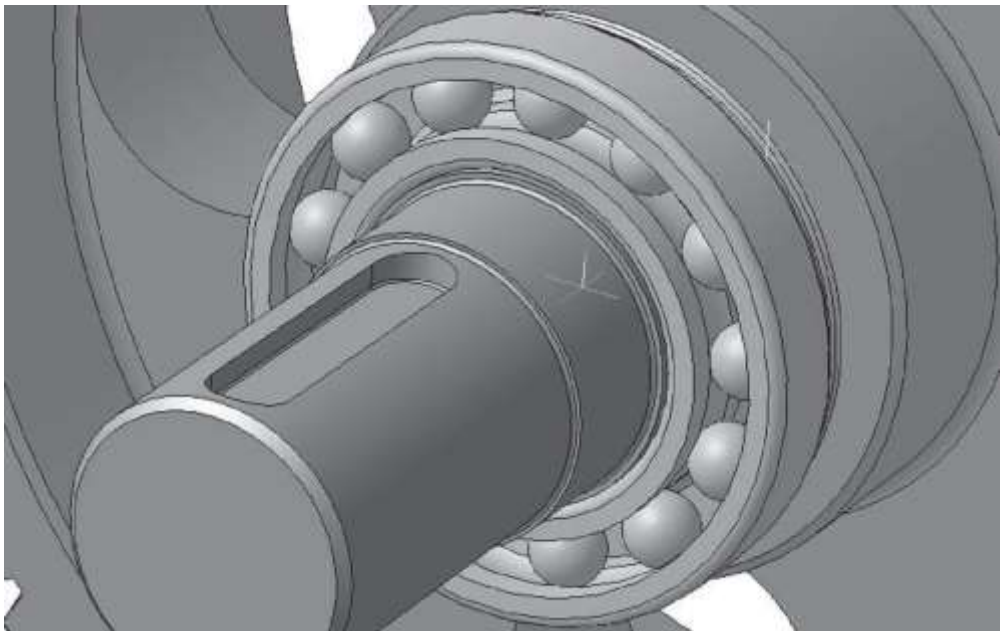


Рисунок 9.7 –Підшипниковий вузол ведучого вала

Решту всіх підшипникових вузлів скласти ще простіше, оскільки ні в одному з них немає кільця розпору, а маслозатримні кільця упираються прямо в бурт вала. Підшипники ведучого вала-шестерні також вставте з бібліотеки стандартних виробів.

10. У реальному виробництві після запресовування підшипників на

вал весь комплекс (зубчате зачеплення) вставляється і фіксується в корпусі редуктора, тому додамо в збірку корпус. Для цього вставте модель корпуса з файла в точку початку координат і зафіксуйте її. Підшипникові вузли встановляться точно у відведені їм місця в корпусі редуктора (рис. 9.8).

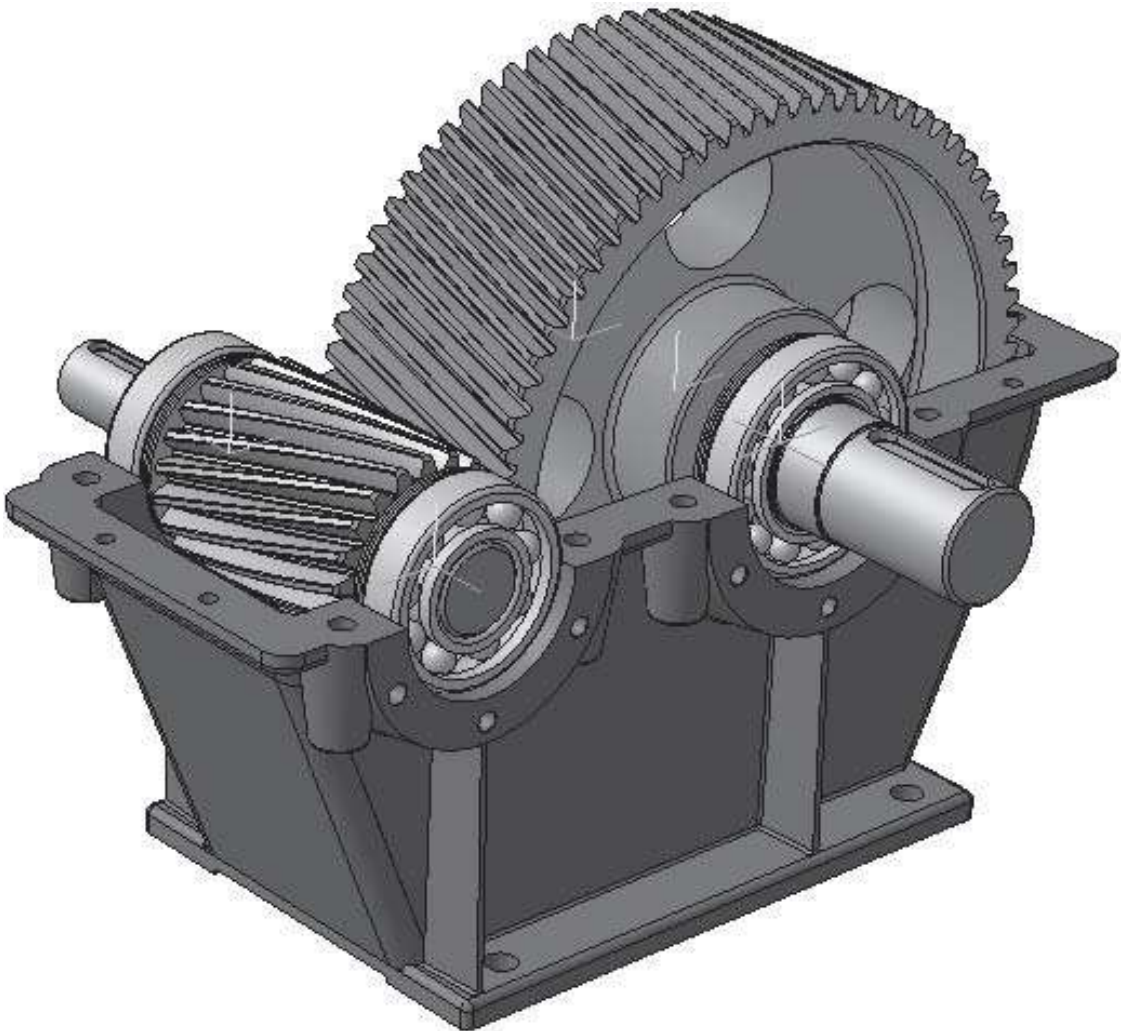


Рисунок 9.8 – Складання підшипників і зубчатих передач

11. У отвір на передній стінці редуктора можете відразу вставити масловказівний жезл. Спочатку потрібно буде виконати спряження *Співісна* для циліндричних поверхонь в отворі корпуса і на самому жезлі, після чого встановити *Збіг об'єктів* для нижньої грані ручки жезла і опорної поверхні ніші. Зафіксуйте доданий компонент і змініть його назву в дереві моделі.

12. Вставте кришку редуктора на корпус. Її також досить просто вставити в точку початку координат збірки і зафіксувати (рис. 9.9).

Наступним кроком в складанні редуктора буде фіксація підшипників від осьових зсувів, тобто, установлення і прикручення кришок підшипників. Як приклад розглянемо посадку і кріплення глухої кришки підшипника веденого вала, всі інші встановлюються аналогічно.

Рисунок 9.9 – Додання кришки редуктора

Вставте кришку з файла *Кришка підшипника* і створіть спряження *Співвісне* між отвором під кришку (у корпусі або кришці редуктора - не має особливого значення) і будь-якою циліндричною поверхнею на самій кришці (рис. 9.10). Додайте спряження *Збіг об'єктів*, щоб фланець кришки ліг точно на поверхню місць кріплення кришки. Прослідкуєте, щоб отвори під фіксувальні гвинти в кришці підшипника збіглися з отворами на корпусі і кришці редуктора.

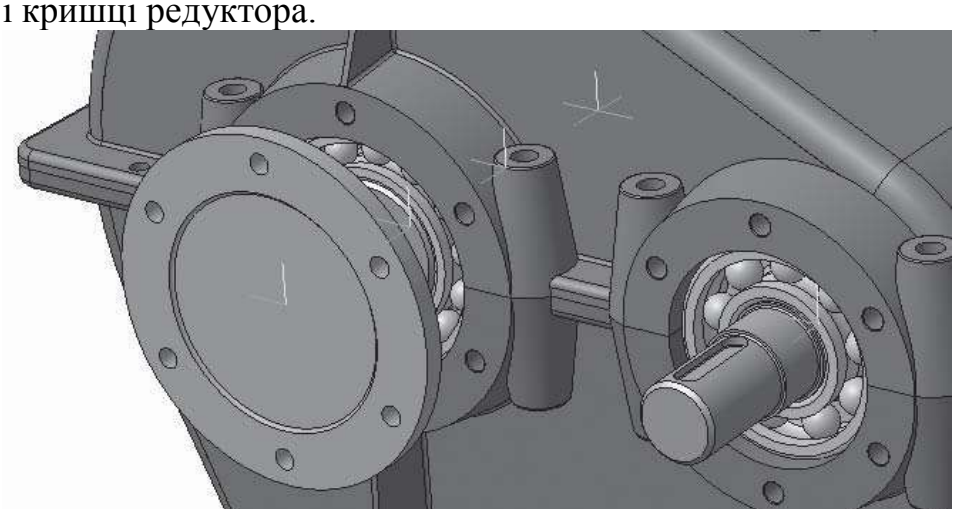


Рисунок 9.10 – Установлення кришки підшипника

Відкрийте вікно менеджера бібліотек за допомогою однойменної кнопки на панелі інструментів *Стандартна*. У розділі *Машинобудування* запустіть бібліотеку кріплення, в ній перейдіть в папку *Болти* і двічі клацніть на рядку *Болти зі шестигранною головкою*. В результаті з'явиться діалогове вікно, в якому вам слід набудувати необхідні параметри кріпильного елемента, що вставляється. Зі списку *Діаметр* виберіть значення 12, а в списку *Довжина* встановіть 35, решту всіх настройок залиште без змін. Натисніть кнопку *ОК*, щоб розпочати вставку болта в збірку.

Тепер навчимося користуватися автосполученнями при вставці моделей. Система КОМПАС-3D дозволяє при вставці бібліотечних деталей в збірку відразу накладати на них певні спряження, щоб після завершення вставки компонент був розташований точно в потрібному місці і прийняв необхідну орієнтацію в просторі.

Для цього після закриття діалогового вікна бібліотеки підведіть покажчик до отвору в кришці, в який вставляється болт. Коли грані отвору підсвітять голубуватою пунктирною лінією, а біля покажчика з'явиться умовне зображення поверхні, клацніть у вікні кнопкою миші. Болт ще не зафіксований, але тепер його фантом переміщатиметься тільки уздовж осі вказаної циліндричної поверхні (отвори в кришці підшипника). Щоб зафіксувати головку болта, підведіть покажчик до поверхні фланця кришки, з якою повинна стикуватися опорна поверхня головки, і один раз клацніть кнопкою миші. Болт буде встановлений. Щоб зафіксувати його, натисніть кнопку *Створити об'єкт* або скористайтеся поєднанням клавіш *Ctrl+Enter* (рис. 9.11).

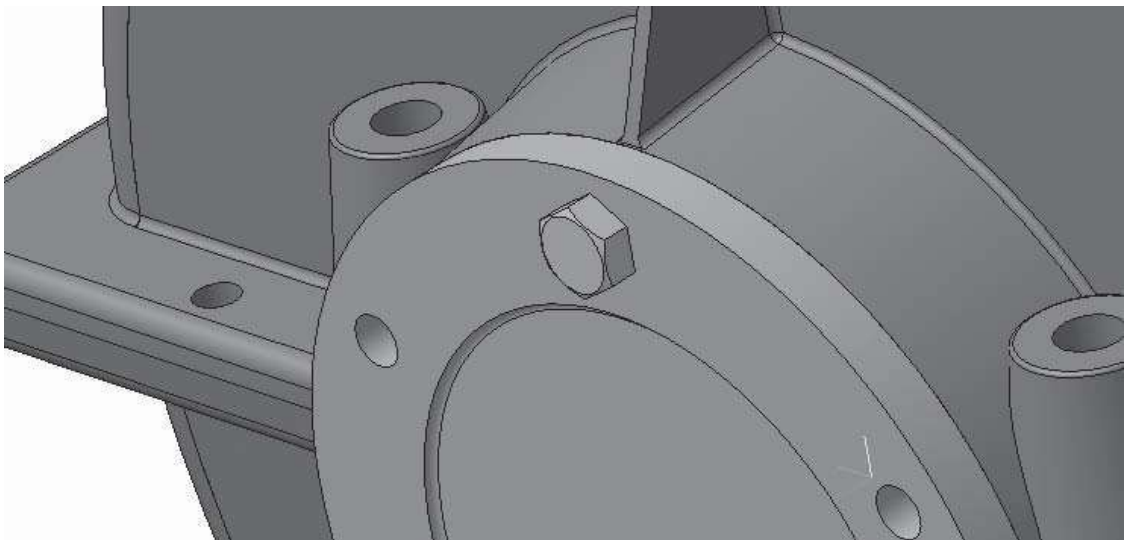


Рисунок 9.11 – Використання автосполучень при вставці бібліотечного елемента

У решту отворів вставляти гвинти не треба: ми заповнимо їх з використанням команд створення масивів.

Перейдіть на панель інструментів *Допоміжна геометрія* і за

допомогою вже знайомої нам команди *Вісь конічної поверхні* побудуйте прямо в збірці допоміжну вісь. Як базова поверхня для операції вкажіть бічну циліндричну грань кришки підшипника.

Натисніть кнопку *Масив по концентричній сітці* панелі *Редагування збірки*. Перейдіть на вкладку *Вибір об'єктів* панелі властивостей і натисніть кнопку Компоненти. Після цього в дереві збірки виділіть компоненти, які необхідно копіювати. У нас всього один такий компонент - болт, що фіксує кришку підшипника. Потім перейдіть на вкладку *Параметри*, натисніть кнопку *Вісь масива* і в дереві збірки або у вікні моделі виділіть допоміжну вісь. У полі N2 введіть кількість копій по кільцевому напряму, рівне 6. Для побудови масиву натисніть кнопку *Створити об'єкт* (рис. 9.12).

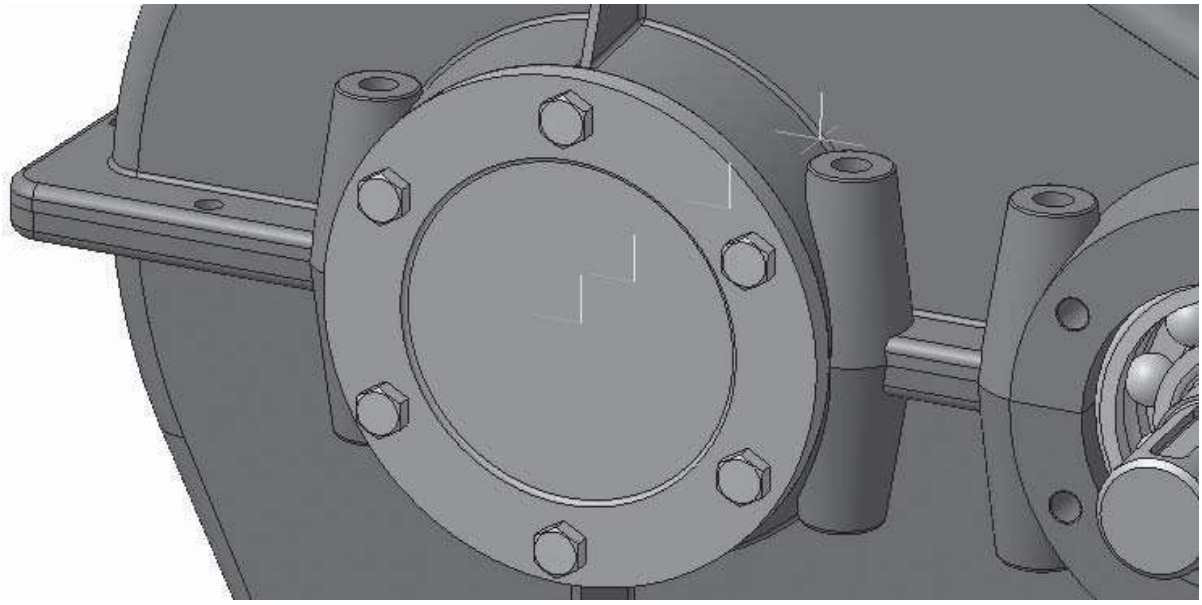


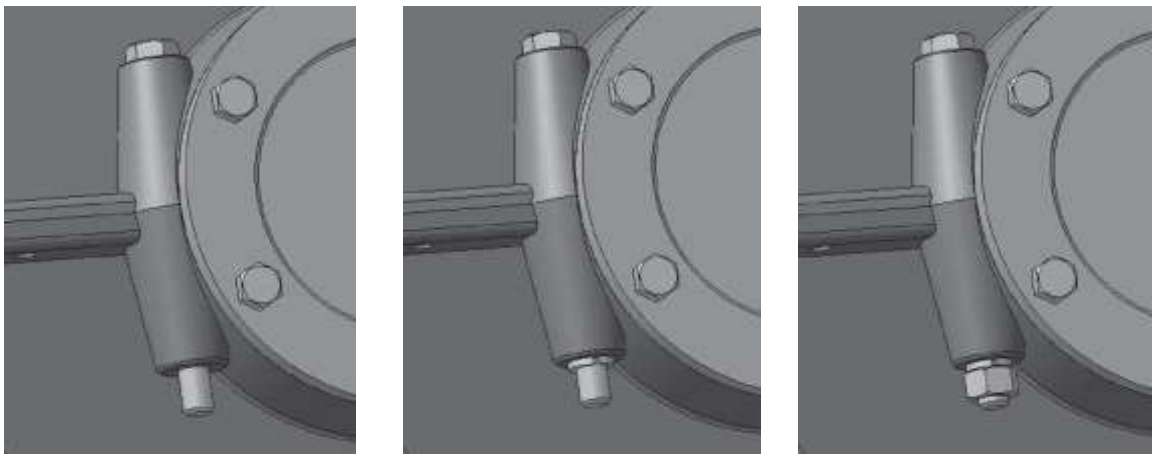
Рисунок 9.12 – Розміщення болтів на кришці

Встановіть кришки і гвинти на інших підшипникових вузлах.

Для покращення зовнішнього вигляду збірки відключаємо відображення початків координат всіх компонентів. Для цього почергово скористуйтесь командами меню *Вигляд*: *Приховати*, *Початки координат*. За допомогою інших команд меню *Вигляд* можете приховати і інші конструктивні елементи збірки (осі, площини, тривимірні криві і ін.).

Закривши кришками всі підшипники, додамо в збірку елементи кріплення. Розкрийте в Менеджері бібліотек бібліотеку кріплення, перейдіть в папку *Болти* і виберіть рядок *Болти зі шестигранною головкою*. Виберіть параметри бібліотечного елемента, що додається в збірку, таким чином: діаметр - 14 мм, довжина - 160 мм (довжина болта визначається з урахуванням того, що сумарна довжина обох бобишок складає 140 мм). Використовуючи автосполучення при вставці компонента з бібліотеки, встановіть болт в отвір однієї з бобишок кришки редуктора

(рис. 9.13, а). Перейдіть в бібліотеці кріплення в папку *Шайби* і виберіть рядок *Шайби пружинні*. З'явиться вікно настроювання параметрів тривимірних моделей пружинних шайб. Зі списку *Тип* виберіть пункт *Нормальний*, а зі списку *Діаметр стрижня* - значення 14. Запустіть процес побудови і вставки шайби в збірку, натиснувши кнопку *ОК*. За допомогою автоматичного накладення сполучень відразу помістіть фантом шайби на вставлений в бобишку болт, а потім сумістіть торцеву поверхню шайби з нижньою опорною поверхнею бобишки корпуса (рис. 9.13, б). Аналогічно додайте в збірку гайку, тим самим завершивши формування кріпильного елемента. Для цього в бібліотеці кріплення перейдіть в папку *Гайки* і виберіть рядок *Гайки шестигранні*. У вікні, що з'явилося, із списку *Тип* виберіть пункт *Нормальні*, а також задайте діаметр гайки, рівний 14 мм. Решту всіх настроювань можете не змінювати. Натисніть кнопку *ОК* і сумістіть отвір фантома гайки зі стрижнем болта, а її торцеву поверхню - з нижньою торцевою поверхнею шайби. Зафіксуйте компонент, натиснувши кнопку *Створити об'єкт*. Вийде готове болтове з'єднання бобишок корпуса і кришки редуктора (рис. 9.13, в).



а) б) в)

Рисунок 9.13 – Формування болтового з'єднання за допомогою бібліотечних елементів: додання болта (а), шайби (б) і гайки (в)

Тепер необхідно створити такі ж кріпильні елементи на всіх бобишках в редукторі. Застосуємо команду побудови масиву. Перейдіть на панель *Редагування збірки* і натисніть кнопку *Масив по сітці*. На вкладці *Вибір об'єктів* на панелі властивостей клацніть на кнопці *Компоненти*. Система перейде в режим, при якому чекатиме вказання компонентів для копіювання. Це означає, що вам необхідно виділити в дереві збірки або прямо у вікні подання моделі базові компоненти для масиву: болт, шайбу і гайку на бобишці. При виділенні не потрібно утримувати натиснутою клавішу Shift або Ctrl, оскільки всі об'єкти, на яких ви клацатимете кнопкою миші після натиснення кнопки *Компоненти*, автоматично додаються в список компонентів для копіювання. Щоб зняти виділення з

будь-якого компонента, необхідно або клацнути на ньому ще раз, або видалити його зі списку компонентів на панелі властивостей.

Перейдіть на вкладку *Параметри* панелі властивостей і натисніть кнопку *Перша вісь*. Система перейде в режим очікування вказання першої осі двовимірного масиву. Слід задати будь-яке прямолінійне ребро в збірці, паралельне осі *Z*. Це може бути, наприклад, одне з ребер з довжиною сторони фланця корпуса або кришки редуктора. У полі N1 введіть кількість копій масиву уздовж першої осі, яка дорівнює 2. Набудуйте напрям зсуву копій за допомогою кнопок - перемикачів групи Напрям 1. Цей напрям може бути різним залежно від того, яке ребро ви вказали як першу вісь, але головне, щоб копії двовимірного масиву зміщувалися вправо від оригіналу. Натисніть кнопку *Друга вісь* і вкажіть ще одне ребро, що визначає другий напрям в двовимірному масиві. Зрозуміло, воно повинне бути прямолінійним і перпендикулярним до першої осі. Як другу вісь також можете вибрати одне з ребер фланця корпуса або кришки редуктора, що знаходиться на короткій стороні фланця. Виділивши ребро, в текстовому полі N2 задайте кількість копій уздовж другої осі також рівне 2. Зробіть так, щоб копії зміщувалися вглиб редуктора. У полях Крок1 і Крок2 введіть величину кроку між копіями елементів уздовж першої і другої осей масиву. Значення цих величин легко визначити на кресленні редуктора, змірявши відстань між центрами отворів під болти в бобишках (значення кроків, рівне відповідно 192 і 221 мм). Натисніть кнопку *Створити об'єкт* для підтвердження створення масиву.

Аналогічно описаному вище створіть болтові з'єднання на бобишках місць кріплення кришок швидкохідного вала (тобто, спочатку вам необхідно вставити болт, шайбу і гайку в одну з бобишок біля кришки веденого вала, а потім створювати їх копії, використовуючи операцію *Масив по сітці*). При копіюванні слід задати значення параметрів, вказані вище, окрім кроку копіювання упродовж першої осі: для провідного вала він дорівнюватиме 167,75 мм (див. рис. 9.14).

Користуючись методикою, викладеною вище, побудуйте масив з кріпильних з’єднань на лівому і правому краях фланців корпуса і кришки. Для цього спочатку зберіть один кріпильний пакет (болт - шайба - гайка) в одному з отворів країв фланців (рис. 9.15), а потім створіть масив по сітці з чотирьох елементів.

Параметри кріпильних деталей, що вставляються з бібліотеки, повинні бути такими:

болт зі шестигранною головкою: діаметр - 10 мм, довжина - 38 мм, тип - нормальний;

шайба пружинна: діаметр - 10 мм;

гайка шестигранна: діаметр - 10 мм, тип - нормальна.

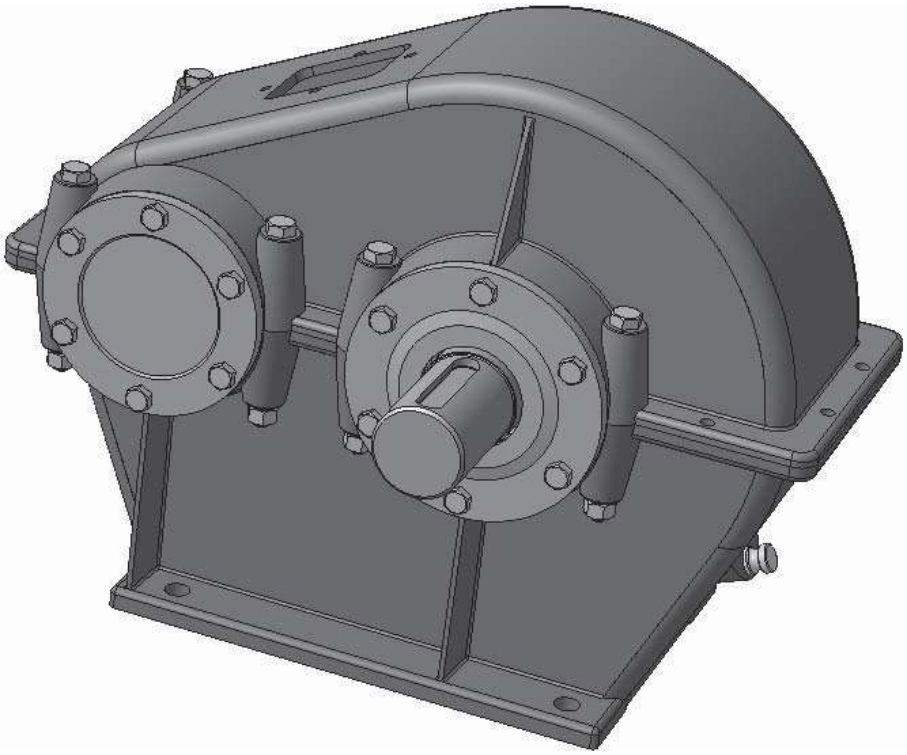


Рисунок 9.14 – З'єднання болтами бобишок кришки і корпуса редуктора за допомогою команди Масив по сітці

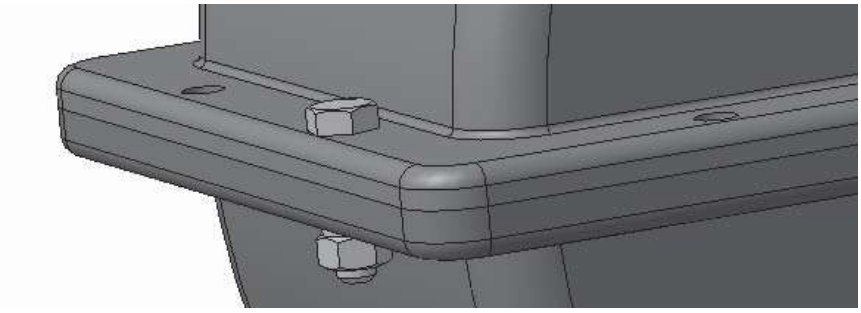


Рисунок 9.15 – Болтове з'єднання фланців корпуса і кришки

При настроюванні параметрів команди *Масив по сітці* як напрямні (осі) можете вибирати будь-які з прямолінійних ребер на гранях фланців або корпуса, або кришки. Крок по кожному з напрямів визначте на кресленні. Уздовж довгої сторони фланця крок сітки масиву складає 618,475 мм, а уздовж короткої - 89 мм.

Два отвори, що залишилися на фланцях з боків редуктора, доведеться заповнити вручну, оскільки створювати масив з двох компонентів недоцільно.

Для завершення натисніть кнопку *Перебудувати* і збережіть збірку.

Завершальним етапом побудови збірки є побудова кришки оглядового отвору, вставити в цю кришку ручку-віддушину, яка дозволяє виходити назовні нагрітим газам при інтенсивній роботі редуктора, і закріпити дану кришку болтами.

Кришку оглядового отвору побудуйте за габаритними розмірами

кришки 150 × 100 мм, діаметр отвору під ручку – 12 мм.

Повернемося до збірки. Викличте команду *Додати з файла*, виберіть файл моделі кришки оглядового отвору і вставте її в будь-якій точці над кришкою редуктора. Встановіть спряження *Збіг об'єктів* між нижньою гранню кришки оглядового отвору і верхньою плоскою гранню кришки редуктора (площиною, на якій повинна лежати кришка). Після цього викличте команду *Співвісна* і задайте спряження між циліндричними поверхнями отвору під болт, що фіксує кришку оглядового отвору, в самій кришці і в кришці редуктора (рис. 9.16). Якщо спряження накладені правильно, то всі отвори в кришці повинні збігатися з отворами в корпусній деталі. Зафіксуйте кришку і призначте їй будь-яке значуще ім'я в дереві побудов.

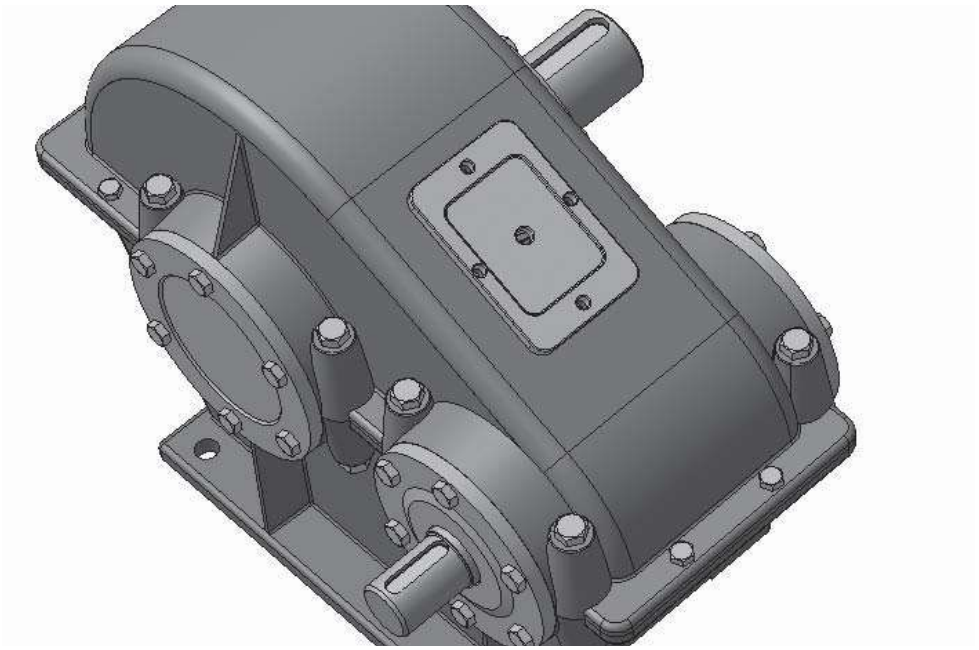


Рисунок 9.16 – Спряження кришки оглядового отвору

Додайте в збірку з файла модель ручки-віддушини і з’єднайте її з центральним отвором в кришці оглядового отвору. Для цього, як завжди, вистачить послідовного застосування двох спряжень - *Співвісна* і *Збіг об’єктів*. Після цього розмістіть в отворах кришки чотири болти (з бібліотеки кріплення) діаметром 8 мм і завдовжки 22 мм.

**Контрольні запитання**

1. Як викликати бібліотеку стандартних виробів?
2. У якому випадку застосовується команда *Збіг об’єктів*?
3. Які параметри налаштування команди *Масив по сітці*?

## Лабораторна робота 10

### *Створення деталі в збірці та виконання розрізу моделі*

**Мета роботи**

Оволодіти навиками створення деталі в збірці та виконання розрізу 3D-моделі за допомогою системи КОМПАС-3D

**Порядок виконання роботи**

Продовжуємо роботу з редуктором. На деякий час зробіть невидимими (за допомогою команди *Приховати* контекстного меню кожного компонента в дереві зборки) кришку редуктора і зубчате колесо. Це зроблено для того, щоб вони не заважали нам під час побудови. Визначте плоску грань в шпоні паза під колесом на веденому валу (рис. 10.1) і натисніть кнопку *Створити деталь*. Система запропонує ввести ім'я створюваного компонента і вказати шлях, куди зберігати файл нової деталі. Назвіть файл і збережіть його в одну папку зі всіма файлами редуктора.

Після збереження файла збірка перейде в режим контекстного редагування, всі пасивні деталі будуть відображені зеленим кольором, а на вибраній площина відразу запуститься процес формування ескіза першої (базової) формоутворювальної операції нової деталі.

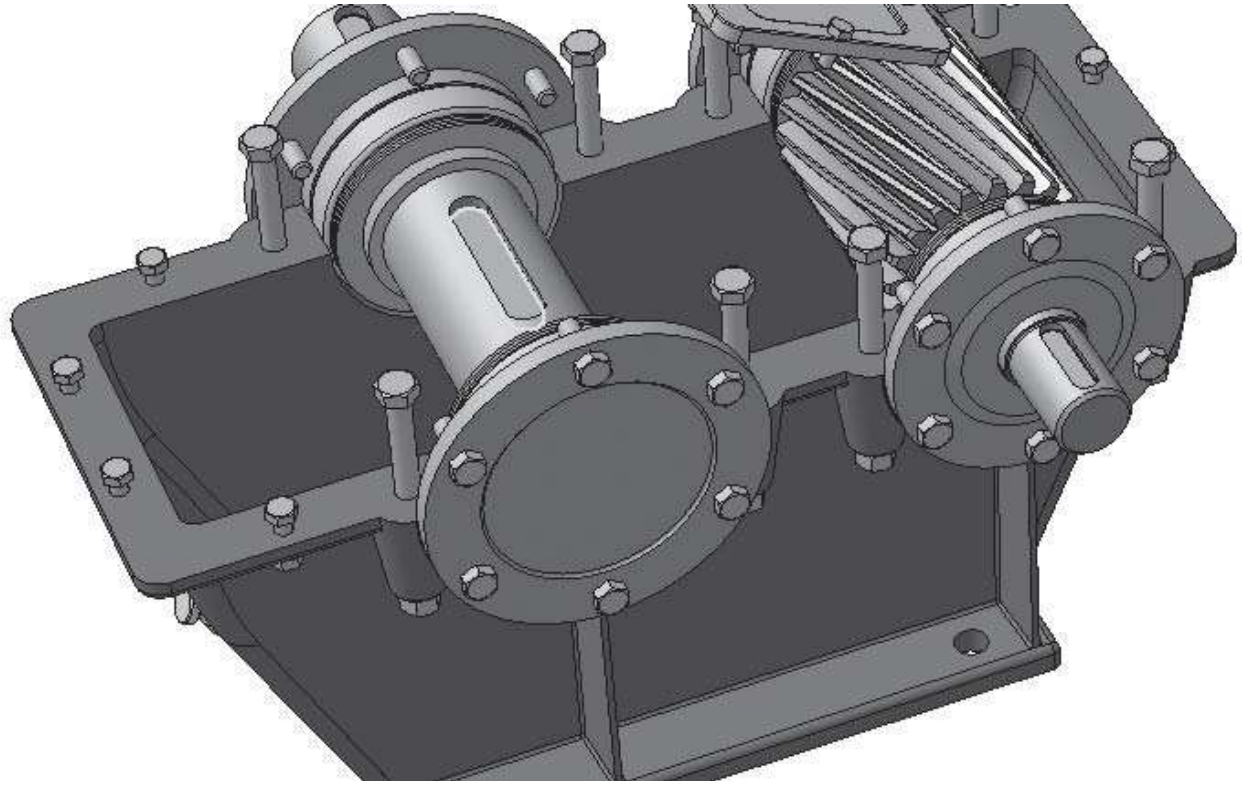


Рисунок 10.1 – Видалення упорної плоскості для утворення деталі в контекстній збірці

Побудуйте профіль паза під шпонку. Створіть елемент витискування

на побудованому ескізі, величину витискування встановите рівною 14 мм (висота шпонки береться з довідкової літератури), напрям - прямий.

Після витискування, не виходячи з режиму редагування деталі, відключіть видимість веденого вала, щоб мати доступ до нижньої грані шпонки. За допомогою операції *Скруглення* створіть заокруглення радіусом 1 мм на верхній і нижній гранях шпонки. Завершіть процес контекстного редагування деталі, для чого слід відтиснути кнопку *Редагувати на місці* на панелі інструментів *Поточний стан*. Модель призматичної шпонки, що з'єднує ведений вал із зубчатим колесом, готова, причому відразу розміщена в потрібному місці складки (рис. 10.2).

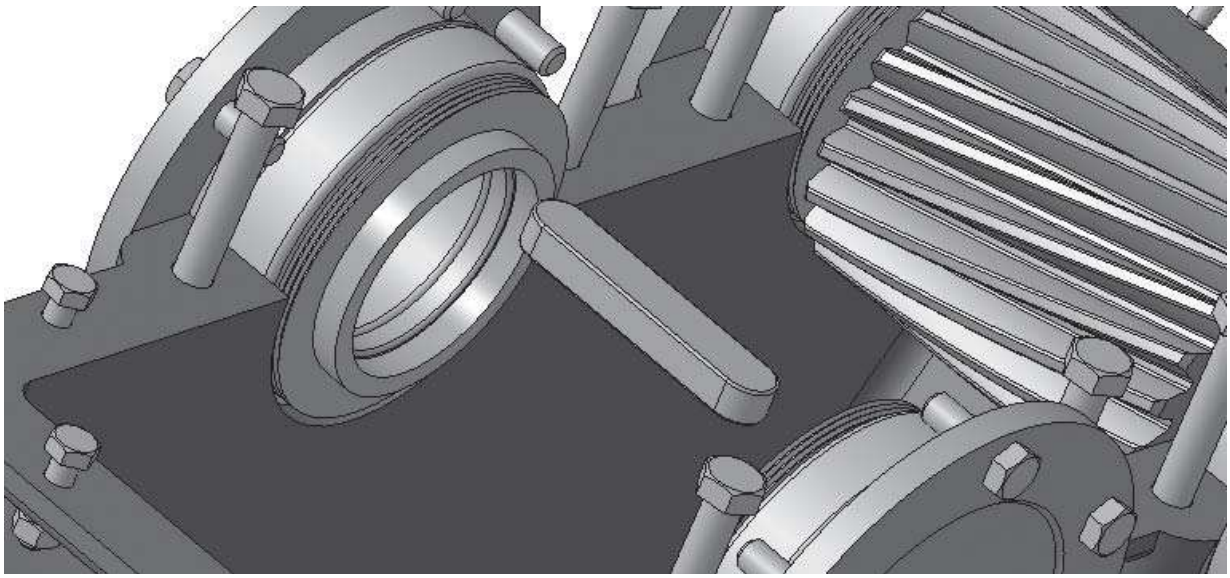


Рисунок 10.2 –Шпонка спроектована прямо в збірці

Після завершення моделювання відновіть видимість раніше прихованих компонентів.

Таким же способом побудуйте ще дві шпонки на вихідних ділянках обох валів. Висоту шпонок прийміть рівною 9 мм на швидкохідному валу і 12 мм на тихохідному. За бажання ви можете додати шпонки в збірку звичайним способом, тобто просто завантаживши їх з файлів.

Повна 3D-модель одноступінчатого циліндричного косозубого редуктора готова (рис. 10.3).

Виконаємо розріз отриманої моделі.

Найпростіший варіант – створити переріз за допомогою однієї з площин (наприклад ортогональної). Проте в цьому випадку модель втрачає реалістичність, складно уявити собі реальні габарити об'єкта, до того ж при використанні січної площини можуть бути відсічені важливі конструктивні елементи і навіть цілі деталі. З даної причини рекомендую виконати переріз по ескізу, підібравши його так, щоб не порушити реалістичне подання моделі і, разом з тим, максимально показати її склад.

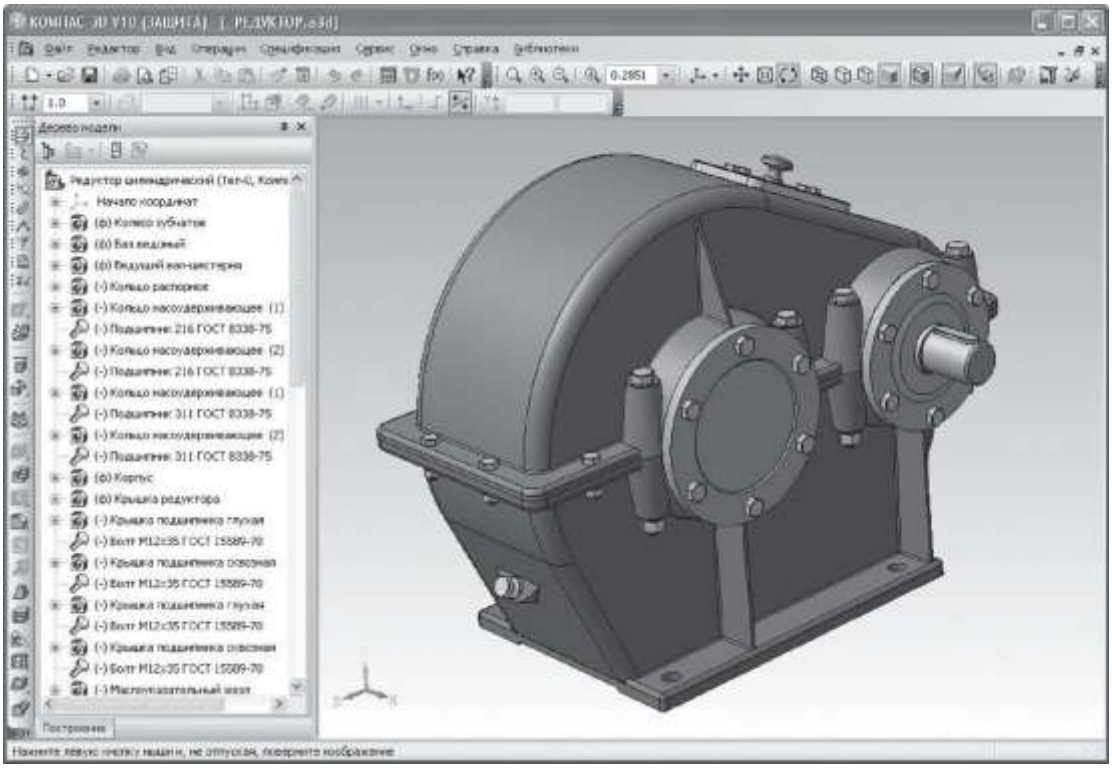


Рисунок 10.3 – 3D-модель одноступінчатого редуктора

Виділіть в дереві збірки площину *XY* і натисніть кнопку *Ескіз*. Створіть в ескізі зображення з трьох відрізків (рис. 10.4).

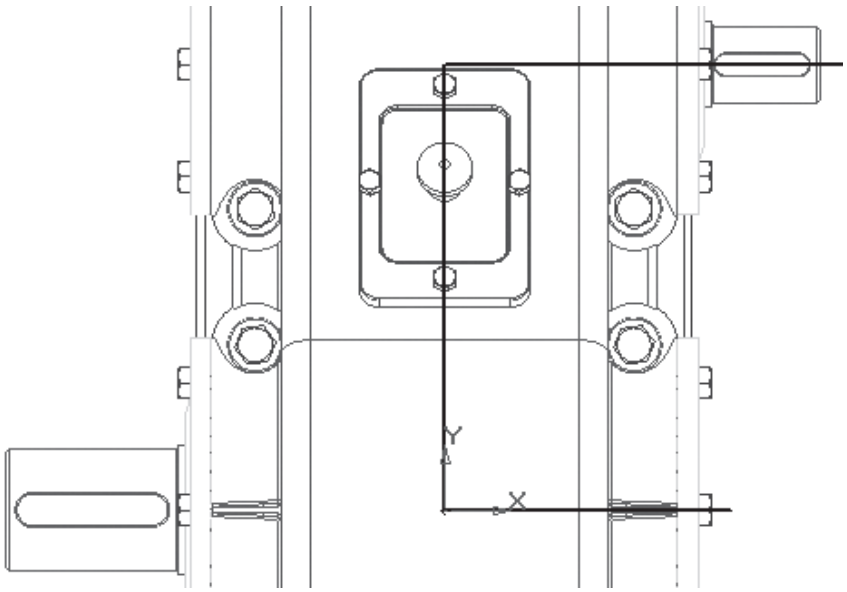



Рисунок 10.4 – Ескіз для створення вирізу

Вертикальний відрізок повинен починатися в точці початку координат ескіза, а довжина його повинна дорівнювати 259 мм (міжосьовій відстані). Початкові точки двох горизонтальних відрізків збігаються з кінцевими точками горизонтального відрізку. Довжина цих двох відрізків не так

важлива, головне, щоб їх кінці (краї побудованого контуру) виходили за межі тіл збірки.

Вийдіть з режиму редагування ескіза і, не знімаючи з нього виділення, натисніть кнопку *Переріз по ескізу* на панелі інструментів *Редагування збірки*. Встановіть прямий напрям відсікання, але не поспішаєте створювати операцію. Якщо ми зараз виконаємо переріз, то із збірки буде видалений весь матеріал, який потрапляє в зону відсікання. При цьому, окрім корпусних деталей і кришок підшипників, буде видалена частина матеріалу валів, зубчатих коліс і ін., тобто якраз частина того, що ми зібралися показувати. У настроюваннях операції *Переріз по ескізу* передбачена можливість встановлення обмеженого набору тіл, на які ця операція розповсюджуватиметься.

Натисніть кнопку *Область застосування* на панелі спеціального управління, після чого на панелі властивостей з'явиться група кнопок *Застосування* і *список компонентів*, для яких застосовуватиметься дана операція. Натисніть кнопку-перемикач *Вибрані компоненти* і в дереві збірки або ж у вікні моделі вкажіть ті компоненти, які необхідно розтинати. До цих компонентів слід віднести: корпус і кришку редуктора, кришки підшипників зі сторони відсікання, всі кріпильні елементи, які повністю потрапили в зону відсікання (включаючи копії масивів), кришку оглядового отвору, а також по два фіксувальні гвинти на кожній кришці підшипника, перерізи, що також потрапили в область. Натисніть кнопку *Створити об'єкт*, щоб підтвердити завершення вибору компонентів (рис. 10.5).

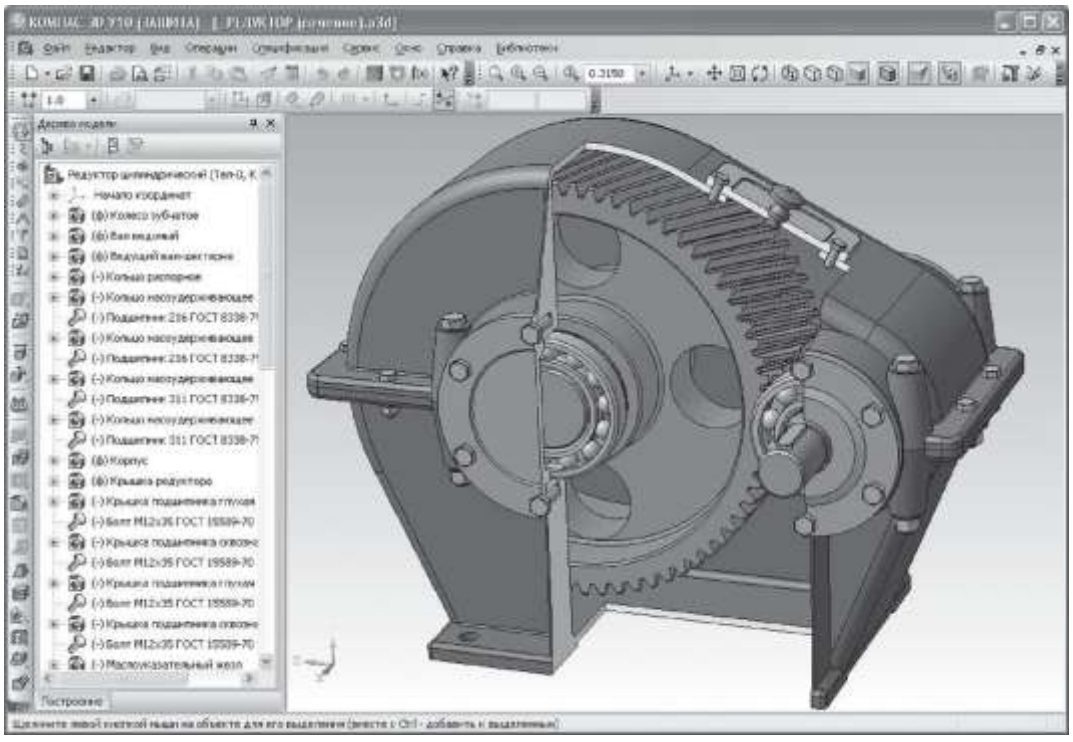


Рисунок 10.5 – Виріз в моделі редуктора

Тепер добре видно структуру редуктора, включаючи зачеплення, компонування підшипникових вузлів, фіксацію кришок і т. п., при цьому сама модель не спотворена.

**Контрольні запитання**

1. Як відбувається створення моделі при використанні команди *Створити деталь*?
2. У якому випадку необхідно застосовувати команду *Редагувати на місці*?
3. Які параметри налаштування команди *Область застосування*?

## ВИСНОВКИ

У даних лабораторних роботах ми розглянули тривимірне моделювання в середовищі КОМПАС-3D. Сумлінне виконання лабораторних робіт дозволяє ґрунтовно закріпити теоретичний матеріал і отримати хороші навики проектування.

У теоретичних відомостях були висвітлені характерні аспекти твердотільного моделювання моделі редуктора, а також особливості їх реалізації в тривимірному редакторі КОМПАС. В лабораторних роботах стисло описані більшість команд для побудови формоутворювальних операцій і допоміжних об'єктів, розказано про властивості тривимірних об'єктів і методи управління ними, достатньо детально описані принципи побудови деталей і збірок.

У лабораторних роботах розглянуто побудову повної тривимірної моделі редуктора та кожної окремої деталі (при цьому виокремлюється методика побудова вінців зубчатих коліс, черв'яка, черв'ячного колеса і складання їх в черв'ячну передачу, а також описується весь процес розробки 3D-моделей складних корпусних деталей), а також – порядок створення збірки і розміщення в ній окремих деталей.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Інженерна та комп’ютерна графіка : підручник / [В. Є. Михайленко, В. М. Найдиш, А. М. Підкоритов та ін.]; за ред. В. Є. Михайленка. – К. : Вища школа, 2000. – 342с.

2. Чертежно-графический редактор КОМПАС-3D : практ. руководство. – СПб. : АСКОН, 2001. – 474 с.

3. Ганин Н. Б. КОМПАС-3D V8. / Ганин Н. Б. – М. : ДМК Пресс, 2007. – 392 с.

4. Кидрук М. КОМПАС-3D V8. / Кидрук М. – СПб. : Питер, 2008. – 554 с.

*Навчальне видання*

# Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін «Комп'ютерна графіка в технологічному проектуванні» та «Комп'ютерна графіка в машинобудуванні»

Редактор В. Дружиніна
Коректор З. Поліщук

Укладачі: Юрій Володимирович Булига
Сергій Іванович Сухоруков

Оригінал-макет підготовлено С. Сухоруковим

Підписано до друку
Формат 29,7×42 ¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різографічний. Ум. друк. арк.
Тираж прим. Зам. №

Вінницький національний технічний університет,
навчально-методичний відділ ВНТУ.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, к. 2101.
Тел. (0432) 59-87-36.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-87-38.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.