

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Кафедра “Матеріалознавство та ливарне виробництво”

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
з курсу “Комп’ютерне проектування обладнання ливарного виробництва”
для студентів спеціальності 131 “Прикладна механіка”

Затверджено на засіданні кафедри
“Матеріалознавство та ливарне виробництво”
протокол № 2 від 14. 12. 2018. р

Кропивницький 2019

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП.....	4
1. Створення геометричних тіл, обмежених плоскими поверхнями. Багатогранники.....	6
2. Створення геометричних тіл, обмежених кривими поверхнями. Тіла обертання.....	12
3. Моделювання простого корпусу.....	19
4. Моделювання підшипника за ДСТУ 8338-75.....	24
5. Моделювання тіла обертання.....	33
6. Моделювання циліндричного зубчастого колеса.....	46
7. Моделювання конічного зубчастого колеса.....	59
8. Створення складання вузла механізму.....	67
9. Створення креслення корпусу по моделі.....	77
Література.....	87

ВСТУП

Курс **"Комп'ютерне проектування обладнання ливарного виробництва"** складається із двох тем: тема 1 **"Конструктивні елементи та параметричні змінні"** – 4 тижня; тема 2 **"Загальні принципи моделювання обладнання ливарного виробництва (зборки)"** – 10 тижнів.

Методичні вказівки охоплює питання тем 1 – 2.

Проведення лабораторної роботи, оформлення і захист звіту

Лабораторні роботи проводяться під керівництвом викладача. В основу кожної лабораторної роботи покладено принцип максимальної самостійності студентів. Початку роботи передуює бесіда, у якій студенти одержують інструктаж з техніки безпеки і розписуються у відповідному журналі. Перед виконанням чергової роботи викладач перевіряє підготовку студентів до занять, повідомляє деякі теоретичні відомості, які відносяться до даної роботи. При виконанні лабораторної роботи студенти заносять результати у відповідні файли, виконують їх обробку і редагування. По закінченню роботи складається звіт. Оформлений звіт захищається студентом перед початком наступної роботи. Студенти, які пропустили лабораторну роботу, виконують її наприкінці семестру поза розкладом, за спеціальним графіком.

Звіт включає наступне:

- назва лабораторної роботи та мета її виконання;
- теоретичні відомості;
- приводять креслення відповідних деталей і частин вузлів в 2D і 3D видах;
- аналіз отриманих результатів, висновки, обґрунтування прийнятих рішень.

Порядок проведення поточного, і семестрового контролю

При вивченні курсу "**Комп'ютерне проектування обладнання ливарного виробництва**" використовуються такі види контролю: вхідний, поточний, підсумковий. Вхідний контроль проводиться на початку вивчення дисципліни і передбачає оцінку знань студентів на початку вивчення курсу.

Поточний контроль передбачає перевірку рівня засвоєння визначеної системи елементів знань та вмінь студента з тієї чи іншої теми. Поточний контроль проводиться під час лекцій, лабораторних занять або в позааудиторний час. Студент допускається до складання поточного контролю *за умови* повного виконання завдань, передбачених робочою навчальною програмою. Проведення поточного контролю проводиться у *тестовій* формі. Результати перевірки тестових контрольних завдань доводяться до відома студентів після проведеного поточного контролю.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Створення геометричних тіл, обмежених плоскими поверхнями.



Багатогранники


Мета роботи: Навчитися створювати геометричні тіла, обмежені плоскими поверхнями

Хід виконання роботи

Розглянемо створення багатогранників (куб, паралелепіпед, призма, піраміда, усічена піраміда) у системі КОМПАС-3D.

1. **Куб** - призма, усі грані якої квадрати. Для створення кубу виконайте наступні операції:

- включіть комп'ютер;
- запустите програму КОМПАС-3D;
- виберіть тип документа деталь;
- у Дереві побудови клацанням ЛКМ вкажіть площину XY. Створення тривимірної моделі починається з побудови ескізу її основи. Із цією метою необхідно вказати одну із трьох площин, на якій буде виконуватися побудова. Площини показуються на екрані умовно – у вигляді прямокутників, які лежать у цих площинах [1]. Таке відображення дозволяє представити положення площини в просторі. При цьому ви повинні пам'ятати, що площина – нескінченна (рис. 1.1);
- площина для побудови повинна бути розташована паралельно площині екрана. Система КОМПАС-3D створить дане положення автоматично. Для версій нижче 8 на панелі видів встановіть орієнтацію **нормально до** (площина буде розташована паралельно площині екрана) (рис. 1.2);
-  – Ескіз панель Інструментів **Поточний стан**. На Компактній панелі ви знайдете знайомі вже вам команди для побудови ескізу;
-  – інструментальна панель Геометрія;

- поточний масштаб на Інструментальній панелі вид М 1:1;
- побудуйте  – прямокутник висотою 40 мм і шириною 40 мм (рис. 1.2);
- перервіть команду;

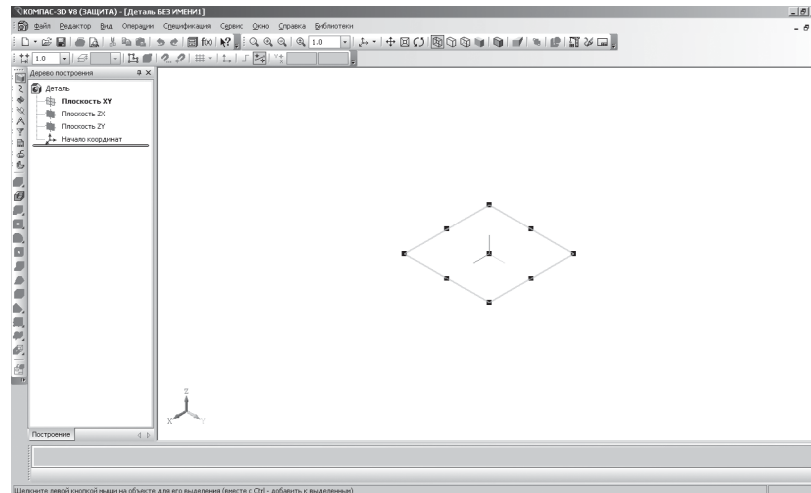


Рисунок 1.1 - Вибір площини побудови

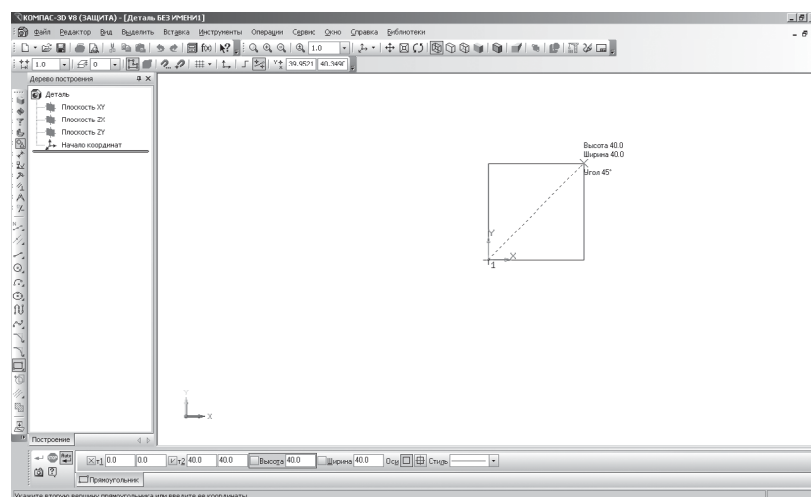






Рисунок 1.2 - Побудова ескізу

-  – Ескіз панель Інструментів **Поточний стан**. Клацанням ЛКМ перейдіть у режим тривимірного моделювання;
- у Дереві побудови піктограм  **Ескиз:1** – зеленого кольору і ескіз на екрані теж зеленого кольору, тобто об'єкт
- виділений. Можна виконувати наступні операції. Якщо піктограма синього кольору, а ескіз на екрані не зелений, то виділите ескіз у Дереві побудови клацанням ЛКМ;
-  – операція видавлювання інструментальна панель – **Редагування деталі**;

- ☐ - на панелі властивостей на вкладці параметри вкажіть напрямок видавлювання (нагору), глибина видавлювання – на відстань, у поле **Відстань 1** введіть 40 мм, **Кут 1** рівний 0° (грані куба вертикальні) (рис. 1.3);
- на панелі властивостей на вкладці **Тонка стінка** вкажіть тип побудови тонкої стінки – немає (рис. 1.4);
-  – створить об'єкт, панель спеціального керування;
- На Інструментальній панелі Вид виберіть команду **Півтонове** (рис 1.3).
На даній панелі можна вибрати кілька типів відображення моделі.

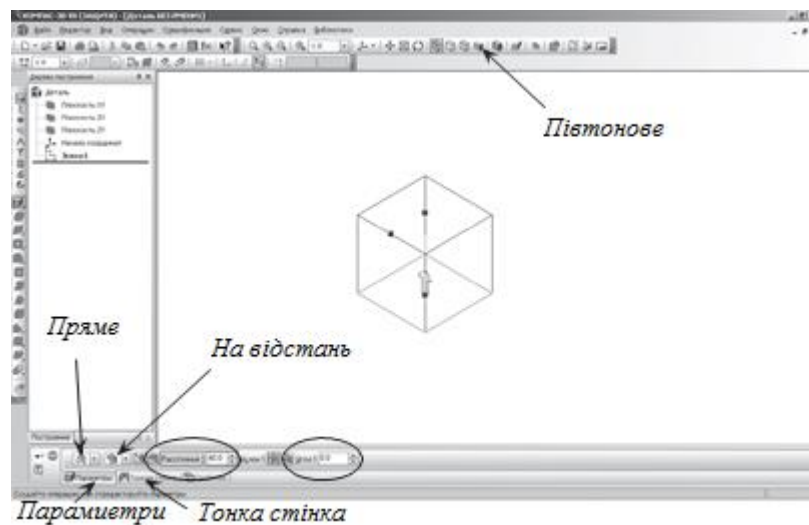


Рисунок 1.3 - Керування параметрами елемента

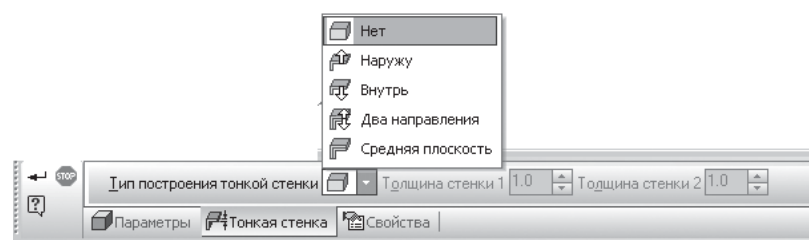



Рисунок – 1.4 Вибір типу побудови тонкої стінки

Яким би не був тип відображення, він не впливає на властивості моделі. Наприклад, при виборі каркасного відображення модель залишається суцільною і твердотільною, а не перетворюється в дротову (її поверхня і матеріал не показуються на екрані) [2].

Система КОМПАС-3D дозволяє розглянути об'єкти з усіх боків. Для зміни орієнтації моделі скористайтесь командою повороту моделі –  Інструментальна панель вид (рис. 1.5).

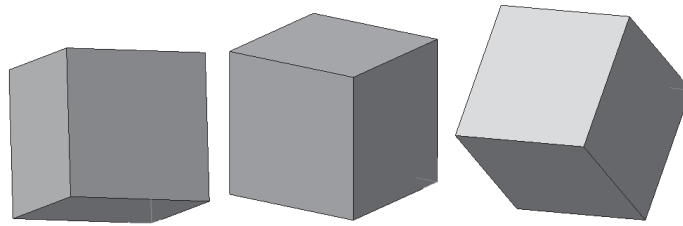







Рисунок 1.5 – Зміна орієнтації моделі

2. **Піраміда** – це багатогранник, одна із граней (основа) якого – багатокутник, а інші грані – трикутники із загальною вершиною. Для створення піраміди виконайте наступні операції:

- виберіть тип документа деталь;
- у Дереві побудови клацанням ЛКМ укажіть площину XY;
- орієнтація **Нормально до...**;

 – Ескіз панель Інструментів **Поточний стан**;

 – інструментальна панель **Геометрія**;

- поточний масштаб на Інструментальній панелі видМ 1:1;
- викличте панель розширених команд кнопки  прямокутник і виберіть  багатокутник;
- вкажіть початок координат;
- у поле **Кількість вершин** панелі властивостей виберіть значення 3;
- активізуйте перемикач  – **По описаному колу**;
- у поле радіус введіть значення 30;
- ортогональне креслення. Розташуєте трикутник, як показано на рис. 1.6;
- створіть об'єкт (клацання ЛКМ по об'єкту);
- перервіть команду;
-  – Ескіз панель Інструментів **Поточний стан**. Клацанням ЛКМ перейдіть у режим тривимірного моделювання;
-  – операція видавлювання інструментальна панель на відстань, у поле **Відстань 1** введіть 40 мм, **Ухил 1** всередину, **Кут 1** рівний 20, 5° (рис. 1.7);

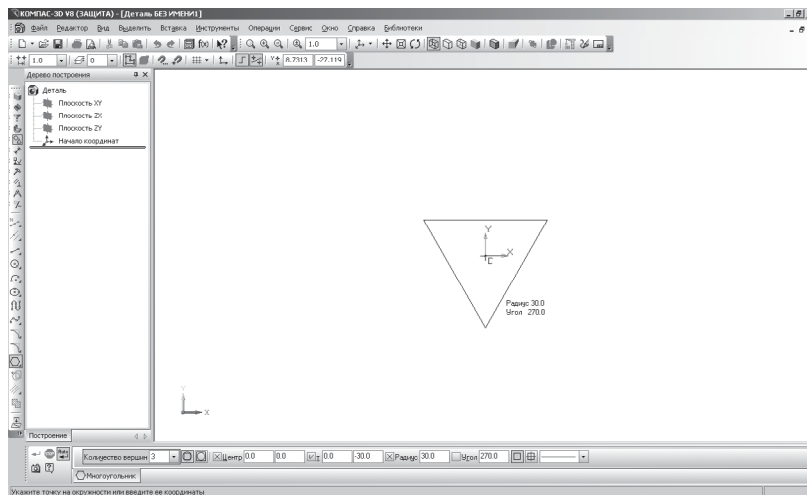



Рисунок 1.6 - Створення ескізу основи

- на панелі властивостей на вкладці Тонка стінка вкажіть тип побудови тонкої стінки – немає;
-  – створіть об'єкт;

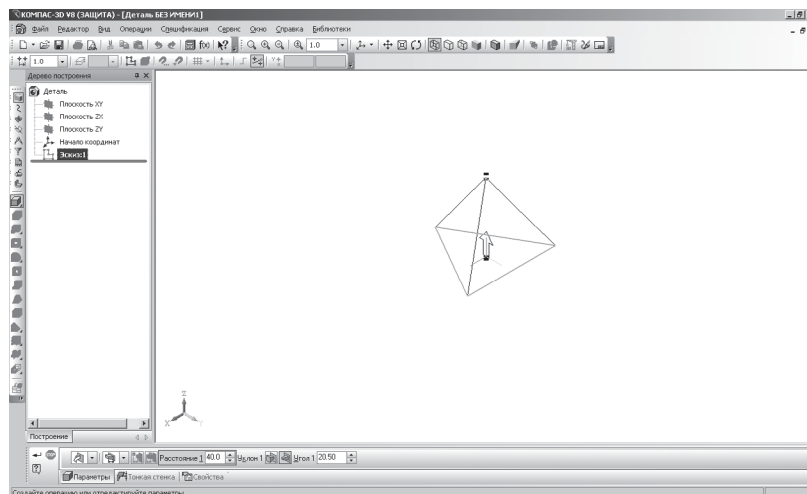


Рисунок 1.7 - Створення тривимірної моделі

- на Інструментальній панелі Вид виберіть команду полутонове, півтонове з каркасом (рис. 1.8).

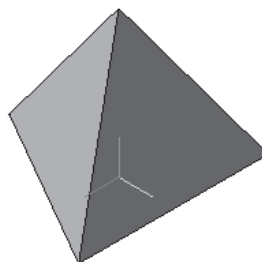







Рисунок 1.8 - Трикутна піраміда

3. **Призма** – багатогранник, дві грані якого (основи) – рівні багатокутники, а інші грані (бічні) – багатокутники. Для створення призми виконайте наступні операції:

- виберіть тип документа **деталь**;
- у Дереві побудови клацанням ЛКМ вкажіть площину XY;
- орієнтація **Нормально до...**;
-  – Ескіз панель Інструментів **Поточний стан**;
-  – інструментальна панель **Геометрія**;
- поточний масштаб на Інструментальній панелі вид M 1:1;
- викличте панель розширених команд кнопки  – прямокутник і виберіть 
- багатокутник;
- вкажіть початок координат;
- у поле **Кількість вершин** панелі властивостей виберіть значення 6;
- активізуйте перемикач  – По описаному колу;
- у поле радіус введіть значення 30;
- ортогональне креслення. Розташуєте шестикутник, як показано на рис. 1.9;

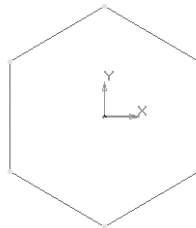





Рисунок 1.9 – Основа призми

- створіть об'єкт (клацання ЛКМ по об'єкту);
- перервіть команду;
-  – Ескіз панель Інструментів **Поточний стан**. Клацанням ЛКМ перейдіть у режим тривимірного моделювання;
-  – операція видавлювання інструментальна панель - **Редагування деталі**;
- на панелі властивостей на вкладці **Параметри** вкажіть **Напрямок видавлювання** (нагору), **Глибина видавлювання** – на відстань, у полі **Відстань 1** введіть 60 мм, **Кут 1** рівний 0° (призма пряма – бічні грані вертикальні);

- на панелі властивостей на вкладці **Тонка стінка** вкажіть тип побудови тонкої стінки – немає;
-  – створіть об'єкт;
- на Інструментальній панелі **Вид** виберіть команду **полутонове, півтонове з каркасом** (рис. 1.10).

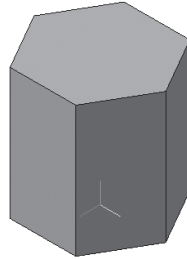


Рисунок 1.10 - Шестикутна призма

Завдання для самостійної роботи

Побудувати за номером варіанта та ескізом багатокутник, який наведено на рис. 1.11.

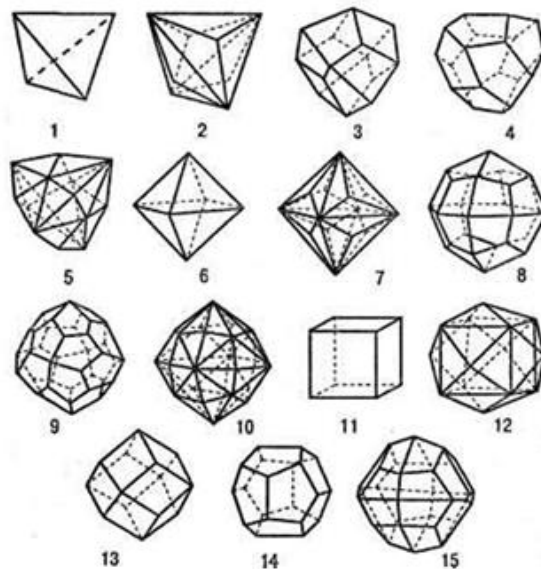


Рисунок 1.11 – Ескізи багатокутників

Контрольні запитання

1. Дайте визначення багатокутника?

2. Які багатокутники називаються опуклими?
3. Який багатокутник називають призмою?
4. Назвіть види призм і чим вони відрізняються одна від одної?
5. Скільки типів правильних багатокутників існує?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Створення геометричних тіл, обмежених кривими поверхнями. Тіла обертання


Мета роботи: Навчитися створювати геометричні тіла, обмежені кривими поверхнями








Хід виконання роботи

Тіла обертання – геометричні тіла, отримані шляхом обертання геометричної фігури або її частини навколо осі. Створення тіл обертання (циліндр, конус, усічений конус) у системі КОМПАС-3D можливо двома способами: обертанням і видавлюванням.

Створення тіл обертання: куля, тор, глобод – у системі КОМПАС-3D можливо тільки обертанням. Спосіб видавлювання аналогічний побудові багатогранників. Розглянемо створення даних тіл способом обертання [2]:

1. **Циліндр** – це геометричне тіло, утворене обертанням прямокутника навколо однієї з його сторін. Для створення циліндру виконайте наступні операції:

- включите комп'ютер;
- запустите програму КОМПАС-3D;
- виберіть тип документа деталь;
- у Дереві побудови клацанням ЛКМ вкажіть площину XY;
- орієнтація **Нормально до...**;
-  – Ескіз панель Інструментів **Поточний стан**;

-  – інструментальна панель Геометрія;
- поточний масштаб на Інструментальній панелі вид М 1:1;
- побудуйте вертикальний відрізок стилем осьова з початку координат довжиною 50 мм;
- змініть стиль на основну;
- перервати команду;
- за допомогою безперервного введення відрізка та ортогонального креслення побудуйте ескіз прямокутника довжина 20 мм, висота 50 мм (рис. 2.1);
- перервати команду;
-  – Ескіз панель Інструментів Поточний стан. Клацанням ЛКМ перейдіть у режим тривимірного моделювання;
- викличте панель розширених команд кнопкою  – операція видавлювання інструментальна панель  – Редагування деталі і виберіть  – операція обертання;
- на панелі властивостей на вкладці параметри вкажіть спосіб побудови  – сфероїд (побудова суцільного елемента), напрямок обертання 360° (рис. 2.1);
- на панелі властивостей на вкладці **Тонка стінка** вкажіть тип побудови тонкої стінки – немає;
-  – створіть об'єкт;
- на Інструментальній панелі **Вид** виберіть команду полутонове, півтонове з каркасом (рис. 2.1).

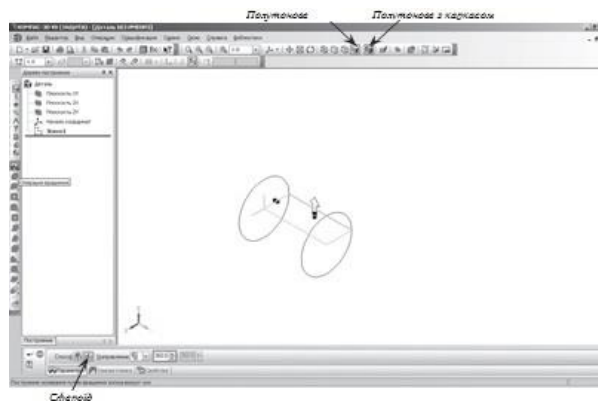


Рисунок 2.1 – Спосіб побудови Циліндру

– на рядку меню виберіть **Сервіс – Параметри** (рис. 2.2), після клацання ЛКМ розкриється діалогове вікно, вкажіть **Поточна деталь – Точність відображення та МЦХ** (масо-центруюча характеристика). У довідковому полі діалогу буде показаний умовний коефіцієнт точності відображення – кількість трикутників, а у вікні перегляду – зображення поверхні сфери при обраному ступені точності. «Бігунок», утримуючи ЛКМ, переведіть у положення **Точно**. Налаштувавши точність відображення і розрахунків, натисніть кнопку **ОК** діалогу (рис. 2.3). Чим вище точність, тим більше «гладким» виглядає зображення;

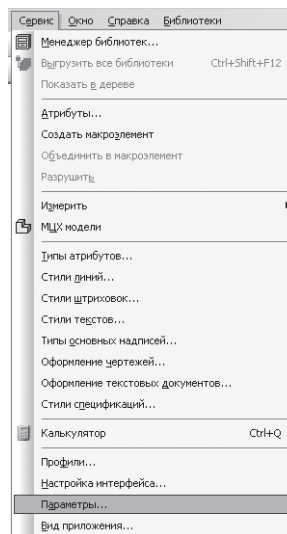


Рисунок 2.2 – Вікно діалогу

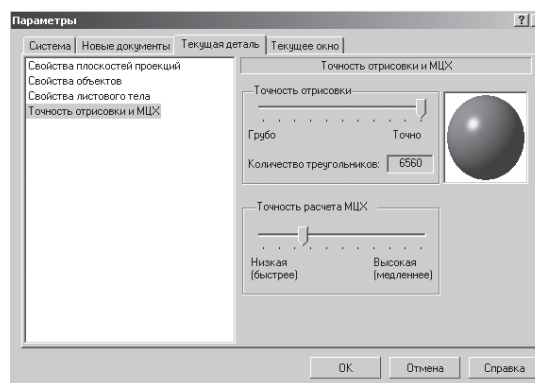


Рисунок 2.3 – Вкладка параметри

– система автоматично уточнила форму циліндра (рис. 2.4).

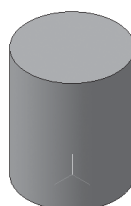


Рисунок 2.4 - Циліндр

2. **Куля** – геометричне тіло, утворене обертанням половини кола навколо своєї осі, яка проходить через його центр. Для створення кулі виконайте наступні операції [3]:

- виберіть тип документа **деталь**;
- у Дереві побудови клацанням ЛКМ вкажіть площину **XY**;
- орієнтація **Нормально до...**;

 – Ескіз панель Інструментів Поточний стан. Клацанням ЛКМ перейдіть у режим тривимірного моделювання

- поточний масштаб на Інструментальній панелі вид **M 1:1**;
- побудуйте вертикальний відрізок стилем **осьова** з початку координат довжиною **20 мм** нагору і вниз (рис. 2.5, а);

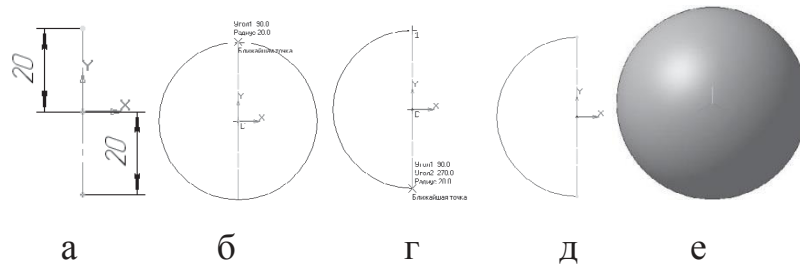


















Рисунок 2.5 – Створення тривимірної моделі кулі

- змініть стиль на **основну**;
-  – дуга. Вкажіть початок координат клацанням ЛКМ – центр дуги;
- вкажіть верхню точку осьової лінії (спрацює глобальна прив'язка **Найближча точка**) – рис. 2.5, б;
- потягніть дугу та вкажіть нижню точку осьової лінії (спрацює глобальна прив'язка **Найближча точка**) – рис. 2.5, г;
- перервіть команду;
-  – Ескіз панель Інструментів Поточний стан. Клацанням ЛКМ перейдіть у режим тривимірного моделювання;
- викличіть панель розширених команд кнопки  – операція видавлювання  інструментальна панель – Редагування деталі та виберіть  – операцію обертання;
- на панелі властивостей на вкладці **Параметри** вкажіть спосіб побудови  – сфероїд (побудова суцільного елемента), напрямок обертання **360°**;

- на панелі властивостей на вкладці Тонка стінка вкажіть тип побудови тонкої стінки – немає;
-  – створіть об'єкт;
- на Інструментальній панелі Вид виберіть команду полутонове, півтонове з каркасом (рис. 2.5, е);
- на рядку меню виберіть **Сервіс – Параметри**, після натиснення ЛКМ розкриється діалогове вікно, вкажіть **Поточна деталь – Точність відображення** та МЦХ. «Бігунок», утримуючи ЛКМ, переведіть у положення Точно – ОК.

3. Тор відкритий – утворений обертанням кола навколо осі, розташованої поза ним. Для створення тору виконайте наступні операції:

- виберіть тип документа деталь;
- у Дереві побудови клацанням ЛКМ вкажіть площину ХУ;
- орієнтація **Нормально до...**;
-  – ескіз панель Інструментів **Поточний стан**;
-  – інструментальна панель Геометрія;
- поточний масштаб на Інструментальній панелі вид М 1:1;
- побудуйте вертикальний відрізок стилем осьова з початку координат довжиною 20 мм нагору і вниз;
- змініть стиль на основну;
- перервіть команду;
-  – паралельна пряма панелі розширених команд, яка розкривається при натисненні кнопки допоміжна пряма;
- вкажіть вертикальну осьову лінію і розведіть паралельні на відстань 40 мм. Підтвердіть пряму лінію з лівої сторони;
-  – коло;
- встановіть глобальну прив'язку вирівнювання – ;
- знайдіть центр кола (рис. 2.6, а);
- побудуйте коло радіусом 20 мм (рис. 2.6, б);
- перервіть команду;

- викличіть панель розширених команд кнопки  – операція видавлювання інструментальна панель  – Редагування деталі виберіть  – операція обертання;
- на панелі властивостей на вкладці параметри спосіб побудови не вказується, тому що при такій побудові ескізу можливо створити тільки елемент з отвором уздовж осі обертання (тора), напрямком обертання 360°;
- на панелі властивостей на вкладці Тонка стінка вкажіть тип побудови тонкої стінки – немає;
-  – створіть об'єкт;
 - на Інструментальній панелі **Вид** виберіть команду полутонове, півтонове з каркасом;
 - на рядку меню виберіть **Сервіс – Параметри**, після натиснення ЛКМ розкриється діалогове вікно, вкажіть **Поточна деталь – Точність відображення та МЦХ. «Бігунок»**, утримуючи ЛКМ, переведіть у положення Точно – ОК.

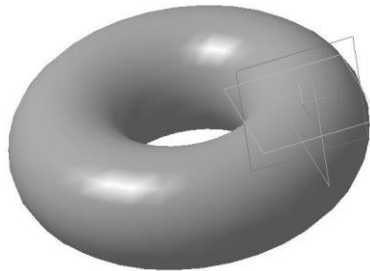


Рисунок 2.5 – Тривимірна модель тору

Завдання для самостійної роботи

Побудувати за номером варіанта та ескізом тіло обертання, яке наведено на рис. 2.6.

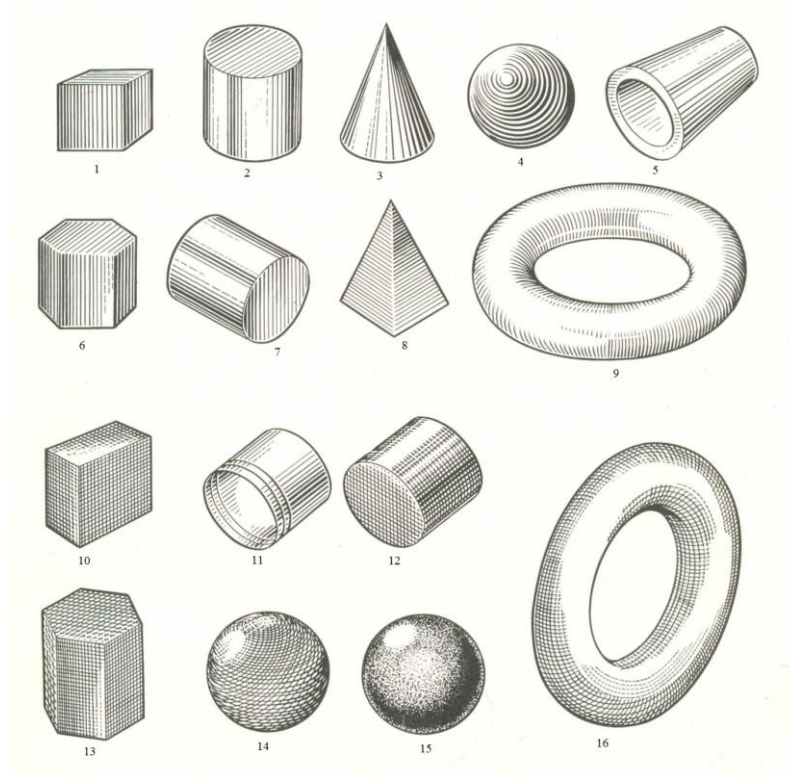


Рисунок 2.6 – Ескізи тіл обертання

Контрольні запитання

1. Які тіла обертання вам знайомі?
2. Яке тіло буде отримано в результаті обертання прямокутника?
3. Яке тіло буде отримано в результаті обертання кола?
4. Які фігури є перетинами циліндра і шара?
5. Яке тіло називається тілом обертання?

Лабораторна робота № 3

Моделювання простого корпусу

Мета роботи: Провести аналіз конструкції корпусу, виявіть з яких геометричних елементів він складається і який із усіх можливих варіантів моделювання є більш раціональним.

Хід виконання роботи

Розглянемо побудову простого корпусу. В нашому випадку ширина корпусу однакова, то раціональніше буде операція видавлювання контуру на задану величину (рис. 3.1).

Етапи побудови корпусу:

1. Створіть ескіз на площині **XY** згідно з рис. 3.1.

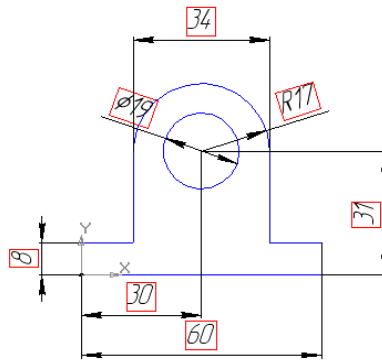


Рисунок 3.1 – Ескіз простого корпусу

2. Видавть цей ескіз на 20 мм. Вкладений контур (на ескізі – коло) створює при видавлюванні отвір заданого профілю і розміру [3].

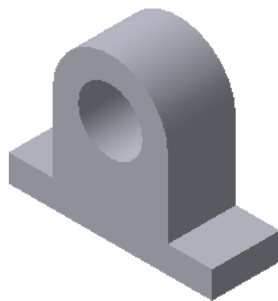


Рисунок 3.2 – Модель корпусу

3. Вибираємо передню торцеву поверхню корпусу, при цьому курсор буде у вигляді хрестика зі значком поверхні і побудуємо на ній наступний ескіз у вигляді кола діаметром 26 мм:

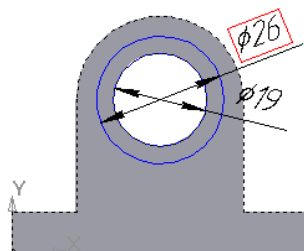


Рисунок 3.3 – Побудова ескізу прилива

4. Приклейте видавлювання  на 3 мм.

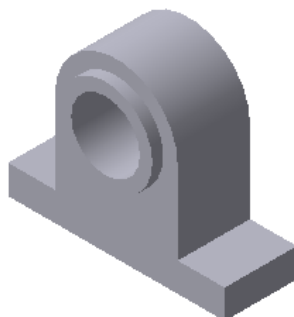


Рисунок 3.4 – Модель приливу

5. Аналогічно побудуйте прилив на протилежній торцевій поверхні.



Рисунок 3.5 – Модель приливу на торцевій поверхні

6. Виберіть верхню площину підстави корпуса і побудуйте на ній наступний ескіз:

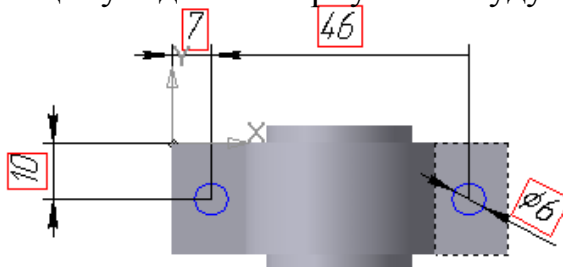


Рисунок 3.6 – Ескізи отворів

7. Виріжте видавлюванням  ці отвори, вибравши опцію "Через усе"



Рисунок 3.7 – Моделі отворів

8. Ще раз виберіть верхню площину основи корпуса і побудуйте на ній наступний ескіз:

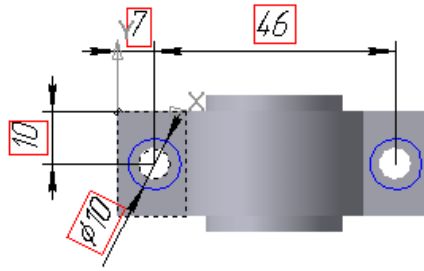


Рисунок 3.8 – Ескізи фасок

9. Виріжіть видавлюванням ці окружності на 2,5 мм

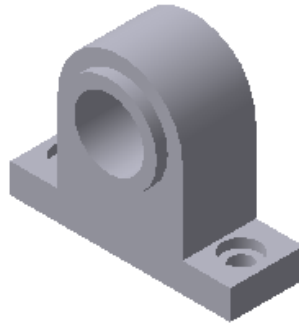


Рисунок 3.9 – Моделі фасок

10. Залишилося вирізати заглиблення в центральному отворі під підшипники. Для цього, виберіть передню площину приливу корпусу і побудуйте ескіз (рис 3.10):

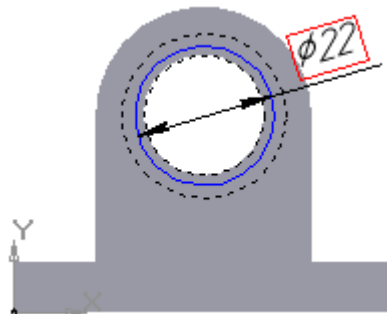


Рисунок 3.10 – Побудова ескізу заглиблень під підшипники

11. Виріжіть видавлюванням на глибину 7 мм (рис. 3.11).

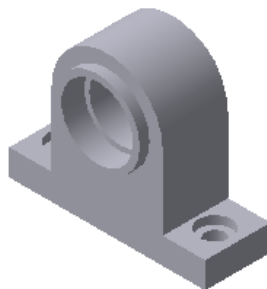


Рисунок 3. 12 – Модель заглиблень під підшипники

12. Повторіть пункти 10 і 11 для протилежної площини приливу корпусу.

13. Для полегшення установки підшипників, «знімемо» фаску в ребрах посадкових отворів. Виділіть зовнішнє ребро (окружність основи циліндра) в одного і іншого посадкових отворів, при цьому курсор повинен бути у вигляді хрестика з відрізком (рис. 3.13).

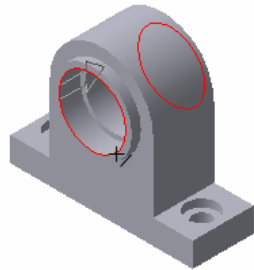




Рисунок 3.13 – Виділення зовнішнього ребра

14. Виберіть команду Інструментальної панелі **Редагування деталі – Фаска** . Установіть величину фаски 0,5 мм під кутом 45° і виберіть команду **Створити об'єкт**  (рис 3.14).

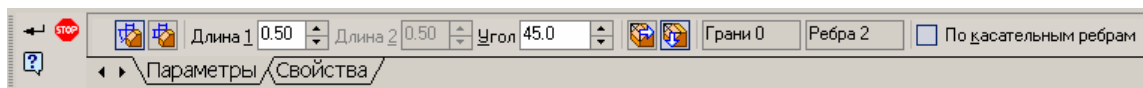


Рисунок 3.14 – Команда Фаска на Інструментальній панелі

15. У підсумку одержимо (рис. 3.15):

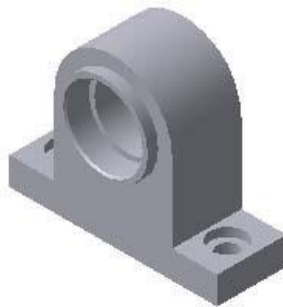
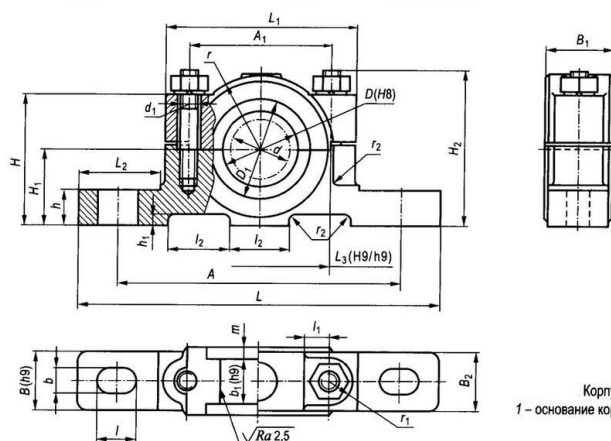


Рисунок 3.15 – Деталь корпус

Завдання для самостійної роботи

Побудувати за номером варіанта та ескізом корпус, який наведено на рис. 3.16.

Корпуса подшипников скольжения



Пример условного обозначения
 Корпус подшипника с диаметром вала $d=70$ мм и $B=60$ мм:
 Корпус 70х60 ГОСТ 11607-82

Корпус разъемный с двумя крепежными отверстиями:
 1 – основание корпуса; 2 – крышка корпуса

Размеры разъемных корпусов (ГОСТ 11607-82), мм

Обозначение корпуса	d	D	D_1	A	$A_1=L_3$	L	L_1	H	H_1	H_2	h	B	B_1	b	b_1	l	l_1	r_1 не менее	d_1	t	l_2	h_1	B_2	r_1	L_2	r_2
25x25	25	32	43	120	60	155	80	55	32	60	15	25	28	11	18	17	8	32	M8	3,5	26	5	20	10	36	3
28x25	28	36	48	120	60	155	80	55	32	60	15	25	28	11	18	17	8	32	M8	3,5	26	5	20	10	36	3
25x25	25	32	43	135	70	170	95	70	42	80	18	32	36	13	24	20	12	35	M10	4,0	26	5	25	13	36	5
28x32	28	36	48	135	70	170	95	70	42	80	18	32	36	13	24	20	12	35	M10	4,0	26	5	25	13	36	5
32x32	32	40	52	135	70	170	95	70	42	80	18	32	36	13	24	20	12	35	M10	4,0	26	5	25	13	36	5
35x32	35	45	55	135	70	170	95	70	42	80	18	32	36	13	24	20	12	35	M10	4,0	26	5	25	13	36	5
40x40	40	50	63	150	80	185	105	80	45	90	20	40	45	13	30	20	12	43	M10	4,0	28	6	25	13	38	5
45x40	45	55	68	150	80	185	105	80	45	90	20	40	45	13	30	20	12	43	M10	4,0	28	6	25	13	38	5
50x48	50	60	73	170	95	215	125	90	53	102	25	48	55	17	40	23	12	52	M12	4,0	34	6	30	15	42	5
55x48	55	65	80	170	95	215	125	90	53	102	25	48	55	17	40	23	12	52	M12	4,0	34	6	30	15	42	5
63x60	63	78	92	220	125	280	160	120	70	140	30	60	70	22	-	30	16	69	M16	5,0	43	8	35	18	56	10

Примечание. Предусмотрены $d=70...160$ мм.

Рисунок 3.16 – Корпус підшипника

Контрольні запитання

1. Дайте визначення корпусу?
2. З яких геометричних елементів складається корпус підшипника?
3. Перерахуйте корпусні деталі рухомої техніки?
4. Чи може корпус підшипника слугувати ємністю для зберігання експлуатаційного запасу мастильних матеріалів?
5. Як класифікуються корпусні деталі?


ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Моделювання підшипника за ДСТУ 8338-75

Мета роботи: Виконати моделювання складових елементів підшипника та провести їх складання.

Хід виконання роботи

4.1. Моделювання складових елементів підшипника

1. Для побудови моделі підшипника скористайтеся бібліотекою програми КОМПАС. Так як вона двовірна, виберіть меню **Файл – Створити – Фрагмент**. Потім виберіть розділ **Сервіс – Менеджер бібліотек**, або на піктографічній панелі виберіть кнопку **Менеджер бібліотек** .

2. У вікні в розділі **Бібліотеки КОМПАС – Машинобудування** активуйте **Конструкторську бібліотеку** (рис. 4.1, 4.2). В Конструкторській бібліотеці виберіть розділ **Підшипники – Підшипники кульові** і далі підшипник з потрібним ДСТУ (наприклад ДСТУ 8338-75) [4].

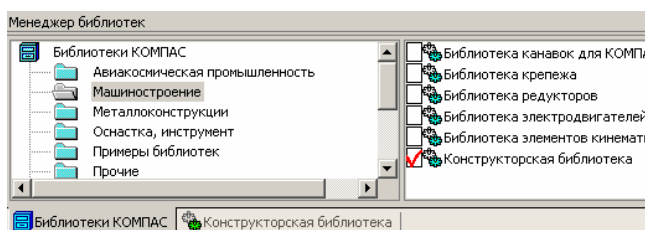


Рисунок 4.1 – Вікно менеджера бібліотек

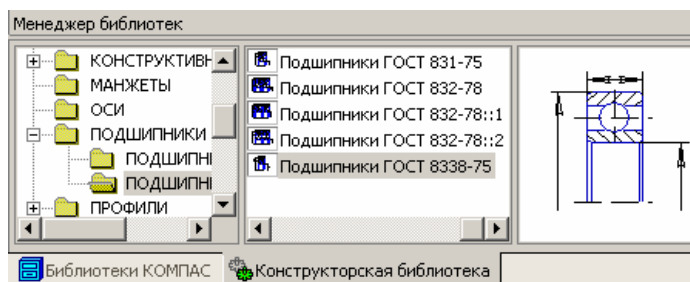


Рисунок 4.2 – Вікно конструкторської бібліотеки

3. Виберіть параметри підшипника по посадковому діаметру вала: внутрішній діаметр d і зовнішній – D . Натисніть **ОК** (рис. 4.3).

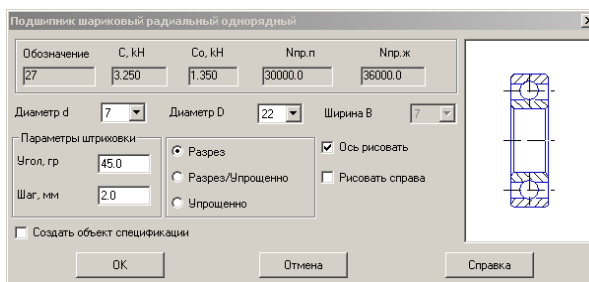



Рисунок 4.3 – Вікно параметрів підшипника

4. Помістіть зображення в будь-якому місці Фрагмента, вісь обертання повинна бути горизонтальна. Перевірте, щоб були увімкнені прив'язки **Вирівнювання**, **Найближча точка** і **Перетинання**. Для подальшої роботи виберіть команду **Зрушення** , вкажіть точку, за яку будемо переміщати, клацнувши мишкою на перетинанні вертикальної осі кульки і осі обертання кілець підшипника. Перемістите курсор у початок координат і клацніть мишкою.

5. Виділіть зображення підшипника, клацнувши на ньому мишкою, як бачите, дане зображення виділяється цілком і сприймається програмою як єдине ціле – блок. Натисніть праву кнопку миші і виберіть команду **Зруйнувати** (рис. 4.4). У результаті, зображення перетвориться в сукупність окремих примітивів з можливістю редагування.

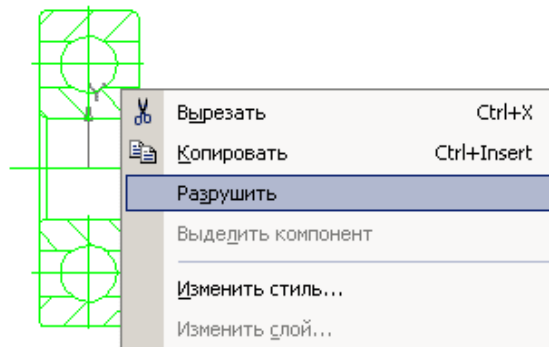


Рисунок 4.4 – Операція Зруйнувати

6. Із цього зображення нам необхідно одержати три ескізи: зовнішнє, внутрішнє кільце і кулька. Тому пропонується відредагувати зображення в такий спосіб, вилучивши непотрібні частини зображення (рис. 4.5):

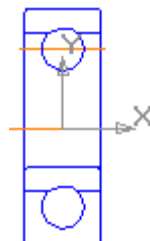




Рисунок 4.5 – Відредаговане зображення підшипника

7. Верхнє зображення окружності (кульки) з віссю скопіюйте, використовуючи інструмент **Копіювання**  і розмістіть осторонь. Непотрібні частини вертикальних ліній і частини дуг обріжте, використовуючи команду **Усікти криву** . У результаті повинна вийти таке зображення (рис. 4.6):

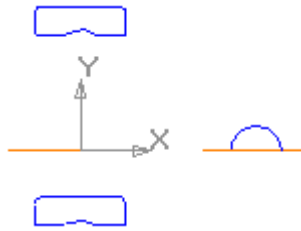


Рисунок 4.6 – Результати усікання зображення

8. Виділіть отриманий ескіз зовнішнього кільця рамкою і виберіть команду **Виправлення – Копіювати**. Вкажіть базову точку (точку, за яку зручніше за все позиціонувати дане зображення) із прив'язкою до початку координат (рис. 4.7).

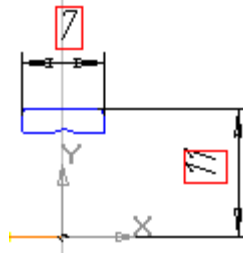




Рисунок 4.7 – Ескіз зовнішнього кільця

9. Створіть нову деталь за допомогою команди **Файл – Створити – Деталь**. У вікні **Дерево побудови** виберіть фронтальну площину **X_Y**, клацніть на кнопку **Ескіз** .

10. Виберіть **Виправлення – Вставити** і розмістіть зображення із прив'язкою на початку координат. Вийдіть із режиму редагування ескізу, повторно клацнувши на кнопці **Ескіз** .

11. На Інструментальній панелі **Редагування деталі** виберіть команду **Операція обертання** і створіть об'єкт (рис. 4.8, 4.9).

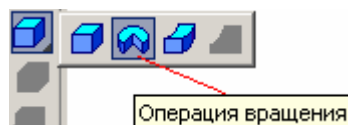


Рисунок 4.8 – Операція обертання

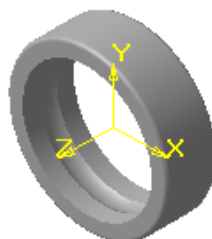


Рисунок 4.9 – Зовнішнє кільце підшипника

12. Збережіть файл Зовнішнє кільце підшипника.

13. Потім аналогічно створіть нову деталь: скопіюйте ескіз внутрішнього кільця підшипника із фрагмента, створіть модель тіла обертання, збережіть як окремий файл (рис. 4.10, 4.11).

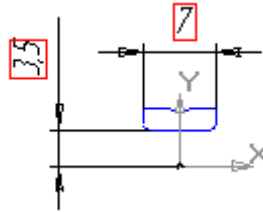


Рисунок 4.10 - Ескіз внутрішнього кільця



Рисунок 4.11 - Внутрішнє кільце підшипника

14. Повторіть аналогічні дії і створіть модель кульки (при встановленні базової точки, виберіть центр дуги). На панелі властивостей операції обертання виберіть параметр **Сфероїд**, не створюйте тонкої стінки, збережете як окремий файл деталі (рис. 4.12).

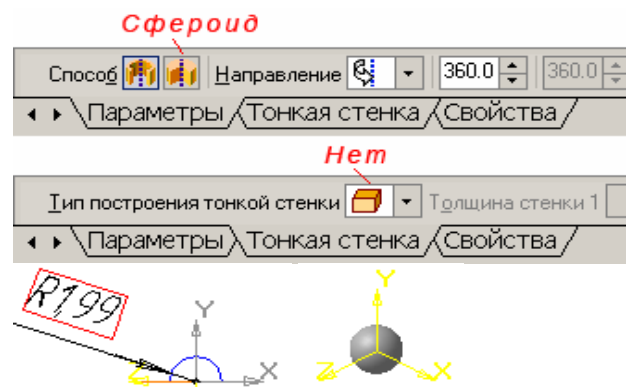


Рисунок 4.12 – Створення кульки

4.2. Створення складання. Накладення обмежень




1. Виберіть команду: **Файл – Створити – Складання**. На панелі інструментів виберіть **Додати з файлу** . Виберіть файл зовнішнє кільце (рис. 4.13).



Рисунок 4.13 – Додавання файлу зовнішнього кільця

2. Вкажіть положення базової точки моделі на початку координат. У дереві побудови поруч із назвою деталь з'явиться в дужках буква (ф), що означає модель – фіксована.
3. Потім повторіть дію і додайте в складання внутрішнє кільце. Помістіть його осторонь від зовнішнього. Відразу після вставки моделей у складання перейменуйте в дереві побудови назви **Деталі** на конкретні назви моделей. Це дозволить надалі розібратися з накладеними сполученнями.
4. Для розміщення одного кільця в середині іншого, необхідно накласти обмеження по положенню цих моделей відносно одна одної. **Кільця повинні бути співвісні і їх торцеві поверхні повинні лежати в одній площині** [3]. Виберіть на Інструментальній панелі **Сполучення** , команду **Співвісність** . Вкажіть на поверхню обертання одного кільця, потім іншого (зручніше за все вказати на зовнішню циліндричну поверхню зовнішнього кільця і поверхня отвору внутрішнього), у результаті внутрішнє і зовнішнє кільце вирівнюються по одній осі (рис. 4.14).

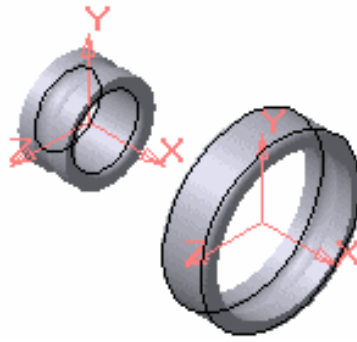



Рисунок 4.14 – Накладення команди Співвісність

5. Далі виберіть команду **Збіг** , вкажіть на торцеві поверхні одного і іншого кільця, після чого вони будуть лежати в одній площині (рис. 4.15).

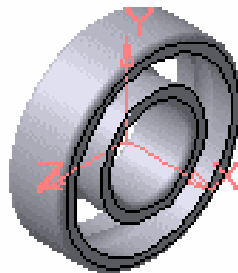


Рисунок 4.15 – Результати виконання команди Збіг

6. Для розміщення кульки, опишемо її положення: центр кульки розташовується на окружності відомого радіуса (можна виміряти по зображенню, вставленому з бібліотеки (див. вище)) симетрії, який лежить у поздовжній площині, кілець. Виміряйте радіус даної окружності (рис. 4.16).

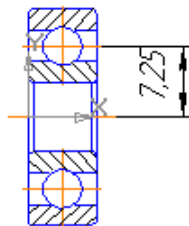


Рисунок 4.16 – Вимірювання радіусу кола на якому розташовується центр кульки

7. Виберіть площину (у нашому прикладі – **ZY**) як площину побудови ескізу. Вона також є поздовжньою площиною симетрії кілець, завдяки тому, що при створенні ескізу кільця базова точка лежала в даній площині (рис. 4.17). В іншому випадку, треба було б будувати допоміжну площину.

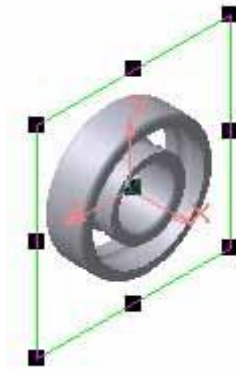


Рисунок 4.17 – Вибір площини побудови ескізу

8. Побудуйте відрізок стилем лінії – **Основна** від початку координат, довжиною рівною обмірюваному радіусу, для чого введіть значення у відповідне поле **Довжина** панелі властивостей, натисніть клавішу **Enter** для фіксації цього значення й створіть об'єкт (рис. 4.19).

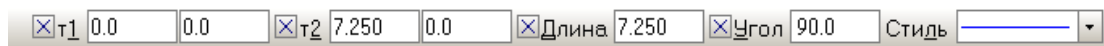


Рисунок 3.18 – Введення довжини лінії на панелі властивостей

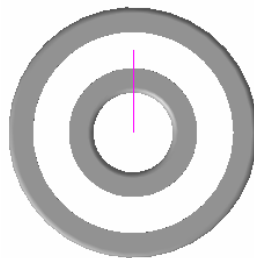




Рисунок 4.19 – Побудова відрізка

9. Додайте в складання кулька, помістите його довільно, в стороні. Виберіть на Інструментальній панелі **Сполучення** команду **Збіг** , укажіть центр кульки (при цьому значок поруч із курсором повинен бути у вигляді зірочки ) кінець відрізка (рис. 4.20).

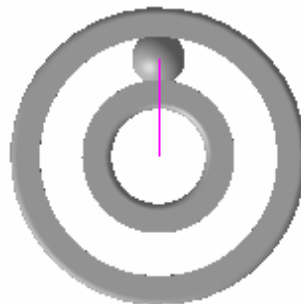


Рисунок 4.20 – Додавання кульки

10. Створіть масив із заданою кількістю елементів (у нашому випадку - 6). Для цього виберіть операцію **Масив по концентричній сітці** (рис. 4.21).



Рисунок 4.21 – Створення масиву по концентричній сітці

11. На вкладці **Вибір об'єктів** клацніть мишкою кнопку **Компоненти і** у дереві побудови виберіть деталь Кулька (рис. 4.22).

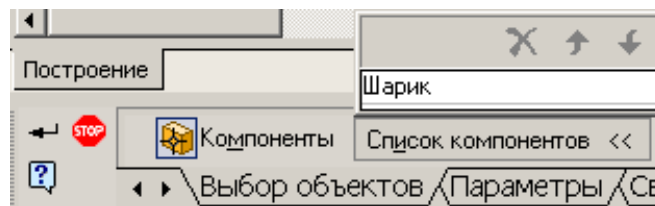


Рисунок 4.22 – Приклад вибору деталі кулька

12. На вкладці **Параметри** клацніть мишкою кнопку **Вісь** і вкажіть на поверхню обертання (наприклад, кільця) (рис. 4.23, 4.24).



Рисунок 4.23 - Створення осі на вкладці параметри

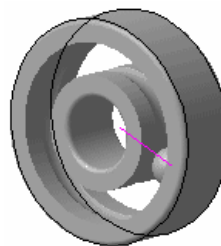


Рисунок 4.24 – Вид осі і поверхні обертання

13. У полі N2 задайте кількість елементів масиву – 6. Створіть об'єкт.

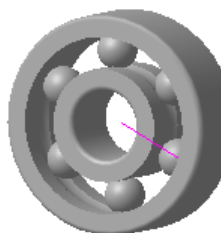


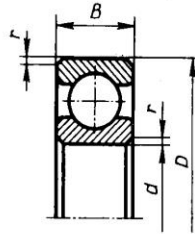
Рисунок 4. 25 – Готовий підшипник

14. Збережіть файл.

Завдання для самостійної роботи

Побудувати за номером варіанта та ескізом підшипник, який наведено на рис. 4.26.

Подшипники шариковые радиальные однорядные (из ГОСТ 8338—75)



Обозначение	Легкая серия						Обозначение	Средняя серия					
	Размеры, мм				Грузоподъемность, кН			Размеры, мм				Грузоподъемность, кН	
	d	D	B	r	C _r	C _w		d	D	B	r	C _r	C _w
204	20	47	14	1,5	12,7	6,2	304	20	52	15	2	15,9	7,8
205	25	52	15	1,5	14,0	6,95	305	25	62	17	2	22,5	11,4
206	30	62	16	1,5	19,5	10,0	306	30	72	19	2	28,1	14,6
207	35	72	17	2	25,5	13,7	307	35	80	21	2,5	33,2	18,0
208	40	80	18	2	32,0	17,8	308	40	90	23	2,5	41,0	22,4
209	45	85	19	2	33,2	18,6	309	45	100	25	2,5	52,7	30,0
210	50	90	20	2	35,1	19,8	310	50	110	27	3	61,8	36,0
211	55	100	21	2,5	43,6	25,0	311	55	120	29	3	71,5	41,5
212	60	110	22	2,5	52,0	31,0	312	60	130	31	3,5	81,9	48,0
213	65	120	23	2,5	56,0	34,0	313	65	140	33	3,5	92,3	56,0
214	70	125	24	2,5	61,8	37,5	314	70	150	35	3,5	104,0	63,0
215	75	130	25	2,5	66,3	41,0	315	75	160	37	3,5	112,0	72,5
216	80	140	26	3	70,2	45,0	316	80	170	39	3,5	124,0	80,0

Рисунок 4.26 – Ескіз підшипника та його геометричні розміри

Контрольні запитання

1. Сформулюйте визначення підшипника?
2. Як класифікуються підшипники?
3. Переваги підшипників кочення та їх недоліки?
4. Перерахуйте складові підшипників кочення?
5. Вкажіть причини виходу з ладу підшипників кочення?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

Моделювання тіла обертання

Мета роботи: Створити модель тіла обертання.

Теоретичні відомості

Будь-який процес моделювання в програмі КОМПАС 3D починається з побудови ескізу. **Ескіз** представляє з себе перетин об'ємного елемента [5]. Рідше ескіз є траєкторією переміщення іншого ескізу – перетину. Основні вимоги до ескізу:

- контури в ескізі не перетинаються й не мають загальних точок;
- контур в ескізі зображується стилем лінії **Основна**.

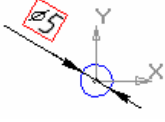

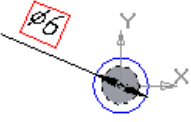
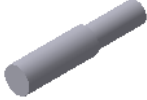
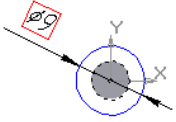
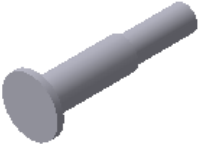
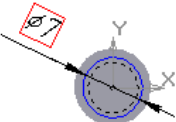
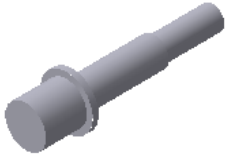
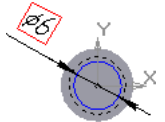
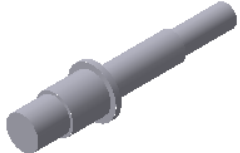
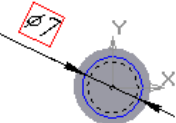
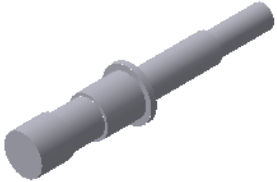
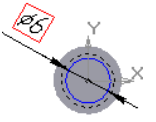
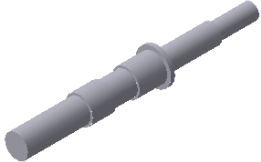
Під **контуром** розуміють будь-який лінійний графічний об'єкт або сукупність послідовно з'єднаних лінійних графічних об'єктів (відрізків, дуг, сплайнів, ламаних і т.п.). Іноді для побудови контуру в ескізі (особливо параметричному) потрібні допоміжні об'єкти, що не входять у контур. Їх можна зображувати іншими стилями ліній; такі об'єкти не будуть ураховуватися при виконанні операцій тривимірного моделювання [4].

Вимоги до ескізу елемента обертання:

- вісь обертання повинна бути зображена в ескізі відрізком зі стилем лінії **Осьова**;
- вісь обертання повинна бути одна;
- в ескізі основи деталі може бути один або кілька контурів;
- якщо контур один, то він може бути розімкнутим або замкненим;
- якщо контурів більше, всі вони повинні бути замкнені;
- якщо контурів більше, один з них повинен бути зовнішнім, а інші – вкладеними в нього;
- допускається один рівень вкладеності контурів;
- жоден з контурів не повинен перетинати вісь обертання (відрізок зі стилем лінії **Осьова** або його продовження).

Існує два підходи до моделювання тіла обертання. **Перший** – видавлювання ескізу у вигляді кола на певну величину. Далі приклеювання видавлюванням наступного ескізу, побудованого на одній з торцевих поверхонь циліндра (конуса) і т.д. (табл. 5.1)

Моделювання тіла обертання видавлювання ескізу у вигляді кола на певну величину

Ескіз	Метод	Модель
	Операція видавлювання на 6 мм.	
	Приклеєне видавлюванням на 13 мм.	
	Приклеєне видавлюванням на 2 мм	
	Приклеєне видавлюванням на 7 мм.	
	Приклеєне видавлюванням на 12 мм.	
	Приклеєне видавлюванням на 6 мм.	
	Приклеєне видавлюванням на 13 мм.	

Другий – більш раціональний, обертання потрібного профілю майбутнього тіла обертання навколо певної осі (рис. 5.1, 5.2).

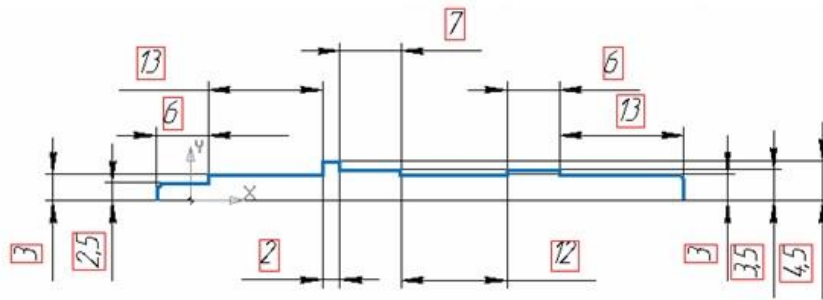


Рисунок 5.1 – Ескіз валу







Рисунок 5.2 – Модель валу

У нашому випадку вибираємо другий спосіб як більш раціональний.

Хід виконання роботи

5.1. Моделювання валу

1. Створіть ескіз на площині **XУ**. Для чого, вкажіть клацанням миші в дереві побудови площина **XУ**, виберіть команду **Ескіз** . Використовуючи команди Інструментальної панелі **Геометрія**  (зручніше за все для даного випадку скористатися командою **Безперервне введення об'єктів** ) накресліть профіль контуру (тип лінії – **Основна**, на малюнку буде відображений синьою лінією). Профіль повинен тільки повторювати контур потрібного тіла обертання. Один з кутів, що примикають до осьової лінії (осі обертання), повинен бути прив'язаний до початку координат для зручності роботи. Виберіть команду **Відрізок**  і накресліть вісь обертання, попередньо змінивши стиль лінії на **Осьову** на панелі властивостей.

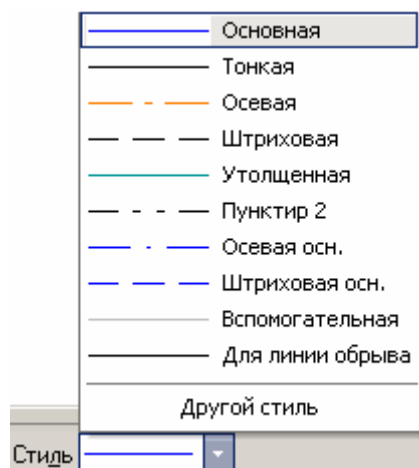


Рисунок 5.4 – Вибір типу лінії

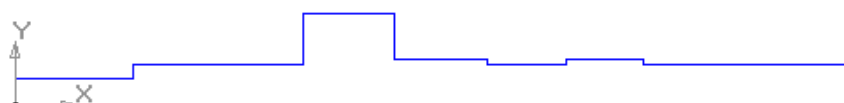



Рисунок 5.5 – Профіль контуру валу

2. Після цього нанесіть розміри, які визначають ескіз, вибравши команду Інструментальної панелі **Розміри – Лінійний розмір** . Вийдіть із режиму побудови ескізу.

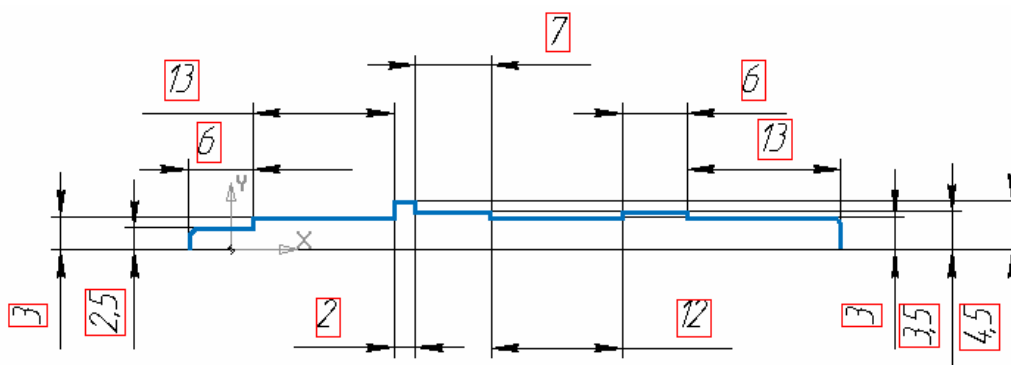


Рисунок 5.6 – Нанесення розмірів, які визначають ескіз

3. Використовуючи команду **Операція обертання**, поверніть ескіз навколо осі. Тонку стінку не створюйте. Для цього виберіть на панелі властивостей: на вкладці **Параметри** спосіб створення – **Сфероїд** і на вкладці **Тонка стінка** виберіть – **Немає**.

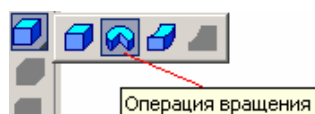


Рисунок 5.7 – Операція обертання

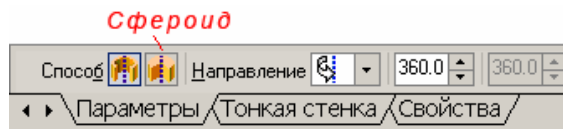


Рисунок 5.8 – Вкладка Тонка стінка

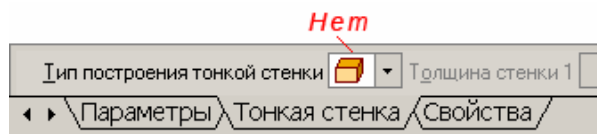


Рисунок 5.9 – Вкладка Тонка стінка

4. У результаті одержимо модель валу (рис. 5.10).

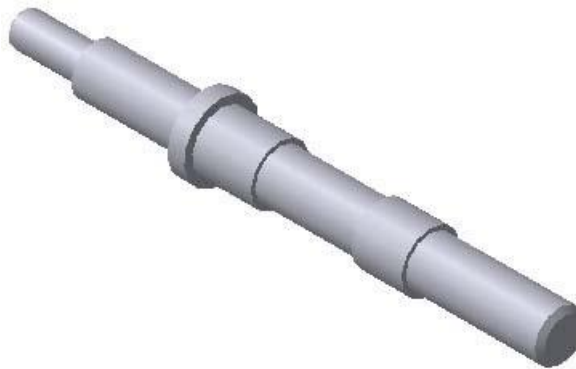


Рисунок 5.10 – Модель валу

Збережете файл.

Проставлені розміри, обведені на ескізі в прямокутники, створюють параметричні зв'язки між примітивами. Змінюючи значення якого-небудь розміру, міняється ескіз, дані зміни відіб'ються і на моделі. Для прикладу:

5. Увійдіть у режим редагування ескізу. Для цього наведіть курсор на операцію обертання в дереві побудови і натисніть праву кнопку миші. Виберіть із контекстного меню команду **Редагувати ескіз**.

6. Двічі клацніть лівою кнопкою миші на розмірі 4,5 мм і змініть це значення на 8 мм. У результаті цих дій ескіз повинен змінитися згідно з новими розмірами. Вийдіть із режиму редагування ескізу.

7. У результаті модель перебудується залежно від нових параметрів (рис. 5.11).

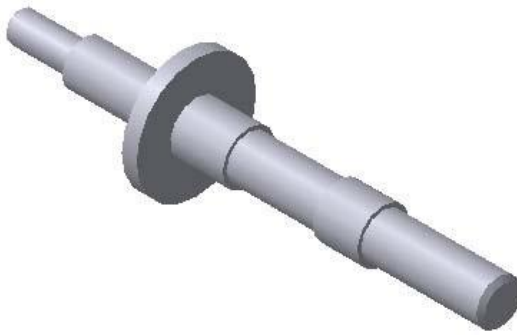


Рисунок 5.11 – Перебудована модель

Іноді, скажемо, горизонтальні лінії, після зміни розмірів можуть перетворитися в похилі, тим самим зміниться потрібний нам профіль. Це можливо через те, що ескіз будували без прив'язок, тобто на примітив не накладене обмеження по положенню (у випадку прив'язок, ці обмеження накладаються автоматично якщо параметризація включена **Сервіс- Параметри** рис. 5.12).

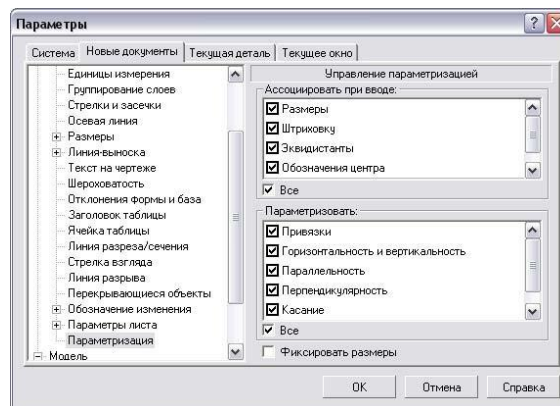






Рисунок 5.12 – Вкладка Параметри

У цьому випадку необхідно накласти обмеження вручну, примусово. Для цього ввійдіть у режим редагування ескізу, активізуйте Інструментальну панель **Параметризація** , виберіть потрібну команду установки обмеження і послідовно вказуйте об'єкти, на які потрібно накласти обмеження. У нашому прикладі, виберіть при необхідності команду **Горизонталь**  або **Вертикаль**  і вкажіть примітив, клацнувши на ньому.

Для перегляду списку накладених обмежень на який-небудь примітив, викличте команду **Показати/вилучити обмеження**  на Інструментальній панелі **Параметризації** і виділіть примітив клацанням миші.

Закрийте файл без збереження.

5.2. Моделювання штифтового отвору

Завдяки тому, що при створенні ескізу моделювання основи деталі, ми прив'язали вісь обертання до початку координат, можна вибрати одну з координатних площин у дереві побудови як площини побудови ескізу (виберіть площину **ZX**).

1. Відкрийте збережений файл. Виберіть команду **Ескіз** і створіть коло потрібного радіуса, центр якого перебуває на осі **X** (використовуючи прив'язку – **Вирівнювання**). Вкажіть необхідні розміри. Після цього вийдіть із режиму редагування ескізу.

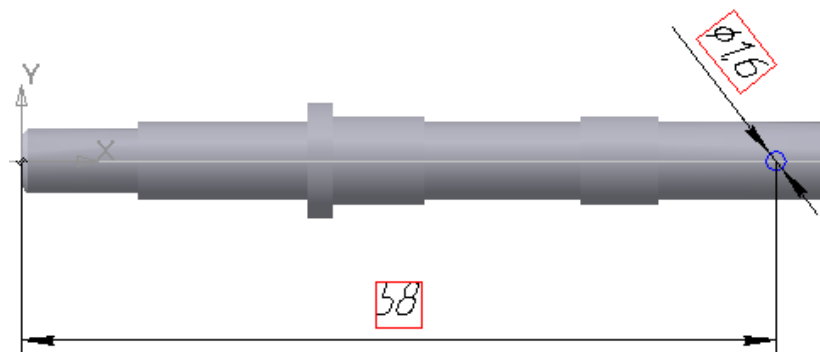


Рисунок 5.13 – Ескіз штифтового отвору

2. Виберіть команду **Вирізати видавлюванням** і виріжіть у двох напрямках з параметром **Через усе** (рис. 3.14, 3.15).

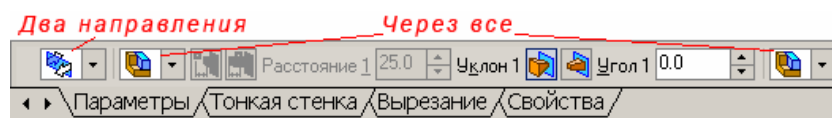


Рисунок 5.14 – Операція Вирізати видавлюванням

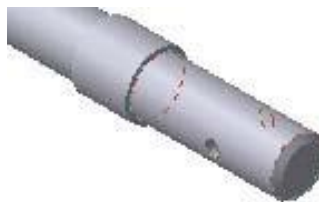


Рисунок 5.15 – Модель штифтового отвору

5.3. Моделювання призматичного шпонкового паза

Шпонковий паз вирізається на поверхні обертання на певну глибину, тому спочатку необхідно створити площину, дотичну до цієї поверхні.

1. Виберіть на Інструментальній панелі **Допоміжна геометрія**  команду

побудови **Дотична площина**  *Касательная плоскость*

2. Вкажіть поверхню, до якої треба побудувати дотичну площину, клацнувши на ній лівою кнопкою миші, у нашому випадку, циліндр радіусом 3 мм довжиною 13 мм.

3. Далі необхідно вказати або грань, або площину, перпендикулярно до якої буде побудована дотична площина, наприклад, виберіть у дереві побудови площину **ZX**.

4. Після цього з'являться фантоми двох можливих площин, з однієї або протилежної сторони поверхні обертання.

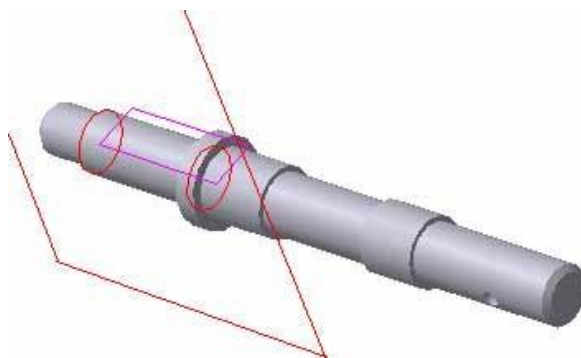






Рисунок 5.16 – Фантоми можливих площин

5. Для вибору, на панелі властивостей, будуть активні дві кнопки - зупиніть на одній з них свій вибір і створіть об'єкт.

6. Виберіть дотичну площину як площину побудови ескізу і побудуйте ескіз профілю шпонкового паза, для цього побудуйте коло із центром, яке лежить на осі **X** (використовуйте для цього прив'язку – **Вирівнювання**).

7. Виберіть із Інструментальної панелі **Редагування**  команду **Копіювання**  і скопіюйте коло, розташувавши його справа і також із центром, який лежить на осі **X**.

8. Виберіть команду побудови **Відрізок, дотичний до 2 кривих**  і побудуйте відрізки, дотичні до кіл зверху і знизу. Після виклику даної команди вкажіть дві

криві (у нашому випадку – кола) до яких будемо будувати дотичні. У результаті будуть показані всі можливі дотичні до зазначених кривих, а одна лінія буде поточною (відображається суцільною лінією). Натисніть кнопку створити об'єкт  Натискаючи на кнопку **Наступний об'єкт** виберіть паралельну заданій лінії і створіть об'єкт, після чого вийдіть із команди (рис. 5.17).

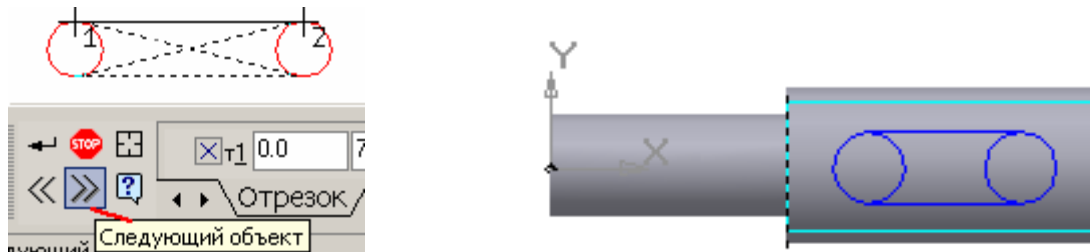



Рисунок 5.17 – Створення ескізу шпонкового пазу

9. Для обрізки зайвих дуг кіл, виберіть команду редагування – **Усікти криву** , укажіть клацанням миші на внутрішні частини кіл, після чого вони зникнуть. Одержимо наступний ескіз.

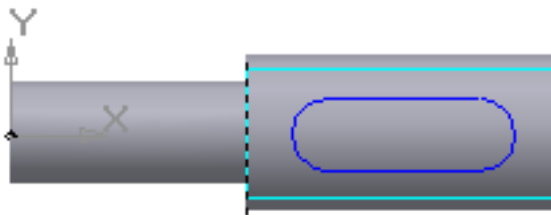


Рисунок 5.18 – Ескіз шпонкового пазу

10. Нанесіть чотири розміри (рис. 5.19).

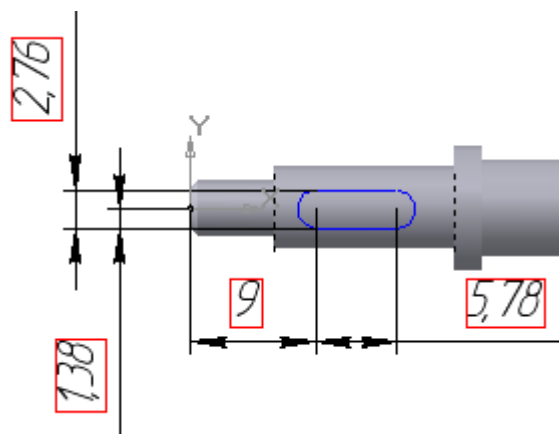


Рисунок 5.19 – Нанесення розмірів

Спробуйте змінити значення ширини паза. У результаті міняється положення верхньої сторони. Для того щоб паз завжди був центрований щодо осі

X, введемо змінні. Здійсните подвійне клацання на значенні розміру ширини паза і у діалоговому вікні введіть позначення змінної, скажемо **A** (рис. 5.20).

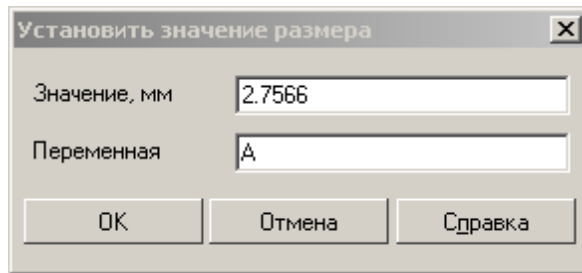


Рисунок 5.20 – Введення змінної **A**

Аналогічно введіть позначення змінної для розміру, що задає положення паза відносно початку координат, наприклад, **B** (рис. 5.21).

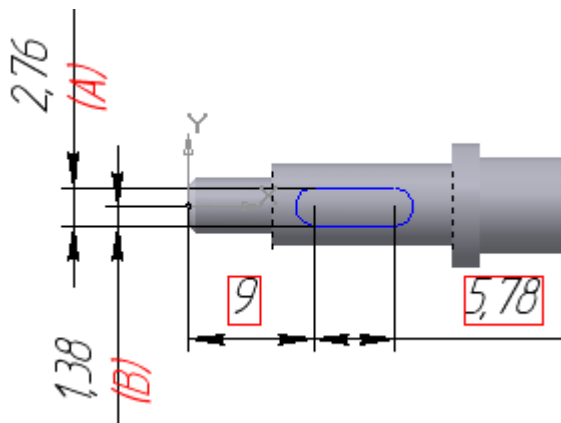



Рисунок 5.21 – Введення змінної **B**

11. Задаємо залежність змінної **B** відносно **A**. Для цього викличіть команду **Змінні** зі стандартної панелі інструментів , яка з'явився поруч із деревом побудови. У вікні – **Змінні** відображаються поточні значення наших змінних. Зайдіть на вкладку **Рівняння** і введіть рівняння $B = A/2$ (рис. 5.22).

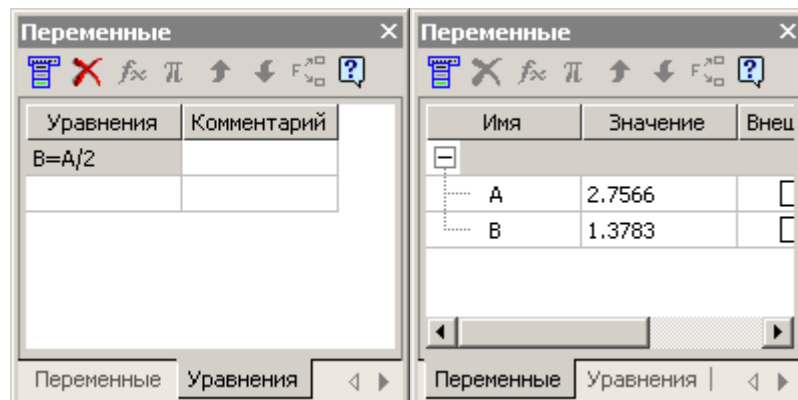


Рисунок 5.22 – Введення залежності змінної **B** відносно **A**

12. Тепер спробуйте змінити значення ширини паза, ви побачите, що координата положення не зміниться згідно з введеним рівнянням, паз завжди буде центрований щодо осі обертання. Встановіть наступні значення розмірів (рис. 5.23).

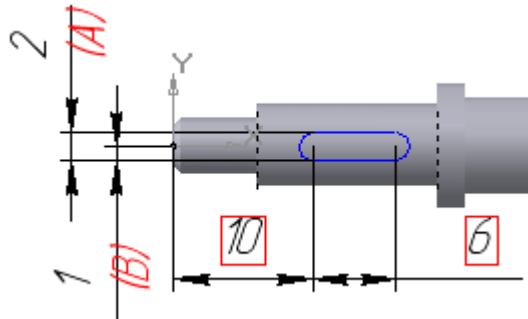


Рисунок 5.23 – Нанесення розмірів


13. Вийдіть із ескізу, виберіть команду **Вирізати видавлюванням**  і виріжіть даний контур в «прямому напрямку» на відстань 1,2 мм. Створіть об'єкт (рис. 5.24).



Рисунок 5.24 – Модель призматичного шпонкового паза

Завдання для самостійної роботи

Побудувати за номером варіанта та ескізом вали, які наведено на рис. 5.25, 5.26.

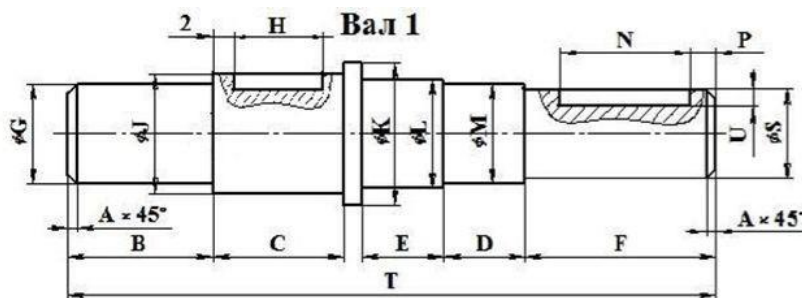


Рисунок 5.25 - Ескіз валу №1

Чисельні дані варіантів для креслення валу №1

Варіант	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	R	S	T	U
1	2	42	30	24	20	52	35	26	36	42	35	32	40	6	3	26	173	6
2	3	45	32	23	20	50	35	28	38	44	35	34	38	5	4	28	175	5
3	2	50	38	25	20	48	40	34	46	52	40	38	36	6	4	32	186	6
4	4	48	35	24	20	52	40	31	42	48	40	36	40	5	4	30	184	5
5	2	44	34	23	20	50	35	30	41	47	35	33	38	6	3	27	176	6
6	3	43	35	26	20	53	35	31	42	48	35	32	41	5	4	26	182	5
7	2	45	32	25	20	54	35	28	38	44	35	34	42	6	3	28	181	6
8	4	42	33	24	20	52	35	29	40	46	35	32	40	5	4	26	176	5
9	2	46	36	26	20	55	35	32	43	49	35	34	43	6	3	29	188	6
10	3	44	36	25	20	56	35	32	43	49	35	33	44	5	4	27	186	5
11	2	46	33	24	20	54	35	29	40	46	35	34	42	6	3	29	182	6
12	3	45	38	23	20	55	40	34	46	52	40	34	43	5	4	28	186	5

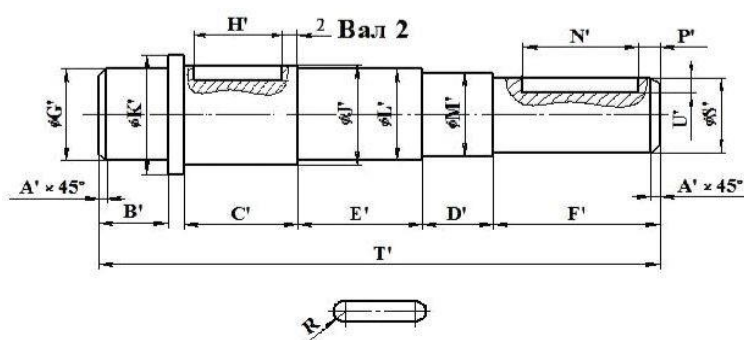


Рисунок 5.26 - Ескіз валу №2

Чисельні дані варіантів для креслення валу №2

Варіант	A'	B'	C'	D'	E'	F'	G'	H'	J'	K'	L'	M'	N'	P'	R'	S'	T'	U'
1	2	17	33	29	44	57	30	29	40	46	30	26	45	6	4	20	185	6
2	3	18	35	28	44	55	30	31	42	48	30	28	43	5	4	22	185	5
3	2	20	42	30	44	53	35	38	46	52	35	32	41	6	5	26	194	6
4	4	19	39	29	44	57	35	35	46	52	35	32	45	5	5	26	193	5
5	2	18	37	28	44	55	30	33	45	51	30	28	43	6	5	22	187	6
6	3	17	39	31	44	58	30	35	46	52	30	26	46	5	5	20	194	5
7	2	18	35	30	44	59	30	31	42	48	30	28	47	6	4	24	192	6
8	4	17	36	29	44	57	30	32	44	50	30	28	45	5	4	22	188	5
9	2	18	40	31	44	61	30	36	45	51	30	28	49	6	5	24	199	6
10	3	18	40	30	44	62	30	36	45	51	30	28	50	5	5	22	198	5
11	2	18	36	29	44	59	35	32	44	50	35	32	47	6	4	26	192	6
12	3	18	42	28	44	61	35	38	46	52	35	32	49	5	5	24	197	5

Контрольні запитання

1. Назвіть основні задачі тривимірного моделювання?
2. Назвіть види операцій, які використовуються для створення 3D моделей?
3. Для чого створюються зміщені площини?
4. Опишіть етапи створення креслення на основі 3D моделі?
5. Опишіть послідовність створення розрізів на кресленні?
6. Що таке «базова частина деталі»?
7. Якими способами можливо до базової частини деталі додавати додаткові елементи?

Лабораторна робота № 6

Моделювання циліндричного зубчастого колеса

Мета роботи: Навчитися створювати зубчасте колесо з використання підпрограми розрахунків **Shaft 3D**

Хід виконання роботи

6.1. Створення заготовки колеса

У довідковій літературі [5, 6] є опис спрощеної побудови зуба зубчастого колеса. Якщо у вас є готове зубчасте колесо і не зрозуміле які в нього параметри, то для їхнього необхідно виконати слідуючі дії:

1. Порахуйте число зубів – Z .
2. Виміряйте діаметр поверхні вершин – da .
3. З формули $da = m(Z+2)$ порахуйте значення модуля – m .
4. Приведіть (по таблиці) це значення до стандартного.

5. Перерахуйте із стандартним значенням модуля всі необхідні параметри:

$$da = m_{cm}(Z+2); d = m_{cm} Z; df = m_{cm} (Z - 2,5); St = 0,5m_{cm}\pi \text{ (рис. 6.1)}$$

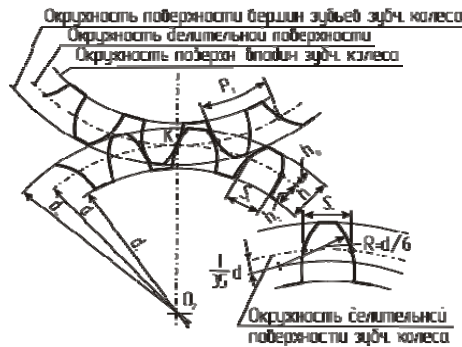



Рисунок 6.1 – Необхідні параметри для побудови зубчастого зчеплення

Скористаємося запропонованим методом побудови трохи пізніше. Для початку створимо заготовку зубчастого колеса.

1. Виберіть площину **XУ** для побудови ескізу, увійдіть у режим створення ескізу, натиснувши кнопку **Ескіз** .

2. Побудуйте ескіз згідно з рис. 6.2:

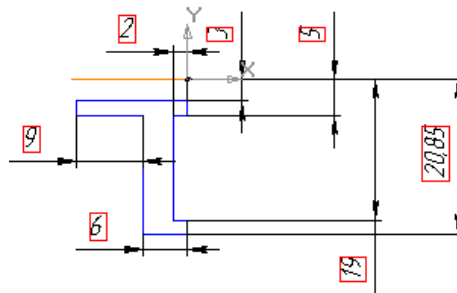


Рисунок 6.2 – Ескіз заготовки зубчастого колеса

Вісь обертання зміщена щодо контуру майбутнього колеса, у результаті при обертанні контуру буде утворений і посадковий отвір.

3. Вийдіть із режиму створення ескізу.

4. Для створення тіла обертання, виберіть команду **Операція обертання** і створіть об'єкт (рис. 6.3).



Рисунок 6.3 – Заготовка зубчастого колеса

6.2. Спрощена побудова зображення зуба. Моделювання зуба

1. Виберіть торцеву площину і побудуйте на ній наступний ескіз згідно зі схемою спрощеної побудови зуба, наведеного вище ($Z = 44$, $m = 1$, $da = 46$). Лінії побудови створюйте стилем лінії – **Допоміжна**, а контур зуба – **Основна**.

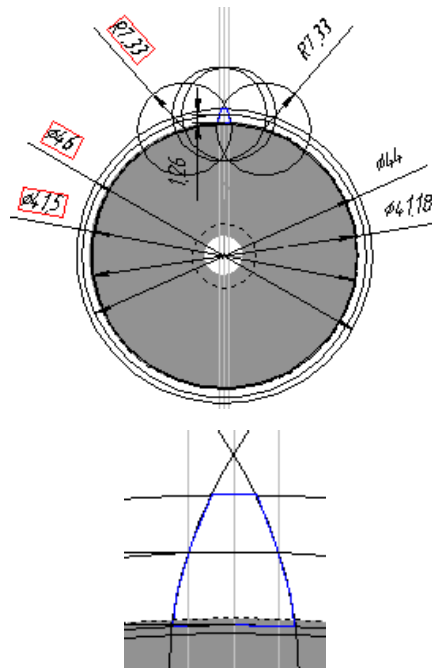



Рисунок 6.4 – Побудова ескізу спрощеного зуба

2. Вийдіть із ескізу, виберіть команду **Приклеїти видавлюванням** , встановіть величину видавлювання, рівну ширині зубчастого вінця.

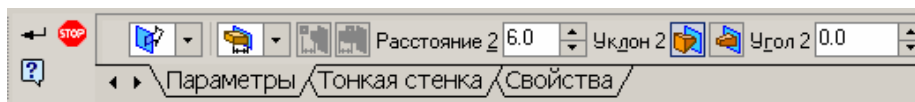


Рисунок 6.5 - Створення зуба на вкладці параметри

У результаті одержимо модель зуба наведену на рис. 6.6:



Рисунок 6.6 – Модель зуба

3. Виділіть зуб у дереві побудови, якщо виділення зняте, виберіть команду побудови **Масиву по концентричній сітці** (рис. 6.7):

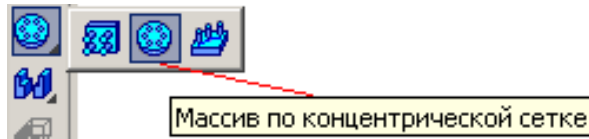


Рисунок 6.7 – Команда Масив по концентричній сітці

4. На панелі властивостей клацніть лівою кнопкою миші на кнопці **Вісь** і вкажіть, також клацанням миші, циліндричну поверхню зубчастого вінця або маточини, у результаті програма вибере вісь масиву, що збігається з віссю тіла обертання (рис. 6.8, 6.9). Задайте кількість елементів масиву (у нашому випадку – 44).

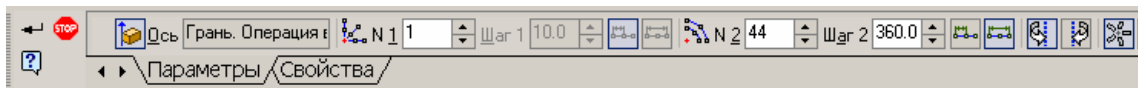


Рисунок 6.8 - Створення масиву зубів на вкладці параметри

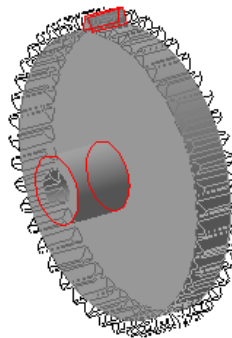


Рисунок 6.9 – Модель масиву зубів

5. Створіть об'єкт (рис. 6.10).

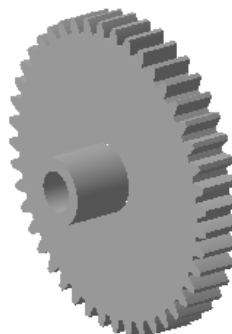



Рисунок 6.10 – Модель зубчастого колеса

6.3. Використання підпрограми розрахунків Shaft 3D і створення моделі колеса по цих розрахунках

1. Створіть нову деталь. Викличте бібліотеку, натиснувши кнопку . Виберіть розділ **Розрахунки і побудова та** у ньому – **КОМПАС-SHAFT 3D** (рис. 4.11).

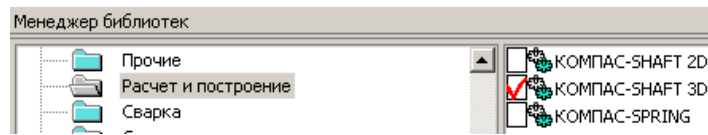


Рисунок 6.11 – Вибір програми SHAFT 3D в бібліотеці КОМПАС

2. Створимо маточину колеса, для чого виберіть **Зовнішню циліндричну сходи́нку**, вкажіть площину для побудови (наприклад, **Площина ZY**) і задайте параметри в діалоговому вікні, після чого натисніть кнопку з галочкою.

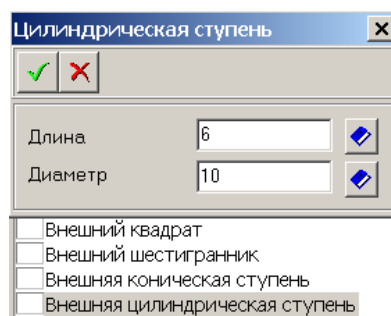


Рисунок 6.12 – Створення маточини колеса

3. Далі, будемо моделювати зубчастий вінець. Виберіть команду побудови **Шестерня циліндричної зубчастої передачі**, вкажіть площину побудови зубчастого вінця (торцева площина маточини – на екрані буде підсвічена зеленим кольором), у результаті з'явиться діалогове вікно:

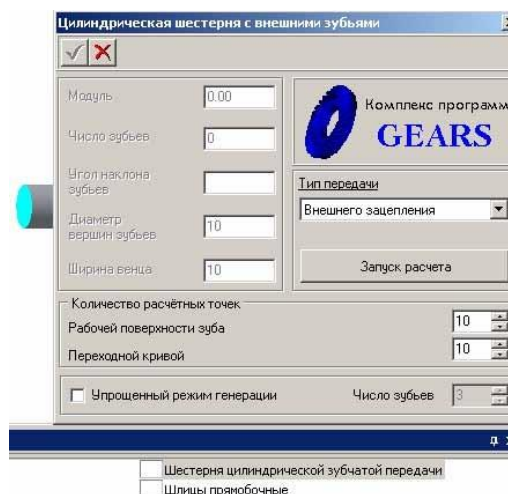


Рисунок 6.13 – Діалогове вікно при моделюванні зубчастого вінця

Натисніть кнопку **Запуск розрахунків**. З'явиться вікно з єдиною активною кнопкою – **Геометричний розрахунки**, натисніть її (рис. 6.14).

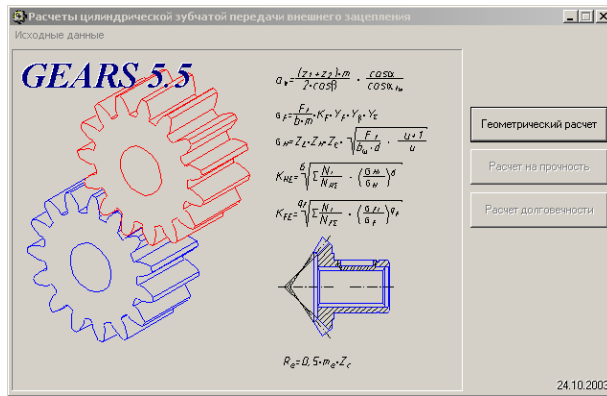


Рисунок 6.14 – Вікно геометричних розрахунків

4. У діалоговому вікні, що з'явилося, виберіть спосіб розрахунків (у нашому випадку розглянемо **розрахунки По діаметрах вершин коліс**).

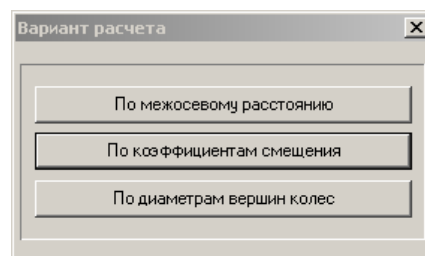


Рисунок 6.15 – Діалогове вікно способу розрахунків

5. На першій сторінці задайте число зубів, модуль, ширину зубчастого вінця, діаметр вершин коліс. Там, де є кнопка з калькулятором зеленого кольору (як наприклад, у п. **10. Діаметр ролика**) натисніть її й виберіть рекомендоване значення. Після заповнення всіх полів, перейдіть на вкладку **Сторінка 2** (рис. 6.17).

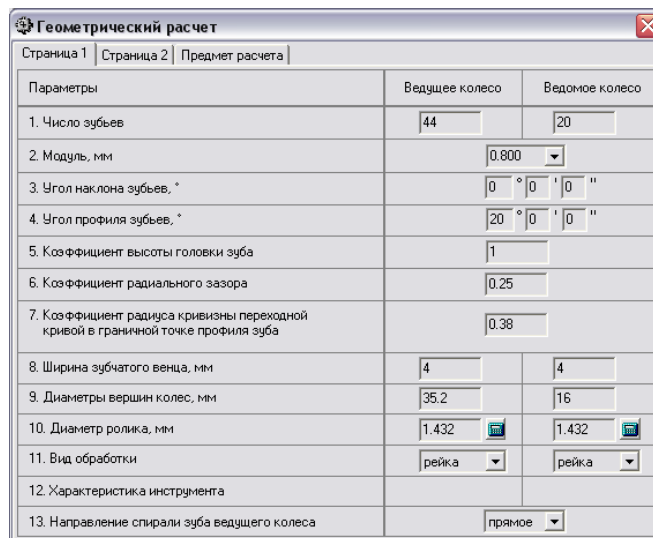


Рисунок 6.16 – Сторінка 1 геометричного розрахунку

6. Натисніть на зелені кнопки з калькулятором, і програма розрахує коефіцієнти зсуву вихідного контуру для провідного і веденого колеса. Після чого,

натисніть у лівому верхньому куті кнопку **Розрахунки**. Якщо в нижній частині діалогового вікна все буде без помилок, то натисніть кнопку **Повернення в головне вікно**. Якщо все-таки будуть помилки, необхідно повернутися на вкладку **Сторінка 1** і змінити деякі параметри.

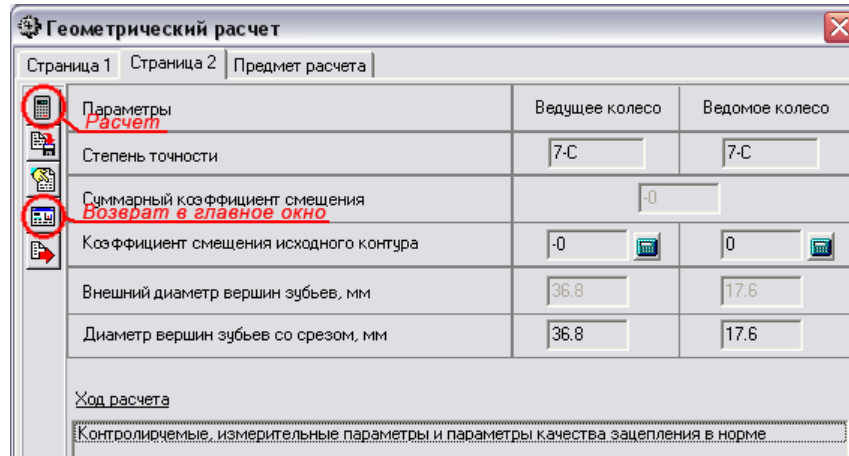


Рисунок 6.17 - Сторінка 2 геометричного розрахунку

7. Після цього в головному вікні стане активною друга кнопка – **Розрахунки на міцність** (рис. 6.18).

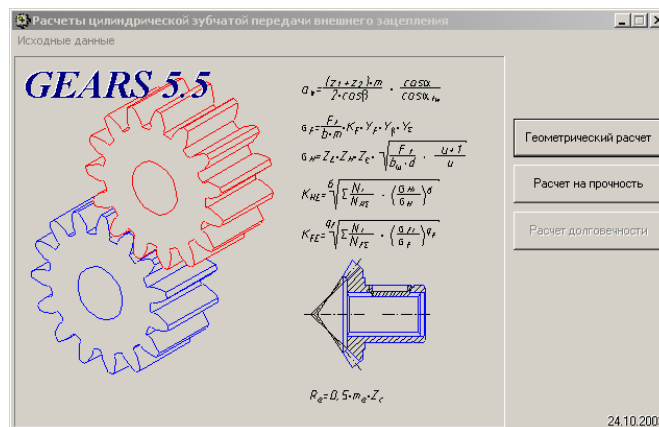


Рисунок 6.18 – Вікно розрахунків на міцність

8. Виберіть і задайте необхідні параметри (рис. 6.19). При натисканні на кнопку **Розрахунки** з'явиться текстове вікно з результатами розрахунків зведених у таблицю, які можна зберегти. Після цього натисніть кнопку **Повернення в головне вікно**.

Расчет на прочность при действии максимальной нагрузки

Страница 1 | Предмет расчета

Параметры	Ведущее колесо	Ведомое колесо
1. Вариант схем расположения передачи	5	
2. Материал зубчатых колес	18ХГТ	18ХГТ
3. Допускаемые напряжения по контакту, МПа	2464	2464
4. Допускаемые напряжения по изгибу, МПа	1143	1143
5. Твердость активных поверхностей зубьев колес, HRC или HB	56	56
6. Расчетная нагрузка, Н*м	1000	
7. Число оборотов на ведущем колесе, об/мин	10000	

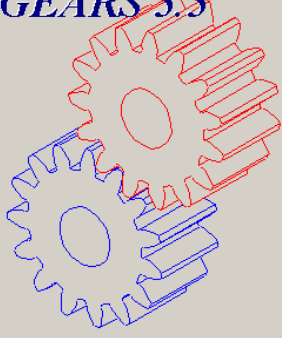
Рисунок 6.19 - Сторінка 1 розрахунку на міцність

9. Стала активной третя кнопка – **Розрахунки довговічності** (рис. 6.20)

Расчеты цилиндрической зубчатой передачи внешнего зацепления

Исходные данные

GEARS 5.5

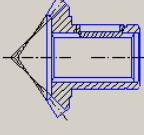


$$a_w = \frac{(z_1 + z_2) \cdot m}{2 \cdot \cos\beta} \cdot \frac{\cos\alpha}{\cos\alpha_w}$$

$$b_f = \frac{F_t}{D_w \cdot m} \cdot K_F \cdot Y_F \cdot Y_B \cdot Y_C$$

$$b_H = Z_L \cdot Z_M \cdot Z_E \cdot \sqrt{\frac{F_t}{D_w \cdot d}} \cdot \frac{U \cdot I}{\sigma}$$

$$K_{H\beta} = \sqrt{\sum \frac{N_i}{N_{H\beta}} \cdot \left(\frac{\sigma_{H\beta}}{b_H}\right)^4}$$

$$K_{F\beta} = \sqrt{\sum \frac{N_i}{N_{F\beta}} \cdot \left(\frac{\sigma_{F\beta}}{b_f}\right)^4}$$


$$R_{\sigma} = D_w \cdot 5 \cdot m_{\sigma} \cdot Z_c$$

24.10.2003

Геометрический расчет

Расчет на прочность

Расчет долговечности

Рисунок 4.20 – Вікно розрахунків на довговічність

10. Задайте необхідні параметри і перейдіть на сторінку **Режими навантаження** (рис. 6.21).

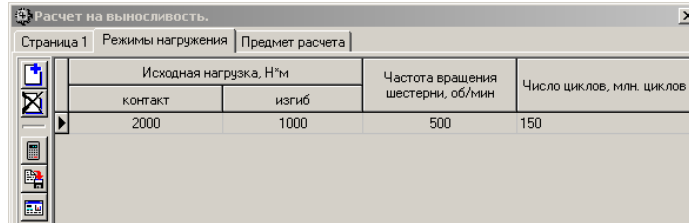
Расчет на выносливость

Страница 1 | Режимы нагружения | Предмет расчета

Параметры	Ведущее колесо	Ведомое колесо
1. Материал зубчатых колес	18ХГТ	18ХГТ
2. Предел выносливости по контакту, МПа	1288	1288
3. Предел выносливости по изгибу, МПа	820	820
4. Базовый ресурс и его размерность	50000	час
5. Тип передачи	Обычная	
6. Количество сателлитов	1	
7. Функциональное назначение ведущего колеса	Солнечная шестерня	
8. Коэффициент ограничения усталостных повреждений	контакт	0.6
	изгиб	0.6
9. Коэффициент безопасности	контакт	1.2
	изгиб	1.55
10. Показатель кривой выносливости	контакт	6
	изгиб	9
11. Коэффициент, учитывающий шероховатость	1	1
12. Базовое число циклов при изгибе, млн. циклов	4	4

Рисунок 6.21 - Сторінка 1 розрахунку на довговічність

11. Для створення параметрів режиму навантаження натисніть кнопку **Додати**, з'явиться новий рядок, введіть необхідні параметри. Після натискання кнопки **Розрахунки**, також як і в попередньому випадку, з'явиться текстове вікно з результатами розрахунків зведених у таблицю, які можна зберегти.



Исходная нагрузка, Н*м		Частота вращения шестерни, об/мин	Число циклов, млн. циклов
контакт	изгиб		
2000	1000	500	150

Рисунок 6.22 – Результаты расчетов

12. Після цього натисніть кнопку **Повернення в головне вікно**. Збережіть файл розрахунків і закрийте вікно. З'явиться діалогове вікно вибору об'єкта побудови (у нашому випадку, виберіть побудову колеса) (рис. 6.23).

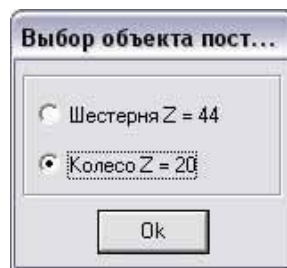


Рисунок 6.23 – Вибір об'єкта побудови

13. У результаті буде побудовано зубчастий вінець (рис. 6.24).

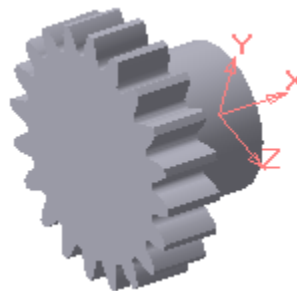


Рисунок 6.24 – Зубчастий вінець

14. Додайте на торцевій площині диска зубчастого колеса циліндричний виступ. Для цього, виберіть команду **Зовнішня циліндрична сходи́нка**, вкажіть дану торцеву площину, задайте необхідні параметри і завершите побудову (рис. 6.25).

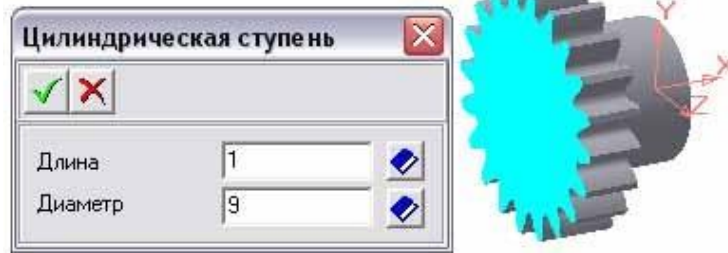


Рисунок 6.25 - Додавання на торцевій площині диска зубчастого колеса циліндричного виступу

15. І останнє, необхідно вирізати отвір для валу. Виберіть команду **Внутрішня циліндрична сходи́нка**, вкажіть торцеву площину маточини, задайте параметри отвору, завершіть побудову (рис. 6.26).

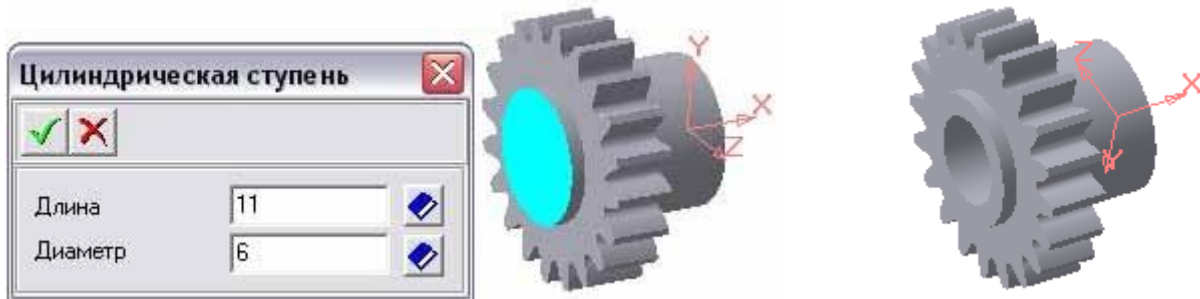


Рисунок 6.26 – Вирізання отвору для валу

16. При необхідності дані розрахунків можна використовувати ще раз, завантаживши збережений файл у діалоговому вікні **Розрахунки циліндричної зубчастої передачі зовнішнього зачеплення**, вибравши в меню **Вихідні дані – Читання**. Після завантаження файлу, якісь параметри можна змінити.


17. Для полегшення складання, створіть фаску, для чого викличте команду **Фаска** , виділіть окружність основи отвору, на панелі властивостей задайте величину катета фаски 0,5 на 45° і створіть об'єкт (рис. 6.27).



Рисунок 6.27 – Створення фаски

18. Змоделюємо штифтовий отвір (знадобиться нам при побудові складання), що направляє отвір під штифт (знадобиться для виконання креслення по моделі) і отвір під гвинт. Для штифтового отвору створіть ескіз у площині **X_Y** (рис. 6.28):

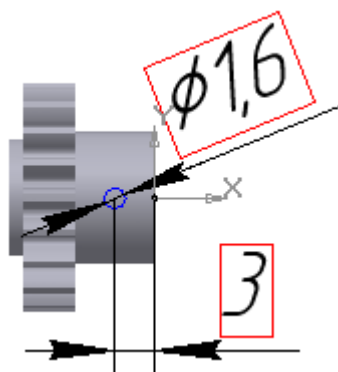



Рисунок 6.28 – Створення ескізу штифтового отвору

19. Вийдіть із ескізу і виріжіть видавллюванням  в обох напрямках від площини ескізу до найближчої поверхні. У дереві побудови клацніть правою кнопкою миші на імені даної операції та виберіть із контекстного меню команду **Виключити з розрахунку** (рис. 6.29).

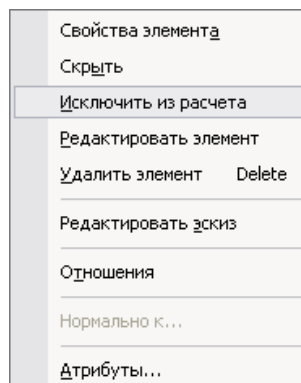


Рисунок 6.29 – Вибір команди Виключити з розрахунку

20. Для напрямного отвору створіть у площині **X_Y** наступний ескіз (рис. 4.30):

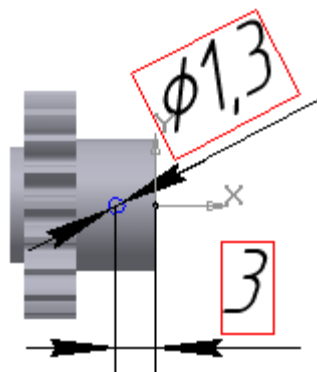



Рисунок 6.30 – Ескіз напрямного отвору

21. Вийдіть із ескізу і **виріжіть видавлюванням**  у зворотному напрямку від площини ескізу до найближчої поверхні (рис. 6.31).

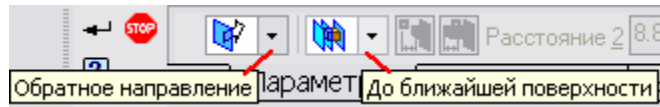


Рисунок 6.31 – Операція вирізання видавлюванням на вкладці параметрів

22. Для отвору під гвинт виберіть площину **ZX** і побудуйте наступний ескіз (рис. 6.32):

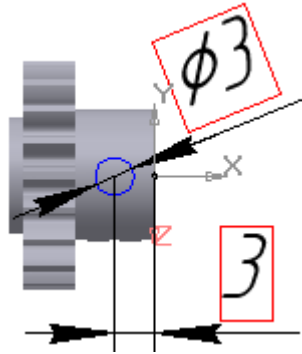


Рисунок 6.32 – Ескіз отвору під гвинт


23. Вийдіть із ескізу і **виріжіть видавлюванням**  у зворотному напрямку від площини ескізу до найближчої поверхні.



Рисунок 6.33 – Модель отвору під гвинт

24. У такому виді зубчасте колесо знадобиться для побудови креслення по моделі. А для побудови складання, використовуючи команду **Виключити з розрахунку**, відключіть побудову напрямного отвору, і **Включіть в розрахунки** побудову наскрізного отвору під штифт.

Завдання для самостійної роботи

Побудувати за номером варіанта та ескізом зубчасте колесо та шестерню, які наведені на рис. 6.34, 6.35.

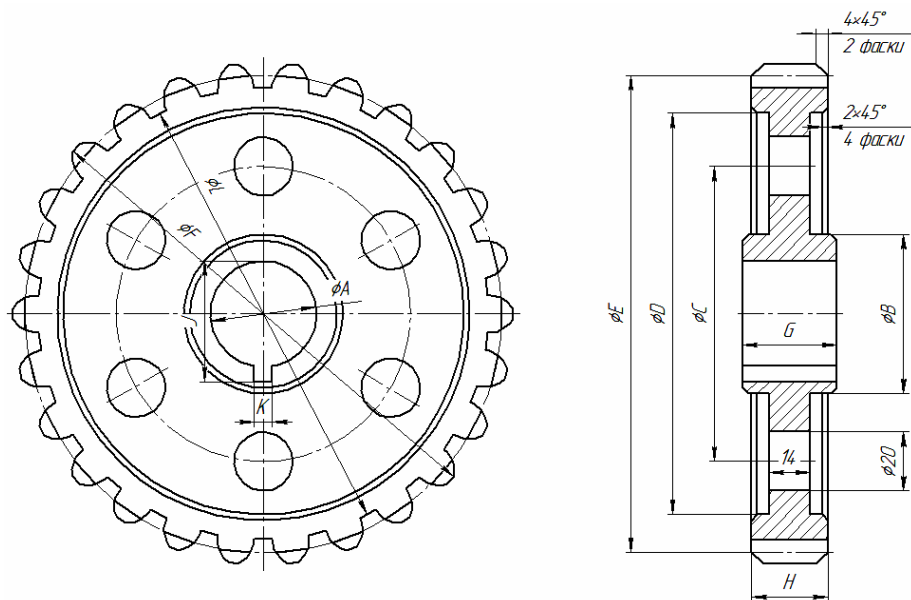


Рисунок 6.34 - Ескіз зубчатого колеса

Таблиця 6.1 - Чисельні дані варіантів для креслення зубчатого колеса

Номер	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	Кількість
1	36	54	100	138	162	170	32	26	41	6	153	28
2	38	56	101	146	170	178	34	28	43	8	161	32
3	46	64	115	166	190	198	40	34	52	8	181	36
4	42	60	112	156	180	188	37	31	48	8	171	34
5	41	59	110	153	177	185	36	30	46	6	168	34
6	42	60	112	156	180	188	37	31	47	8	171	34
7	38	56	101	146	170	178	34	28	43	6	161	32
8	40	58	108	150	174	182	35	29	45	8	165	32
9	43	60	110	156	180	188	38	32	48	6	171	34
10	43	60	112	156	180	188	38	32	48	8	171	34
11	40	58	106	150	174	182	35	29	45	6	165	32
12	46	64	115	166	190	198	40	34	52	8	181	36

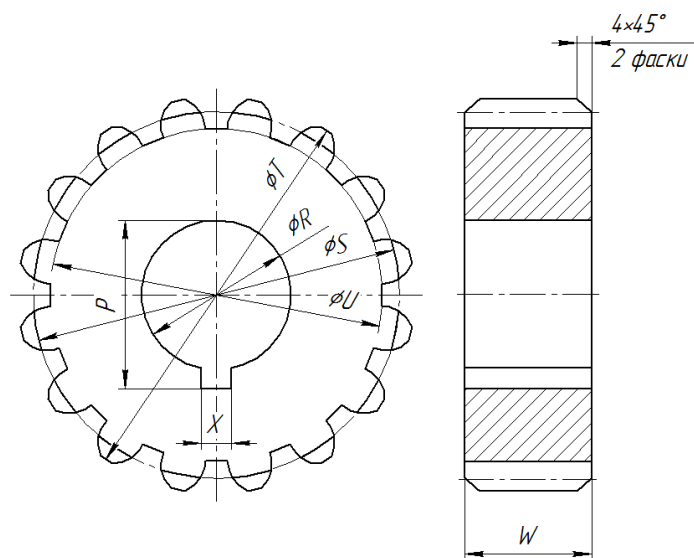


Рисунок 6.35 - Ескіз шестерні

Таблиця 6.2 - Чисельні дані варіантів для креслення шестерні

Номер варіанта	R	S	T	U	W	X	P	Кількість зубців
1	40	98	106	89	34	8	45	18
2	42	104	112	95	36	8	47	20
3	46	116	124	107	42	10	52	22
4	46	110	118	101	39	10	52	20
5	45	108	116	99	38	10	51	20
6	46	110	118	101	39	10	52	20
7	42	102	110	95	36	8	47	18
8	44	106	114	97	37	8	49	20
9	45	110	118	101	40	10	51	22
10	45	110	118	101	40	10	51	22
11	44	106	114	97	37	8	49	20
12	46	116	124	107	43	10	52	22

Контрольні запитання

1. Як створити шпонковий паз у 3D моделі?
2. Опишіть способи створення зубців зубчастого колеса?
3. Опишіть послідовність дій при створенні масиву елементів?
4. Яким чином можна побудувати отвори?
5. Як змінити властивості виду на кресленні?
6. Як проставити діаметральні розміри на кресленні?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

Моделювання конічного зубчастого колеса

Мета роботи: Виконати моделювання конічного зубчастого колеса.

Хід виконання роботи

7.1 Створення заготовки зубчастого колеса

1. У площині **XU** створіть ескіз із вказівкою всіх необхідних розмірів (рис. 7.1):

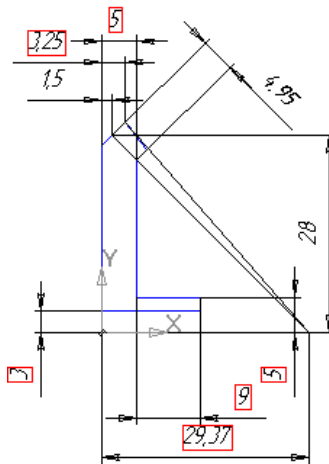


Рисунок 7.1 – Ескіз заготовки зубчастого колеса

- Створіть тіло обертання за допомогою команди **Операція обертання** (рис. 7.2)

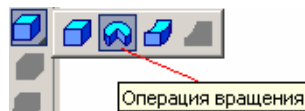


Рисунок 7.2 – Вибір операції обертання

- У результаті одержимо (рис. 7.3):



Рисунок 7.3 – Модель конічного зубчастого колеса

7.2 Створення дотичної площини для побудови профілю зуба

- Виберіть в Інструментальній панелі **Допоміжна геометрія** команду – **Дотична площина** (рис. 7.4).
- Вкажіть поверхню, до якої будуюмо дотичну площину, потім вкажіть площину, з якої буде перетинатися дотична площина (у нашому випадку це площина **ZX**, яку зручніше за все вказати в дереві побудови) (рис. 7.5).

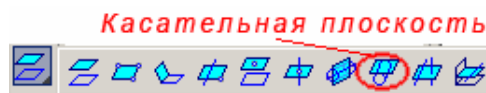


Рисунок 7.4 – Вибір в Інструментальній панелі команди Дотична площина

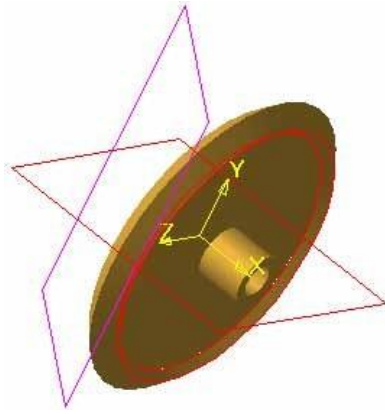


Рисунок 7.5 – Розташування поверхонь на моделі

7.3 Створення зуба конічного зубчастого колеса

1. Виберіть дотичну площину в дереві побудови і виконаєте на ній ескіз зуба, побудований спрощеним способом (рис. 7.6):

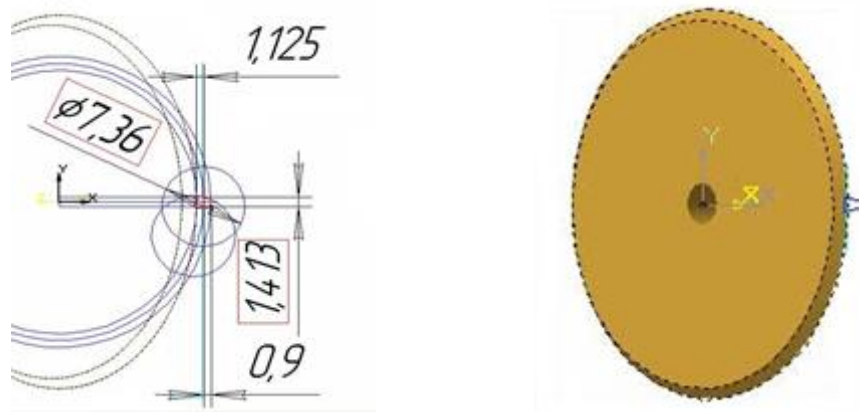



Рисунок 7.6 – Ескіз зуба

2. Створіть модель зуба, використовуючи операцію **Приклеїти видавлюванням** , на 5 мм. Виходячи з того, що в конічного колеса зуб по довжині має не постійну товщину, задайте кут нахилу 2° .

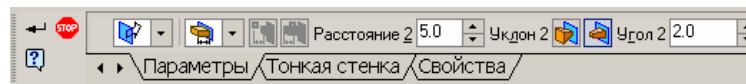


Рисунок 7.7 – Виконання операції Приклеїти видавлюванням

3. У результаті одержимо (рис. 7.8):

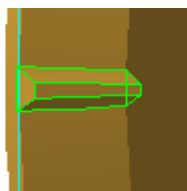


Рисунок 7.8 – Модель зуба

7.4 Створення зубів кінчного зубчастого колеса

1. Виділіть зуб у дереві побудови, в тому випадку якщо виділення зняте, виберіть команду побудови **Масиву по концентричній сітці** (рис. 7.9).

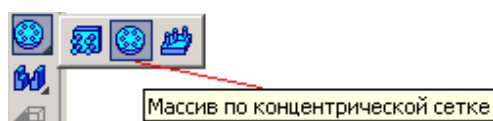


Рисунок 7.9 – Команда Массив по концентричній сітці

2. На панелі властивостей клацніть лівою кнопкою миші на кнопці **Вісь** і вкажіть, також клацанням миші, кінчну поверхню зубчастого вінця або маточини, у результаті програма вибере вісь масиву, що збігається з віссю тіла обертання [7].
Задайте кількість елементів масиву (у нашому випадку – 58).
3. У результаті одержимо (рис. 7.10):



Рисунок 7.10 – Модель кінчного зубчастого колеса

7.5 Моделювання шпонкового паза

1. Виберіть торцеву поверхню маточини колеса, побудуйте ескіз:

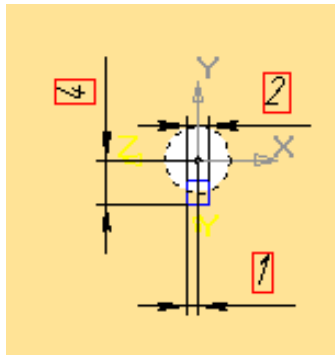


Рисунок 7.11 – Ескіз шпонкового паза

2. Вийдіть із ескізу і виріжіть видавлюванням, встановивши параметр **Через все** (рис. 7.12).



Рисунок 7.12 – Операція Вирізати видавлюванням

3. У результаті одержимо (рис. 7.13):

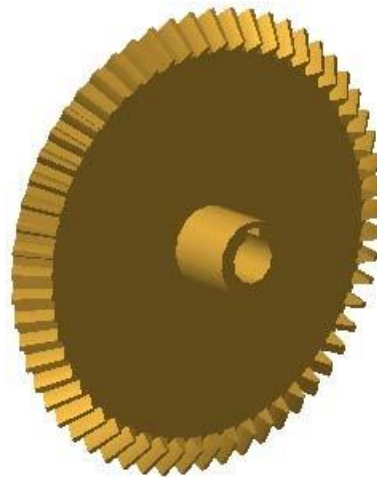


Рисунок 7.13 - Модель кінчного зубчатого колеса із шпонковим пазом

Завдання для самостійної роботи

Основні кутові параметри конічних коліс: δ_1 і δ_2 (рис. 7.14) - половини кутів початкових конусів коліс; при коефіцієнті зміщення інструменту $x_{\Sigma} = x_2 \pm x_1 = 0$ початкові і ділильні конуси збігаються. Σ - кут між осями коліс, може знаходитись в діапазоні $10^\circ < \Sigma < 180^\circ$, широкого поширення набули

конічні передачі з кутом $\Sigma = 90^\circ$, так звані ортогональні передачі. Очевидно, що видання $\Sigma = \delta_1 + \delta_2$.

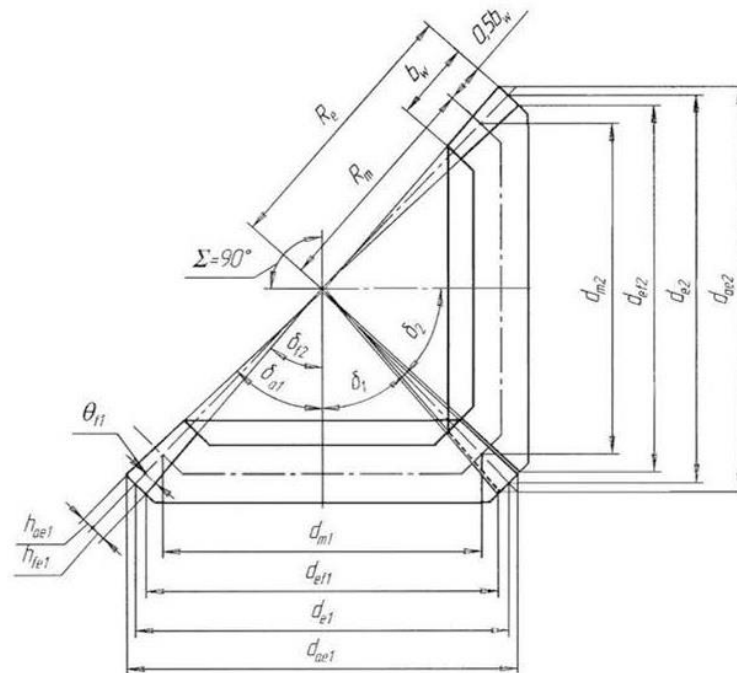


Рисунок 7.14 - Схема ортогональної конічної передачі

Проведемо прямі, перпендикулярні утворюючим ділительних конусів. Конуси, утворюючі яких перпендикулярні утворюючим ділительних конусів, називаються додатковими. Перетин зубів колеса додатковими конусами називаються торцевими перетинами. Розрізняють внутрішні, середні і зовнішні торцеві перетини [8].

Розміри, які відносяться до зовнішнього торцевого перетину зуба, мають індекс «e», а до середнього - «m».

d_e - зовнішній ділительний діаметр (d_{e1} відноситься до шестерні z_1 , d_{e2} відноситься до колеса z_2);

d_{ae} і d_{fe} - зовнішній діаметр вершин і западин відповідно;

d_m - середній ділительний діаметр;

b_w - ширина зубчастого вінця;

R_e - зовнішня конусна відстань, вона, аналогічно міжосьовій відстані a_w циліндричних передач, визначає габарити конічної передачі;

R_m - середня конусна відстань;

m_{te} - окружний модуль на зовнішньому торці;

m_{tm} - середній окружний модуль.

Передавальне відношення конічної передачі знайдемо з рівності окружних швидкостей, тобто:

$$u = \frac{z_1}{z_2} \quad (7.1)$$

Але так як $d_{e1} = 2R_e \sin \delta_1$ і $d_{e2} = 2R_e \sin \delta_2$ (рис. 7.14), то:

$$u = \frac{\sin \delta_2}{\sin \delta_1} \quad (7.2)$$

В загальному випадку, коли $\Sigma \neq 90^\circ$; $\Sigma = \delta_1 + \delta_2$, звідки:

$$\delta_2 = \Sigma - \delta_1 \quad (7.3)$$

$$u = \frac{\sin \delta_2}{\sin \delta_1} = \frac{\sin \Sigma}{\operatorname{tg} \delta_1} - \cos \Sigma \quad (7.4)$$

Звідси отримуємо:

$$\sin \delta_1 = \frac{\sin \Sigma}{\sqrt{u^2 + 2u \cos \Sigma} + 1}; \quad \sin \delta_2 = \frac{u \sin \Sigma}{\sqrt{u^2 + 2u \cos \Sigma} + 1} \quad (7.5)$$

Повернемося до ортогональної передачі, коли $\Sigma = 90^\circ$, будемо мати:

$$\sin \delta_1 = \frac{1}{\sqrt{u^2 + 1}}; \quad \sin \delta_2 = \frac{u}{\sqrt{u^2 + 1}} \quad (7.6)$$

Визначимо розміри конічних коліс, які знаходять в двох перетинах:

а) в середньому перерізі (індекс m) ці розміри використовують при розрахунку на міцність;

б) по зовнішньому торцю (індекс e) вони зручні для вимірювання, тому їх використовують в робочих кресленнях.

$$d_e = m_{te} z = 2R_e \sin \delta \quad (7.7)$$

$$d_m = m_{mz} z = 2(R_e - 0,5b_w) \sin \delta = d_e (1 - 0,5\psi_{bR}) \quad (7.8)$$

де $\psi_{bR} = \frac{b_w}{R_e} \leq 0,3$ - коефіцієнт ширини відносної конусної відстані

$$R_e = \frac{d_e}{2 \sin \delta} = 0,5 m_{te} \sqrt{z_1^2 + z_2^2}; \quad R_m = R_e - 0,5 b_w; \quad b_w \leq 10 m_{te} \quad (7.9)$$

$h_{ae} = m_{te}$ - висота головки зубів $h_{fe} = 1,2 m_{te}$ - висота ніжки зуба; $h = 2,2 m_{te}$ - висота зуба;

$\Theta_f = \arctg \frac{h_{fe}}{R_e}$ - кут ніжки зуба;

$\left. \begin{array}{l} \delta_a = \delta + \Theta_f \\ \delta_f = \delta - \Theta_f \end{array} \right\}$ - кути конусів вершин зубів і западин відповідно;

$$d_{ae} = d_e + 2h_{ae} \cos \delta = m_{te} (z + 2 \cos \delta)$$

$$d_{fe} = d_e - 2h_{fe} \cos \delta = m_{te} (z - 2,4 \cos \delta)$$

Вихідні данні для розрахунку наведені в таб. 7.1.

Таблица 7.1

Вихідні данні для розрахунку

№ варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
z_1	20	24	30	18	18	20	24	26	16	18	20	16	18	20
z_2	30	36	45	27	36	40	48	52	40	45	50	48	54	60
m_{te}	1,5	2,0	2,5	3,0	1,5	2,0	2,5	3,0	1,5	2,0	3,0	1,5	2,0	3,0
δ_1	56°16'				63°36'				68°12'				71°34'	
δ_2	33°41'				26°34'				21°48'				18°26'	

Контрольні запитання

1. Як створити тіло обертання?
2. Опишіть методику створення зуба конічного зубчастого колеса?
3. Як створити задане число зубів конічного зубчастого колеса на моделі?
4. Як побудувати шпонковий паз?
5. Як додати в модель новий компонент?



Лабораторна робота № 8

Створення складання вузла механізму

Мета роботи: Виконати складання вузла механізму.

Хід виконання роботи

8.1. Створення складання. Накладення зв'язків

1. У меню **Файл** виберіть команду **Створити – Складання**. На інструментальній панелі **Редагування складання** , виберіть команду **Додати з файлу**  і в діалоговому вікні виберіть файл Корпус. Вставте Корпус, помістивши курсор у початок координат. У дереві побудови з'явиться Деталь, перейменуйте, для зручності подальшої роботи, у Корпус. Поруч із написом у дужках відобразиться буква (Ф), що означає – фіксована. Всі інші деталі і підскладання будемо позиціонувати щодо Корпусу.
2. Аналогічним чином додайте з файлу інші деталі, розташовуючи їх довільно, осторонь від Корпусу. Відразу ж перейменуйте для зручності в дереві побудови на назву самих моделей (рис. 8.1).

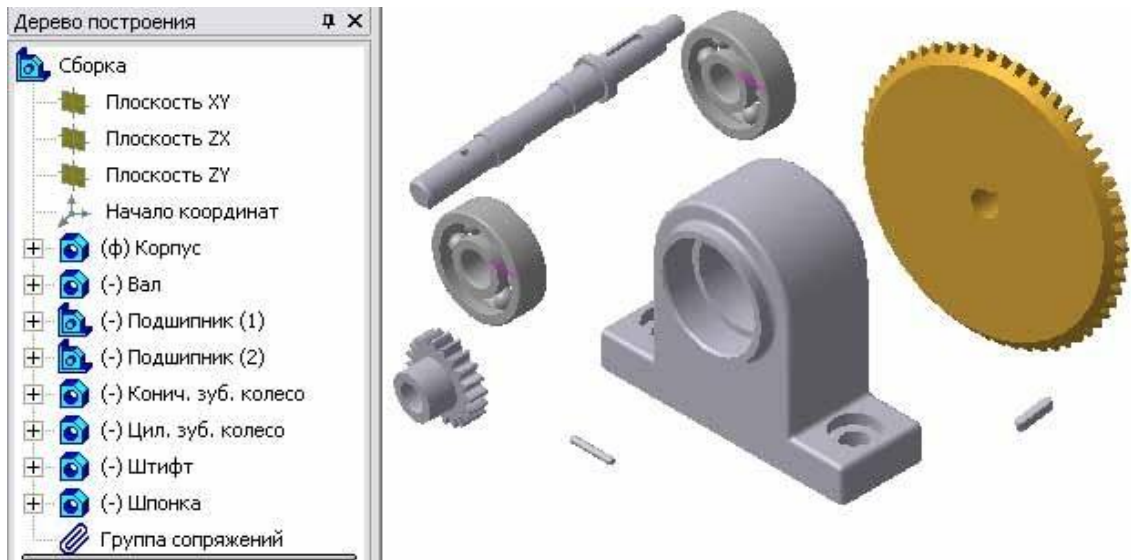





Рисунок 8.1 – Дерево побудови та основні деталі збирання

3. Тепер необхідно задати певні положення всім деталям, накладаючи сполучення. Будемо діяти в тій послідовності, як при реальному складанні. Почнемо з підшипників. Виберіть на Інструментальній панелі **Зв'язки** , команду **Співвісність** . Вкажіть на поверхню обертання кільця одного підшипника і отвору в Корпусі, потім іншого підшипника і також отвору Корпусу. У результаті чого осі підшипників будуть співвісні осі отвору в корпусі [8].

4. Далі виберіть команду **Збіг** , вкажіть на торцеву поверхню зовнішнього кільця одного підшипника і торцеву поверхню отвору під нього в Корпусі, після чого підшипник займе потрібне положення. Повторіть ці дії для другого підшипника (рис. 8.2).

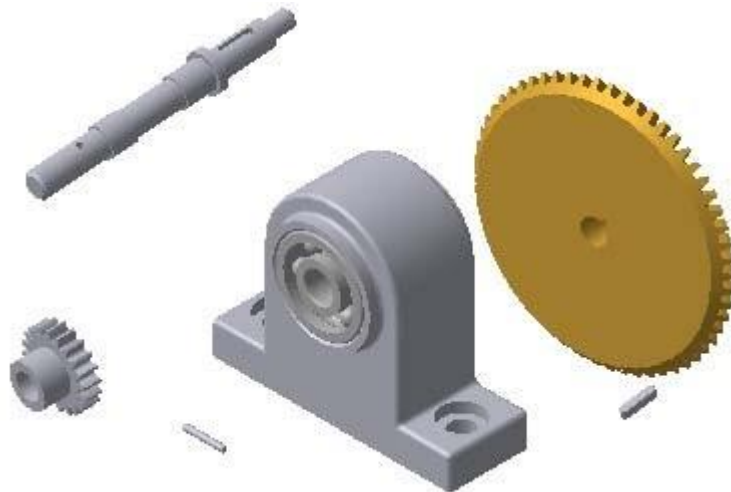


Рисунок 8.2 – Установка підшипників в корпус

5. Тепер задайте положення валу. Призначте зв'язок **Співвісність** поверхні валу та отвору в підшипнику і **Збіг** торцевої поверхні циліндричного паска валу і внутрішнього кільця другого підшипника (рис.8.3).

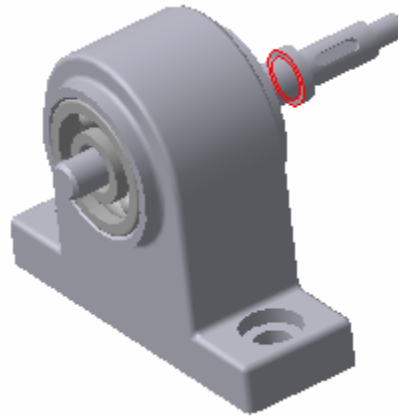


Рисунок 8.3 – Установка валу

6. Вставте шпонку в паз на валу. Для цього треба накласти три зв'язка, використовуючи команду **Збіг**.

а). Вкажіть торцеву площину паза і нижню площину шпонки (рис. 8.4).

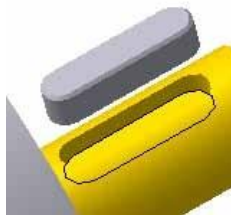


Рисунок 8.4 – Виділення торцевої площини паза і нижньої площини шпонки

б) Вкажіть бічну площину паза і бічну площину шпонки.

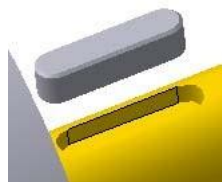


Рисунок 8.5 – Виділення бічної площини паза і бічної площини шпонки

с) Вкажіть циліндричне округлення шпонки і паза (рис. 8.6).

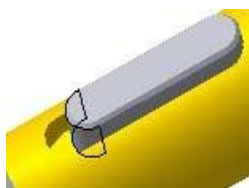


Рисунок 8.6 – Виділення циліндричного округлення шпонки і паза


7. Надалі, при побудові вирізу чверті, нам знадобиться паралельність торцевої площини шпонки з горизонтальною площиною основи Корпусу, тому додаємо зв'язок **Паралельність**  і вказуємо торцеву площину шпонки і площину основи Корпусу.



Рисунок 8.7 – Модель валу із шпонкою

8. Встановіть конічне зубчасте колесо на вал. Накладіть три зв'язки: **Співвісність** отвору колеса з валом; **Збіг** торцевої поверхні паза колеса під шпонку з торцевою поверхнею шпонки; **Збіг** торцевої поверхні диска колеса зі сходинкою валу (рис. 8.8).

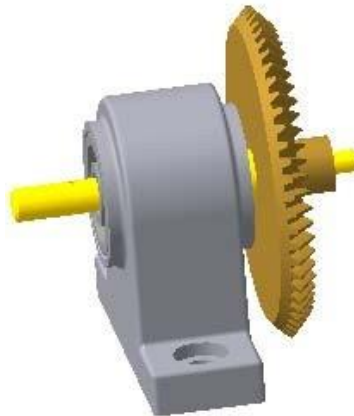


Рисунок 8.8 – Модель конічного колеса встановленого на валу

9. Встановіть на валу циліндричне зубчасте колесо. Накладіть на колесо зв'язок **Співвісність** посадкового отвору колеса і валу, а також **Співвісність** отвору під штифт у маточині колеса і на валу (рис. 8.9).



Рисунок 8.9 - Модель циліндричного колеса встановленого на валу



10. Встановіть штифт в отвір, наклавши зв'язок **Співвісність**, і тому що при вирізанні отвору під штифт у маточині колеса не будували дотичної площини, визначимо положення штифта в отворі, задавши зв'язок **На відстані**  торцевої поверхні штифта від горизонтальної площини системи координат (**ZX**) *моделі валу* рівного половині довжини штифта (у нашому прикладі 5 мм).



Рисунок 8.10 – Установка штифта в отвір

11. Для закріплення на валу конічного зубчастого колеса встановіть стандартні кріпильні елементи з бібліотеки. Виберіть розділ **Сервіс – Менеджер бібліотек**, або на піктографічній панелі виберіть кнопку **Менеджер бібліотек** . У вікні, що відкрилося, у розділі Бібліотеки КОМПАС – Машинобудування **активізуйте Бібліотеку кріплення**. У **Бібліотеці кріплення** виберіть розділ **Шайби**. Двічі клацніть на підрозділі **Шайби**, у діалоговому вікні задайте необхідні параметри (рис 8.11).

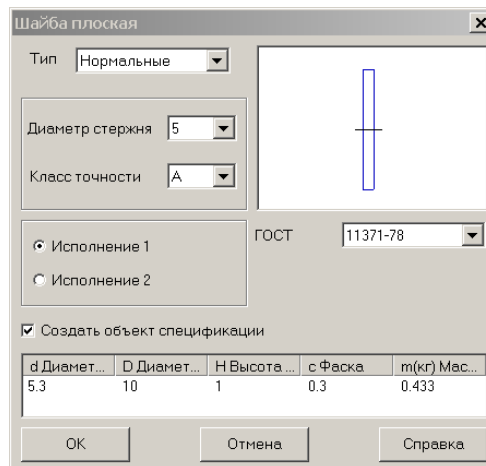


Рисунок 8.11 – Вікно вибору розмірів шайб

12. Натисніть ОК і задайте клацанням миші положення шайби осторонь від складання і створіть об'єкт.

13. У **Бібліотеці кріплення** виберіть розділ **Шайби**. Двічі клацніть на підрозділі **Шайби пружинні**, у діалоговому вікні задайте необхідні параметри.

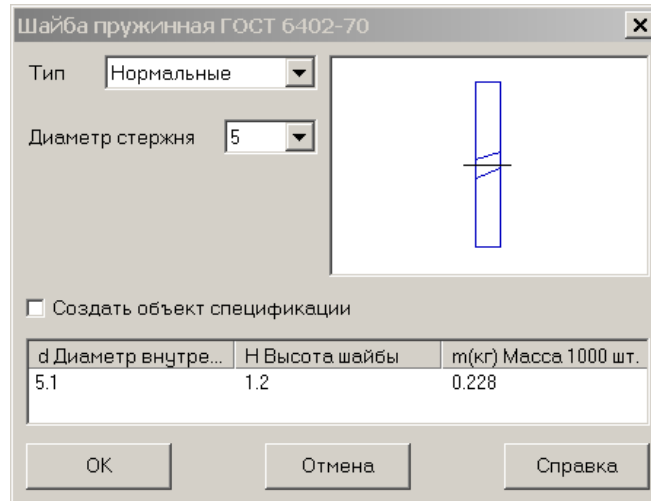


Рисунок 8.12 - Вікно вибору розмірів пружинних шайб

14. Натисніть ОК і задайте клацанням миші положення шайби осторонь від складання і створіть об'єкт.

15. У **Бібліотеці кріплення** виберіть розділ **Гайки**. Двічі клацніть на підрозділі **Гайки шестигранні**, у діалоговому вікні задайте необхідні параметри (рис. 8.13).

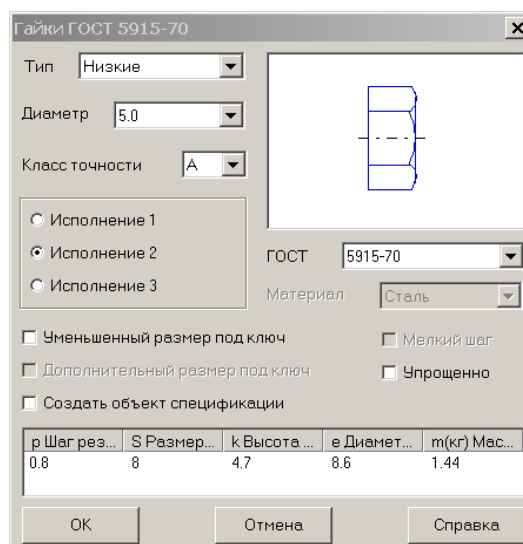


Рисунок 8.13 – Вікно вибору розмірів гайок шестигранних

16. Аналогічно шайбам встановіть гайку осторонь від складання (рис. 8.14).

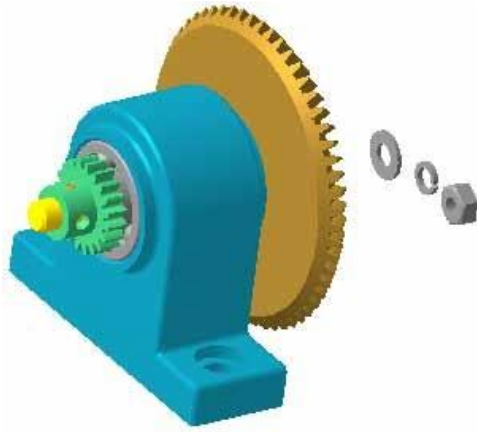


Рисунок 8.14 – Моделі шайб та гайки

17. Залишилося задати зв'язок **Співвісність**, а також **Збіг** відповідних торцевих поверхонь (рис. 8.14).

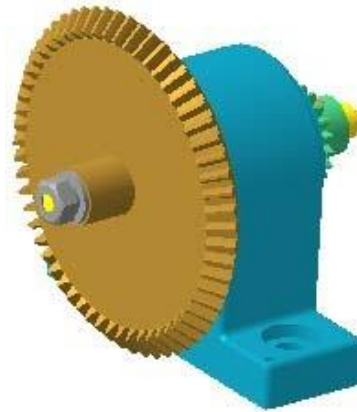


Рисунок 8.14 – Модель вузла механізму

На цьому процес складання закінчений.

8.2. Виріз чверті

Для того, щоб було видне як, що, із чим з'єднується в складанні, звичайно вирізують четверту частину складання.

1. Виберіть фронтальну площину і побудуйте в ній ескіз у вигляді двох відрізків (рис. 8.15).

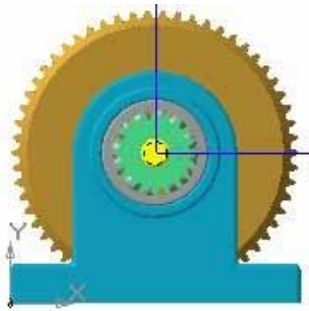


Рисунок 8.15 – Побудова ескізу у вигляді двох відрізків

2. Вийдіть із ескізу. Виберіть команду меню **Операції – Перетин – По ескізу**. На панелі властивостей вкажіть **Напрямок відсікання** (рис. 8.16, 8.17).

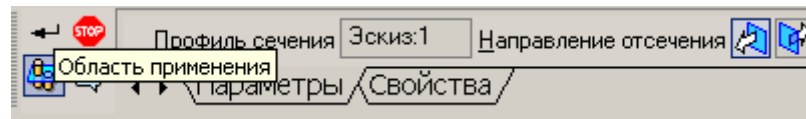


Рисунок 8.16 – Операція Перетин по ескізу на панелі властивостей

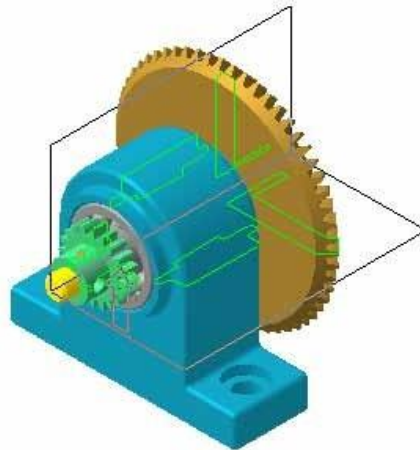


Рисунок 8.17 – Зображення відсікаючих площин на моделі

3. Відомо, що суцільні тіла, стандартні вироби не ріжуться, тому, натисніть кнопку **Область застосування**. Виберіть команду **Все компоненти**, у результаті у вікні **Список компонентів** відобразяться всі моделі, за допомогою команди **Вилучити** вилучіть зі списку моделі, які не повинні бути розрізані. Завершіть команду (рис. 8.18).

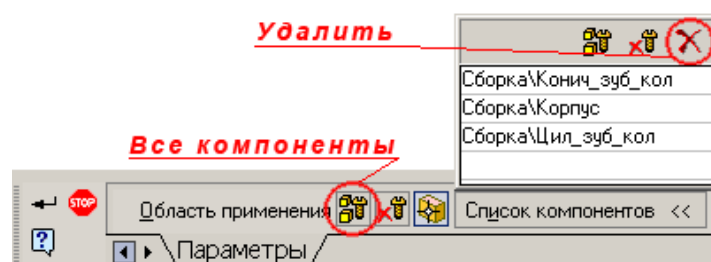


Рисунок 8.18 – Вилучення компонентів збирання, які не ріжуться

У результаті одержимо тривимірну модель складальної одиниці з вирізом чверті (рис. 8.19). У дереві побудови з'явиться операція **Перетин по ескізу**. Якщо виріз не потрібний, можна дану операцію **Виключити з розрахунку** (вибравши відповідну команду з контекстного меню, клацнувши на імені операції в дереві побудови), або в дереві побудови пересунути роздільник (горизонтальна смуга під останньою операцією), розмістивши його над не потрібною операцією.

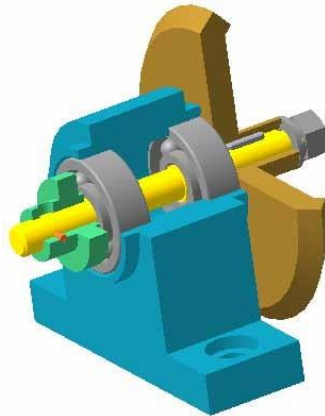


Рисунок 8.19 - Тривимірна модель складальної одиниці з вирізом чверті

8.3. Побудова складання вузла механізму

Часто зручно бачити складання в «розібраному» стані, коли видно всі його компоненти. Для цього необхідно виконати наступні дії:

1. Викличте команду меню **Сервіс – Рознести компоненти – Параметри**. На панелі властивостей натисніть кнопку **Крок рознесення і Додати** (рис. 8.20).

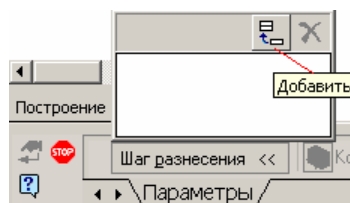



Рисунок 8.20 – Команда Рознести компоненти

2. Натиснувши на кнопку **Компоненти**, виберіть у дереві побудови ті компоненти, які прагнете винести за один крок. Натиснувши на кнопці **Об'єкт**, задайте напрямок виносу, вказавши на ребро основи корпусу, спрямованого,

наприклад, уздовж осі обертання валу. Виберіть напрямок прямий або зворотній і задайте відстань, після чого натисніть кнопку **Застосувати** .

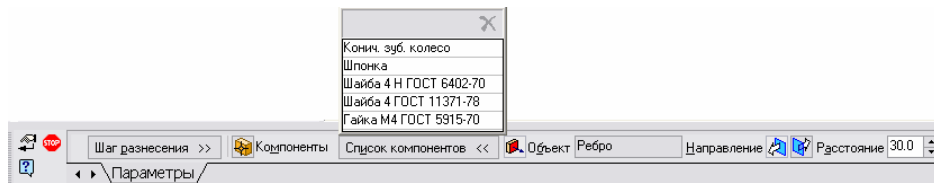


Рисунок 8.21 – Вибір компонентів для виносу в меню

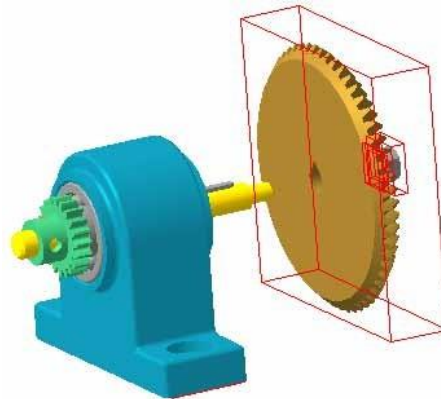


Рисунок 8.22 – Компоненти для виносу показані на моделі

3. Додайте наступний крок, і так далі. Для штифтів вкажіть напрямок виносу уздовж осі штифта, тобто вертикально спрямоване ребро основи корпусу щодо отвору в маточині деталі. У підсумку одержимо:

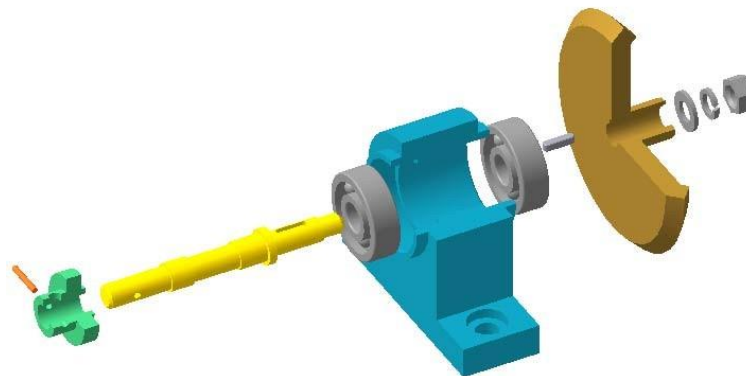



Рисунок 8. 23 – Рознесення моделей збирання

4. Для включення режиму звичайного відображення складання, натисніть кнопку **Рознести**  панелі **Вид**. Ця команда служить перемикачем режиму рознесення і звичайного відображення складання.

Завдання для самостійної роботи

Побудувати за номером варіанта (лабораторні роботи № 1 - 7) складання вузла механізму, виріз чверті, та рознесене складання.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення складання?
2. Назвіть які види методик використовуються при створенні складань?
3. Назвіть принципову різницю між методики складання знизу вгору з розміщенням компонентів і зверху вниз з розміщенням компонентів?
4. Як створити файл складання?
5. Як додати в складання новий компонент?
6. Вкажіть способи переміщення компонентів в складанні?
7. Як виконати редагування компонента в складанні?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

Створення креслення корпусу по моделі

Мета роботи: Створити креслення корпусу по моделі.

Хід виконання роботи

9.1. Створення необхідних зображень

1. Розглянемо створення креслення деталі – Корпус. *Креслення деталі* – конструкторський документ, який містить зображення деталі та інші дані, необхідні для її виготовлення і контролю.
2. Викличіть команду меню **Створити – Креслення**.
3. Якщо необхідно змінити формат аркуша (рамку з основним написом) виберіть команду меню **Сервіс – Параметри** (рис. 9.1). У діалоговому вікні

виберіть у списку пункт **Параметри аркуша – формат**. Далі виберіть формат і його розташування і натисніть **ОК**.

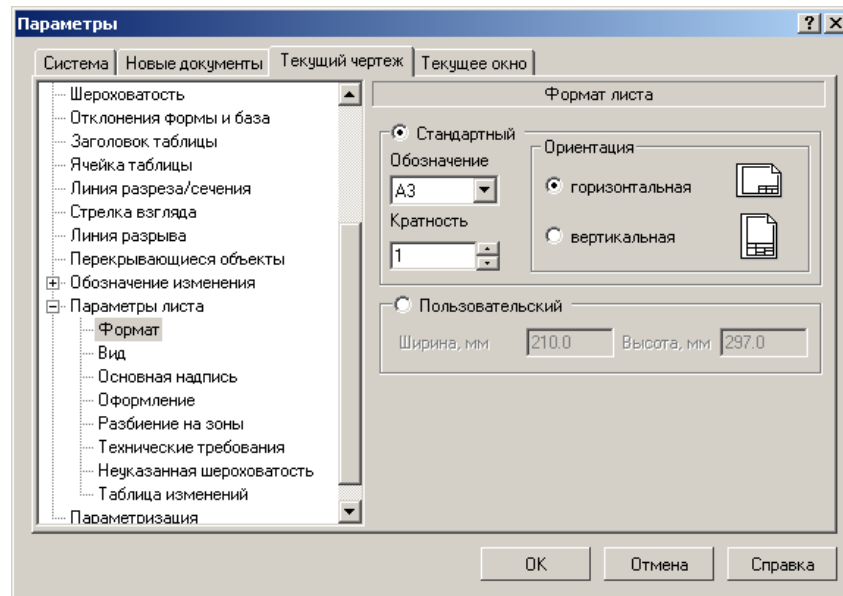


Рисунок 9.1 – Зміна формату аркуша



4. На Інструментальній панелі **Асоціативні види**  виберіть команду **Стандартні види** . Виберіть у діалоговому вікні **3 файлу**, якщо модель не відкрита, файл Корпус. З'явиться фантомне зображення трьох видів. На панелі властивостей у розділі **Орієнтація головного виду** (на малюнку - #Спереди) можна вибрати вид, який буде використовуватися в якості головного (для нашого випадку залишимо Попереду) [9]. Клацнувши на кнопці **Схема**, у графічному діалоговому вікні вкажіть які види необхідно будувати, крім головного. Відключите все. Виберіть масштаб 2:1. Натисніть **ОК**. Задайте положення виду на аркуші (рис. 9.2).



Рисунок 9.2 – Створення стандартних видів

Це зображення буде в нас використане в якості виду ліворуч.

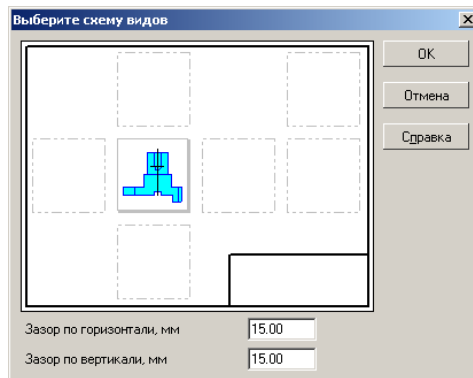




Рисунок 9.3 – Вибір схеми видів

5. У якості головного зображення створимо розріз (рис. 9.4). Для чого, на Інструментальній панелі **Позначення**  виберіть команду **Лінія розрізу** . Створіть лінію розрізу, використовуючи об'єкту прив'язку **Вирівнювання**.

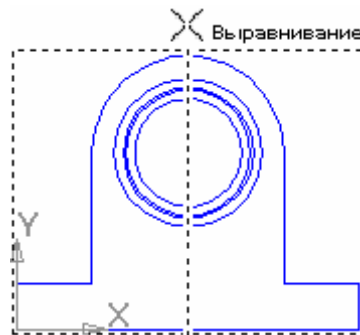


Рисунок 9.4 – Створення розрізу

6. На панелі властивостей можливо змінити напрямок погляду. Завершіть команду (рис. 9.5).

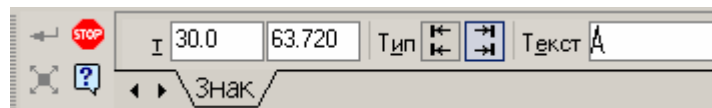



Рисунок 9.5 - Змінити напрямок погляду на панелі властивостей

7. Для побудови розрізу, на Інструментальній панелі **Асоціативні види**, виберіть команду **Розріз – Перетин** . Вкажіть клацанням миші на лінію розрізу (вона виділиться червоним кольором) і задайте положення даному зображенню (рис.7.6).

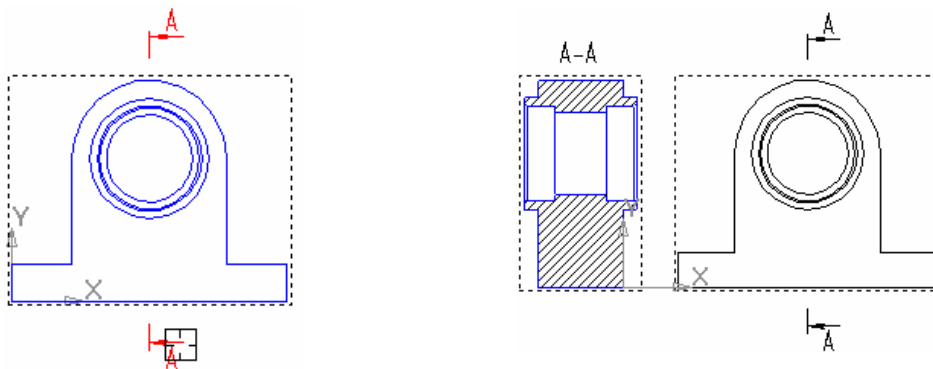



Рисунок 9.6 – Розріз корпусу

8. На панелі **Поточного стану** в розділі **Стан видів**  кожному створеному виду відповідає свій номер (рис. 9.7). Залежно від того, який номер буде обраний, такий вид і буде поточним, і на графічній області зображення підсвічується синім кольором ліній.

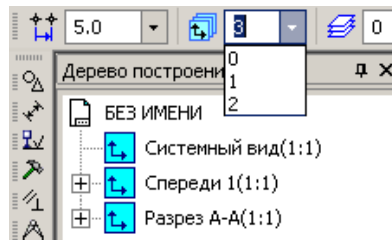


Рисунок 9.7 – Вид дерева побудови

9. На виді ліворуч створимо місцевий розріз для показу профілю кріпильних отворів. Для цього виберіть вид ліворуч поточним (номер 1). Створіть замкнену лінію (наприклад, криву Без'є) у потрібній області розрізу (рис. 9.8):

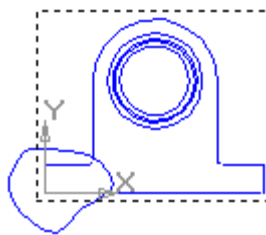



Рисунок 9.8 – Створення місцевого розрізу

10. Виберіть на Інструментальній панелі **Асоціативні види** команду **Місцевий розріз** . Спочатку вкажіть замкнену криву, яка обмежує розріз, потім задайте положення січної площини на головному зображенні на осі симетрії (рис. 9.9):

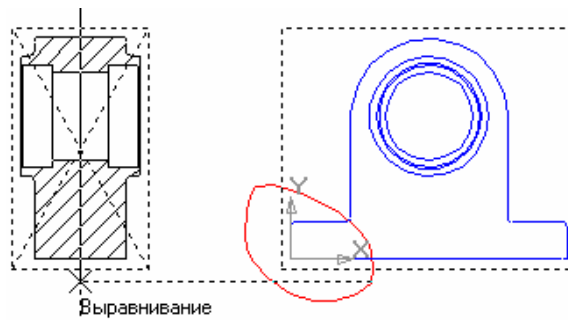


Рисунок 9.9 - Задання положення січної площини на головному зображенні на осі симетрії

11. У результаті одержите наступне зображення (рис. 9.10):

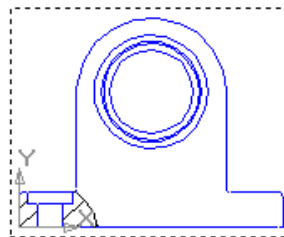






Рисунок 9.10 – Місцевий розріз

12. Далі, добудуйте відсутні лінії (осьові), нанесіть необхідні розміри і всі необхідні позначення. Ці додаткові побудови виконуйте на **поточному** виді.

13. Так як, січна площина розрізу проходить через площину симетрії деталі, то позначення розрізу не потрібно. Якщо вилучити позначення, то буде вилучено і зображення. Тому для того, щоб вилучити із креслення позначення розрізу, створіть на **кожному поточному виді** шар  і зробіть його погашеним, натиснувши на відповідній кнопці діалогового вікна налаштування шарів . Після чого перенесіть літерні позначення розрізу з кожного поточного виду на погашений шар, виділивши позначення і вибравши з контекстного меню команду – **Змінити шар**.

9.2. Нанесення розмірів

1. Виберіть команду Інструментальної панелі **Розміри**  – **Лінійний розмір** . Вкажіть першу і другу точки початку виносних ліній. З'явиться фантомне зображення розміру (рис. 9.11).

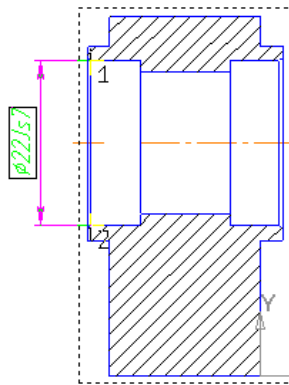


Рисунок 9.11 – Фантомне зображення розміру

2. Для зміни параметрів розміру (у нашому випадку – додавання значка діаметра і квалітету) клацніть на панелі властивостей у поле **Розмірний напис (Текст)** (рис. 7.12).

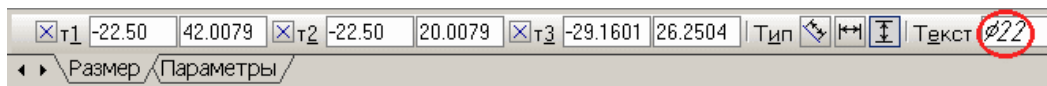


Рисунок 9.12 – Зміна параметрів розміру

3. У діалоговому вікні, яке з'явиться, активізуйте відображення символу діаметра.
4. Для додавання квалітету до розмірного числа, клацніть на кнопці **Квалітет**, у діалоговому вікні виберіть потрібний із кращих (у системі отвору), натисніть **ОК**. Задайте положення розмірної лінії і розмірному напису (рис. 9.13).
5. Аналогічним чином вкажіть необхідні розміри на головному зображенні.
6. Для додавання напису під розмірною лінією (наприклад, 2 отв.) в розмірі діаметра кріпильних отворів, після вказання початку виносних ліній, клацніть на панелі властивостей у полі **Розмірний напис** [10].

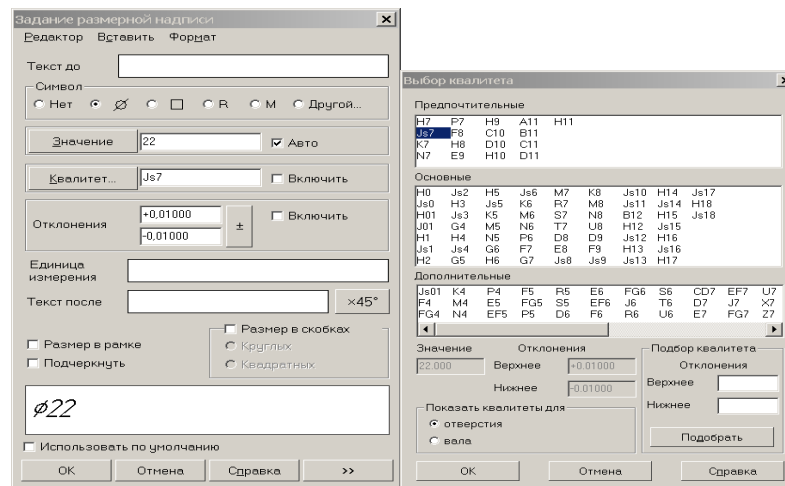


Рисунок 9.13 – Додавання квалітету

Подвійне клацання в полі **Текст під розмірним написом** виводить меню із заданими написами, виберіть із нього потрібну, після чого натисніть **ОК** (рис. 9.14).

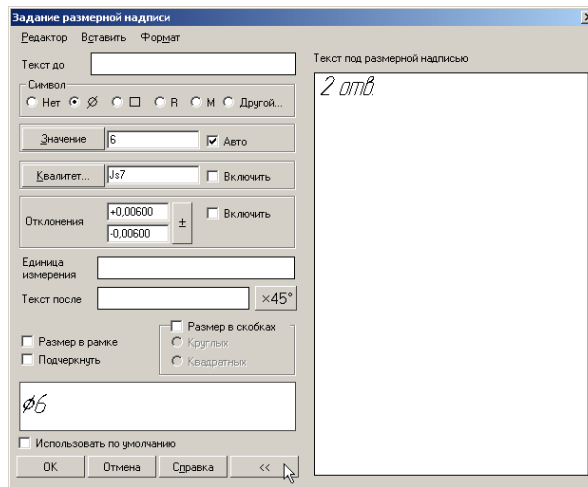




Рисунок 9.14 - Додавання напису під розмірною лінією

9.3. Задання відхилень форми

1. Задайте базу і задайте торцеві та радіальні биття на отвори під підшипники. Для цього на Інструментальній панелі **Позначення** , виберіть команду **База** . Вкажіть виносну лінію діаметра отвору під підшипник, задайте послідовне положення виносної лінії, потім положення самого позначення (рис. 9.15).

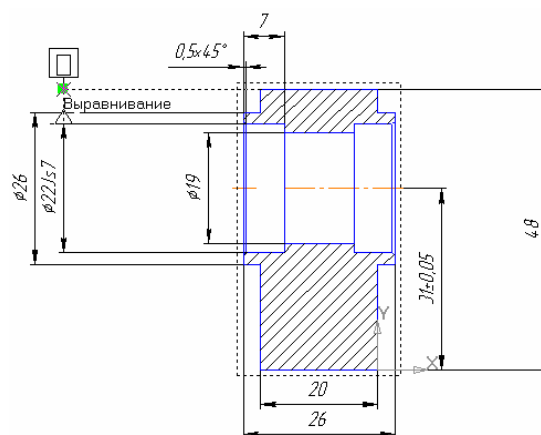


Рисунок 9.15 – Створення на кресленні бази


2. Виберіть команду **Допуск форми** . На панелі властивостей клацніть на поле **Таблица**.



Рисунок 9.16 – Вибір команди Допуск форми

3. Виберіть **Знак** допуску (биття), у полі **Числове значення** подвійне клацання виводить панель рекомендованих значень. Задайте позначення бази і натисніть **ОК** (рис. 9.17).

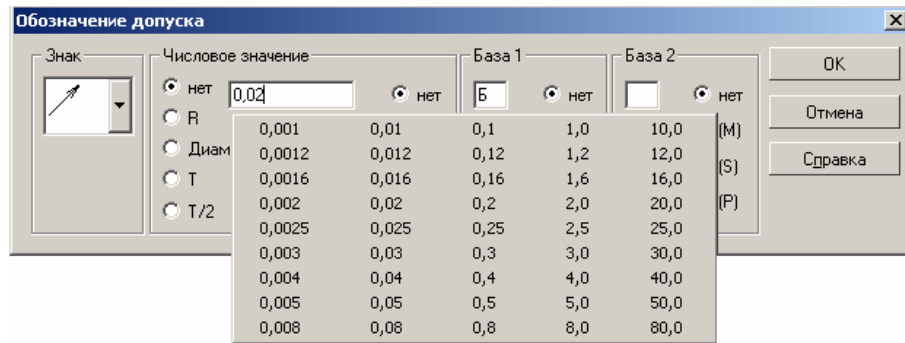


Рисунок 9.17 – Вибір числового значення допуску

4. Після заповнення таблиці допуску, на панелі властивостей натисніть кнопку **Відгалуження зі стрілкою**:

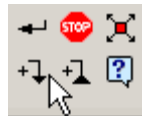


Рисунок 9.18 – Кнопка Відгалуження зі стрілкою

5. На фантомі рамки з'являться вісім точок, які показують можливі місця положення відгалужень. Виберіть кожен, вкажіть при необхідності точки зламу виносної лінії. Для завершення формування відгалуження, відіжміть відповідну кнопку на Панелі властивостей **+↓** (рис. 7.19).

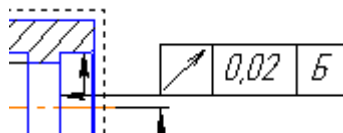




Рисунок 9.19 – Положення відгалуження

6. Створіть наступне відгалуження.

9.4. Нанесення позначень шорсткості поверхні

1. Викличіть команду Інструментальної панелі **Позначення**  – **Шорсткість** .

2. Вкажіть лінію, на яку треба проставити знак позначення шорсткості. На панелі властивостей клацніть у полі **Текст** (рис.9.20).
3. У діалоговому вікні, що з'явилося, двічі клацніть у **розділі 1** виберіть параметр Ra і необхідне значення, після чого, **натисніть** ОК.

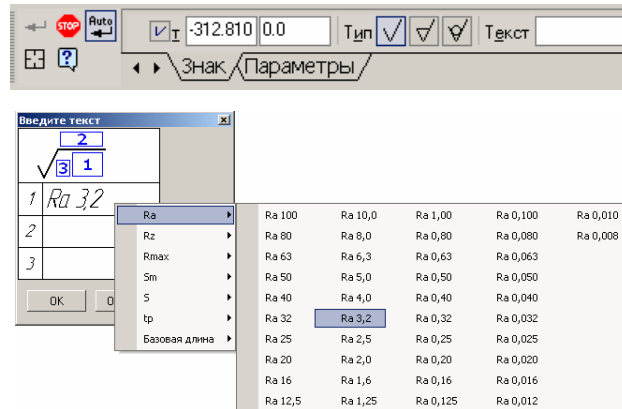


Рисунок 9.20 – Вибір параметра шорсткості

4. Для розміщення знаку на поличку-виноску виберіть вкладку **Параметри**, у списку **Поличка** потрібний варіант, вкажіть початок винесення і положення полички (Рис. 9.21).



Рисунок 9.21 – Вибір полички для розміщення знаку

5. Для вказання незазначеної шорсткості виберіть команду меню **Вставка – Незазначена шорсткість – Введення**. Виберіть **Тип знаку**, при необхідності включіть опцію **Додати знак у дужках**. Двічі клацніть у полі **Текст** і виберіть із меню, яке з'явилося параметр шорсткості і його значення (рис. 9.22).

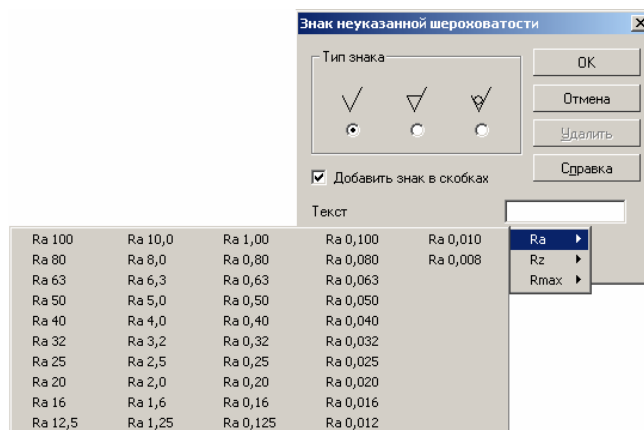



Рисунок 9.22 – Вказання незазначеної шорсткості

6. Натисніть **ОК**. Параметри незазначеної шорсткості з'являться в правому верхньому кутку креслення.


9.5. Заповнення основного напису

1. Двічі клацніть на основному написі, таким чином, перейдете в текстовий режим. Заповніть потрібні графи, після цього на панелі властивостей натисніть кнопку **Створити об'єкт**  (рис. 9.23). (У позначенні креслення XX - позначають місце для введення номера варіанта завдання).

				MT4.XX.00.01		
№м.Лист	№ докци	Подп.	Дата	Корпус	Лист	Масш
Разрб.	Бочков А.А.		10.09.06		0,22	2:1
Пров.	Назарин М.А.		10.09.06			
Т.контр.					Листов	1
Н.контр.				Д16 ГОСТ 4784-97		ГРУПЧ ИТМО
Чтв.						Группа 5670

Рисунок 9.23 – Приклад заповнення основного напису

9.6. Введення технічних вимог

1. Виберіть із меню **Вставка – Технічні вимоги – Введення**. У результаті відкривається вікно текстового редактора. Натисніть на кнопку **Вставити текстовий шаблон** .
2. У діалоговому вікні яке з'явилося, виберіть потрібний текст (рис. 9.24).

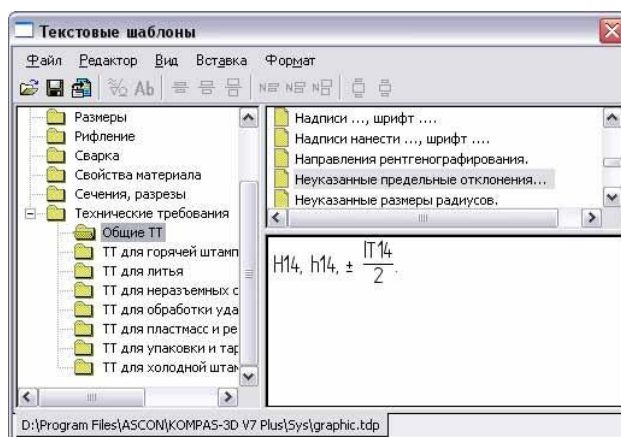

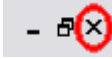


Рисунок 9.24 – Текстовий шаблон

3. Якщо потрібний текст не знайдений, то введіть його як у звичайному текстовому редакторі (рис. 9.25).

1. $H14, h14, \pm \frac{IT14}{2}$.
2. Покрытие Ан. Окс.

Рисунок 9.25 – Введення тексту в текстовому редакторі

4. Після закінчення введення тексту, натисніть на кнопку зберегти,  і закрийте вікно редактора, натиснувши на кнопку . При необхідності, розмістіть область технічних вимог вручну, для чого клацніть правою кнопкою миші на технічних вимогах і виберіть із контекстного меню команду – **Ручне розміщення технічних вимог** (рис. 9.26).

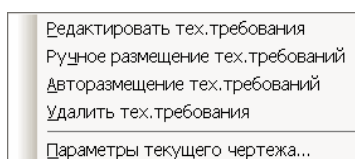
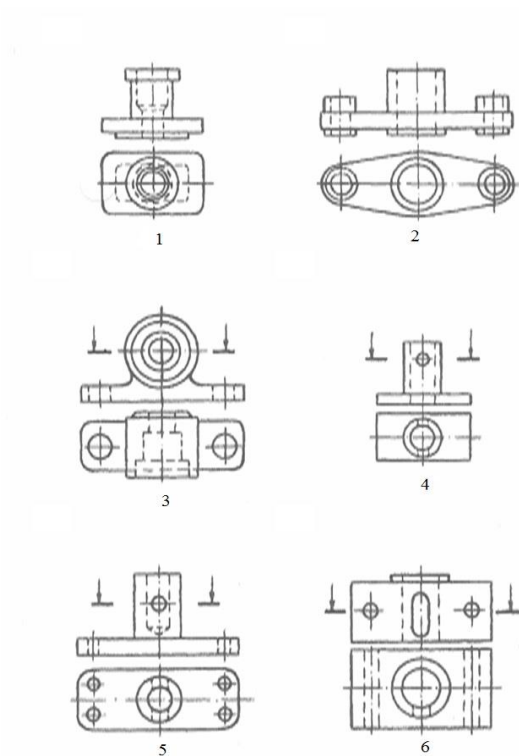


Рисунок 9.26 – Контекстне меню технічних вимог

Завдання для самостійної роботи

Побудувати за номером варіанта та ескізом багатокутник, який наведено на рис. 9.27.



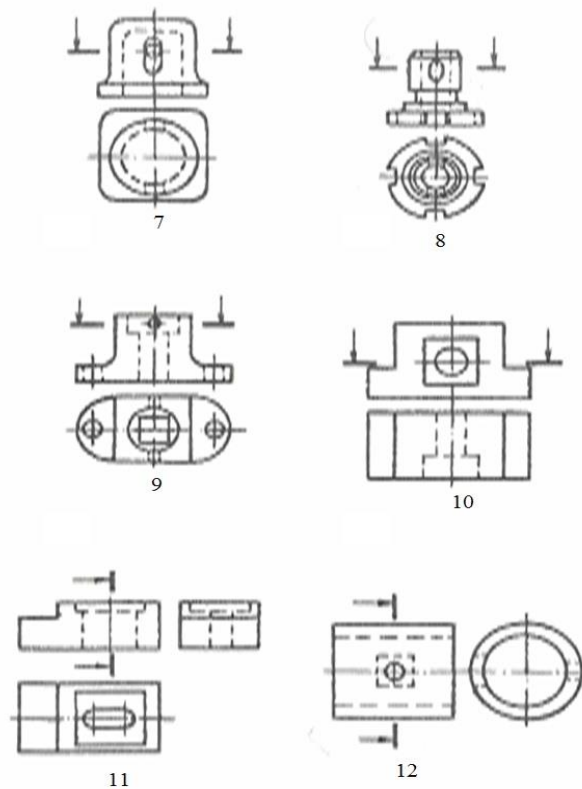


Рисунок 9.27 – Ескізи корпусів

Контрольні запитання

1. Дайте визначення виду?
2. Назвіть які типи параметризації тримірної моделі існують в КОМПАС-3D?
3. Дайте визначення сполучення?
4. Як види створюються в першу чергу?
5. Як створити креслення поточної моделі?

Література

1. Максим Кидрук. КОМПАС-3D V10 на 100 %. Санкт-Петербург: Литрес.ру, 2009. – 126 с.

2. Баранова И. В. КОМПАС-3D для школьников. Черчение и компьютерная графика. Учебное пособие для учащихся общеобразовательных учреждений. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 272 с.
3. Большаков В. П. КОМПАС-3D для студентов и школьников. Черчение, информатика, геометрия. Санкт-Петербург: издательство «БХВ-Петербург», 2010. – 92 с.
4. Большаков В. П., Бочков А. Л., Сергеев А. А. 3D-моделирование в AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor, T-Flex: Учебный курс. Санкт-Петербург: издательство Питер, 2011. - 336 с.
5. Н. Б. Ганин. Проектирование в системе КОМПАС-3D V 11. М.: издательство ДМК, 2010. – 776 с.
6. КОМПАС-3D V 13. Руководство пользователя. Санкт-Петербург: ЗАО Аскон, 2011. – 2332 с.
7. КОМПАС-3D V 13. Руководство пользователя. Санкт-Петербург: ЗАО Аскон, 2011. – 2332 с.
8. Н. Б. Ганин. Проектирование и прочностной расчет в компас КОМПАС-3D V 13. М.: издательство ДМК, 2011. – 317 с.
9. КОМПАС-3D V 15. Азбука пользователя. Санкт-Петербург: ЗАО Аскон, 2014. – 492 с.
10. КОМПАС-3D V 16. Руководство пользователя. Санкт-Петербург: ЗАО Аскон, 2015. – 2588 с.