

**О. В. Піонткевич, С. І. Сухоруков,
О. В. Петров, О. В. Сердюк**

**«Комп'ютеризовані системи проєктування»
для здобувачів вищої освіти зі спеціальності
«Прикладна механіка»**

Let's start Design with



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

**О. В. Піонткевич, С. І. Сухоруков,
О. В. Петров, О. В. Сердюк**

**«Комп'ютеризовані системи проєктування»
для здобувачів вищої освіти зі спеціальності
«Прикладна механіка»**

Електронний лабораторний практикум

Вінниця
ВНТУ
2025

УДК 004.925.84:004.94:621.8(076)

К63

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 8 від 30.01.2025 р.)

Автори:

О. В. Піонткевич, С. І. Сухоруков, О. В. Петров, О. В. Сердюк

Рецензенти:

О. Узунов, доктор технічних наук, професор

Я. Іванчук, доктор технічних наук, професор

Б. Корчевський, кандидат технічних наук, доцент

К63 «Комп'ютеризовані системи проектування» для здобувачів вищої освіти зі спеціальності «Прикладна механіка»: лабораторний практикум [Електронний ресурс] / О. В. Піонткевич, С. І. Сухоруков, О. В. Петров, О. В. Сердюк. Вінниця : ВНТУ, 2025. 142 с.

У виданні стисло викладено основні положення курсу «Комп'ютеризовані системи проектування», за якими виконуються лабораторні роботи. Наведено приклади використання CAD системи SOLIDWORKS для побудови ескізів, тривимірних моделей та креслеників деталей. Розроблено завдання та наведено необхідні довідкові матеріали для виконання лабораторних робіт. Для самоконтролю готовності до лабораторних робіт у практикумі наприкінці кожної теми наведено контрольні питання. Видання розроблено відповідно до плану кафедри технологій та автоматизації машинобудування та програми навчальної дисципліни «Комп'ютеризовані системи проектування» для виконання лабораторних робіт здобувачами бакалаврського рівня вищої освіти спеціальності «Прикладна механіка». Лабораторний практикум може бути використаний в процесі підготовки студентів інших спеціальностей.

УДК 004.925.84:004.94:621.8(076)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1. ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ТРИВИМІРНОГО ПРОЄКТУВАННЯ ВИРОБІВ В SOLIDWORKS ..	6
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2. ПОБУДОВА ЕСКІЗІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ	17
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3. СТВОРЕННЯ ТВЕРДОТІЛЬНИХ ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ	36
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4. ВИКОРИСТАННЯ БІБЛІОТЕК В ТРИВИМІРНОМУ МОДЕЛЮВАННІ	62
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5. СТВОРЕННЯ АСОЦІАТИВНИХ КРЕСЛЕНИКІВ ІЗ ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ	88
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6. ЛИСТОВЕ ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ТА ЇХ КРЕСЛЕНИКИ	115
ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ З ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ	138
ЛІТЕРАТУРА	140

ВСТУП

Навчальна дисципліна «Комп'ютеризовані системи проєктування» вивчається здобувачами бакалаврського рівня підготовки зі спеціальності «Прикладна механіка».

Мета розробки лабораторного практикуму – отримання практичних навичок та закріплення теоретичного матеріалу у роботі, пов'язаній з проєктуванням деталей та механізмів на персональному комп'ютері; з підготовкою конструкторської документації на основі комп'ютеризованої системи проєктування; з ознайомленням та розширенням практичних вмінь володіння програмними модулями SOLIDWORKS.

Порядок виконання лабораторних робіт. Лабораторні роботи проводяться в сучасних аудиторіях 1209 чи 1211 із використанням персональних комп'ютерів. Основним інструментом для виконання лабораторних робіт є програмне забезпечення, на базі програмного продукту SOLIDWORKS.

В процесі знайомства зі здобувачами викладач має розповісти про план лабораторних робіт на поточний семестр, який закладено в даному курсі дисципліни «Комп'ютеризовані системи проєктування». Здобувачам пояснюється специфіка проведення лабораторних робіт в аудиторії, яка визначена правилами внутрішнього розпорядку, а також вимогами охорони праці та пожежної безпеки.

Кожний здобувач самостійно ознайомлюється та вивчає відповідні документи, строго дотримуватися цих правил і вимог та підтверджує це власним розписом у журналі цієї аудиторії. Крім цього, здобувачів попереджають, що вони несуть матеріальну відповідальність за збитки, які виникли через необережне чи недбале ставлення до лабораторних засобів та обладнання.

Процес виконання лабораторних робіт охоплює: ознайомлення та вивчення теоретичного матеріалу; підготовку заготовки звіту з індивідуальним завданням; виконання запланованих робіт на персональному комп'ютері; оформлення звіту з фіксацією результатів у вигляді знятків (screenshots) та висновків, захист лабораторних робіт.

Приклад оформлення звіту знаходиться в кінці лабораторного практикуму. Усі лабораторні роботи об'єднані одним титульним аркушем, на якому вказується інформація про заклад освіти, кафедру, назву дисципліни, варіант, номер академічної групи, ім'я та прізвище здобувача, яким виконано роботу, та викладача, який приймає звіт, рік та місто здачі звіту. Кожна лабораторна робота починається з нового аркушу з такою шапкою: лабораторна робота з вказанням номера, тема та мета лабораторної роботи, хід виконання роботи, в якому фіксуються результати виконання лабораторної роботи. Кожна лабораторна робота

закінчується висновком, де описуються набуті чи закріплені навички, отримані результати, а також можливі шляхи подальшого розвитку.

Система модульно-рейтингового оцінювання лабораторних робіт. Результати виконання та захисту лабораторних робіт оцінюються балами, загальна кількість яких становить відповідну частину абсолютної бальної оцінки дисципліни, яка зазначена в робочій програмі навчальної дисципліни.

Кожна лабораторна робота оцінюється згідно з чинною бальною системою за такими показниками:

- якість підготовки здобувача до виконання лабораторної роботи (оцінюється під час опитування на початку заняття);
- рівень самостійності та ступінь розуміння матеріалу заняття (оцінюється в процесі виконання роботи та під час захисту лабораторної роботи);
- якість оформлення результатів виконання роботи (оцінюється за надісланим звітом).

Загальна оцінка визначається як середнє оцінок з наведених вище показників та перераховується у абсолютні бали модульно-рейтингової системи.

Техніка безпеки. Під час виконання лабораторних робіт потрібно дотримуватися загальних правил техніки безпеки і вимог до поведінки здобувачів у лабораторії. Лабораторна робота виконується тільки з дозволу викладача, а також в присутності викладача або навчального майстра, інженера.

Здобувачам забороняється: самостійно усувати несправності, що виникають; класти сторонні предмети на робочі місця; вмикати персональні комп'ютери без дозволу і присутності викладача; залишати без нагляду ввімкнений персональний комп'ютер.

Допуском до лабораторної роботи є власноручний підпис здобувача напроти свого прізвища в спеціальному журналі з техніки безпеки для цієї лабораторії та перевірені знання здобувача з правил техніки безпеки і правил поведінки у процесі виконання лабораторних робіт.

Примітка. В кожній навчальній аудиторії та лабораторії на стенді розміщено вказані правила та вимоги, підписані посадовими особами кафедри та університету.


ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ТРИВИМІРНОГО ПРОЄКТУВАННЯ ВИРОБІВ В SOLIDWORKS

Мета роботи. Ознайомлення з загальними принципами побудови тривимірних моделей деталей в системі автоматизованого проєктування SOLIDWORKS.

1.1 Короткі теоретичні відомості

Програма SOLIDWORKS – це система автоматизованого проєктування (Computer-aided design), інженерного аналізу (Computer-aided engineering) та підготовки виробництва (Computer-aided manufacturing) механічних вузлів і виробів. В основу програми покладено зручний інструмент об'ємного параметричного моделювання [1], який використовує графічний інтерфейс користувача системи Windows. Вищезгаданий курс дисципліни «Комп'ютеризовані системи проєктування» передбачає ознайомлення з частиною автоматизованого проєктування функціонала програми SOLIDWORKS.

Перед початком роботи в SOLIDWORKS потрібно вказати параметри користувача **System Options**  (рисунок 1.1) [2, 3] та налаштувати шаблони за власними потребами.

Всі налаштування користувача **System Options** є персональними та стосуються всіх модулів програми, а не для окремого шаблону.

На рисунку 1.1 показано основні параметри для налаштування. Після налаштування вкладки **General**, потрібно ознайомитися з вкладкою **MDB**, яка відповідає за можливість використання безкреслярського проєктування. Вкладка **Drawings** відповідає за відображення елементів на креслениках, стиль відображення моделі, тип штриховки та інше. Проведенні налаштування можна швидко змінити в процесі проєктування, наприклад, додати або прибрати тіні від тривимірної моделі за рахунок основного меню програми: **View** ⇒ **Display** ⇒ **Shadows In Shaded Mode**.

Вкладка **Colors** в програмі SOLIDWORKS відповідає за налаштування кольорів елементів інтерфейсу. Наприклад, зміна фону робочої області за допомогою налаштувань кольорів. Щоб це зробити, слід використати такий шлях: **Tools** ⇒ **Options** ⇒ **System Options** ⇒ **Colors**.

За налаштування відображення ключових елементів моделювання відповідають вкладки **Sketch**, **Display**, **Assemblies**, **FeatureManager** та інші. Зазвичай їхніх налаштувань за замовчуванням вистачає для комфортної роботи в програмі SOLIDWORKS.

Вкладки **Default Templates** та **File Locations** відповідають за опис шляху про розміщення шаблонів документів SOLIDWORKS.

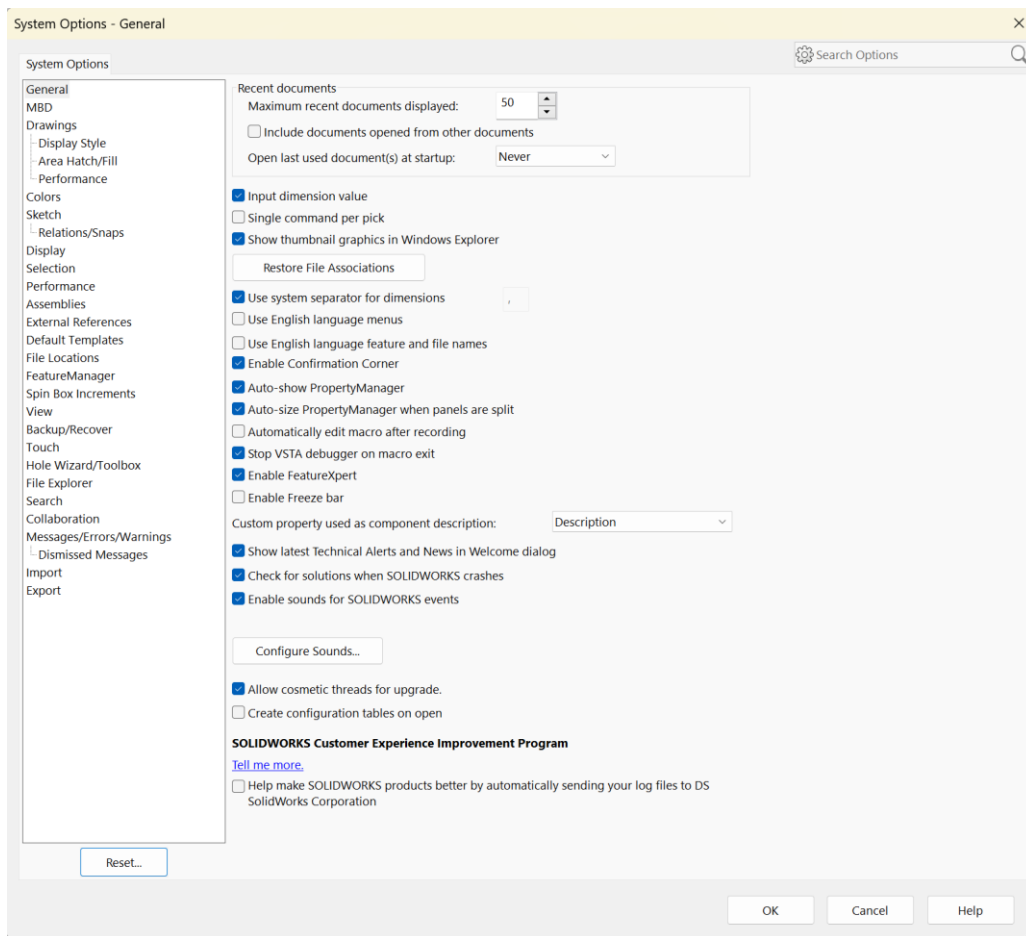


Рисунок 1.1 – Параметри користувача SOLIDWORKS

Для налаштування функції автоматичного зберігання виконаної інформації в SOLIDWORKS рекомендується перейти на вкладку **Backup/Recover** та поставити галочку **Save auto-recover information every**. Повний шлях для налаштування: **Tools** ⇒ **Options** ⇒ **System Options** ⇒ **Backup/Recover** ⇒ **Auto Recover**. При цьому потрібно вказати періодичність і місце для збереження.

Вкладки **Import** та **Export** відповідають за налаштування за замовчуванням програми SOLIDWORKS для імпорту та експорту файлів.

Проектування в програмі SOLIDWORKS передбачає створення тривимірних моделей виробів з можливістю виконувати їх кресленики. Створення нового документа в програмі SOLIDWORKS зазвичай виконують натисканням на кнопку **New** або комбінацією клавіш **Ctrl+N**. З'явиться діалогове вікно вибору шаблону документа: **Part** (Деталь.sldprt), **Assembly** (Складальна одиниця.sldasm) або **Drawing** (Кресленик.slddrw) (рисунок 1.2). У разі вибору шаблону **Part** або **Assembly** відкриється можливість працювати в тривимірному просторі.

Робоче вікно програми SOLIDWORKS створеного документа **Part** показано на рисунку 1.3 з усіма потрібними елементами [4].

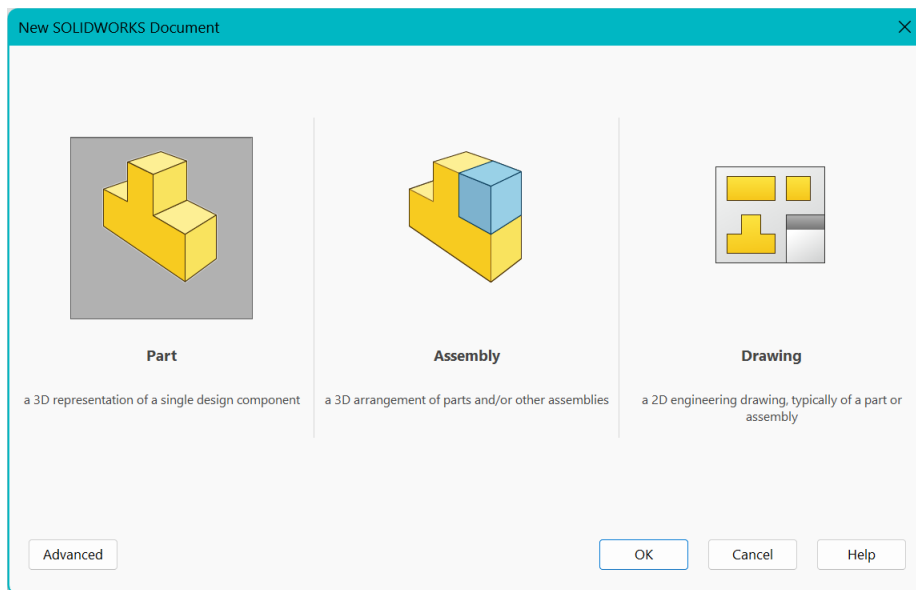


Рисунок 1.2 – Діалогове вікно вибору шаблону нового документа

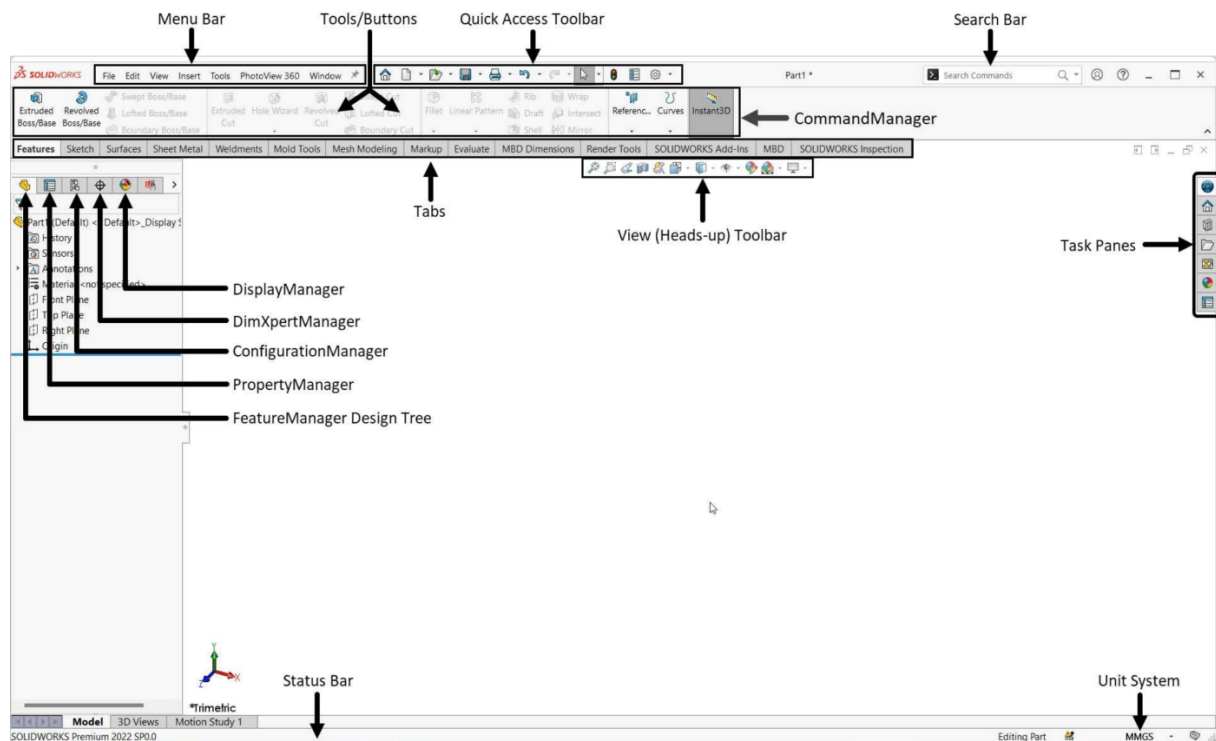


Рисунок 1.3 – Загальний вигляд інтерфейсу програми SOLIDWORKS

У процесі виконання лабораторних робіт будемо використовувати [4]: **Menu Bar** (рядок меню), **Quick Access Toolbar** (панель швидкого доступу), **Search Bar** (рядок пошуку), **CommandManager** (панель інструментів) разом із **Tabs** (вкладки), **View (Heads-Up) Toolbar** (панель інструментів для перегляду), справа **Task Panes** (панель завдань) та зліва панель керування з відкритою вкладкою **FeatureManager Design Tree** (дерево проектування основного менеджера) разом з іншими менеджерами

там, де знаходиться курсор **Graphics Area** (область побудови), знизу **Status Bar** (рядок стану) та **Unit System** (система одиниць).

Перед роботою в документі **Part** рекомендується провести налаштування його параметрів та зберегти в шаблоні. Відкриття налаштування параметрів документа **Part** виконується за допомогою шляху **System Options** ⇒ **Document Properties** (рисунок 1.4). Перше налаштування вкладки **Drafting Standard** відповідає за загальні використовувані стандарти, в нашому випадку – це **GOST**. Програмою передбачено збереження свої налаштувань і завантаження раніше збережених налаштувань із спеціальних файлів та розширенням ***.sldstd**.

Вкладка **Annotation** забезпечує налаштування таких елементів: **Balloons, Datums, Geometric Tolerances, Notes, Revision Clouds, Surface Finishes** та **Weld Symbols**. При цьому визначається, за якими стандартами показується позначення, налаштовуються шрифти написів і параметри використовуваних ліній і стрілочок.

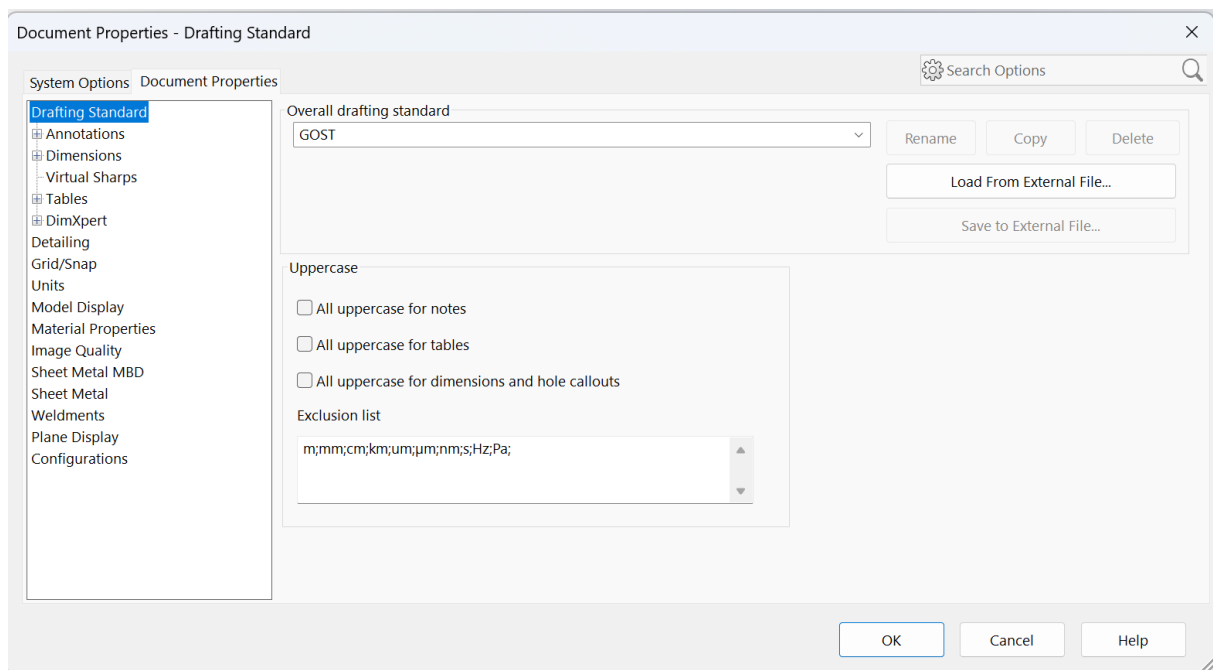


Рисунок 1.4 – Налаштування параметрів документа **Part**

Вкладка **Dimensions** відповідає за налаштування різного типу розмірів, а саме: **Angle, Angular Running, Arc Length, Chamfer, Diameter, Hole Callout, Linear, Ordinate** та **Radius**. Зокрема налаштовуються параметри стрілочок, позиціонування розміру, розміри і тип шрифтів написів, відображуваних знаків після коми.

Налаштування відображуваних таблиць в документах **SOLIDWORKS** виконується у вкладці **Tables** за шляхом **Tools** ⇒ **Options** ⇒ **Document Properties** ⇒ **Tables**.

Налаштування вкладки **DimXpert** забезпечує вибір стандарту відображуваних елементів під час нанесення тривимірних розмірів, допусків форми та розташування. **DimXpert** – це набір інструментів, який використовується для нанесення розмірів і допусків для виробів відповідно до вимог стандартів ASME Y14.41-2003 та ISO 16792:2006.

Налаштування сітки під час роботи з ескізами деталі виконується у вкладці **Grid/Snap**. Відображення сітки відбувається у разі активації галочки: **Tools ⇒ Options ⇒ Document Properties ⇒ Grid/Snap ⇒ Display grid**, а налаштування відстані між лініями сітки виконуємо за **Tools ⇒ Options ⇒ Document Properties ⇒ Grid/Snap ⇒ Major grid spacing**. За допомогою сітки в SOLIDWORKS комфортно проєктувати нескладні деталі, прив'язуючись до вузлів сітки.

Одиниці вимінювання для документів SOLIDWORKS налаштовуються у вкладці **Units** за шляхом: **Tools ⇒ Options ⇒ Document Properties ⇒ Units**. Згідно з міжнародною системою одиниць (SI) ми користуємося метричною системою вимірювань. Однак на тривимірних моделях та креслениках в машинобудуванні прийнято використовувати розміри в міліметрах. Найбільш доцільно обирати параметри **Unit system ⇒ MMGS (millimeter, gram, second)**. У такому разі маса виробів буде відображатися в грамах. Зміна налаштувань одиниць вимірювання проводиться за допомогою параметра **Unit system ⇒ Custom**. Тоді ж з'являється доступ до таблиці з одиницями вимірювання (рисунок 1.5), та проведено зміну параметра **Mass** на **kilograms**.

Після проведення налаштувань в документі **Part** натискаємо кнопку **OK** (рисунок 1.5). Це дозволить застосувати налаштування для документа **Part**, з яким працює користувач.

Для збереження проведених налаштувань в шаблоні документа **Part** потрібно перейти за шляхом: **File ⇒ Save As...** та обрати тип файлу **Part Templates (*.prtdot)**. Тоді програма SOLIDWORKS автоматично відкриє для користувача папку **templates**, де зберігаються усі шаблони. Користувачу лише потрібно замінити наявний там файл **Part.PRTDOT** (рисунок 1.6), або створити свій документ.

Після проведення налаштувань параметрів користувача та шаблонів документів потрібно ознайомитися з загальними принципами проєктування. Варто розуміти, що процес побудови тривимірних моделей базується на операціях додавання та зняття матеріалу, що, насправді, повторює реальні методи технологічної обробки заготовок деталей в машинобудуванні.

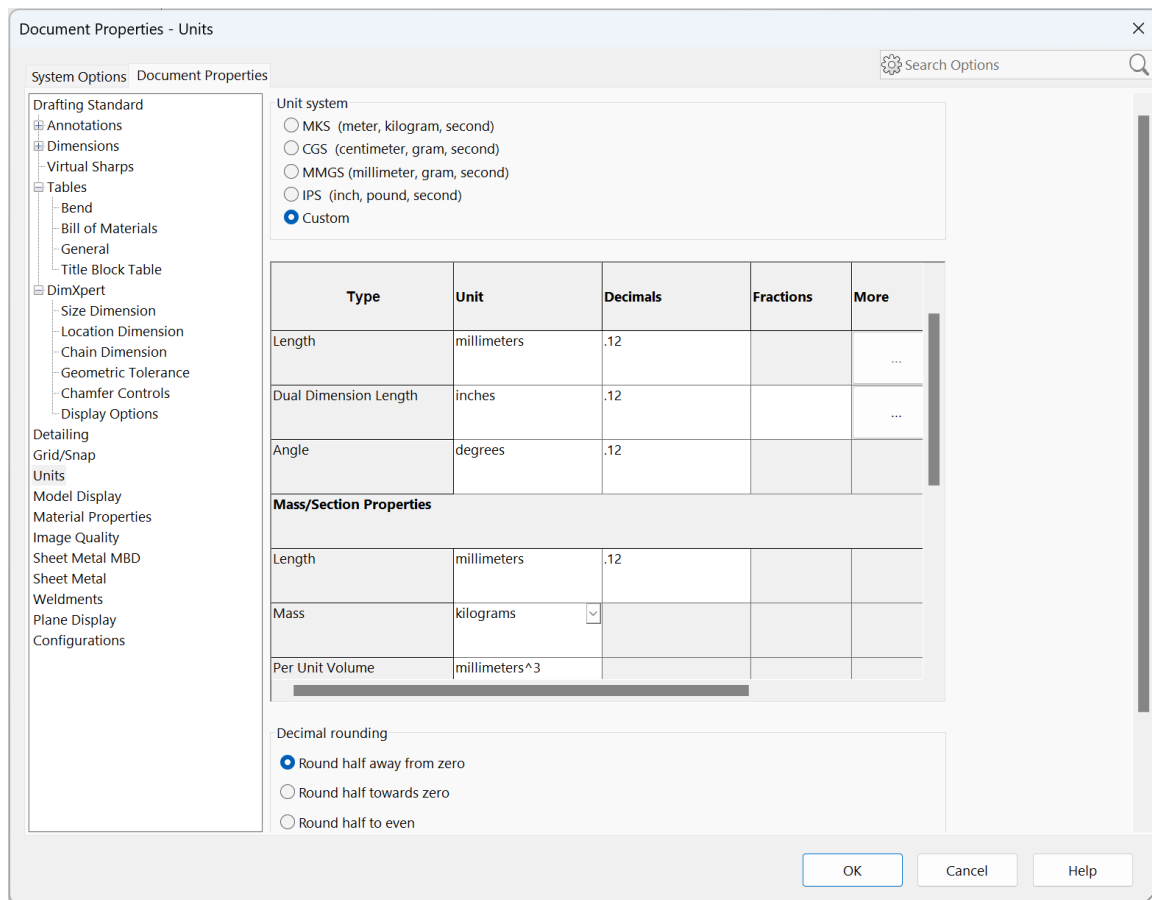


Рисунок 1.5 – Налаштування одиниць вимірювання в SOLIDWORKS

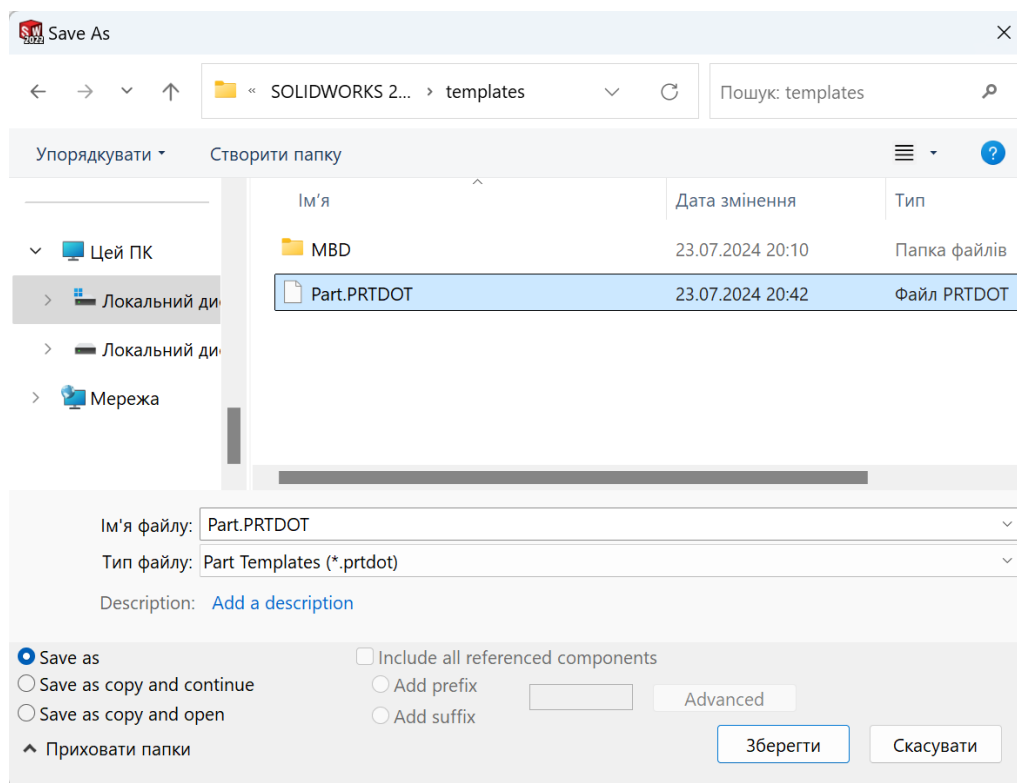


Рисунок 1.6 – Збереження шаблону документа Part

Загальний принцип проектування твердотільних тривимірних моделей виробів (цей вид моделей буде безпосередньо освоєний в цьому курсі лабораторних робіт) виражається такою послідовністю:

- вибір площини для побудови ескізу;
- побудова елементів двовимірного ескізу, нанесення розмірів, визначення взаємозв'язків;
- виконання операцій зі створення тривимірних об'єктів із двовимірних ескізів, а саме: надання товщини об'єктам ескізу (витягування, поворот та інші).

В такому разі інструменти з самої панелі інструментів SOLIDWORKS дозволяють поетапно виконати поставлені задачі, а результат моделювання через **FeatureManager Design Tree** забезпечує відслідковування всіх виконаних операцій, змінювати значення будь-якого розміру, визначати взаємозв'язки на взаємне розташування змодельованих елементів протягом усього процесу проектування.

Працюючи з будь-яким інструментом потрібно орієнтуватися на повідомлення, яке з'являється поруч із курсором миші, коли навести його на кнопку. На рисунку 1.7 показано повідомлення про подальші дії після натиснення кнопки **Sketch**, а саме: система підказок пропонує вибрати площину для створення ескізу [4].

Зліва від **Graphics Area** на панелі керування крім **PropertyManager** є інші вкладки, які динамічно змінюються залежно від виконуваних дій. Наприклад, коли закінчили роботу з кнопкою **Sketch**, панель керування перемикається з **PropertyManager** на **FeatureManager Design Tree**. Між вкладками панелі керування також можна перемикати вручну.

FeatureManager Design Tree є однією з найважливіших частин інтерфейсу програми SOLIDWORKS. Це місце, де забезпечується керування елементами моделі, їх редагування, приховування, вилучення тощо. У процесі моделювання нові ескізи чи елементами моделі з'являються в **FeatureManager Design Tree** в тому порядку, у якому були створені.

FeatureManager Design Tree містить **Features** (елементи моделювання) з ескізами, **Default Planes** (стандартні площини), **Origin** (положення виробу), **Metadata** (метадані про виріб): матеріал, папка анотацій, датчики та історія змін (рисунок 1.8).

Назва **Part** завжди відображається у верхній частині **FeatureManager Design Tree** з активною конфігурацією (в прикладі на рисунку 1.8 показано конфігурація **Default**). **Rollback Bar** дозволяє переміщувати лінію побудови так, щоб приховати попередню роботу та продовжити з місця, де вона розташована.

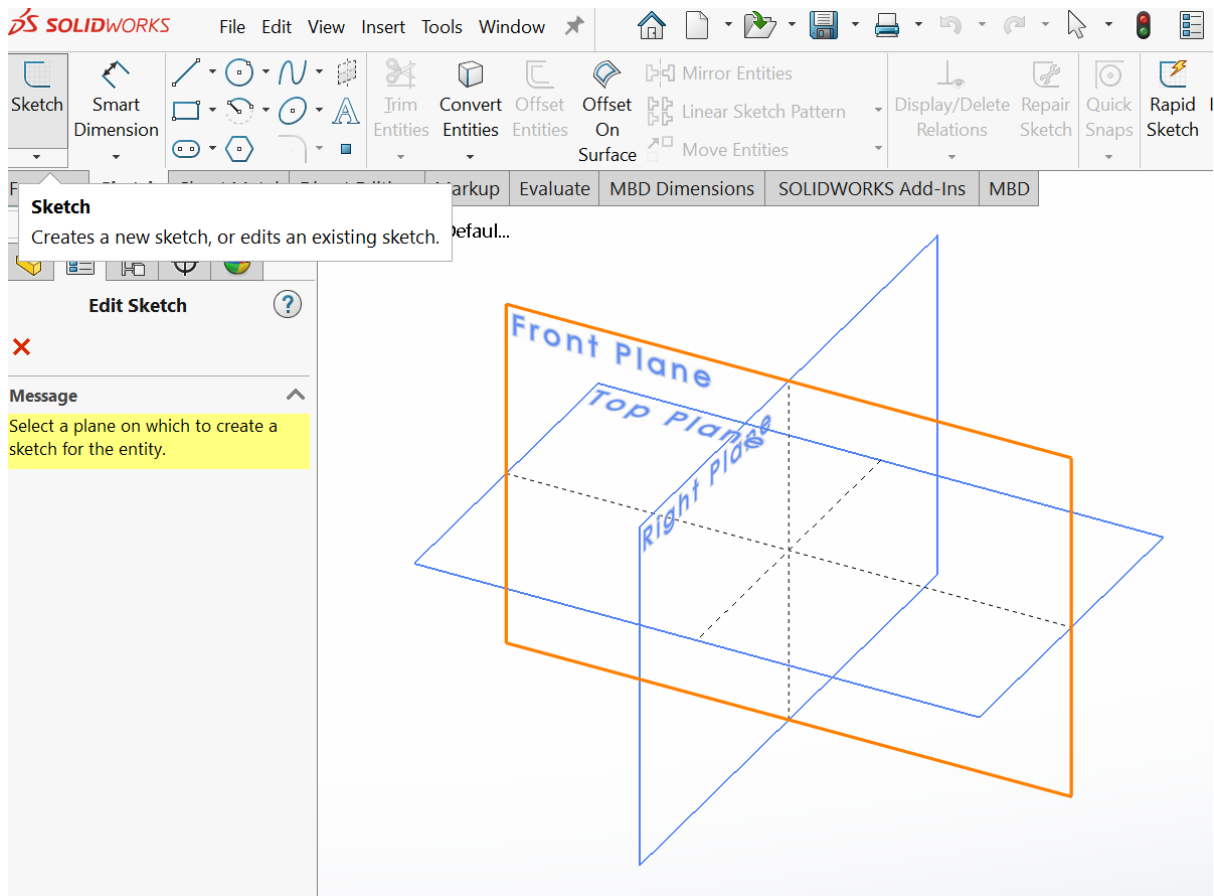


Рисунок 1.7 – Приклад роботи системи підказок у процесі створення ескізу

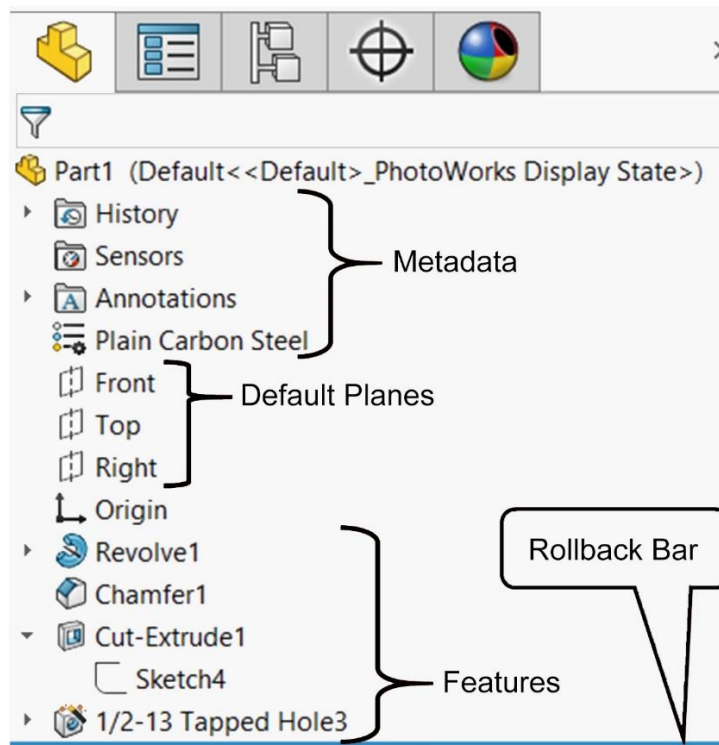


Рисунок 1.8 – Основні елементи **FeatureManager Design Tree**

Декілька фактів про **FeatureManager Design Tree**:

- якщо клацнути лівою кнопкою миші на елементі в **FeatureManager Design Tree**, поруч із курсором з'явиться контекстна панель інструментів із відповідними кнопками;
- якщо клацнути на об'єкт правою кнопкою миші, з'являється контекстна панель інструментів і довший список параметрів дій;
- швидке подвійне клацання по папці розкриває її, а по елементу моделювання – показує його розміри;
- повільне подвійне клацання по елементу моделювання дозволяє перейменувати його;
- у разі виконання всіх цих дій підсвічується відповідний елемент у **Graphics Area** (якщо елемент існує там).

View (Heads-up) Toolbar розташовано прямо під панеллю інструментів безпосередньо на **Graphics Area** та керує виглядом відображення моделі (рисунок 1.9). Основними елементами **View (Heads-up) Toolbar** є **Zoom Options** (масштабування), **Section View** (створення розрізів моделі), **View Orientation** (зміна орієнтації моделі, а саме: спереду, справа, зверху, ізометрія та інші), **Display Options** (зміна стилю відображення моделі) та **Appearance/Visibility Settings** (налаштування зовнішнього вигляду та видимості моделі).

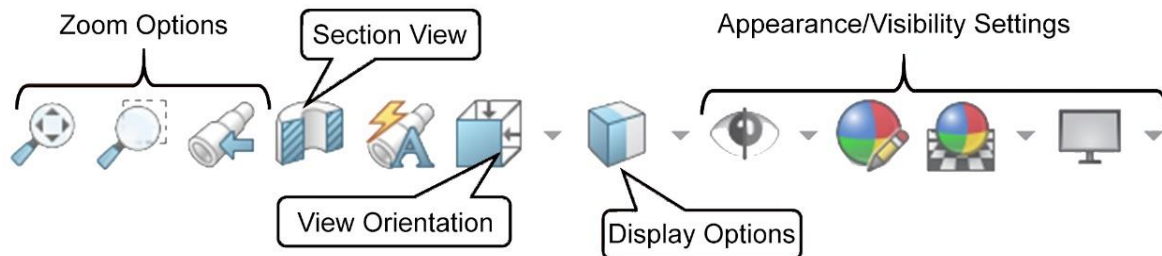


Рисунок 1.9 – Основні елементи **View (Heads-up) Toolbar**

Graphics Area – це область побудови, де створюється модель та де користувач безпосередньо взаємодіє з нею. Під час проектування в **Graphics Area** потрібно оперувати такими параметрами: **Vertexes/Points** (вершини/точки), **Edges** (ребра), **Faces** (грані), **Planes** (площини), **Axes** (осі), **Features** (елементи) та **Bodies** (тіла), які пов'язані з моделлю (рисунок 1.10).

Ознайомившись з налаштуваннями та інтерфейсом програми **SOLIDWORKS** доцільно притримуватися згаданого вище загального принципу тривимірного проектування виробів під час створення твердотільних тривимірних моделей. Більш розгорнутий принцип тривимірного проектування виробів наведено в наступному алгоритмі:

1. Вибір **Default Plane** (стандартної площини), або **Plane** (площини, яка побудована власноруч), або **Face** (поверхні деталі, крім криволінійної) для розміщення **Sketch** (ескізу);

2. Побудова елементів **Sketch** із встановленням розмірів і визначенням взаємозв'язків, щоб досягти повністю визначеного ескізу [5] в **Status Bar**;

3. Виконання дії над **Sketch** для додавання потрібної товщини плоскому ескізу (витягування, поворот тощо) через **Feature Command Manager**;

4. Підтверджуємо створення тривимірної твердотільної моделі та повернення на початок цього алгоритму для створення нового елемента виробу.

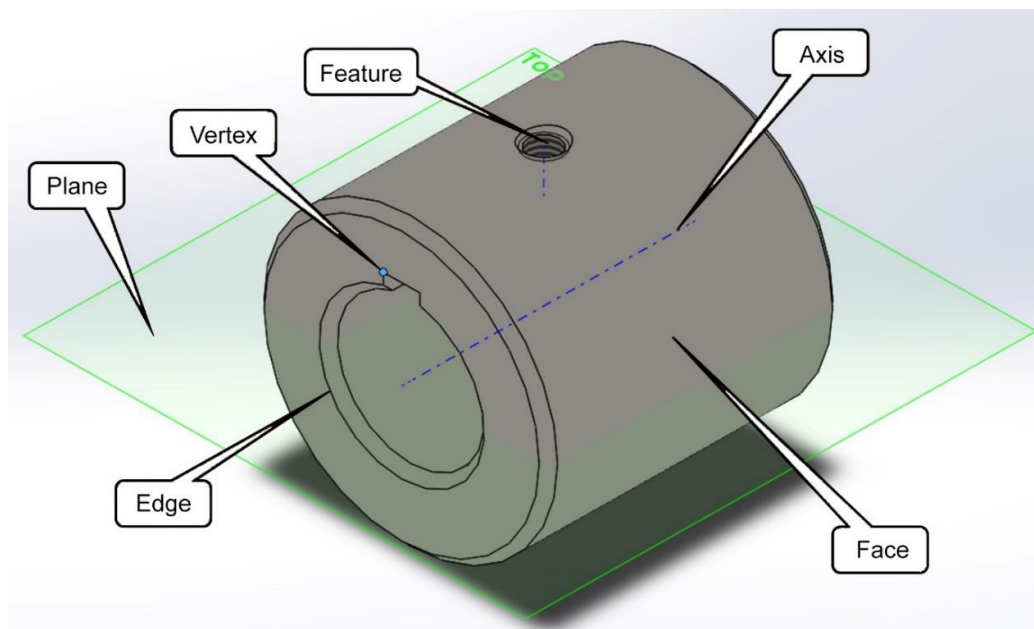


Рисунок 1.10 – Основні параметри **Graphics Area**

1.2 Порядок виконання роботи

1. Ознайомтесь з теоретичними відомостями до лабораторної роботи.
2. В звіт внести тему та мету роботи.
3. На занятті в лабораторії переглянути основні налаштування програми **SOLIDWORKS**, потренуватися створювати довільні тривимірні моделі, ознайомитися з панеллю інструментів та зберегти результати.
4. Пройти тест до лабораторної роботи № 1 в системі JetIQ Вінницького національного технічного університету (ВНТУ).
5. Вказати відповіді на контрольні питання.
6. Завершити виконання звіту до лабораторної роботи формуванням висновків. У висновках вказати основні функції та можливості програми **SOLIDWORKS**, які використовували у процесі виконання лабораторної роботи.

1.3 Контрольні питання

1. Яке призначення програми SOLIDWORKS?
2. В чому різниця між налаштуваннями параметрів користувача та параметрів документів?
3. Структура меню програми SOLIDWORKS.
4. Як налаштувати сітку в ескізах і навіщо вона потрібна?
5. Які етапи загального принципу тривимірного проєктування виробів розглянуто в лабораторній роботі?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ПОБУДОВА ЕСКІЗІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ

Мета роботи. Вивчення методів побудови елементів ескізів, способів розставлення розмірів і визначення взаємозв'язків між елементами в системі автоматизованого проєктування SOLIDWORKS.

2.1 Короткі теоретичні відомості

Виконання лабораторної роботи № 2 заплановано на креслениках формату A3 без рамки та основного напису. Цей формат потрібно налаштувати після вибору шаблону **Drawing** на рисунку 1.2. Далі викликаємо контекстне меню елемента **Sheet1** у **Feature Manager Design Tree** та вибираємо **Properties...** В результаті з'явиться вікно **Sheet Properties**, в якому потрібно провести аналогічні налаштування та вказати **Custom sheet size: 420×297 mm**.

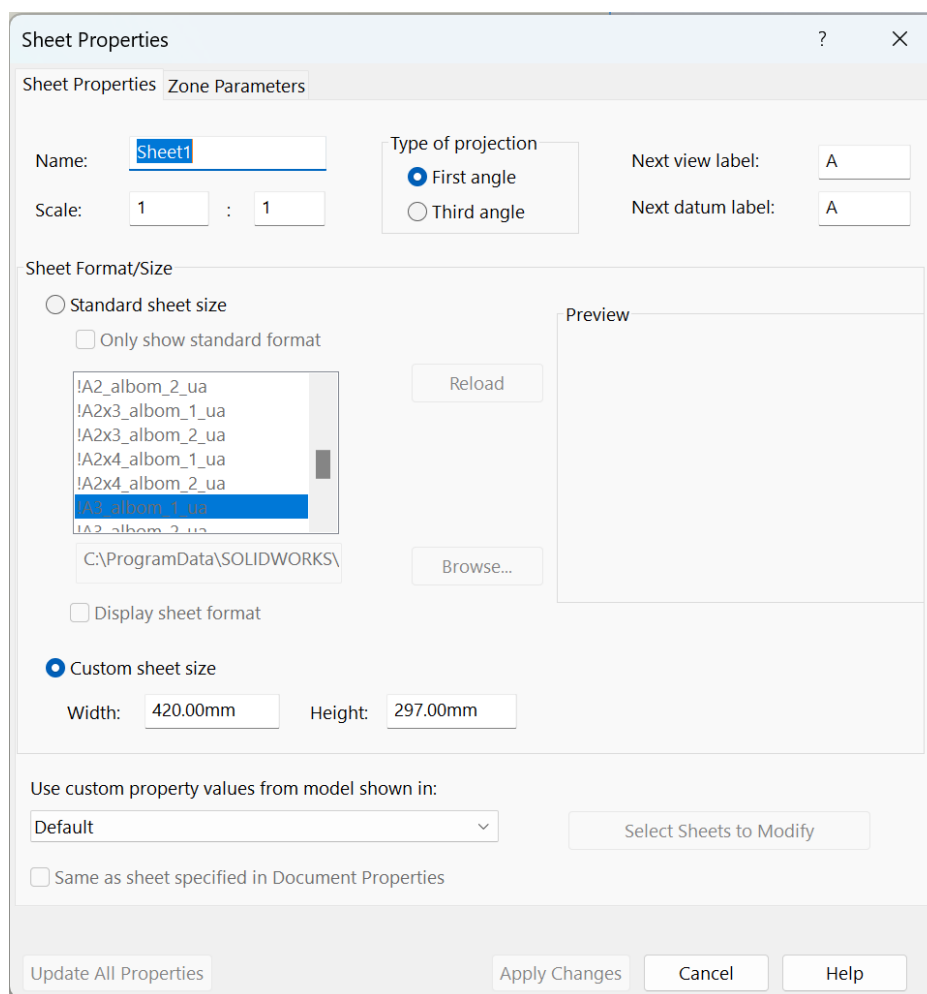


Рисунок 2.1 – Налаштування формату кресленика

Параметри налаштування шаблону **Drawing** залишаємо за замовчуванням. В такому разі **Overall drafting standard** має відповідати параметру **GOST**. Переглянути налаштування можна за шляхом: **Tools** ⇒ **Options** ⇒ **Document Properties** ⇒ **Drafting Standart**.

Потрібно розрізнити поняття «повністю визначений» та «недовизначений» ескіз [5]. Повністю визначеним ескізом називають такий, у якого всі лінії і криві, а також їх розташування однозначно описані розмірами і (або) взаємозв'язками. Колір елементів ескіза – чорний.

Недовизначений ескіз має не проставлені, або не визначені деякі розміри чи взаємозв'язки. У такому разі колір елементів ескізу – синій.

Щоб відслідковувати визначеності ескізу потрібно налаштувати шари. При цьому викликаємо контекстне меню області побудови правою кнопкою миші та вибираємо команду **Change Layer**. Для вибраної команди у вікні **Change document layer** вибираємо вкладку **Per Standard** (рисунок 2.2) та продовжуємо проектування.

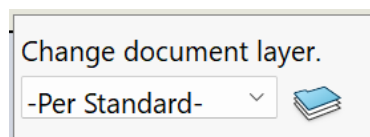


Рисунок 2.2 – Налаштування шарів для ескізів кресленика

Результат побудови повністю визначеного ескізу показано на рисунку 2.3, а. Недовизначений ескіз продемонстровано на рисунку 2.3, б, де не вистачає вказання висоти прямокутника та верхня лінія підсвічується синім кольором.

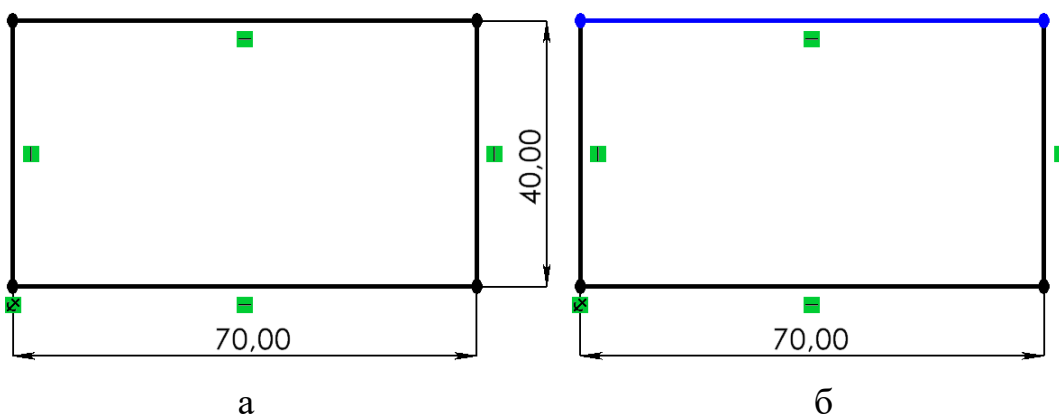


Рисунок 2.3 – Результат побудови повністю визначеного (а) та недовизначеного (б) ескізів

Щоб побудувати геометричні елементи на ескізі кресленика, можна використовувати вкладку **Sketch** на панелі інструментів. Основні

інструменти ескізу показані на рисунку 2.4: **Constrains geometry dimensionally**, **Creations Tools**, **Modification Tools** та **Relation Tool**.

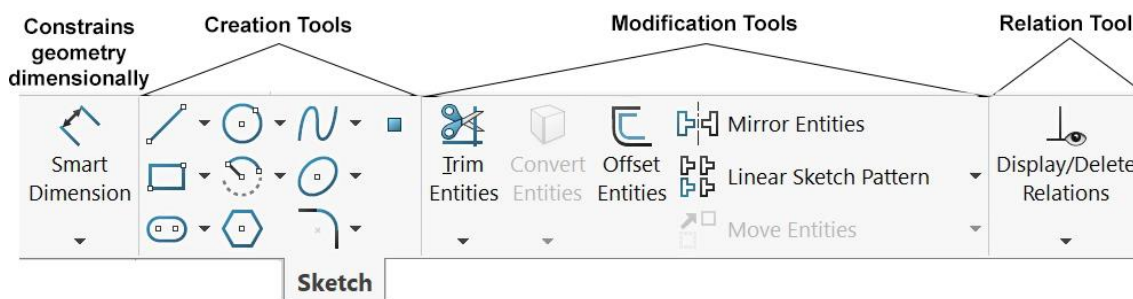


Рисунок 2.4 – Основні інструменти вкладки **Sketch**

У процесі побудови ліній, дуг, багатокутників тощо потрібно орієнтуватися на спеціальні елементи формування ескізу: **Formation Lines**, **Cursor View**, **Relations** (рисунок 2.5). Елементи формування динамічно змінюються та показують, як попередні побудови ескізу впливають на наступні побудови.

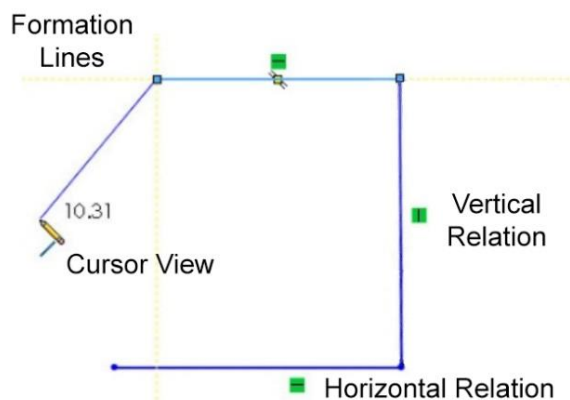











Рисунок 2.5 – Основні елементи формування ескізу

Елементи побудови ескізу розташовані у вкладці **Sketch** в розділі **Creation Tools** [2–4]. До основних елементів **Creation Tools** для ескізів належать: лінія (**Line**) ; коло (**Circle**) ; прямокутник (**Rectangle**) ; дуга (**Arc**) ; проріз (**Slot**) ; багатокутник (**Polygon**) ; складна крива (**Spline**) ; еліпс (**Ellipse**) , точка (**Point**)  та інші фігури.

Найчастіше використовуваним елементом у разі розробки ескізів є **Line**. На рисунку 2.6, а показано налаштування **PropertyManager**, де встановлено один із **Orientation** лінії: **As sketched**, **Horizontal**, **Vertical**, **Angle**. На рисунку 2.6, б показано послідовність побудови лінії: натискаємо в позиції 1 лівою кнопкою миші (це буде початок лінії), ведемо курсор миші вправо (орієнтуючись на довжину **Length**, кут нахилу **Angle** та можливий взаємозв'язок **Horizontal Relation**), натискаємо в позиції 2

знову лівою кнопкою миші (це буде кінець лінії). Вийти з режиму створення **Line**, як і з інших режимів створення елементів, виконуємо натисканням клавіші **Esc** на клавіатурі. Побудовану лінію в ескізі показано на рисунку 2.6, в.

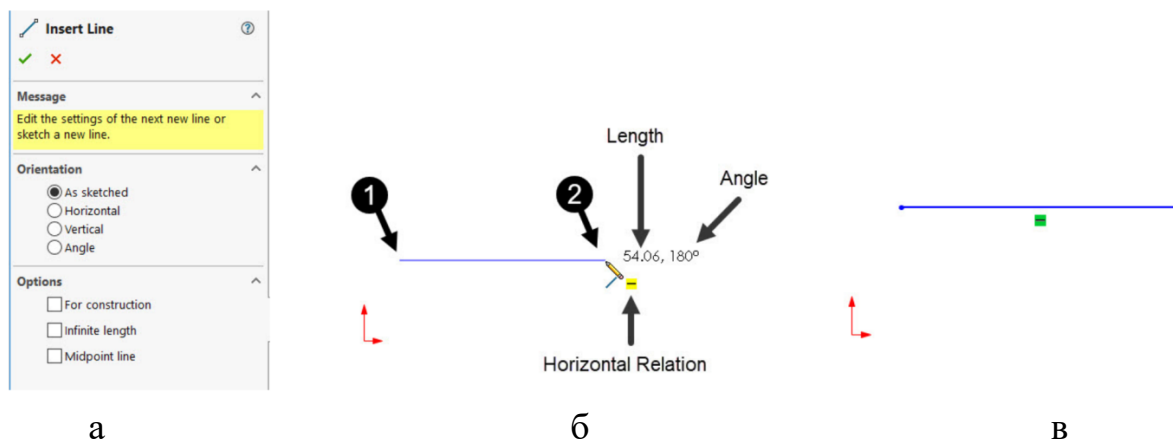


Рисунок 2.6 – Побудова **Line** на ескізі

Додатково в програмі **SOLIDWORKS** реалізовано швидкий перехід від прямої лінії до дотичної дуги без вибору відповідного інструмента. Існує декілька способів такого швидкого переходу. На рисунку 2.7, а та б проілюстровано поетапний швидкий перехід від лінії до дуги через контекстне меню за натисканням правої кнопки миші. Крім цього, можливий швидкий перехід від лінії до дуги натисканням на клавіатурі латинської літери **A**.

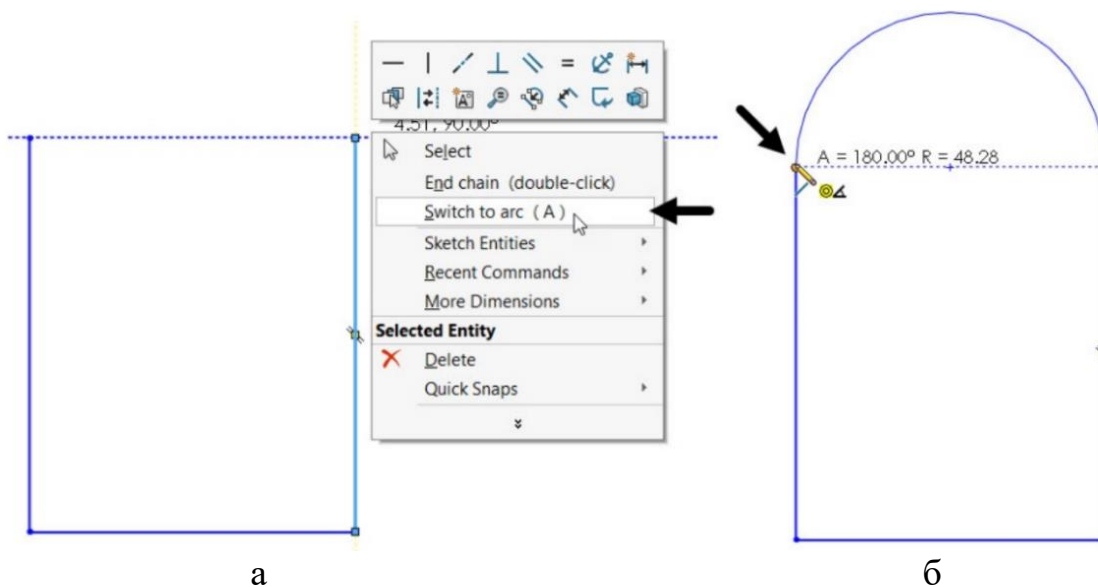


Рисунок 2.7 – Швидкий перехід від лінії до дуги

В програмі SOLIDWORKS передбачено два типи нанесення **Circle**: через центр кола та точку на його дузі (рисунок 2.8, а); або через три точки на дузі кола (рисунок 2.8, б).

Інструмент «**Rectangle**» дозволяє наносити прямокутники за допомогою: двох кутів; центра прямокутника і одного з кутів; або 3 кутових точок (рисунок 2.9, а). Такий же інструмент також використовують для побудови ромба. Наведено приклад використання двох кутів як базових точок для побудови прямокутника (рисунок 2.9, б).

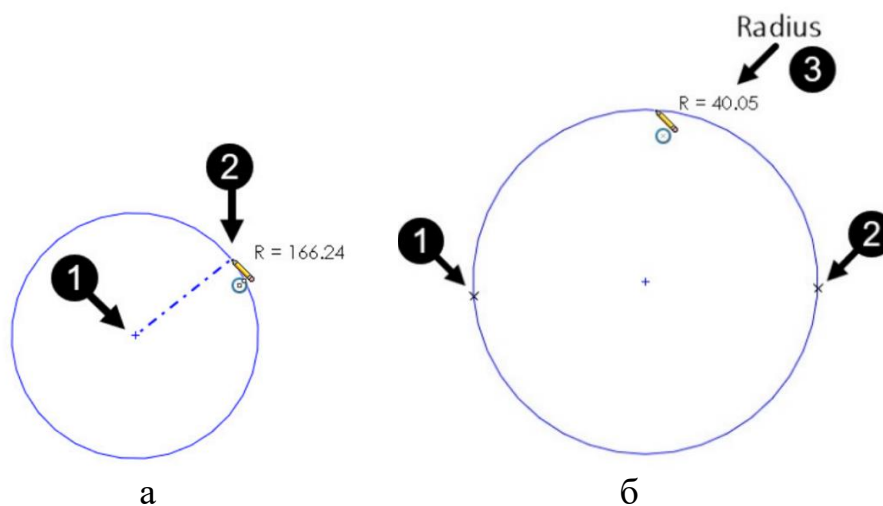


Рисунок 2.8 – Методи побудови кола

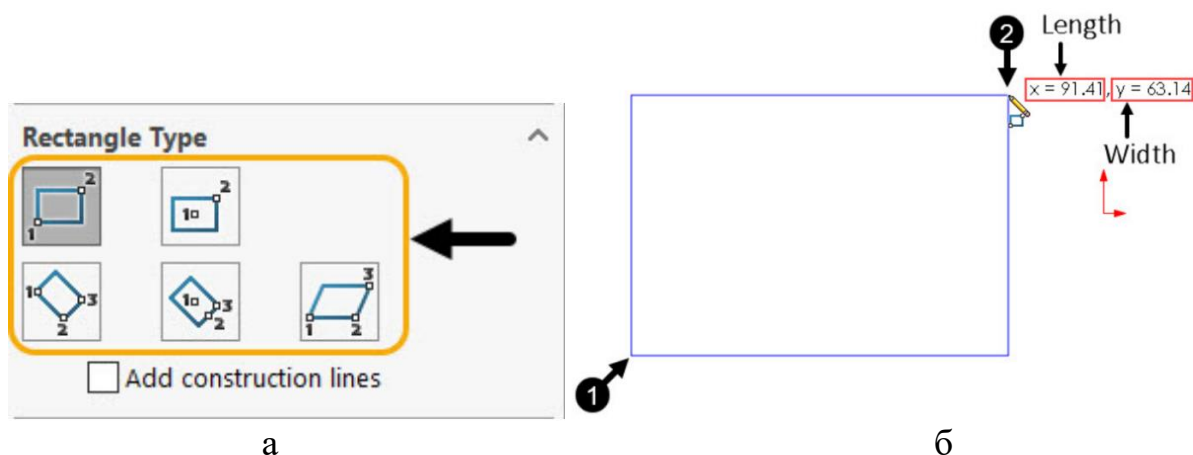


Рисунок 2.9 – Типи побудови чотирикутників (а) та метод побудови прямокутника (б)

Щоб побудувати дугу, в програмі SOLIDWORKS використовують один з трьох інструментів:

- центр дуги «**CenterPoint Arc**» (рисунок 2.10) – потрібно задати координати центра і однієї з крайніх точок, а потім вказати кут дуги (третя точка);
- дотична дуга «**Tangent Arc**» – команда може застосовуватися для

кінцевої точки існуючого елемента. Після її побудови між елементами автоматично встановлюється взаємозв'язок дотична (**Tangent**);

- дуга через три точки «**3 Point Arc**» – вимагає вказання двох крайніх точок дуги, а шляхом переміщення третьої встановлюється значення радіуса.

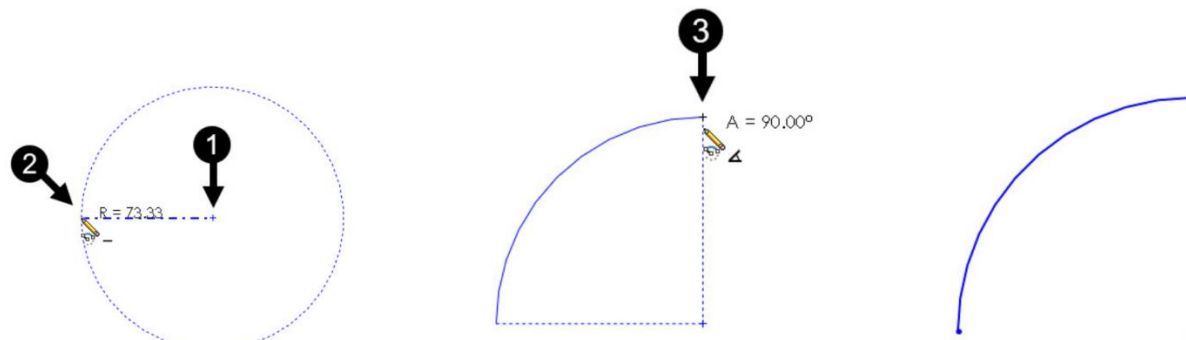


Рисунок 2.10 – Методика побудови дуги через інструмент «**CenterPoint Arc**»

Прорізи в програмі SOLIDWORKS пришвидшують побудову пазів та вентиляційних отворів на виконуваних деталях. Існують чотири види прорізів: прямий проріз (рисунок 2.11, а), прямий проріз через центральну точку (рисунок 2.11, б), проріз по дузі через 3 точки (рисунок 2.11, в), проріз по дузі з зазначенням центра (рисунок 2.11, г).

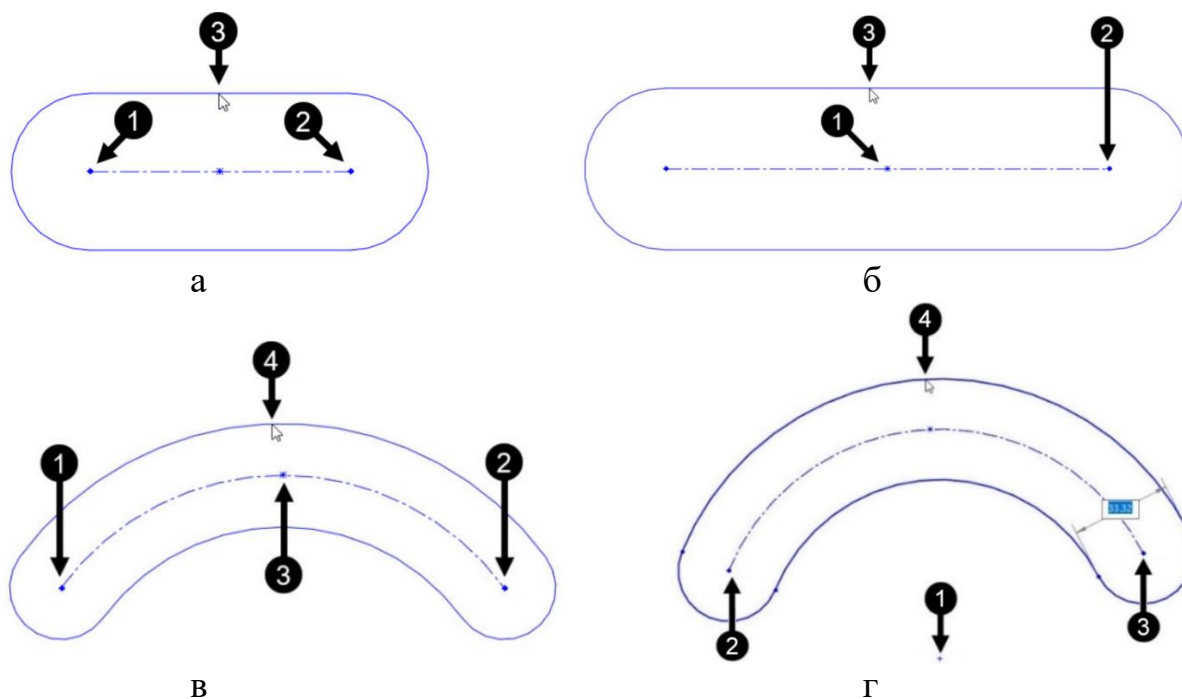


Рисунок 2.11 – Методики побудови прорізів

Побудова багатокутника виконується інструментом «**Polygon**». Для цього потрібно налаштувати кількість сторін (**Number of Sides**), вибрати вписане (**Inscribed circle**) чи описане (**Circumscribed circle**) допоміжне коло (рисунок 2.12, а), ввести координати центра вписаного кола (**Center X та Y Coordinates**), радіус вписаного кола (**Circle Diameter**) та кут повороту багатокутника (**Angle**). Останні три налаштування можна виконати курсором миші клацанням в потрібних місцях (рисунок 2.12, б).

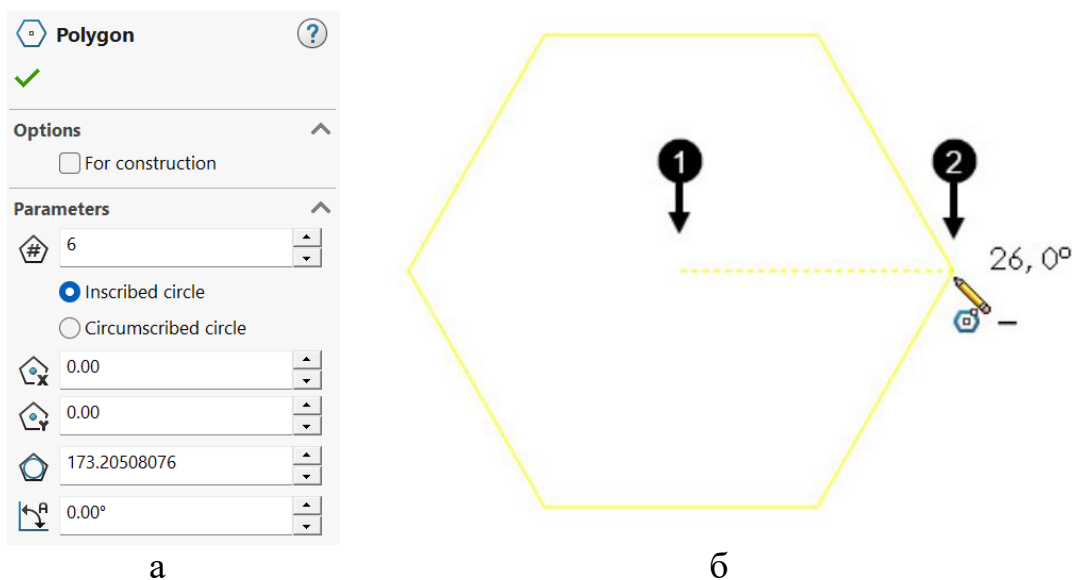


Рисунок 2.12 – Налаштування побудови багатокутника з вписаним допоміжним колом

В програмі SOLIDWORKS складна крива (**Spline**) – це основний інструмент для побудови складної геометрії ескізів і застосовується у разі розробки дизайн-проектів оригінальних корпусів. Приклад побудови складної кривої показано на рисунку 2.13, а. Крім цього, складну криву використовують як апроксимувальну криву в інженерних задачах, де траєкторія зміни геометрії задається за математичним законом.

Змінюють форму складної кривої трьома способами: переміщенням вузла; змінюючи радіальний напрям дотичної – кут нахилу до координатної осі (рисунок 2.13, б); змінюючи величину дотичної – радіус кривизни у вибраній точці.

Побудову еліпса (**Ellipse**) в ескізі виконують за допомогою трьох точок: визначають центр розміщення еліпса та радіус горизонтальної осі «**Radius of the horizontal axis**» (рисунок 2.14, а), потім визначають радіус вертикальної осі «**Radius of the vertical axis**» (рисунок 2.14, б).

Крім звичайного еліпса в програмі SOLIDWORKS є можливість побудувати частину еліпса (**Partial Ellipse**), параболу (**Parabola**) та кінцевий перетин (**Conic**).

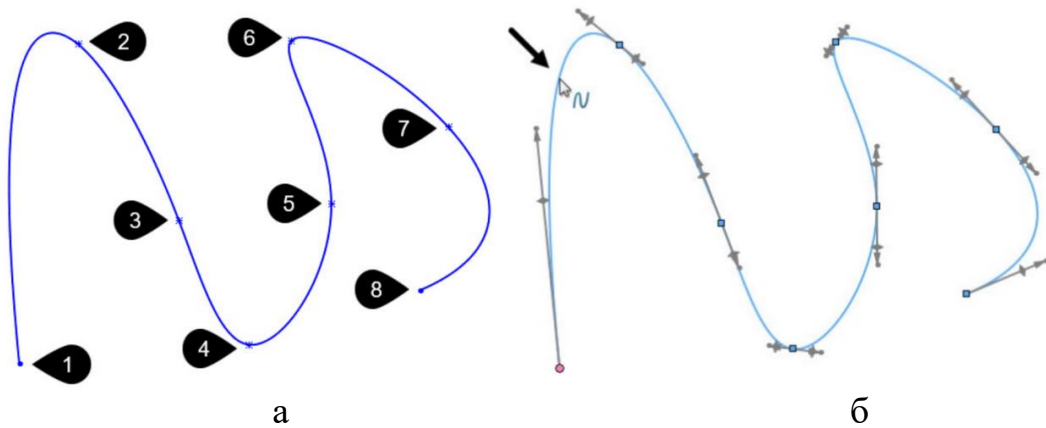


Рисунок 2.13 – Побудова (а) та редагування (б) складної кривої (**Spline**)

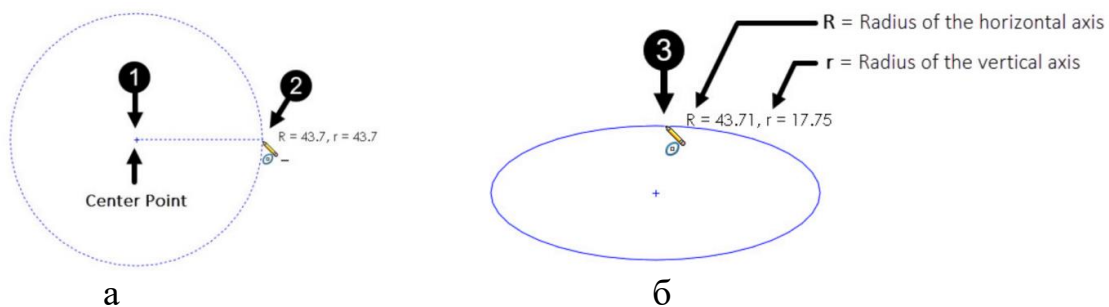


Рисунок 2.14 – Побудова еліпса

В програмі **SOLIDWORKS** також передбачено побудову точки (**Point**) в ескізі. Її побудову зазвичай виконують за рахунок позиціонування курсора в потрібному місці і натискання лівої кнопки миші.

Геометричні елементи, побудовані за допомогою **Creation Tools**, потрібно визначити в просторі. Визначення геометричних елементів описується математично за рахунок нанесення розмірів, або за рахунок накладення взаємозв'язків на їх розташування. Основні елементи **Constrains geometry dimensionally** (див. рисунок 2.4) забезпечують нанесення розмірів (рисунок 2.15) на ескізі [2, 3]. Нанесеним розмірам на ескізі присвоюються параметри, які потім можна використовувати для параметризації спроектованих елементів.

За допомогою інструмента **Smart Dimension**  наносять більшість розмірів для елементів ескіза [2]:

- якщо клацнути на один елемент ескіза, то буде встановлено розмір довжини лінії (рисунок 2.16, а), діаметра кола (рисунок 2.17, а) або радіуса дуги (рисунок 2.17, б);
- якщо клацнути на два елементи ескіза, то буде визначено відстань між цими двома лініями, двома колами, двома дугами, двома точками (рисунок 2.16, б) або їх комбінацією;
- якщо клацнути на кінцевих точках дуги та кривій цієї дуги, то визначиться довжина лінії дуги (рисунок 2.18);

- якщо клацнути центральну лінію та лінію (рисунок 2.19), паралельну їй, або точку, то відстань між елементом і центральною лінією буде подвоєна, щоб імітувати діаметр або симетрію, які ще не створені;
- якщо клацнути на двох непаралельних лініях, то визначиться кут між ними.

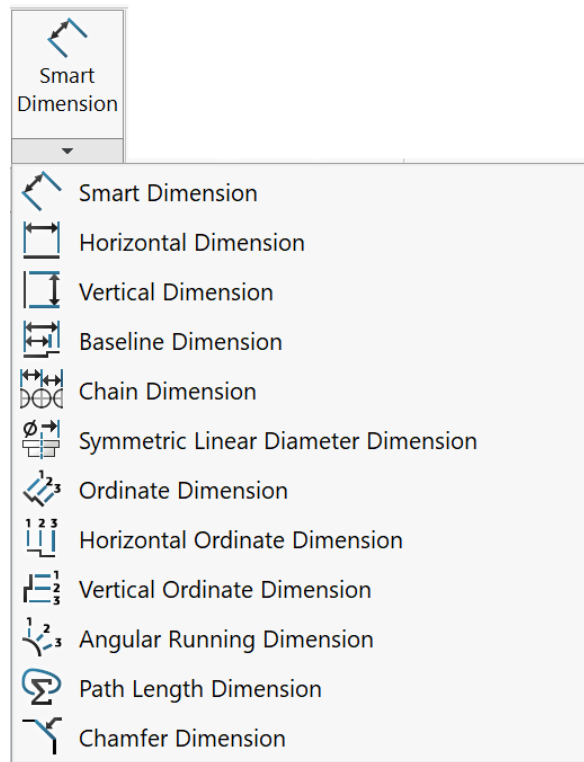


Рисунок 2.15 – Типи розмірів спадного списку **Constrains geometry dimensionally**

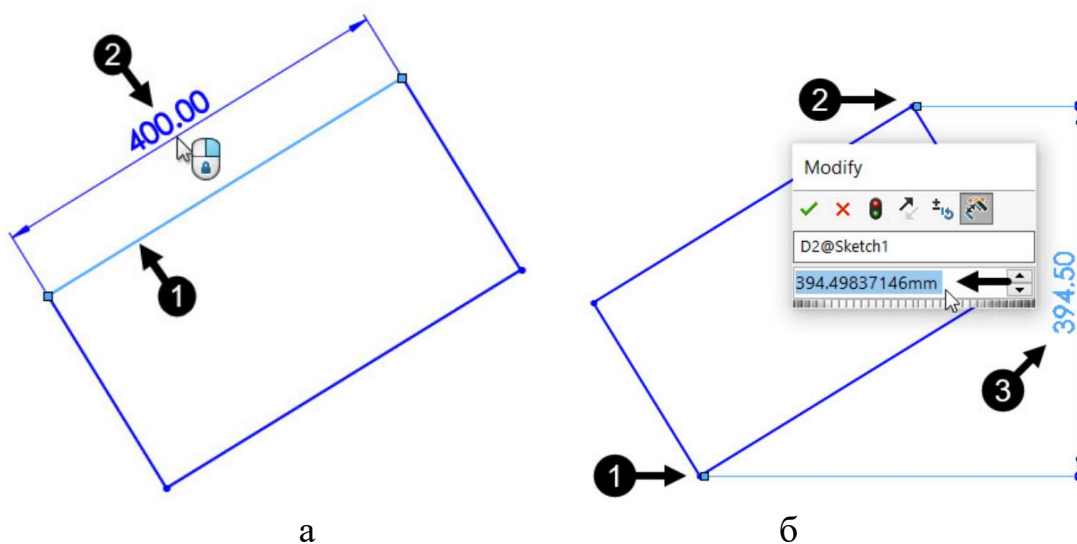


Рисунок 2.16 – Нанесення лінійних розмірів

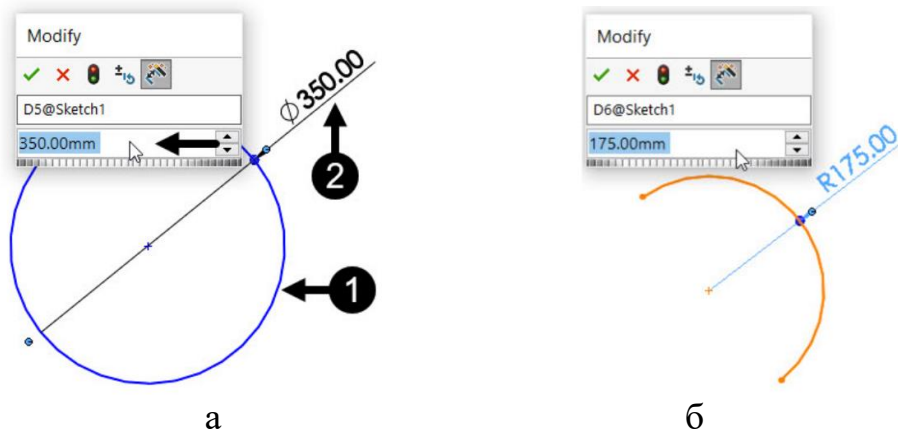


Рисунок 2.17 – Нанесення розмірів діаметра кола та радіуса дуги

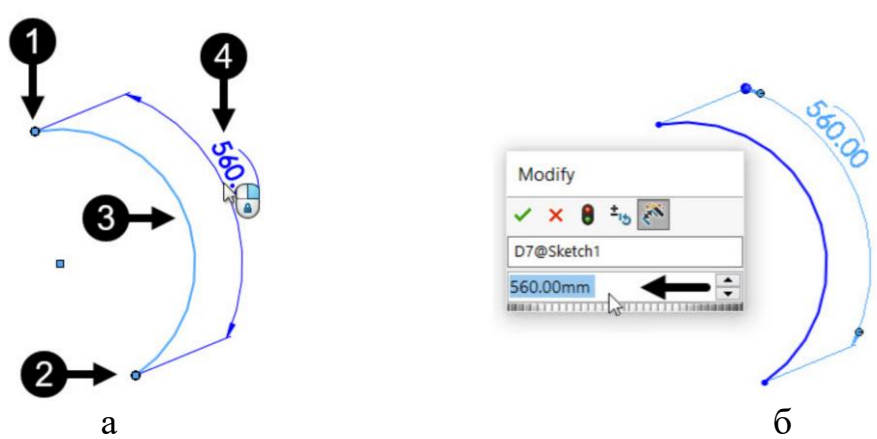


Рисунок 2.18 – Метод нанесення розміру довжини дуги

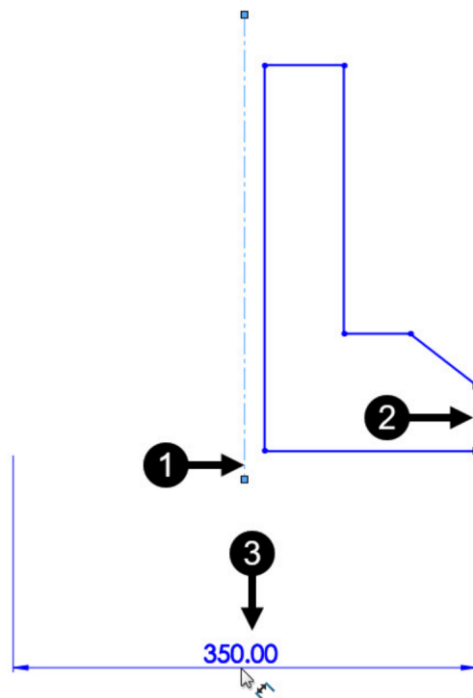


Рисунок 2.19 – Нанесення розмірів відносно центральної лінії

На рисунку 2.4 було показано основні інструменти для модифікації ескізу (**Modification Tools**) [2, 3]. Все, що роблять ці інструменти, можна зробити іншими способами, але використання цих інструментів набагато пришвидшує роботу інженера-конструктора. До **Modification Tools** відносять: обрізку об'єктів (**Trim Entities**), зміщення об'єктів (**Offset Entities**), дзеркало об'єктів (**Mirror Entities**), масив за лінійним ескізом (**Linear Sketch Pattern**) та інші інструменти.

Обрізка об'єктів (**Trim Entities**) використовується для стирання / видалення елементів ескізу, які знаходяться між іншими елементами. Існують декілька видів стирання / видалення елементів ескізу: потужна обрізка (**Power Trim**), кут (**Corner**), обрізка всередину (**Trim Away Inside**), обрізка назовні (**Trim Away Outside**), обрізка до найближчого (**Trim to Closed**). Приклад використання **Power Trim** показано на рисунку 2.20). **Power Trim** – це найпоширеніший спосіб використання **Trim Entities**. Процедура використання така: клацнути лівою кнопкою миші на початку шляху видалення елемента, перетягнути курсор миші між лініями, які потрібно видалити, та відпустити ліву кнопку миші. У висхідному меню **Trim Entities** також є параметр «продовжити об'єкт» (**Extend Entities**). **Extend Entities** дозволяє продовжити вибрані елементи до найближчого перетину з вже існуючим елементом.

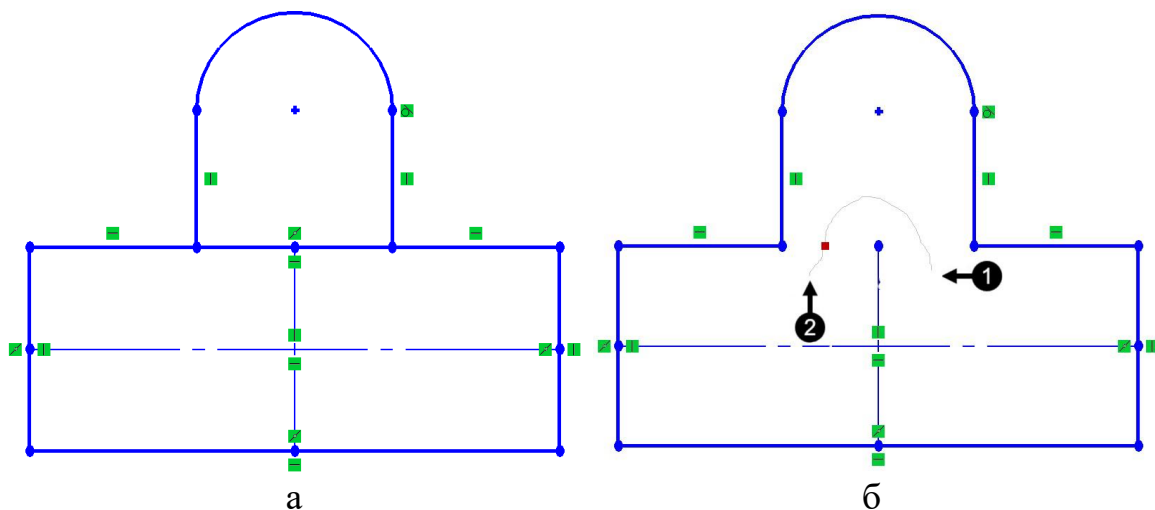


Рисунок 2.20 – Стирання частини ескізу за допомогою **Power Trim**

У процесі зміщення об'єктів (**Offset Entities**) вибираєте об'єкти ескізу щоб копіювати у вибраному напрямку на певну дистанцію (рисунок 2.21).

Зазвичай **Offset Entities** використовують для створення еквідистанти певного профілю об'єкта для інших програм САПР. Для налаштування еквідистанти використовують параметри: додати розміри (**Add Dimensions**), відстань від оригінального до зміщеного об'єкта (**Offset**

Distance), зміна положення зміщеного об'єкта (**Reverse**), вибрати весь об'єкт чи його елементи (**Select Chain**), побудова еквідистанти всередині та зовні об'єкта (**Bi-directional**) й інші.

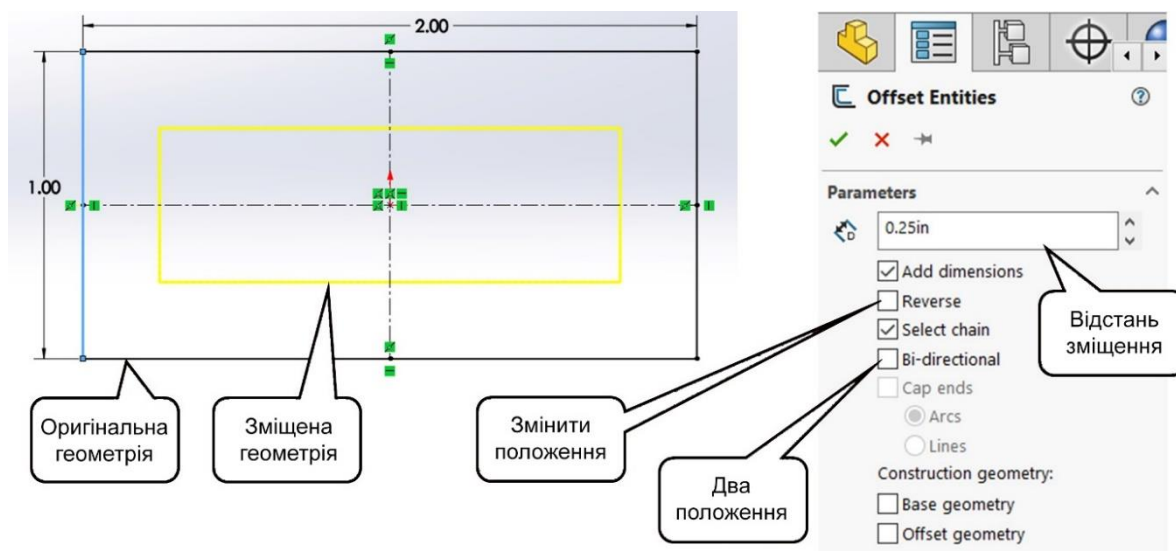


Рисунок 2.21 – Приклад використання інструмента «**Offset Entities**»

Дзеркало об'єктів (**Mirror Entities**) створює копію виділених об'єктів відносно лінії віддзеркалення шляхом «перевертання» орієнтації об'єкта на основі ефекту дзеркала. Для виконання **Mirror Entities** потрібно обов'язково вказати одну з ліній віддзеркалення: основну (**Line**), допоміжну (**Centerline**), лінію ребра моделі або лінію ребра на кресленику. Якщо дезактивувати функцію копіювання (**Copy**) на час віддзеркалення об'єкта, то об'єкт, який віддзеркалюють, видалиться.

Масив за лінійним ескізом (**Linear Sketch Pattern**) використовується інженерами нечасто через наявність аналогічного інструмента в тривимірному моделюванні. Однак **Linear Sketch Pattern** стане в пригоді для копіюванні елементів ескізу відносно лінії. Використовуючи **PropertyManager** відбувається: налаштування елементів **Linear Sketch Pattern**: кількість екземплярів (**Number of Instances**), напрямок (**Direction 1**) / (**Direction 2**) і відстань (**Spacing**) (рисунок 2.22).

Масив по круговому ескізу (**Circular Sketch Pattern**) знаходиться в спадному меню для **Linear Sketch Pattern**, та призначений для побудови шаблонів відносно вибраної точки або кола.

Встановлення взаємозв'язків елементів на ескізі виконується за рахунок **Relation Tool** (див. рисунок 2.4). Взаємозв'язки – це логічні операції, за допомогою яких встановлюються відносини між елементами ескізу, площинами, осями, кромками або вершинами. Взаємозв'язки, накладені на елементи ескізу, мають своєю метою втілення конструкторського задуму та зменшення кількості нанесених розмірів. Взаємозв'язки обмежують ступінь вільності елементів ескізу.

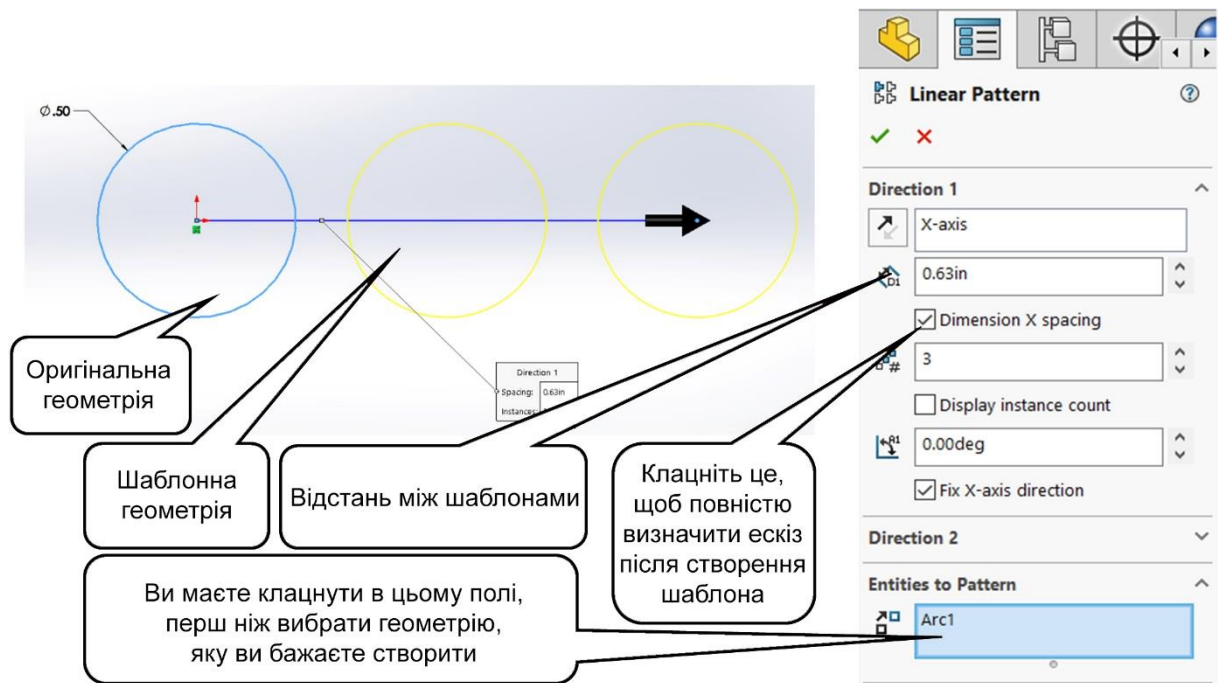















Рисунок 2.22 – Налаштування **PropertyManager** для **Linear Sketch Pattern**

На рисунку 2.23 показано кнопки відображення та додавання взаємозв'язків через вкладку **Sketch** панелі інструментів. Найчастіше використовуються такі взаємозв'язки: горизонтальність (**Horizontal**) ; колінеарність (**Colinear**) ; корадіальність (**Coradial**) ; перпендикулярність (**Perpendicular**) ; паралельність (**Parallel**) ; дотичність (**Tangent**) ; вертикальність (**Vertical**) ; концентричність (**Concentric**) ; злиття точок (**Merge**) ; збіг (**Coincident**) ; рівність (**Equal**) ; симетричність (**Symmetric**) ; фіксація (**Fix**) . Їхні назви відповідають наявним функціям у процесі встановлення взаємозв'язків.

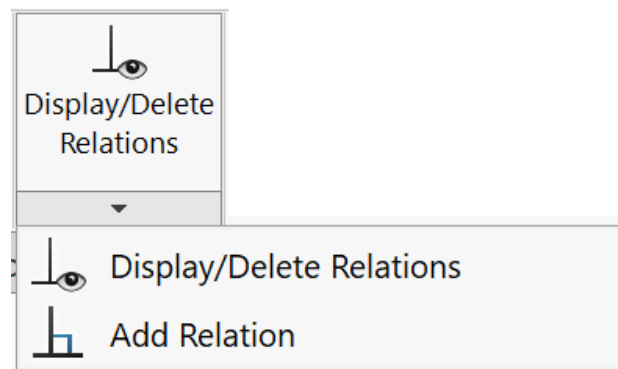


Рисунок 2.23 – Додавання взаємозв'язків через **Add Relations** на панелі **Sketch**

Додавати взаємозв'язки також можна за допомогою контекстного меню при натисканні лівої кнопки миші. Наприклад (рисунок 2.24), показано можливі взаємозв'язки для точки на кресленику. Для фіксації вигляду кресленика зазвичай використовують центр системи координат або задають одну нерухому точку взаємозв'язком **Make Fixed**. Зловживання взаємозв'язком **Make Fixed** може призвести до порушення роботи параметричних розмірів та виникнення помилок.

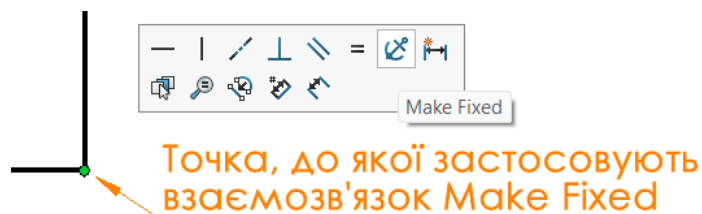


Рисунок 2.24 – Додавання взаємозв'язків через контекстне меню лівої кнопки миші

Налаштування взаємозв'язків елементів ескізу також проводять через властивості цих елементів. Частину властивостей **Line Properties** показано на рисунку 2.25. Пропозиція щодо встановлення нових взаємозв'язків подана в розділі **Add Relations** для конкретного елемента або групи елементів ескізу. Щоб накласти взаємозв'язок на два або більше елементів, як мінімум один з них має бути елементом цього ескізу. Інші елементи можуть бути також елементами цього ескізу, кромками, гранями, вершинами, початками координат, площинами або осями. У взаємозв'язку можуть також брати участь криві, що належать іншим ескізам, якщо при проектуванні на площину даного ескізу вони утворять лінії або дуги. Наприклад, для лінії передбачено можливість додавання горизонталі (**Horizontal**), вертикалі (**Vertical**) або фіксації (**Fix**). Тип взаємозв'язку, що найбільше підходить для виділених об'єктів, виділяється жирним шрифтом.

Переглянути встановлені взаємозв'язки для кожного елемента ескізу можна в розділі **Existing Relations**. Наприклад, на рисунку 2.25 показано три встановлені взаємозв'язки: горизонтальний (**Horizontal**), колінеарний (**Colinear**) та перпендикулярний (**Perpendicular**). Ці взаємозв'язки стосуються конкретної лінії з іншими елементами ескізу.

Приклад позначення та використання взаємозв'язків на ескізі показано на рисунку 2.26. Якщо під час додавання розмірів або взаємозв'язків до ескізу постійно виникає попередження про перевизначеність, то потрібно перевірити ескіз на наявність небажаних взаємозв'язків.

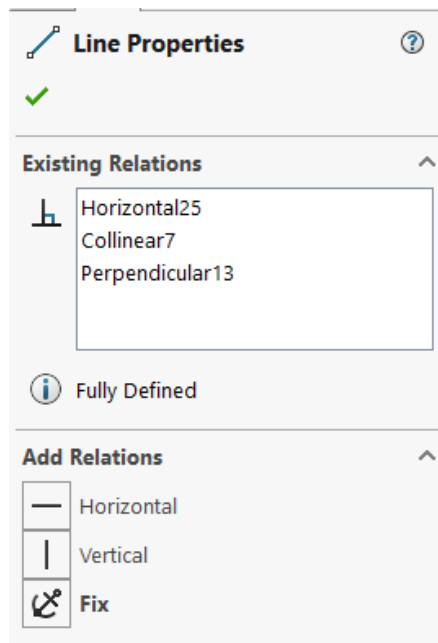


Рисунок 2.25 – Відображення частини властивостей **Line Properties**

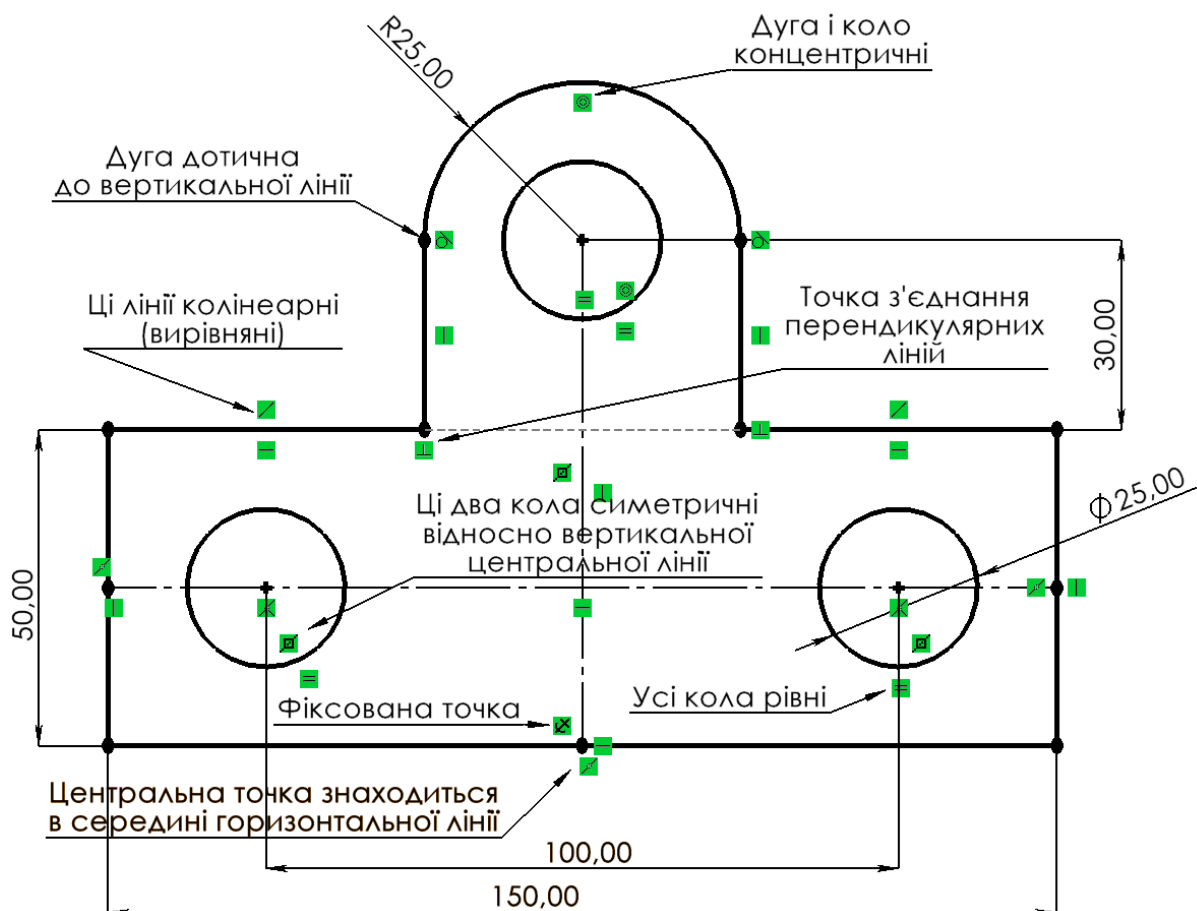


Рисунок 2.26 – Приклад використання взаємозв'язків

Щоб видалити взаємозв'язки, потрібно виділити відповідну піктограму взаємозв'язку на ескізі та натиснути клавішу **Delete** на

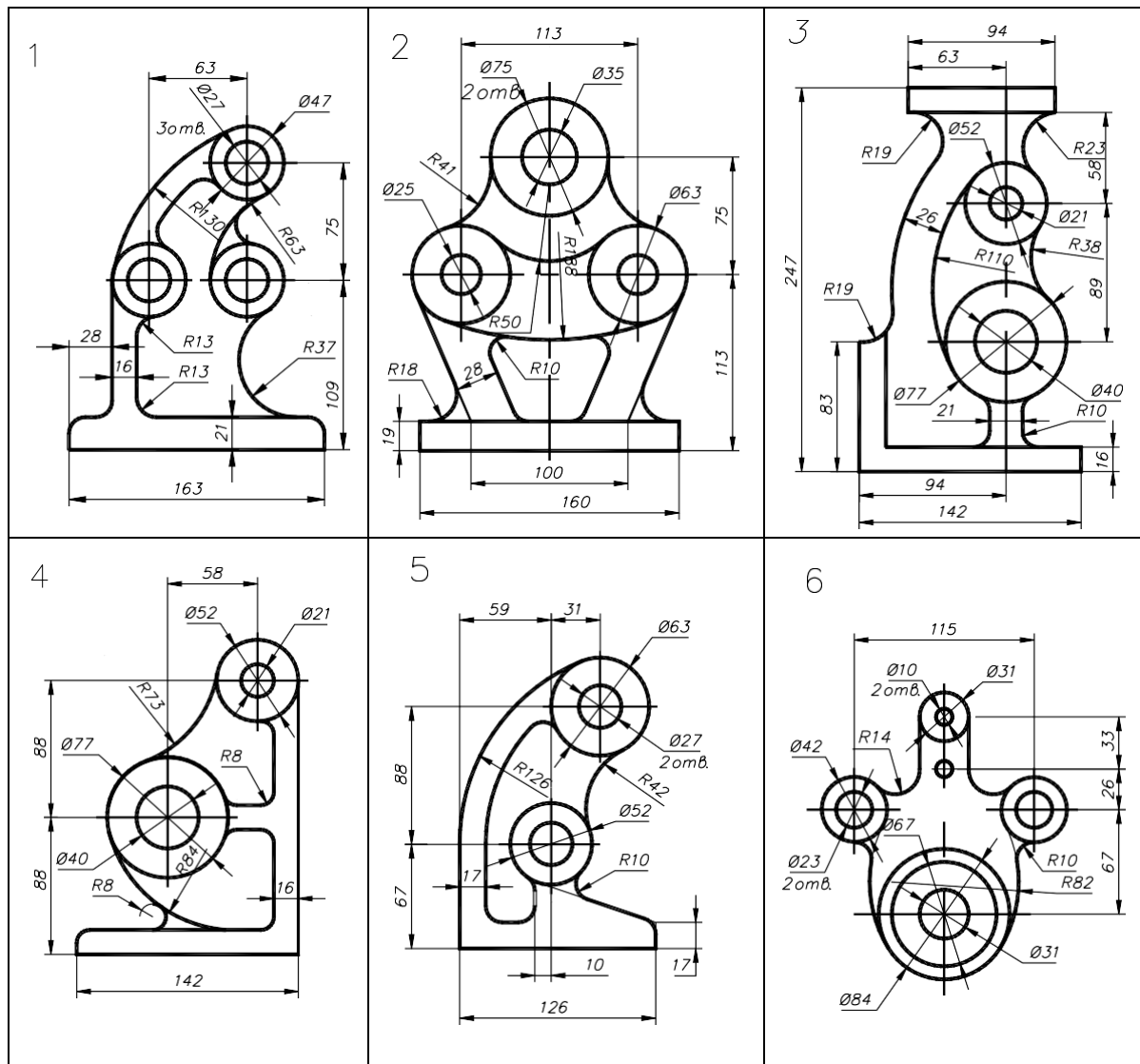
клавіатурі. Це можна також зробити, виділивши елемент ескізу (лінію або точку) і в розділі **Existing Relations** на панелі **PropertyManager** видалити відповідний взаємозв'язок (клавішею **Delete** на клавіатурі).

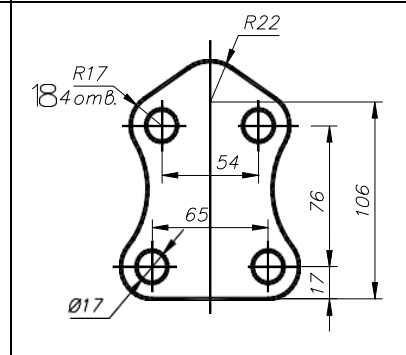
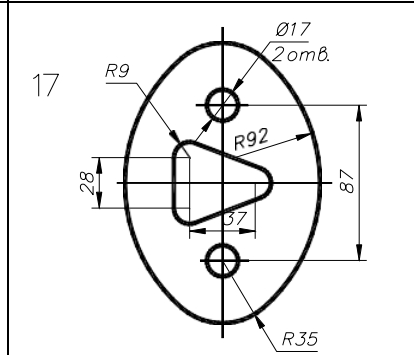
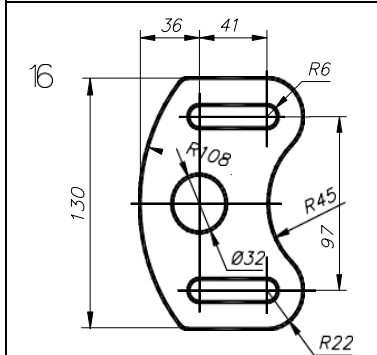
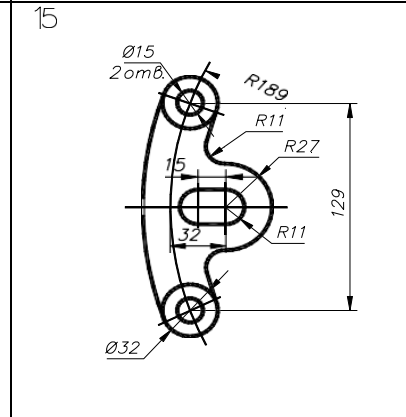
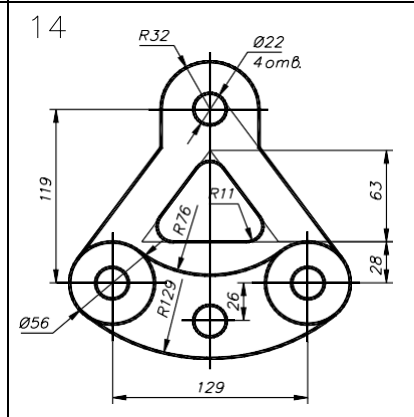
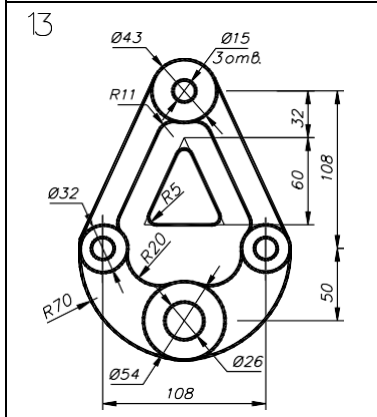
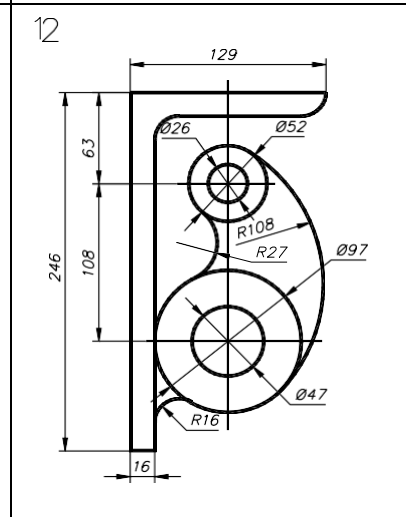
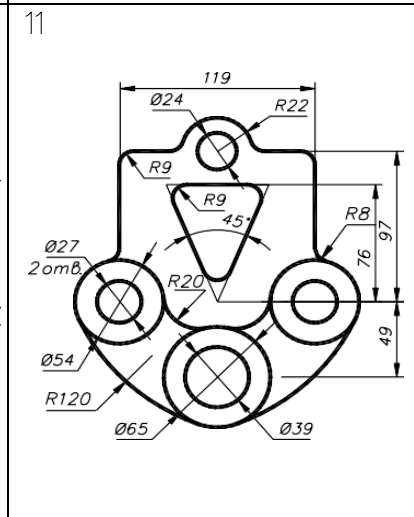
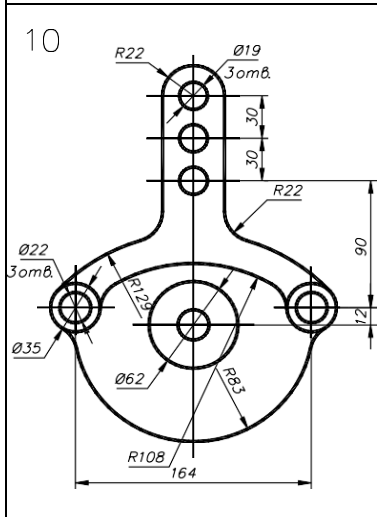
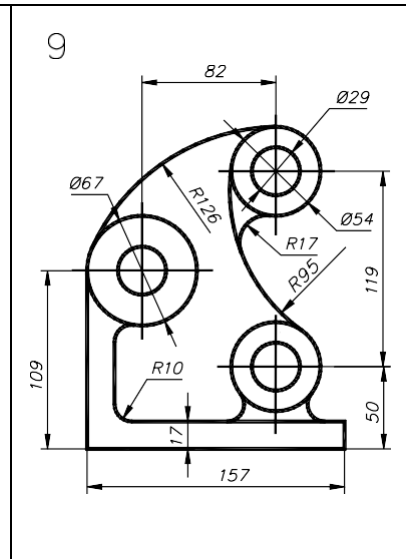
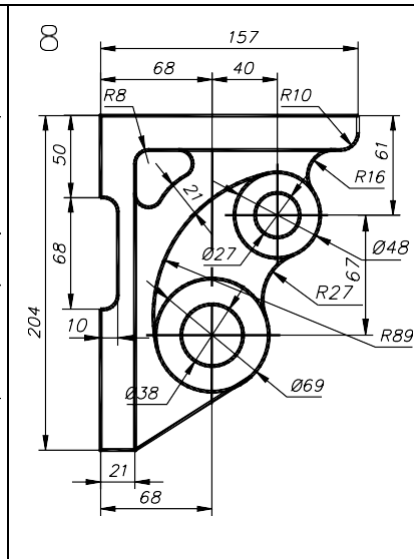
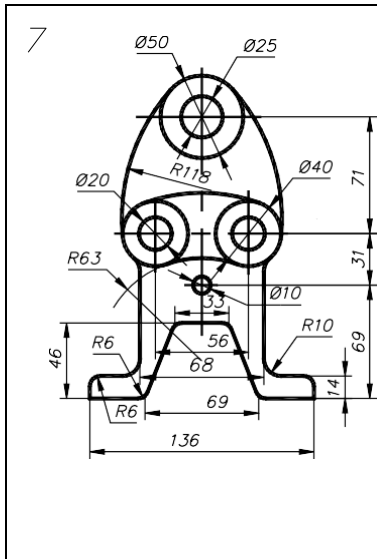
2.2 Завдання для виконання лабораторної роботи № 2

В завданні до лабораторної роботи № 2 підготовлено 30 індивідуальних варіантів. Якщо кількість здобувачів в групі більша, ніж підготовлених завдань, то потрібно звернутися до викладача, щоб він видав додаткові варіанти завдання.

У процесі виконання завдання на форматі А3 здобувачі проєктують повністю визначений ескіз з використанням розмірів та взаємозв'язків.

Після виконання завдання кожний здобувач підписує роботу вказавши її назву, назву своєї групи, прізвища розробника і перевіряючого.





2.3 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з теоретичними відомостями до лабораторної роботи.
2. В звіт занести тему та мету роботи.
3. Ознайомитися з описом роботи та завданням.
4. Відповідно до виданого варіанта завдання виконати побудову ескізу на форматі А3 в програмі SOLIDWORKS. Зокрема нанести на всі елементи ескізу таку кількість розмірів, яка не перевищує їх наявну кількість в завданні.
5. За рахунок додання взаємозв'язків повністю визначити ескіз (за винятком взаємозв'язків **Fix**). Максимальна кількість взаємозв'язків **Fix** не має перевищувати 1.
6. Вказати відповіді на контрольні питання.
7. Завершити виконання звіту для лабораторної роботи формуванням висновків. У висновках вказати інструменти програми SOLIDWORKS, які вдалося опанувати в процесі виконання лабораторної роботи. Вказати скільки та які взаємозв'язки вдалося використати для досягнення повної визначеності ескізу.

2.4 Контрольні питання

1. Чим відрізняється повністю визначений та недовизначений ескізи?
2. Який елемент для побудови ескізу є найбільш використовуваним?
3. Скільки методів побудови кола в програмі SOLIDWORKS? Опишіть методи побудови кола.
4. Як нанести розмір довжини дуги?
5. Які види взаємозв'язків найчастіше використовуються?






ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

СТВОРЕННЯ ТВЕРДОТІЛЬНИХ ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Мета роботи. Вивчення основних методів побудови тривимірних моделей деталей в системі автоматизованого проєктування SOLIDWORKS.

3.1 Короткі теоретичні відомості

Левову частку тривимірних моделей в машинобудуванні складають твердотільні. Твердотільне моделювання – це проєктування тіл, які мають всі ознаки фізичного тіла [4]. У разі твердотільного моделювання користувач створює одразу оболонки, які відокремлюють внутрішній простір об'єкта від всього іншого простору. Варто зауважити, що процес твердотільного моделювання оболонки об'єкта аналогічний процесу його виготовлення.

Основними інструментами для побудови тривимірної моделі на вкладці **Features** (рисунок 3.1) на панелі інструментів використовують такі [2]: видавлювання (**Extruded Boss/Base**) , обертання (**Revolved Boss/Base**) , побудова елемента за траєкторією (**Swept Boss/Base**) , побудова елемента за перерізами (**Lofted Boss/Base**) , побудова на межі поверхні (**Boundary Boss/Base**) . Найбільш поширені методи для створення першого елемента тривимірної моделі – **Extruded Boss/Base** та **Revolved Boss/Base**. На базі основного елемента побудови виконують аналогічні, або інші операції для розбудови усієї тривимірної моделі.

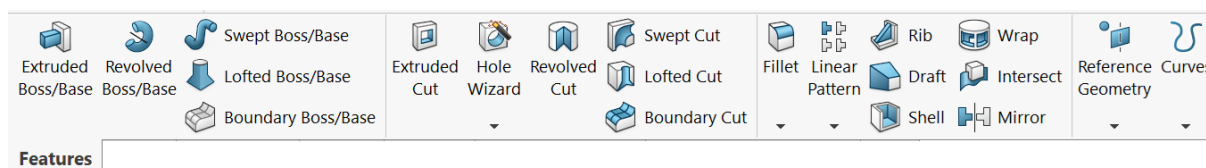


Рисунок 3.1 – Вкладка **Features** на панелі інструментів

Інструмент побудови видавлюванням (**Extruded Boss/Base**) створює третій вимір елемента шляхом витягування двовимірного ескізу в перпендикулярному напрямку до нього. Основними налаштування на панелі **PropertyManager** (рисунок 3.2) для **Extruded Boss/Base** є: початкова умова (**Start Condition**), зворотний напрямок (**Reverse Direction**), кінцева умова (**End Condition**), напрямок видавлювання (**Direction of Extrusion**), глибина видавлювання (**Depth of Extrusion**), увімкнути / вимкнути ухил (**Draft On/Off**), кут ухилу (**Draft Angle**), напрямок 2 (**Direction 2**) та інші.

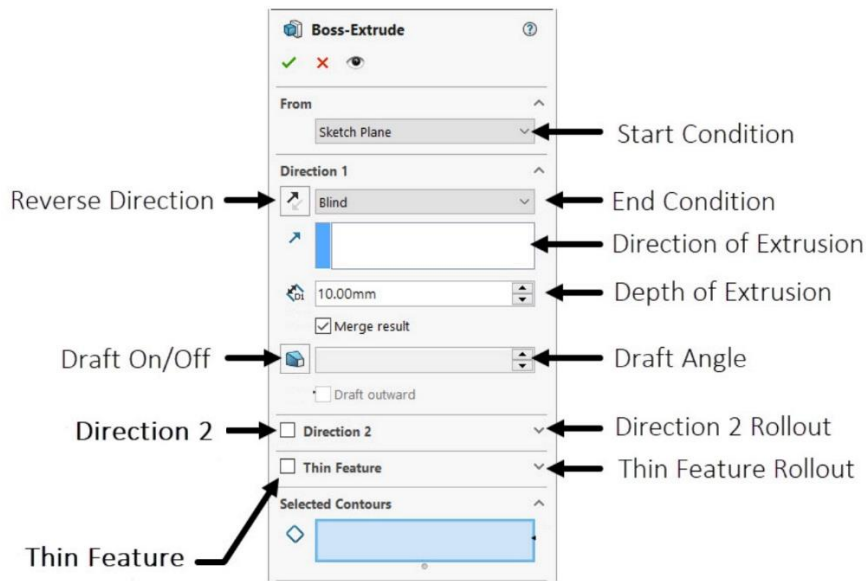


Рисунок 3.2 – Налаштування панелі **PropertyManager** для **Extruded Boss/Base**

На основі двовимірного ескізу кола діаметром 100 мм використано інструмент **Extruded Boss/Base**. Фантомне зображення тривимірної моделі циліндра шляхом видавлювання на глибину 100 мм показано на рисунку 3.3, а. Після підтвердження налаштувань в результаті отримано твердотільну тривимірну модель циліндра (рисунок 3.3, б).

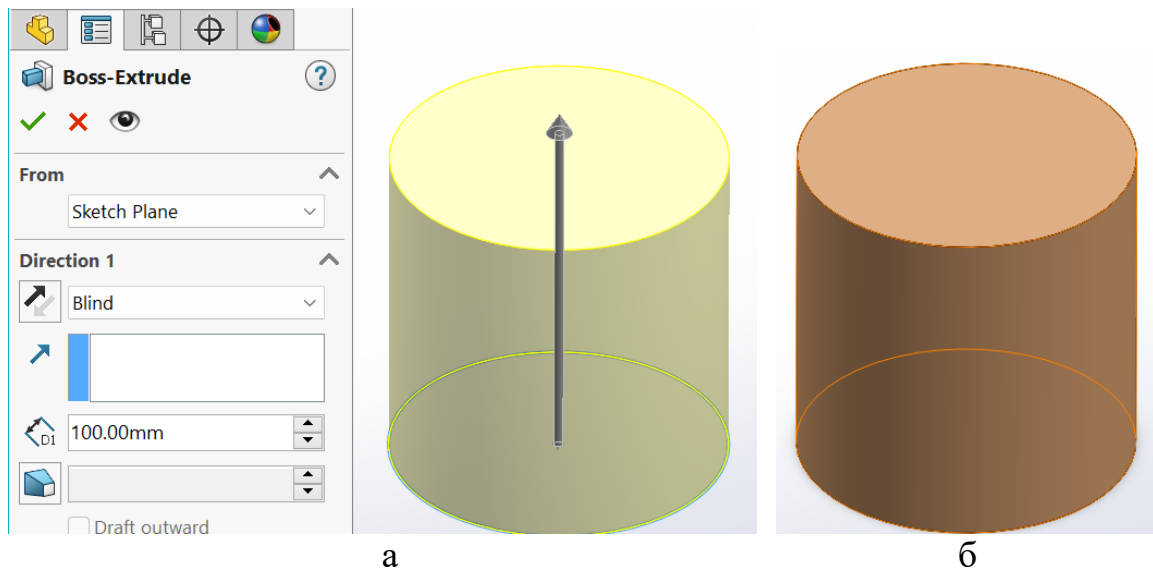


Рисунок 3.3 – Налаштування фантомного зображення тривимірної моделі циліндра шляхом видавлювання (а) та результат твердотільного моделювання циліндра (б)

Інструмент побудови обертанням (**Revolved Boss/Base**) створює елемент, який додає матеріал шляхом повороту одного або кількох **Sketch**

навколо осьової лінії (**Centerline / Axe of Revolution**). У процесі **Revolved Boss / Base** використовують такі налаштування (рисунки 3, 4): вісь обертання (**Axe of Revolution**), зворотний напрямок (**Reverse Direction**), тип обертання (**Revolve Type**), кут обертання (**Direction Angel**). Створені елементи після використання інструмента **Revolved Boss/Base** можуть бути твердотільними, тонкостінними або поверхнею.

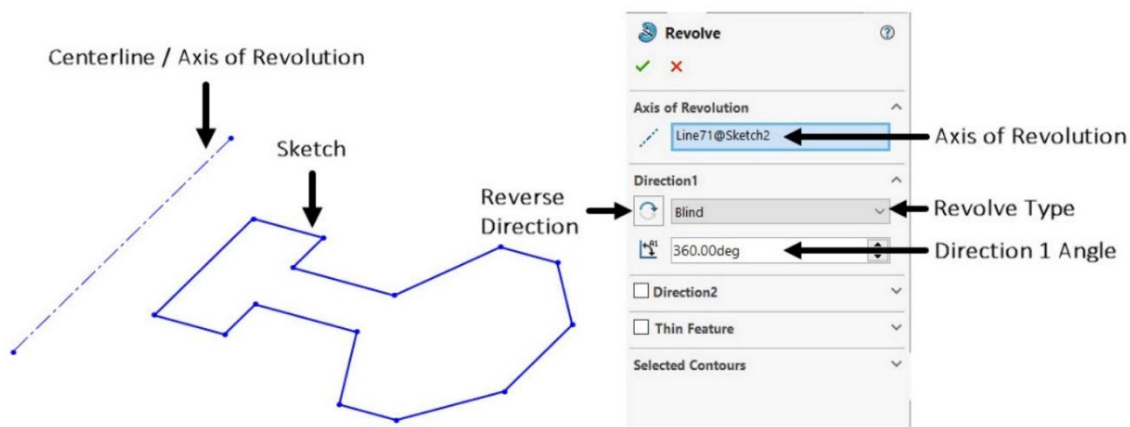


Рисунок 3.4 – Налаштування панелі **PropertyManager** для **Revolved Boss / Base**

На основі двовимірного ескізу деталі з **Centerline / Axe of Revolution** показано її фантомне зображення (рисунок 3.5, а) та готову тривимірну модель деталі, виконану з **Direction Angel** на 360° (рисунок 3.5, б). Після перелаштування **Direction Angel** на 270° отримано твердотільну тривимірну модель деталі з відсутньою її четвертиною (рисунок 3.5, в).

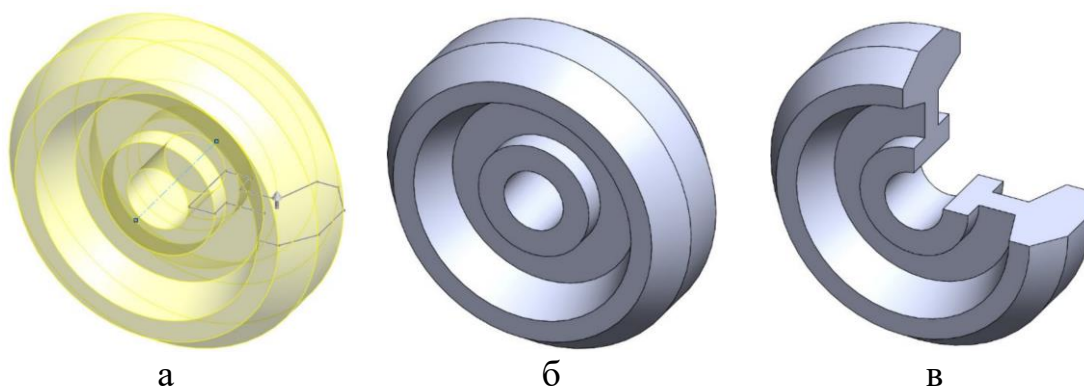


Рисунок 3.5 – Фантомне зображення (а) та готова тривимірна модель (б) деталі, виконана на 360° , а також готова тривимірна модель (в) деталі, виконана на 270°

Інструмент побудови елемента за траєкторією (**Swept Boss / Base**) створює основу або поверхню шляхом переміщення профілю (**Profile(Sketch3)**) у напрямку побудованої траєкторії (**Profile(Sketch1)**). На

рисунку 3.6 показано поетапне виділення **Profile(Sketch3)** та **Profile(Sketch1)** для створення фантомного зображення тривимірної моделі.

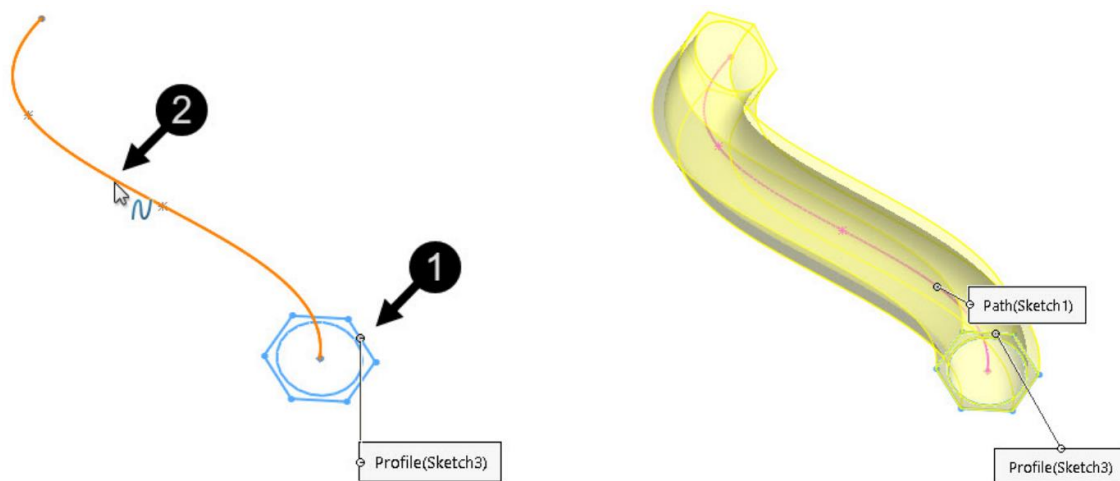


Рисунок 3.6 – Вибір основи та траєкторії для побудови елемента за траєкторією (**Swept Boss/Base**)

Інструмент побудови елемента за перерізами (**Lofted Boss/Base**) створює елемент шляхом моделювання переходів між профілями (**Sketch**). На рисунку 3.7 показано поетапне виділення ескізів для створення фантомного зображення тривимірної моделі і результат твердотільного моделювання.

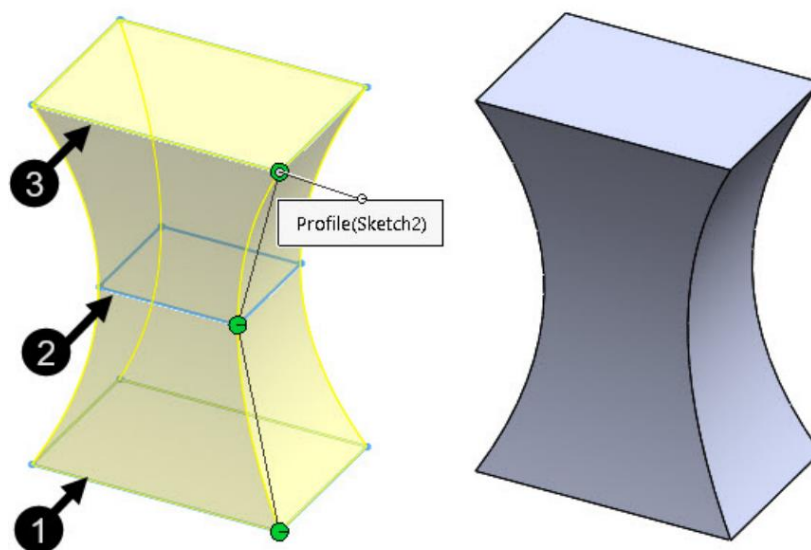









Рисунок 3.7 – Створення тривимірної моделі шляхом побудови елемента за перерізами (**Lofted Boss/Base**)

Інструмент побудови на межі поверхні (**Boundary Boss/Base**) створює високоякісні та точні елементи, потрібні для створення складних

форм деталі у разі проєктування продуктів широкого споживання, медичних виробів, деталей для аерокосмічної промисловості та ливарного виробництва.

Усі розглянуті вище інструменти та методи побудови елементів деталі мають інструменти та методи з оберненою функцією – вирізання. Існують такі інструменти вирізання: вирізання видавлюванням (**Extruded Cut**) , вирізання обертанням (**Revolved Cut**) , вирізання елемента за траєкторією (**Swept Cut**) , вирізання елемента за перерізами (**Lofted Cut**) , вирізання на межі поверхні (**Boundary Cut**) . Набір властивостей в **PropertyManager** для однойменних інструментів видавлювання та вирізання – однаковий. Вони працюють аналогічно попередньо згаданим інструментам, але забезпечують вирізання наявного матеріалу тривимірної моделі.

Інструменти нанесення отворів **Hole Wizard**  та **Advanced Hole**  (рисунок 3.8) забезпечують тривимірне моделювання елементів простих та ступінчастих отворів. Причому, інструмент **Hole Wizard** в своїх налаштуваннях має вже сформовані розроблені типи отворів (рисунок 3.9), а інструмент **Advanced Hole** дозволяє створювати ступінчастий отвір згідно з потребами користувача.

На рисунку 3.9 показано послідовність налаштування параметрів для створення ступінчастого отвору за допомогою інструмента **Hole Wizard** [2]. А на рисунку 3.10 показано послідовність дій для позиціонування на поверхні деталі створеного ступінчастого отвору.

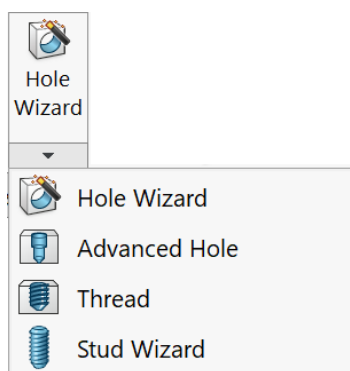



Рисунок 3.8 – Спадний список з інструментами **Hole Wizard**, **Advanced Hole**, **Thread** та **Stud Wizard**

Для реальної побудови внутрішніх і зовнішніх різей використовують інструменти **Thread**  (рисунок 3.8). Причому, для побудови внутрішніх чи зовнішніх різей обов'язково має бути сформована їх циліндрична поверхня.

Однак під час побудови різей перевагу віддають не реальній побудові за допомогою інструмента **Thread**, а умовному зображенню різей

за допомогою інструмента **Cosmetic Thread** (рисунок 3.11, а). Це зумовлено виконанням умовного позначення різі на кресленику (рисунок 3.11, б). Шлях до інструмента **Cosmetic Thread: Insert** ⇒ **Annotations** ⇒ **Cosmetic Thread**.

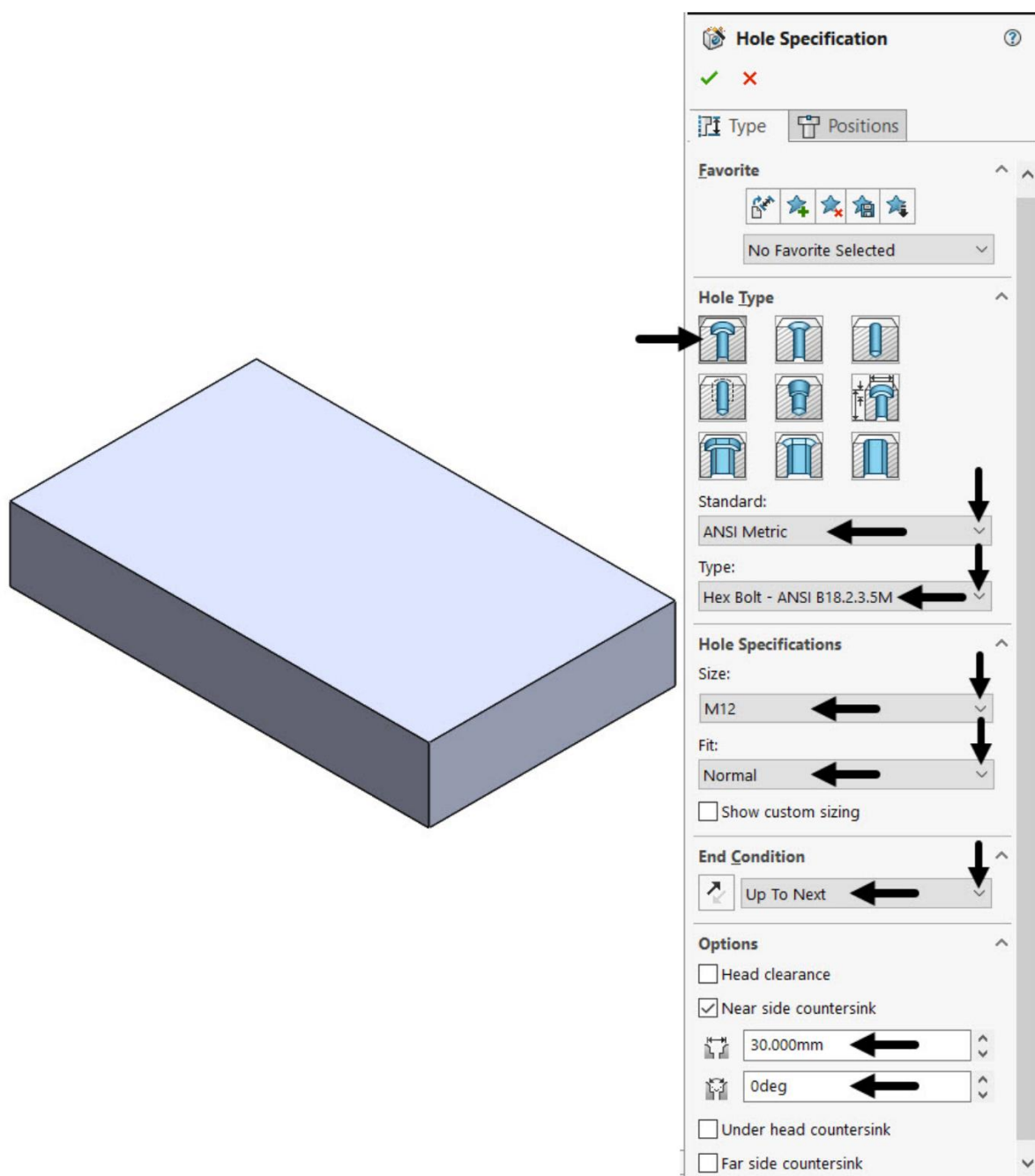


Рисунок 3.9 – Налаштування вигляду ступінчастого отвору за допомогою інструмента **Hole Wizard**

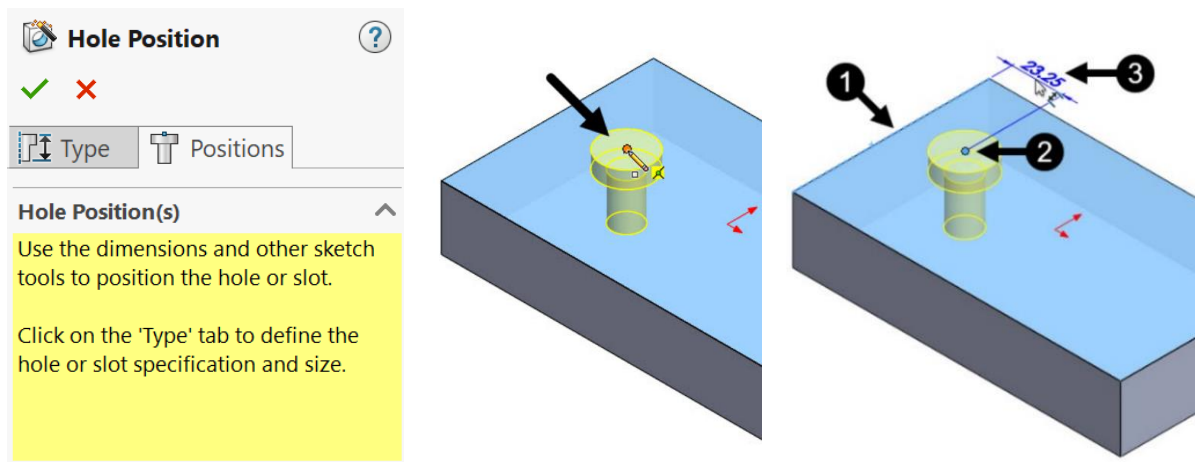


Рисунок 3.10 – Позичіонування ступінчастого отвору

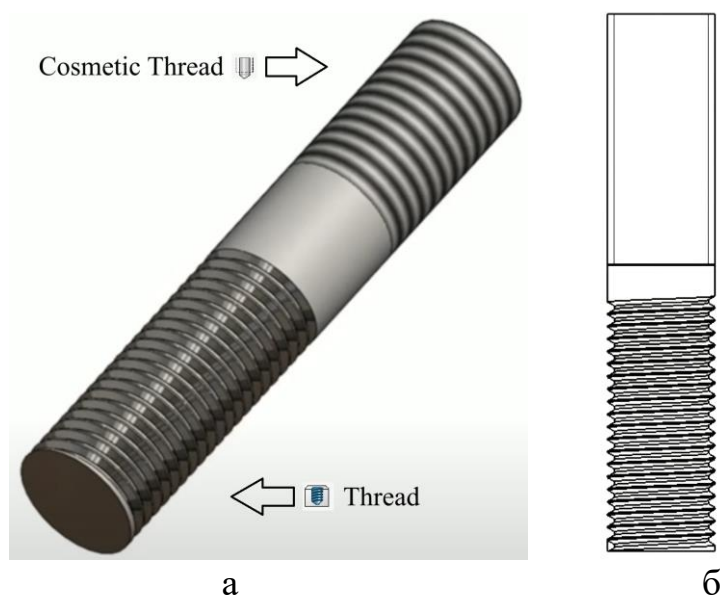








Рисунок 3.11 – Особливості виконання реального та умовного зображень різі на тривимірній моделі (а) та кресленуку (б)

Для створення шпильок на поверхнях деталей використовують інструмент **Stud Wizard**  (див. рисунок 3.8). Налаштування інструмента **Stud Wiza** дозволяють на вже існуючій циліндричній поверхні додати поверхню з різью (**Creates Stud on a Cylindrical Body**), або почати створювати елементи шпильки на плоскій поверхні (**Creates Stud on a Surface**).

До типових елементів твердотільного моделювання належать такі елементи [2]: округлення (**Fillet**) , фаска (**Chamfer**) , оболонка (**Shell**) , ребро (**Rib**)  та нахил (**Draft**) .

Більш детально про використання типових елементів твердотільного моделювання подано в посібнику [2]. На рисунках 3.12–3.16 показано

налаштування під час застосування типових елементів твердотілого моделювання, а також отриманий результат.

Інструмент **Fillet** зазвичай використовують для позначення ливарних радіусів для виливок, галтельних переходів для валів, округлих поверхонь деталі тощо.

Інструмент **Chamfer** та **Rib** застосовують, в основному, за однойменним призначенням, відповідно, це тривимірне моделювання фасок та ребер деталі.

Інструмент **Shell** дуже зручний для виконання оболонок за формою зовнішньої поверхні. Тут задається лише товщина створюваної деталі.

Нахили поверхонь можна виконувати безпосередньо під час використання основних інструментів вкладки **Features** (див. рисунок 3.2). Але існує спеціальний інструмент **Draft**, який дозволяє виконати нахили поверхонь вже після побудованої твердотілої тривимірної моделі.

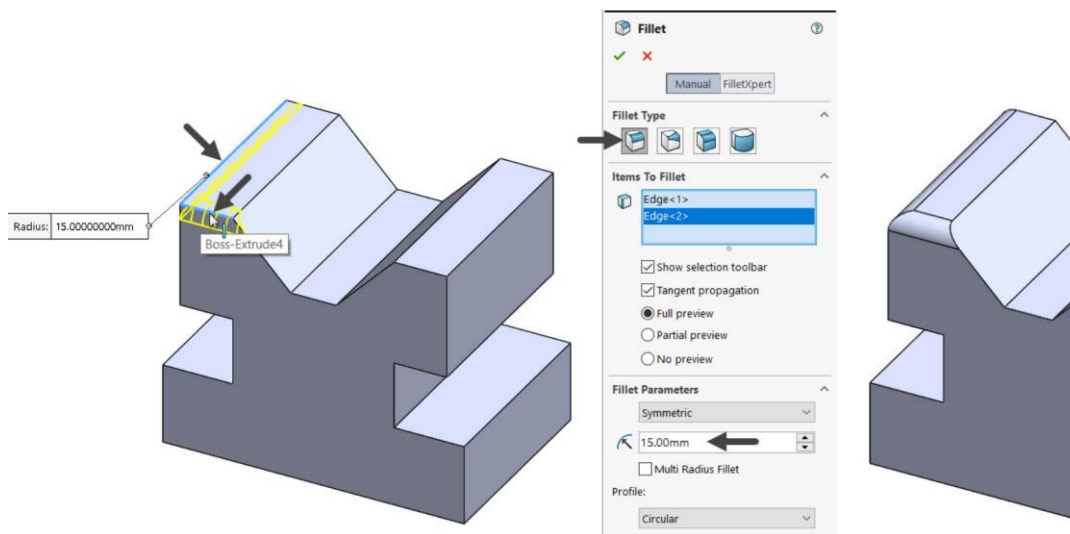


Рисунок 3.12 – Приклад використання інструмента **Fillet**

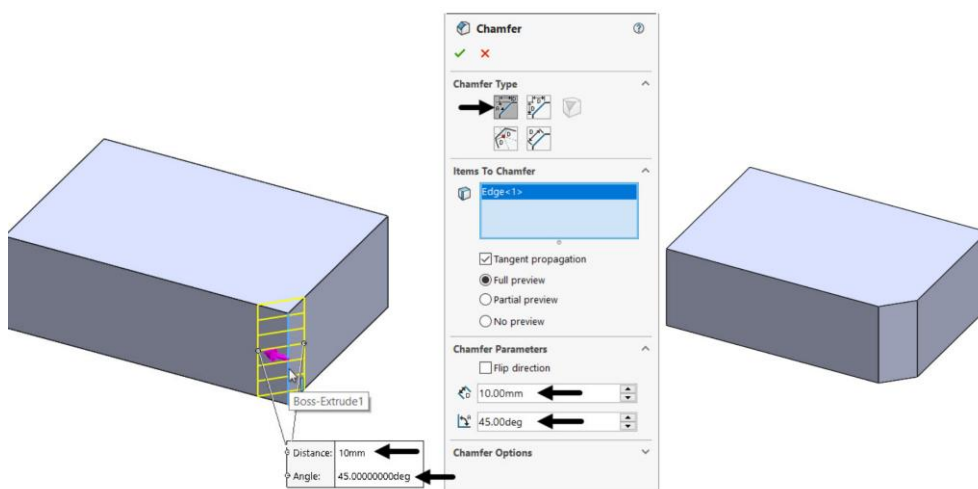


Рисунок 3.13 – Приклад використання інструменту **Chamfer**

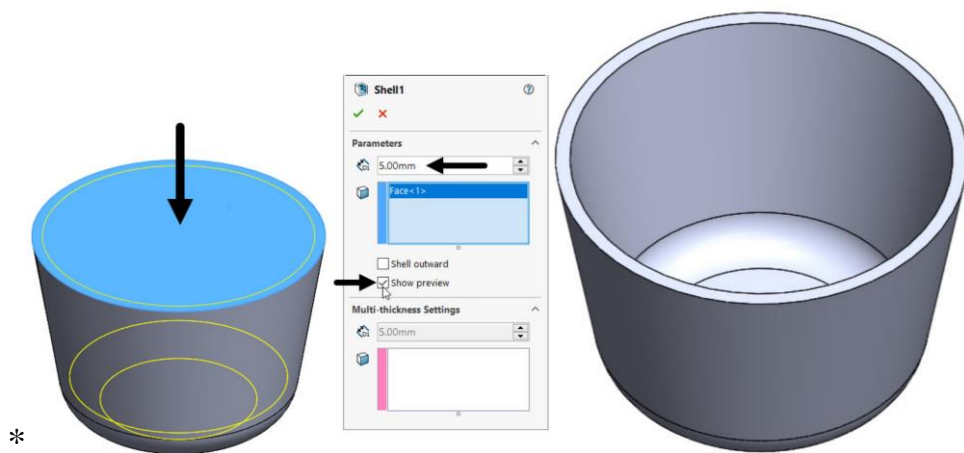


Рисунок 3.14 – Приклад використання інструмента **Shell**

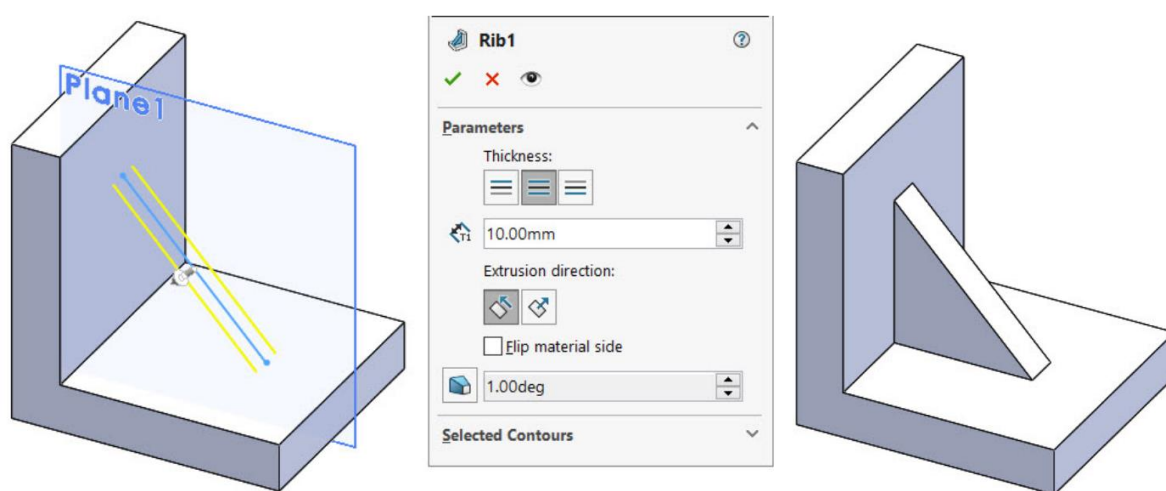


Рисунок 3.15 – Приклад використання інструмента **Rib**

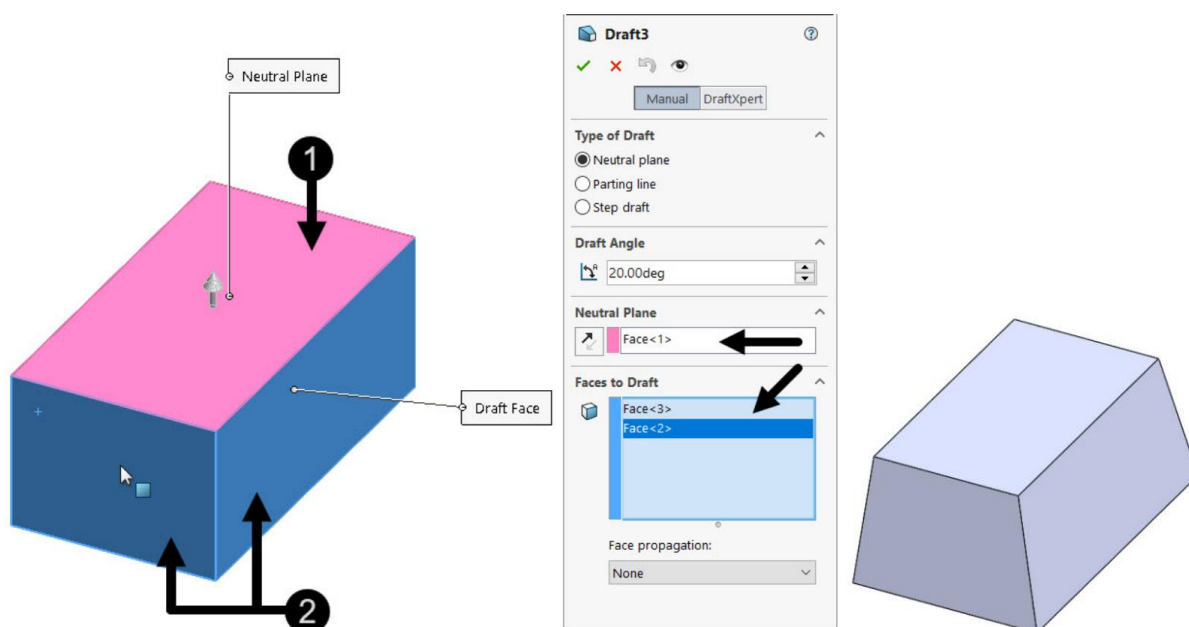


Рисунок 3.16 – Приклад використання інструмента **Draft**

Інструменти масивів і відображення дозволяють пришвидшити побудову поверхонь та елементів тривимірної моделі (рисунок 3.17): лінійний масив (**Linear Pattern**), круговий масив (**Circular Pattern**), відображення (**Mirror**), масив по кривій (**Curve Driven Pattern**) та інші. Достатньо виконати в розмірах лише один елемент деталі, і за допомогою масивів провести їх копіювання згідно з певним напрямком, віссю чи траєкторією.

Приклад використання інструмента **Linear Pattern** показано на рисунку 3.18 [2]. Моделюємо в 2-х напрямках по 6 виступів із кроком 25 мм. Ці виступи заповнюють всю площину 150×150 мм.

Найбільш популярний інструмент **Circular Pattern** для копіювання елемента циліндричного отвору по колу у виробх із кріпильними отворами. На рисунку 3.19 [2] продемонстровано етапи налаштування масиву отворів по колу в 360° та кількістю 9 штук.

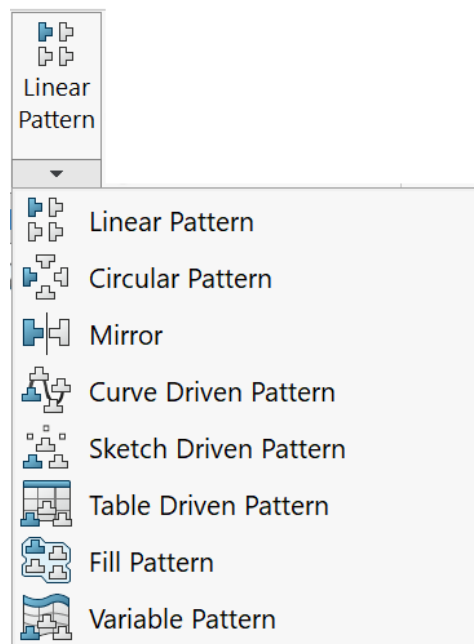


Рисунок 3.17 – Інструменти створення масивів та відображення у процесі тривимірного моделювання

Дзеркальне відображення елементів деталі дозволяє пришвидшувати побудову за рахунок того, що потрібно задати розміри лише половини деталі. Послідовність налаштування інструмента відображення (**Mirror**) показана на рисунку 3.20 [2]. Однак такий метод тривимірного моделювання елементів не підходить для несиметричних деталей.

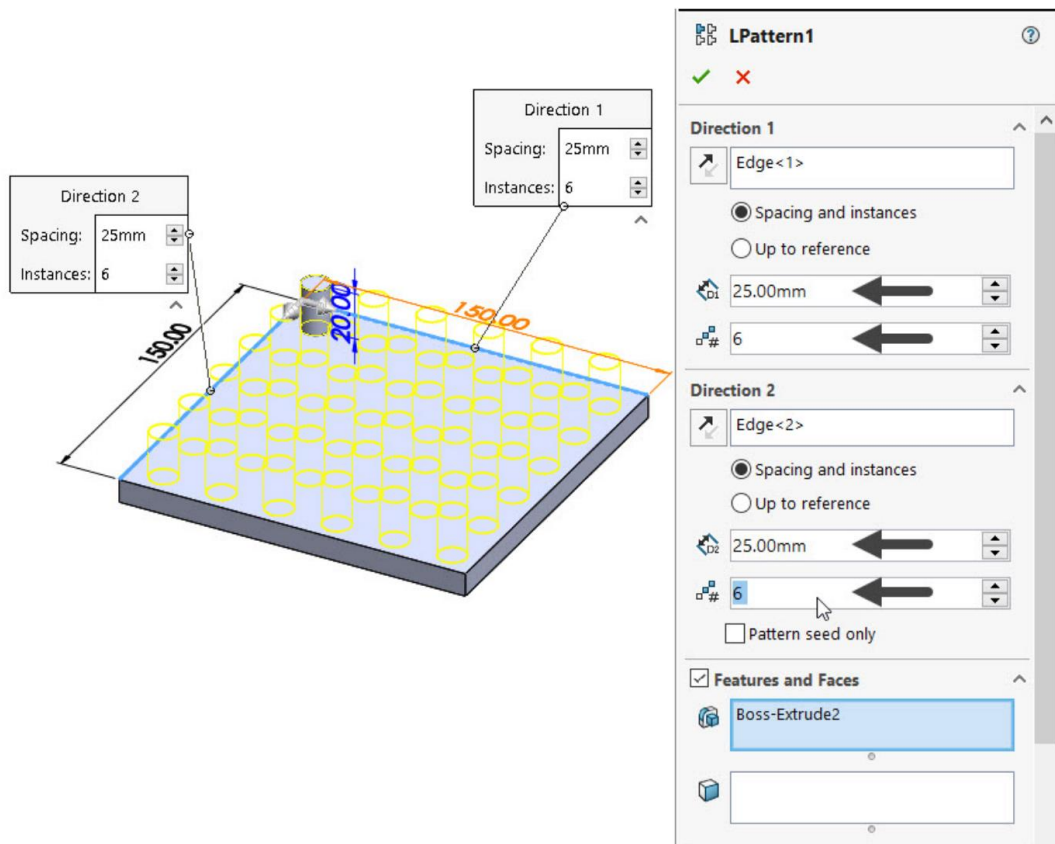


Рисунок 3.18 – Налаштування для копіювання елемента циліндричного виступу за допомогою інструмента лінійний масив (**Linear Pattern**)

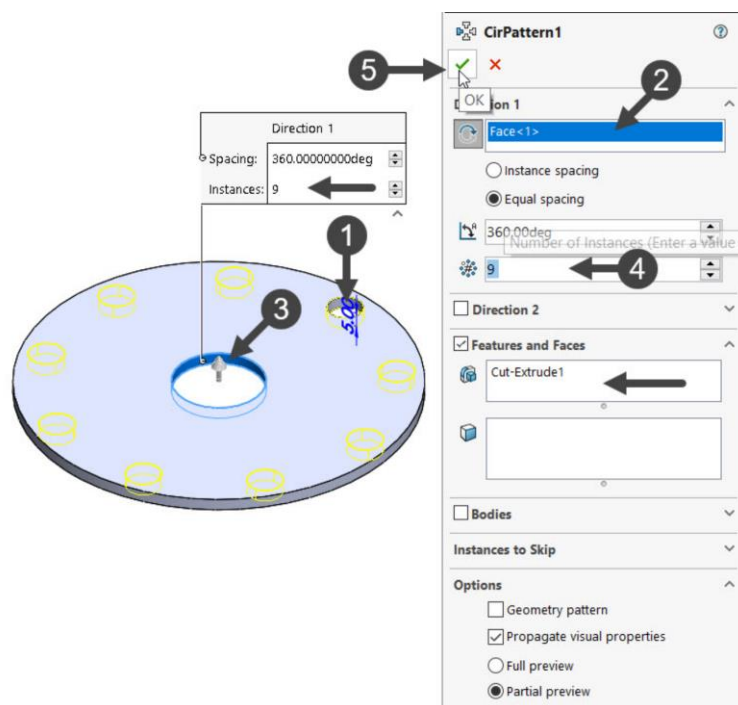


Рисунок 3.19 – Налаштування для копіювання елемента циліндричного отвору за допомогою інструмента круговий масив (**Circular Pattern**)

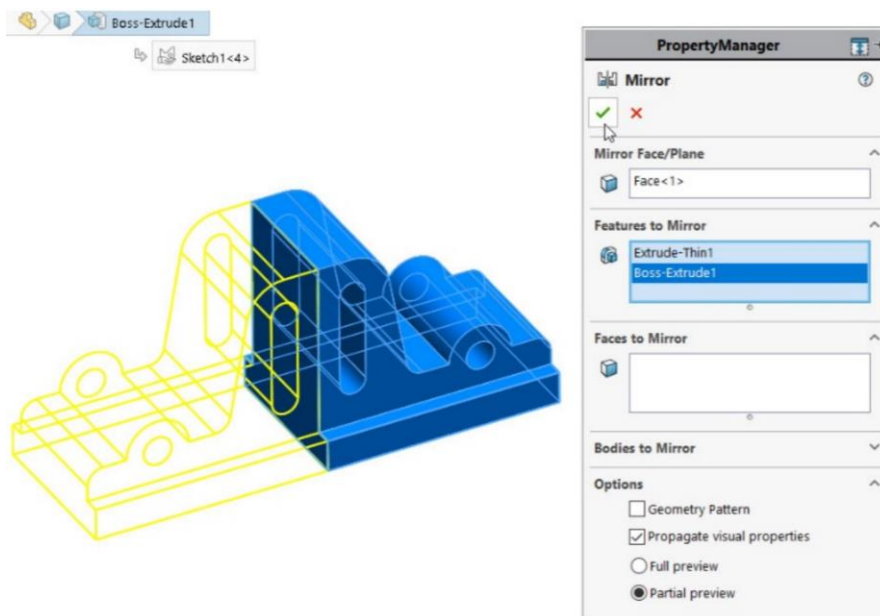


Рисунок 3.20 – Налаштування для дзеркального відображення половини деталі за допомогою інструмента відображення (**Mirror**)

Інші закономірності, за якими наведено варіанти побудови масивів елементів деталі в SOLIDWORKS, подані під інструментом **Mirror** (див. рисунок 3.17). Основні налаштування для інструмента масиву по кривій (**Curve Driven Pattern**) показано на рисунку 3.21 [2]. В результаті побудови маємо отримати 11 штук виступів, які будуть розподілені по траєкторії кривої з кроком 35 мм.

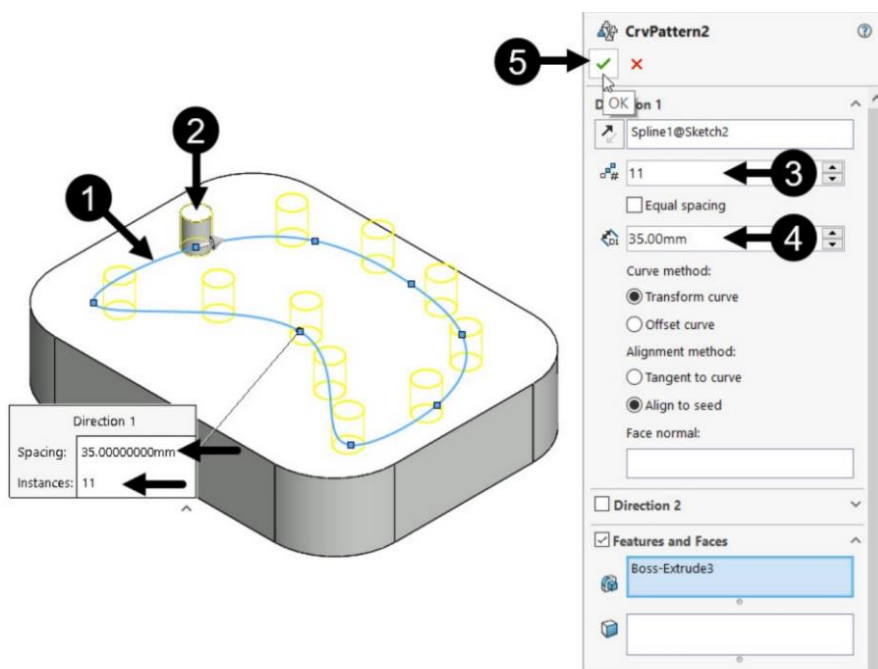












Рисунок 3.21 – Налаштування для копіювання елемента циліндричного виступу по вказаній траєкторії за допомогою інструмента масив по кривій (**Curve Driven Pattern**)

Усталене налаштування в SOLIDWORKS у процесі створення документа **Part** передбачає створення 3-х основних площин і центра координат. Усі інші побудови додаткових елементів виконуються шляхом використання інструментів допоміжної геометрії (**Reference Geometry**) та показані на рисунку 3.22, а: площина (**Plane**) , осі (**Axes**) , центр координат іншої системи (**Coordinate System**) , точка (**Point**)  та інші.

Доцільність використання додаткової геометрії залежить від конструкції деталі. Наприклад, у разі побудови деталі інструментом **Lofted Boss/Base** мають бути застосовані додаткові **Plane**, на яких будуть створені інші ескізи перерізу деталі.

За створення додаткових кривих (**Curves**) (рисунок 3.22, б), які допомагають побудові тривимірної моделі, відповідають такі інструменти: роздільна лінія (**Split Line**) , проєкційна крива (**Project Curve**) , складна крива (**Composite Curve**) , крива через точки XYZ (**Curve Through XYZ Points**) , крива через опорні точки (**Curve Through Reference Points**)  та гвинтова лінія чи спіраль (**Helix and Spiral**) . Більш детально про їх застосування можна ознайомитися в посібнику [2].

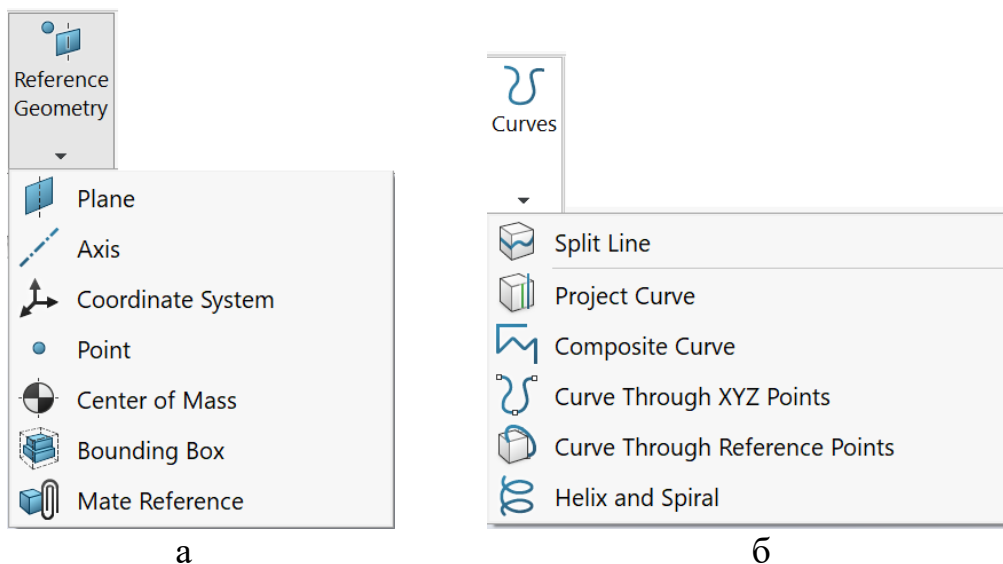


Рисунок 3.22 – Інструменти допоміжної геометрії (а) та кривих (б)

3.2 Завдання до виконання лабораторної роботи № 3

Завдання до лабораторної роботи № 3 складається з двох частин для 30 індивідуальних варіантів. Перша частина завдання охоплює проектування твердотільних тривимірних моделей двох різних фігур згідно з отриманим варіантом завдання. Фігури першої частини завдання є нескладними геометричними фігурами з наскрізними отворами різної конструкції. У процесі побудови фігур першого завдання як першу операцію, в основному, буде використано інструмент **Extruded Boss/Base**,

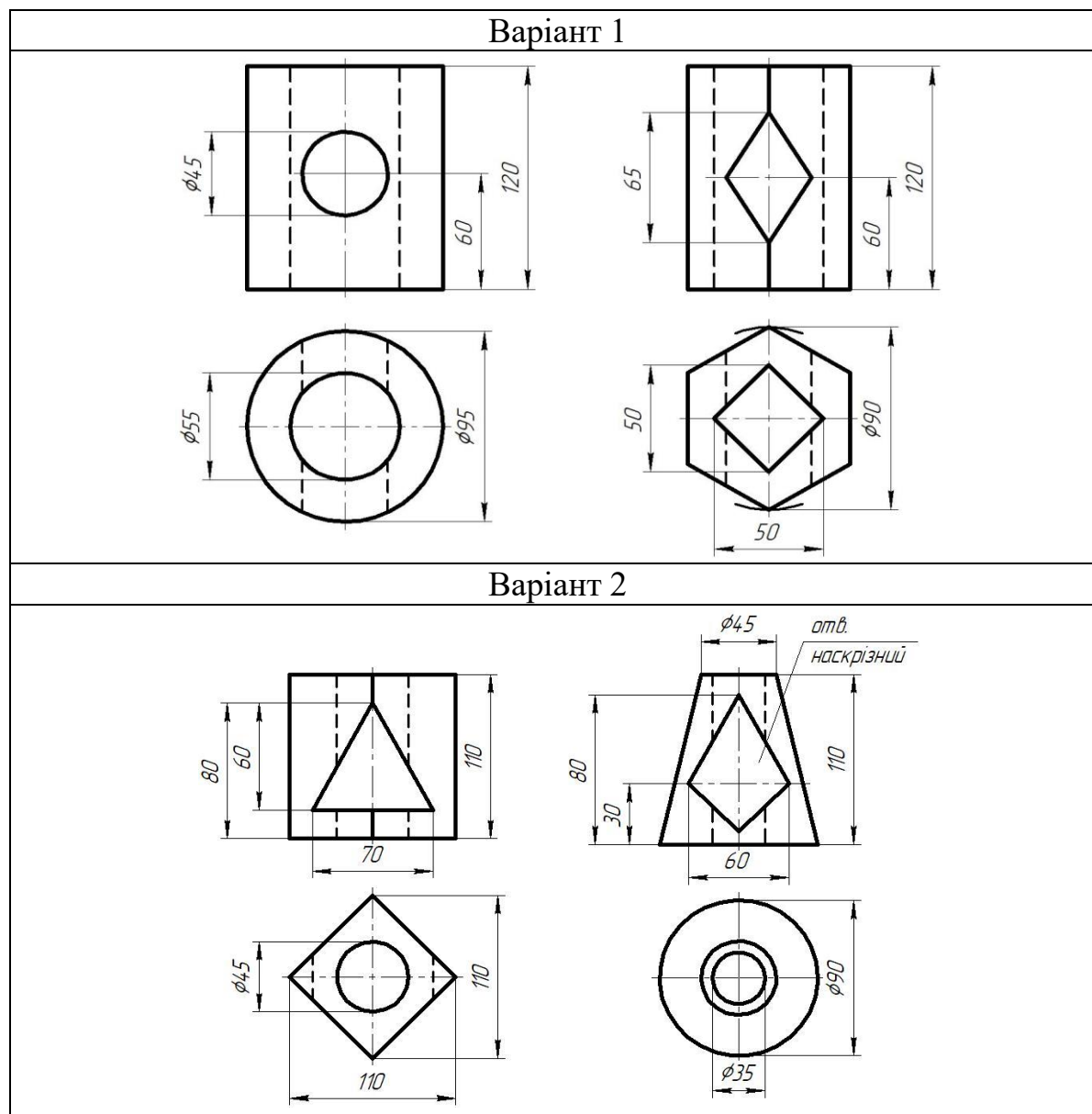
а для випадків зі зрізаним конусом – інструменти **Revolved Boss / Base** або **Swept Boss/Base**.

Друга частина завдання містить проєктування твердотільної тривимірної моделі ступінчастого вала за отриманим варіантом завдання згідно з вихідними даними. Оскільки ступінчастий вал – це тіло обертання, то перша операція для його побудови – це **Revolved Boss / Base**, а всі наступні операції можна виконати за допомогою інструментів вирізання та **Hole Wizard**.

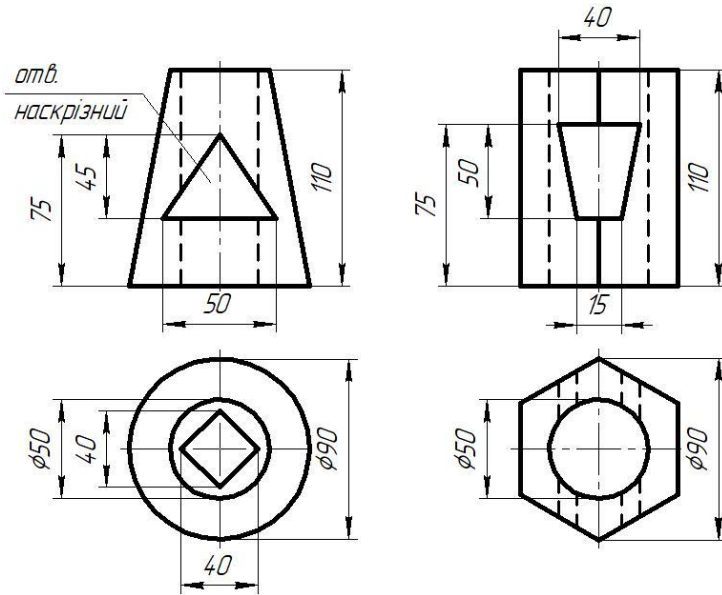
Якщо кількість здобувачів в групі більша, ніж підготовлених варіантів завдань, то потрібно звернутися до викладача за додатковими варіантами.

У процесі виконання завдання здобувачі проєктують повністю визначені ескізи з використанням розмірів та взаємозв'язків.

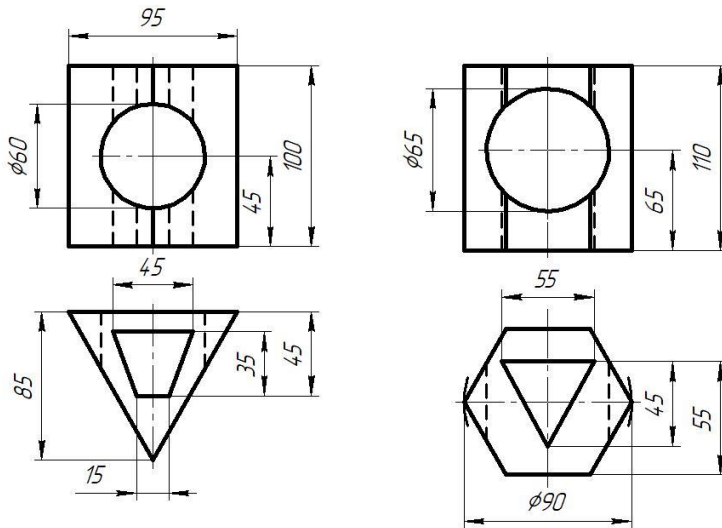
3.2.1 Перша частина завдання до лабораторної роботи № 3



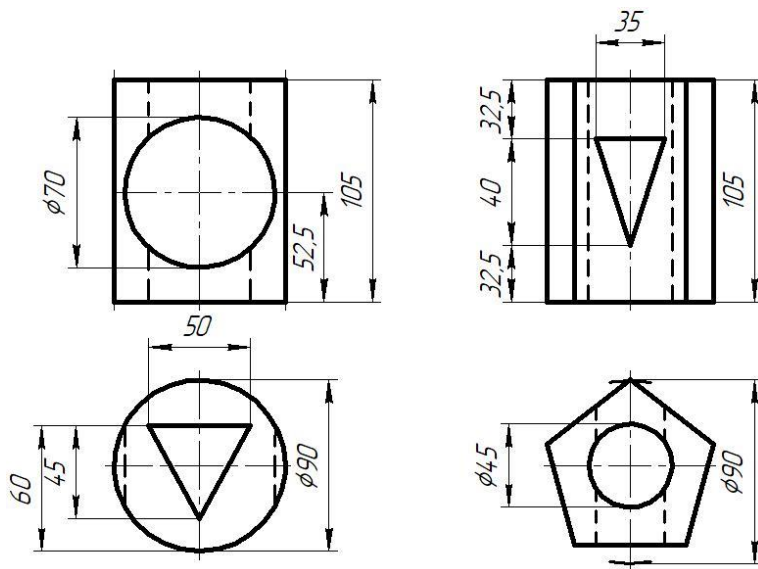
Варіант 3



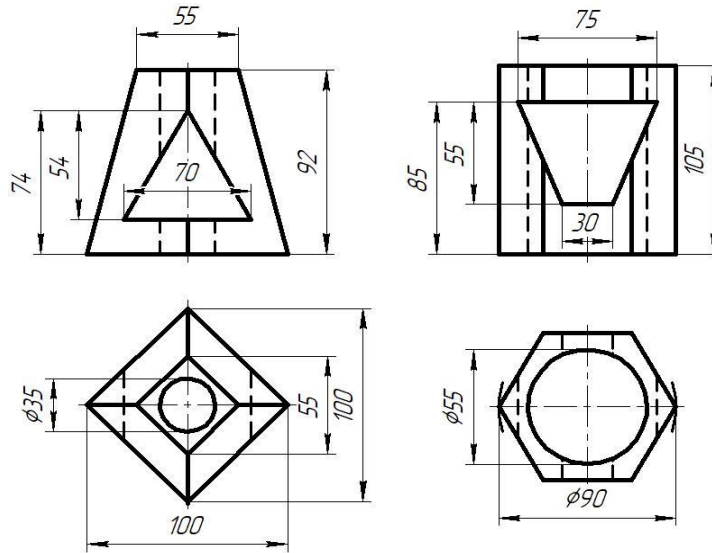
Варіант 4



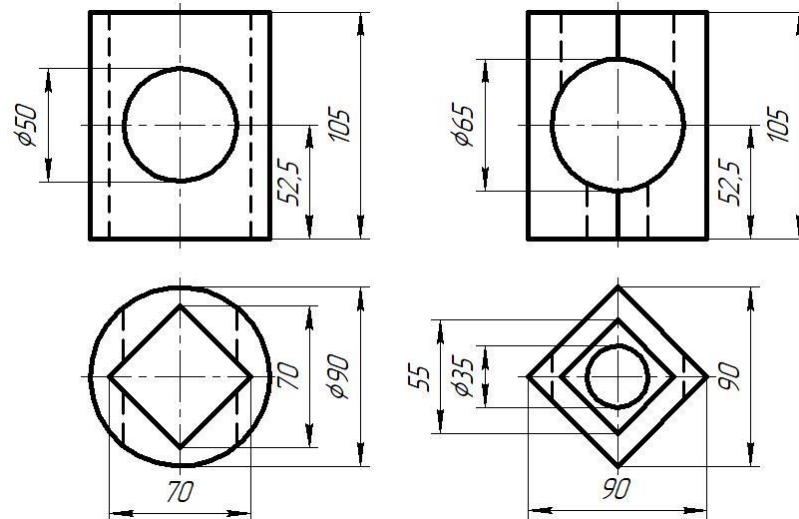
Варіант 5



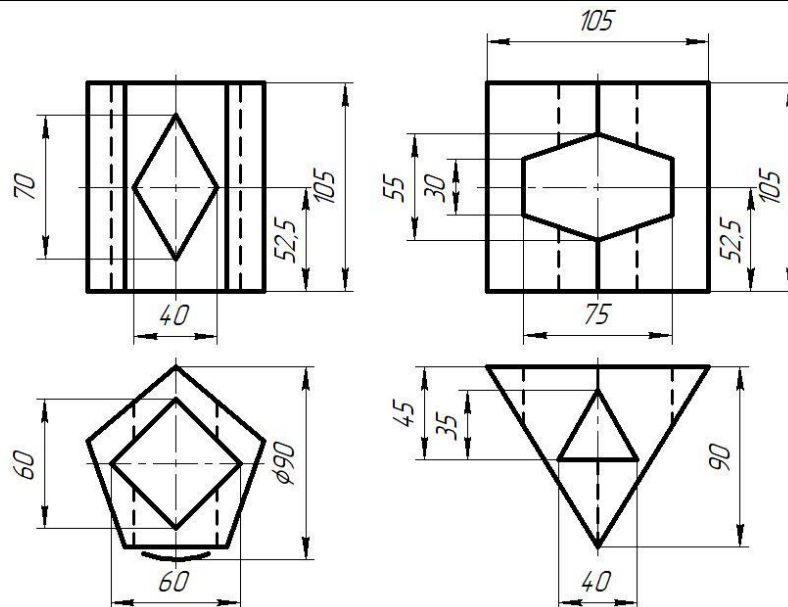
Варіант 6



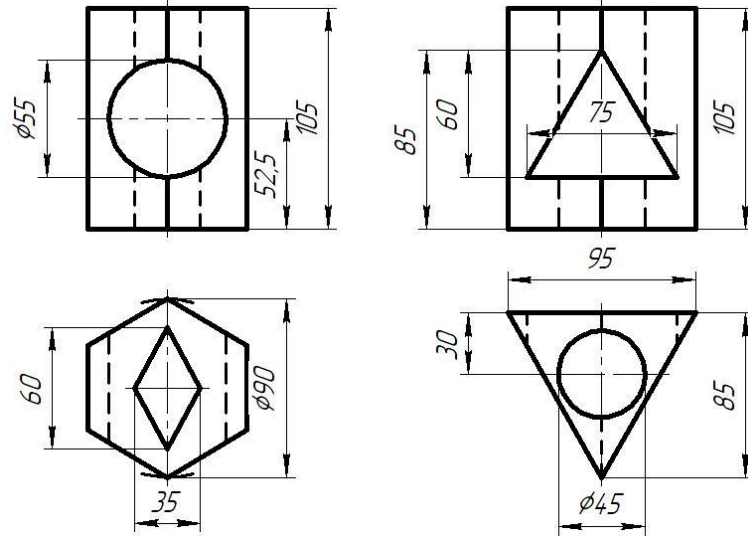
Варіант 7



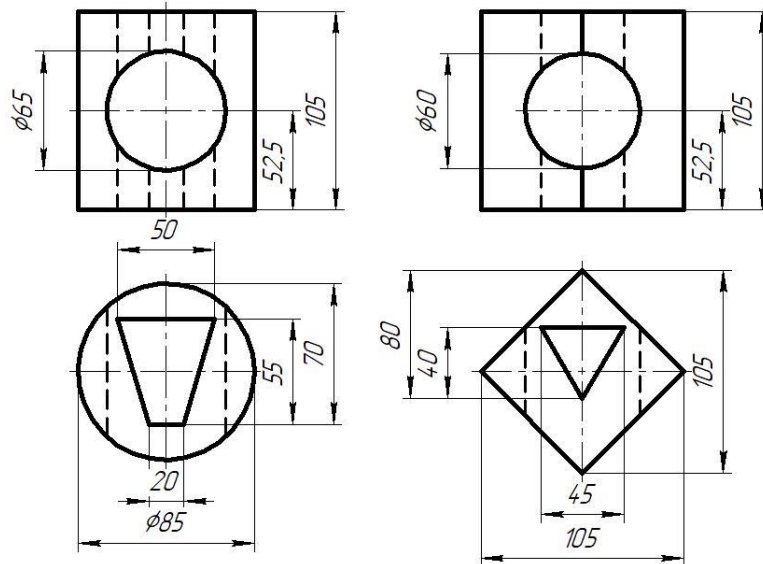
Варіант 8



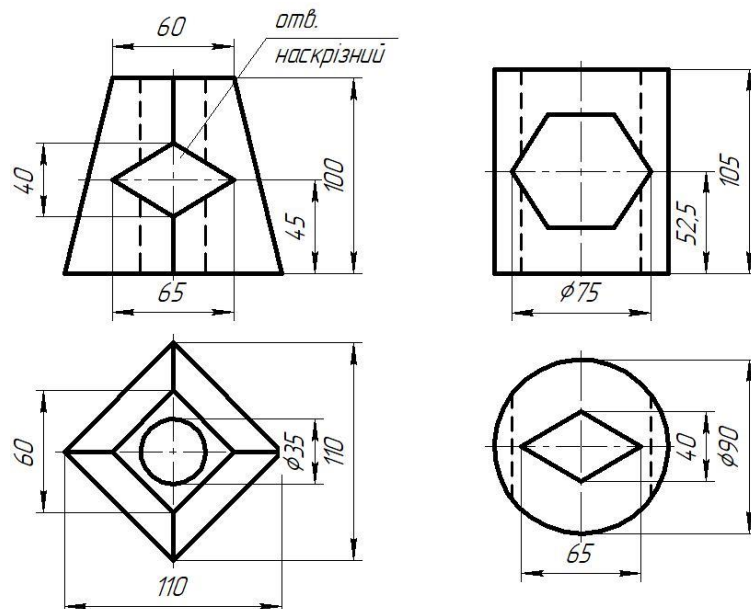
Варіант 9



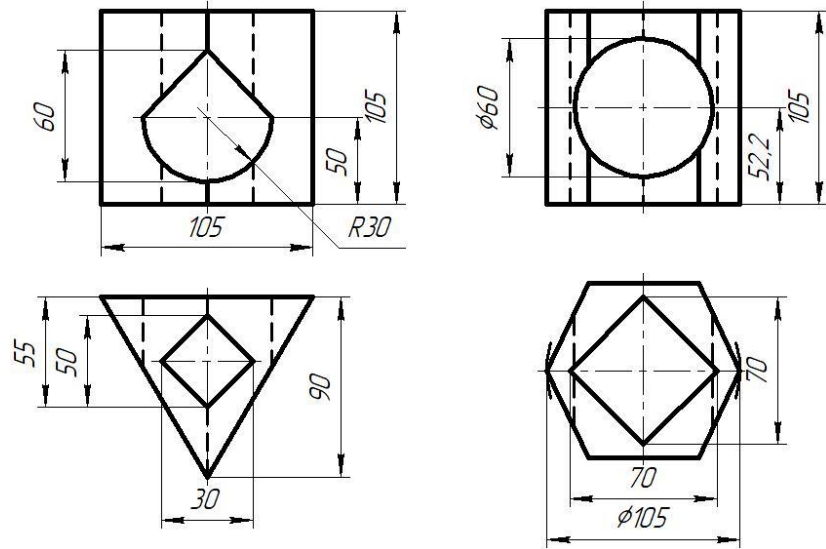
Варіант 10



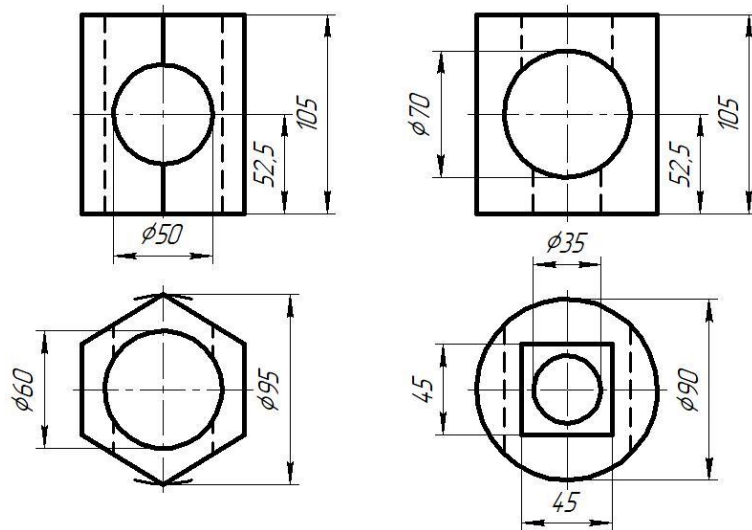
Варіант 11



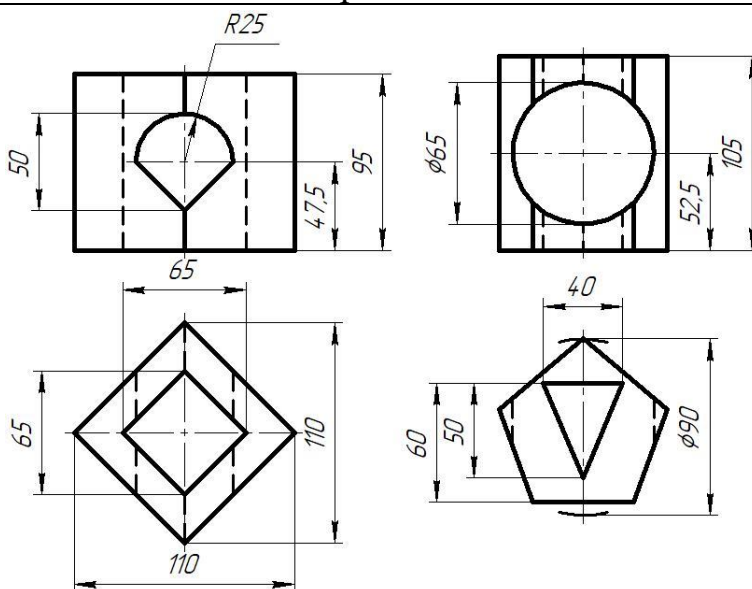
Вариант 12



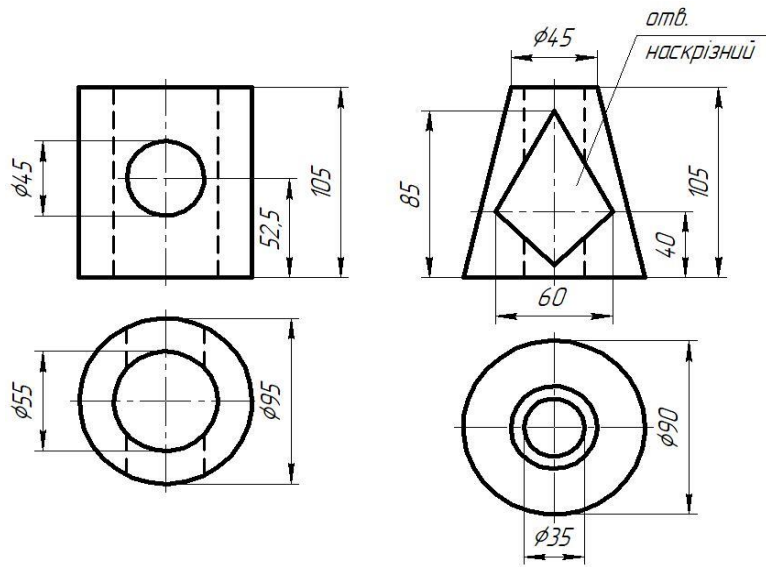
Вариант 13



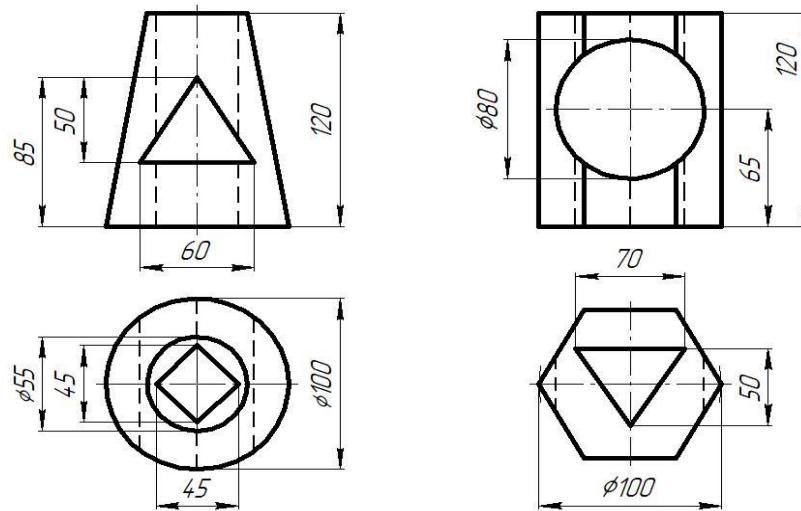
Вариант 14



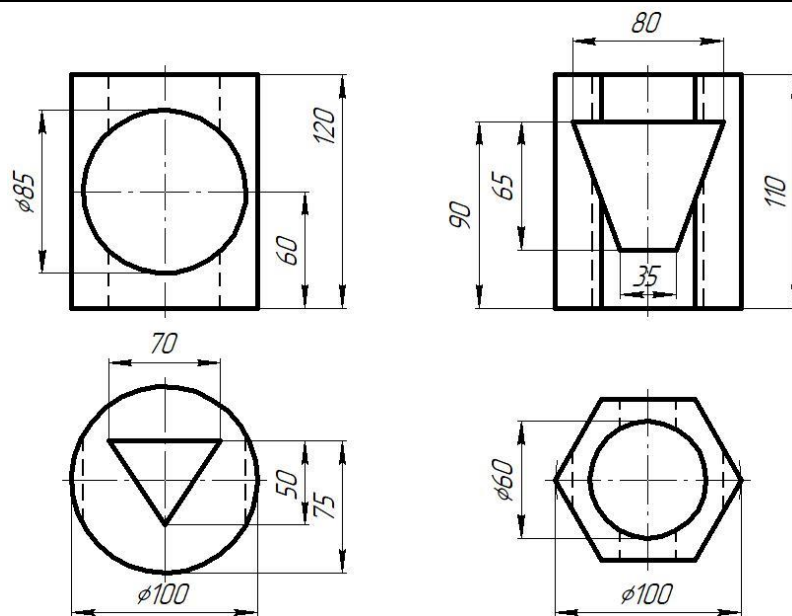
Варіант 15



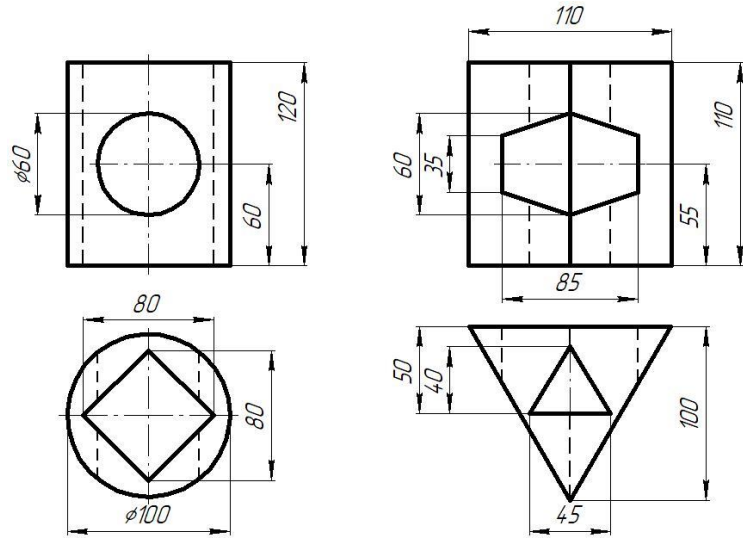
Варіант 16



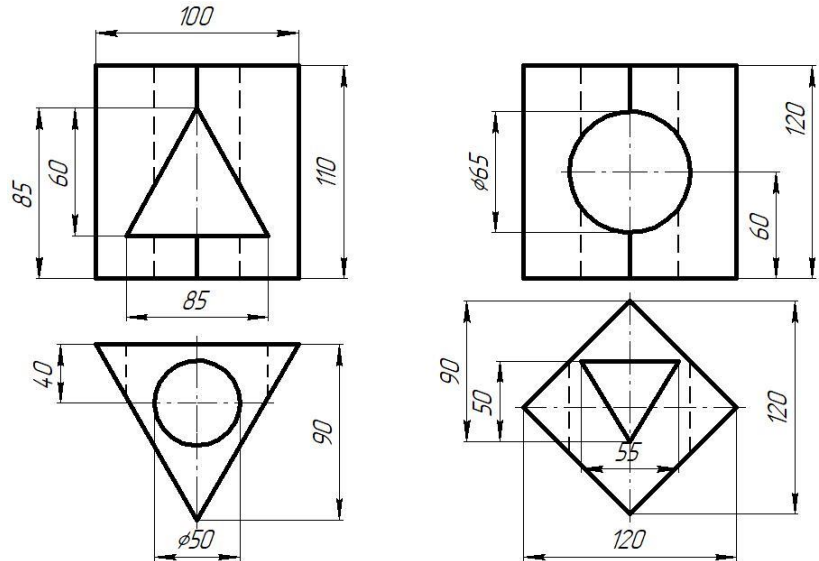
Варіант 17



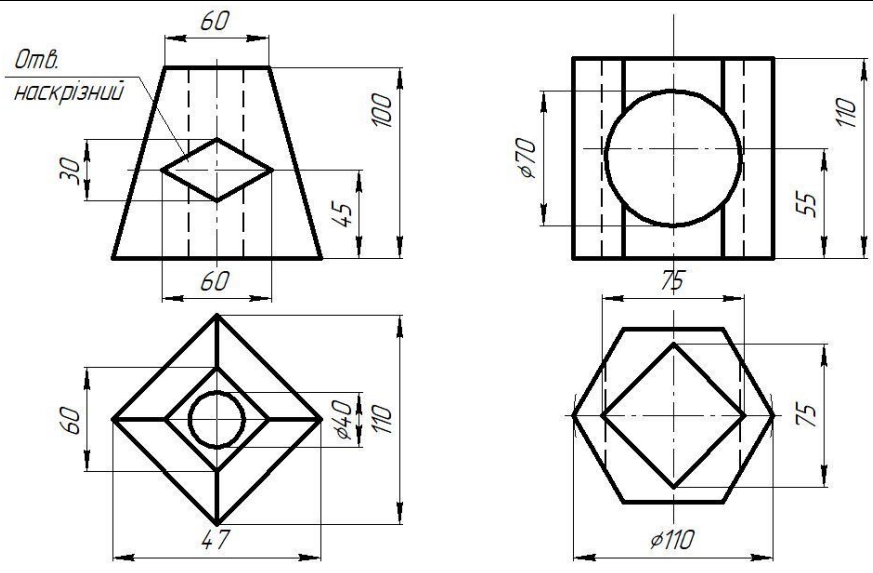
Варіант 18



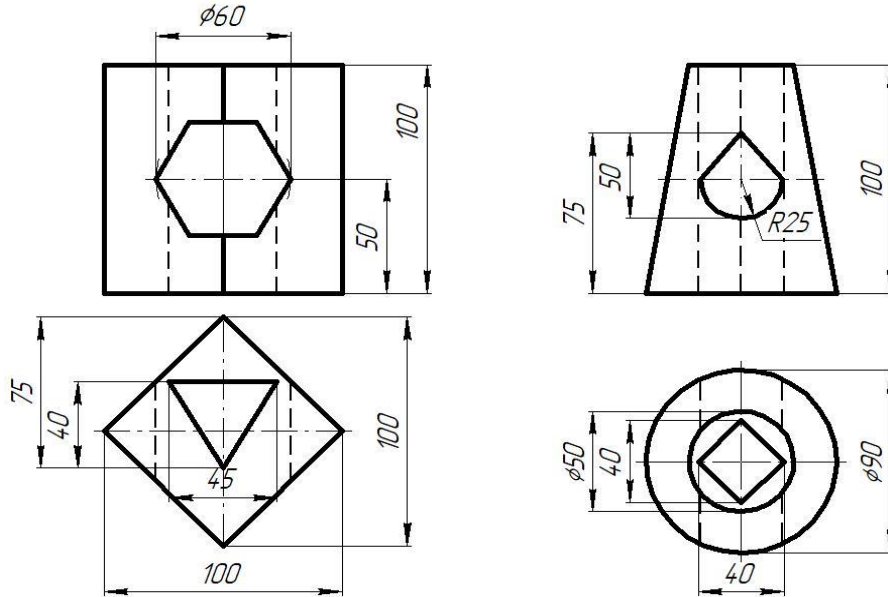
Варіант 19



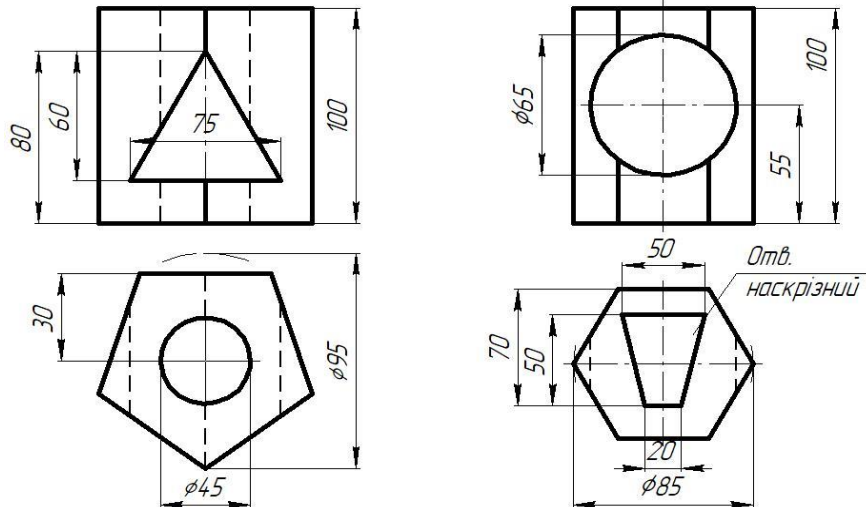
Варіант 20



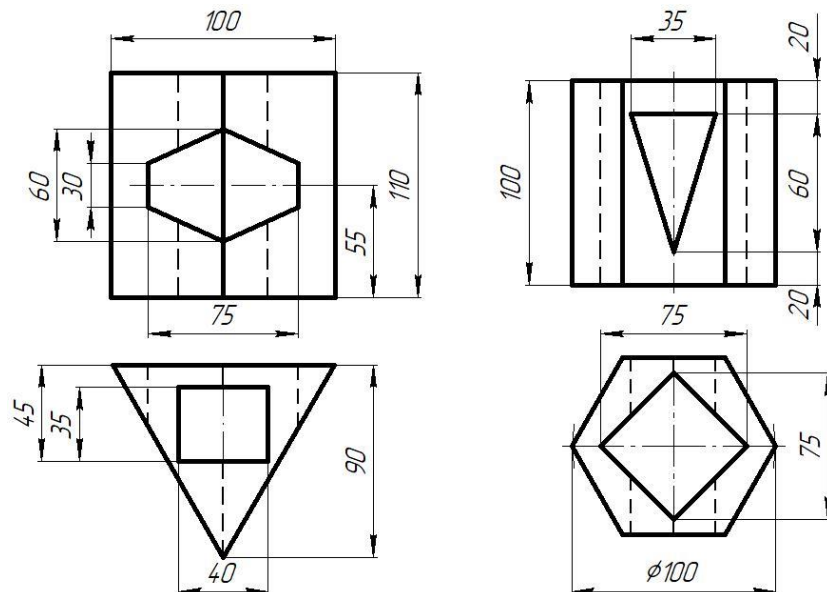
Варіант 21



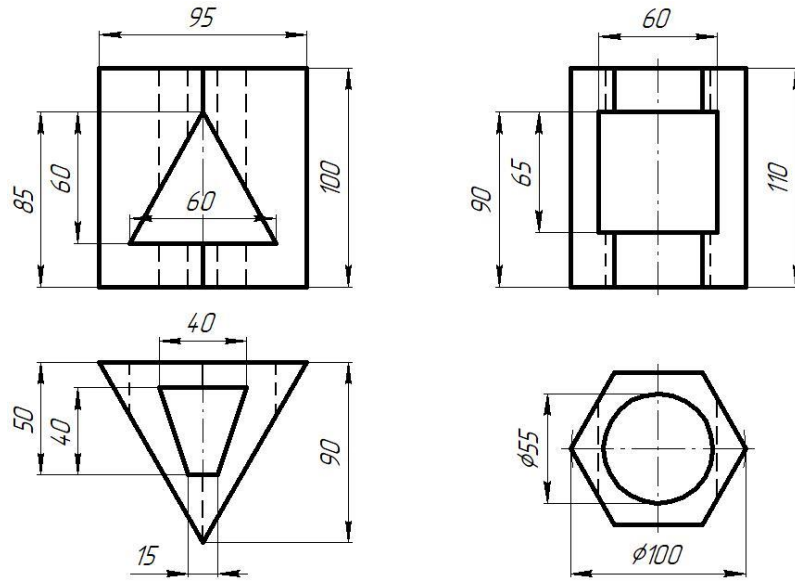
Варіант 22



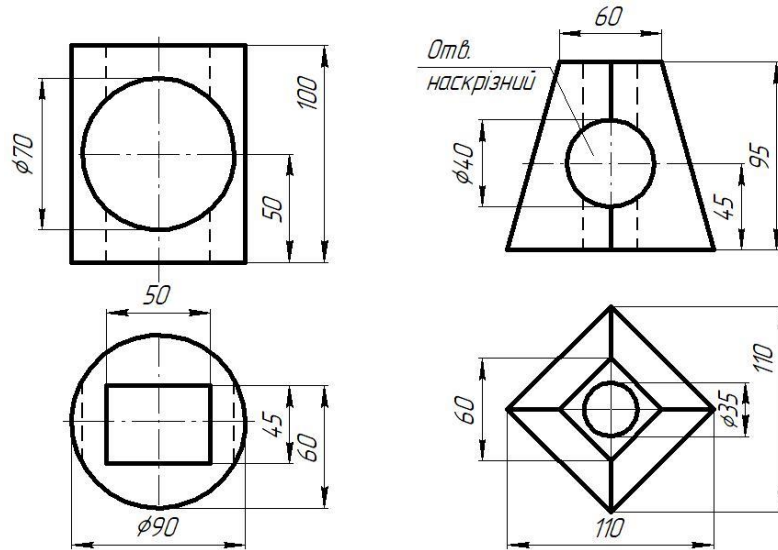
Варіант 23



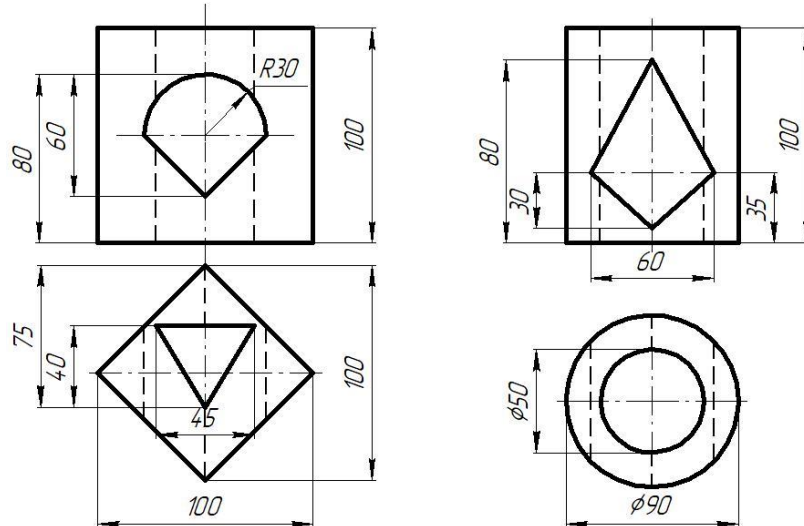
Варіант 24



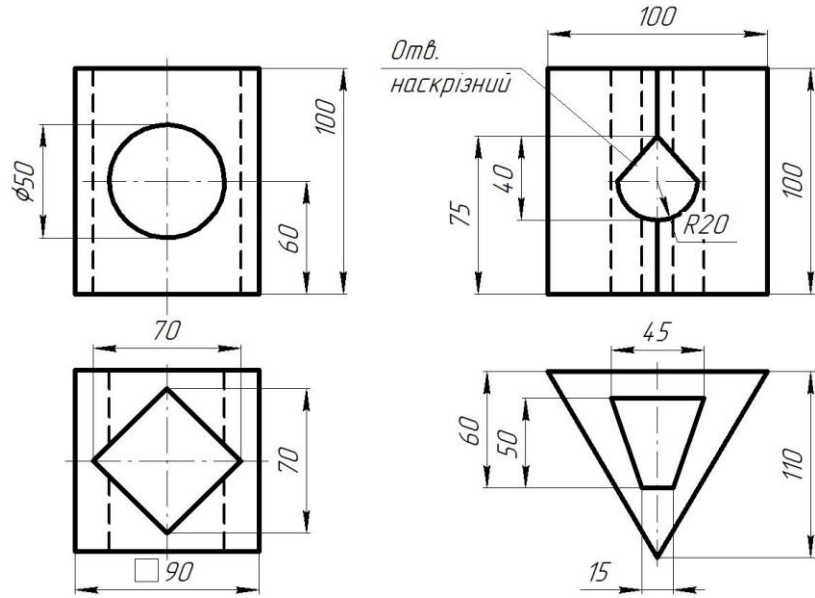
Варіант 25



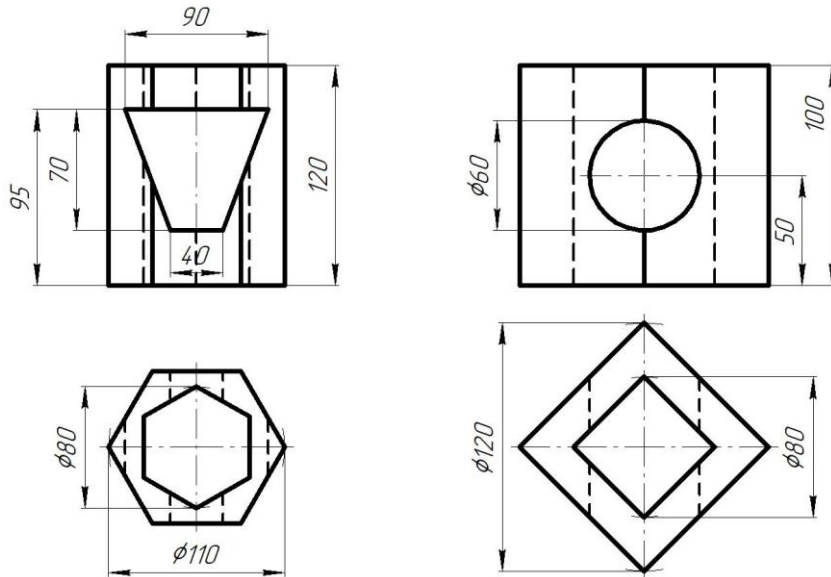
Варіант 26



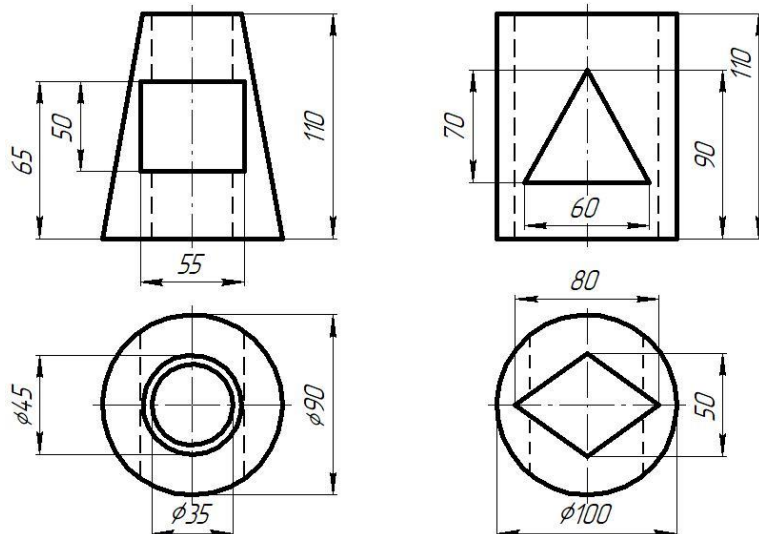
Варіант 27



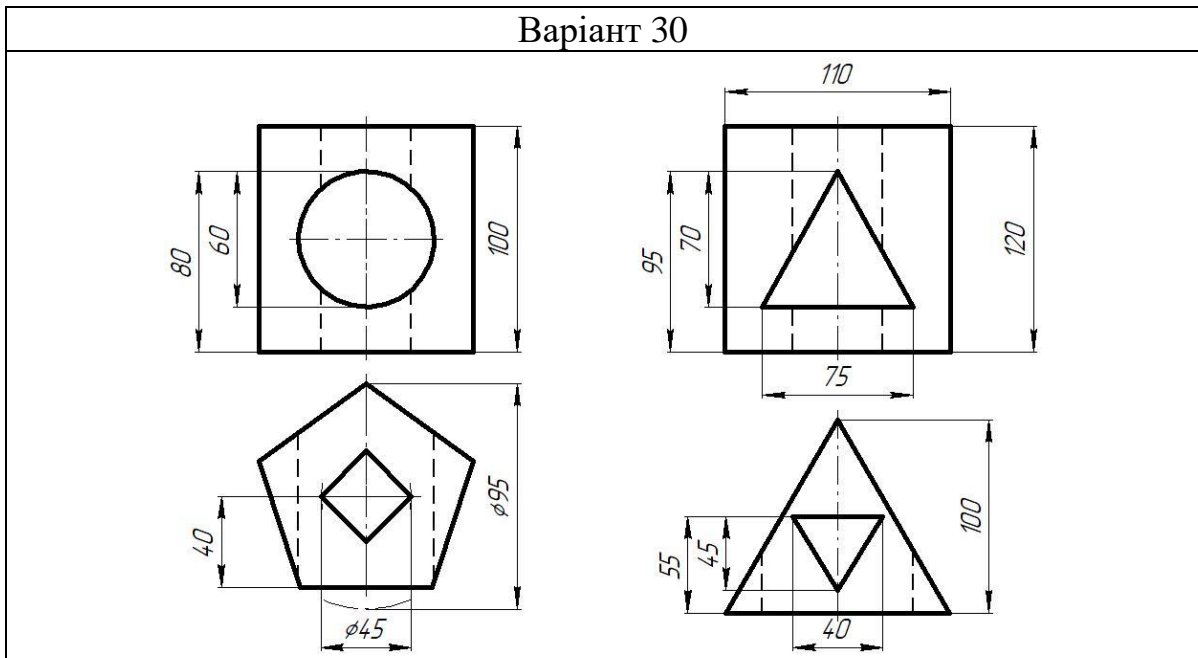
Варіант 28



Варіант 29



Варіант 30



3.2.2 Друга частина завдання до лабораторної роботи № 3

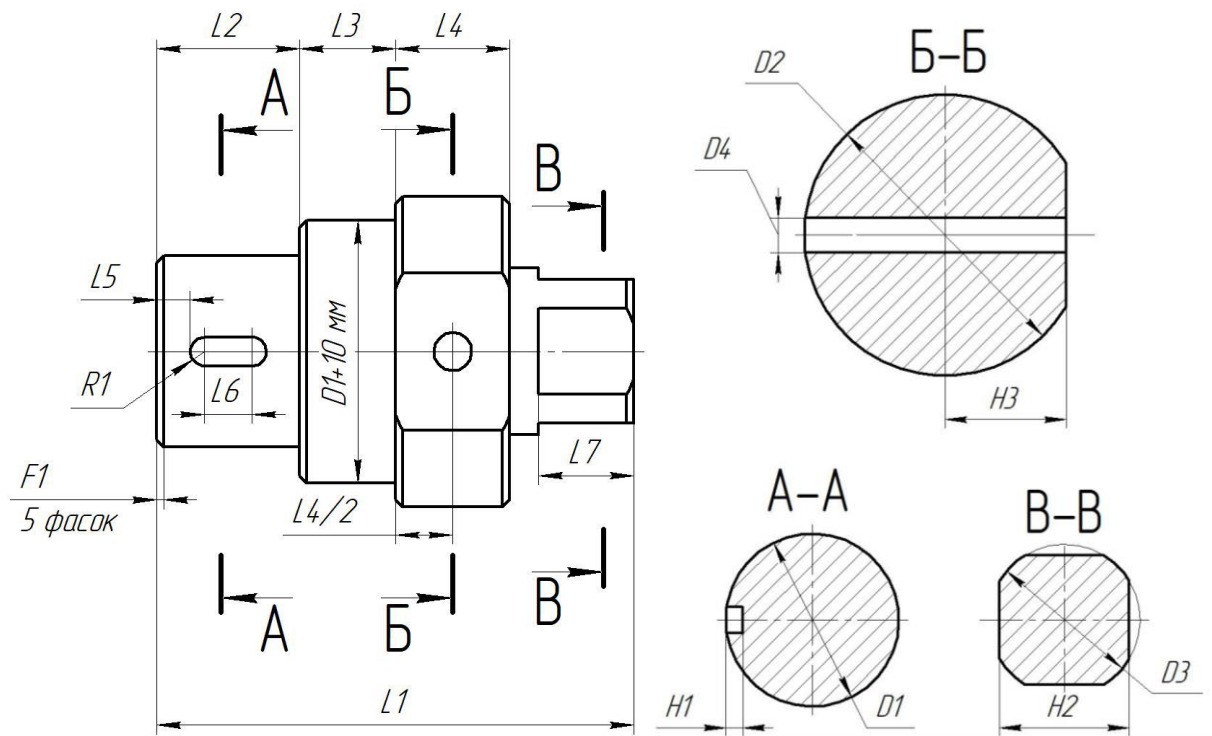


Рисунок 3.23 – Друга частина завдання для лабораторної роботи № 3

Таблиця 3.1 – Параметри деталі, яку показано на рисунку 3.23

Варіант	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	D1	D2	D3	D4	H1	H2	H3	R1	F1
1	100	30	20	24	10	10	20	40	65	35	8	4	24	28	3	1,5
2	120	35	25	28	10	14	18	45	70	40	10	5	28	30	4	1,5
3	110	25	35	30	12	8	20	38	66	50	11	4	46	28	3	1,5
4	120	32	22	26	12	11	22	44	68	36	12	5	30	30	4	1,5
5	120	34	20	30	12	10	25	48	68	43	13	5	38	29	3	1,5
6	130	36	22	30	12	10	25	50	70	45	13	6	38	29	4	1,5
7	135	38	21	30	13	11	28	52	72	47	14	6	42	30	4	1,5
8	140	38	23	35	13	11	28	50	65	44	15	7	38	27	4	1,5
9	130	34	21	35	13	8	25	54	74	48	16	7	40	32	4	2,0
10	140	34	25	35	14	8	28	52	72	47	17	8	40	30	5	2,0
11	145	36	26	38	14	10	28	56	76	45	18	7	36	32	4	2,0
12	150	38	25	38	14	10	30	54	74	50	19	8	45	32	5	2,0
13	140	32	22	38	14	10	30	58	78	52	20	7	45	34	4	2,0
14	155	40	23	40	14	11	30	56	76	50	20	7	45	34	5	2,0
15	160	42	23	40	15	11	34	54	74	48	20	7	40	35	5	2,0
16	150	40	21	40	15	11	32	56	76	52	21	8	42	34	6	2,0
17	155	42	25	38	15	12	32	58	78	53	21	8	42	35	5	2,5
18	160	44	23	38	15	12	32	56	76	51	22	9	44	35	6	2,5
19	165	44	24	38	15	12	35	60	80	55	22	8	48	34	5	2,5
20	160	42	24	42	16	10	35	58	78	54	23	9	48	34	6	2,5
21	170	42	25	42	16	10	35	56	76	50	23	9	42	33	6	2,5
22	165	42	22	42	16	10	37	60	75	52	24	9	42	32	6	2,5
23	175	44	26	40	16	11	37	62	82	50	24	9	40	36	7	2,5
24	175	42	24	40	16	10	37	64	84	52	25	8	42	36	6	2,5
25	160	40	22	40	18	8	40	62	86	57	25	9	44	38	7	3,0
26	180	46	28	42	18	8	40	60	78	54	26	8	46	36	6	3,0
27	185	46	30	42	18	12	42	66	86	50	26	9	42	38	7	3,0
28	190	48	27	42	18	12	42	64	84	59	28	9	48	37	7	3,0
29	195	50	26	44	20	12	45	68	88	53	28	9	44	37	7	3,0
30	200	50	30	44	20	14	50	70	90	65	30	9	55	38	7	3,0

3.3 Порядок виконання роботи

1. Ознайомтесь з теоретичними відомостями до лабораторної роботи.
2. В звіті вказати тему та мету роботи.
3. Ознайомитися з описом роботи та завданням.
4. Відповідно до виданого варіанта для першої частини завдання виконати побудову двох твердотільних тривимірних моделей фігур з наскрізними отворами різної конструкції в програмі SOLIDWORKS. Також нанести усі необхідні розміри та взаємозв'язки, щоб повністю визначити ескізи тривимірних моделей.

5. Відповідно до виданого варіанта для другої частини завдання виконати побудову твердотільної тривимірної моделі вала в програмі SOLIDWORKS. У процесі виконання завдання нанести усі необхідні розміри та взаємозв'язки, щоб повністю визначити ескізи тривимірної моделі.

6. Вказати відповіді на контрольні питання.

7. Завершити виконання звіту до лабораторної роботи формуванням висновків. У висновках вказати інструменти програми SOLIDWORKS, які вдалося опанувати під час виконання лабораторної роботи. Вказати скільки операцій міститься в **FeatureManager Design Tree** для кожної зі створених твердотільних тривимірних моделей.

3.4 Контрольні питання

1. Які основні інструменти для побудови тривимірних моделей застосовуються в програмі SOLIDWORKS?

2. На який максимальний кут можна обертати ескіз деталі інструментом **Revolved Boss/Base**?

3. Чим відрізняються інструменти нанесення отворів **Hole Wizard** та **Advanced Hole**?

4. В чому різниця між виконанням реального та умовного зображення різи на тривимірній моделі?

5. Які типові елементи твердотільного моделювання використовують в програмі SOLIDWORKS?

6. Які інструменти для створення масивів існують в програмі SOLIDWORKS?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ВИКОРИСТАННЯ БІБЛІОТЕК В ТРИВИМІРНОМУ МОДЕЛЮВАННІ

Мета роботи. Набуття практичних навичок складання стандартних різьбових з'єднань і роботи з бібліотеками тривимірних моделей зубчастих коліс в програмі SOLIDWORKS.

4.1 Короткі теоретичні відомості

Інструмент (бібліотека) **Toolbox** в програмі SOLIDWORKS – це бібліотека стандартних компонентів і кріплень, що дозволяє швидко та просто вставляти типові деталі в розроблювані проекти [6]. **Toolbox** має широкий асортимент таких стандартних елементів, як болти, гайки, шайби, гвинти, пружини, опори, підшипники, зубчасті колеса та інші деталі, що використовуються в машинобудуванні та інших галузях. За допомогою інструмента **Toolbox** потрібно лише налаштувати параметри стандартних елементів, а саме: розміри, матеріал та інші властивості, відповідно до потреб користувача. Це дозволяє інженерам-конструкторам швидко створювати складні вироби, скорочуючи час розробки та зменшуючи вартість виробництва.

До бібліотеки **Toolbox** входить велика кількість стандартних елементів різних стандартів і норм, а саме: ANSI, ISO, DIN, JIS, BSI та інші. Крім того, користувач може самостійно створювати свої стандартні елементи та додавати їх до бібліотеки **Toolbox** з подальшим використанням.

Для запуску бібліотеки **Toolbox** при старті програм SOLIDWORKS потрібно налаштувати вкладку **Add-Ins...** (рисунки 4.1 та 4.2, а), або для примусового відкриття бібліотеки **Toolbox** потрібно скористатися **Task Panes**, перейти на вкладку **Design Library** та обрати **Toolbox → Add in now** (рисунок 4.2, б).

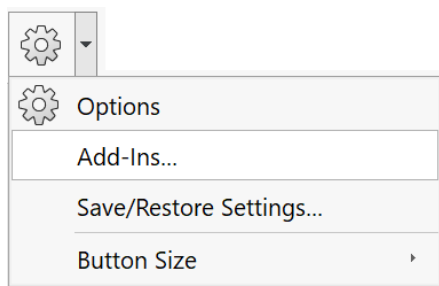


Рисунок 4.1 – Розміщення кнопки запуску вкладки **Add-Ins...**

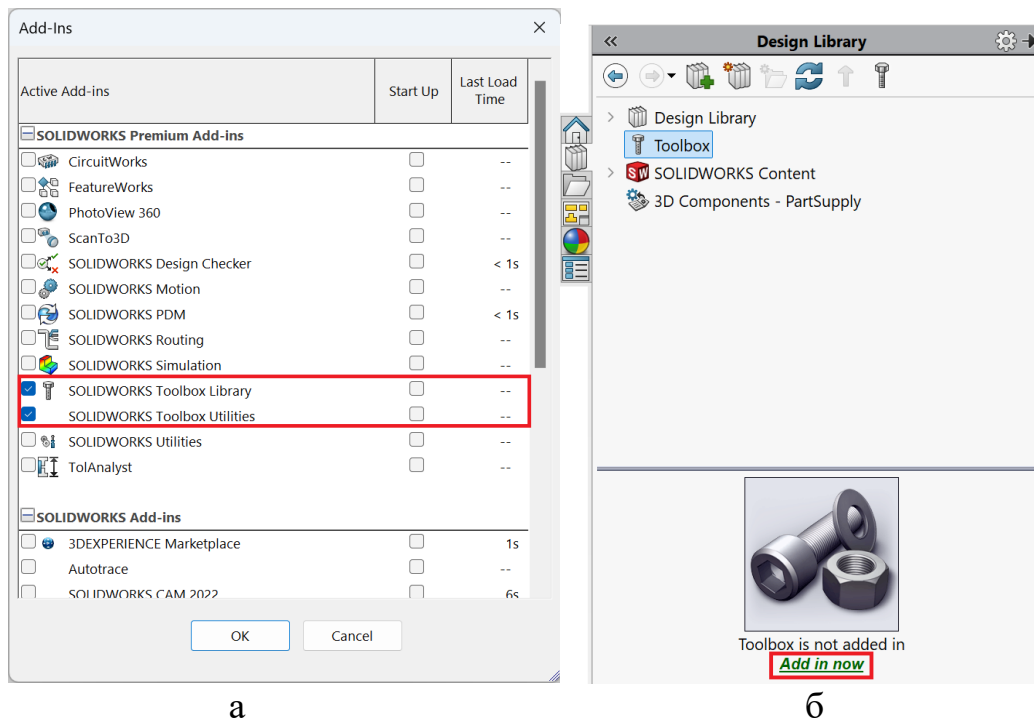


Рисунок 4.2 – Вкладка **Add-Ins...** (а) та вкладка **Design Library** (б), де налаштовується початок роботи з бібліотекою **Toolbox**

Вигляд завантаженої бібліотеки **Toolbox** показано на рисунку 4.3. Вона містить папки, в яких розміщено необхідні компоненти відповідних стандартів.

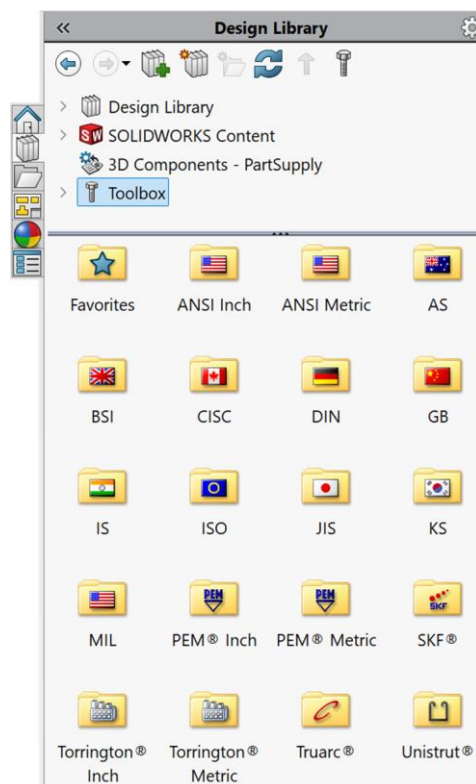


Рисунок 4.3 – Наповнення відповідними стандартами бібліотеки **Toolbox**

Після переходу до папки «ISO» (рисунок 4.4) можна переглянути вміст компонентів і вибрати потрібний (наприклад, шайби «**Washers**», як на рисунку 4.5). Усі елементи бібліотеки **Toolbox** легко модифікуються та налаштовуються за потреби.

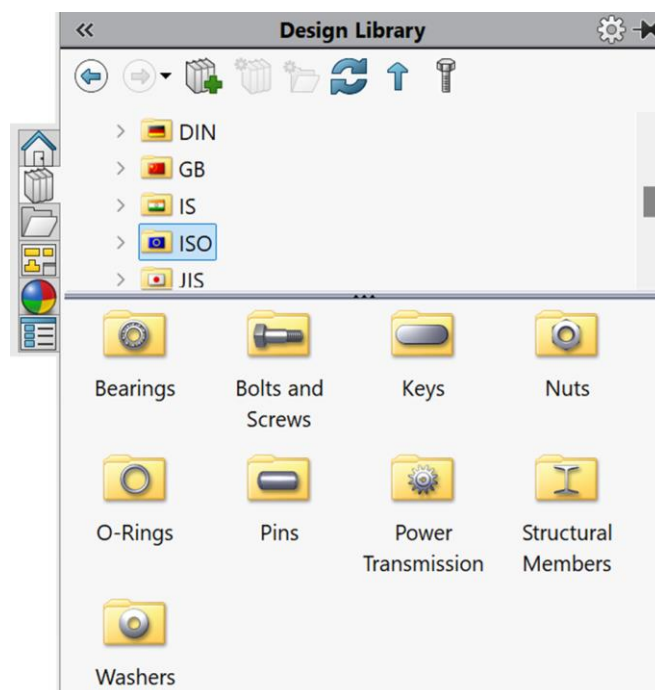


Рисунок 4.4 – Вміст папки «ISO»

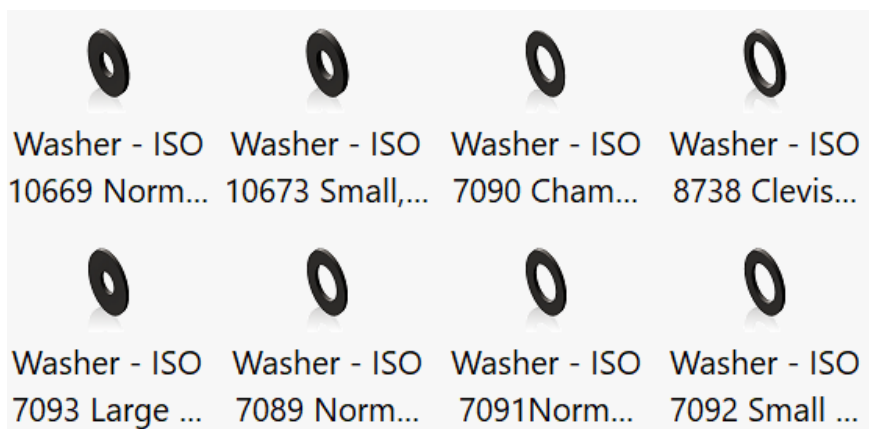


Рисунок 4.5 – Різні виконання шайби «Washers» за стандартами ISO

Функція **Configure** (рисунок 4.6) дозволяє змінювати розміри, матеріал та інші параметри елементів під свої потреби. Після налаштування елемента з бібліотеки **Toolbox**, його легко вставляти у складальні одиниці **Assembly**. При додаванні шайби **Washers** потрібно перетягнути її у вікно складальної одиниці **Assembly**. Далі проводимо вибір потрібного розміру шайби **Washer**.

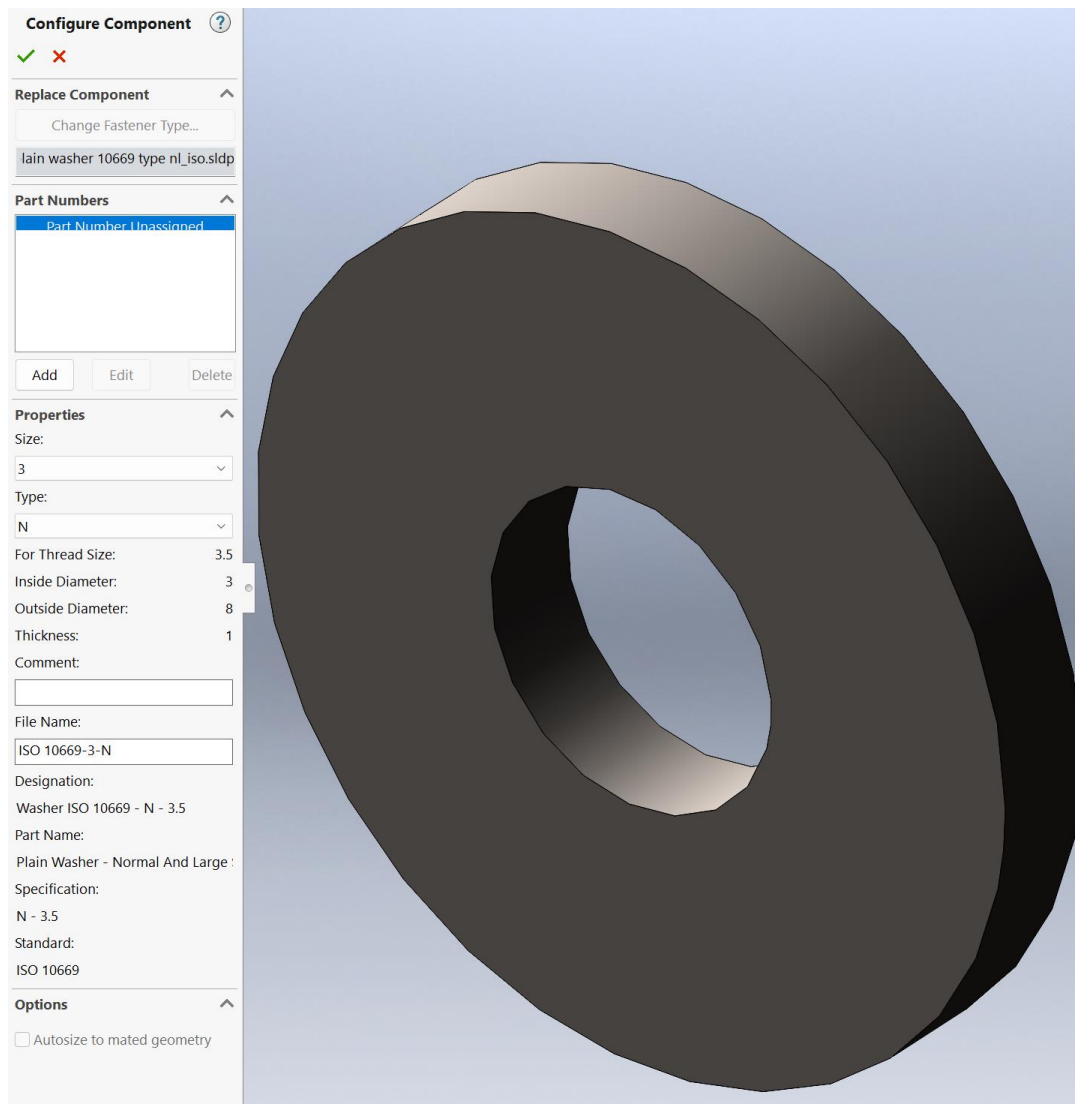


Рисунок 4.6 – Налаштування функції **Configure**

У процесі додавання стандартних деталей з різьбовою поверхнею (болти, гвинти тощо) варто обирати спрощене відображення різі.

Варто розуміти, що різь – це елемент деталі, утворений переміщенням по спіралі плоского контуру (профілю) на циліндричній або конічній поверхні [7]. На рисунку 4.7 показано найчастіше використовувані профілі різі: а – трикутний, б – трапецеїдальний, в – прямокутний.

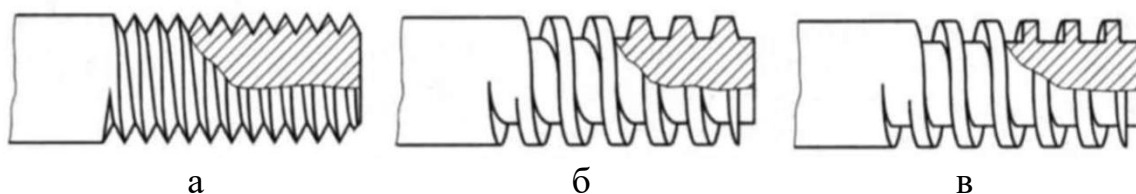


Рисунок 4.7 – Профілі різі: трикутний (а), трапецеїдальний (б) та прямокутний (в)

Циліндрична різь характеризується виконанням її по поверхні циліндра, а конічна різь – по поверхні конуса. Залежно від розміщення поверхонь, на яких виконують різі, їх поділяють на зовнішні та внутрішні. Зовнішні різьбові поверхні – це виконання різі на зовнішній поверхні деталі (болт, гвинт, шпилька тощо), а внутрішні різьбові поверхні – це виконання різі на внутрішній поверхні деталі (гайка).

Основні елементи різі (рисунок 4.8): вісь різі, профіль різі, вершина, западина та бічні поверхні профілю різі.

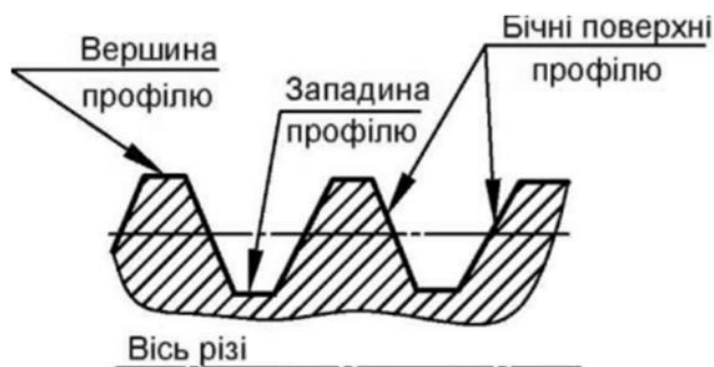


Рисунок 4.8 – Основні елементи профілю різі

Вісь різі – це вісь, що утворена спіральною (гвинтовою) поверхнею різі.

Профіль різі – це профіль вершин та западин різі у її площині осьового перерізу. Між вершинами та западинами профілю розташовані бічні поверхні профілю.

Основні параметри різі (рисунок 4.9): кут профілю різі α , крок різі P , робоча висота профілю H , зовнішній d та внутрішній d_1 діаметри зовнішньої і внутрішньої різі, відповідно, d_2 – середній діаметр різі.

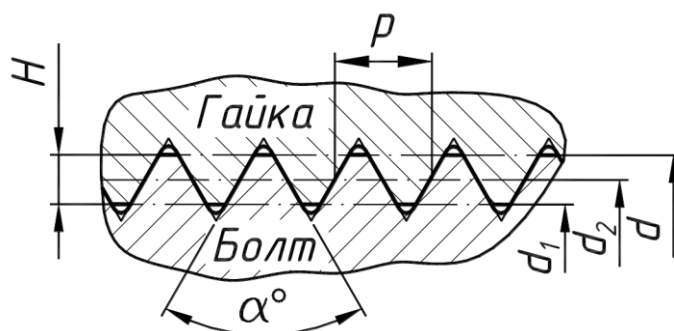


Рисунок 4.9 – Основні параметри різі

Кут профілю різі α – це кут, що виходить з однієї точки між двома бічними поверхнями профілю різі у площині осьового перерізу.

Крок різі P – це відстань між сусідніми однойменними бічними поверхнями профілю різі.

Робоча висота профілю H – висота профілю між заглибиною і вершиною, виміряна в напрямку, перпендикулярному осі різі.

Зовнішній діаметр d – діаметр уявного циліндра, описаного навколо вершин профілю зовнішньої різі або навколо заглибин профілю внутрішньої різі, відповідно. Зазвичай вважається номінальним діаметром та використовується для позначення різі.

Середній діаметр d_2 – діаметр уявного циліндра, який перетинає її витки посередині між вершинами і заглибинами профілю різі.

Внутрішній діаметр d_1 – діаметр уявного циліндра, описаного навколо заглибин профілю зовнішньої різі або навколо вершин профілю внутрішньої різі, відповідно.

Основним видом кріпильної різі є метрична. Характерним параметром метричної різі є кут профілю $\alpha = 60^\circ$. Найбільш поширені метричні різі з діаметрами від 1 до 600 мм та регламентуються за ДСТУ ГОСТ 16093:2018 та ДСТУ ГОСТ 3.1128:2014. В умовне позначення метричної різьби входить літера М, номінальний діаметр d , значення кроку P (для різі з малим кроком), літери LH (тільки для лівої різі) (рисунок 4.10). Крім цього, до умовного позначення метричної багатозахідної різі додають значення ходу i в дужках літера P зі значенням кроку (наприклад, M20×2 (P1) LH- 8H – внутрішня, двозахідна, з дрібним кроком 1 мм і ходом 2 мм, ліва, з полем допуску H та ступенем точності різі 8 (для посадок з зазором метричної різі в таблиці 4.1).

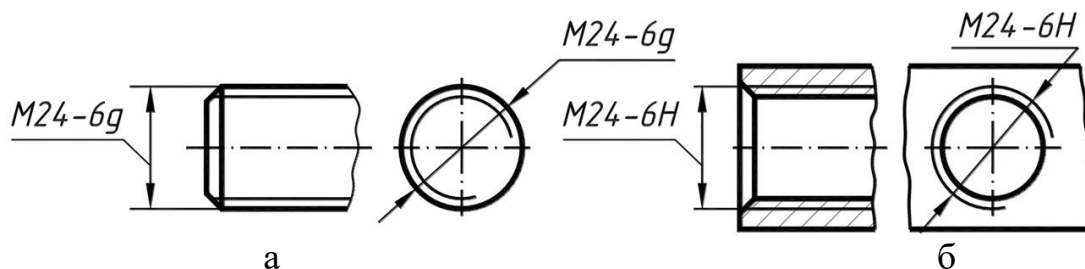


Рисунок 4.10 – Умовне позначення метричної різі зовні (а) та в отворі (б)

Таблиця 4.1 – Допуски діаметрів метричної різі

Різь	Діаметр різі	Ступінь точності	Основні відхилення
Зовнішня	d	4; 6; 8	d; e; f; g; h
	d_2	3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	d; e; f; g; h
Внутрішня	d_2	4; 5; 6; 7; 8; 9	E; F; G; H
	d_1	4; 5; 6; 7; 8	E; F; G; H

В таблиці 4.2 наведено діаметри і кроки метричної циліндричної різі загального призначення. Зазвичай, діаметрам різі 1-го ряду надають перевагу у процесі проєктування.

Таблиця 4.2 – Діаметри і кроки метричної циліндричної різі загального призначення

Діаметр різі, мм		Крок різі, мм	
1-й ряд	2-й ряд	Крупний	Дрібний
6	-	1	0,75; 0,5
8	-	1,25	1; 0,75; 0,5
10	-	1,5	1,25; 1; 0,75; 0,5
12	-	1,75	1,5; 1,25; 1; 0,75; 0,5
-	14	2	1,5; 1,25; 1; 0,75; 0,5
16	-	2	1,5; 1; 0,75; 0,5
-	18	2,5	2; 1,5; 1; 0,75; 0,5
20	-	2,5	2; 1,5; 1; 0,75; 0,5
-	22	2,5	2; 1,5; 1; 0,75; 0,5
24	-	3	2; 1,5; (1)
-	27	3	2; 1,5; 1; 0,75
30	-	3,5	(3); 2; 1,5; 1; 0,75
-	33	3,5	(3); 2; 1,5; 1; 0,75
36	-	4	3; 2; 1,5; 1
-	39	4	3; 2; 1,5; 1
42	-	4,5	(4); 3; 2; 1,5; 1
-	45	4,5	(4); 3; 2; 1,5; 1
48	-	5	(4); 3; 2; 1,5; 1
-	52	5	(4); 3; 2; 1,5; 1
56	-	5,5	4; 3; 2; 1,5; 1
-	60	(5,5)	4; 3; 2; 1,5; 1
64	-	6	4; 3; 2; 1,5; 1

Примітка. Крок різі, взятий в дужки, при можливості, не використовувати.

Створення складальної одиниці виконуємо через шаблон **Assembly** (див. рисунок 1.2). Основні інструменти вкладки **Assembly** (рисунок 4.11), які ми розберемо в рамках вивчення дисципліни «Комп'ютеризовані системи проектування» – це додавання компонентів (**Insert Components**) та накладання пари/сполучення (**Mate**).

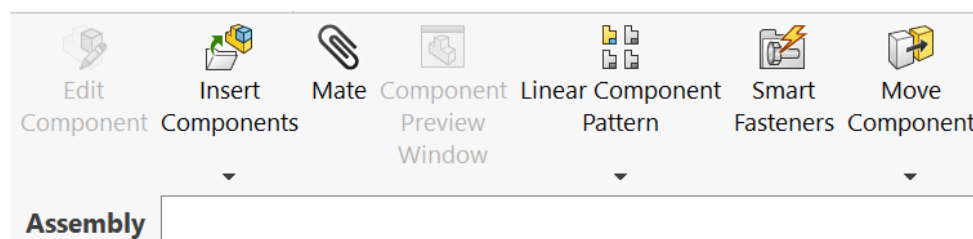


Рисунок 4.11 – Основні інструменти вкладки **Assembly**

Інструмент **Insert Components** виконує додавання спроектованих об'єкти, які будуть використовуватись при створенні складальної одиниці. Діалогове вікно додавання компонентів показано на рисунку 4.12. Потрібно вибрати деталь, яка має належати складальній одиниці, або виконати її пошук за допомогою кнопки **Browse...**

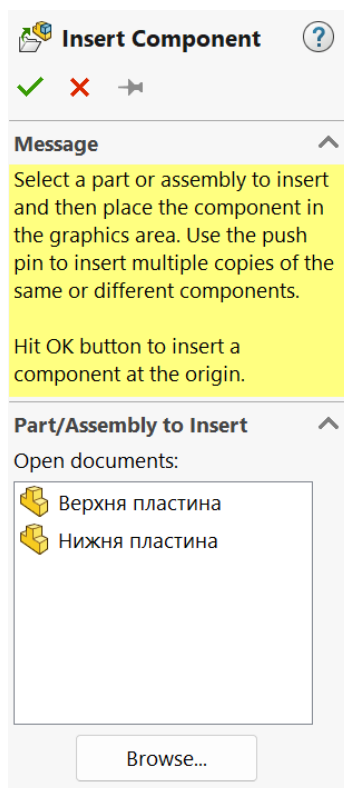


Рисунок 4.12 – Діалогове вікно додавання компонентів складальної одиниці

Першу, успішно додану деталь, зазвичай можна прикріпити до вихідної точки поточної складальної одиниці або в довільному місці. Наприклад, додана деталь «Верхня пластина» (рисунок 4.13) позначена літерою **(f)** і це означає, що вона зафіксована. У такому разі всі інші деталі можуть кріпитися до неї, а для того, щоб зрушити деталь «Верхня пластина», потрібно прибрати фіксацію через її контекстне меню.

Додавання інших деталей до складальної одиниці виконуємо інструментом **Insert Components**, виконуючи аналогічні кроки, як із першою деталлю, однак без їх фіксації.

Копіювання деталей та стандартних елементів в складальних одиницях відбувається за допомогою натискання клавіші **Ctrl** та перетягування їх на вільне поле.

Для редагування або видалення елементів складальної одиниці використовують їх контекстне меню. Клацнувши правою кнопкою миші на елемент, який потрібно відредагувати або видалити, можна обрати опцію

«**Open Part**» для відкриття його в новому вікні та редагувати, або опцію «**Delete**» для повного видалення його зі складальної одиниці.

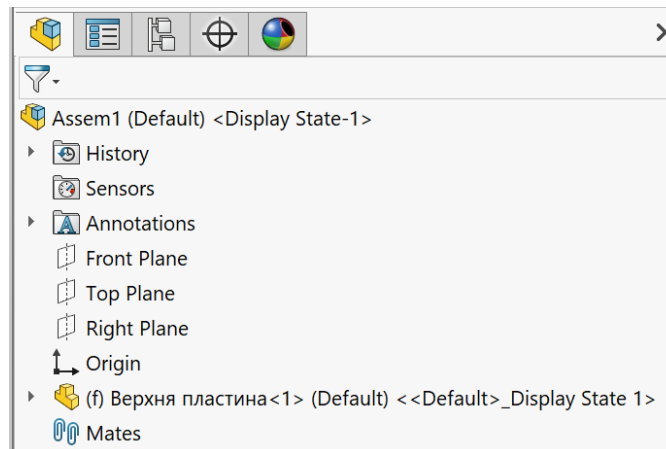


Рисунок 4.13 – **FeatureManager Design Tree** складальної одиниці **Assem1**

Для сполучення деталей між собою використовують інструмент **Mate**, який дозволяє встановити взаємозв'язки між різними деталями у складальній одиниці. Інструмент **Mate** забезпечує точне позиціонування та взаємодію між деталями. Існують такі пари/сполучення інструмента **Mate** (рисунок 4.14): стандартні (**Standard**), механічні (**Mechanical**), розширені (**Advanced**) та для аналізу (**Analysis**).

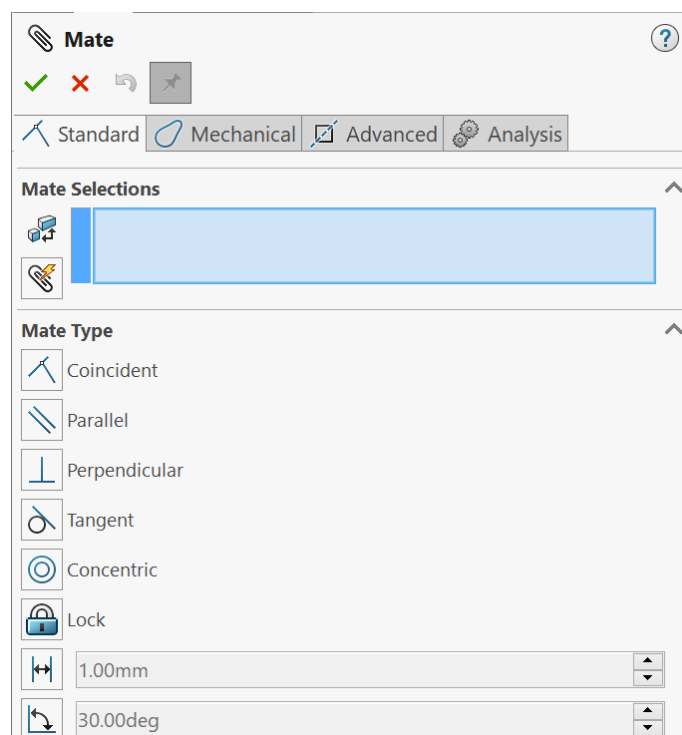


Рисунок 4.14 – Використання інструмента **Mate**

Звернемо увагу лише на стандартні типи сполучень інструмента **Mate**, які будемо використовувати в лабораторній роботі 4:

- **Coincident Mate**: дозволяє встановлювати сполучення між двома точками, які мають знаходитися в одній точці.
- **Parallel Mate**: дозволяє встановлювати сполучення між двома чи більше елементами деталі, що мають бути паралельними одна одній.
- **Perpendicular Mate**: дозволяє встановлювати сполучення між двома чи більше елементами деталі, що мають бути перпендикулярними одна одній.
- **Tangent Mate**: дозволяє встановлювати сполучення між двома чи більше елементами деталі, що мають мати спільну дотичну точку.
- **Concentric Mate**: дозволяє встановлювати сполучення між двома чи більше елементами деталі, що мають мати спільну вісь обертання.
- **Lock Mate**: дозволяє встановлювати сполучення між двома чи більше елементами деталі, причому це призводить до повно обмеження всіх ступенів свободи між ними.
- **Distance Mate**: дозволяє встановлювати сполучення між двома чи більше елементами деталі, що мають мати певну відстань одна від одної.
- **Angle Mate**: дозволяє встановлювати сполучення між двома чи більше елементами деталі, що мають мати певний кут між собою.

Інструмент **Mate** дозволяє встановлювати необмежену кількість сполучень між деталями для точного позиціонування деталі в складальній одиниці. На рисунку 4.15 показано поле **Mate Selections** після вибору циліндричних поверхонь (рисунок 4.16) для сполучення.

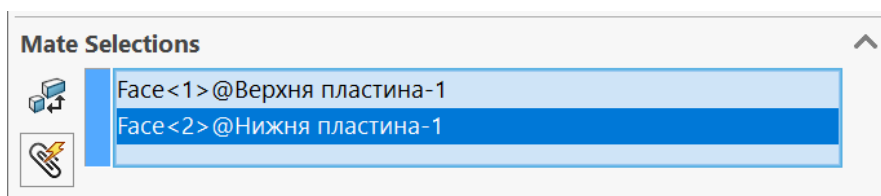


Рисунок 4.15 – Поле **Mate Selections** з вибраними поверхнями для сполучення

Після підтвердження вибору сполучення в **FeatureManager Design Tree** в **Mates** з'явиться відмітка **Concentric2 (Верхня пластина <1>, Нижня пластина <1>)** про використання сполучення (рисунок 4.17), яку за потреби, можна буде редагувати. Накладене сполучення зменшує кількість ступенів вільності деталі «Нижня пластина». Однак деталь «Нижня пластина» може ще обертатися навколо осі отвору та рухатися вздовж осі отвору. Щоб досягти повного сполучення між деталями, потрібно накладити ще декілька сполучень, які унеможливають перераховані вище рухи.

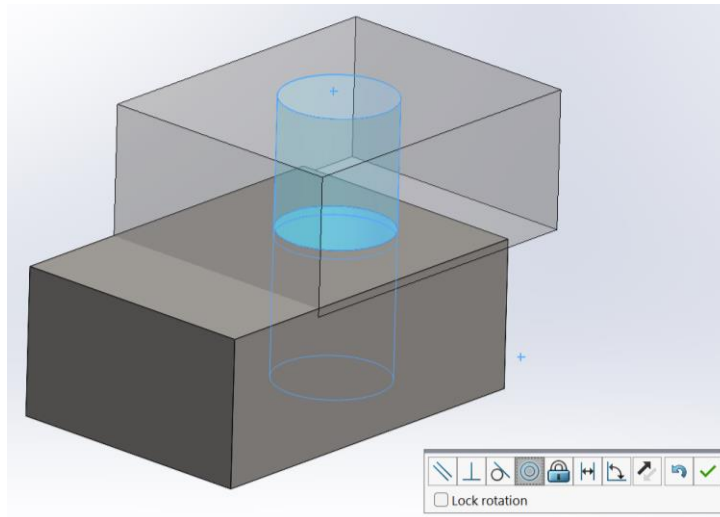


Рисунок 4.16 – Візуалізація сполучення циліндричних поверхонь із використанням **Concentric Mate**

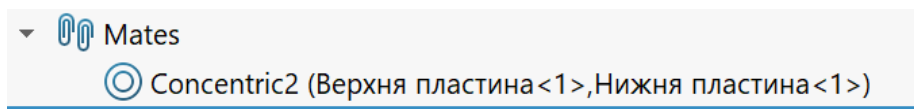


Рисунок 4.17 – Додавання відмітки про використання сполучення в **Mates**

Таким чином, використовуючи сполучення між деталями та стандартними елементами, можна виконати різьбове з'єднання складальної одиниці (рисунок 4.18).

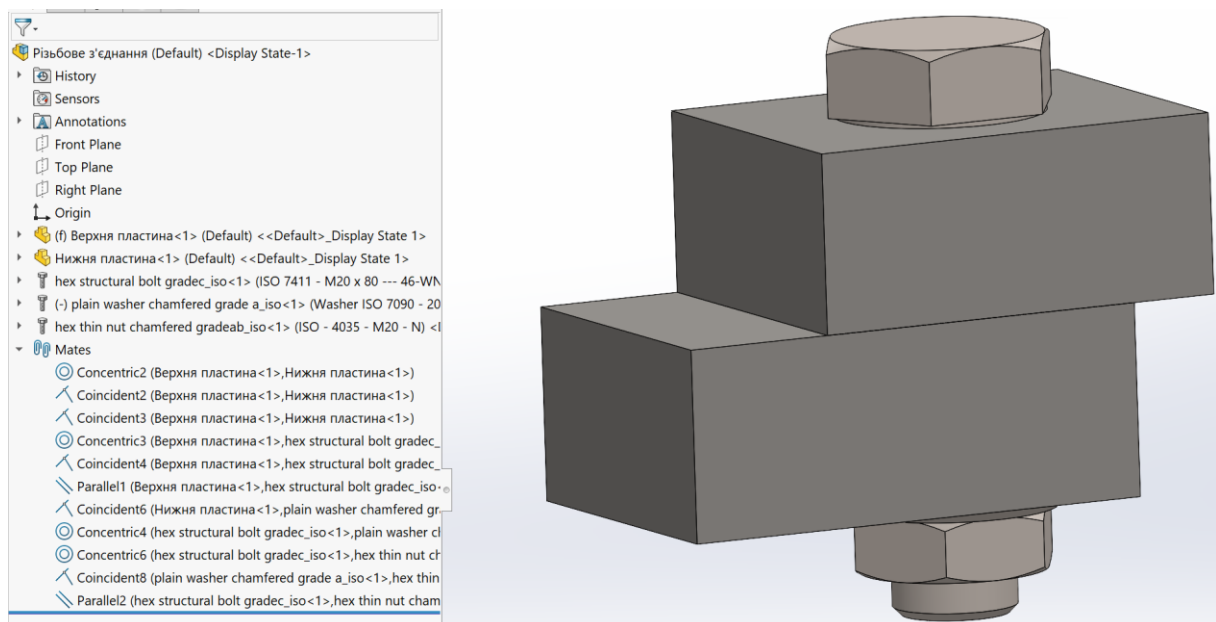


Рисунок 4.18 – Різьбове з'єднання складальної одиниці

Щоб створити прямозубе циліндричне колесо, потрібно викликати контекстне меню на піктограмі «**Spur Gear**» та вибрати опцію «**Create** Програмний продукт SOLIDWORKS в своєму асортименті **Toolbox** має інструменти для автоматичного створення тривимірних моделей зубчастих коліс та рейок (**ISO** → **Power Transmission** → **Gears**). Тривимірні моделі зубчастих коліс та рейок містять: косозубе (**Helical Gear**) та прямозубе (**Spur Gear**) циліндричні колеса, внутрішнє прямозубе колесо (**Internal Spur Gear**), конічні зубчасті колеса (**Straight Bevel Gear, Straight Bevel Pinion, Straight Miter Gear**) та рейку (**Rack**).

Для створення прямозубого циліндричного колеса потрібно визвати контекстне меню на піктограмі «**Spur Gear**» та вибрати опцію «**Create Part...**», як показано на рисунку 4.19.

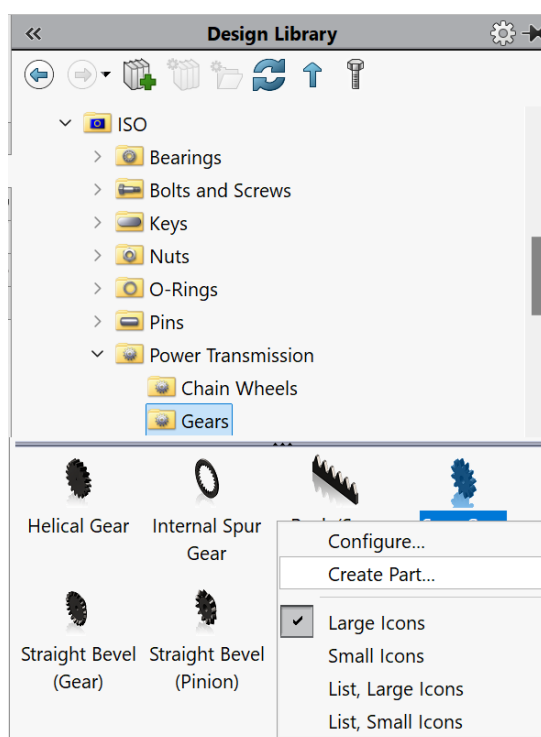


Рисунок 4.19 – Створення прямозубого циліндричного колеса

З'явиться функція **Configure** аналогічна як для налаштування параметрів шайби **Washers**, однак містить налаштування параметрів лише для **Spur Gear** (рисунок 4.20). У процесі налаштування параметрів **Spur Gear** потрібно вказати: модуль зубчастого колеса (**Module**), кількість зубів (**Number of Teeth**), кут зачеплення (**Pressure Angle**), ширину зубчастого вінця (**Face Width**), тип маточини (**Hub Style**), діаметр маточини (**Hub Diameter**), повну ширину колеса (**Overall Length**), номінальний діаметр вала (**Nominal Shaft Diameter**), тип шпонкових пазів (**Keyway**), кількість показуваних зубів на тривимірній моделі зубчастого колеса (**Show Teeth**). В опції **Configure** також буде показано повне ім'я створеного файлу з деталлю та напис, який буде відображатися у специфікації.

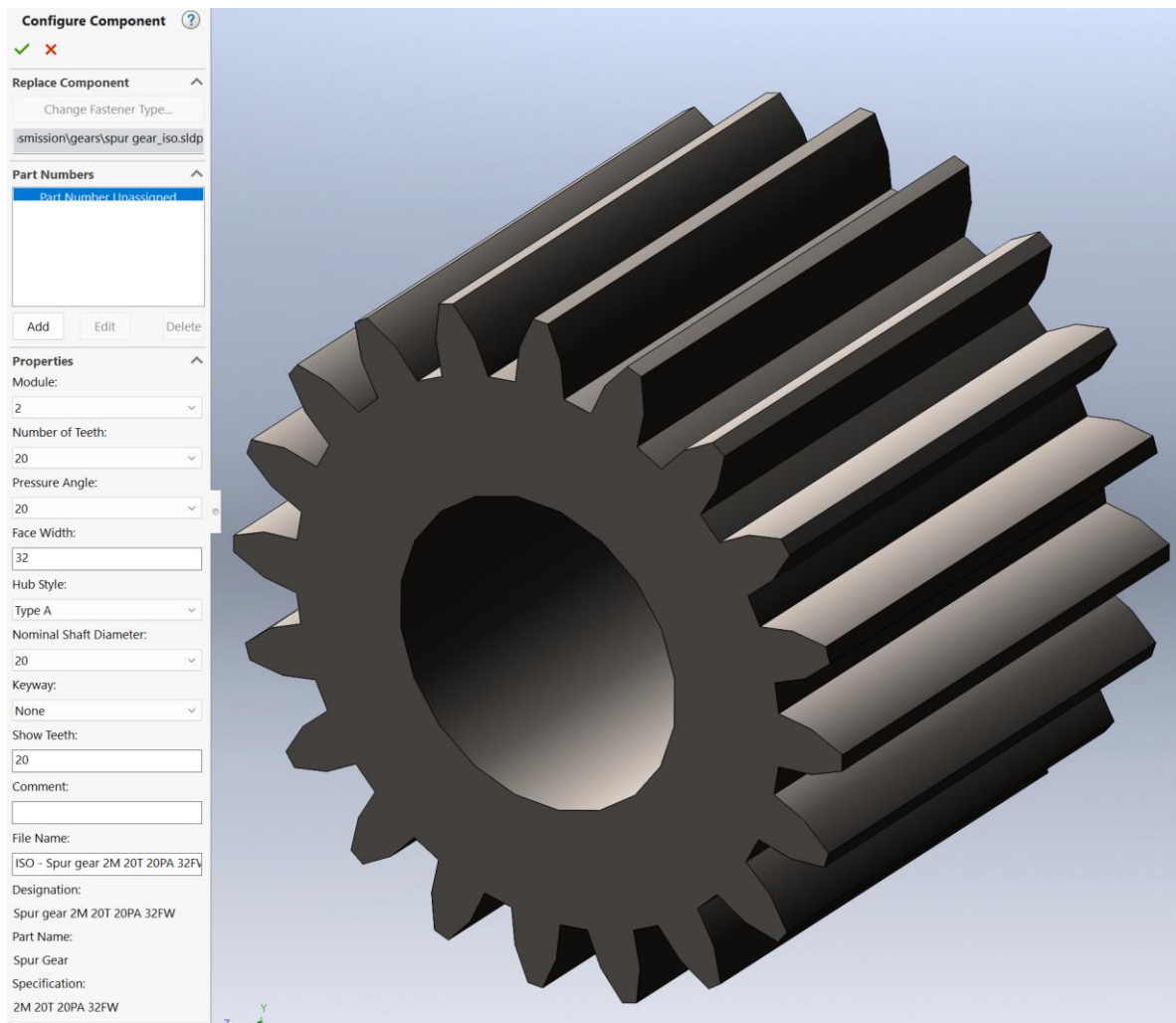


Рисунок 4.20 – Налаштування параметрів **Spur Gear**

Варто звернути увагу на те, що модулі зубчастих коліс відповідають стандартному ряду, кількість зубів не може бути меншою 10, кут зачеплення обмежений лише двома значеннями: 20° та $14,5^\circ$, подано три типи маточин: без неї, симетрично та консольно розміщені, передбачено три типи шпонкових пазів: без паза, один паз та два пази, максимальне значення номінального діаметра вала становить 500 мм.

Після створення тривимірної моделі зубчастого колеса буде доступна можливість редагування його автоматично створених елементів. Це дозволить додати до тривимірної моделі зубчастого колеса потрібні поверхні, які не можна було автоматично створити функцією **Configure**.

4.2 Завдання до виконання лабораторної роботи № 4

Завдання до лабораторної роботи № 4 складається з двох частин для 30 індивідуальних варіантів. Перша частина завдання містить проектування складальної одиниці різьбових з'єднань згідно з отриманим варіантом завдання. Складальною одиницею першої частини завдання є

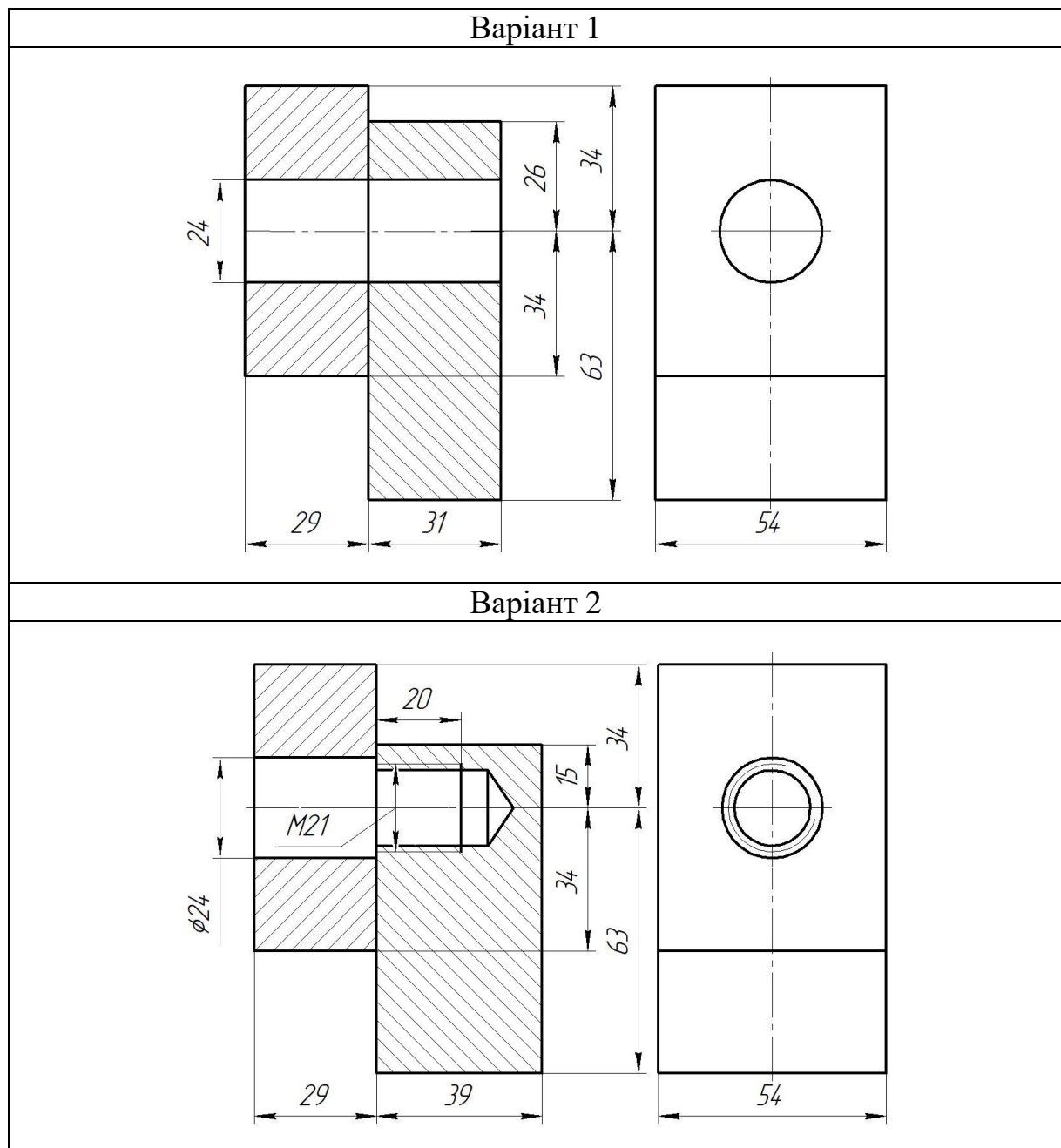
пластини з отворами для з'єднання. Будуючи складальну одиницю першого завдання потрібно використати шаблон **Assembly**.

Друга частина завдання охоплює проектування твердотільної тривимірної моделі прямозубого циліндричного колеса за отриманим варіантом завдання згідно з вихідними даними. Для побудови здобувачам потрібно використати **Spur Gear** в **Power Transmission** та ввести потрібні значення функції **Configure**.

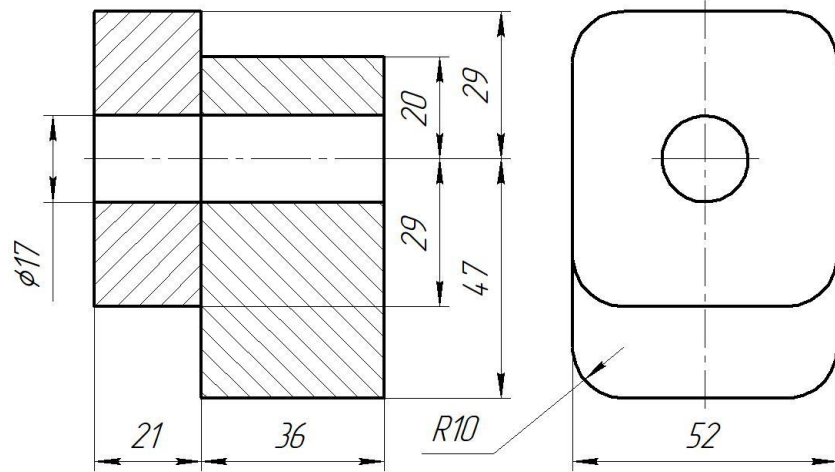
Якщо кількість здобувачів в групі більша, ніж підготовлених варіантів завдань, то потрібно звернутися до викладача за додатковими варіантами.

Виконуючи завдання здобувачі проєктують повністю визначені ескізи з використанням розмірів та взаємозв'язків.

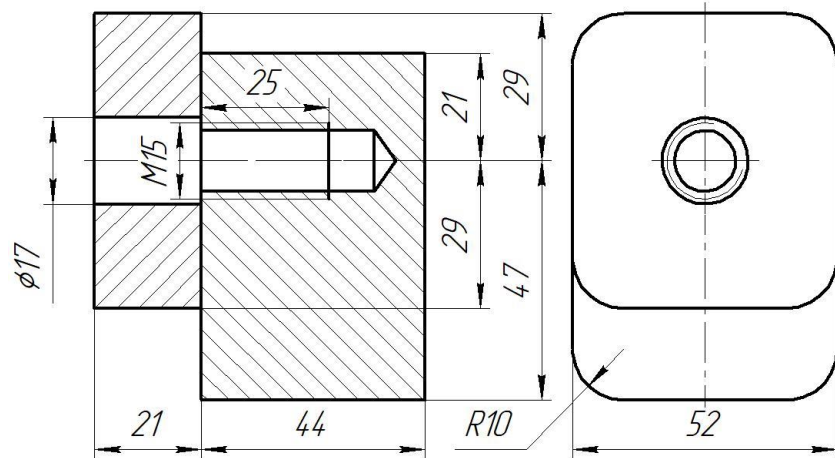
4.2.1 Перша частина завдання до лабораторної роботи № 4



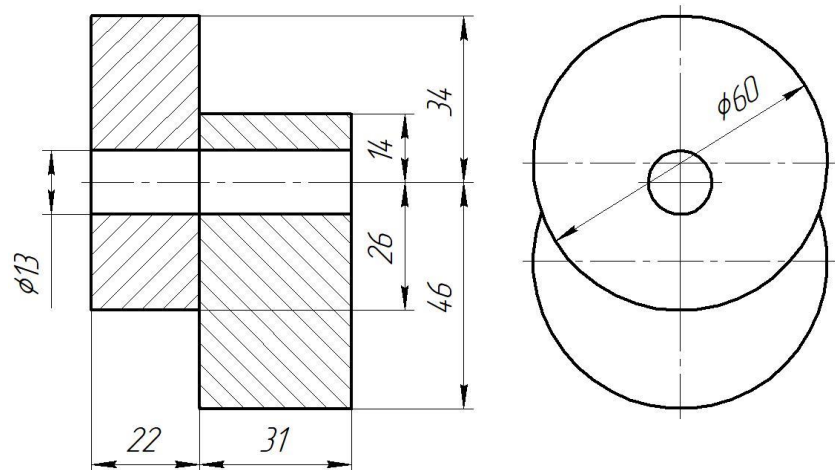
Варіант 3



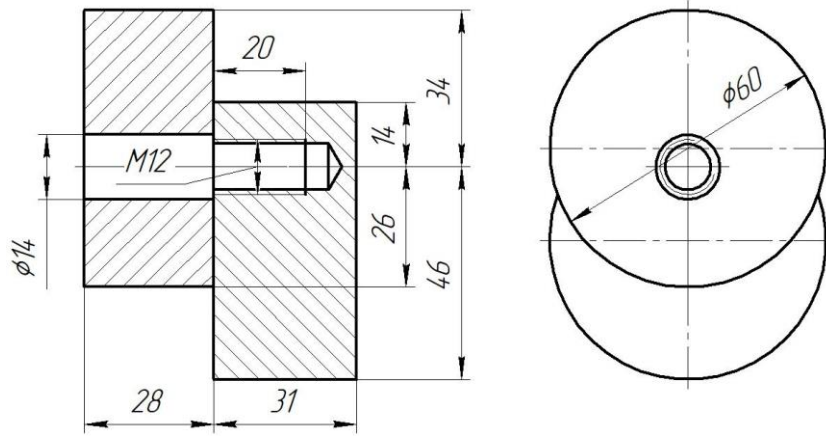
Варіант 4



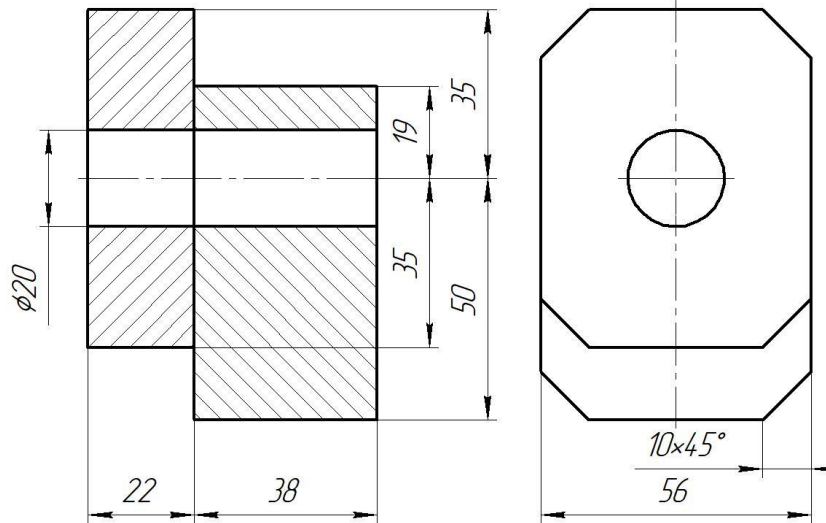
Варіант 5



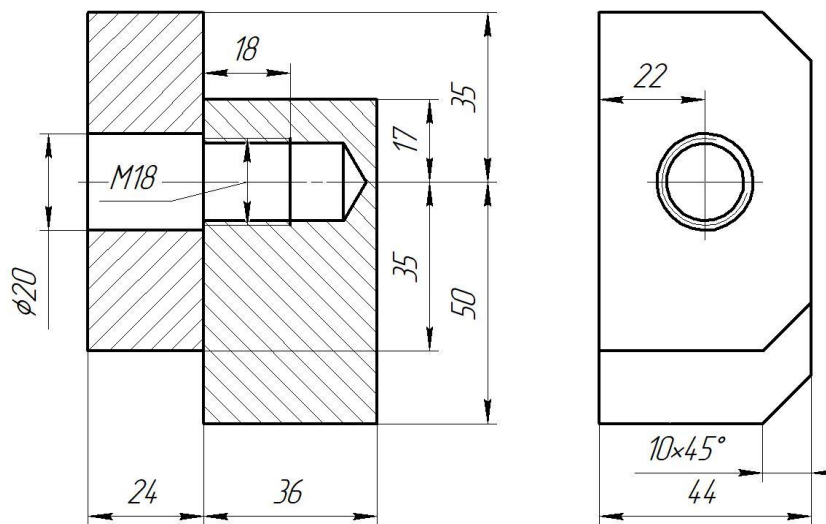
Варіант 6



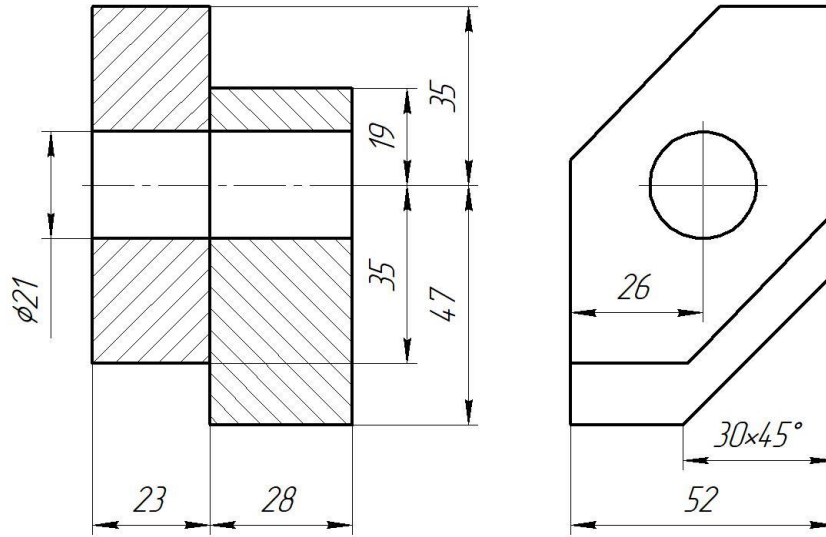
Варіант 7



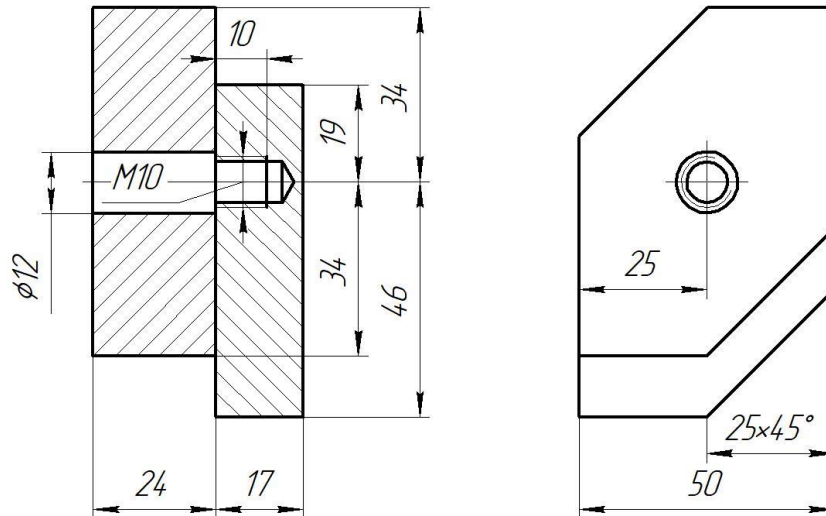
Варіант 8



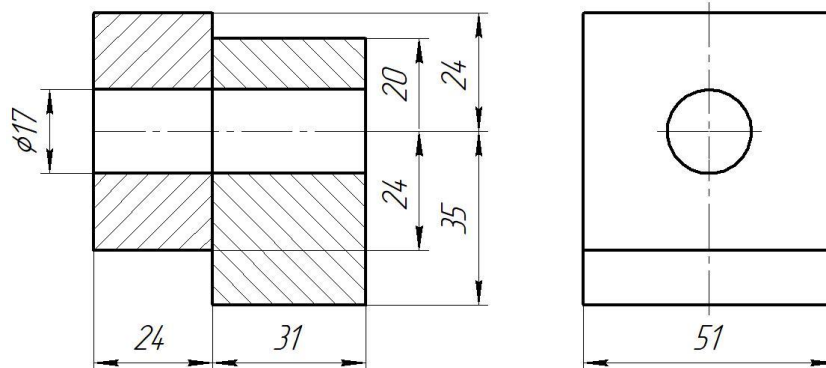
Вариант 9



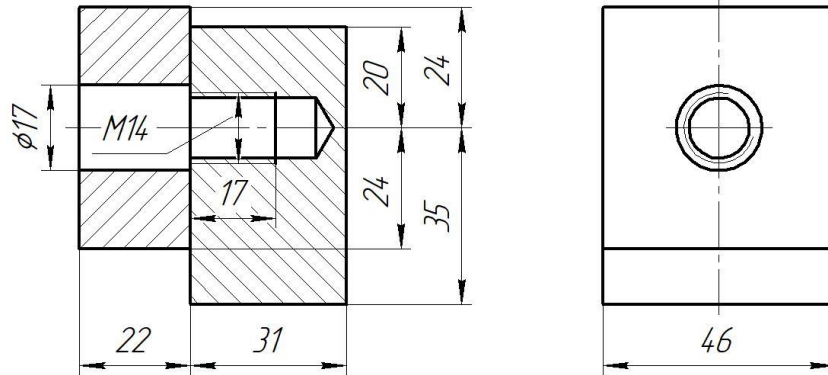
Вариант 10



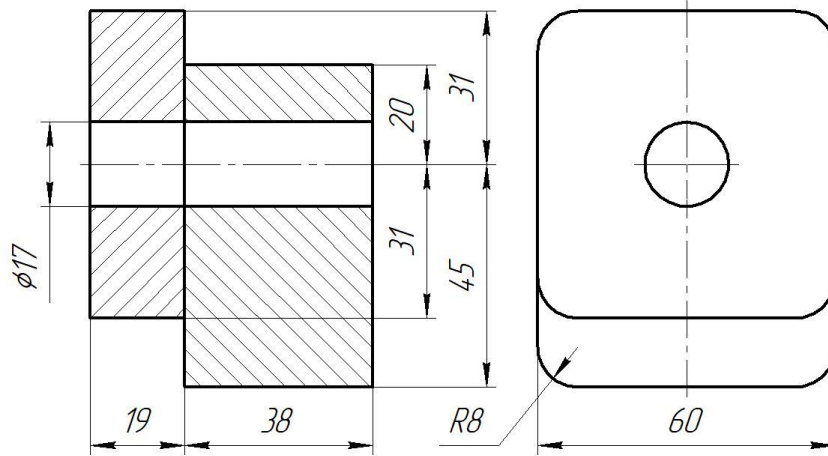
Вариант 11



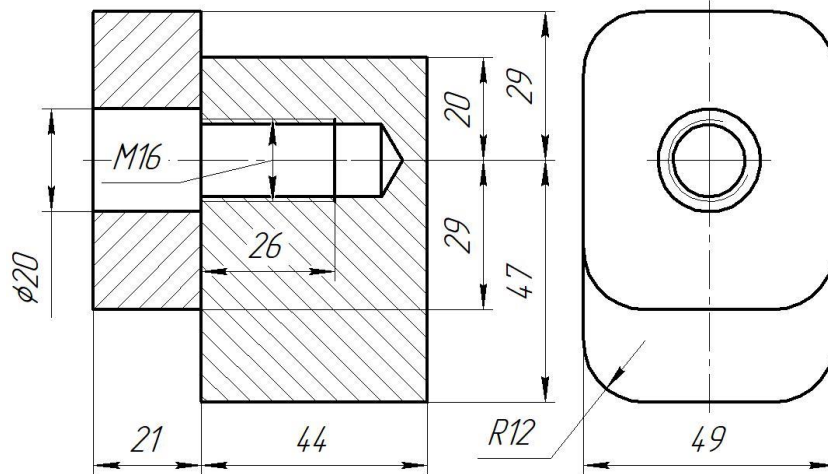
Варіант 12



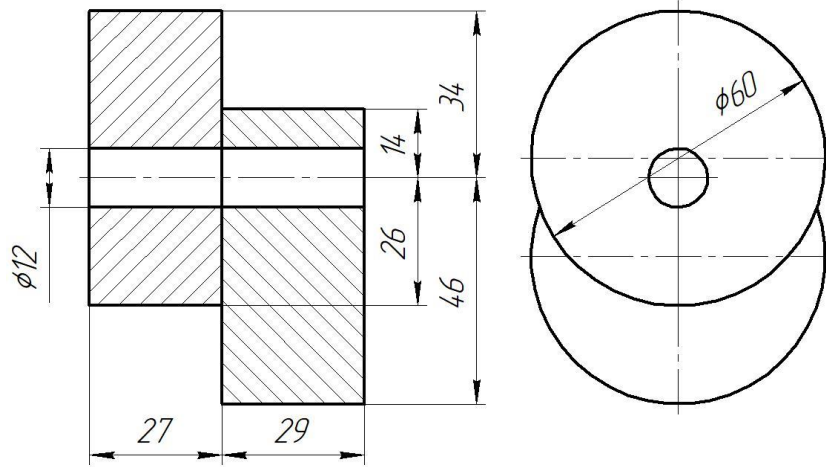
Варіант 13



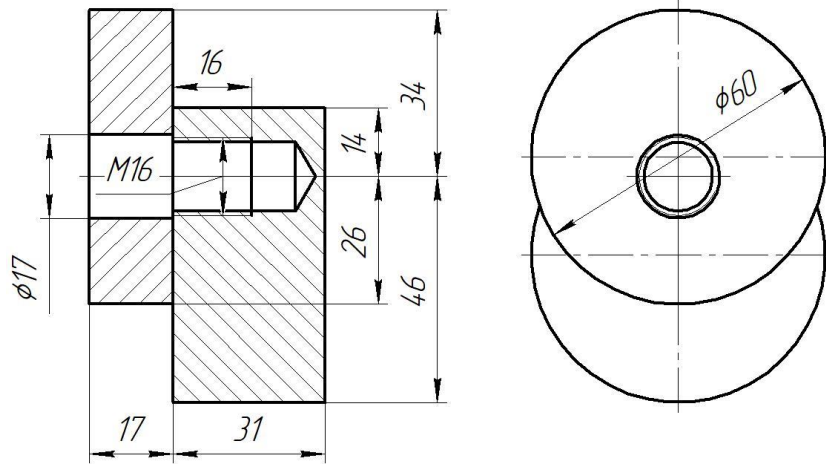
Варіант 14



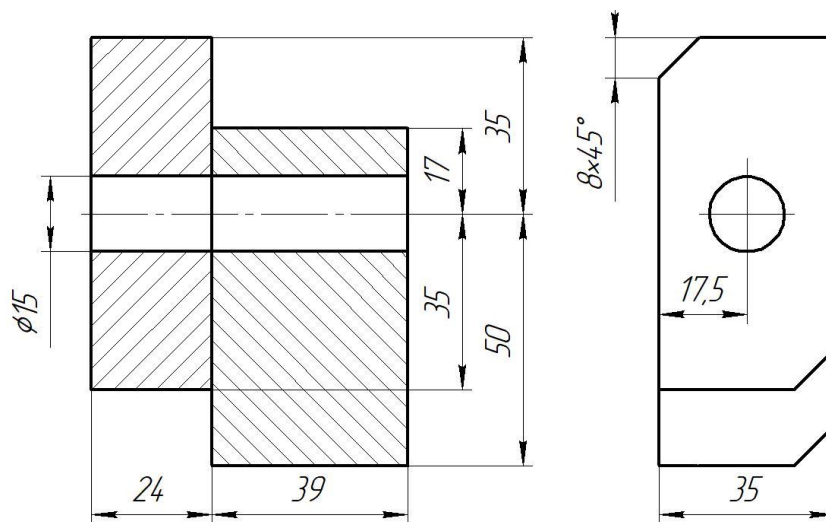
Вариант 15



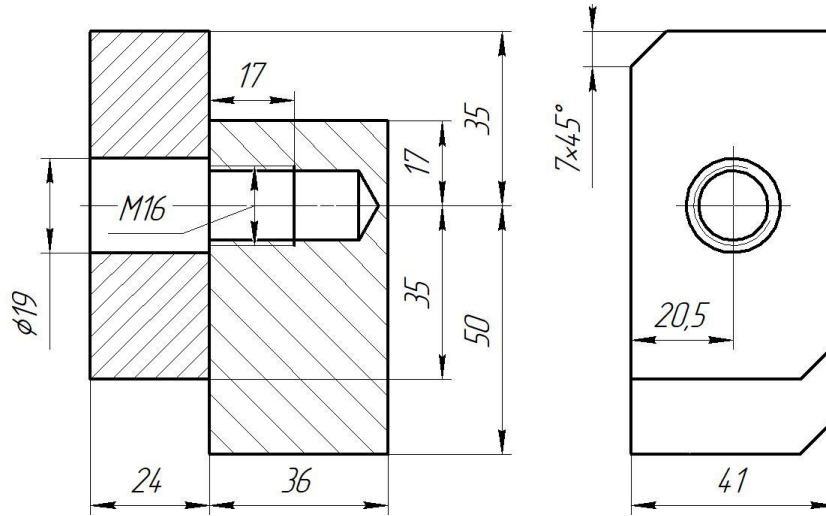
Вариант 16



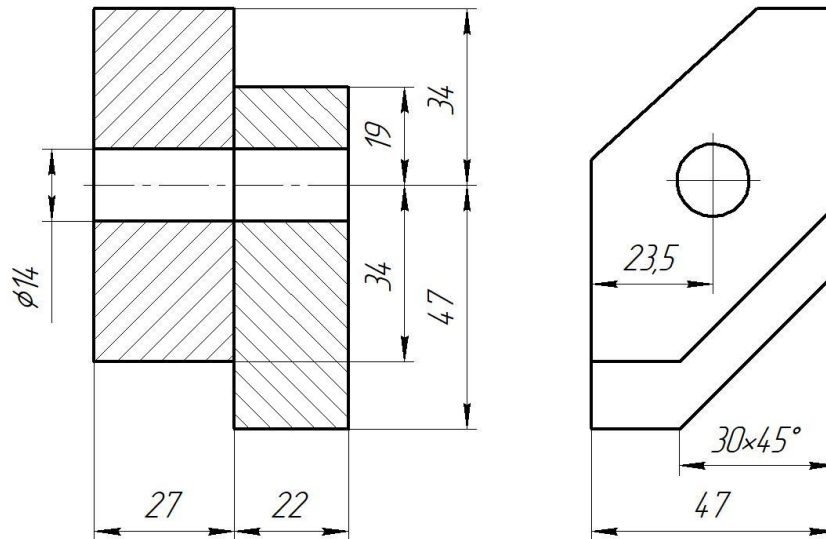
Вариант 17



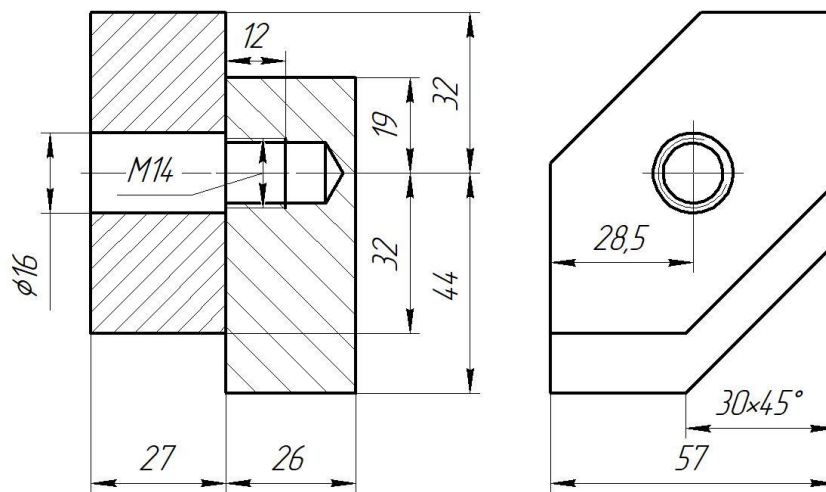
Вариант 18



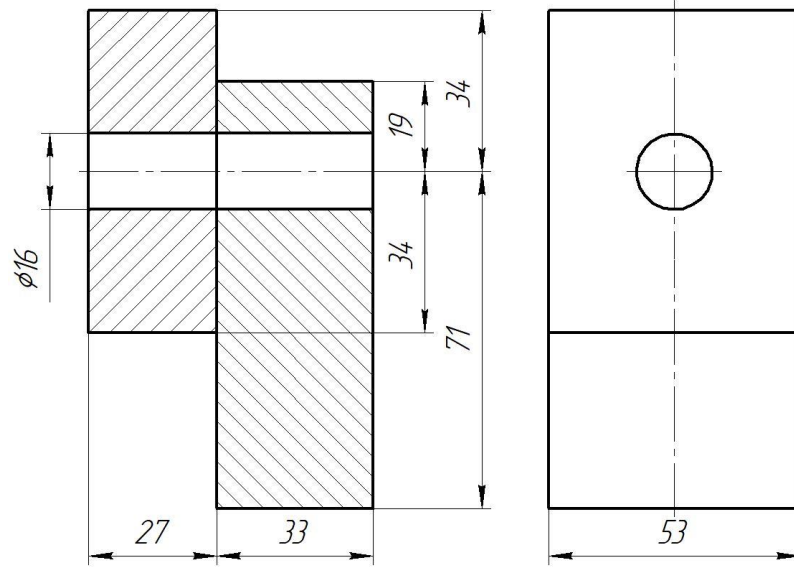
Вариант 19



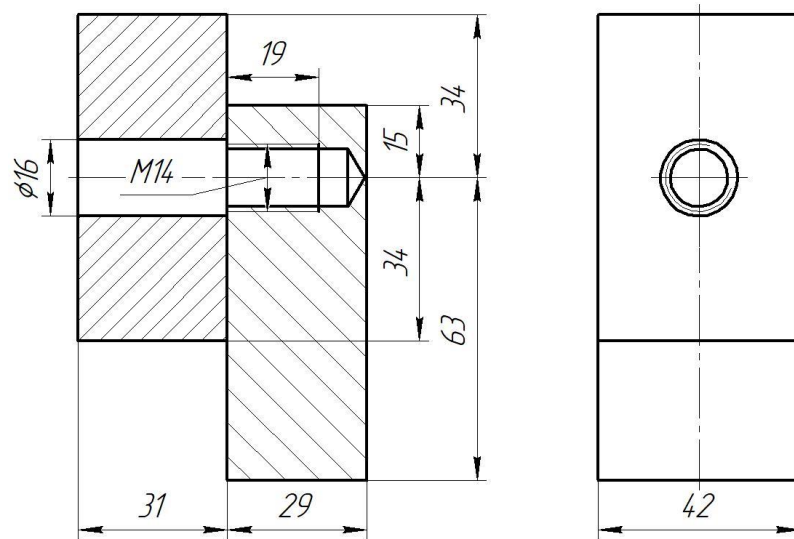
Вариант 20



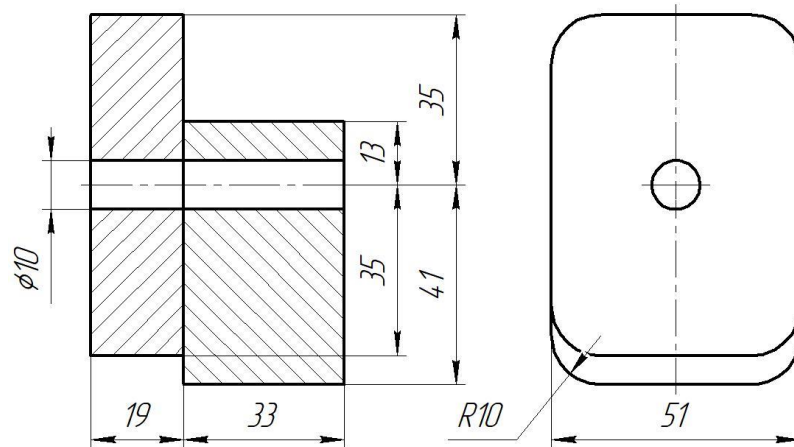
Вариант 21



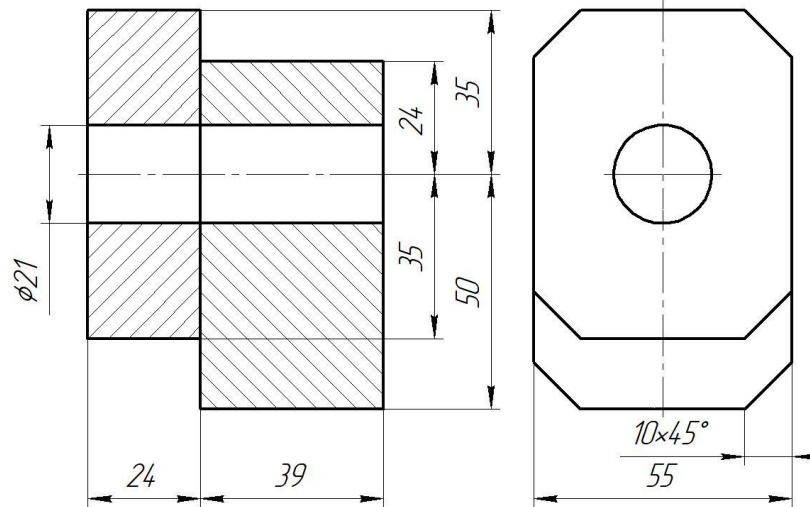
Вариант 22



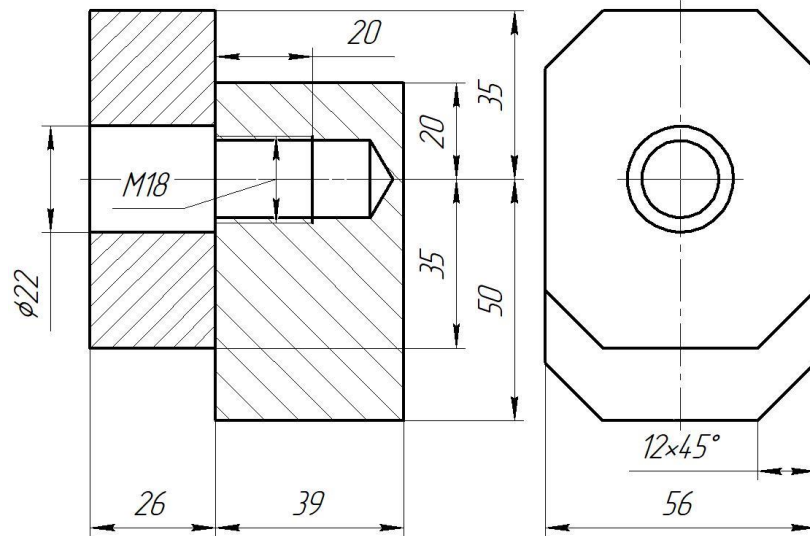
Вариант 23



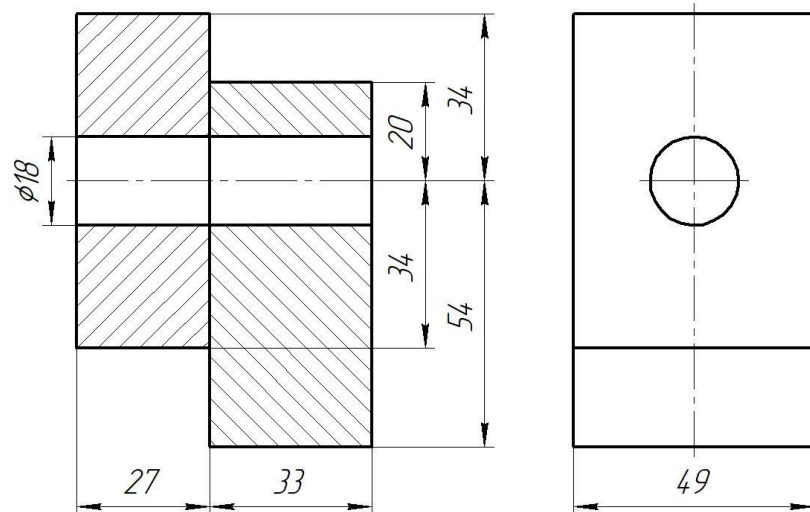
Вариант 27

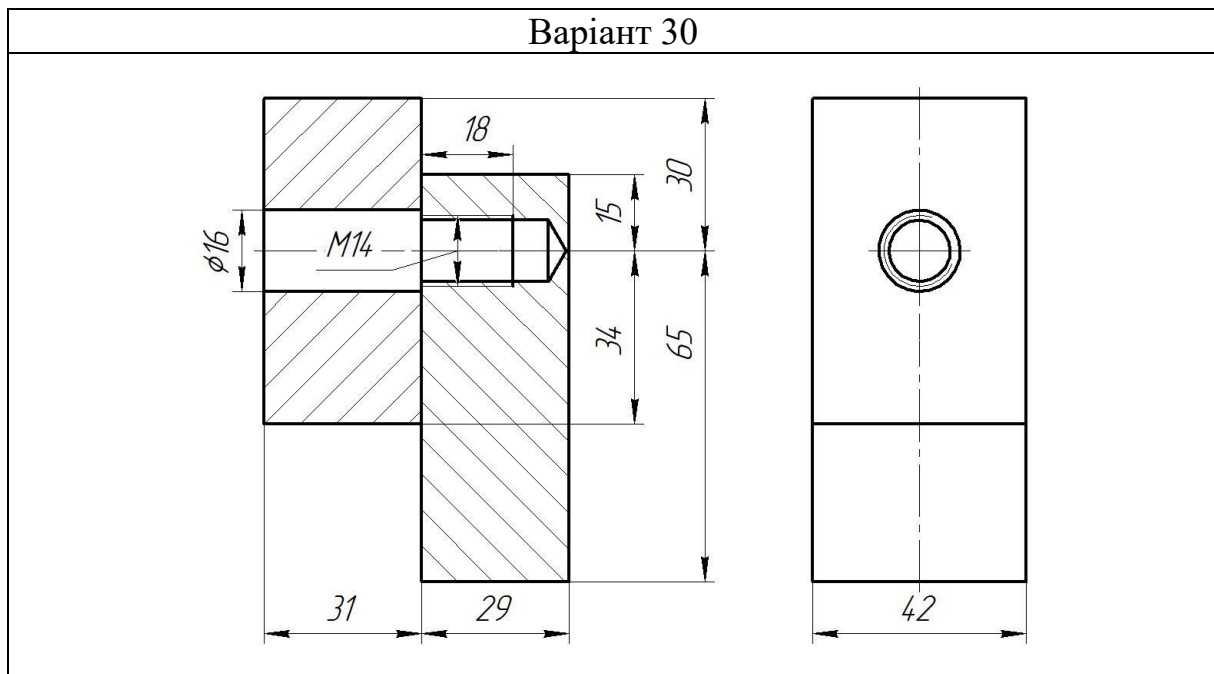


Вариант 28



Вариант 29





4.2.2 Друга частина завдання до лабораторної роботи № 4

Кут нахилу зачеплення (**Pressure Angel**) дорівнює 20 градусів для всіх варіантів.

Таблиця 4.3 – Основні параметри зубчастого вінця

Варіант	Модуль (Module), мм	Кількість зубів (Number of Teeth)	Ширина зубчастого вінця (Face Width), мм	Варіант	Модуль (Module), мм	Кількість зубів (Number of Teeth)	Ширина зубчастого вінця (Face Width), мм
1	1,25	50	10	16	6,5	34	52
2	1,375	60	11	17	7	30	56
3	1,5	70	12	18	8	28	64
4	1,75	80	14	19	9	26	72
5	2	55	16	20	10	25	80
6	2,25	40	18	21	11	24	88
7	2,5	30	20	22	12	22	96
8	2,75	24	22	23	14	20	112
9	3	30	24	24	16	19	128
10	3,5	28	28	25	18	18	144
11	4	14	32	26	20	15	160
12	4,5	48	36	27	22	22	176
13	5	42	40	28	25	23	200
14	5,5	38	44	29	28	24	224
15	6	36	48	30	32	17	256

Таблиця 4.4 – Основні параметри маточини

Варіант	Тип маточини (Hub Style)	Діаметр маточини (Hub Diameter), мм	Загальна ширина колеса (Overall Length), мм	Діаметр отвору для кріплення колеса (Nominal Shaft Diameter), мм	Місце під шпонку (Keyway)
1	Type A	None	None	20	None
2	Type C	45	25	25	Rechangular(1)
3	Type A	None	None	40	Rechangular(2)
4	Type B	90	30	50	None
5	Type A	None	None	45	Rechangular(1)
6	Type C	63	30	35	Rechangular(2)
7	Type A	None	None	30	None
8	Type B	36	35	20	Rechangular(1)
9	Type A	None	None	35	Rechangular(2)
10	Type C	57	40	38	None
11	Type A	None	None	15	Rechangular(1)
12	Type B	144	50	80	Rechangular(2)
13	Type A	None	None	74	Rechangular(1)
14	Type C	135	60	75	Rechangular(2)
15	Type A	None	None	80	Rechangular(1)
16	Type B	153	70	85	Rechangular(2)
17	Type A	None	None	74	Rechangular(1)
18	Type C	153	80	85	Rechangular(2)
19	Type A	None	None	90	Rechangular(1)
20	Type B	171	100	95	Rechangular(2)
21	Type A	None	None	100	Rechangular(1)
22	Type C	180	130	100	Rechangular(2)
23	Type A	None	None	110	Rechangular(1)
24	Type B	216	150	120	Rechangular(2)
25	Type A	None	None	120	Rechangular(1)
26	Type C	198	190	110	Rechangular(2)
27	Type A	None	None	150	Rechangular(1)
28	Type B	306	260	170	Rechangular(2)
29	Type A	None	None	200	Rechangular(1)
30	Type C	288	300	160	Rechangular(2)

4.3 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з теоретичними відомостями до лабораторної роботи.
2. В звіті вказати тему та мету роботи.
3. Ознайомитися з описом роботи та завданням.
4. Відповідно до виданого варіанта для першої частини завдання виконати проектування складальної одиниці різьбових з'єднань в програмі

SOLIDWORKS. Зокрема нанести усі потрібні сполучення, щоб повністю вибрати ступені вільності в елементів складальної одиниці.

5. Відповідно до виданого варіанта для другої частини завдання виконати проектування твердотільної тривимірної моделі прямозубого циліндричного колеса в програмі SOLIDWORKS. Виконуючи завдання вказати задані параметри, зазначити матеріали деталі AISI 1035, що еквівалентно марці Сталь 35 ДСТУ 7809:2015.

6. Дати відповіді на контрольні питання.

7. Завершити виконання звіту до лабораторної роботи формуванням висновків. У висновках вказати інструменти програми SOLIDWORKS, які вдалося опанувати у процесі виконання лабораторної роботи. Вказати скільки сполучень міститься в складальній одиниці для першої частини завдання та масу спроектованого прямозубого циліндричного колеса.

4.4 Контрольні питання

1. Які основні стандарти для стандартних елементів використовуються в програмі SOLIDWORKS?

2. Який модуль відповідає за бібліотеку елементів в програмі SOLIDWORKS та як його запустити?

3. Яка функція забезпечує налаштування розмірів, вибір матеріалу та інших параметрів стандартних елементів та як її викликати?

4. Який інструмент відповідає на накладання пар/сполучень елементів та вказати їх основні типи?

5. Які параметри можна налаштувати у разі автоматичного проектування прямозубого циліндричного колеса в програмі SOLIDWORKS?

6. Які обмеження існують для проектування прямозубих циліндричних коліс в програмі SOLIDWORKS?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

СТВОРЕННЯ АСОЦІАТИВНИХ КРЕСЛЕНИКІВ ІЗ ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Мета роботи. Вивчення методики створення асоціативних креслеників із тривимірних моделей деталей, способів задання розмірів і визначення взаємозв'язків об'єктів кресленика в системі автоматизованого проектування SOLIDWORKS.

5.1 Короткі теоретичні відомості

Формати креслеників – це паперові або електронні аркуші креслеників потрібного розміру. Налаштування властивостей формату кресленика викликається через команду **Properties...** в контекстному меню (рисунок 5.1).

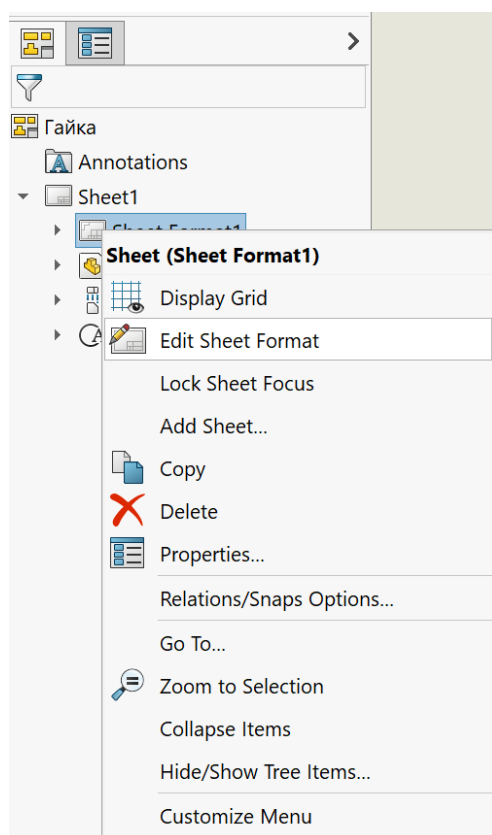


Рисунок 5.1 – Контекстне меню кресленика в FeatureManager Design Tree

У процесі налаштування в діалоговому вікні **Sheet Properties** (рисунок 5.2) визначаються розміри масштабу зображення на кресленику, вибір самого формату аркуша з основним написом та попередньо налаштованими параметрами шаблону.

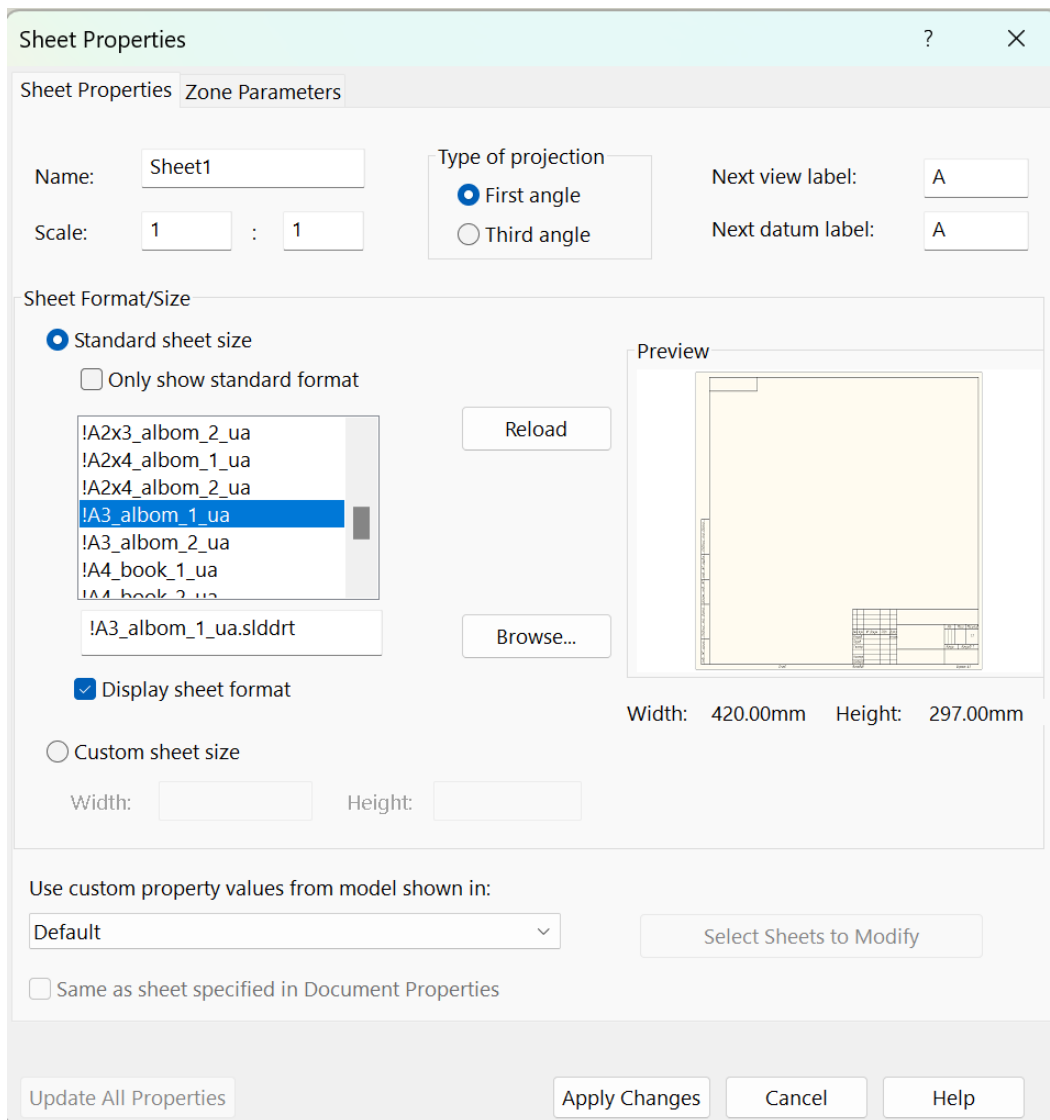


Рисунок 5.2 – Налаштування параметрів кресленника

Позначення форматів креслеників складається з букв А і арабських цифр від 0 до 5 [8]. Габаритні розміри основних форматів креслеників наведено в таблиці 5.1. Додаткові формати креслеників можуть формуватися шляхом збільшення в 2, 3 і т. д. разів їх висоти.

Таблиця 5.1 – Основні формати креслеників

Позначення	Габаритні розміри, мм	Позначення	Габаритні розміри, мм
A0	841×1189	A3	297×420
A1	594×841	A4	210×297
A2	420×594	A5	148×210

На форматах креслеників зазвичай розміщується основний напис [9]. Основний напис – це сукупність встановлених властивостей виробу і виконаного на нього конструкторського документа. Він розташовується у правому кутку над нижньою лінією рамки поля конструкторського

документа. Основні написи, додаткові графи до них і рамки виконують основними та суцільними тонкими лініями.

Основний напис першого аркушу має містити графи, які позначені цифрами в дужках, та регламентовані розмірами рамок, відповідно, рисунку 5.3. У закладах освіти зазвичай заповнюються такі графи основного напису: граф 1 – назва виробу, зображеного на кресленнику (спочатку пишуть іменник, потім визначення); графа 2 – позначення (шифр) кресленника; графа 3 – позначення матеріалу, виконується лише для деталі; графа 4 – літера, що присвоєна документу (літера «Н» – для навчальних креслеників); графа 5 – маса виробу в кілограмах; графа 6 – основний масштаб зображення на кресленнику; графа 7 – найменування закладу освіти (організації) та групи; графа 8 – прізвища здобувача, викладача та інших відповідальних осіб; графа 9 – підписи здобувача, викладача та інших відповідальних осіб; графа 10 – дата накладання підпису; графа 11 – порядковий номер аркуша; графа 12 – загальна кількість аркушів конструкторського документа; графа 13 – відомості про зміну конструкторського документа.

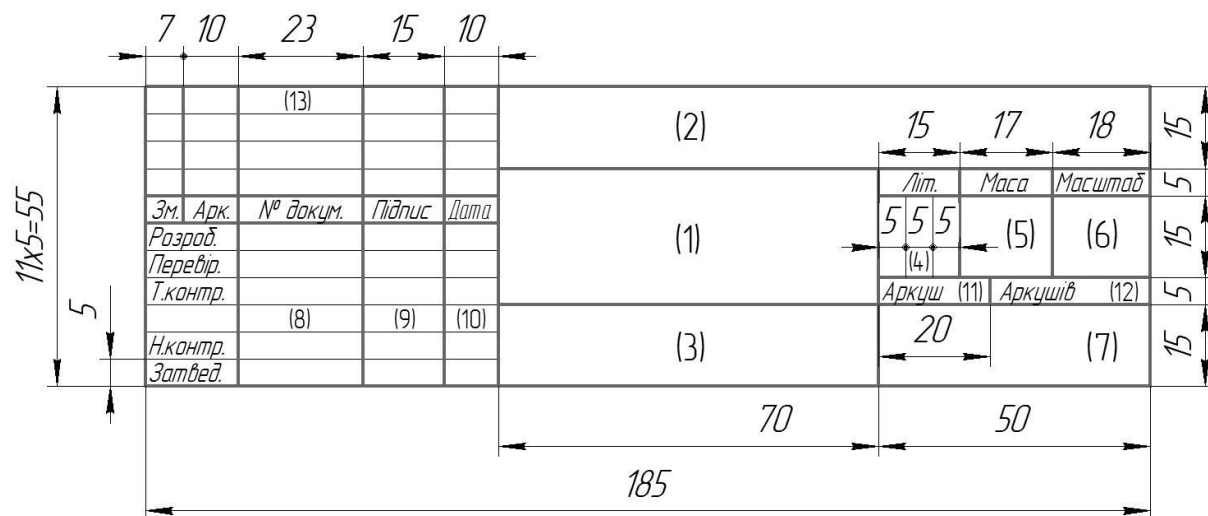


Рисунок 5.3 – Оформлення та графи основного напису першого аркуша конструкторської документації

Оформлення основних написів інших аркушів конструкторської документації можна розглянути за літературою [9].

Масштаб (Scale) – це числове відношення розмірних параметрів об'єкта на кресленнику, карті та інших зображеннях до реальних розмірів об'єкта [8, 10]. Масштаби, зазвичай, обирають залежно від габаритів зображуваного виробу, щоб максимально заповнити ділянку побудови кресленника. Існує три групи фіксованих масштабів: масштаби зменшення (1:2; 1:2,5; 1:4; 1:5; 1:10; 1:15; 1:20; 1:25; 1:40; 1:50; 1:5; 1:100; 1:200; 1:400; 1:500; 1:800; 1:1000); натуральна величина (1:1); масштаби збільшення (2:1; 2,5:1; 4:1; 5:1; 10:1; 20:1; 40:1; 50:1; 100:1).

Створення асоціативних креслеників передбачає виконання в САД системі креслеників тривимірних моделей деталей згідно з вимогами стандартів Єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД) [11]. Зокрема після зміни формату, розмірів чи параметрів моделі одночасно змінюється її зображення на всіх пов'язаних з нею асоціативних виглядах.

Процес створення асоціативних креслеників передбачає налаштування у вікні **Properties** у вкладці **Custom** (рисунок 5.4) для тривимірної моделі. Шлях до відкриття вікна **Properties** починається з меню файлу тривимірної моделі: **File** → **Properties**.

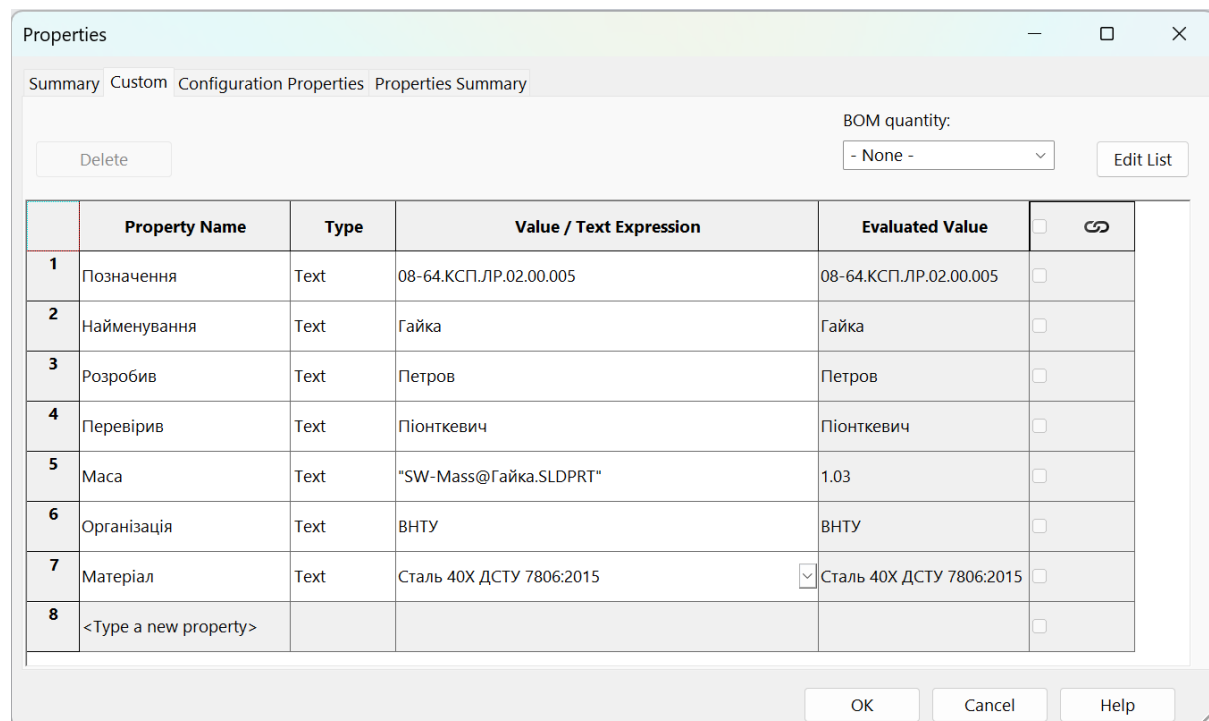


Рисунок 5.4 – Налаштування **Properties** тривимірної моделі деталі

На цьому етапі потрібно вказати **Property Name** – назву позиції, яку описує властивість тривимірної моделі, **Type** – тип даних властивості, **Value/Text Expression** – потрібне значення властивості, а також результат виконання властивості буде відображено в колонці **Evaluated Value**. Колонку **Value/Text Expression** зазвичай заповнюють вручну, або за допомогою наявних властивостей моделі, наприклад, властивість маси моделі "SW-Mass@Гайка.SLDPRТ" вибирається зі спадного списку.

Наступним етапом налаштування асоціативного кресленика є оформлення всіх елементів основного напису (рисунок 5.5). В такому разі потрібно в контекстному меню (див. рисунок 5.1) обрати пункт **Edit Sheet Format**. Відкриється доступ до редагування основного напису, в якому вказати однойменні налаштування тривимірної моделі (рисунок 5.4), використовуючи такий формат: **\$PRPSHEET: "Властивість"** та додаючи **Link to Property** з вкладки **PropertyManager** розділу **Text Format**.

					<i>\$PRPSHEET:{Позначення}</i>			
						Лім.	Маса	Масштаб
Змн	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	<i>\$PRPSHEET:{Найменування}</i>			
Розроб.		<i>\$PRPSHEET:{Розроб}</i>		05.11.2024		<i>\$PRPSHEET:{Маса}:1</i>		
Перев.		<i>\$PRPSHEET:{Перевірив}</i>						
Т.контр.		<i>\$PRPSHEET:{ТКонтр}</i>			Аркуш	Аркушів 1		
Н.контр.		<i>\$PRPSHEET:{Нконтр}</i>			<i>\$PRPSHEET:{Типорозмір}</i> <i>\$PRPSHEET:{Матеріал}</i>			<i>\$PRPSHEET:{Організація}</i>
Затверд.		<i>\$PRPSHEET:{Затвердив}</i>						
Копіював					Формат А3			

Рисунок 5.5 – Налаштування основного напису асоціативного кресленника

Налаштування основного напису асоціативного кресленника можна зберегти в шаблонах за допомогою шляху **File** → **Save Sheet Format...** і використовувати для майбутніх побудов.

На рисунку 5.6 показано результат використання збереженого шаблону асоціативного кресленника, який автоматично заповнює основний напис із властивостей тривимірної моделі. Зокрема обов'язково виконується редагування розмірів і розміщення заповнених граф.

					<i>08-64.КСП.ЛР.02.00.005</i>			
						Лім.	Маса	Масштаб
Змн	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	<i>Гайка</i>			
Розроб.		<i>Петров</i>		05.11.2024		<i>1.03</i>		
Перев.		<i>Піонткевич</i>						
Т.контр.					Аркуш	Аркушів 1		
Н.контр.					<i>Сталь 40X ДСТУ 7806:2015</i>			<i>ВНТУ</i>
Затверд.								
Копіював					Формат А3			

Рисунок 5.6 – Основний напис після використання шаблону та редагування

Заповнення граф основного напису можна також виконувати шляхом вписування кожного пункту вручну для кожної моделі. Однак, змінюючи вписані параметри, потрібно використовувати ручне редагування кожної зміни, що є затратним за часом.

В машинобудуванні у процесі креслення використовують різні типи ліній (рисунок 5.7), які відрізняються товщиною і виконанням та налаштовуються у вкладці **Line Style** у вікні **Document Properties**. Основними типами ліній є **Solid** (основна та суцільна тонка лінії, які відрізняються товщиною. Основні лінії відповідають за лінії видимого контуру, а суцільні тонкі лінії – за розмірні та виносні лінії), **Dashed** (штрихова для зображення невидимих контурів виробу), **Center** (штрихпунктирна тонка для зображення осьових і центральних ліній) та **Phantom** (штрихпунктирна з двома точками тонка для зображення виробів в проміжних положеннях, ліній згину на розгортках).

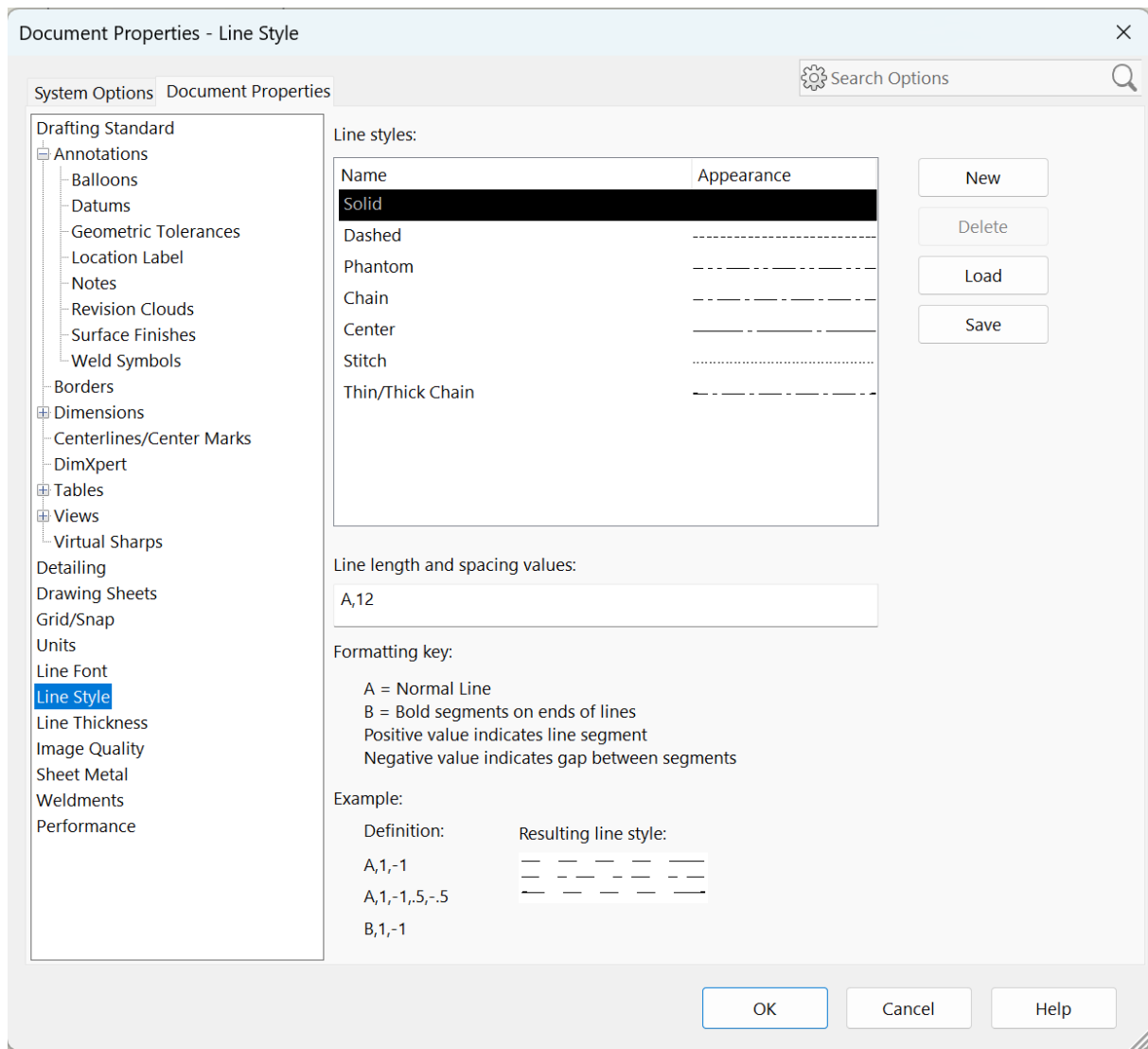


Рисунок 5.7 – Стилi лiнiй в SOLIDWORKS

Налаштування стилю та товщини лiнiй для конкретних геометричних елементiв кресленика показано на рисунку 5.8 у вкладцi **Line Front** у вiкнi **Document Properties**. Наприклад, для **Visible Edges** (видимих ребер) застосовують **Style** → **Solid**, **Thickness** → **0.5 mm**; для **Hidden Edges** (невидимих ребер) – **Style** → **Dashed**, **Thickness** → **0.18 mm**; для **Construction Curves** (кривi побудови) – **Style** → **Center**, **Thickness** → **0.18 mm**; для **Area hatch/fill** (область штрихування/заповнення) – **Style** → **Solid**, **Thickness** → **0.18 mm**.

Зображення виробiв мають виконуватися за методом прямокутного проектування. За основнi площини проєкцiй приймають шiсть граней куба, на якi може бути спроектований будь-який вирiб (рисунок 5.9) [8].

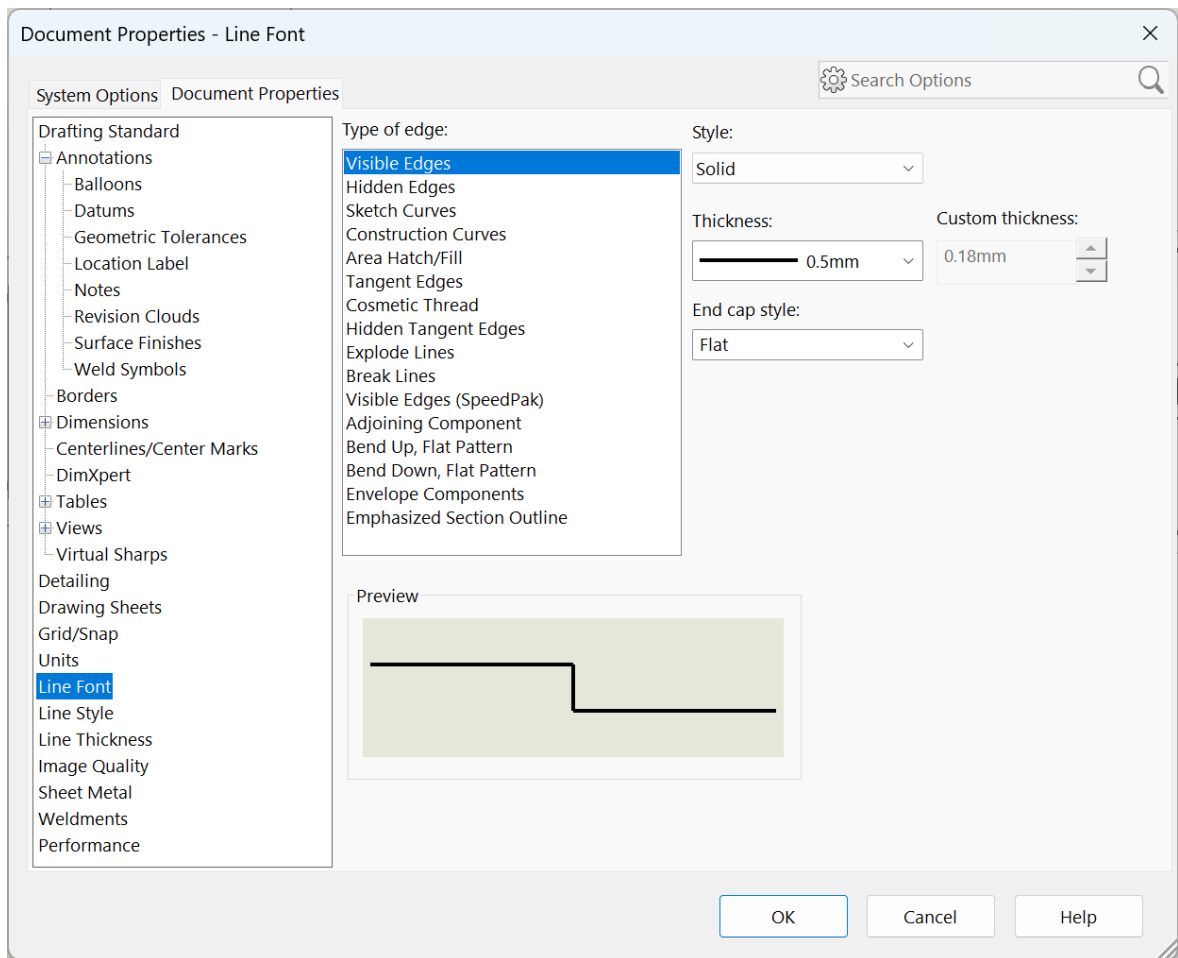


Рисунок 5.8 – Налаштування ліній елементів кресленника

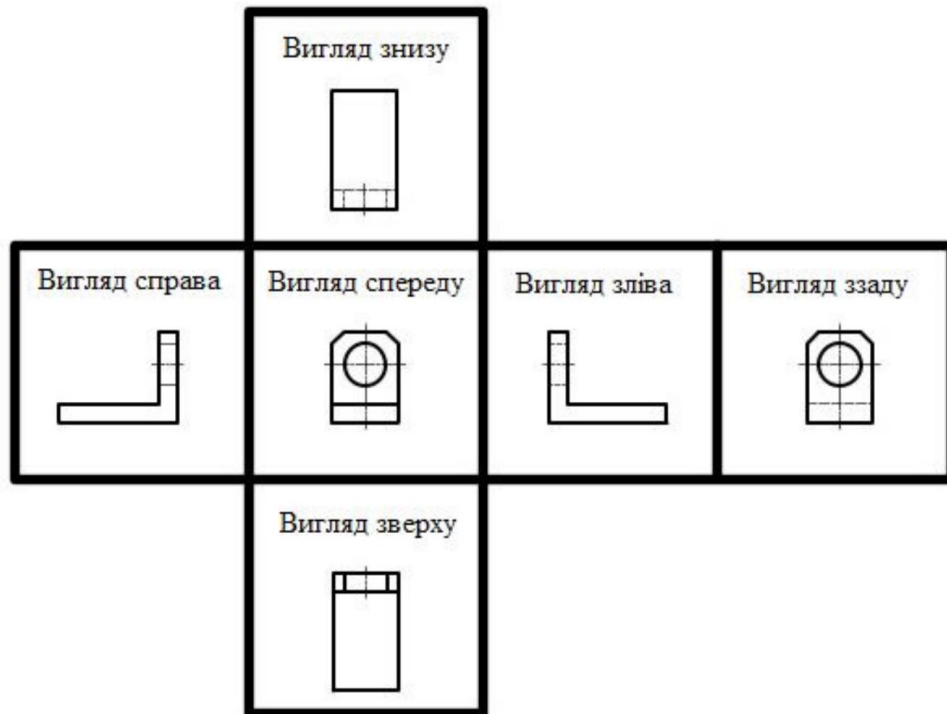


Рисунок 5.9 – Розташування основних виглядів

Для досягнення розміщення основних виглядів, як на рисунку 5.9, в налаштуваннях параметрів кресленика **Sheet Properties** (див. рисунок 5.2) потрібно в полі **Type of projection** вибрати позицію **First angle**. Крім цього варто враховувати, що число зображень на кресленнику має бути найменшим, але забезпечувати повне уявлення про виріб.

Зображення на кресленнику створюються за допомогою вкладки **Drawing** панелі інструментів **SOLIDWORKS** (рисунок 5.10). Так, для створення стандартних трьох виглядів виробу на кресленнику потрібно використати інструмент **Standard 3 View**, вибрати попередньо створену тривимірну модель, і **SOLIDWORKS** автоматично сформує основні вигляди на робочому полі кресленика. Результат використання інструмента **Standard 3 View** показано на рисунку 5.11.

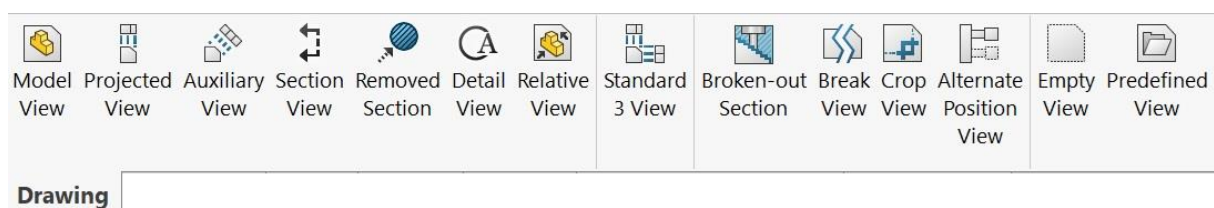


Рисунок 5.10 – Вкладка **Drawing** панелі інструментів

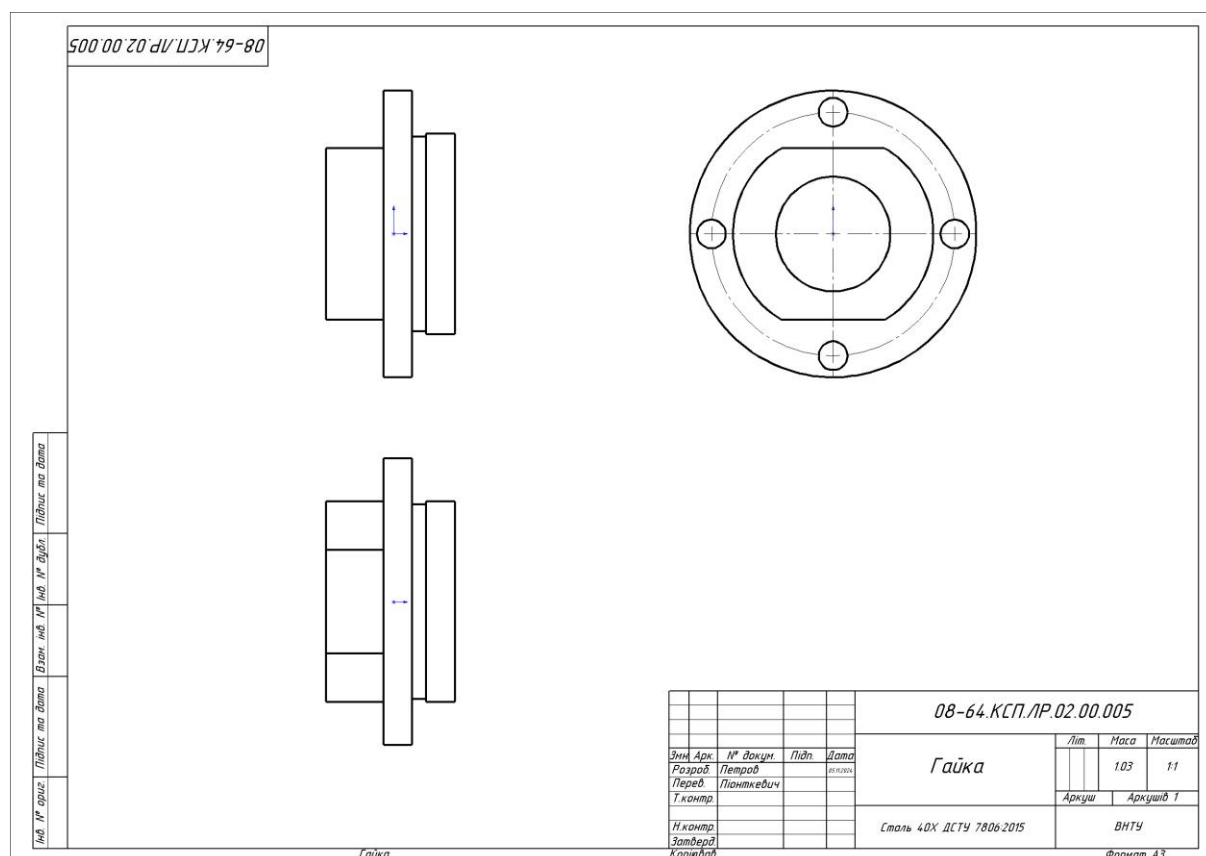


Рисунок 5.11 – Автоматична побудова трьох стандартних виглядів інструментом **Standard 3 View**

Схожий за властивостями інструмент **Model View**, але лише для одного вибраного вигляду виробу. При цьому сформований вигляд деталі можна розмістити в потрібному місці робочого поля SOLIDWORKS.

Після створення основного вигляду в робочому полі SOLIDWORKS можна створити різні проєкційні вигляди від нього за допомогою інструмента **Projected View**. А налаштування проєкційного зв'язку нового вигляду виконується за рахунок його контекстного меню та позицій **Alignment** → **Break Alignment**, **Default Alignment** та інші.

Інструмент **Auxiliary View** відповідає за створення вигляду виробу згідно з вибраним потрібним його ребром. В цьому випадку створюється позначення стрілочки з літерою, яка вказує напрям спостереження вигляду та робить відповідну проєкцію. Створений вигляд має зверху назву літери, яка була вказана на стрілочці, а також може містити в дужках масштаб, якщо він відрізняється від того, який вказано в основному написі.

За створення розрізів виробу відповідає інструмент **Section View**, а за створення перерізів – інструмент **Removed Section**. Розріз відрізняється від перерізу тим, що на вигляді розрізу показують січну площину та те, що розташовано за нею, а для перерізу – лише січну площину. Розрізи позначаються потовщеними лініями зі стрілочками та літерами. На створеному розрізі вказуються дві великі літери через дефіс, а також в дужках масштаб, якщо він відрізняється від того, що вказано в основному написі. Приклад виконаного розрізу А-А показано на рисунку 5.12 [2].

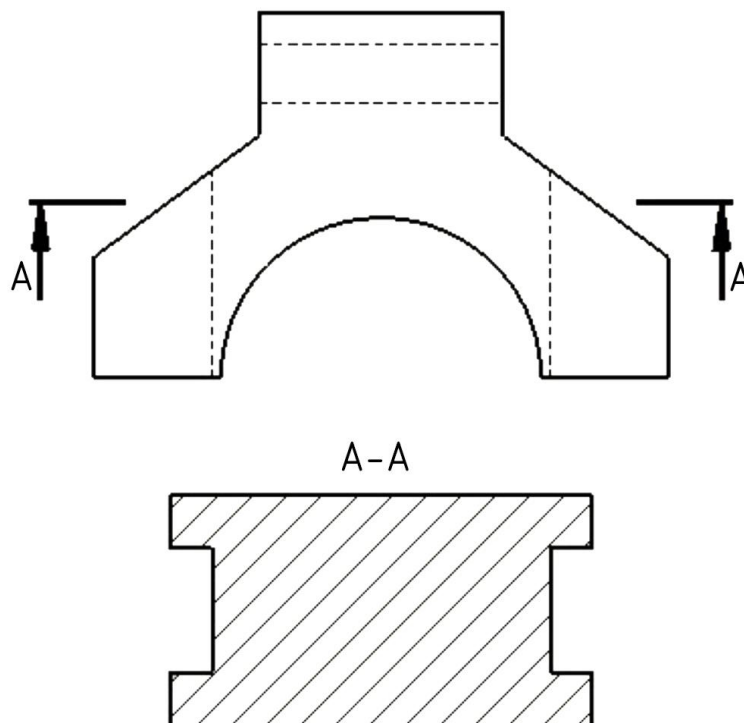


Рисунок 5.12 – Виконання розрізу А-А

Інструмент **Detail View** відповідає за виносні елементи. Це додаткове окреме зображення (зазвичай збільшене) частини виробу, яке вимагає графічного пояснення щодо форми, розмірів й інших даних (рисунок 5.13). Виносний елемент потрібно розташовувати ближче до відповідного місця на зображенні виробу. Це місце позначають замкнутої суцільною тонкою лінією (коло, овал тощо) з позначенням літери на полиці лінії-виноски. Виносний елемент забезпечується написом: літерою, яка була присвоєна у процесі побудови місця позначення та в дужках масштабом, якщо виконаний виносний елемент має відмінне значення від масштабу основного напису.

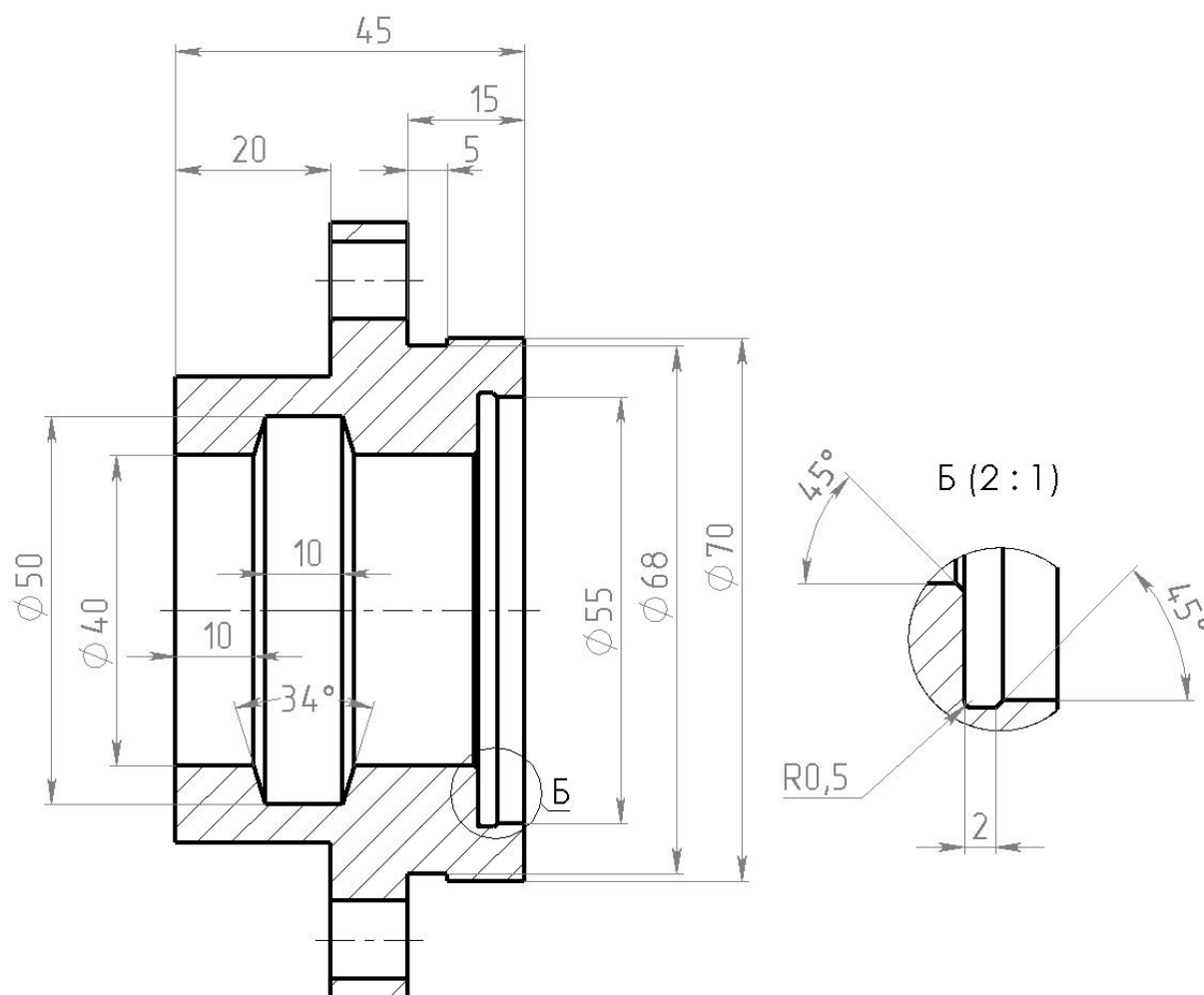


Рисунок 5.13 – Виконання виносного елемента Б

За створення винесеного вигляду відповідає інструмент **Broken-out Section**. Цей інструмент аналогічний створенню місцевого вигляду, тільки задається контур вигляду і глибина (або гранична лінійна кромка) вирізу (рисунок 5.14) [2]. Після створення винесеного вигляду виділена площа виробу заштриховується, де присутній матеріал. Винесений вигляд

дозволяє показати внутрішні елементи виробу, не вдаючись до створення додаткових виносних елементів чи розрізів.

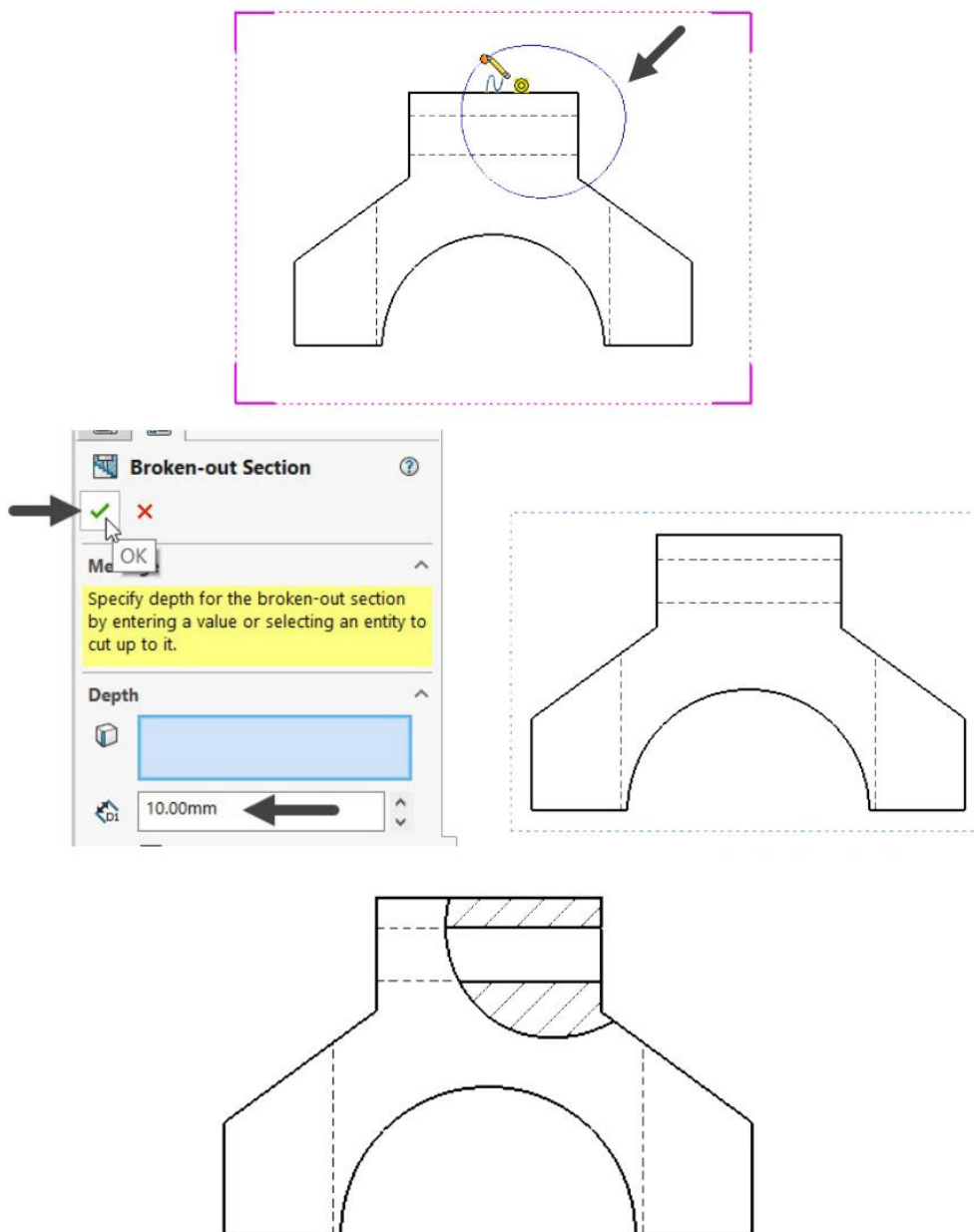


Рисунок 5.14 – Виконання інструмента **Broken-out Section**

В процесі креслення занадто довгих виробів використовують інструмент **Break View**, який забезпечує видалення виділеної частини виробу (рисунок 5.15) [2]. Після активації інструмента виділяють частину виробу двома хвилястими тонкими лініями під позиціями 1 та 2. Ділянка між хвилястими тонкими лініями буде видалена, а між ними сформується зазор, який можна налаштувати через параметр **Gap size**. Кількість таких виділених частин виробу визначається конструктором для наочного відображення всіх потрібних геометричних елементів виробу.

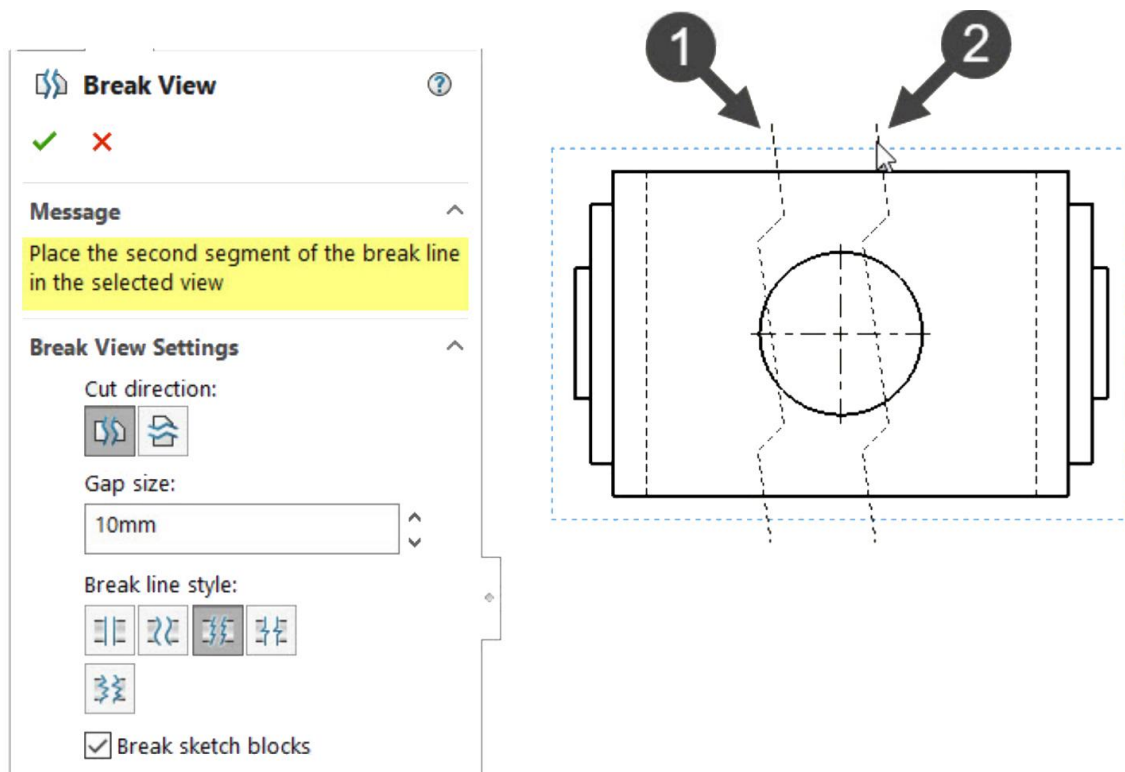


Рисунок 5.15 – Використання інструмента **Break View**

Вкладка **Annotation** (рисунок 5.16) панелі інструментів **SOLIDWORKS** відповідає за налаштування та позначення розмірів, позицій, шорсткості, зварних швів, осей та елементів вимог до точності.

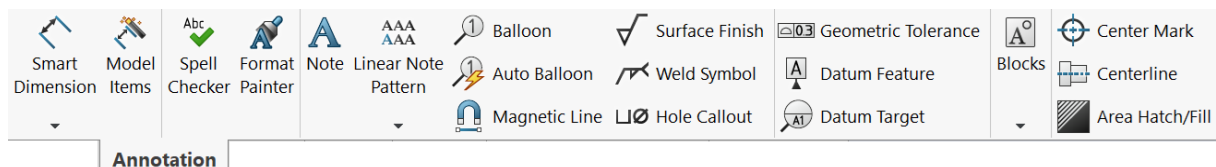


Рисунок 5.16 – Вкладка **Annotation** панелі інструментів

Інструмент **Smart Dimension** відповідає за нанесення розмірів на кресленику при послідовному їх нанесенні [2], а для автоматичного нанесення всіх можливих розмірів використовують інструмент **Model Items**. Однак інструмент **Model Items** добре працює для нескладних виробів з малою кількістю розмірів. В іншому випадку складно відрегулювати розташування розмірів, які створені автоматичним шляхом. Для правильного розташування розмірів на кресленику варто ознайомитися з правилами їх нанесення [12].

Додавання написів на кресленику відбувається за допомогою інструмента **Note**. Властивості інструмента **Note** дозволяють змінювати формати тексту, додавати символи, стрілки для вказання на елементи виробу.

Інструмент **Balloon** відповідає за додання виносок до компонентів виробу. Досить активно застосовують інструмент **Auto Balloon** для автоматичного формування виносок до компонентів виробу. Ці інструменти забезпечують ефективне виконання складальних креслеників.

Додавання та налаштування позначень шорсткості поверхні забезпечується інструментом **Surface Finish** (рисунок 5.17). У процесі з'являються можливості редагувати стиль напису, вибрати позначення шорсткості, вказати потрібні параметри та забезпечити позиціонування під потрібним кутом чи зі стрілочкою.

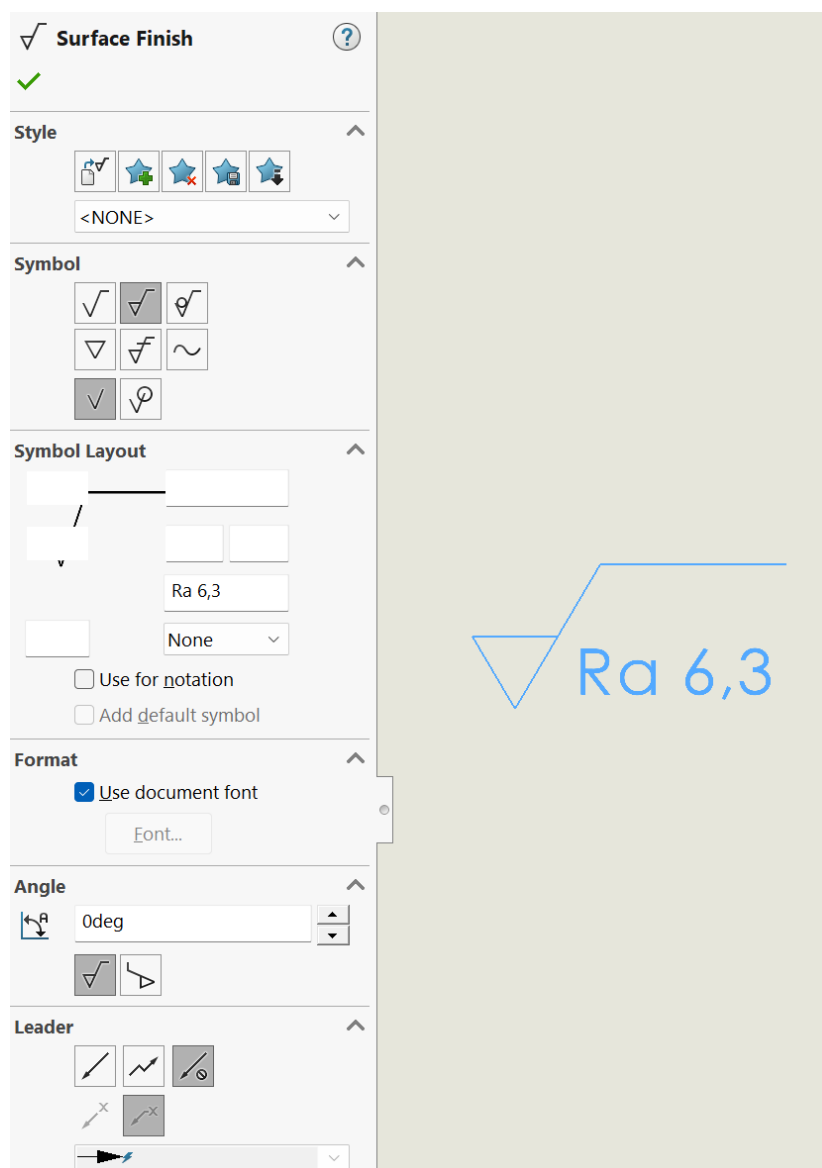


Рисунок 5.17 – Налаштування властивостей інструмента **Surface Finish**

Налаштування виносок для позначення зварних з'єднань відбувається через інструмент **Weld Symbol** (рисунок 5.18). Тоді ж з'являється можливість налаштувати тип стрілочки, використати потрібні позначення швів зварювання, редагувати текст й інші.

За позначення допусків форми та розташування поверхонь відповідає інструмент **Geometric Tolerance** (рисунок 5.19). Інструмент **Geometric Tolerance** має інтуїтивні налаштування для вибору потрібного позначення допуску, налаштування його параметрів, виноска, належність до відповідної бази. Основні норми для налаштування допусків форми та розміщення поверхонь подано в стандарті [13].

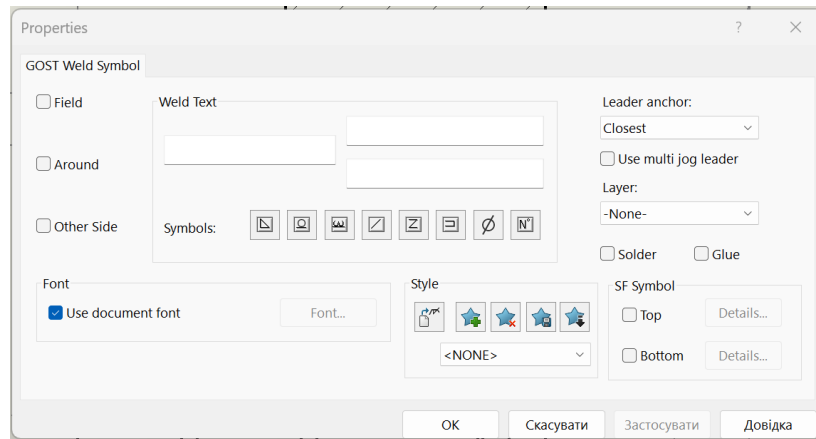


Рисунок 5.18 – Діалогове вікно налаштування позначень зварних швів

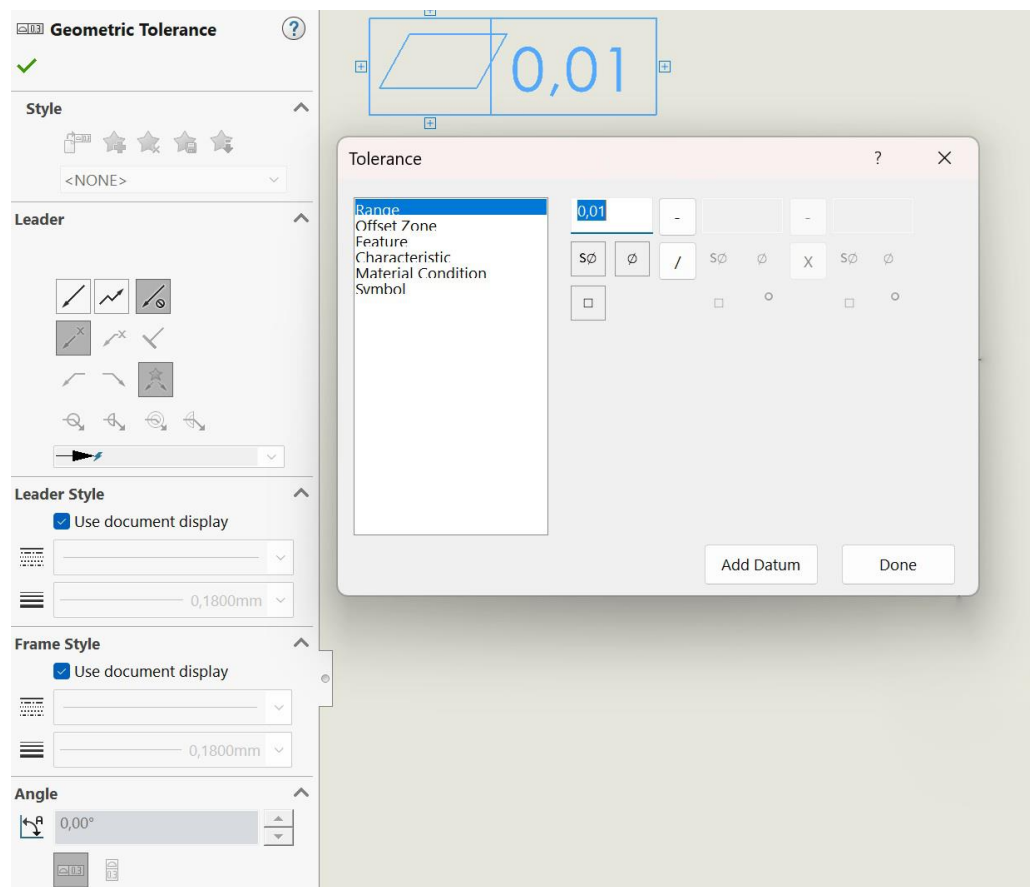


Рисунок 5.19 – Налаштування інструмента **Geometric Tolerance**

Позначення баз на кресленнику відбувається інструментом **Datum Feature**. Основні налаштування інструмента **Datum Feature** наведено на рисунку 5.20.

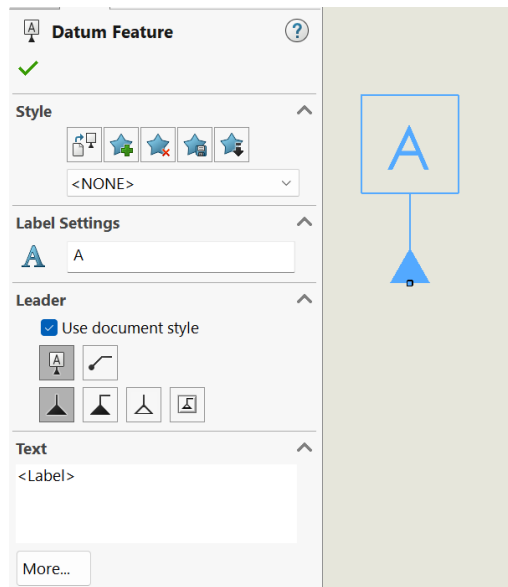


Рисунок 5.20 – Налаштування інструмента **Datum Feature**

В SOLIDWORKS за замовчуванням для циліндричних поверхонь та симетричних виробів передбачено автоматичне нанесення осьових ліній. Для нанесення осьових ліній вручну використовують інструменти **Center Mark** та **Centerline**. Інструмент **Center Mark** відповідає за нанесення осьових ліній для кіл, овалів, пазів та інше (рисунок 5.21), а інструмент **Centerline** забезпечує ручне нанесення центральної лінії між двома ребрами або елементами ескізу.

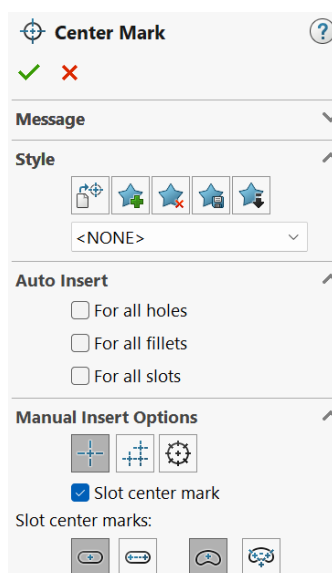


Рисунок 5.21 – Налаштування інструмента **Center Mark**

Ручне нанесення штриховки або заливки передбачено інструментом **Area Hatch/Fill** (рисунок 5.22). У властивостях **Properties** передбачено вибір вигляду штриховки, її щільність і кут нахилу, а також розташування.

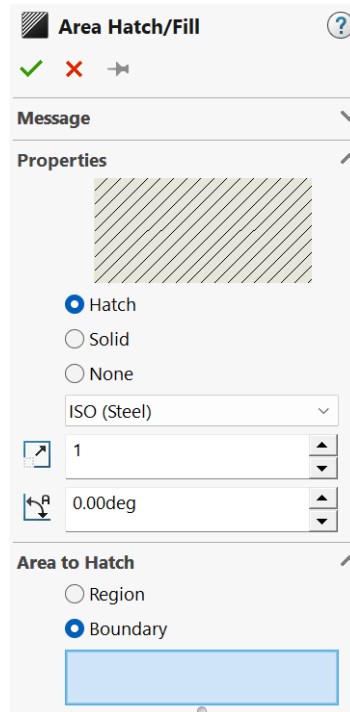


Рисунок 5.22 – Налаштування інструмента **Area Hatch/Fill**

5.2 Командні завдання до виконання лабораторної роботи № 5

Завдання до лабораторної роботи № 5 заплановано до виконання в команді здобувачів. Команда здобувачів складається максимум з 2-х осіб, оскільки, за умовою завдань, потрібно підготувати тривимірну модель виробу (передбачено виконання одним здобувачем) і провести оформлення робочого кресленика цього ж виробу (передбачено виконання іншим членом команди) з відповідними нанесеними розмірами, допусками, шорсткістю та технічними вимогами.

Команда формується після ознайомлення з теоретичним матеріалом до лабораторної роботи перед її виконанням. Про сформування команди здобувачів потрібно повідомити викладача щоб отримати варіант завдання.

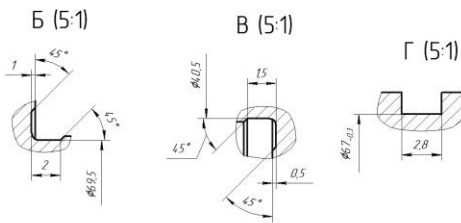
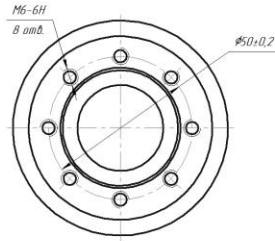
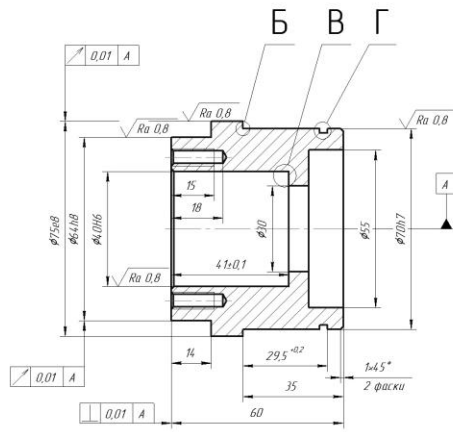
У процесі виконання завдання здобувачі в команді можуть допомагати один одному та перевіряти правильність застосування відповідних інструментів для проєктування тривимірної моделі з робочим креслеником.

Після виконання завдань в основному написі вказується номер команди для звітності.

ОБОВ'ЯЗКОВО!!! В основному написі має бути вказана маса виробу, крім інших відповідних позначень.

60N шнуров

$\sqrt{Ra\ 6,3}$ (✓)

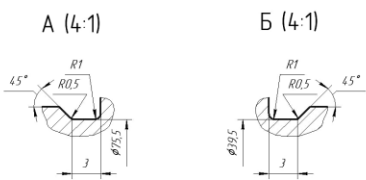
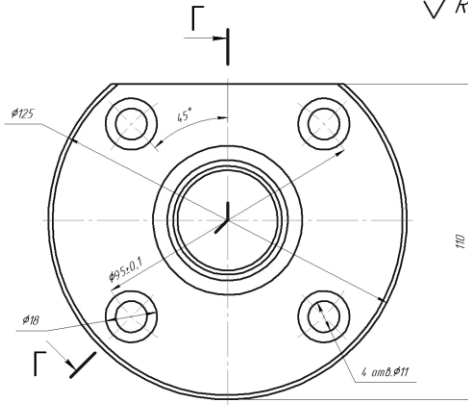
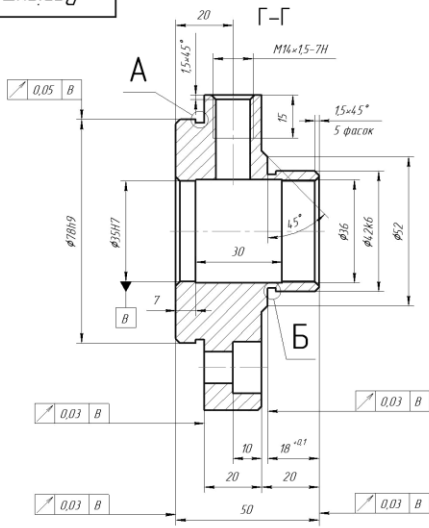


1. H14; h14; $\pm \frac{12}{100}$.
2. Покриття: Хім. Окс. Прм.

					Варіант №9				
Знак	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	Ступиця		Лит.	Маса	Масштаб
Резьбод.							Н		1:1
Легуєвр.							Аркуси	Аркуси	Г
Іконтр.									
Нижнотр.					Сталь 45 ДСТУ 7809:2015				ВНТУ
Затвед.									

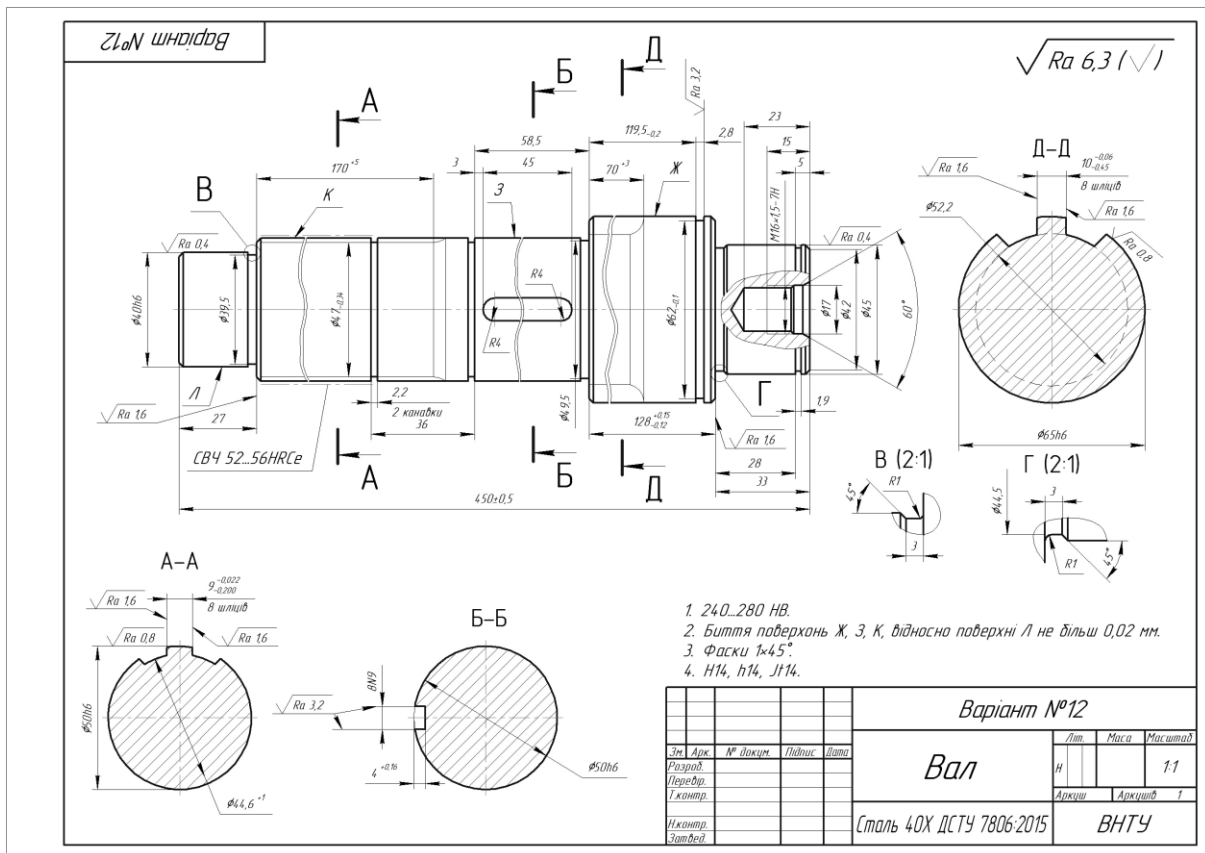
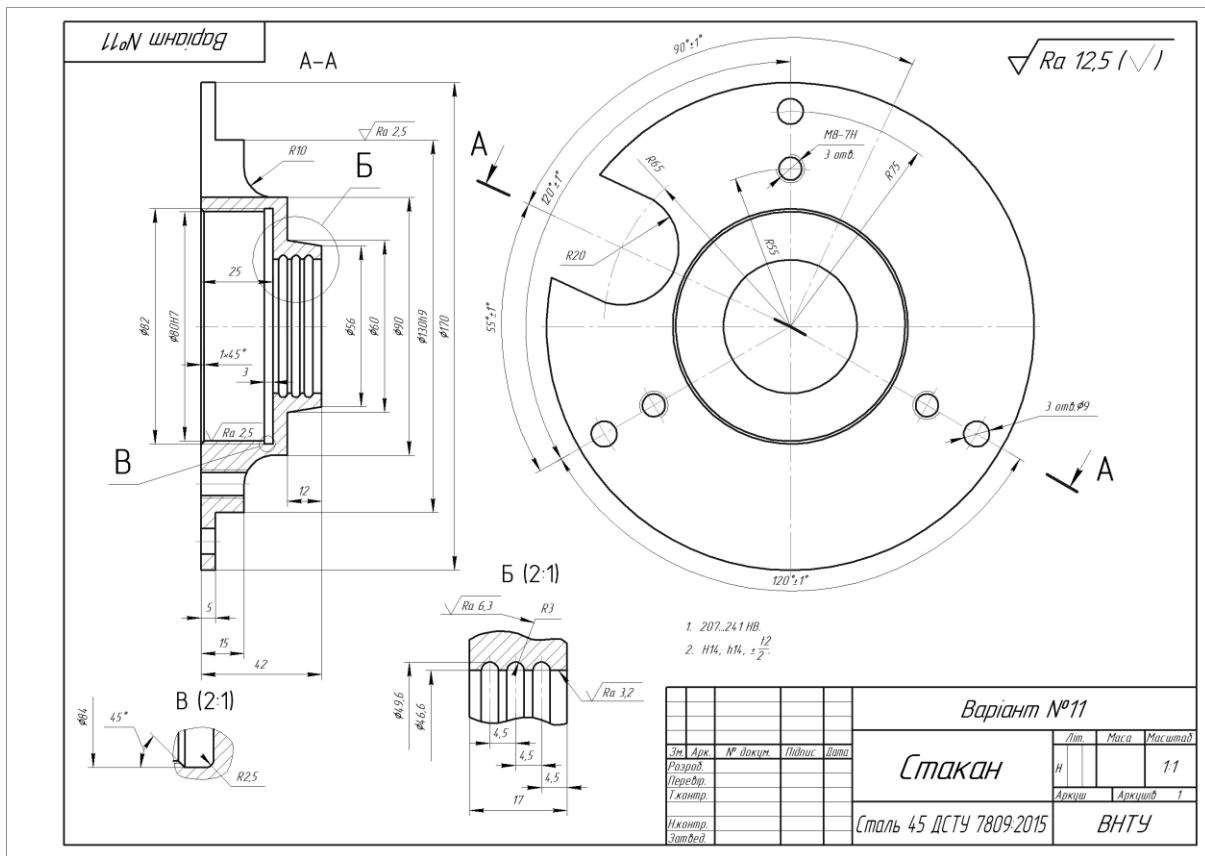
60N шнуров

$\sqrt{Ra\ 6,3}$ (✓)



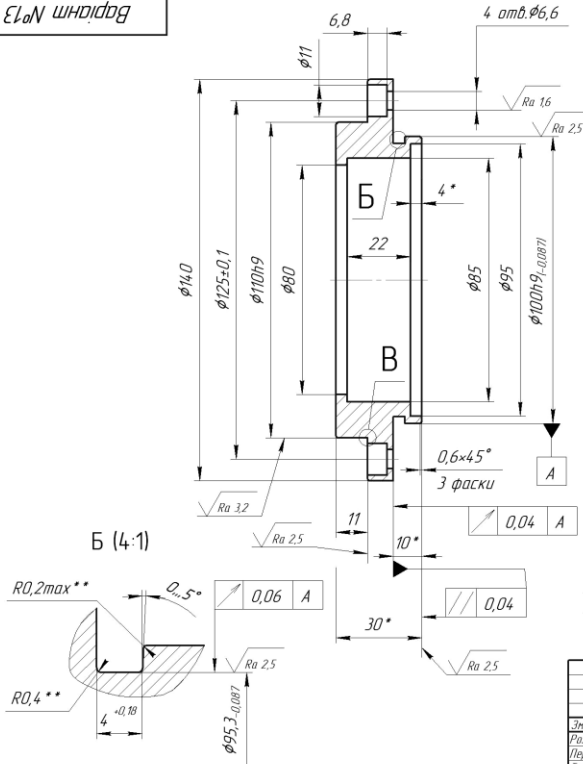
1. 207...241 HB.
2. H14; h14; $\pm \frac{12}{100}$.

					Варіант №10				
Знак	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	Фланець		Лит.	Маса	Масштаб
Резьбод.							Н		1:1
Легуєвр.							Аркуси	Аркуси	Г
Іконтр.									
Нижнотр.					Сталь 40X ДСТУ 7806:2015				ВНТУ
Затвед.									



Варіант №13

$\sqrt{Ra\ 6,3}$ (✓)

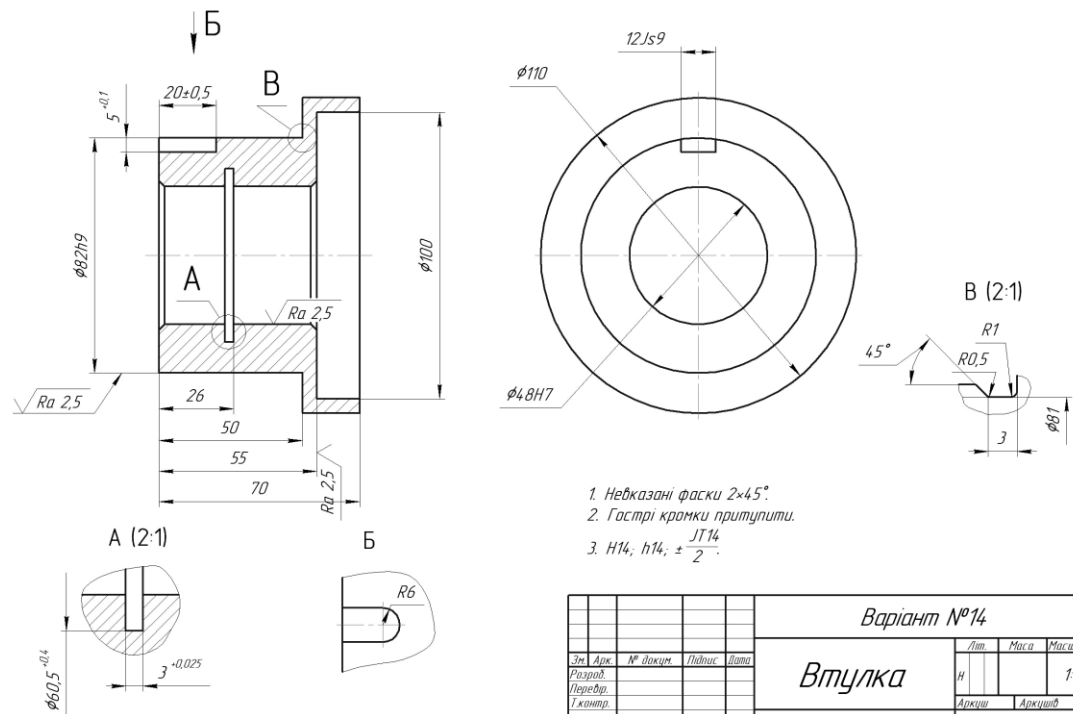


- *Разміри з припуском на підгонку.
- **Разміри забезпечуються інструментом.
- Притупити гострі кромки

Варіант №13				Лист	Маса	Масштаб
Знак	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	Кришка	
Резьб.	Лист	Маса	Масштаб	1:1		
Лист	Арх.	Арх.	Арх.	Сталь 45 ДСТУ 7809:2015		
Лист	Арх.	Арх.	Арх.	ВНТУ		

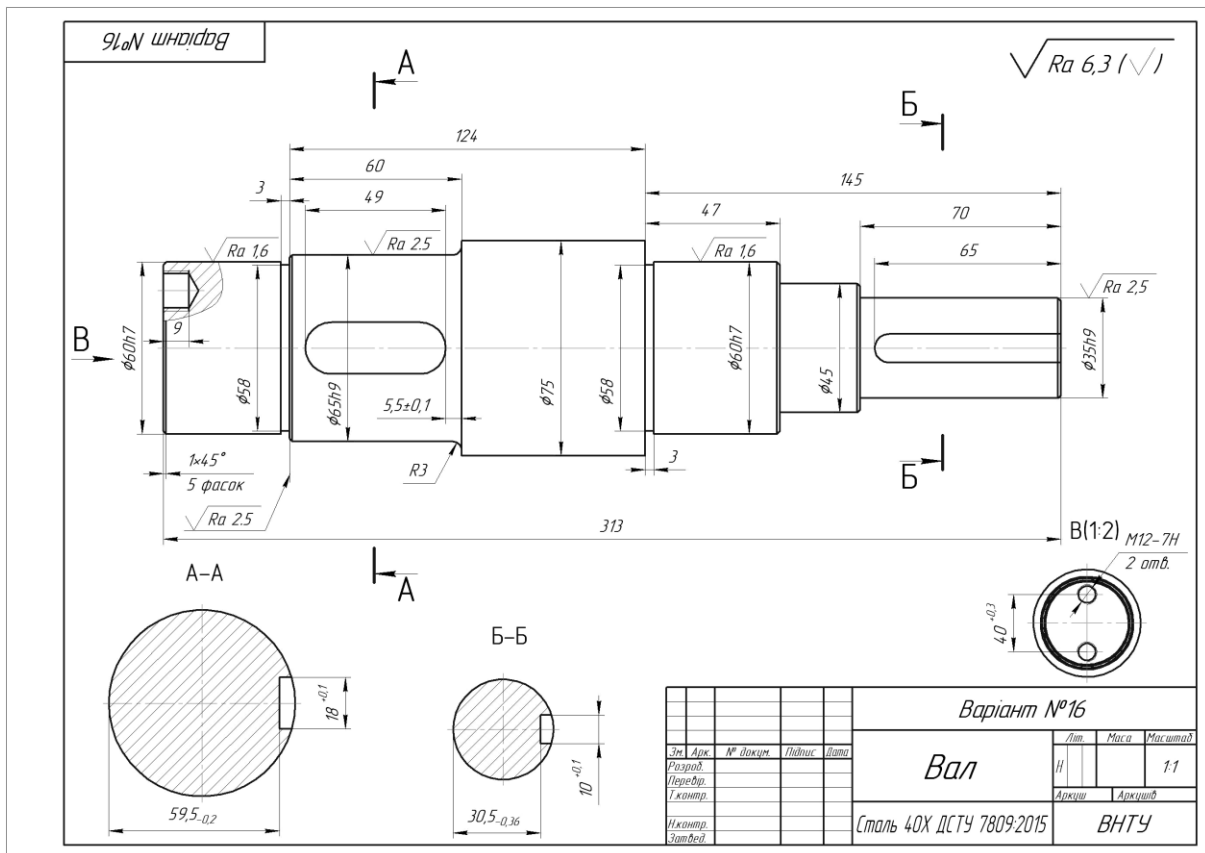
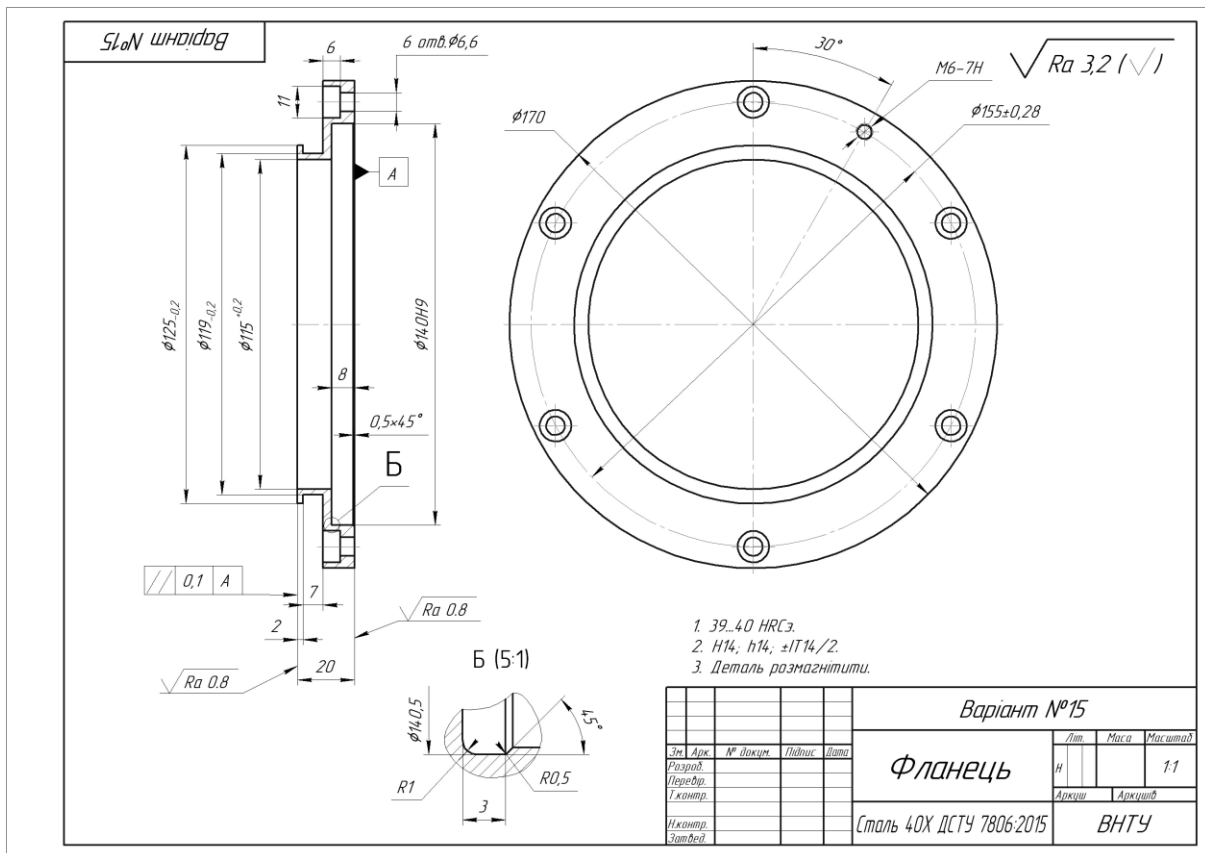
Варіант №14

$\sqrt{Ra\ 6,3}$ (✓)

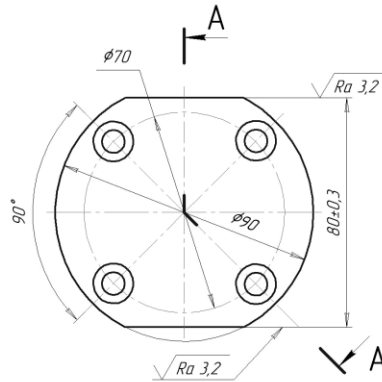
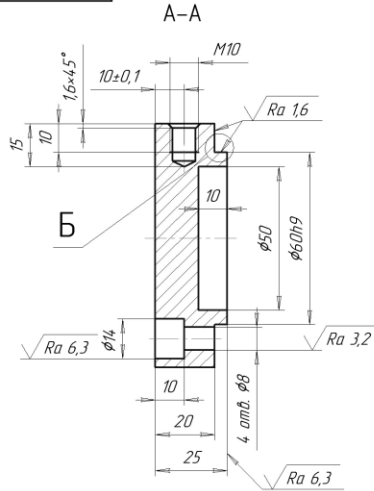


- Невказані фаски 2×45°.
- Гострі кромки притупити.
- H14; h14; ± 2⁻¹.

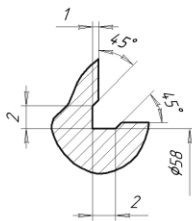
Варіант №14				Лист	Маса	Масштаб
Знак	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	Втулка	
Резьб.	Лист	Маса	Масштаб	1:1		
Лист	Арх.	Арх.	Арх.	Сталь 20Х ДСТУ 7806:2015		
Лист	Арх.	Арх.	Арх.	ВНТУ		



Варіант №17



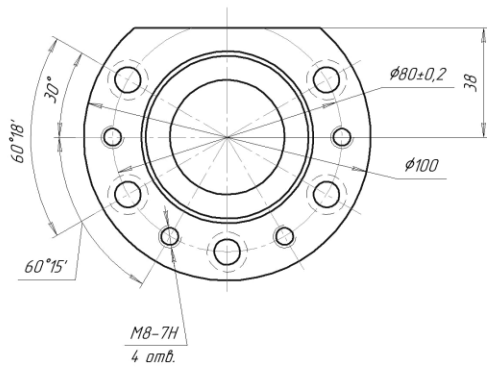
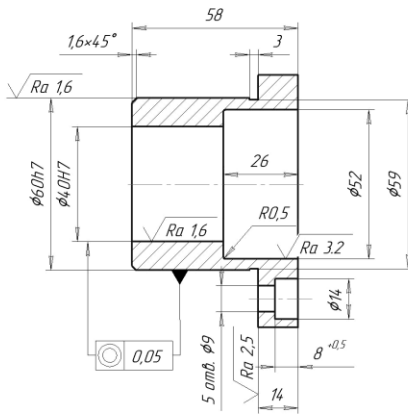
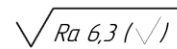
Б(4:1)



1. Гострі кромки притупити.
2. H14, h14, ±IT14/2

					Варіант №17		
Знак	Арку	№ докум.	Підпис	Дата	Лист	Маса	Масштаб
					Кришка		1:1
					Аркуси	Аркуси	Г
					Сталь 45 ДСТУ 7809:2015		ВНТУ

Варіант №18

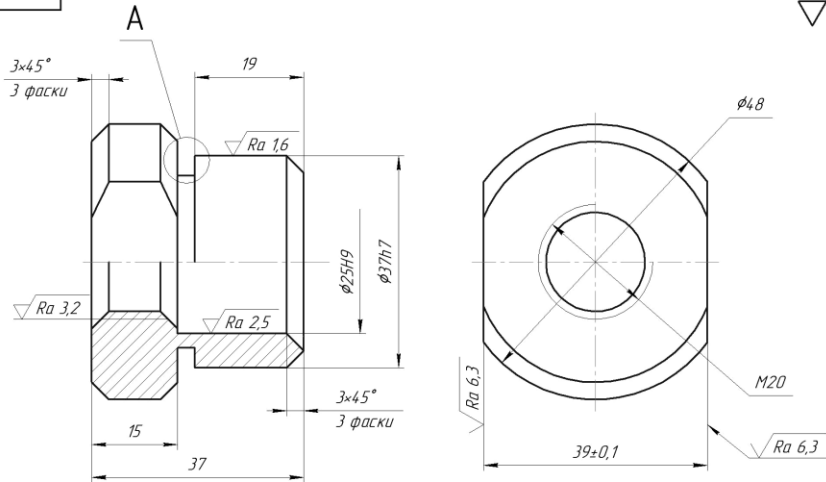


1. Гострі кромки притупити.
2. H14, h14, ±IT14/2.

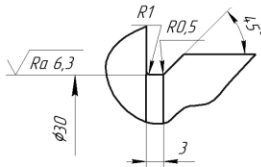
					Варіант №18		
Знак	Арку	№ докум.	Підпис	Дата	Лист	Маса	Масштаб
					Фланець		1:1
					Аркуси	Аркуси	Г
					Сталь 45 7809:2015		ВНТУ

Варіант №19

$\sqrt{Ra 12,5}$



A(4:1)

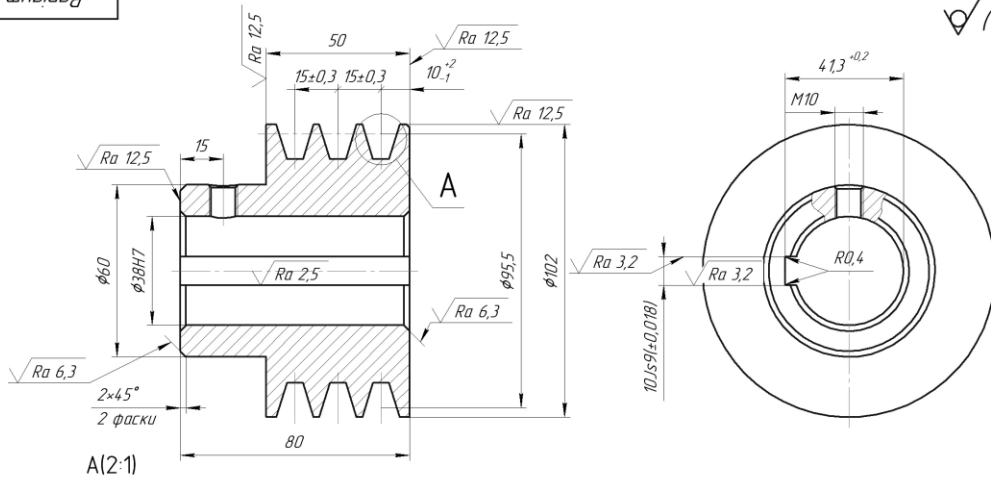


1. Гострі кромки притупити.
2. H14; h14; ±IT14/2.

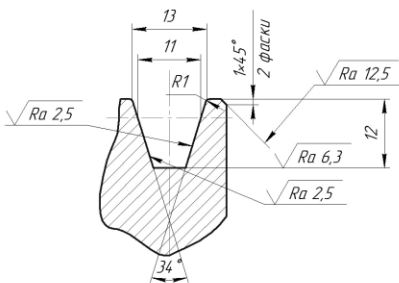
					Варіант №19		
Знак	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	Лист	Маса	Масштаб
					Штуцер		2:1
					Аркуси	Аркуси	
					Сталь ДСТУ 2651-94		ВНТУ

Варіант №20

$\sqrt{Ra 12,5}$



A(2:1)



1. Гострі кромки притупити.
2. H14; h14; ±IT14/2.

					Варіант №20		
Знак	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	Лист	Маса	Масштаб
					Шків		1:1
					Аркуси	Аркуси	
					Сталь 40 ДСТУ 7809:2015		ВНТУ

5.3 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з теоретичними відомостями до лабораторної роботи.
2. Сформувати команди для вирішення завдання.
3. В звіті вказати тему та мету роботи.
4. Ознайомитися з описом роботи та завданням. Розподілити обов'язки в команді для ефективного виконання завдання.
5. Виконати тривимірну модель виробу за варіантом завдання. Також обов'язково вказати потрібні атрибути у вікні **Properties** у вкладці **Custom**. Вибрати матеріал виробу згідно з завданням (дозволяється вибрати аналог матеріалу згідно зі стандартами ISO або DIN).
6. Виконати робочий кресленик згідно з завданням із тривимірної моделі. Зокрема мають бути нанесені всі потрібні розміри, допуски форми та розташування поверхонь, шорсткість і технічні вимоги. В основному написі мають бути вказані основні атрибути тривимірної моделі, маса виробу та номер команди.
7. Дати відповіді на контрольні питання.
8. Завершити виконання звіту для лабораторної роботи формуванням висновків. У висновках вказати інструменти програми SOLIDWORKS, які вдалося опанувати, та отримані у процесі виконання лабораторної роботи навички.

5.4 Контрольні питання

1. Які існують формати креслеників?
2. Які габарити основного напису першого аркуша кресленика згідно з ДСТУ ГОСТ 2.104:2006?
3. Скільки існує груп фіксованих масштабів?
4. Які типи ліній використовують у процесі оформлення креслеників?
5. В чому суть методу прямокутного проєктування?
6. Які інструменти входять до вкладки **Drawing** на панелі інструментів програми SOLIDWORKS?
7. Які інструменти входять до вкладки **Annotation** на панелі інструментів програми SOLIDWORKS?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

ЛИСТОВЕ ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ТА ЇХ КРЕСЛЕНИКИ

Мета роботи. Вивчення методів побудови листових тривимірних моделей та виконання їхніх креслеників із зображенням розгортки в системі автоматизованого проєктування SOLIDWORKS.

6.1 Короткі теоретичні відомості

Виготовлення деталей з листового металу є одним із найбільш використовуваних методів в машинобудуванні, тому що вироби з листового металу займають левову частку виробництва [14]. Згинання листового металу – це фундаментальний процес зміни форми металевого листа шляхом вигину в напрямку лінійної осі, також відомий як пресування чи штампування. Ця універсальна технологія дозволяє отримати різні типи профілів: V-подібний, U-подібний та більш складні конфігурації, що дає можливість виготовляти компоненти для таких галузей промисловості: автомобільна, аерокосмічна чи будівельна. Потрібно зрозуміти фізику процесу згинання листового металу, щоб правильно проєктувати вироби [15].

Згинання у формі та листозгинальний прес – це два основних методи, які переважають в операціях згинання листового металу. Кожен метод має унікальні переваги й підходить для конкретних виробничих сценаріїв.

Згинання у формі застосовується для деталей зі складною геометрією та структурою, підходить для серійного виробництва. У цих процесах використовуються штампи, розроблені за індивідуальним замовленням, що дозволяє отримувати точні, повторювані форми їх поверхні, забезпечуючи стабільну якість деталей.

Згинання на листозгинальному пресі застосовуються як для великих конструкцій, так і для малогабаритних деталей з листового металу. Висока швидкість переналаштування операції, що дозволяє за короткий час переходити від одного профілю вигину до іншого. Має значну економічність у разі малих і середніх обсягів виробництва. Досягається високий контроль за кутами та радіусами вигину завдяки регульованому оснащенню.

Протягом операції згинання листового металу відбувається деформація заготовки таким чином, щоб вона прийняла потрібну форму. Так, одна частина листа металу змінює своє положення щодо іншої на певний кут по лінії контакту з пуансоном. Щоб деформація відбулася правильно, потрібно зробити певні розрахунки та врахувати фізико-механічні властивості матеріалу.

Найбільш поширені листові деталі зі сталі: м'яка сталь (низьковуглецева сталь має в складі від 0,05% до 0,25% вуглецю, забезпечує гарну гнучкість та зварюваність, однак потребує додаткового покриття, бо легко піддається корозії); нержавіюча сталь – це сталь, що легована хромом більше як 10%, характеризується гарною пластичністю та корозійною стійкістю; високоміцна низьколегована сталь (HSLA) – сталь, що характеризується підвищеною міцністю та сформованістю порівняно з низьковуглецевою сталлю, що досягається за рахунок легуючих елементів ніобію або ванадію. Велику популярність мають листові деталі на основі алюмінієвих сплавів, оскільки досягається оптимальний баланс між малою вагою, корозійною стійкістю та пластичністю. Широко розповсюджені також листові деталі з міді та її сплавів, які мають високу електропровідність, терморегульовальні властивості та гарну пластичність.

Операції зі згинання листового матеріалу мають відповідати певним міжнародним стандартам для забезпечення якості та безпеки. Для згинання листового матеріалу потрібно розглянути такі стандарти ISO (та українські аналоги ДСТУ): [16] стандарт встановлює вимоги до методів термічного різання, що охоплює лазерне та плазмове різання листового металу, які часто використовують перед операціями згинання; [17] стандарт визначає методи механічних випробувань, які використовуються для перевірки структури цілісності та механічних властивостей листових металів; [18] стандарт описує метод випробування металевих матеріалів на згин для оцінки пластичності листових деталей; [19] стандарт встановлює метод випробування металевих матеріалів на розтяг при контактній температурі та дає інформацію, яка впливає на процес згинання.

Технологія згинання листового металу вимагає наявності спеціального устаткування. До того ж, після використання такого устаткування спостерігається мінімальна ймовірність виникнення тріщин й інших механічних дефектів. Лабораторна робота буде зорієнтована в напрямку операцій на листозгинальному верстаті. Існують дві категорії листозгинальних верстатів: звичайні та з числовим програмним керуванням.

Основними інструментами для згинання є згинальний пуансон в верхній формі та V-подібна матриця в нижній формі (рисунок 6.1). Розрізняють різні типи пуансонів та матриць (рисунок 6.2) залежно від форми деталі. Крім цього, спеціалізоване виробництва може виготовляти на замовлення унікальні типи форми для вирішення складних задач із згинання металу. V-подібна матриця в нижній формі характеризується шириною розкриття жолоба матриці V та визначається за формулою (6.1):

$$V \approx 6 \times s \text{ [мм]}, \quad (6.1)$$

де s – товщина матеріалу.

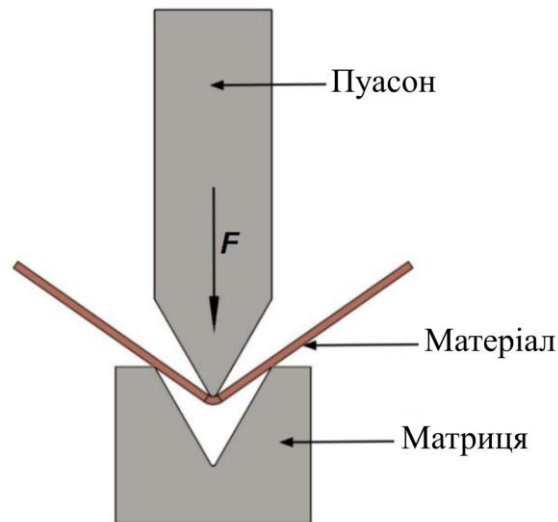


Рисунок 6.1 – Основні інструменти для згинання

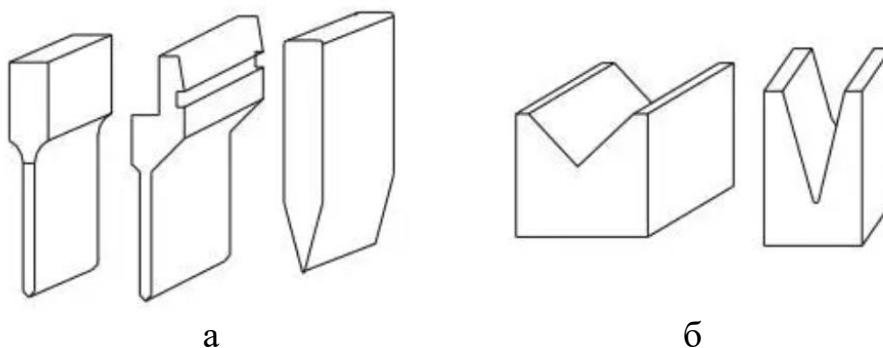


Рисунок 6.2 – Типи пуансонів (а) та матриць (б)

Основний принцип роботи листозгинального верстата полягає в тому, що на матрицю встановлюють листовий метал та тиснуть зверху пуансоном для формування необхідного кута згину. При цьому потрібно враховувати такі параметрами (рисунок 6.3): s – товщина листового метала, V – ширина розкриття жолоба матриці, B – мінімальна ширина зігнутої сторони, R – мінімальний внутрішній радіус, F – діюче зусилля на 1 метр.

На листозгинальних верстатах зазвичай вказані таблиці для визначення необхідного зусилля для згинання 1 метра сталі з границею плинності 420 Н/мм^2 під кутом 90° (приклад показано в таблиці 6.1). Однак (залежно від зміни параметрів операції згинання) вводять відповідні корективи [14].

Корекція зусилля згинання F (кН/м) залежно від виду матеріалу:

- при згинанні нержавіючої сталі з границею плинності 700 Н/мм^2 потрібно $F \times 1,7$;
- при згинанні алюмінієвих сплавів із границею плинності 200 Н/мм^2 потрібно $F \times 0,5$.

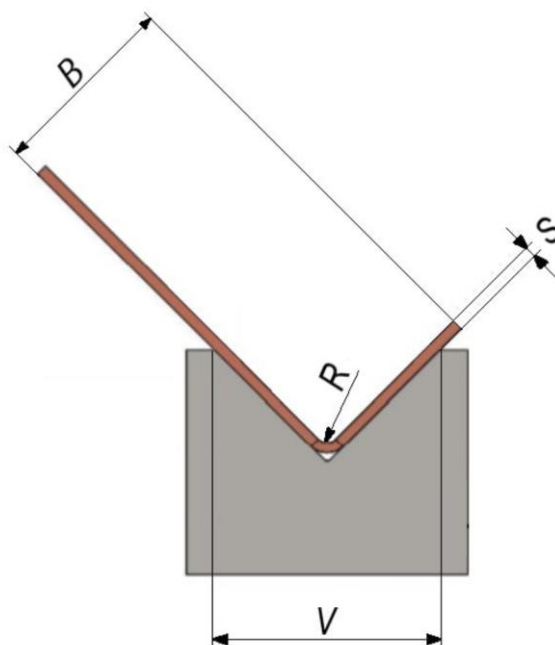


Рисунок 6.3 – Основні параметри, які потрібні для розрахунків листового згинання

Таблиця 6.1 – Зусилля листозгинального верстата для заготовки довжиною 1 метр із границею плинності 420 Н/мм² під кутом 90°

[σ] = 420 Н/мм ²															
s, мм	4	5	6	8	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	V, мм
	3,0	3,5	4,0	5,5	6,5	8,0	10,5	13,0	16,5	21,0	26,0	32,5	41,0	52,0	B, мм
	0,5	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5	2,0	2,5	3,2	4,4	5,0	6,5	8,0	10,0	R, мм
0,6	60	50	30	20											F, кН/м
0,8	120	90	70	50	40										
1		150	110	80	60	50									
1,2			180	120	90	70	50								
1,5				210	150	120	80	60							
2					300	230	160	120	90						
2,5						390	270	200	140	110					
3							430	310	230	160	120				
4								600	440	320	230	180			
5									760	540	390	290	220		
6										850	620	450	330	250	
8											1210	880	700	460	
10												1510	1090	790	
12													1730	1240	
15														2130	

Корекція мінімальної ширини зігнутої сторони B (мм) залежно від кута згинання:

- при 30° – $B \times 1,6$;
- при 60° – $B \times 1,1$;
- при 90° – $B \times 1,0$;
- при 120° – $B \times 0,9$;
- при 150° – $B \times 0,7$.

Корекція мінімального внутрішнього радіуса R (мм) залежно від матеріалу:

при згинанні алюмінієвих сплавів $R \times 0,7$;

при згинанні низьковуглецевої сталі $R \times 1,0$;

при згинанні нержавіючої сталі $R \times 1,4$;

Однак у процесі операції згинання, навіть якщо врахувати попередні рекомендації, може спостерігатися ефект пружного відскоку [20] (рисунок 6.4). Величина кута пружного відскоку розраховується за формулою (6.2):

$$\Delta\alpha = b - a \text{ [град]}, \quad (6.2)$$

де b – фактичний кут нахилу поверхонь деталі після пружного відскоку,
 a – кут нахилу поверхонь деталі в притиснутому стані.

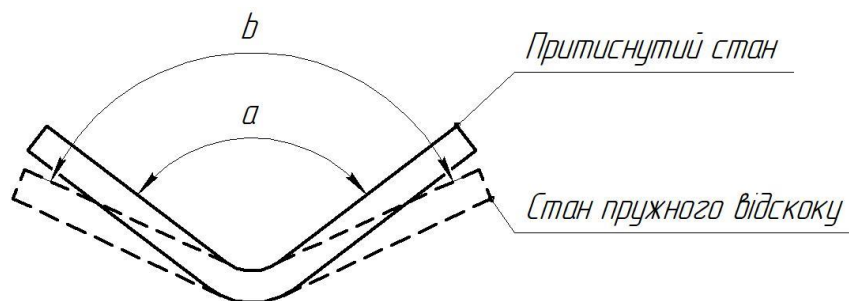


Рисунок 6.4 – Діаграма згинання і пружного відскоку

Кут пружного відскоку при згинанні на 90° листової заготовки потрібно враховувати за рекомендаціями в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Кут пружного відскоку при згинанні деталі на 90°

Матеріал	Співвідношення R/s	Товщина s , мм		
		<0,8	0,8-2	>2
Низьковуглецева сталь	<1	4°	2°	0°
Латунь $[\sigma]=350$ МПа	1-5	5°	3°	1°
Алюмінієві сплави, цинк	>5	6°	4°	2°
Середньовуглецева сталь $[\sigma]=400-500$ МПа	<1	5°	2°	0°
Мідь $[\sigma]=350-400$ МПа	1-5	6°	3°	1°
Бронза $[\sigma]=350-400$ МПа	>5	8°	5°	3°
Високовуглецева сталь $[\sigma]$ >500 МПа	<1	7°	4°	2°
	1-5	9°	5°	3°
	>5	12°	7°	6°

Отже, розраховуючи операцію згинання, потрібно врахувати велику кількість факторів. Підприємства, які мають досвідчених фахівців із згинання, створюють спеціальні таблиці відповідності, де враховано

попередньо згадані корекції та пружні відскоки листового металу. У процесі згинання потрібно дотримуватися основних принципів процесу згинання у відповідній послідовності:

- 1 виконуємо згинання зсередини назовні;
- 2 процес згинання починається від малих до великих елементів заготовки;
- 3 спочатку згинаємо спеціальну форму, а потім загальну;
- 4 після завершення попереднього процесу згинання потрібно врахувати, щоб він не впливав на наступні процеси чи заважав їм.

Розглянемо поетапно процес згинання листової деталі (рисунок 6.5) на листозгинальному верстаті з застосуванням попередньо сформульованих правил. Перша операція (рисунок 6.6) – це згинання малих сторін розгортки доверху по лініях згину 1 та 2, які є колінеарними.

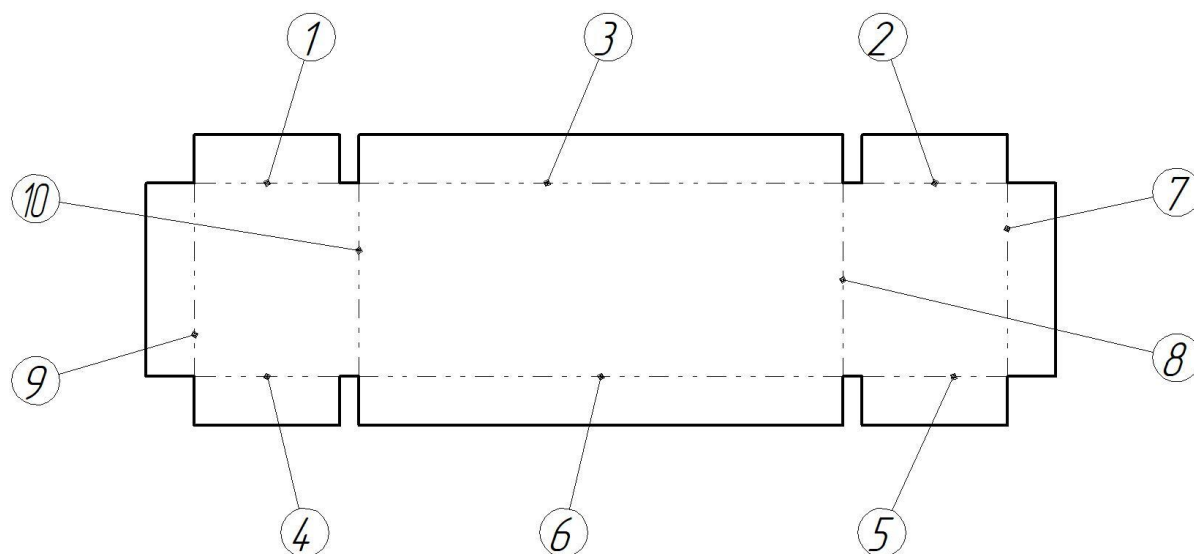


Рисунок 6.5 – Розгортка листової деталі

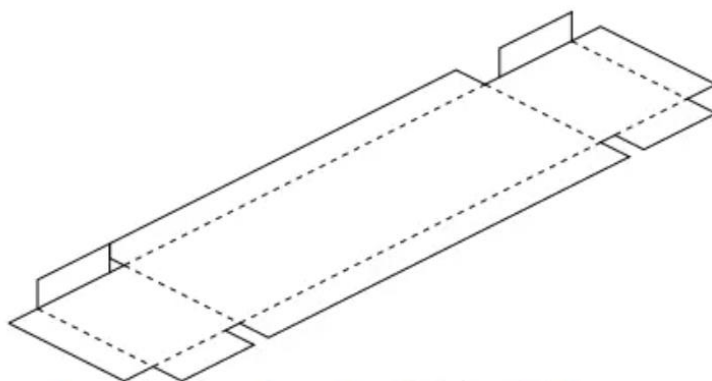


Рисунок 6.6 – Перша операція згинання

Друга операція (рисунок 6.7) – це згинання довгої сторони розгортки донизу по лінії згину 3.

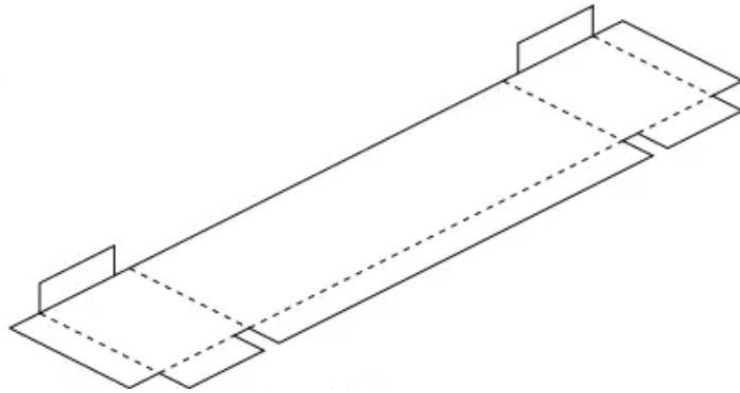


Рисунок 6.7 – Друга операція згинання

Третя (рисунок 6.8) та четверта (рисунок 6.9) операції згинання є дзеркальним за своєю суттю відносно попередніх операцій та відповідають за аналогічне згинання елементів заготовки з іншої сторони.

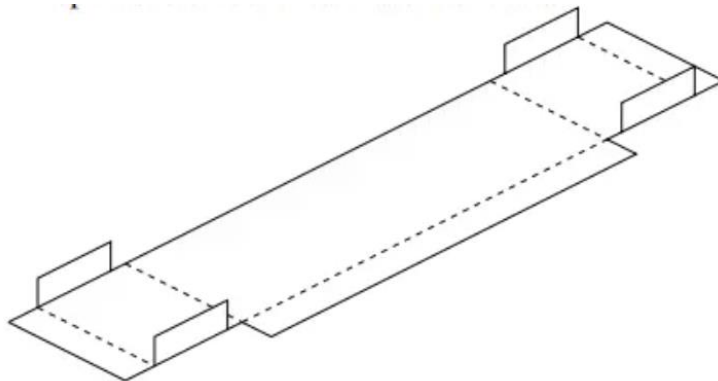


Рисунок 6.8 – Третя операція згинання

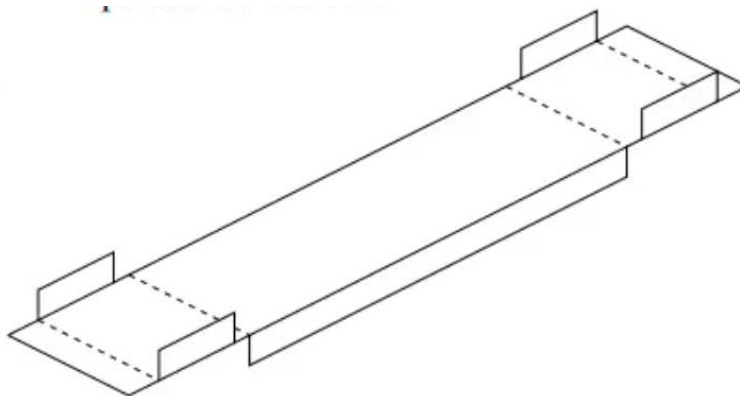


Рисунок 6.9 – Четверта операція згинання

Наступна, п'ята операція згинання (рисунок 6.10) забезпечує згинання малої сторони заготовки донизу по лінії згину 7.

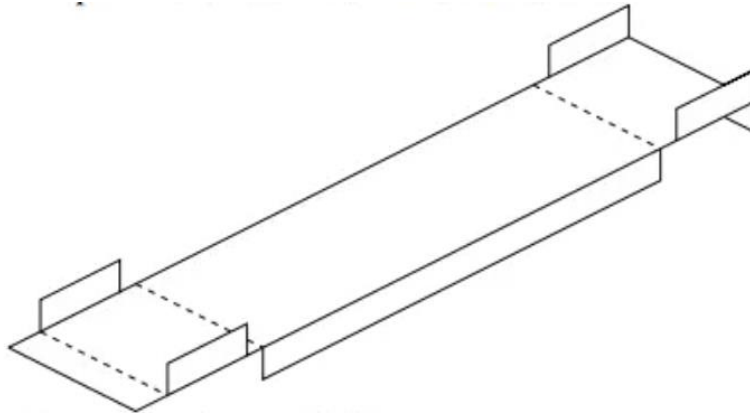


Рисунок 6.10 – П'ята операція згинання

Шоста операція згинання (рисунок 6.11) забезпечує згинання правого краю заготовки доверху по лінії згину 8.

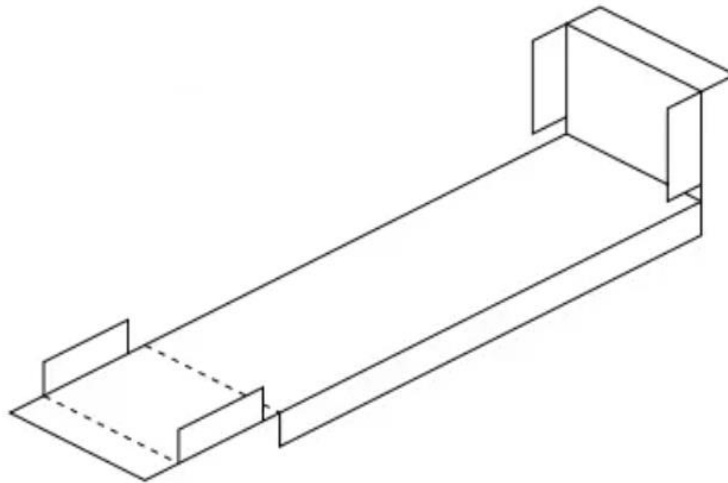


Рисунок 6.11 – Шоста операція згинання

Наступна, сьома операція згинання (рисунок 6.12), відповідає за аналогічне згинання малої сторони заготовки з протилежного боку донизу по лінії згину 9.

Завершальний етап виготовлення заготовки здійснюємо шляхом виконання восьмої операції згину (рисунок 6.13). У процесі цієї операції відбувається згинання лівої сторони заготовки доверху по лінії згину 10.

Варто зауважити, що всі операції згинання (рисунок 6.6–6.13) відбувалися на кут 90° , а поняття «доверху» та «донизу» означають напрямок згинання сторони відносно передньої поверхні деталі на рисунку 6.5.

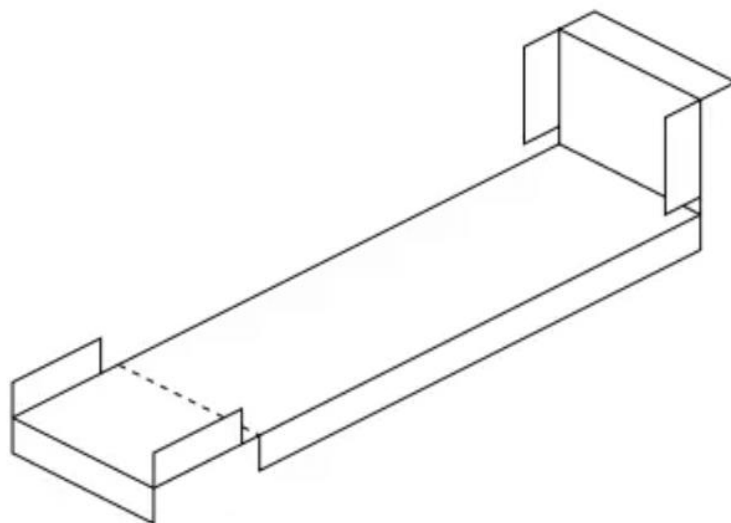


Рисунок 6.12 – Сьома операція згинання

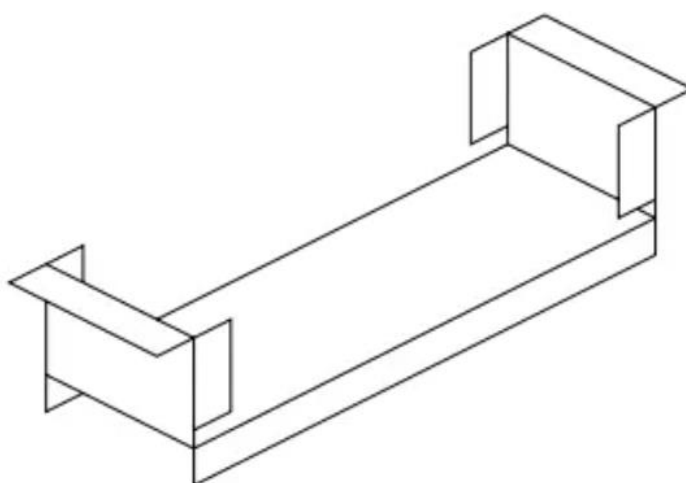



Рисунок 6.13 – Восьма операція згинання

Реальний процес згинання може суттєво відрізнитися від процесу проектування деталей з листового металу. Несуттєва різниця між цими процесами для інженера-конструктора виникає тоді, коли він виконує згинання елементів тривимірної моделі деталі з готової розгортки. Але більшість проектної роботи інженер-конструктор виконує шляхом виготовлення тривимірної моделі деталі у процесі створення та додавання різних елементів згину.

Для проектування листової деталі використовують вкладку **Sheet Metal** на **CommandManager** (рисунок 6.14). У разі переходу до цієї вкладки доступний лише один інструмент **Base Flange/Tab** , з якого починається процес моделювання.

Проектуючи деталі з листового металу потрібно враховувати, що, використовуючи згини та проектуючи тривимірну модель деталі у вкладці **Sheet Metal**, рано чи пізно доведеться використовувати інструменти не з

вкладки **Sheet Metal** (наприклад, видавлювання елементів та оболонки). Цей процес потрібно ретельно контролювати, адже в тривимірних моделях таких деталей можуть виникати помилки, і подальше проєктування з можливістю згинання чи розгинання розгортки буде заблоковано.

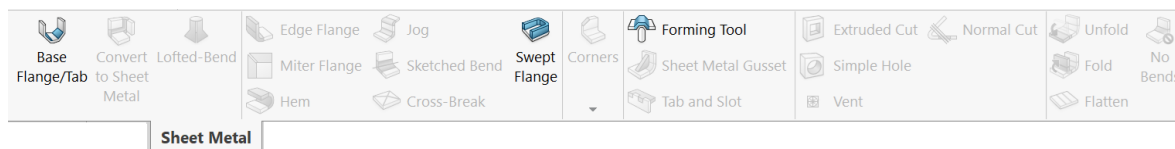


Рисунок 6.14 – Вкладка **Sheet Metal** на **CommandManager**

Виконаємо схожу конструкцію деталі «Корпус» (рисунок 6.15) із застосуванням інструментів для листового тривимірного моделювання.

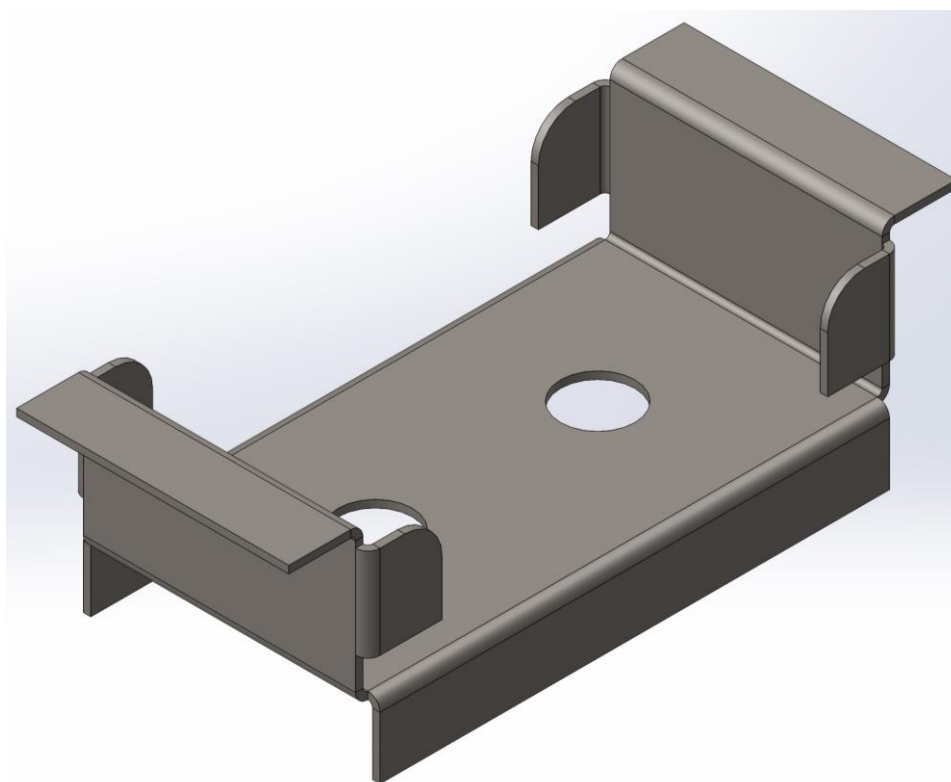


Рисунок 6.15 – Конструкція деталі «Корпус»

Ескіз основи тривимірної моделі показано на рисунку 6.16. В ескізі основи вказано розмір довжини прямокутника 137,4 мм в зв'язку з тим, що у разі додавання інших елементів деталі її габарит буде збільшуватися на величину товщини металу та величину мінімального внутрішнього радіуса. Після створення ескізу основи вибираємо його в **FeatureManager Design Tree** та натискаємо на інструмент **Base Flange/Tab**.

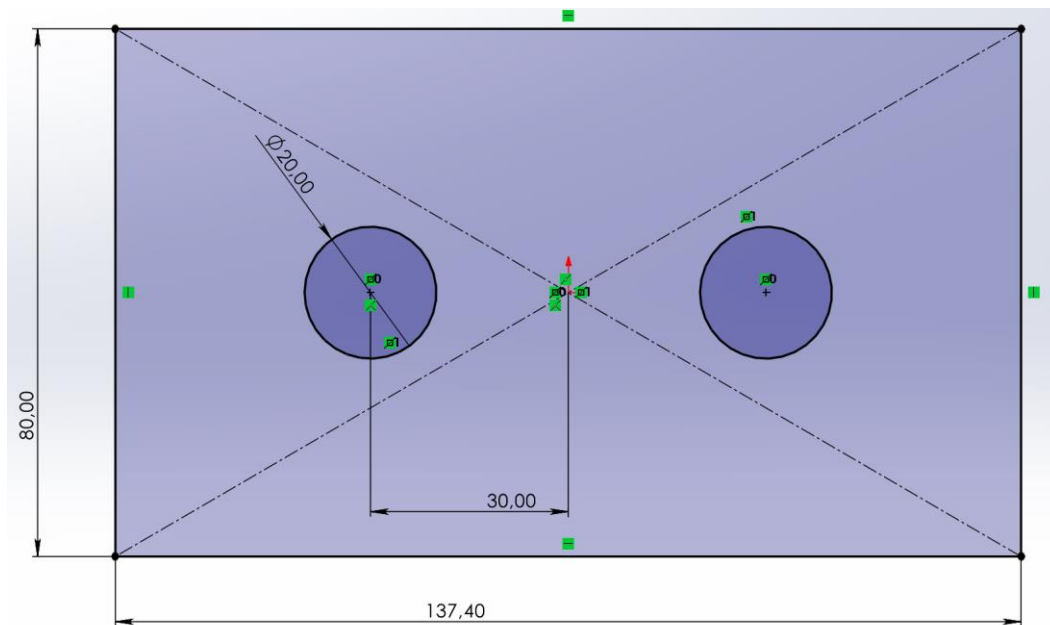


Рисунок 6.16 – Ескіз основи тривимірної моделі

На рисунку 6.17 показано налаштування **PropertyManager: Sheet Metal Parameters** товщина напрямку 1 (**Direction 1 Thickness**) і зворотний напрямок (**Reverse Direction**), допуск на вигин (**Bend Allowance**) із параметром **K-Factor**, автоматичний рельєф (**Auto Relief**) та фантомне зображення деталі з листового металу.

Після створення основи листової деталі варто вибрати матеріал тривимірної моделі деталі. В такому випадку обираємо матеріал AISI 1010 Steel, який еквівалентний низьковуглецевій сталі марки Сталь 10 ДСТУ ГОСТ 7809:2015.

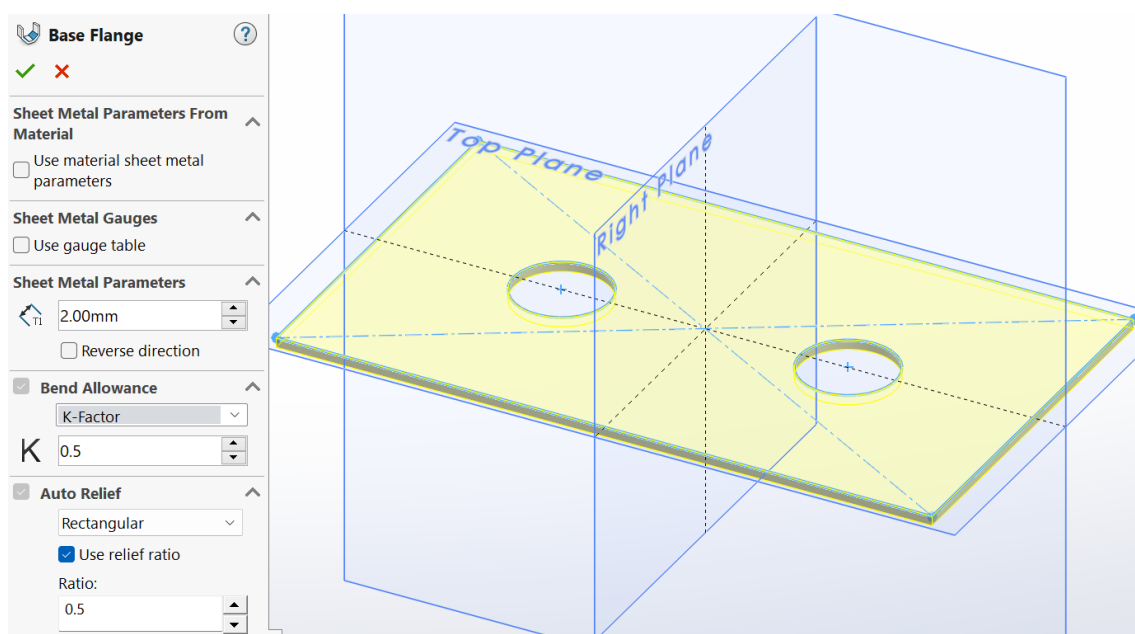


Рисунок 6.17 – Побудова та налаштування параметрів основи

Варто зауважити, що при товщині металу $s=2$ мм для деталі з низьковуглецевої сталі можна прийняти згідно з таблицею 6.1 мінімальний внутрішній радіус $R=1,3$ мм. Параметр **K-Factor** приймає значення $K=t/s=0,5$ за замовчуванням та виконуємо моделювання без корекції цього параметра.

K-Factor – це співвідношення, яке показує розташування нейтральної лінії листа відносно внутрішньої сторони деталі до загальної товщини металеві частини s . У такому випадку нейтральна лінія листа не піддається деформаціям розтягу чи стиску, а щоб розрахувати довжину заготовки (рисунок 6.18, б) розраховується допуск на вигин BA (довжина дуги нейтральної осі між точками дотику A та B) за формулою (6.3) [21]:

$$BA = \pi \times (R + K \times s) \times \alpha / 180 \text{ [мм]}. \quad (6.3)$$

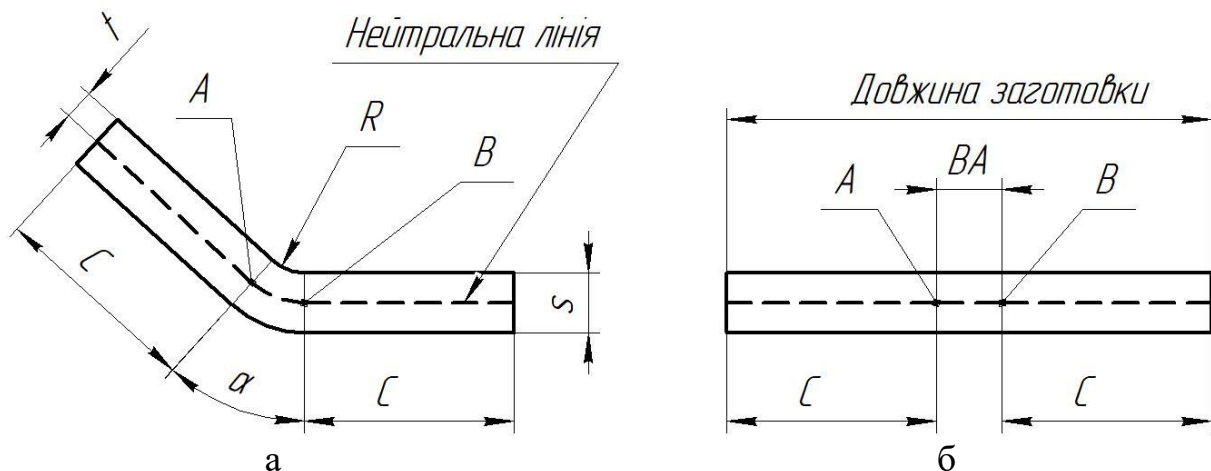


Рисунок 6.18 – Лист металу після згинання (а) та до згинання (б)

Створення стінки корпусу (рисунок 6.19, в) за допомогою інструмента **Edge Flange** показано на рисунку 6.19, а. У цьому процесі застосовуються параметри: радіус згину $R=1,3$ мм (**Bend Radius**), кут згину $\alpha=90^\circ$ (**Flange Angle**), стінка виконується згідно з **Blind** на довжину 42 мм із застосуванням довжини до повної віртуальної форми згину (**Outer Virtual Sharp**), а параметр **Flange Position** встановлюємо на **Bend Outside**, щоб збільшити основу ескізу по довжині прямокутника 137,4 мм (див. рисунок 6.16).

Важливою особливістю процесу моделювання є можливість редагувати ескіз поверхні (рисунок 6.19, б) за допомогою кнопки **Edit Flange Profile**. Так виконано зміщення сторін стінки від крайніх позицій на 3,3 мм, що дорівнює величині радіуса згину та товщини листа ($R+s$).

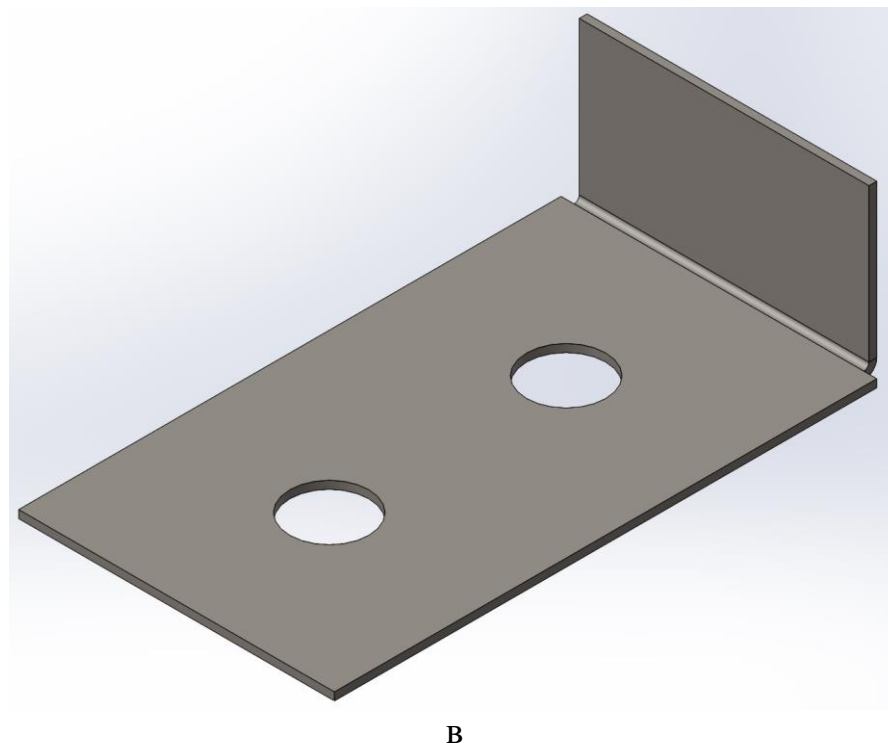
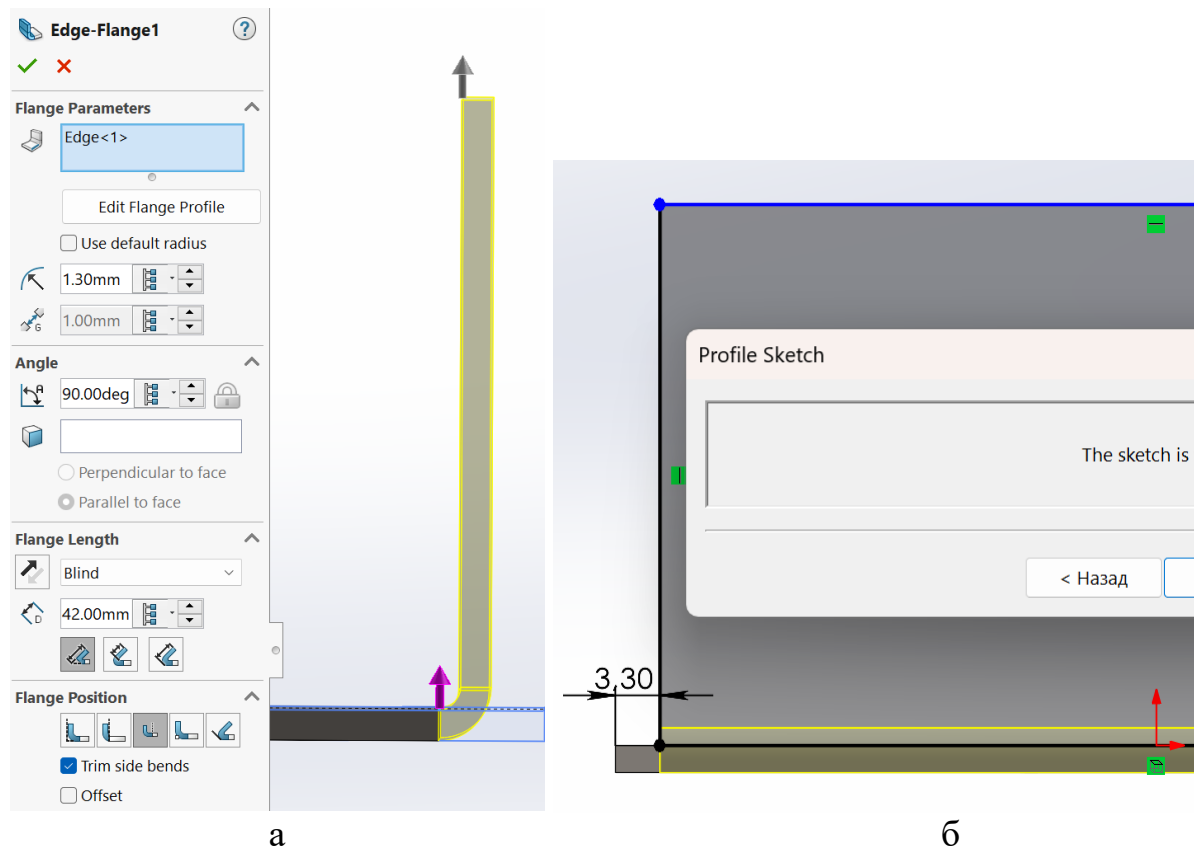


Рисунок 6.19 – Параметри інструмента **Edge Flange** (а), ескізу стінки (б) та результат моделювання (в)

Аналогічним чином проведено моделювання згину на стінці корпусу всередину моделі. Редагування ескізу для згину на стінці корпусу продемонстровано на рисунку 6.20.

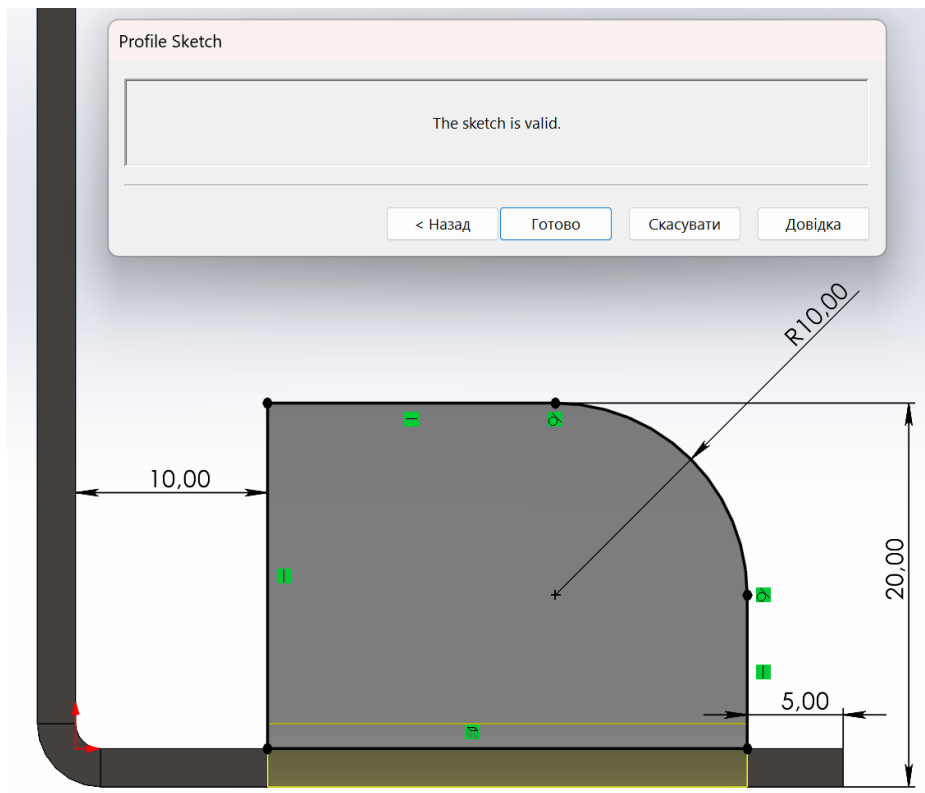



Рисунок 6.20 – Редагування ескізу згину на стінці корпусу

У процесі листового тривимірного моделювання можна застосовувати інструменти з інших вкладок (наприклад, на рисунку 6.21 **Features** → **Mirror**). Однак, потрібно прослідкувати, що після цього деталь мала можливість розгортатися інструментом **Flatten**  .

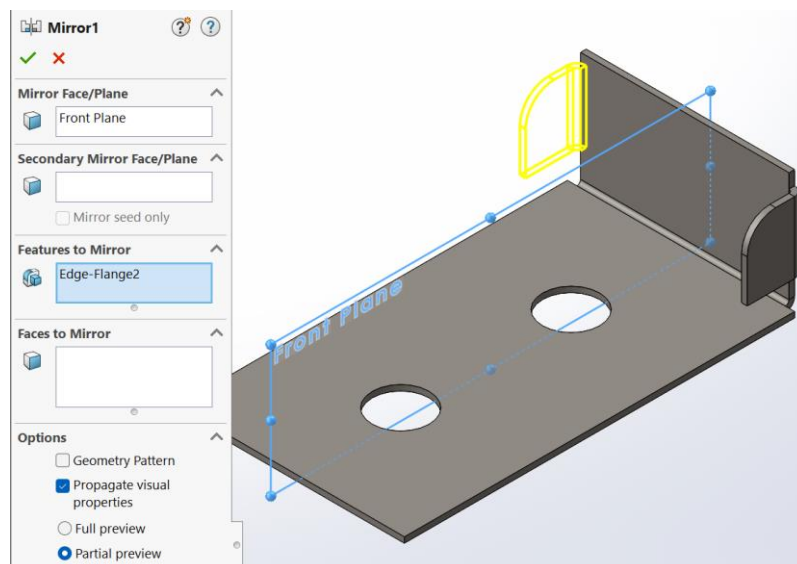
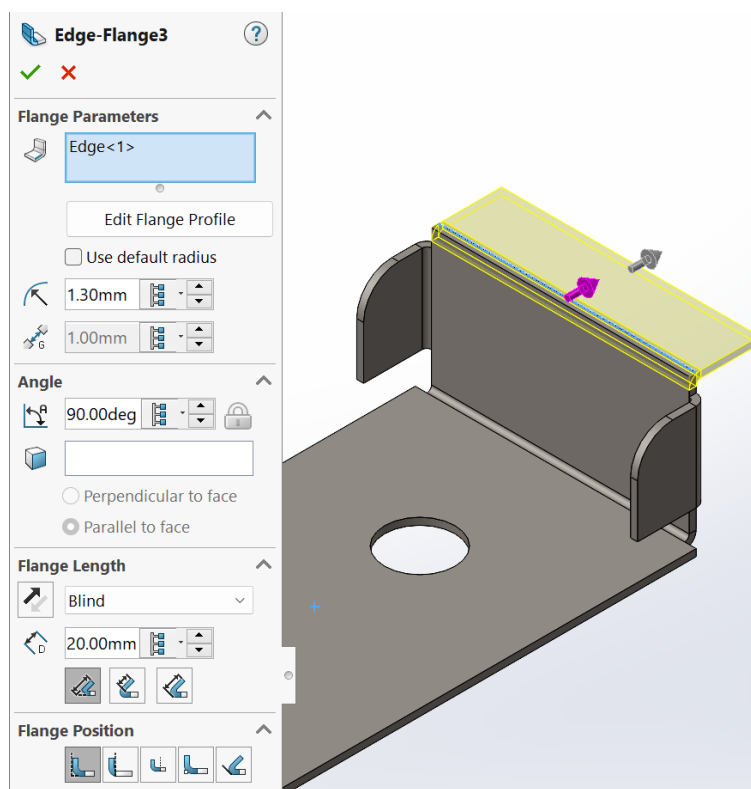
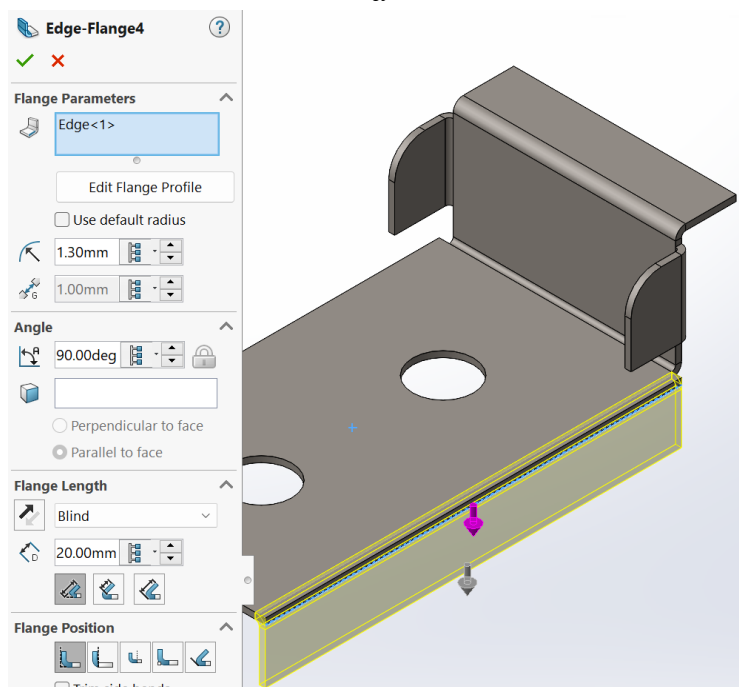


Рисунок 6.21 – Використання інструмента **Mirror** для відображення згину

Продовжуємо процес листового тривимірного моделювання за допомогою інструмента **Edge Flange** для інших згинів на зовні моделі (рисунок 6.22). Використано **Material Inside** для параметра **Flange Position**, щоб виконати згин елементів врівень країв деталі.



a



б

Рисунок 6.22 – Побудова інших згинів деталі «Корпус»

Оскільки деталь «Корпус» є симетричною, то остаточну побудову всіх елементів іншої стінки виконуємо за допомогою інструмента **Mirror** (рисунок 6.23).

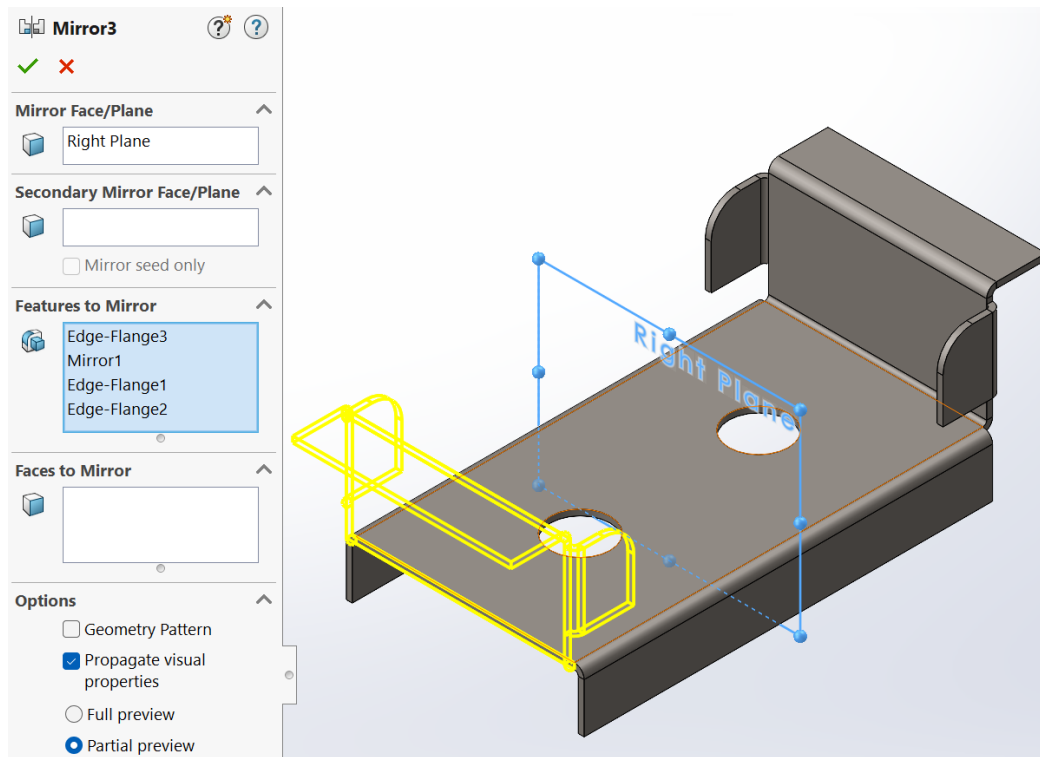


Рисунок 6.23 – Завершення побудови деталі «Корпус»

Контрольна перевірка розмірів проводиться інструментом **Measure**, а працездатність листової тривимірної моделі – інструментом **Pattern**, щоб створити розгортку тривимірної моделі деталі «Корпус» (рисунок 6.24).

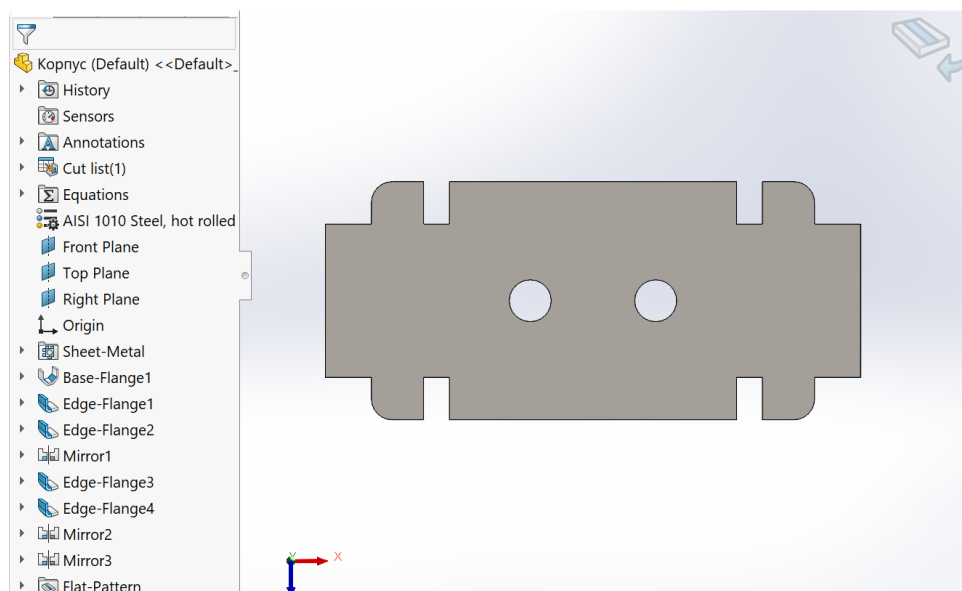


Рисунок 6.24 – Розгортка тривимірної моделі деталі «Корпус»

Виконуємо оформлення властивостей тривимірної моделі (**Properties** на рисунку 6.25), які відображаються в основному написі асоціативного кресленика (рисунок 6.26).

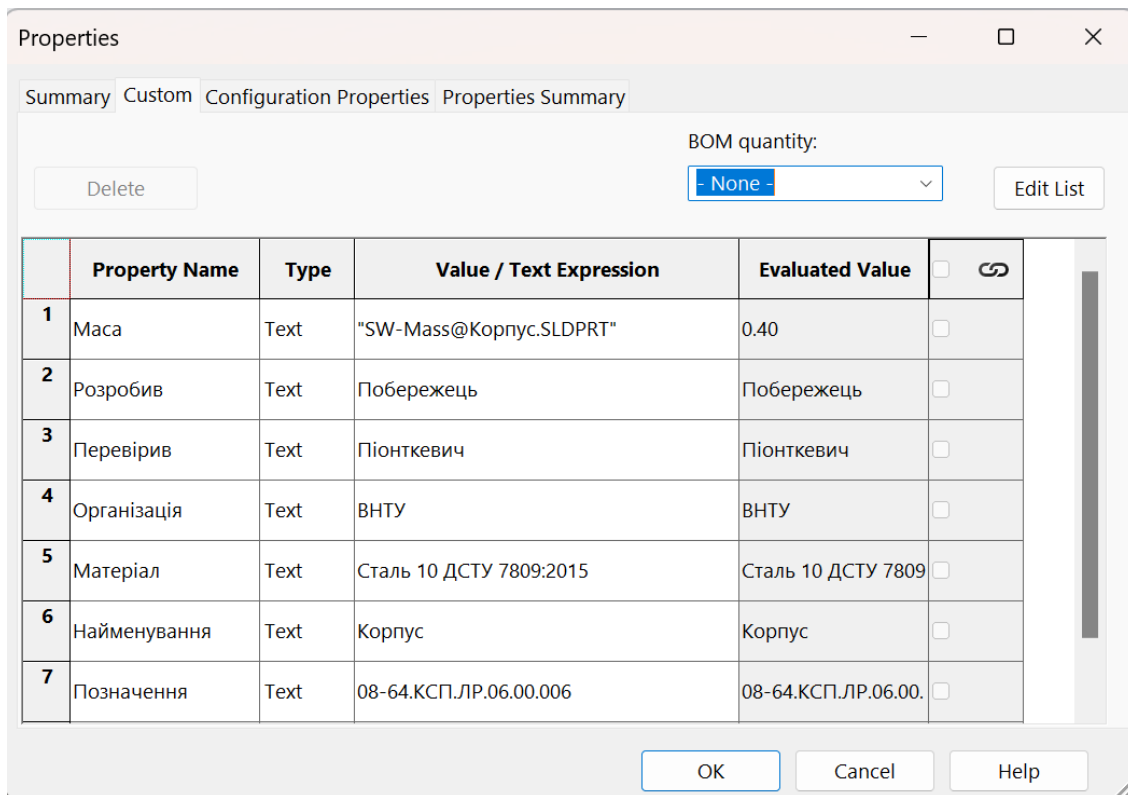


Рисунок 6.25 – **Properties** тривимірної моделі деталі «Корпус»

Обов'язковим елементом будь-якого кресленика листової тривимірної моделі є вигляд розгортки з точними розмірами та місцями для згину. В технічних умова кресленика має бути вказано «* Розміри для довідок» та позначено «*» на розмірах товщини листа металу 2 мм та радіуса згину 1,3 мм, як показано на рисунку 6.26.

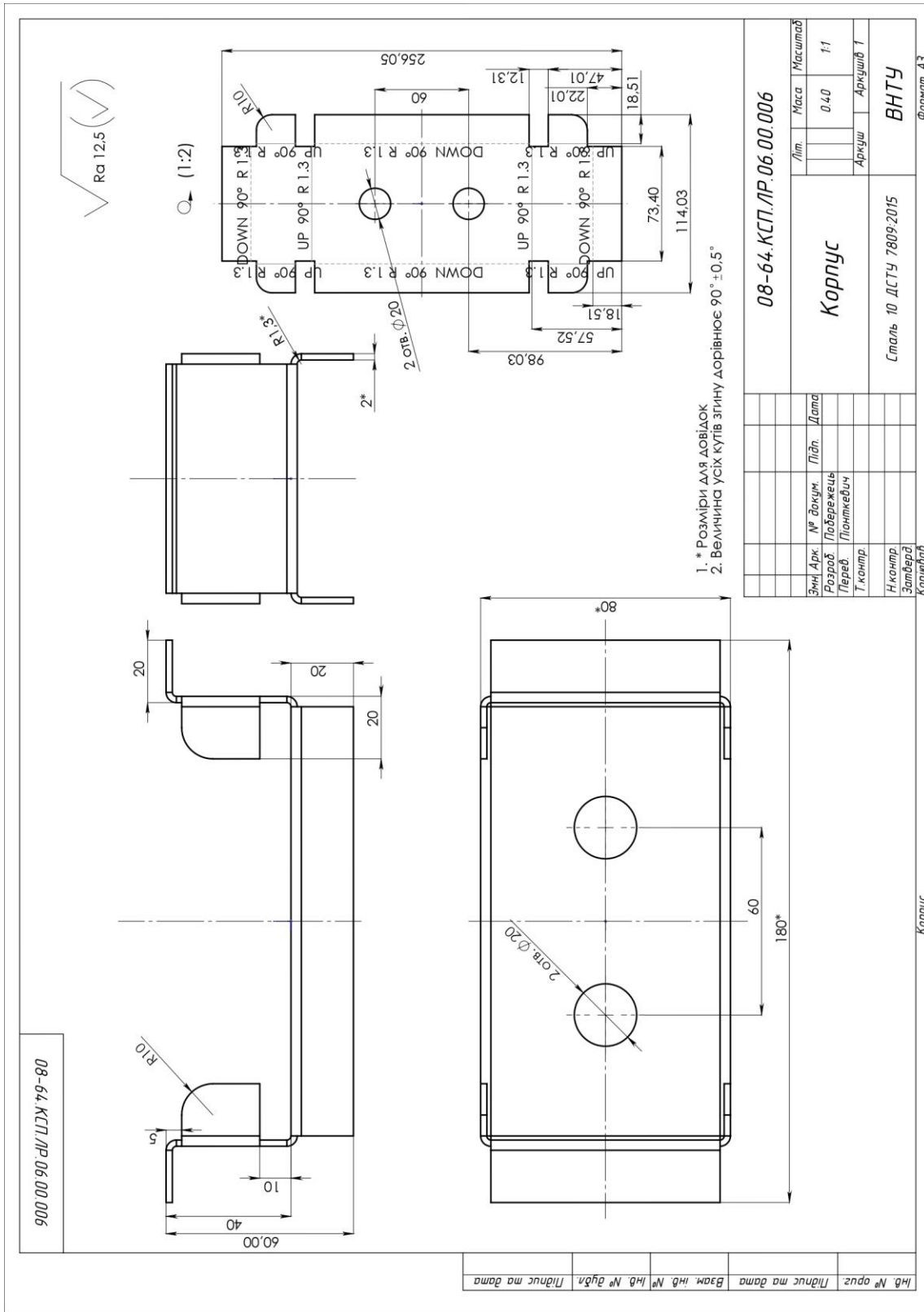


Рисунок 6.26 – Асоціативний креслення деталі «Корпус»

6.2 Завдання до виконання лабораторної роботи № 6

Завдання до лабораторної роботи № 6 складається для 30 індивідуальних варіантів та містить проектування листової тривимірної моделі з асоціативним креслеником згідно з отриманим варіантом завдання.

Якщо кількість здобувачів в групі більша, ніж підготовлених варіантів завдань, то потрібно звернутися до викладача за додатковими варіантами. У процесі виконання завдання здобувачі проектують повністю визначені ескізи з використанням розмірів та взаємозв'язків.

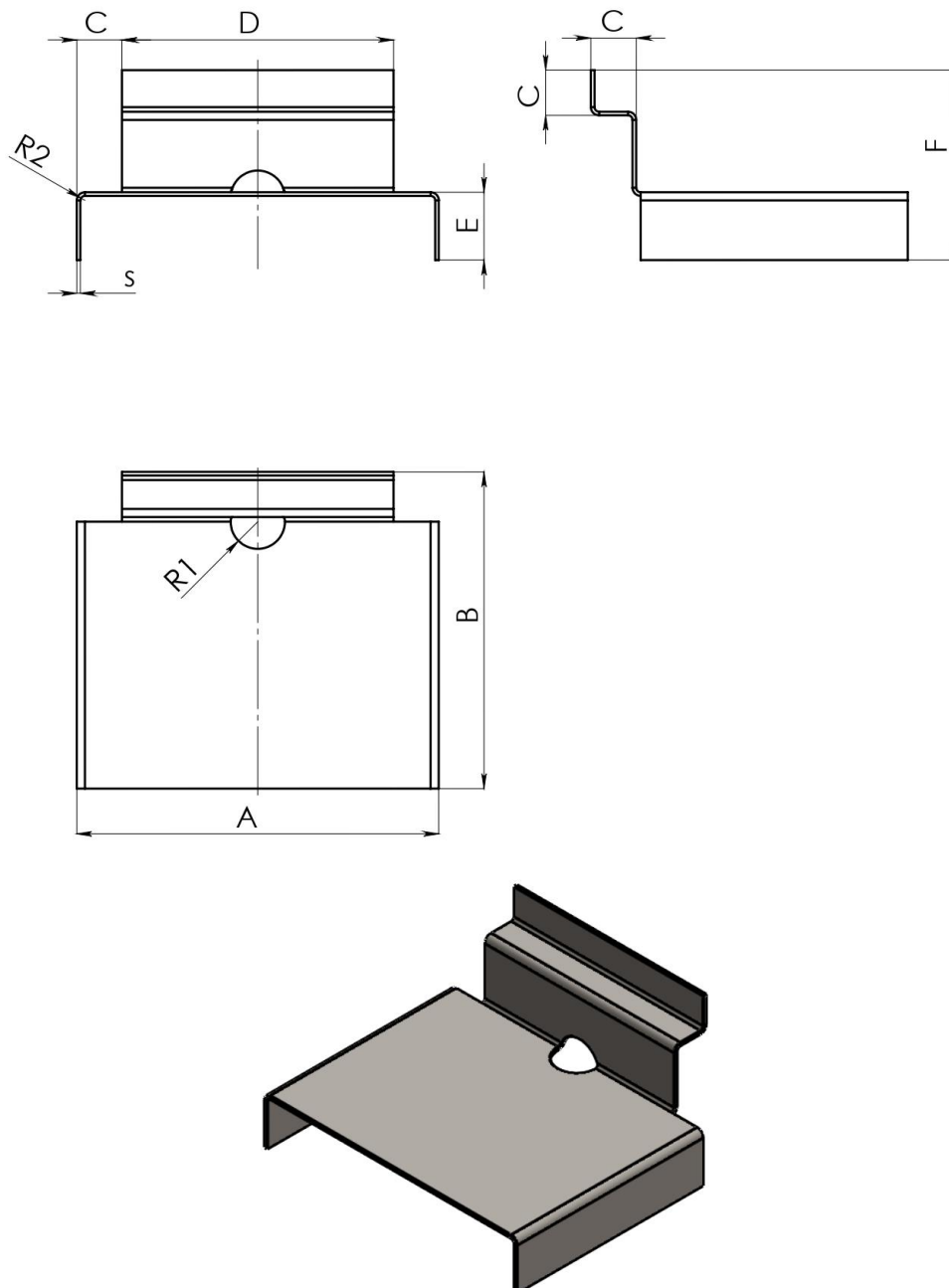


Рисунок 6.27 – Завдання варіантів 1...10 до лабораторної роботи № 6

Таблиця 6.3 – Параметри для варіантів 1...10 в мм на рисунку 6.27

Варіант	A	B	C	D	E	F	s	R1	R2
1	400	350	50	300	75	200	4	30	5
2	350	350	30	290	50	180	3	40	2
3	370	420	60	250	60	160	2	30	2
4	400	400	40	320	40	140	1,5	20	2
5	380	200	30	320	40	150	5	25	5
6	350	400	35	280	65	165	6	30	5
7	370	250	20	330	55	170	1,5	35	1,5
8	400	500	40	320	50	160	3	25	2,5
9	420	380	30	360	60	230	8	40	8
10	500	400	50	400	40	250	10	50	8

Марка матеріалу: Сталь 10 ДСТУ 7809:2015 або AISI 1010

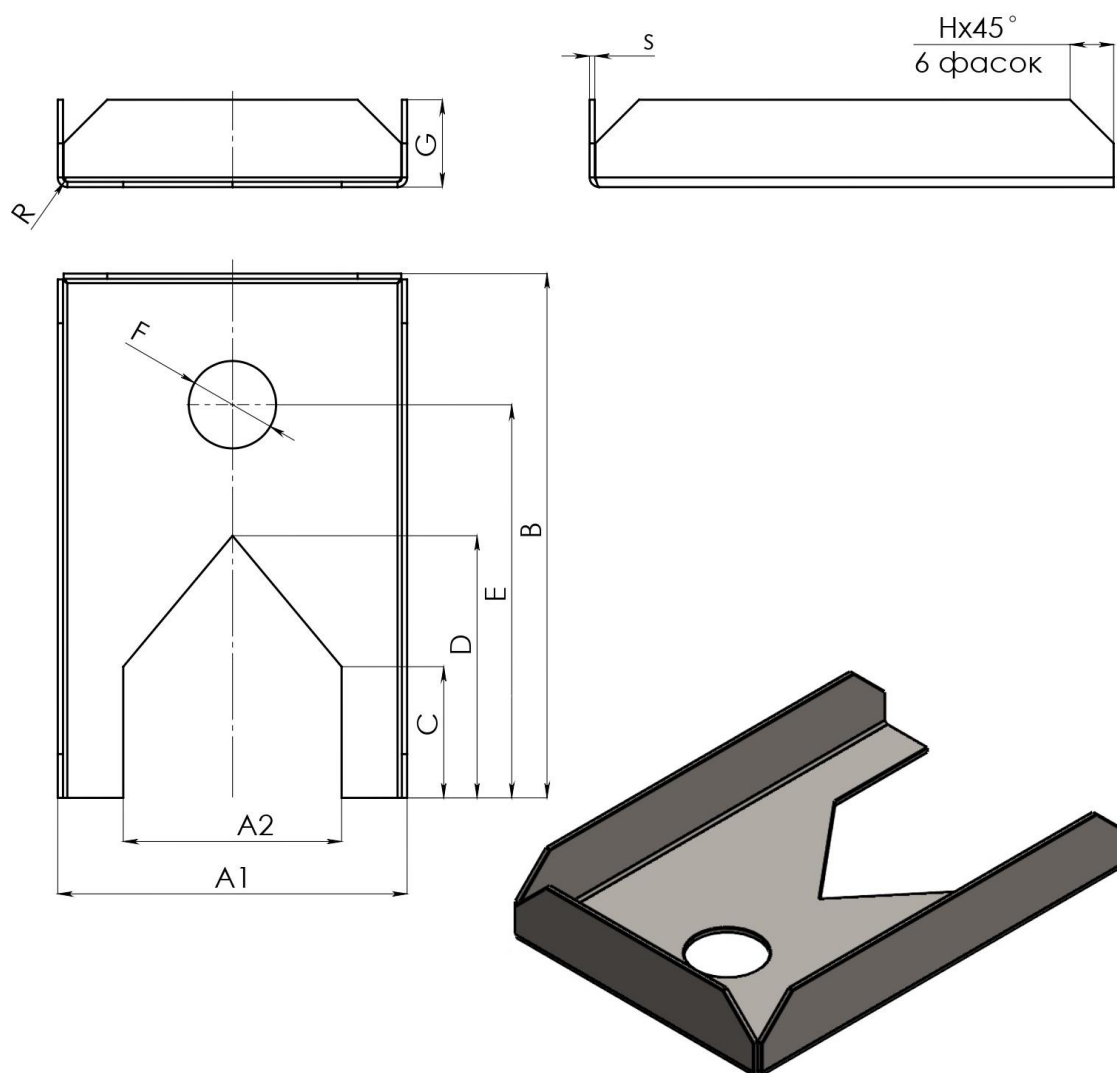


Рисунок 6.28 – Завдання варіантів 11...20 до лабораторної роботи № 6

Таблиця 6.4 – Параметри для варіантів 11...20 в мм на рисунку 6.28

Варіант	A1	A2	B	C	D	E	F	G	H	s	R
11	500	250	800	200	400	500	150	100	50	4	5
12	550	300	750	250	300	600	80	150	60	3	2,5
13	600	300	700	300	300	500	200	120	70	2	2
14	500	200	650	200	250	400	120	110	50	1,5	1,5
15	400	250	600	150	300	450	100	100	50	5	5
16	550	450	550	180	250	350	70	70	30	6	5
17	500	250	500	100	200	300	100	90	45	1,5	2
18	400	150	450	150	150	280	80	120	60	3	2
19	350	100	400	100	200	300	70	50	20	8	8
20	300	80	350	80	150	220	100	70	35	10	8

Марка матеріалу: Сталь 15 ДСТУ 7809:2015 або AISI 1015

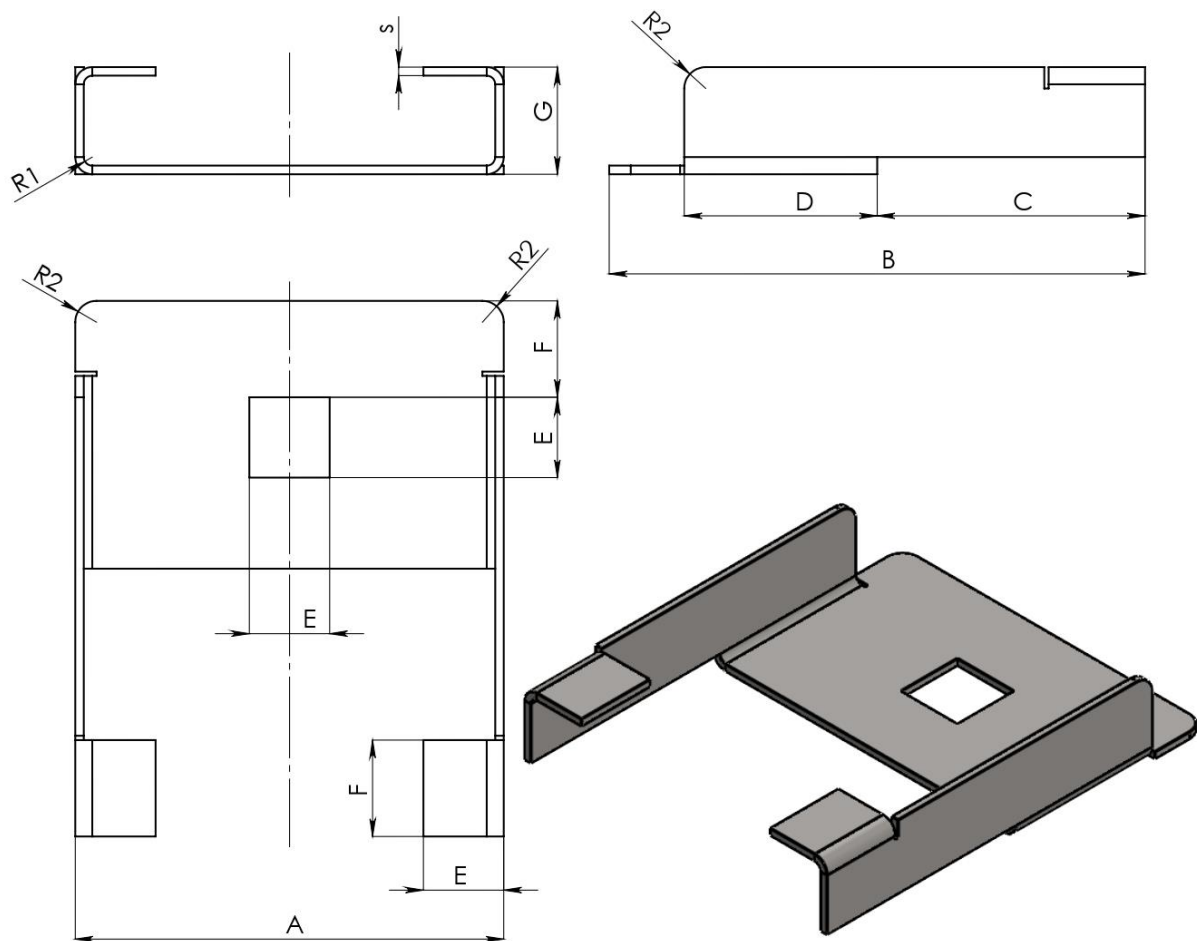


Рисунок 6.29 – Завдання варіантів 21...30 для лабораторної роботи № 6

Таблиця 6.5 – Параметри для варіантів 21...30 в мм на рисунку 6.29

Варіант	A	B	C	D	E	F	G	s	R1	R2
21	200	350	200	100	50	60	70	3	2,5	30
22	280	280	120	100	60	50	50	4	2,5	10
23	250	300	100	150	50	100	75	2	2	20
24	300	500	220	200	80	80	100	8	5	50
25	550	650	320	200	50	50	90	5	5	45
26	450	600	300	150	120	70	80	4	5	40
27	500	500	200	200	100	150	110	1,5	2	50
28	350	550	260	200	60	100	80	3	2	25
29	400	500	250	180	75	90	100	8	8	20
30	300	400	120	220	80	100	90	10	8	30
Марка матеріалу: Сталь 20 ДСТУ 7809:2015 або AISI 1020										

6.3 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з теоретичними відомостями до лабораторної роботи.
2. В звіті вказати тему та мету роботи.
3. Ознайомитися з описом роботи та завданням.
4. Відповідно до виданого варіанта завдання виконати проектування листової тривимірної моделі з асоціативним креслеником в програмі SOLIDWORKS. На кресленику має бути побудована розгортка та нанесені усі потрібні розміри.
5. Змінити марку матеріалу на алюмінієвий сплав 1350 за ДСТУ ISO 209-1:2002 та розрахувати як зміниться радіус згину та маса деталі.
6. Дати відповіді на контрольні питання.
7. Завершити виконання звіту до лабораторної роботи формуванням висновків. У висновках вказати інструменти програми SOLIDWORKS, які вдалося опанувати у процесі виконання лабораторної роботи. Описати позитивні та негативні сторони застосування іншого матеріалу для спроектованої деталі з листового металу.

6.4 Контрольні питання

1. Які матеріали найбільш популярні для листового згинання на виробництві та чому?
2. Якими стандартами регламентується підготовка то сам процес згинання листових деталей?

3. Як впливає збільшення кута згину на величину мінімальної ширини зігнутої сторони деталі?
4. Які основні принципи застосовують для процесу згинання на виробництві?
5. Які інструменти програми SOLIDWORKS використовують для згинання деталей на вкладці **Sheet Metal**?
6. Розкажіть про параметр **K-Factor** та як розраховується допуск на вигин *VA*?
7. Який інструмент відповідає за перегляд розгортки у процесі листового тривимірного моделювання?
8. Які розміри для довідок варто позначати, оформляючи кресленик листової деталі?

ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ З ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Титульний аркуш

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту

Кафедра ТАМ

Звіт з лабораторних робіт
з дисципліни «Комп'ютеризовані системи проєктування»

Варіант 1

Виконав: ст. гр. 2ПМ-226
Владислав ПОБЕРЕЖЕЦЬ
Перевірив: к.т.н., доц. каф. ТАМ
Олег ПІОНТКЕВИЧ

Вінниця ВНТУ 2025

1-ша та наступні сторінки

Лабораторна робота 1

Тема: загальні принципи тривимірного проектування виробів в SOLIDWORKS.

Мета роботи: ознайомлення з загальними принципами побудови тривимірних моделей деталей в системі автоматизованого проектування SOLIDWORKS.

Хід виконання роботи

На рисунку 1.1 зображено результат використання інструмента Extrude Boss/Base у процесі створення диска.

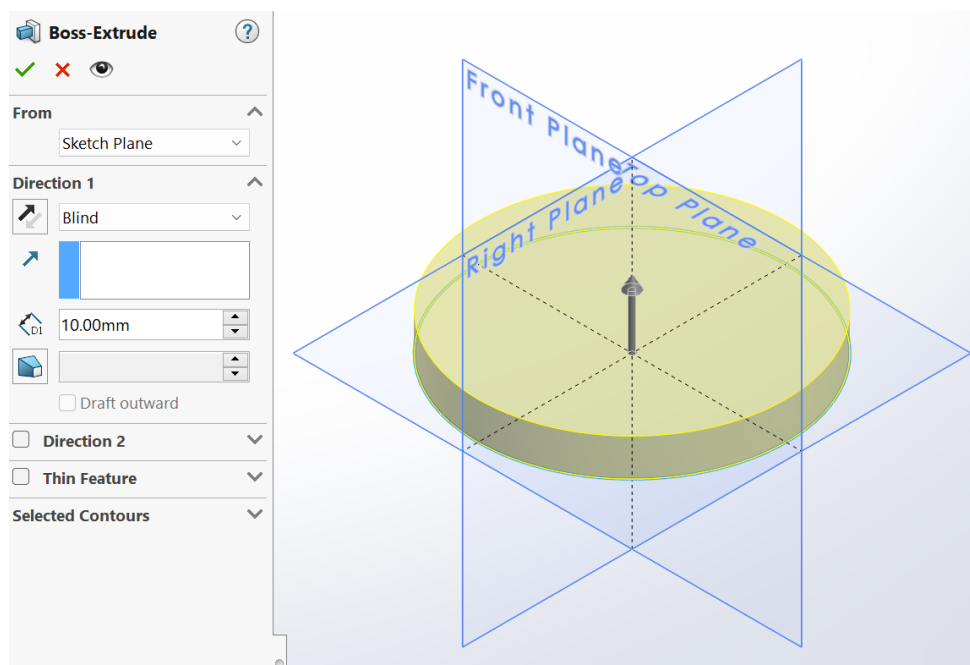


Рисунок 1.1 – Створення диска

Відповіді на контрольні запитання

1. Яке призначення програми SOLIDWORKS?

Основне призначення програми SOLIDWORKS – забезпечення наскрізного процесу проектування (CAD), інженерного аналізу (CAE) та підготовки виробництва (CAM) виробів будь-якої складності...

Висновок. У ході виконання лабораторної роботи ми ознайомились з інтерфейсом, налаштуваннями в SOLIDWORKS та основними принципами тривимірного проектування виробів. Навчилися створювати тривимірну модель диска...

ЛІТЕРАТУРА

1. Пустюльга С. І., Самостян В. Р., Клак Ю. В. Інженерна графіка в SolidWorks : навчальний посібник. Луцьк : Вежа, 2018. 172 с.
2. SolidWorks 2022 Step-By-Step Guide: Part, Assembly, Drawings, Sheet Metal, & Surfacing, 5th Edition / Amit Bhatt, Mark Wiley. India : CADFolks, 2022. 438 p.
3. SOLIDWORKS Help [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://help.solidworks.com/2023/English/SolidWorks/sldworks/r_welcome_sw_online_help.htm (Дата звернення 10.09.2024)
4. Савуляк В. В., Піонткевич О. В., Семічаснова Н. С. Інформаційно-комп'ютерні технології в машинобудуванні : навчальний посібник [Електронний ресурс]. Вінниця : ВНТУ, 2024. 133 с.
5. Пальчевський Б. О., Валецький Б. П., Вараніцький Т. Л. Системи 3D моделювання : навчальний посібник. Луцьк : ЛНТУ, 2016. 176 с.
6. Методи 3D-інженерії: курс лекцій : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування обладнання хімічної інженерії» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. : М. А. Бишко, В. В. Косенко, О. О. Семінський. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 169 с.
7. Інженерна та комп'ютерна графіка: практикум для навчання в умовах інформаційно-освітнього середовища : навч. посіб. / Бабенко Д. В. та ін., за ред. професора Д. В. Бабенка. Миколаїв : МНАУ, 2020. 256 с.
8. Методичні вказівки по виконанню лабораторних робіт з дисципліни CAD/CAM-системи для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Уклад. Макшанцев В. Г. Краматорськ : ДДМА, 2018. 57 с.
9. ДСТУ ГОСТ 2.104:2006 Єдина система конструкторської документації. Основні написи (ГОСТ 2.104-2006, ІДТ). З Поправками (ІПС № 5-2007), (ІПС № 6-2007), (ІПС № 8-2007), (ІПС № 5-2008)
10. Ванін В. В., Блюк А. В., Гнітецька Г. О. Оформлення конструкторської документації [Текст] : навч. посіб. Вид. 4-те, випр. і доп. К. : Каравела, 2022. 200 с.
11. ДСТУ ГОСТ 2.001:2006. Єдина система конструкторської документації. Загальні положення. Зі зміною № 1 (ГОСТ 2.001-93, ІДТ)
12. Лусь В. І. Правила нанесення розмірів на робочих кресленнях : навч. посібник. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. 72 с.
13. ДСТУ ГОСТ 2.308:2013 Єдина система конструкторської документації. Зазначення допусків форми та розміщення поверхонь (ГОСТ 2.308-2011, ІДТ)
14. Холодне листове штампування : навч. посіб. / Убизький М. М., Кулик О. В., А.Г. Фесенко А. Г., Шевчук Д. І. Д. : РВВ ДНУ, 2008. 124 с.

15. Піонткевич О. В., Лозінський Д. О., Сердюк О. В., Савуляк В. В. Забезпечення результатів вивчення CAD/CAE/CAM систем для підготовки фахівців із спеціальності «Прикладна механіка». *Матеріали XVI Міжнародної науково-методичної конференції «Сучасна освіта - доступність, якість, визнання»*, 13–14 листопада 2024 р. Краматорськ-Вінниця-Тернопіль, Краматорськ : ДДМА, 2024. С. 247-252.
16. ДСТУ EN ISO 9013:2019 Газове різання. Класифікація. Вимоги до геометричних розмірів та якості (EN ISO 9013:2017, IDT; ISO 9013:2017, IDT)
17. International Standard Organization 2018 Metallic materials – sheet and strip - hole expanding test (ISO 16630)
18. ДСТУ EN ISO 7438:2022 Металеві матеріали. Випробування на вигин (EN ISO 7438:2020, IDT; ISO 7438:2020, IDT)
19. ДСТУ EN ISO 6892-1:2022 Металеві матеріали. Випробування на розтягування. Частина 1. Метод випробування за кімнатної температури (EN ISO 6892-1:2019, IDT; ISO 6892-1:2019, IDT)
20. Sheet Metal Bending: Everything You Should Know Explained [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.machinemfg.com/sheet-metal-bending-explained/> (Дата звернення 14.09.2024)
21. Introduction to SolidWorks: A Comprehensive Guide with Applications in 3D Printing (1st ed.) / G.C. Onwubolu. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2017. 1165 p. <https://doi.org/10.1201/9781315382500>

Електронне навчальне видання

**Олег Володимирович Піонткевич
Сергій Іванович Сухоруков
Олександр Васильович Петров
Ольга Валентинівна Сердюк**

**«Комп'ютеризовані системи проєктування»
для здобувачів вищої освіти зі спеціальності
«Прикладна механіка»**

Лабораторний практикум

Рукопис оформив *О. Піонткевич*

Редактор *В. Дружиніна*

Оригінал-макет підготувала *Т. Старічек*

Підписано до видання 05.05.2025 р.
Гарнітура Times New Roman.
Зам. № P2025-068.

Видавець та виготовлювач
Вінницький національний технічний університет,
Редакційно-видавничий відділ.
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Хмельницьке шосе, 95,
м. Вінниця, 21021.
press.vntu.edu.ua;
E-mail: irvc.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.