

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до практичних робіт
з дисципліни “Теорія 3D моделювання”**

Для студентів спеціальностей:
131 Прикладна механіка -
освітня програма «Технології машинобудування»
133 Галузеве машинобудування -
освітня програма «Металорізальні верстати та системи»;
усіх форм навчання

Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни “Теорія 3D моделювання” Для студентів спеціальностей: 131 Прикладна механіка - освітня програма «Технології машинобудування»; 133 Галузеве машинобудування - освітня програма «Металорізальні верстати та системи» усіх форм навчання / Укл. М.В.Фролов, П.В.Глушко – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018.- 54 с.

Укладачі: М.В.Фролов, к.т.н
П.В.Глушко, ст. викл.

Рецензент: Н.В.Гончар, доц., к.т.н

Відповідальний за випуск: В.П.Загородній

Затвержено
на засіданнях кафедр
Металорізальних верстатів та
інструментів
Протокол №3 від 10.10. 2018 р.

Технології машинобудування
Протокол № 4 від 12.10.2018 р.

Рекомендовано
до видання НМК
Машинобудівного факультету.
Протокол № 2 від 23.10.2018 р.

ЗМІСТ

	Стр.
1. Завдання до практичних робіт. Зміст звіту	4
2. Практична робота №1. Ознайомлення з системою автоматизованого моделювання PowerShape	5
2.1 Коротка характеристика системи	5
2.2 Використання панелей інструментів	5
3. Практична робота №2. Каркасне моделювання	12
3.1 Короткі теоретичні відомості	12
3.2 Робота з лініями	13
3.3 Робота з дугами	20
4. Практична робота № 3. Поверхневе моделювання	25
4.1. Короткі теоретичні відомості	25
4.2. Примітивні поверхні	26
4.3 Поверхня обертання	30
5. Практична робота №4. Твердотільне моделювання	33
5.1 Короткі теоретичні відомості	33
5.2 Виконання твердотільного моделювання	36
Рекомендована література	46
Додаток А. Варіанти завдання	47

1. ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНИХ РОБІТ. ЗМІСТ ЗВІТУ

Метою практичних робіт є закріплення теоретичних знань шляхом ознайомлення з можливостями системи 3D моделювання **PowerShape**. Ознайомлення відбувається як результат виконання вправ та набуття в результаті цього деяких практичних навичок. При цьому дії, що мають виконуватися виділені курсивом та позначені символом:



За набуття зазначених навичок, має бути побудована 3D модель запропонованої деталі. Креслення деяких деталей наведені в Додатку.

Ознайомлення з системою **PowerShape** виконується індивідуально; побудова 3D моделі може виконуватися індивідуально або в групах в залежності від складності деталі.

За результатом виконання всіх практичних робіт оформлюється один звіт, що містить:

- результати виконання завдань, що виконуються в ході ознайомлення з системою PowerShape згідно змісту практичних робіт у вигляді **PrintScreen**.
- креслення деталі;
- 3D модель запропонованої деталі (**PrintScreen**);
- Детальний опис послідовності побудови моделі з зазначенням використаних команд та параметрів.

2. ПРАКТИЧНА РОБОТА №1. ОЗНАЙОМЛЕННЯ З СИСТЕМОЮ АВТОМАТИЗОВАНОГО МОДЕЛЮВАННЯ PowerShape

2.1 Коротка характеристика системи

Система автоматизованого моделювання PowerShape є одним з представників сімейства програмних продуктів нового покоління фірми Autodesk (США), об'єднаних під ім'ям PowerSolution. Дана програма є зручним інструментом, що дозволяє реалізувати на комп'ютері будь-які дизайнерські ідеї і вирішити найскладніші конструкторські завдання. Відмінною особливістю системи PowerShape є гібридне поверхнево-твердотільне моделювання, що дозволяє створити математичну модель реальної деталі будь-якої геометричної складності. Універсальність системи PowerShape досягнута можливістю оперувати об'єктами, представленими в різних математичних формах: Безьє, B-Spline і G2 - криві; Безьє і NURBS - поверхні. Динамічна 3D графіка системи PowerShape дозволяє обертати модель і отримувати зображення з будь-якої точки простору, а зафарбовування моделі дає фото-реалістичне уявлення про майбутній виріб.

Практичну значимість системи розширюють додаткові модулі, призначені для: виконання збірок (PS-Assembly), конструювання штампів і прес-форм (PS-Moldmaker), проектування взуття (PS-Shoemaker), підготовки конструкторської документації (PS-Draft) .

Система PowerShape працює під управлінням операційних систем сімейства Windows і має зручний графічний користувацький інтерфейс. Запуск програми здійснюють за допомогою ярлика на робочому столі або через меню «Пуск».

2.2 Використання панелей інструментів

Більшість опцій, що містяться в меню, що випадають, доступні з відповідних панелей інструментів. Загальний вигляд системи зображено на Рис. 2.1

Панель видів та панель вибору режимів відображення служать для: вибору стандартних видів (види уздовж відповідних осей і ізометричні види), зміни виду (масштабування, переміщення і обертання), аналізу і зафарбовування моделі.

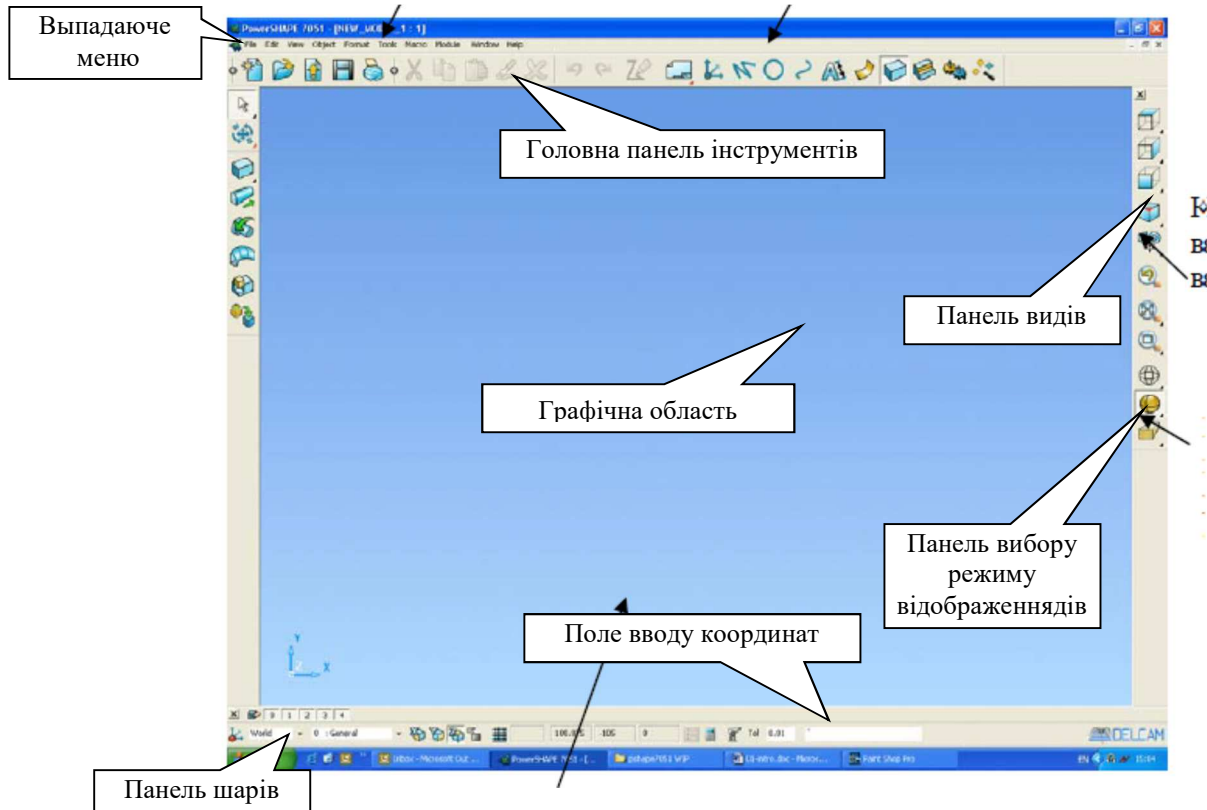


Рисунок 2.1 - Загальний вигляд системи PowerShape

Унизу екрану розташоване меню вибору локальної системи координат, кнопки вибору робочої площини, управління сіткою, текстові поля положення курсору, поле точності та поле вводу координат.

У верхній правій частині знаходяться опції створення відповідно (Рис.2.2): локальних систем координат, ліній, дуг, кривих, тексту, поверхонь, твердих тіл, елементів, сборок та майстра. При виборі однієї з цих іконок на екрані з'явиться контекстно-залежне меню яке відображає всі опції доступні для створення вибраного типу об'єкта.



Рисунок 2.2 - Опції створення об'єктів

 *Відкрийте модель *.tas за допомогою меню, що випадає
Файл → **Приклади**.*

 *На даній моделі випробуйте роботу вказаних меню та
відповідних опцій*

Примітка. Якщо ви затримаєте мишку над іконкою на деякий час, з'явиться підказка

Управляти видом можна в динамічному режимі маніпулюючи ми-шию. Динамічне масштабування виду здійснюється за допомогою правої кнопки миші і одночасним натисканням клавіші «Ctrl» на клавіатурі. Динамічне переміщення виду: «Shift» + «Права кнопка миші». Динамічне обертання виду здійснюється за допомогою середньої кнопки миші.

При створенні нової моделі, побудова починається щодо глобальної системи координат (World). Для конструювання простих геометричних об'єктів достатньо наявності однієї глобальної системи координат. Однак, в разі, комплексного складнопрофільного моделювання доцільніше використовувати локальні системи координат

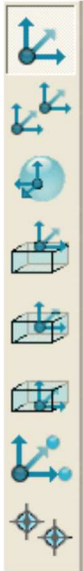
(Workplanes). Їх можна створювати в будь-якій точці щодо глобального простору і повертати на різні кути. Координати центру локальних систем координат, як і координати геометричних об'єктів, задають або за допомогою об'єктної прив'язки, або через «Поле введення координат» (Рис. 2.1).

Іншими словами, локальні системи координат (ЛСК або СК) - це призначені для користувача точки відліку робочого простору, які можуть встановлюватися в будь-якій точці простору і мати нахил осей, щоб спростити побудову моделі. Ви можете створювати кілька локальних систем координат, але тільки одна з них може бути активною. Активна система є вихідною для відліку координат по осях XYZ і має червоний колір. Об'єкти моделі можна копіювати або вирізати щодо активної системи координат і вставляти щодо нової активної системи.

Набір опцій для ЛСК розташований на головній панелі



інструментів і викликаються іконкою . На панелі існують наступні опції:



Одинарна ЛСК

Декілька ЛСК

Одинарна орієнтована по нормалі ЛСК

Одинарна ЛСК зверху вибраного об'єкту

Одинарна ЛСК в центрі вибраного об'єкту

Одинарна ЛСК знизу вибраного об'єкту

ЛСК по трьох точках

Створити точку

- ✚ Закрийте попередню модель (**Файл** → **Закрити**) і створіть нову модель (**Файл** → **Новий**).
- ✚ Створіть локальну систему координат за допомогою відповідної іконки на панелі інструментів (для вибору опцій меню або виділення об'єктів на екрані служить ліва кнопка миші) і введіть координати її центру в поле введення координат (пам'ятайте, для поділу значень X ; Y ; Z служать пробіл):



- ✚ Ввімкніть ізометричний вигляд  і подвійним кліком лівої кнопки миші по системі координат (СК) викличе діалогове вікно змін її параметрів (Рис. 2.3).
- ✚ Створіть ще декілька систем координат з довільним центром.
- ✚ Перемістіться в ліву нижню частину екрану. Там знаходиться список всіх наявних систем координат. Через даний список можливий перехід від однієї СК до іншої. Справа є іконки для вибору активної площини (рис. 2.4). Вибір осі Z означає активізацію площини XY . Відповідно при виборі осі X активізується площину YZ , а при виборі осі Y - площину XZ .

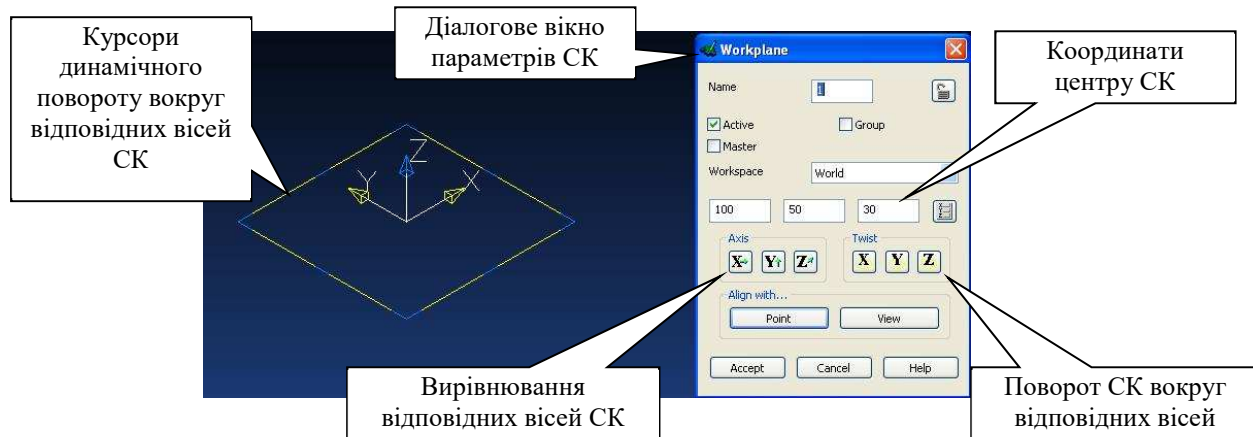


Рисунок 2.3 - Локальна система координат та діалогове вікно її параметрів

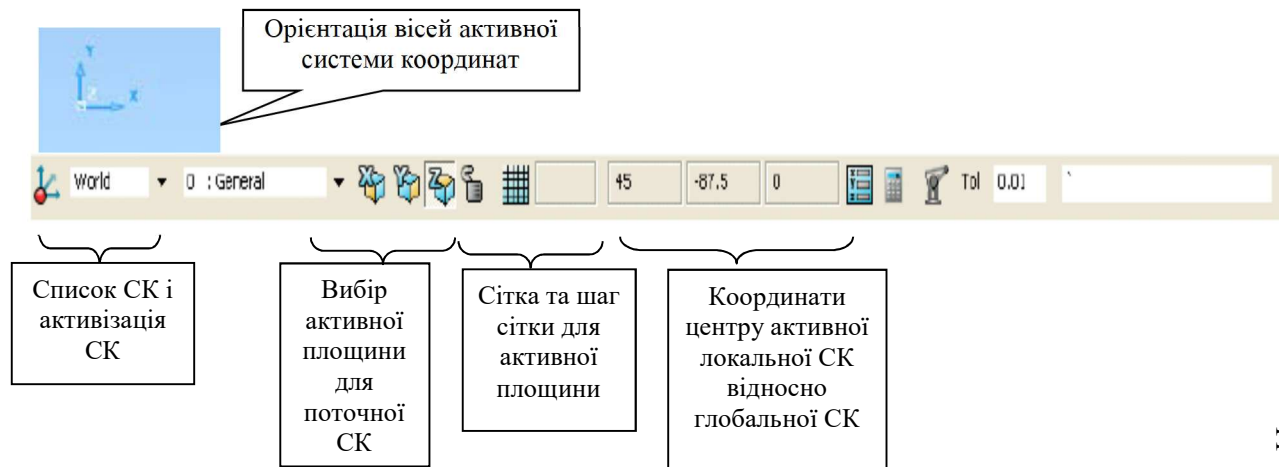


Рисунок 2.4 - Активізація систем координат та робочої площини

3. ПРАКТИЧНА РОБОТА №2. КАРКАСНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

3.1 Короткі теоретичні відомості

Геометричні об'єкти і різні методи їх побудови знаходяться в правій частині головної панелі інструментів (рис. 2.2) і згруповані в такий спосіб: локальні системи координат, лінії, дуги, криві, текст, поверхні, тверді тіла, елементи, збірки та майстер. Створення складних поверхонь і твердих тіл в більшості випадків починається з простого каркасного моделювання.

Система **PowerShape** дозволяє створити всі відомі типи каркасних об'єктів: лінії, полілінії, дуги і сплайнові криві. З простих об'єктів можна отримувати більш складні контури шляхом їх об'єднання. Об'єкти, що складаються з одного або більше простих каркасних об'єктів в термінології **PowerShape** називають композитними кривими.

Побудова об'єктів в системі **PowerShape** можливо в двох режимах: динамічному (або інтерактивному) і діалоговому. У першому випадку побудова здійснюють за допомогою миші. Координати точок відстежують в графічному вікні за допомогою інтелектуального курсора (Рис. 3.1). Курсор показує об'єктні прив'язки (кінцеві точки, проміжні, дотичні і т.і.), відстані, кути, радіуси, перетини об'єктів та ін. В діалоговому режимі всі координати необхідно вводити з клавіатури в поле введення координат.

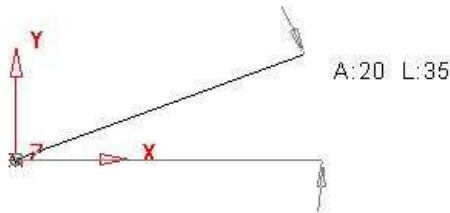


Рисунок 3.1 - Динамічний режим побудови лінії (інтелектуальний курсор показує полярний кут і довжину відрізка)

3.2 Робота з лініями

-  Створіть локальну систему координат з довільним центром.
-  Виберіть меню **Лінії** на головній панелі інструментів 
-  Виберіть опцію **Безперервна лінія** (Рис. 3.2)

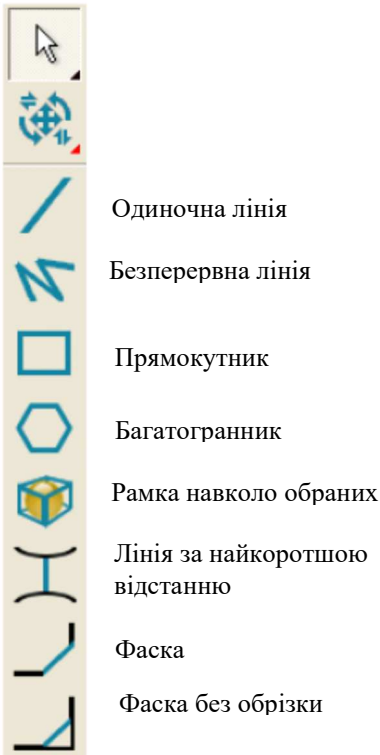


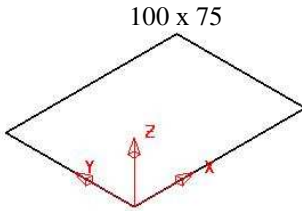
Рисунок 3.2 - Меню «Лінія»

-  Побудуйте прямокутник в робочій площині XY розміром X100 Y75 мм, вершина якого знаходиться в точці (0 0 0) (рис. 3.3а).
-  Побудуйте одиночну лінію АВ довжиною 100 мм (рис. 3.3б).

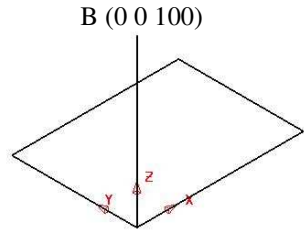
✂ Лінію CD отримаємо шляхом копіювання лінії AB . Для цього викличте загальну панель редагування, виділіть лінію, яку необхідно скопіювати і задайте функцію «Копіювати / перемістити об'єкт». Увімкніть іконку «Зберегти оригінал».

✂ Скопіюйте лінію AB в динамічному режимі за допомогою миші (Рис. 3.4а) або в діалоговому режимі за допомогою завдання величини переміщення (100 0 0) в поле вводу координат.

✂ За аналогією створіть лінії EF і HG , довжина яких дорівнює 125 мм.



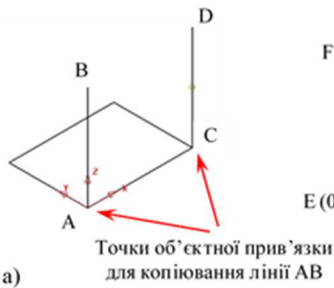
а) Вершина прямокутника: (0 0 0)



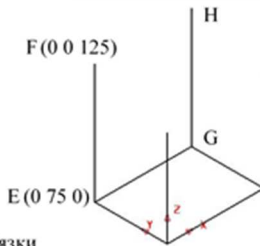
б) A (0 0 0)

а) побудова прямокутника; б) створення лінії

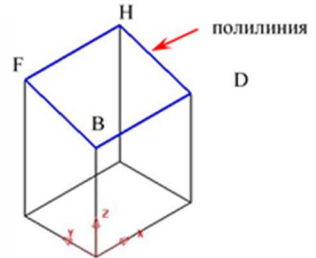
Рисунок 3.3 - Етапи моделювання:



а)



б)



в)

а) копіювання лінії AB ; б) побудова ліній EF і GH ; в) побудова полілінії $BDHF$

Рисунок 3.4 - Етапи моделювання:

- ✚ Побудуйте полілінію $BDHF$ в динамічному режимі за допомогою об'єктних прив'язок. Для завершення побудови полілінії натисніть **Esc** на клавіатурі.
- ✚ Створіть локальну систему координат в точці E і активізуйте робочу площину YZ (див. Рис. 2.4).
- ✚ Побудуйте прямокутник в площині YZ (рис. 3.5), вершина якого перебуває в точці $(0 -20 20)$, а протилежний кут в точці $(0 -35 45)$.
- ✚ Виберіть вид уздовж осі $-X$ і створіть на прямокутнику фаски 5×450 з обрізанням кутів (рис. 3.6). Фаски будуються в динамічному режимі шляхом вказівки ліній що сполучаються. Параметри фасок можна змінити в діалоговому режимі.

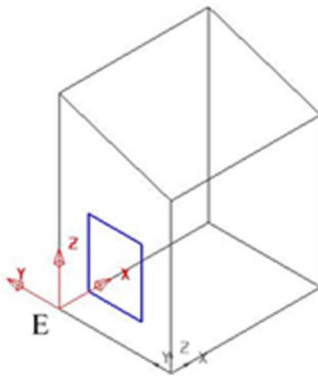


Рисунок 3.5 - Побудова прямокутника в площині YZ

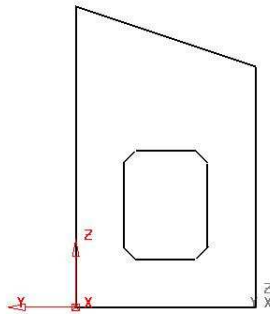
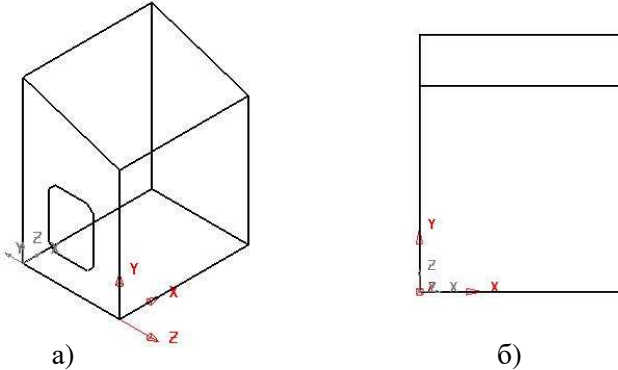


Рисунок 3.6 - Побудова фасок

-  Активізуйте локальну систему координат в точці A , розгорніть її навколо осі X на 90° (рис. 3.7а), встановіть робочу площину XY і вид уздовж осі Z .
-  У площині XY створіть восьмикутник зі стороною 20 мм, для побудови якого використайте полілінію з початковою точкою (40 20 0)



а) розворот системи координат; б) вид уздовж осі Z

Рисунок 3.7 - Підготовка робочої площини XY

Примітка. Перша точка полілінії вводиться в абсолютних координатах, а друга і всі наступні - у відносних збільшеннях (Рис. 3.8).

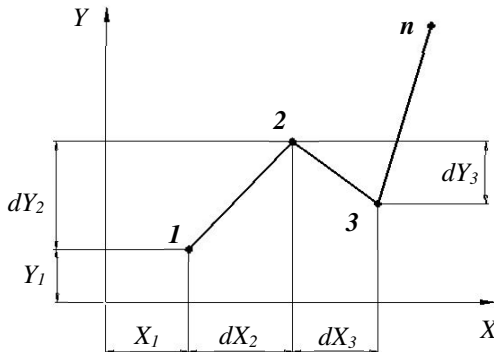
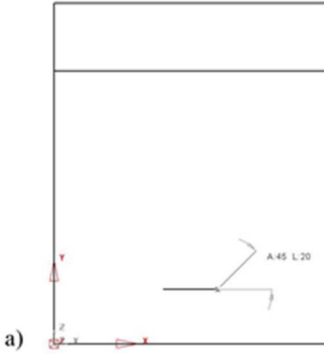
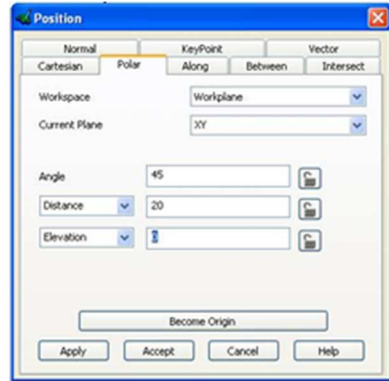


Рисунок 3.8 - Полілінія

Похилі ділянки можна задавати за допомогою полярних координат, як в інтерактивному, так і в діалоговому режимі (Рис. 3.9). У другому випадку координата n-ой точки задається через іконку, розташовану в нижній частині вікна **PowerShape**.



а)



б)

а) інтерактивний режим; б) діалоговий режим

Рисунок 3.9 - Використання полярних координат при побудові похилої лінії

 *Припинить побудову восьмикутника.*

Примітка. У разі, якщо координати точок введені невірно, можна увійти в режим редагування об'єкта і змінити необхідні параметри (Рис. 3.10б). Діалогове вікно редагування викликають подвійним кліком миші по об'єкту або вибором відповідної опції в контекстному меню (контекстне меню будь-якого об'єкта викликають правою кнопкою мишки).

Для поверхневого або твердотілого моделювання каркасні об'єкти перетворюють в композитні криві (контури). Генерація композитних кривих або контурів здійснюється з меню «Криві»:

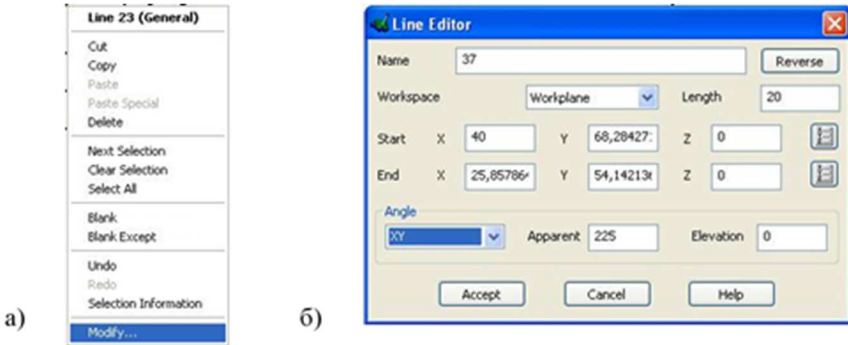


Опція: «Створити контур»



Для розрахунку контуру необхідно вказати мишею будь-яку його частину. У разі однозначного рішення система автоматично генерує

композитну криву. Якщо об'єкти, по яким розраховується контур перетинаються, то необхідно за допомогою стрілок вказати потрібний напрямок (рис. 3.11).



а) контекстне меню лінії; б) діалогове вікно редагування лінії

Рисунок 3.10 - Вхід в режим редагування лінії.

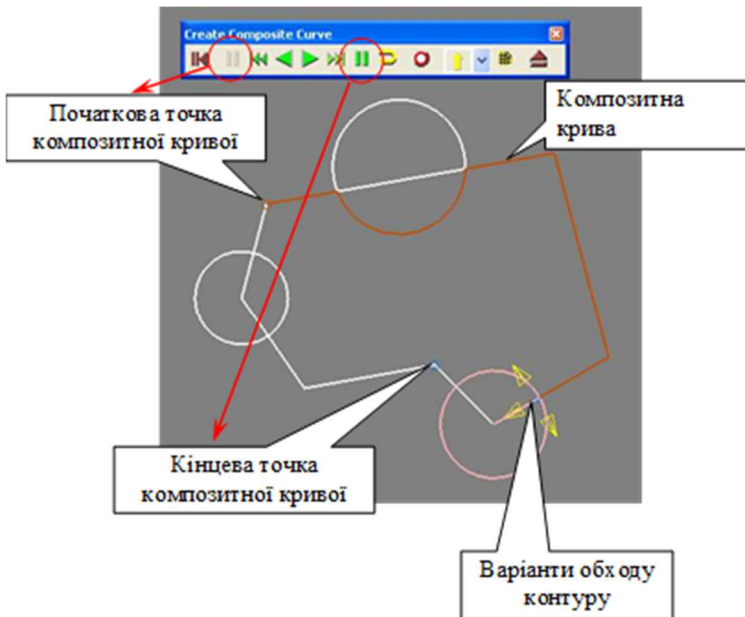


Рисунок 3.11 - Генерація складної композитної кривої

-  Створіть та збережіть композитну криву як показано на Рис. 3.12

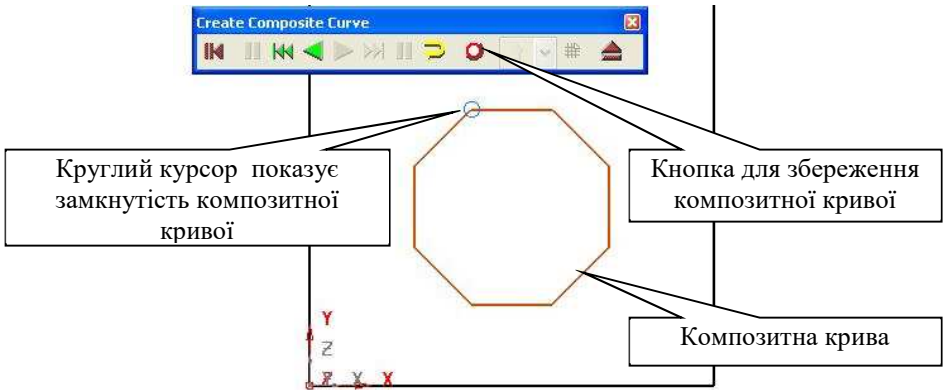
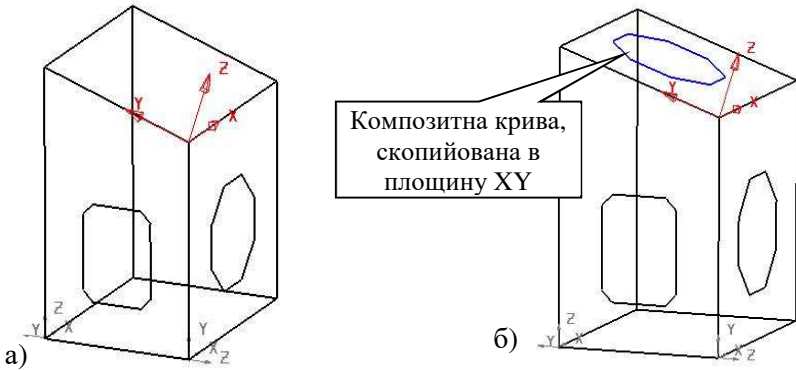


Рисунок 3.12 - Генерація композитної кривої

-  Виділіть та скопіюйте дану композитну криву в буфер обміну даними .
-  Створіть в точці В локальну систему координат и розверніть її в динамічному режимі, як показано на Рис. 3.13а.
-  Відносно нової системи координат вставте з буферу обміну  композитну криву у вигляді восьмикутника (Рис. 3.13б)



а) підготовка похилої СК; б) вставка кривої з буферу обміну в нахилу СК

Рисунок 3.13 - Створення копії композитної кривої

3.3 Робота з дугами

Система **PowerShape** дозволяє створювати кола, дуги і закруглення. Основу всіх методів побудов дуг складають два: дуга по центру і двох точках, окремим випадком якої є повна окружність, і дуга по трьом точкам, різновидом якої є закруглення.

Для роботи з дугами, натисніть кнопку меню «Дуга»



яке

має наступні

опції:



Повна дуга (коло)

Дуга по трьох точках

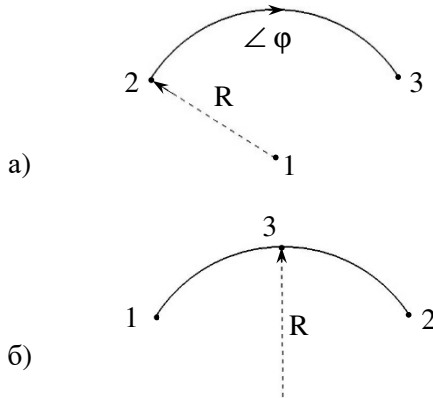
Дуга по центру, радіусу та сектору

Закруглення

Закруглення без обрізки

Побудова і редагування дуг можливо як в інтерактивному, так і діалоговому режимі. Послідовність введення точок, що визначають геометрію дуги при різних методах, показана на Рис. 3.14. Координата

точки 3 при побудові дуги «по центру і двох точках» в діалоговому режимі (Рис. 3.14а) задається кутом сектора ϕ . При вуглі $\phi=360^0$, формується повна окружність. Редагування дуг в інтерактивному режимі виконують за допомогою курсорів, а в діалоговому - шляхом задання параметрів у вікні, що викликається подвійним клацанням миші (рис. 3.15).



а) по центру и двум точкам; б) по трёх точках

Рисунок 3.14 - Порядок ввода точек при різних методах побудови дуг:

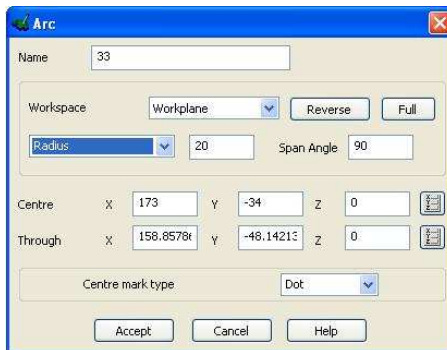


Рисунок 3.15 - Діалогове вікно редагування дуги

Дуги використовують як для побудови окремих елементів, так і для гладкого сполучення інших каркасних об'єктів (ліній або дуг) (рис. 3.16). Закруглення можна виконати двома способами: 1) використовуючи спеціальну функцію закруглення; 2) побудовою дуги по трьом точкам. Однак при зміні радіуса дуги в другому випадку відсутня параметрична прив'язка до об'єктів що закруглюються (рис. 3.17в).

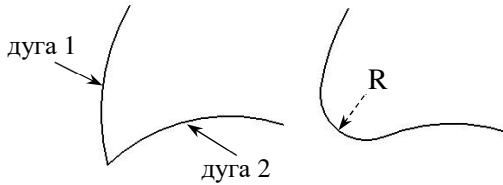
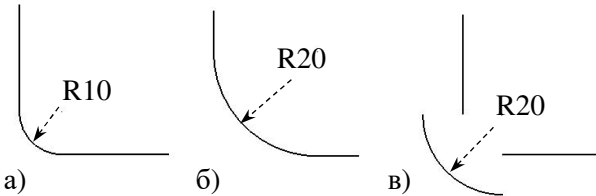


Рисунок 3.16 - Закруглення двох дуг радіусом R



а) вихідна дуга; б) закруглення; в) дуга по трьох точках

Рис. 3.17 - Відмінність в типах закруглення



Побудуйте за допомогою дуг і ліній контур, розміри якого представлені на Рис. 3.18.

Примітки:

1. Етапи моделювання представлені на Рис. 3.19
2. При сполученні двох кіл дугою (рис. 3.19а) або лінією (рис. 3.19д) використовуйте об'єктну дотичну прив'язку **Tangent**;
3. Для видалення ділянок контуру (рис. 3.19е, ж) потрібно скористатися функцією «Інтерактивне обмеження кривих», доступ до якої можливий з загальної панелі редагування;
4. Радіус кута при побудові закруглень визначається системою автоматично. Тому щоб уникнути повторного редагування радіусу закруглення кута, точне його значення можна задавати в поле введення координат до етапу виділення двох ліній (наприклад:).

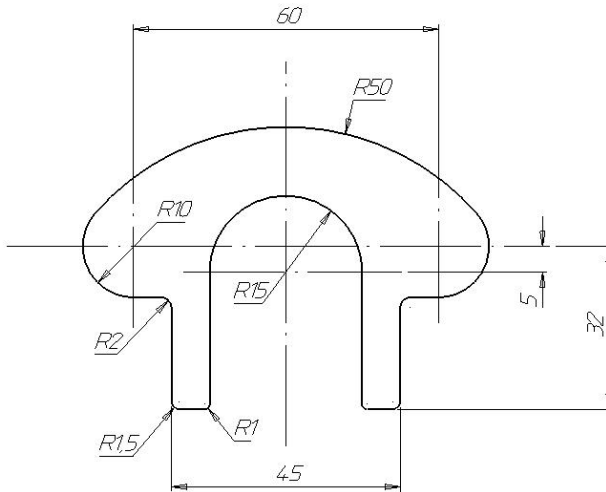
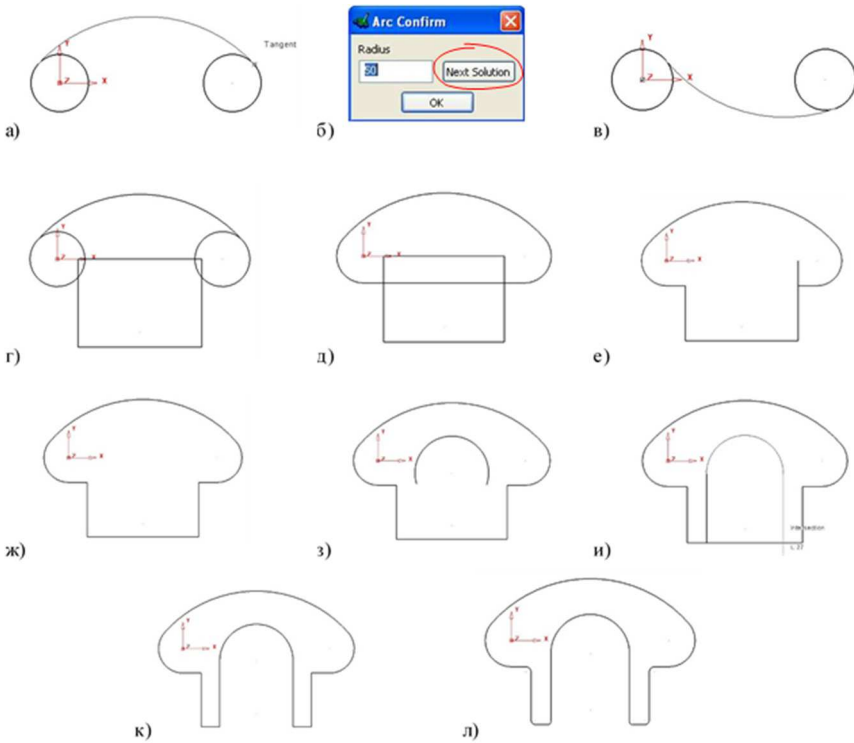


Рисунок 3.18 - Креслення контуру з дугами



а) побудова окружностей і дуги по трьох точках;
 б), в) варіанти сполучення дуги по трьох точках; г) побудова прямокутника;
 д) створення лінії, дотичної до двох окружностей; е, ж) інтерактивне обмеження;
 з) дуга по центру і двох точках; и) побудова двох одиночних ліній по дотичній
 прив'язці до дуги і перетину з основою; к) інтерактивне обмеження; л) побудова
 закруглень кутів

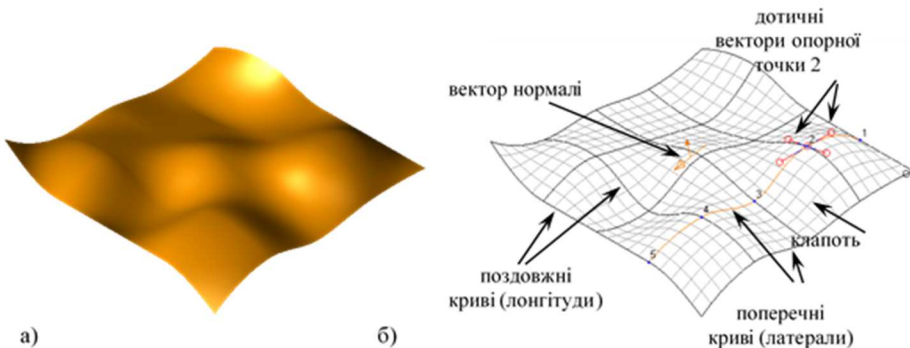
Рисунок 3.19 - Етапи моделювання

4. ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3. ПОВЕРХНЕВЕ МОДЕЛЮВАННЯ

4.1. Короткі теоретичні відомості

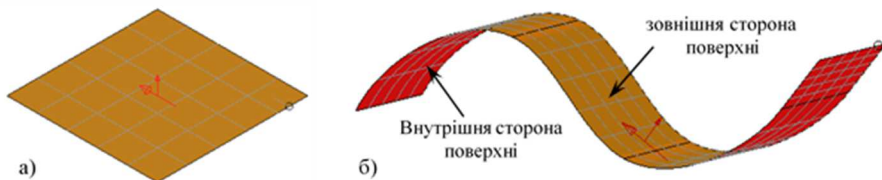
Поверхнею називається сукупність всіх послідовних положень ліній, що безперервно переміщуються в просторі. Будь-яка по-поверхня має нульову товщину і вектор нормалі, що показує її зовнішню сторону. Поверхні, що створюються в системі PowerShape математично представлені в формі Безьє і складаються з мережі поздовжніх і поперечних кривих, що перетинаються в опорних точках. Кожна опорна точка має пару дотичних векторів в поздовжньому і поперечному напрямку, регулюючи довжину і напрямок яких можна змінювати форму поверхні. На кінцях дотичних векторів розташовані контрольні точки, шляхом переміщення яких можна також змінювати форму поверхні. Ділянка поверхні між двома сусідніми поздовжніми і поперечними кривими називається клаптем. Поздовжні криві в термінології PowerShape називаються **лонгітудами**, а поперечні - **латералами** (Рис. 4.1). Порядковий номер кожної опорної точки на поверхневій кривій відповідає порядковому номеру кривої протилежного напрямку.

Поверхні бувають примітивними (площина, сфера, циліндр, конус, тор і ін.), Лінійчатими (кривизна поверхні в одному напрямку) (рис. 4.2) і подвійної кривизни (рис. 4.1).



а) зафарбований вигляд; б) каркасний вигляд

Рисунок 4.1 - Поверхня Без'є



а) площина; б) лінійчаста поверхня

Рисунок 4.2 - Деякі типи поверхонь:

4.2. Примітивні поверхні

Для побудови поверхонь розроблені різні методи геометричного моделювання, доступ до яких можливий через випадаюче графічне



меню «Поверхня» що має опції створення поверхонь-примітивів, зліва - направо: **площина, блок, циліндр, конус, сфера і тор**.

В системі PowerShape примітивна поверхня є параметризованим об'єктом, тому в будь-який момент можна змінювати параметри, що визначають їх геометрію і положення в просторі (центр власної системи координат і орієнтації її осей щодо активної СК).

Побудова і редагування примітивних поверхонь проводять за загальною схемою. Після вибору робочої площини і типу примітивної поверхні задають центр її власної системи координат в діалоговому (за допомогою поля введення координат) або динамічному (за допомогою Інтелектуального курсора) режимі. При цьому вісь Z власної системи координат примітивної поверхні завжди спрямована уздовж головної осі СК. Після появи об'єкта на екрані визначають його геометричні параметри і, якщо необхідно, дають більш точну орієнтацію його осей в просторі. Ці операції можна виконати також як в динамічному (рис. 4.3), так і діалоговому (рис. 4.4) режимі. Нагадаємо, що вхід в діалоговий режим редагування будь-якого об'єкта здійснюється подвійним кліком миші або через контекстне меню (опція «**Редагувати поверхню**»).

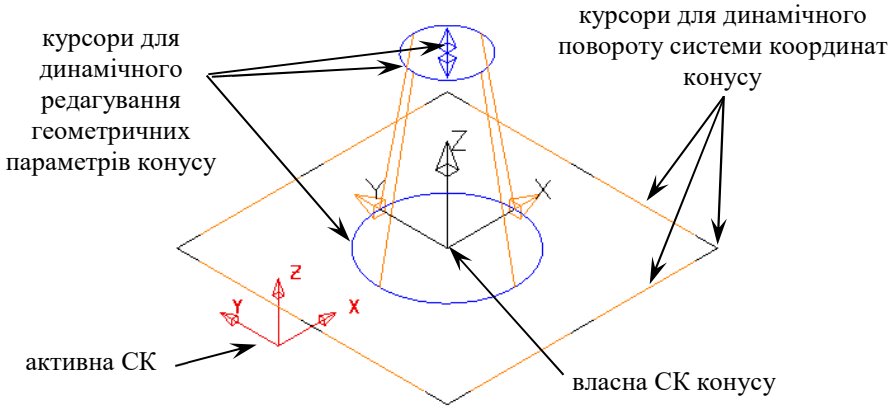


Рисунок 4.3 - Примітивний конус

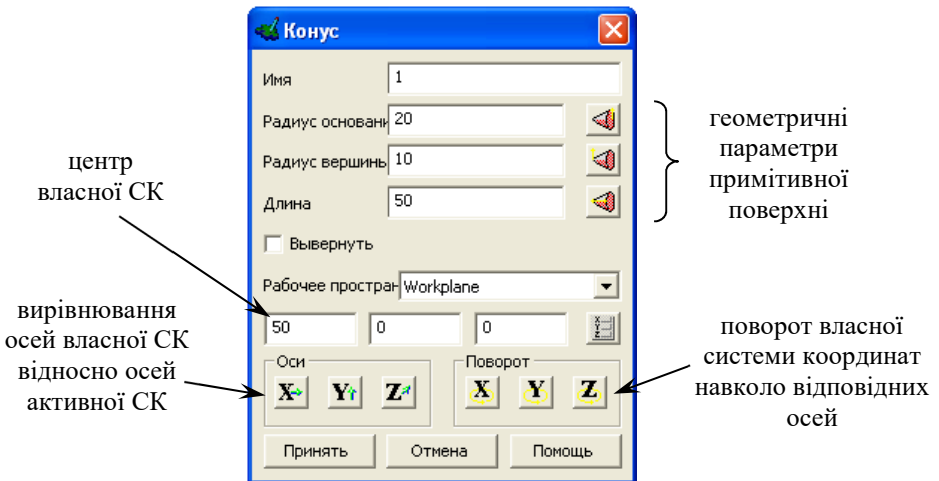


Рисунок 4.4 - Діалогове вікно редагування параметрів примітивної поверхні

Поверхні-примітиви необхідні для конструювання комплексних моделей, що складаються з простих елементів. Крім того, їх використовують в якості вихідних даних для отримання поверхонь більш високого ступеня складності. Для цього примітиви конвертують в Безьє-поверхні і застосовують методи редагування складних поверхонь. Для перетворення використовують опцію «**Конвертувати**» в контекстному меню об'єкта (рис. 4.5).

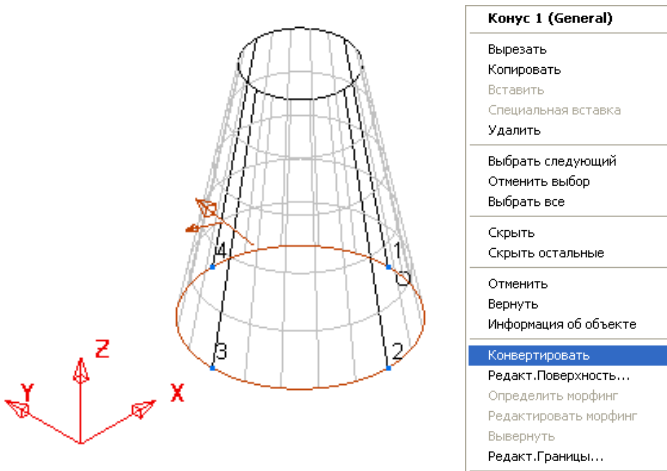


Рисунок 4.5 - Конвертація примітивного конусу в поверхню Без'є

 Побудуйте самостійно всі типи примітивних поверхонь і апробуйте інструменти їх редагування.

 Використовуючи поверхні-примітиви, створіть спрощену модель LCD-монітора, представлену на рис. 4.6. Для цього:

- Створіть локальну систему координат (ЛСК1).
- За допомогою поверхонь-примітивів побудуйте наступні об'єкти:
 - ☞ циліндр $R = 100\text{мм}$, $L = 20\text{мм}$ з центром в точці $(0\ 0\ 0)$;
 - ☞ конус R основи $= 100\text{мм}$, R вершини $= 20\text{мм}$, $L = 40\text{мм}$ з центром в т. $(0\ 0\ 20)$;
 - ☞ циліндр $R = 20\text{мм}$, $L = 20\text{мм}$ з центром в точці $(0\ 0\ 60)$.

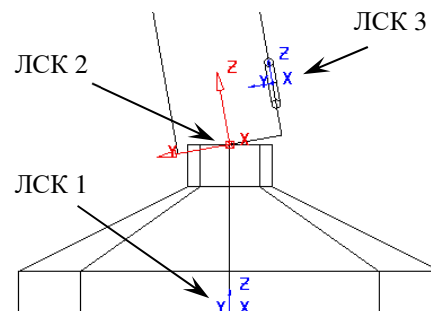
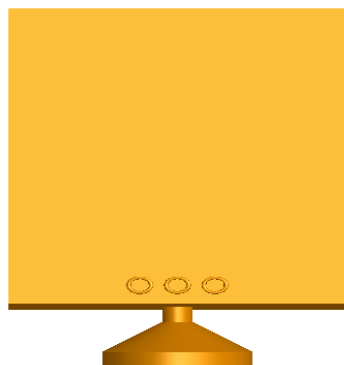


Рисунок 4.6 - Модель, що складається з поверхонь-примітивів

- Створіть систему координат (ЛСК2) в точці (0 0 80) і розгорніть її навколо власної осі X на кут -10° . Щодо ЛСК2 побудуйте:
 - ☞ блок $X = 450\text{мм}$, $Y = 50\text{мм}$, $Z = 400\text{мм}$ в точці (0 0 0);
 - ☞ площину $X = 450\text{мм}$, $Y = 50\text{мм}$ в точці (0 0 0);
 - ☞ площину $X = 450\text{мм}$, $Y = 50\text{мм}$ в точці (0 0 400).
- Створіть локальну систему координат в точці (0 -25 25) і активізуйте робочу площину ZX. Щодо ЛСК3 побудуйте тор R малий = 2 мм, R великий = 10мм (Рис. 4.7а).
- За допомогою загальної панелі редагування виконайте:
 - ☞ непропорційне масштабування тора з коефіцієнтами $X = 1,5$; $Y = 1$ і $Z = 1$.
 - ☞ копіювання тороїда на відстані $X = 50\text{мм}$ і $X = 50\text{мм}$ щодо центру ЛСК3 (рис. 4.7б).

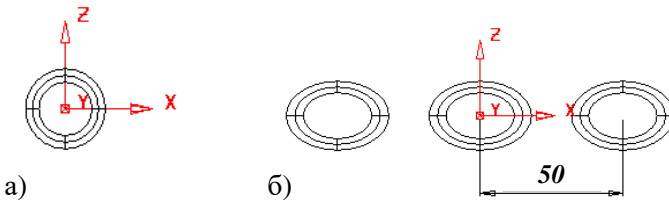


Рисунок 4.7 - Перетворення тору: а) вихідний тор; б) копіювання тороїдів

4.3 Поверхня обертання

Поверхня обертання утворюється в результаті обертання плоскої кривої (рис. 4.8а) навколо осі симетрії на заданий кут (за замовченням кут обертання дорівнює 360°). Вісь симетрії (вісь обертання) визначається активною віссю поточної системи координат. Поверхня обертання, як і поверхня-примітив, має власну систему координат і є параметризованою. Як параметри поверхні обертання використовують:

кут обертання, координати центру системи координат і напрямок її осей відносно осей активної системи координат. Змінення параметрів поверхні обертання можливо через вікно редагування, яке викликається подвійним кліком миші (рис. 4.8б). Для перетворення поверхні обертання в складну поверхню (поверхню Без'є) використовують опцію **«Конвертувати»**, розташовану в контекстному меню об'єкта.

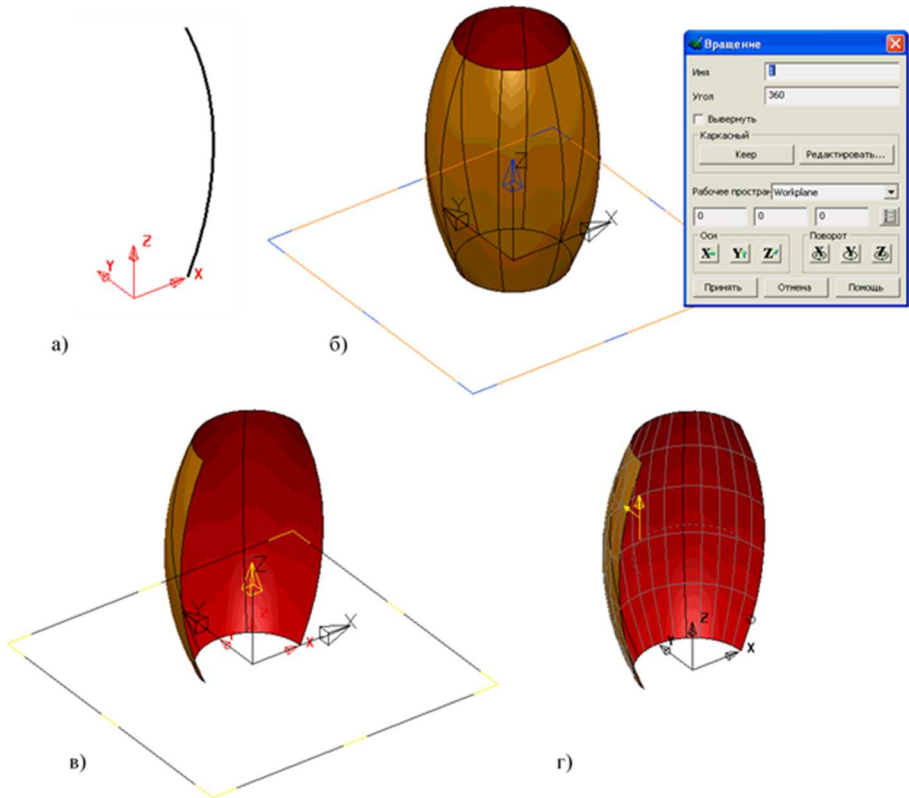


Рисунок 4.8 - Поверхня обертання: а) вихідний контур; б) поверхня обертання; в) кут обертання 180° ; г) перетворення в поверхню Без'є



Побудуйте довільну поверхню обертання, одним з зазначених вище способів.

Примітка. У процесі утворення поверхні обертання вихідний контур зникає. Однак система **PowerShape** дозволяє відновити його і використовувати для подальшого редагування та моделювання. Для цього використовуються опції **«Keep (відновити)»** і **«Редагувати»** у вікні зміни параметрів (Рис. 4.86).

5. ПРАКТИЧНА РОБОТА №4 ТВЕРДОТІЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

5.1 Короткі теоретичні відомості

Основна ідея твердотілого моделювання полягає в тому, щоб забезпечити фізичне представлення геометричних об'ємних тіл і оперувати поняттями «Додавання / видалення матеріалу». Коректне тверде тіло містить внутрішній об'єм, обмежений зовнішньою поверхнею тіла. Таке представлення дозволяє визначати об'єм тіла, його масу, моменти інерції, центр ваги та ін. Ці параметри важливі для конструктора, оскільки є критичними при оцінці ефективності конструкції виробу.

Отже, твердим тілом називається об'ємна комп'ютерна модель, зовнішні поверхні якої не мають розривів в місцях сполучення, а внутрішній обсяг заповнений «твердим» матеріалом.

Недосконалість існуючого математичного апарату систем твердотілого моделювання обмежує можливості конструкторів у створенні складних форм. У більшості існуючих CAD-систем для прямої побудови тіл використовуються примітивні об'єкти: паралелепіпед, сфера, циліндр, конус і тор. Нерідко, в арсенал конструкторів входить набір інструментів для створення тіл методами витягування і обертання контурів. Для формування більш складних моделей зазвичай застосовують Булеві операції з твердими тілами: додавання тіл, віднімання тіл і перетин тіл (рис. 5.1, 5.2, 5.3).

Поряд з цим, стала доступна і зворотна операція - конвертація тіла в поверхні, якими воно описано. Граничне уявлення твердих тіл показано на Рис. 5.4. У зв'язку з вищесказаним, система PowerShape дозволяє виконувати гібридне поверхнево-твердотільне моделювання промислових виробів будь-якого ступеня складності, надаючи конструктору право вибирати оптимальні методи геометричних побудов.

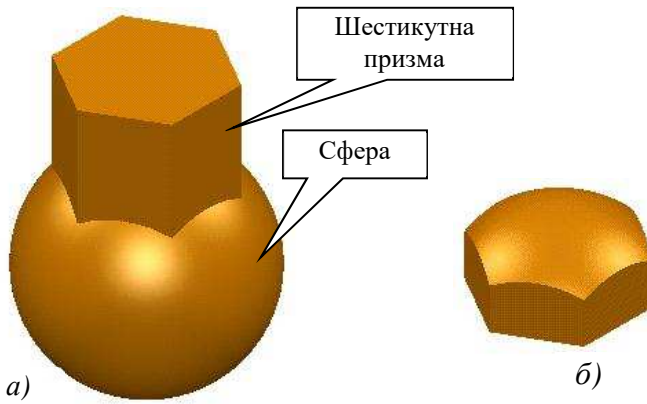
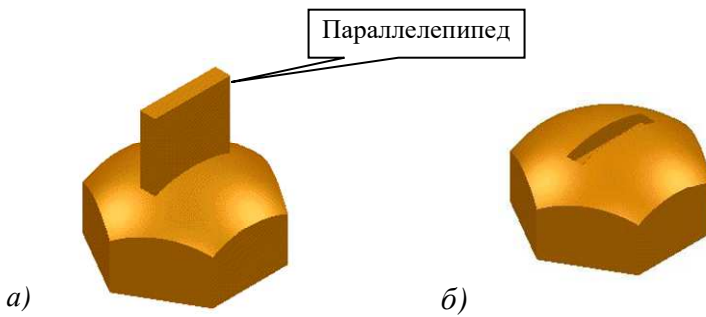
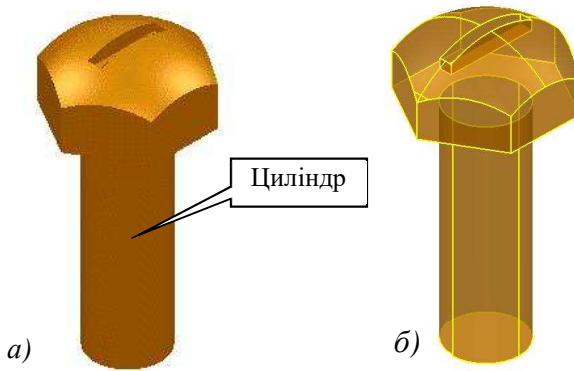


Рисунок 5.1 - Булева операція «Перетин тіл»: а) вихідні тіла; б) нове тіло



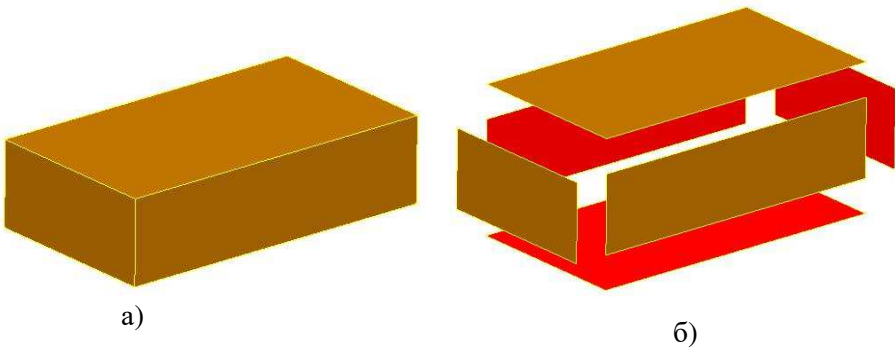
а) вихідні тіла; б) результат операції

Рисунок 5.2 - Булева операція «Віднімання тіл»



а) вихідні тіла; б) нове тіло в каркасному вигляді

Рисунок 5.3 - Булева операція «Складання тіл»



а) тіло; б) поверхні що граничать (площини роздвинуті)

Рисунок 5.4. Граничне представлення твердого тіла

5.2 Виконання твердотільного моделювання

Інструменти, доступні для створення твердотільних моделей



згруповані в випадаючому графічному меню «Тіло» - , яке знаходиться на головній панелі інструментів і що включає поряд з багатьма іншими опціями Булеві операції та тіла-примітиви.

 Використовуючи наведений нижче приклад, побудуйте модель деталі згідно завдання методом твердотільного моделювання

Приклад

Побудуємо твердотісну модель згідно креслення Рис. 5.5

- Створіть контур в площині XY відносно центру локальної системи координат, як показано на Рис. 5.6 і перетворіть його в композитну криву.
- Використовуючи функцію «Створити тіло витягування» в підміню твердотільного моделювальника (Рис. 5.6 б), побудуйте тіло витягуванням контуру на 21 мм в напрямку осі Z (Рис. 5.6 б).
- Створіть твердотільний конус з центром в точці (89, 64, 21), радіусом основи 42 мм, радіусом вершини 30 мм і довжиною 45мм, використавши при цьому твердотільний примітив.

Примітка. При виконанні деяких операцій з тілами, в т.ч. Булевих операцій, потрібно виділяти на екрані неактивне тіло і застосовувати до нього відповідну функцію, наприклад «Додати вбрання тіло до активного тіла», в іншому випадку система видасть повідомлення про неправильно обраний об'єкт. В системі PowerShape активне тіло завжди відображається на екрані червоним кольором, а неактивні тіла - сірим кольором (Рис. 5.7).

- Об'єднайте конус і основу деталі в одне тіло за допомогою Булевої операції «Додати вбрання тіло до активного тіла».

- Створіть в площині ZX прямокутний контур, відповідно до креслення, для формування вирізу в нижній частині основи деталі, після чого перетворіть отриманий контур в композитну криву.
- Використовуючи функцію «Створити виріз» в випадаючому меню твердотільного моделювальника побудуйте наскрізний виріз в напрямку осі Y в нижній частині основи деталі (Рис. 5.8).
- Для побудови наскрізного отвору в центрі деталі використовуємо Булеву операцію «**Віднімання тіл**». Як тіло - від'ємник приймемо циліндр з радіусом 19 мм. Для коректного виконання операції забезпечте гарантований виліт нижньої і верхньої основи циліндру за межі активного тіла (Рис. 5.9).

Примітка. Для конструювання отворів можна також використовувати спеціальну функцію твердотільного моделювальника. Цей інструмент дозволяє моделювати наскрізні й глухі отвори простої та ступінчастої форми.

- Активізуйте інструмент «Створити отвір» і введіть в поле введення координат значення (20, 20, 0). Це координати центру 1-го ступінчастого отвору. На екрані з'явиться каркасне відображення отвору і діалогове меню для визначення його геометричних параметрів (Рис. 5.10а). Визначте конфігурацію ступінчастого отвору на вкладці «**Counter Bore**». Для правильної орієнтації отвору відносно деталі необхідно змінити вектор його осьового напрямку, для чого в формі передбачена опція «**Plane Details**» (рис. 5.10б). Активізуйте цю опцію і змініть осьовий напрямок отвори на протилежне, тобто на -Z. Після цього необхідно перенести координату центру основи отвору в точку (20, 20, 21). Натисніть кнопку «**Apply**» для завершення побудови.
- Створіть за аналогією три інші ступінчасті отвори (Рис. 5.11).

Твердотільний моделювальник системи PowerShape оснащений функціями для заокруглення ребер твердотільних об'єктів заданим радіусом (Рис. 5.12). При цьому користувачеві системи надається

можливість отримувати заокруглення як постійного, так і змінного радіусу (опція «**Advanced**»).

- Для завершення моделі виконайте заокруглення кромки відповідно до креслення деталі (Рис. 5.5, 5.12).

Раніше, ми вже говорили про параметризацію об'єктів та переваги її використання. При твердотільних моделюванні параметризація має особливу актуальність. Система PowerShape автоматично запам'ятовує параметричні залежності, що визначають як геометрію окремих елементів, так і різних операцій. Інформація про тверде тіло міститься у відповідній області в лівій частині екрана (Рис. 5.13). Активізувавши подвійним натисканням миші необхідний елемент або операцію в дереві твердотільної моделі, можна отримати доступ до редагування відповідних параметрів. При цьому PowerShape зберігає взаємозв'язки між об'єктами і автоматично перебудовує модель.

-  *Завершивши побудову моделі згідно завдання, виконайте самостійно зміни отриманої твердотільної моделі шляхом довільного змінення геометричних параметрів її окремих елементів.*

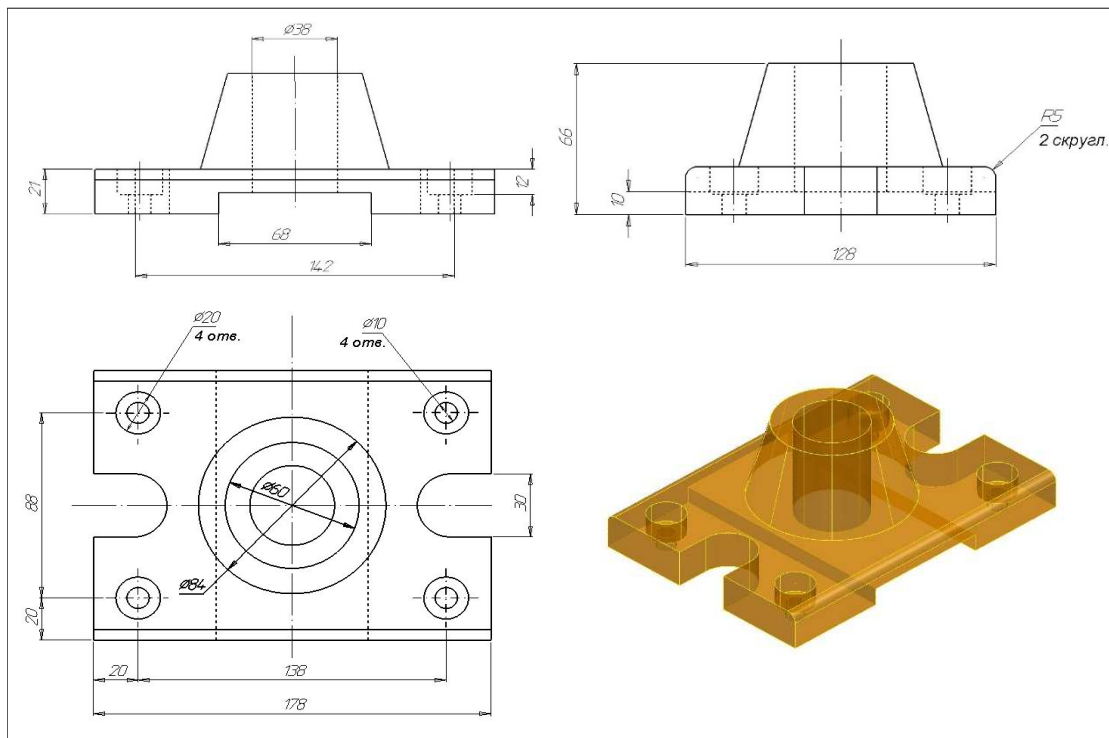


Рисунок 5.5 - Креслення деталі

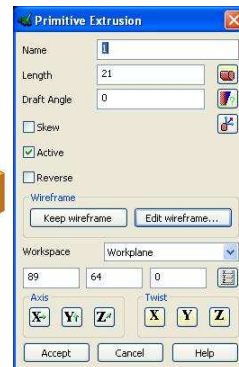
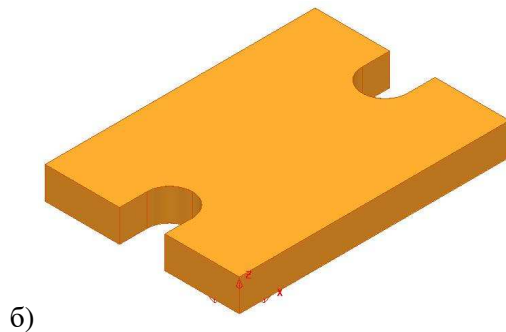
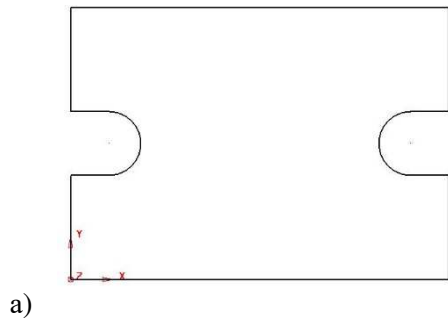


Рисунок 5.6 - Побудова основи деталі: а) контур; б) тіло витягування

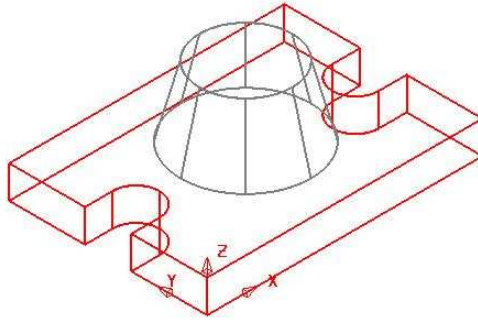


Рисунок 5.7 - Активне і неактивне тіло

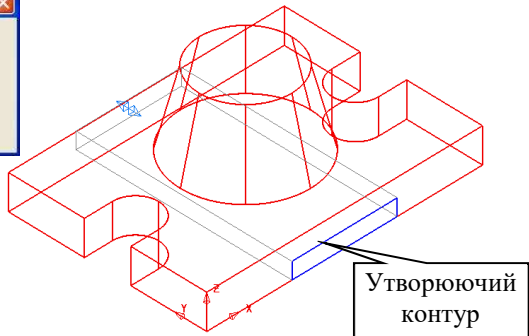


Рисунок 5.8 - Формування вирізу

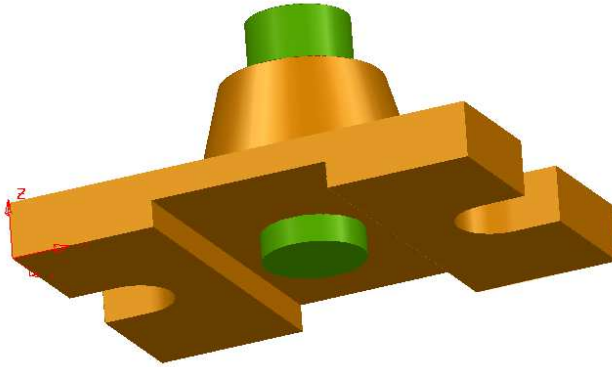
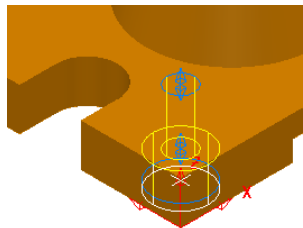
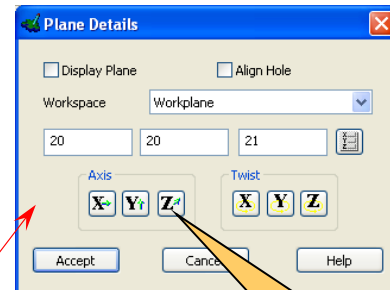
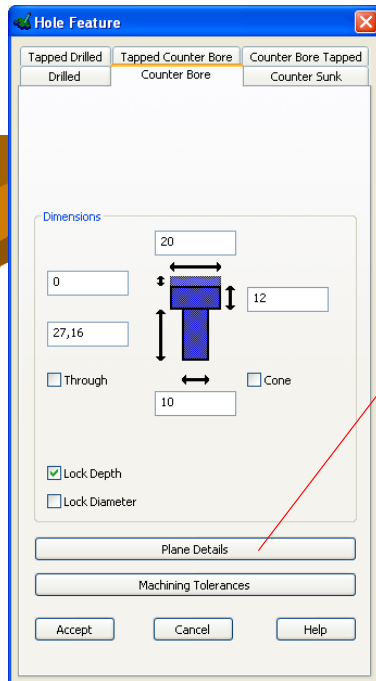


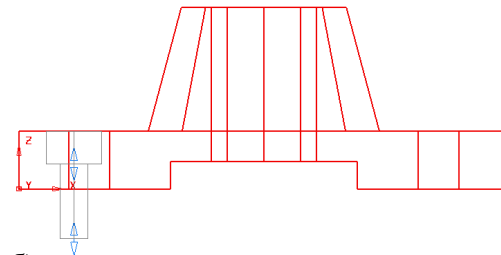
Рисунок 5.9 - Формування центрального отвору шляхом віднімання циліндру



а)



Зміна
направлення вісі Z



б)

а) контур отвору та основне діалогове вікно; б) зміна напрямку отвору
Рисунок 5.10 - Задання геометричних параметрів ступінчастого отвору:

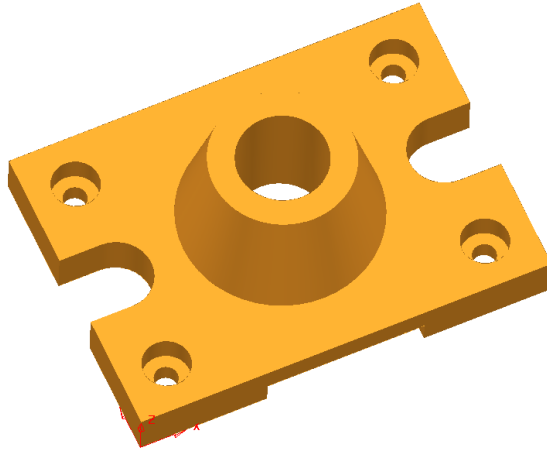


Рисунок 5.11 - Результат побудови ступінчастих отворів

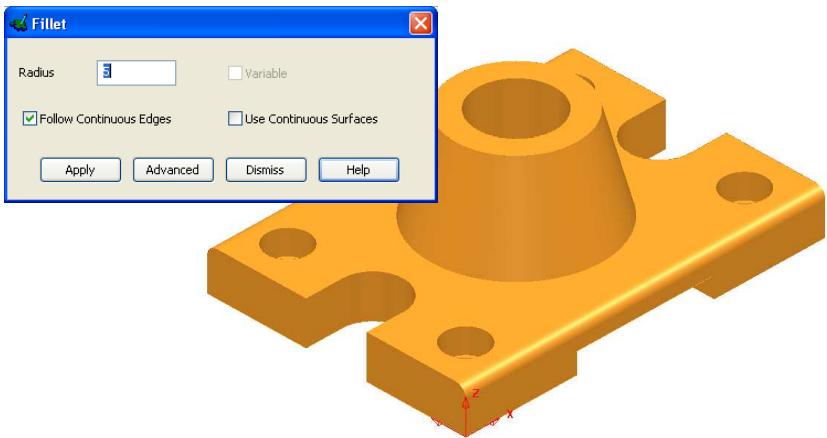


Рисунок 5.12 - Заокруглення ребер твердого тіла

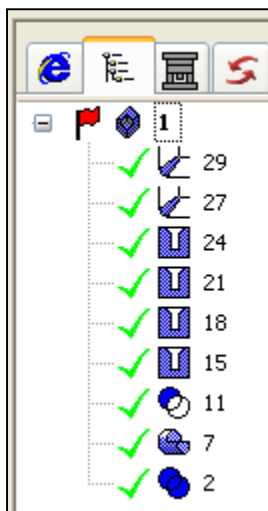


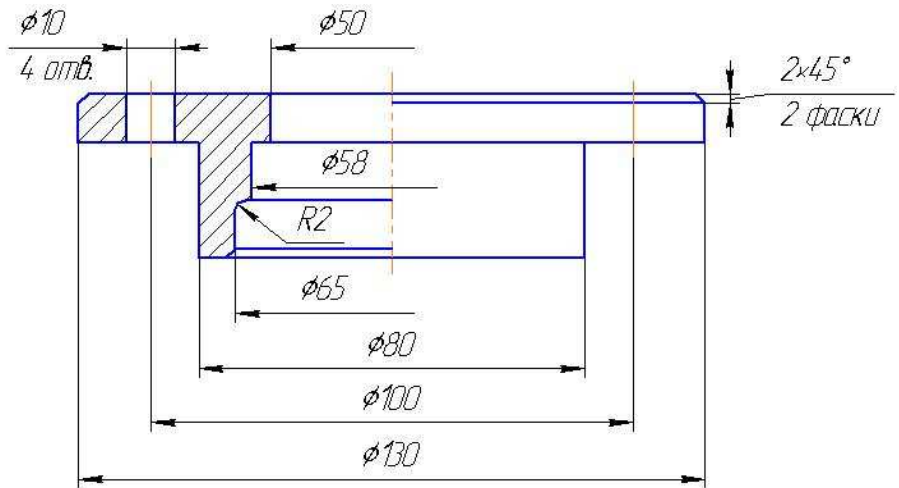
Рисунок 5.13 - Дерево елементів і операцій твердотельної моделі

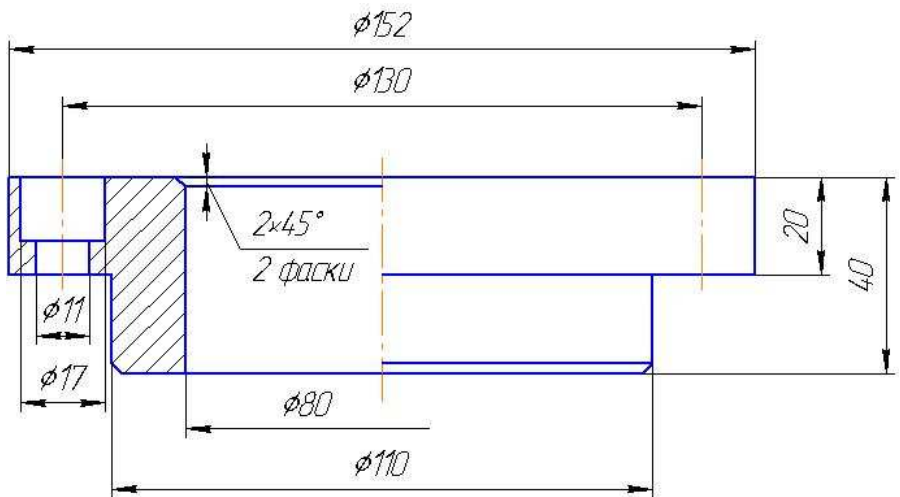
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

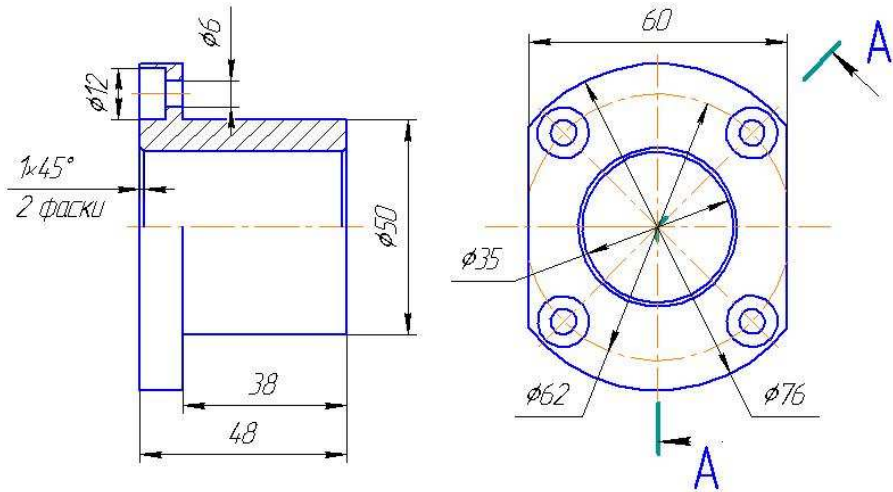
1. Грабченко А.І. Теорія 3D моделювання / А.І.Грабченко, В.Л.Доброскок. – Х.: НТУ "ХПІ", 2009. – 230 с.
2. Голованов Н.Н. Геометрическое моделирование / Н.Н.Голованов. – М.: Издательство «Физматлит», 2002. – 472 с.
3. Кунву Ли. Основы САПР (CAD/CAM/CAE) / Ли Кунву. – СПб.: Питер, 2004.
4. Delcam. PowerShape 7080. Учебный курс. – Birmingham: Delcam, 2006. – 244 с.
5. Медведев Ф.В. Автоматизированное проектирование и производство деталей сложной геометрии на базе программного комплекса PowerSolution: Учеб. пособие / Ф.В. Медведев, И.В. Нагаев Под общ. ред. А.Г. Громашева. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2005 – 167 с.

Додаток А
Варіанти завдання

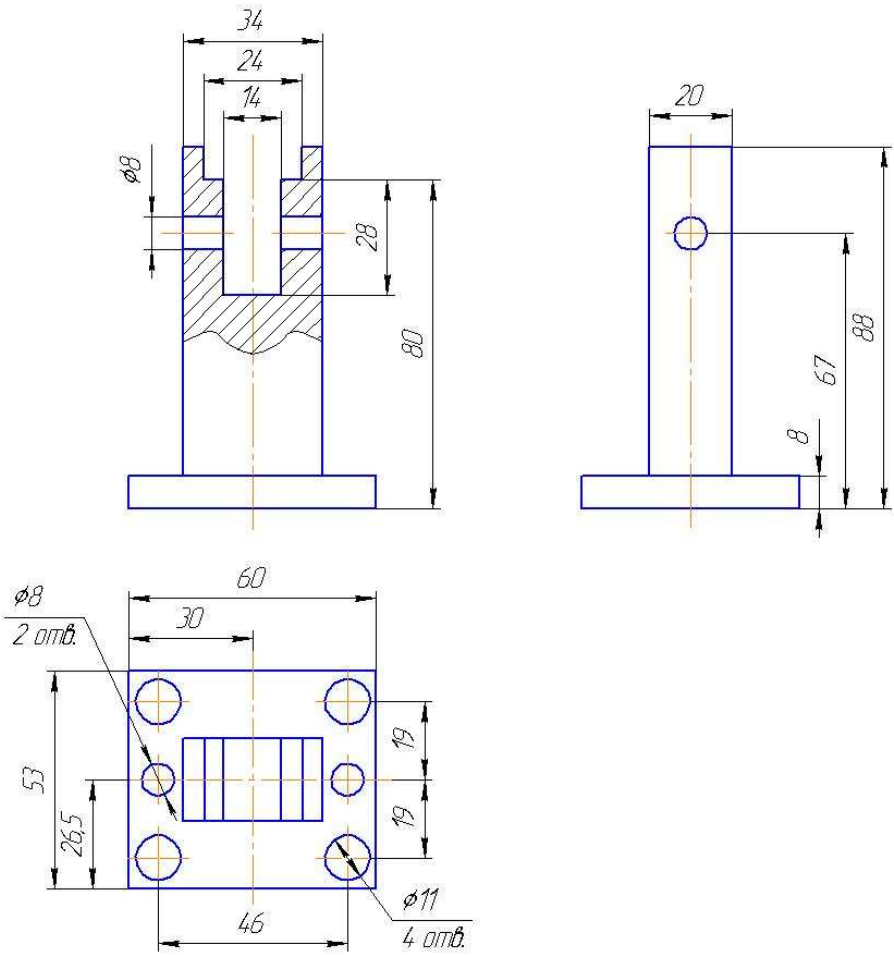
Варіант 1

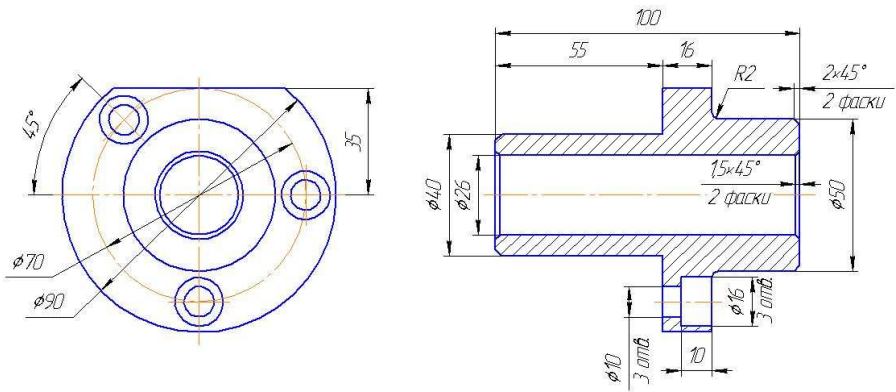




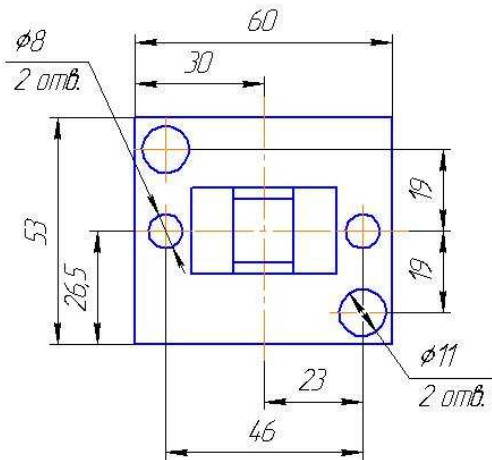
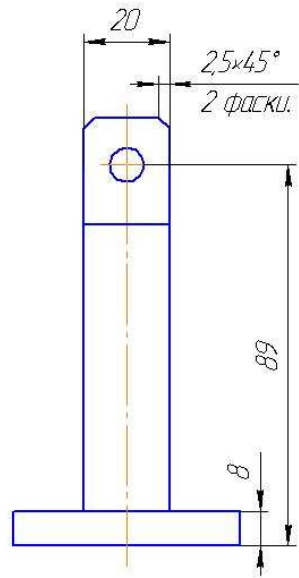
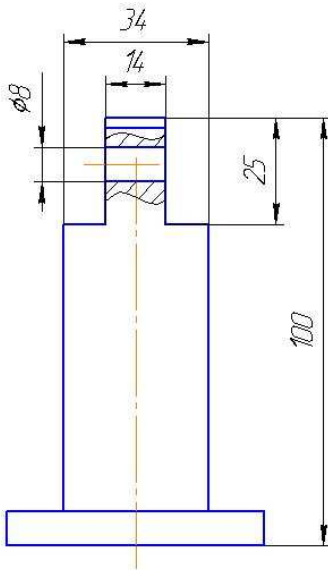
Варіант 4

Варіант 5





Варіант 7



Варіант 8