



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ**

І.П. Захаров, І.Б. Чеботарьова

ІНЖЕНЕРНА ТА КОМП'ЮТЕРНА ГРАФІКА

Харків 2025

І.П. Захаров, І.Б. Чеботарьова

ІНЖЕНЕРНА ТА КОМП'ЮТЕРНА ГРАФІКА

*Навчальний посібник
Електронне видання*

Харків 2025

УДК 681.6

*Рекомендовано до друку НМР Харківського національного університету
радіоелектроніки (протокол № 5/9 від 28.05.2021 р.)*

Рецензенти:

*Л.М. Куценко, доктор технічних наук, професор НУЦЗУ;
В.П. Манаков, кандидат технічних наук, професор ХНУРЕ.*

Захаров І.П., Чеботарьова І.Б.

Інженерна та комп'ютерна графіка: навчальний посібник для студентів закладів вищої освіти з дисципліни «Інженерна та комп'ютерна графіка» спеціальностей G6 – Інформаційно-вимірювальні технології, G20 – Видавництво та поліграфія / І.П. Захаров, І.Б. Чеботарьова. – Електронне видання. – Харків: ХНУРЕ, 2025. 151 с. pdf 6,05 Mb

ISBN 978-966-659-345-3

У навчальному посібнику детально розглянуто основи проектування геометричних об'єктів та побудови зображень геометричних об'єктів із застосуванням технічних пристроїв; засоби одержання зображень геометричних об'єктів та їхні перетворення. Описано вирішування позиційних та метричних задач. Наведено теоретичні основи комп'ютерної графіки та можливості автоматизації побудови графічних моделей. В посібнику розглянуто методики та інструменти для плоского й просторового креслення, редагування властивостей геометричних об'єктів і їхніх атрибутів. Описано засоби управління екранним зображенням, видовими екранами в просторі моделі й аркуша. Викладений матеріал доповнений практичними прикладами, завданнями й докладними поясненнями.

Посібник призначений для студентів закладів вищої освіти спеціальностей: G6 – Інформаційно-вимірювальні технології, G20 – Видавництво та поліграфія. Може бути рекомендований для викладачів, студентів і фахівців, що працюють із системами автоматизованого проектування.

УДК 681.6

ISBN 978-966-659-345-3

DOI 10.30837/978-966-659-345-3

© Захаров І.П., Чеботарьова І.Б.,

© ХНУРЕ, 2025

ЗМІСТ

ВСТУП	6
І ІНЖЕНЕРНА ГРАФІКА	8
1 ПРОЄКТУВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ	8
1.1 Створення креслення, види проєктування.....	8
1.2 Властивості прямокутного проєктування	10
1.3 Комплексний кресленик, метод Монжа	13
1.4 Епюри основних геометричних фігур	16
1.4.1 Точка	16
1.4.2 Пряма	17
1.4.3 Площина.....	19
1.5 Контрольні завдання.....	22
1.6 Приклади виконання контрольних завдань	25
2 ПОЗИЦІЙНІ ЗАДАЧІ.....	28
2.1 Взаємна належність геометричних фігур	28
2.2 Взаємний перетин геометричних фігур.....	32
2.2.1 Загальний план розв'язання.....	32
2.2.2 Взаємний перетин прямих	34
2.2.3 Перетин прямої з площиною.....	37
2.2.4 Взаємний перетин площин.....	39
2.2.5 Площини перетину	41
2.2.6 Лінія зрізу	46
2.3 Контрольні завдання.....	47
2.4 Приклади виконання контрольних завдань	52
3 МЕТРИЧНІ ЗАДАЧІ	59
3.1 Перетворення креслеників.....	59
3.1.1 Перша вихідна задача перетворення кресленика.....	59
3.1.2 Друга вихідна задача перетворення кресленика	60
3.1.3 Третя вихідна задача перетворення кресленика.....	61
3.1.4 Четверта вихідна задача перетворення кресленика	62

3.2 Розв'язання метричних задач	64
3.2.1 Вимірювання відстаней	64
3.2.2 Вимірювання кутів нахилу	66
3.2.3 Вимірювання величини частини геометричного образу	67
3.3 Контрольні завдання	68
3.4 Приклади виконання контрольних завдань	68
4 АКСОНОМЕТРИЧНІ ПРОЄКЦІЇ	73
4.1 Прямокутна ізометрична проєкція	74
4.2 Прямокутна диметрична проєкція	75
4.3 Зображення геометричних фігур в аксонометричних проєкціях	76
4.4 Контрольні запитання та завдання	79
4.5 Контрольне завдання	79
4.6 Приклади виконання контрольного завдання	80
II КОМП'ЮТЕРНА ГРАФІКА	81
5 ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ В АВТОМАТИЗОВАНОМУ ПРОЄКТУВАННІ	81
5.1 Побудови зображень в комп'ютерній графіці	82
5.1.1 Основні підходи і принципи	82
5.1.2 Алгоритм побудови зображення	84
5.2 Основні принципи створення примітивів	85
5.2.1 Перетворення геометричних атрибутів графічних примітивів	85
5.2.2 Реалізація негеометричних атрибутів	87
5.3 Способи представлення графічних зображень	89
5.3.1 Растрова графіка	89
5.3.2 Векторна графіка	91
5.4 Виведення графічної інформації на екран	92
5.5 Контрольні запитання та завдання	93

6 СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНСТРУЮВАННЯ AutoCAD	95
6.1 Основні відомості	95
6.1.1 Призначення і основні функціональні особливості системи AutoCAD	95
6.1.2 Запуск AutoCAD та його інтерфейс	96
6.2 Команди	109
6.2.1 Текстове вікно команд	110
6.2.2 Параметри команд	111
6.2.3 Відміна команд	113
6.3 Прості об'єкти AutoCAD	116
6.3.1 Відрізок, смуги та промені	116
6.3.2 Точки	117
6.3.3 Кола та дуги	118
6.3.4 Сплайни	119
6.3.5 Еліпси та еліптичні дуги	120
6.3.6 Кільця	121
6.3.7 Текст	122
6.3.8 Прямокутники та багатокутники	122
6.4 Складні об'єкти AutoCAD	124
6.4.1 Мультилінії	124
6.4.2 Полілінії	125
6.4.3 Розмірні блоки	126
6.4.4 Області	127
6.4.5 Блоки та зовнішні посилання	129
6.5 Системні змінні	129
6.6 Відкриття кресленника	132
6.7 Експорт у інші програми	136
6.8 Контрольні запитання та завдання	137
6.9 Контрольні завдання	139
6.9.1 Варіанти індивідуальних завдань	139
6.10 Приклад виконання контрольного завдання	148
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	150

ВСТУП

Слово "графіка" походить від грецького grapho – пишу, й означає зображення предметів за допомогою ліній, штрихів, точок. Як засіб спілкування між людьми графіка використовувалася з найдавніших часів. За допомогою малюнків здійснювалося відображення, зберігання і передача інформації про події навколишнього світу. Особливість графіки – ефективність сприйняття зорових образів (зображень) відображено в прислів'ях народів світу: "Краще один раз побачити, ніж 100 разів почути", "Одна картина коштує тисячі слів". Сенс прислів'їв полягає у великій швидкості аналізу об'єктів, їхній ідентифікації та прийнятті рішень про подальші дії. В основі цієї властивості лежить особливість людини сприймати близько 85% інформації про навколишній світ по зорових каналах зв'язку.

Особливий сенс поняття графіка знайшло в епоху розвитку архітектури, техніки і науки. У цих областях креслення приладів, машин і споруд є єдиною можливим засобом передачі інформації. Саме тому до навчальних дисциплін, що складають основу підготовки фахівців з вищою інженерною освітою, належить курс інженерної графіки – навчальної дисципліни, що вивчає питання зображення виробів на площині.

Предметом інженерної графіки є складання і читання креслеників технічних виробів і графічних моделей геометричних фігур, що лежать в основі цих виробів.

До завдань інженерної графіки належать:

- вивчення теоретичних основ побудови зображень (включаючи аксонометричні проєкції) точок, прямих, площин і окремих видів ліній і поверхонь;
- розв'язання задач на взаємну належність і взаємний перетин геометричних фігур, визначення їхніх натуральних величин;
- вивчення способів побудови зображень простих предметів у прямокутних та аксонометричних проєкціях;
- розвинення уміння визначати геометричні форми простих деталей по їхніх проєкціях.

Сьогодні в усі сфери практичної діяльності людини широко впроваджуються комп'ютерні технології. Креслярські столи та комбайни, які

використовувалися для механізації виконання графічних робіт, відійшли у минуле. Наразі майже всюди використовуються комп'ютерні засоби вводу, виводу і переробки графічної інформації. Комп'ютерна графіка, мультимедійні технології, графічні та географічні інформаційні системи зараз присутні в усіх сферах діяльності людини.

Мультимедіа – інтерактивні інтегровані системи, що забезпечують роботу з нерухомим і рухомим зображенням, текстом, звуком, звуковими ефектами тощо.

Комп'ютерна графіка (КГ) – це розділ інформатики, в якому розглядаються засоби і методи формування та обробки зображень за допомогою ЕОМ. Деякі області застосування КГ:

- автоматизація проектування різних об'єктів;
- створення та обробка графічної інформації;
- розробка технічної документації;
- робототехніка і управління сучасними верстатами;
- моделювання та мультиплікація;
- поліграфія, дизайн, реклама;
- телебачення та кіно.

Незважаючи на всю різноманітність систем і напрямків КГ, для них усіх будуть загальними фундаментальні геометричні принципи і основні методи розв'язання геометричних задач за допомогою ЕОМ, які викладатимуть в межах цього курсу.

Мета навчальної дисципліни:

- розвиток просторового мислення та уявлення, образного сприймання навколишнього світу, що лежить в основі будь-якої творчої діяльності;
- розвиток здібностей до аналізу просторових форм та їхніх відношень на основі моделей (зображень) просторових об'єктів;
- надання вмінь, знань та навичок, потрібних для виконання і читання графічних креслеників різного призначення, а також для розв'язування інженерних задач графічними засобами як вручну, так і за допомогою персонального комп'ютера.

1 ПРОЄКТУВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

1.1 Створення кресленика, види проєктування

Основним документом інженерної та комп'ютерної графіки є *кресленик* – зображення предмета на площині лініями. Зображення предмета контурними лініями – найбільш простий і ефективний спосіб створення його графічного образу. Будь-яка геометрична фігура в інженерній графіці розглядається як безперервна множина всіх належних їй точок.

Абстрактні об'єкти.

Точка – елемент будь-якої множини. Фігура, для якої неможливі будь-які вимірювання – нульвимірний об'єкт.

Лінія – пряма або крива – об'єкт (множина точок), для якого можливий тільки один вимір (довжина). Тому будь-яку лінію вважають одновимірним об'єктом.

Поверхня – об'єкт (множина ліній або точок), для якого можливі два виміри (умовно довжина і ширина). Поверхня не має товщини і її вважають двовимірним об'єктом. Основою будь-якого зображення на кресленику є проєкції точок. Тому, передусім, необхідно засвоїти правила побудови комплексного кресленика точок.

Реальні об'єкти.

Геометричне тіло (фігура) – матеріальне тіло, обмежене поверхнями і площинами. Тіло можна вважати тривимірним об'єктом.

Предмет – сукупність геометричних тіл, сформована шляхом їхнього об'єднання, віднімання і перетинання (булеві операції).

Позначення геометричних фігур

1. Геометрична фігура – Φ .
2. Точки – A, B, C, D, ... або 1, 2, 3, 4, ...
3. Лінії – a, b, c, ...
4. Відрізки прямих ліній – AB, BC, CD, ...
5. Площини і поверхні Δ , Λ , Σ , Y , ...
6. Площини проєкцій – P_1 ; P_2 , ...

7. Кути – $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \dots$

8. Проекції геометричних фігур на площині проєкцій – $A_1, A_2, A_3, \dots, a_1, b_2, c_3, \dots, A_1B_1, B_2C_2, \dots$

9. Аксиометричні проєкції геометричних фігур – $A', B', C', a', b', d', \dots$

10. Осі проєкції – Ox, Oy, Oz .

В основі побудови будь-якого кресленика лежить *метод проєкцій* (від латинського слова *proiecto* – кидання вперед, вдалину).

Розрізняють центральне і паралельне проєктування.

Центральним називається проєктування, за якого всі проєктуючі промені виходять з точки, яка називається центром проєкцій або полюсом. При центральному проєктуванні проєкцією A_1 точки A на площину Π_1 називається точка перетину з площиною Π_1 проєктуючого променя, проведеного з центру проєкцій S через задану точку A . На рис. 1.1 зображено приклад центрального проєктування точок A і B на площину Π_1 . При центральному проєктуванні кривої лінії проєктуючі промені утворюють в просторі конічну поверхню, тому цей вид проєктування носить іншу назву – конічне. Центральне проєктування володіє великою наочністю, тому що воно відповідає зоровому сприйняттю предметів.

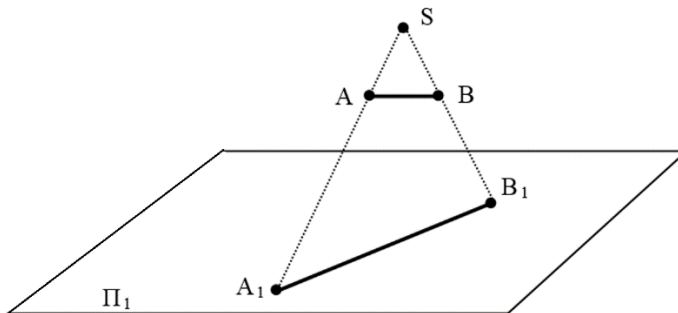


Рисунок 1.1 – Центральне проєктування

Найбільш широко цей вид проєктування застосовується під час виконання перспективних зображень в архітектурі. Основний його недолік – складність у визначенні розмірів предмета за його зображенням.

При паралельному проєктуванні його центр віддалений на нескінченність. При цьому проєктуючі промені паралельні між собою.

При паралельному проектуванні необхідно задати напрям проектування. Залежно від цього напрямку по відношенню до площини проєкцій паралельне проектування може бути косокутним та прямокутним (ортогональним). В останньому випадку проєктуючі промені перпендикулярні до площини проєкцій.

Прямокутне проектування лежить в основі виконання майже всіх креслень, тому в подальшому розглядатиметься тільки цей вид проектування.

1.2 Властивості прямокутного проектування

1. Точка проєктується в точку.

Доказ – проєктуючий промінь – пряма, яка перетинає площину тільки в одній точці.

2. Пряма проєктується в пряму.

Доказ – пряма (a) і проєктуючий промінь (s) визначають площину, а площини перетинаються тільки по прямій лінії (a_1) (рис. 1.2).

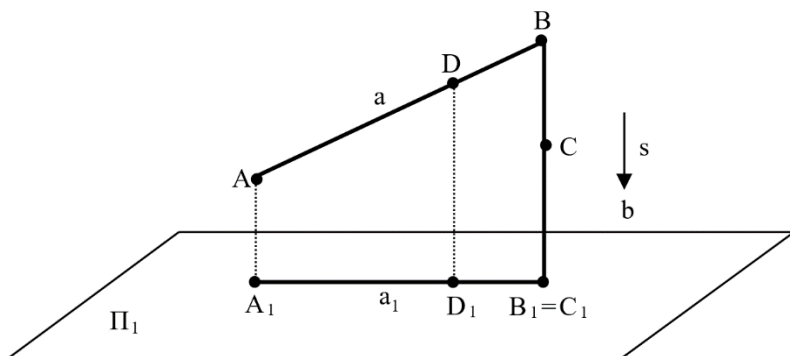


Рисунок 1.2 – Проекція прямої на площину

Окремий випадок – якщо напрямок прямої (b) збігається з напрямком проєктуючого променя (s), то проєкцією прямої буде точка (B_1). Прямі, перпендикулярні до площини проєкцій, називаються проєктуючими. Точки, розташовані на одній проєктуючій прямій (B та C), називаються конкуруючими, тому мають одну проєкцію ($B_1 = C_1$).

3. Якщо точка належить прямій, то і проекція цієї точки належить проекції прямої. Це властивість впливає з визначення проекції геометричної фігури як безлічі проекцій всіх її точок (рис. 1.2).

4. Якщо прямі паралельні, то їхні проекції також паралельні між собою (рис. 1.3).

Доказ – площина ABB_1 паралельна площині CDD_1 , тому AB паралельна CD та BB_1 паралельна DD_1 . Паралельні площини перетинають площину проекцій Π_1 вздовж паралельних прямих A_1B_1 та C_1D_1 .

5. Відношення відрізків прямої дорівнює відношенню проекцій цих відрізків.

Доказ (рис. 1.3) – трикутники ABB_1 та AEE_1 подібні, тому що проєктуючі промені BB_1 та EE_1 паралельні. Отже, $AE/EB = A_1E_1/E_1B_1$.

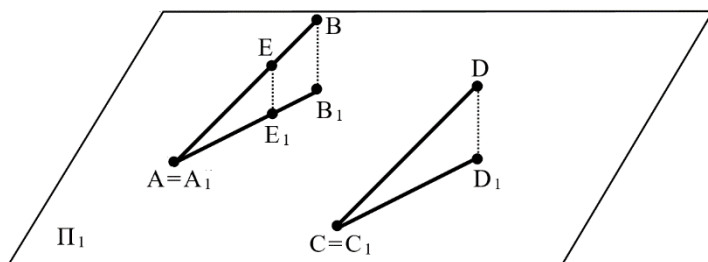


Рисунок 1.3 – Властивість проєкцій паралельних прямих

6. Відношення відрізків паралельних прямих дорівнює відношенню проекцій цих відрізків.

Доказ (рис. 1.3) – трикутники AEE_1 та CDD_1 подібні, тому що їхні сторони паралельні. Звідси $AE/CD = A_1E_1/C_1D_1$.

7. Проекція геометричної фігури за розміром і формою не змінюється при паралельному переміщенні площини проєкцій.

Доказ (рис. 1.4) – трикутники $A_1B_1C_1$ та $A_2B_2C_2$ конгруентні, бо Π_1 паралельна Π_2 , а проєктуючі промені не змінюють свого положення.

Конгруентні фігури (від лат. Congruens – відповідний, той, що збігається) – геометричні фігури, що переходять одна в одну під час руху.

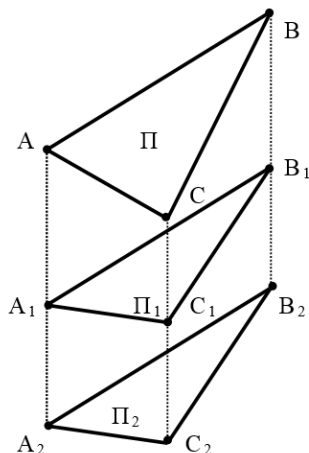


Рисунок 1.4 – Конгруентні фігури

8. Проекція відрізка може бути більше самого відрізка.

Доказ (рис. 1.3) – в прямокутному трикутнику ABB_1 AB – гіпотенуза, а її проекція A_1B_1 – катет. Катет не може бути більше гіпотенузи. Окремий випадок – коли відрізок AB паралельний площині проєкцій, то його проєкція конгруентна самому відрізку, тому що вони паралельні між собою. Прямі, паралельні площині проєкцій, називають *прямими рівня*. З цього випадку виходить, що якщо плоска фігура обмежена прямими одного рівня, то вона проєктується на паралельну площину проєкцій в конгруентну фігуру. З цього випадку виходить, що якщо кут обмежений прямими одного рівня, то він проєктується на паралельну площину без спотворень.

9. Якщо одна сторона прямого кута паралельна площині проєкцій, а друга їй не перпендикулярна, то прямий кут проєктується на цю площину без спотворень.

Доказ (рис. 1.5) – за умовою AB перпендикулярна BC та AB паралельна Π_1 . На підставі прямокутного проєктування AB перпендикулярна BB_1 , отже AB перпендикулярна площині BCC_1B_1 . За умовою AB паралельна A_1B_1 , отже A_1B_1 перпендикулярна площині BCC_1B_1 . Отже кут між прямими A_1B_1 та B_1C_1 дорівнює 90 градусів.

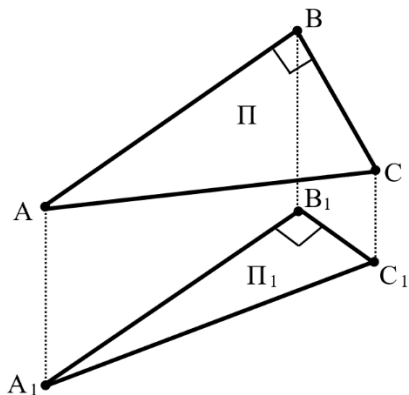


Рисунок 1.5 – Властивість проєкції прямого кута

1.3 Комплексний кресленик, метод Монжа

Проекційні зображення, які використовуються в технічній документації, повинні відповідати таким вимогам:

- бути оборотними (метрично визначеними), тобто такими, щоб по них можна було виготовити зображений предмет (визначити його форму та розміри);
- бути наочними, тобто такими, щоб по них можна було уявити зображений предмет;
- володіти відносною простотою графічного виконання.

Цим вимогам різною мірою відповідають два види проєкцій – комплексні і аксонометричні. Комплексні проєкції менш наочні, проте мають простоту графічних побудов і високу точність вимірювань.

Спосіб комплексних проєкцій, розроблений французьким вченим Г. Монжем, заснований на тому, що предмет проєктують на кілька взаємно перпендикулярних площинах проєкцій, використовуючи прямокутне проєктування, а потім ці площини проєкцій суміщають з однією площиною (рис. 1.6 та 1.7).

Розглянемо макет з трьох взаємно перпендикулярних площин (рис. 1. 6).

Домовимося називати площину Π_1 – горизонтальною площиною проєкцій; площину Π_2 – фронтальною площиною проєкцій; площину Π_3 – профільною площиною проєкцій.

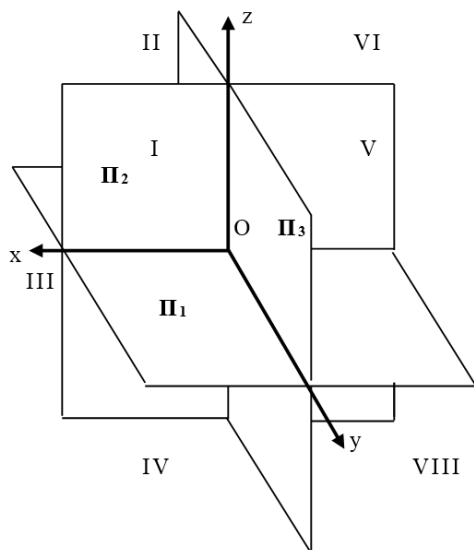


Рисунок 1.6 – Координатні площини

Лінії перетину площин проєкцій утворюють осі декартової системи координат. Вісь x – називають віссю абсцис, вісь y – віссю ординат, вісь z – віссю аплікату. Точка перетину координатних осей приймається за початок координат і позначається буквою O (перша буква латинського слова *Origo* – початок). Координатні площини ділять простір на вісім частин – октантів, які умовно прийнято нумерувати так, як це показано на рисунку.

У загальному випадку предмет може бути розташований в будь-якому октанті, проте для простоти його поміщають в перший октант (рис. 1.7).

Точку A проєктують одночасно на дві або три площини проєкцій, отримуючи відповідно проєкції A_1 , A_2 та A_3 . Координати точки A_x , A_y і A_z називають відповідно абсцисою, ординатою і аплікатою.

Користуватися для зображення предметів просторовою системою взаємно перпендикулярних площин проєкцій складно, тому її приводять до плоского виду (рис. 1.7). Для цього горизонтальну площину обертанням вниз навколо осі x поєднують з фронтальною площиною (отримуючи двопроєкційний комплексний кресленик), а профільну площину обертанням праворуч навколо осі z поєднують з фронтальною площиною (отримуючи

трипроєкційний комплексний кресленик). *Комплексний кресленик прийнято називати епюрою Монжа.* На комплексному кресленнику прямі, що з'єднують проєкції точки A , називаються лініями зв'язку.

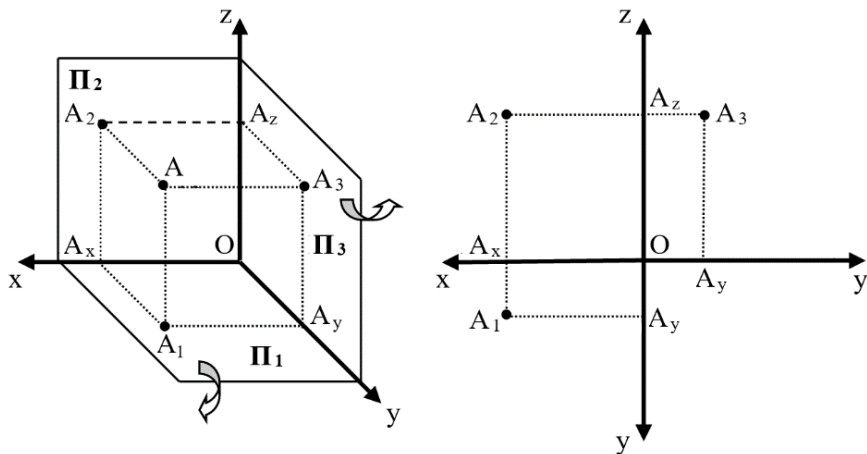


Рисунок 1.7 – Проєктування на три взаємно перпендикулярні площини

Основні властивості комплексного кресленика (рис. 1.7):

- дві проєкції точки знаходяться на одній лінії зв'язку;
- лінія зв'язку завжди перпендикулярна до осі проєкцій;
- дві проєкції точки визначають положення її третьої проєкції.

Третю проєкцію (профільну) застосовують при зображенні складних об'ємних предметів. Для побудови на кресленнику профільної проєкції точки існують чотири способи.

1. За допомогою лінії зв'язку, перпендикулярній осі z , на якій від осі z відкладають ординату A_y . Цей спосіб найбільш точний (рис. 1.7).
2. За допомогою дуги кола з центром у точці O і радіусом A_y (рис. 1.8).
3. За допомогою бісектриси k кута yOy , так званої постійної прямої комплексного кресленика (рис. 1.9).
4. За допомогою прямої, проведеної під кутом 45 градусів до осі y (рис. 1.10).

1.4 Епюри основних геометричних фігур

1.4.1 Точка

Утворення комплексного креслення точки викладено вище. Віддалення точки від площин проєкцій називають висотою AA_1 (від горизонтальної), глибиною AA_2 (від фронтальної) і шириною AA_3 (від профільної).

Щодо площин проєкцій *точка може займати такі положення:*

– точка може не належати жодній з площин проєкцій, тоді її проєкції розташовуються на відповідних полях площин проєкцій (точка А на рис. 1.8);

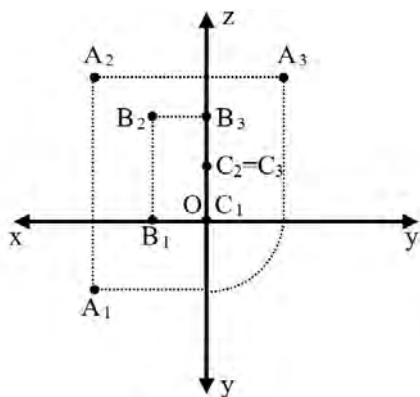


Рисунок 1.8 – Положення точки щодо площин поверхонь

– точка може належати одній з площин проєкцій (точка В на рис. 1.8), тоді дві з її проєкцій будуть на осі координат;

– точка може належати одночасно двом площинам проєкцій, тоді дві проєкції точки збігатимуться і всі три перебуватимуть на осі координат, причому одна з проєкцій – на початку координат (точка С на рис. 1.8).

Взаємне положення точок:

– точки можуть належати одна одній, такі точки називаються подвійними. Всі однойменні проєкції цих точок збігаються;

– точки можуть не належати одна одній, в цьому випадку хоча б одна із однойменних проєкцій цих точок не збігається. При збігу однієї або двох проєкцій у незбіжних точках, останні називаються конкуруючими.

1.4.2 Пряма

Відомо, що дві точки визначають пряму. Отже, щоб задати пряму, необхідно і достатньо задати дві її точки. Для зображення прямої на кресленні необхідно мати дві проєкції двох визначальних її точок. Третя проєкція будується за правилом побудови трипроєкційного комплексного креслення.

Положення прямої щодо площин проєкцій

1. Пряма щодо площин проєкцій може займати різні положення і залежно від цього називається *прямою загального* або *окремого положення* (прямі рівня і проєктуючі прямі).

2. *Прямими загального положення* називаються прямі, не паралельні жодній з площин проєкцій (рис. 1.9). На комплексному кресленнику проєкції прямої загального положення не паралельні лініям зв'язку.

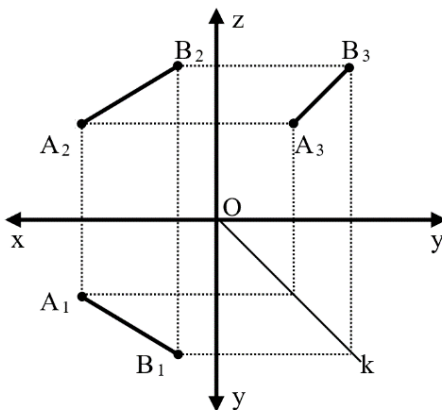


Рисунок 1.9 – Пряма загального положення

3. *Прямими рівня* називаються прямі, паралельні одній з площин проєкцій. Прямі рівня носять різні назви, залежно від того, якій площині проєкцій вони паралельні (горизонталь, фронталь і профільна пряма) (рис. 1.10). Прямі рівня, що належать одній з площин проєкцій називаються *прямими нульового рівня*. На двопроекційному комплексному кресленнику одна з проєкцій прямої рівня буде перпендикулярна лініям зв'язку, а інша розташовуватиметься під кутом, і конгруентна самій прямій. При завданні

профільної прямої на двопроєкційному кресленнику повинні бути задані проєкції як мінімум двох її точок.

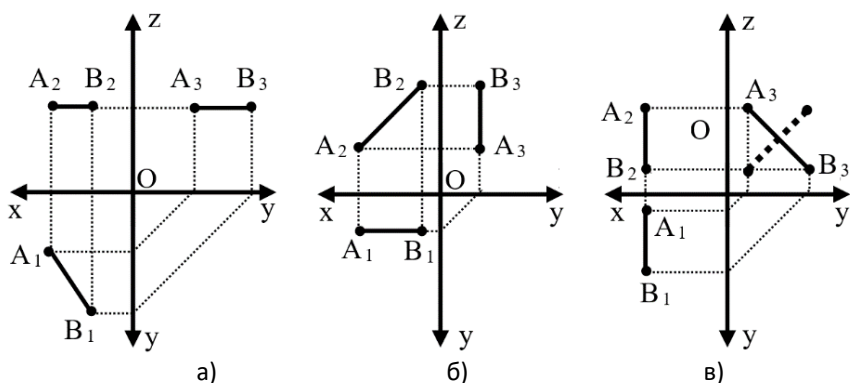


Рисунок 1.10 – Прямі рівня: а – горизонталь; б – фронталь; і – профільна пряма

4. Проектуючі прямі – прямі, паралельні одночасно двом площинам проєкцій (або перпендикулярні до однієї з площин проєкцій) (рис. 1.11).

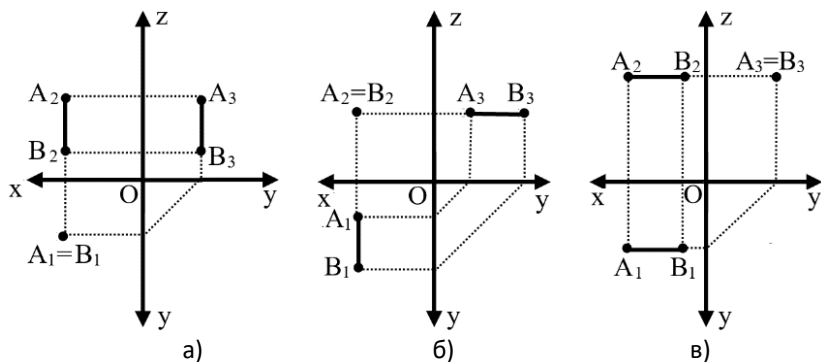


Рисунок 1.11 – Проектуючі прямі: а – горизонтально-проектуюча; б – фронтально-проектуюча; в – профільно-проектуюча

На комплексному кресленнику одна з проєкцій проектуючої прямої перетворюється в точку, а інші збігаються з лініями зв'язку і конгруентні самій прямій. Залежно від того, якій площині проєкцій вони перпендикулярні,

проєктуючі прямі підрозділяються на горизонтально-проєктуючі, фронтально-проєктуючі і профільно-проєктуючі.

1.4.3 Площина

Для задання площини достатньо задати три її точки, що не лежать на одній прямій.

Площина також може бути задана (але не обмежена): точкою і прямою, що їй не належить; двома пересічними або паралельними прямими; плоскою фігурою. На кресленнику площина зазвичай зображується проєкціями, які задаються геометричною фігурою (найчастіше – трикутником).

Положення площини щодо площин проєкцій

Залежно від свого місцезонашування по відношенню до площин проєкцій площина називається площиною загального положення, або площиною окремого положення (проєктуюча площина і площина рівня).

Площина загального положення – площина не перпендикулярна жодній із площин проєкцій (рис. 1.12).

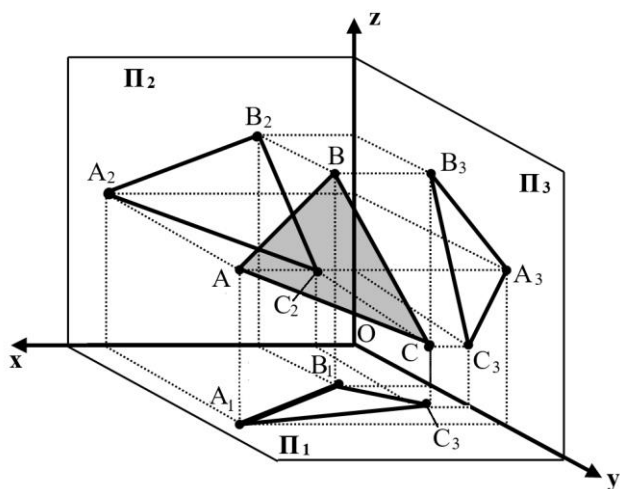


Рисунок 1.12 – Площина загального положення

Проектуюча площина – площина, перпендикулярна до однієї із площин проєкцій. Залежно від того, до якої площини проєкцій перпендикулярна проектуюча площина, її називають горизонтально-, фронтально- або профільно-проекуючою (рис. 1.13).

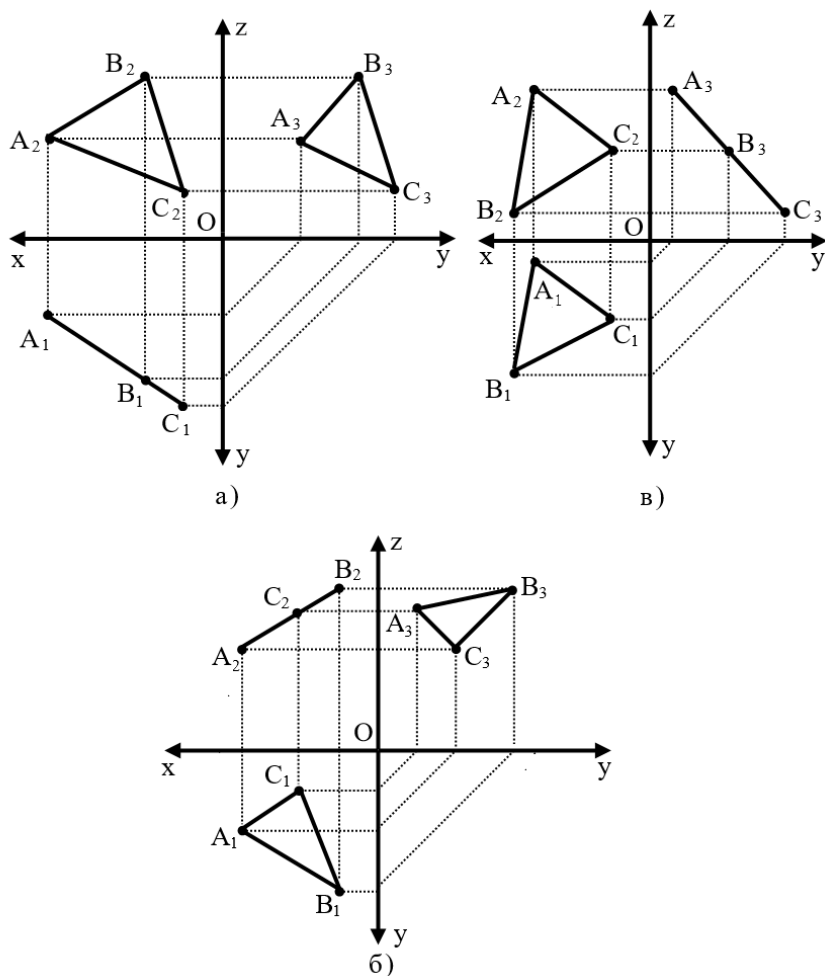


Рисунок 1.13 – Проектуючі площини: а – горизонтально-проекуюча;
б – фронтально-проекуюча; в – профільно-проекуюча

На комплексному кресленіку проєкції геометричних фігур, які задають проєктуючу площину, будуть:

- належати одній прямій (на площині проєкцій, перпендикулярній до проєктуючої площини);
- займати загальне положення – на інших площинах проєкцій.

Площина рівня – площина, паралельна одній із площин проєкцій. Такі площини також називають двічі проєктуючими, бо вони перпендикулярні одночасно до двох площин проєкцій. Залежно від того, якій площині проєкцій паралельна площина рівня, її називають горизонтальною, фронтальною або профільною площиною рівня (рис. 1.14).

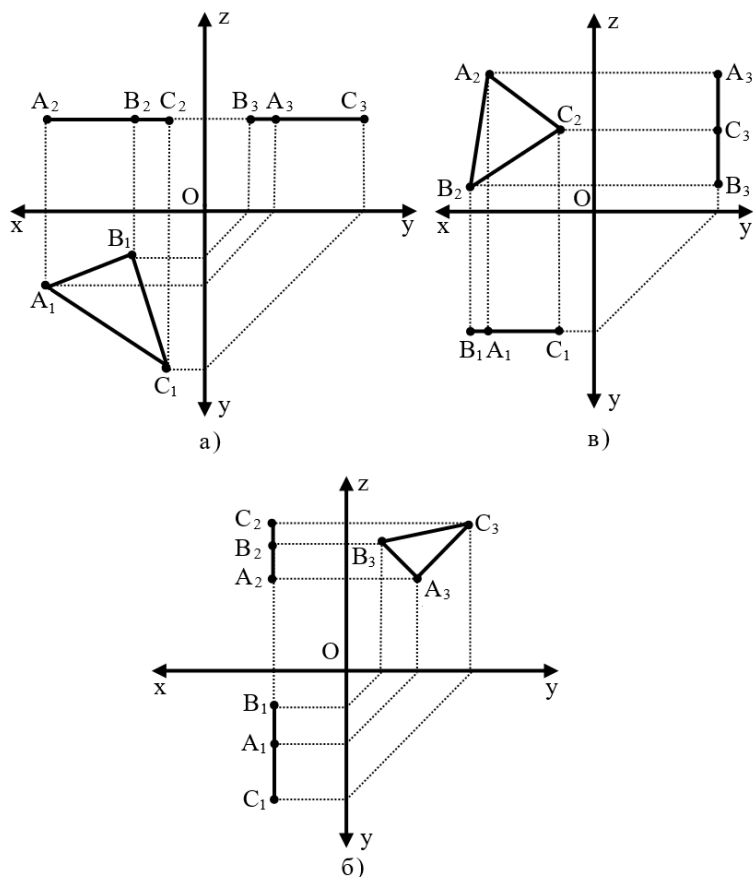


Рисунок 1.14 – Площини рівня: а – горизонтальна; б – профільна; в – фронтальна

На комплексному кресленнику проєкції геометричних фігур, які задають площину рівня, будуть:

- належати одній прямій – на площинах проєкцій, перпендикулярних площині рівня;

- конгруентні їхній натуральній величині – на площині проєкцій, паралельній площині рівня.

Лінія перетину площини з площиною проєкцій називається слідом площини. Залежно від назви площини проєкцій розрізняють горизонтальний, фронтальний і профільний слід площини.

1.5 Контрольні завдання

1. На першому комплексному кресленнику покажіть проєкції площини загального положення, заданою координатами точок А, В та С, наведеними в табл. 1.1.

2. На другому комплексному кресленнику покажіть задану пряму рівня, однойменна проєкція якої проходить через відповідну проєкцію точок А і В, а дві інші проєкції – проходять через однойменні проєкції точки С.

3. На третьому комплексному кресленнику покажіть задану проєктуючу пряму, що проходить через відповідні координати точки А.

4. На четвертому комплексному кресленнику покажіть задану площину рівня, однойменна проєкція якої задана відповідними координатами точок А, В та С, а решта проєкцій проходять через однойменні проєкції точки А.

5. На п'ятому комплексному кресленнику покажіть задану проєктуючу площину, однойменна проєкція якої задана відповідними координатами точок А і В. Координати третьої точки G задайте довільно.

Таблиця 1.1 – Варіанти контрольних завдань

№ вар.	Координати точок (в у. о.)									Пряма рівня	Проекційна пряма	Площа рівня	Проекційна площа
	А			В			С						
	х	у	z	х	у	z	х	у	z				
1	5	5	5	2	2	2	1	4	7	гор	фр	пр	гор
2	5	4	2	3	5	6	1	1	5	фр	пр	гор	фр
3	7	5	3	9	3	7	1	2	4	пр	гор	фр	пр
4	8	5	6	9	7	3	1	4	2	гор	пр	фр	гор
5	8	6	6	3	7	9	2	4	1	фр	гор	пр	фр
6	8	8	4	3	9	7	2	1	3	пр	фр	гор	пр
7	8	7	6	7	3	9	4	2	1	гор	фр	гор	п р
8	4	3	2	7	9	3	3	6	7	фр	пр	фр	гор
9	6	8	4	4	2	5	1	3	3	пр	пр	гор	фр
10	7	1	5	4	5	2	1	5	3	гор	пр	гор	фр
11	1	3	9	4	1	5	3	5	1	фр	гор	фр	пр
12	6	6	3	1	4	2	3	1	5	пр	пр	фр	гор
13	6	7	7	2	2	6	5	1	1	гор	гор	фр	пр
14	3	6	8	8	5	4	5	1	3	фр	фр	пр	гор
15	3	6	8	2	1	2	5	3	1	п р	фр	гор	фр
16	3	2	8	7	5	9	6	1	2	гор	гор	пр	фр
17	2	8	6	7	5	5	6	2	1	фр	фр	гор	пр
18	8	1	6	5	6	8	1	3	3	пр	фр	фр	гор
19	6	2	8	3	1	7	1	6	2	гор	пр	пр	фр
20	8	6	2	3	7	5	2	4	1	фр	пр	гор	пр
21	1	4	5	3	5	8	6	1	6	пр	гор	фр	фр
22	4	5	1	9	8	3	7	3	9	гор	пр	фр	пр
23	5	4	1	8	6	2	7	9	7	фр	пр	пр	гор
24	5	6	4	7	2	8	9	8	7	пр	гор	гор	пр
25	5	5	3	6	2	8	9	8	7	гор	фр	фр	пр
26	1	5	4	8	2	6	7	9	8	фр	гор	пр	пр
27	4	1	3	2	8	6	8	7	9	пр	гор	фр	гор
28	6	3	7	2	6	8	9	7	2	гор	фр	пр	фр
29	6	3	6	4	9	1	1	1	2	фр	гор	гор	пр
30	6	7	3	4	1	9	2	4	1	пр	фр	гор	гор

Продовження таблиці 1.1

№ вар.	Координати точок (в у. о.)									Пряма рівня	Проекційна пряма	Площа рівня	Проекційна площа
	А			В			С						
	х	у	z	х	у	z	х	у	z				
31	3	6	7	9	1	4	1	2	1	гор	фр	пр	гор
32	7	3	6	3	6	8	1	2	1	фр	пр	гор	гор
33	5	2	5	1	9	4	2	1	1	пр	гор	фр	пр
34	2	1	2	1	4	7	5	5	5	фр	пр	гор	фр
35	1	1	5	5	4	2	3	5	6	пр	гор	фр	пр
36	9	3	7	7	6	3	1	2	4	гор	фр	пр	гор
37	1	4	2	8	2	6	9	7	3	фр	гор	пр	фр
38	2	4	1	8	3	6	3	7	9	пр	фр	гор	пр
39	2	1	4	8	6	5	3	9	7	гор	фр	гор	пр
40	2	4	1	8	6	6	7	3	9	фр	пр	фр	гор
41	3	6	4	4	3	2	7	9	3	пр	пр	гор	фр
42	1	3	3	6	8	4	4	2	7	гор	пр	гор	фр
43	1	5	3	7	1	5	4	7	8	фр	гор	фр	пр
44	6	2	3	1	3	9	2	5	4	пр	пр	фр	гор
45	3	1	5	6	6	3	2	4	2	гор	гор	фр	пр
46	5	1	3	4	3	5	6	2	7	фр	фр	пр	гор
47	5	4	2	2	1	3	3	6	8	пр	фр	гор	фр
48	6	1	2	3	2	7	7	5	9	гор	гор	пр	фр
49	6	2	1	2	8	6	7	6	5	фр	фр	гор	пр
50	1	2	6	8	1	4	5	5	7	пр	фр	фр	гор
51	1	6	2	6	2	8	3	1	7	гор	пр	пр	фр
52	2	4	1	8	6	2	3	7	5	фр	пр	гор	пр
53	4	1	2	1	2	6	3	5	7	пр	гор	фр	фр
54	7	8	9	4	5	1	8	3	3	гор	пр	фр	пр
55	8	9	7	5	4	1	9	1	2	фр	пр	пр	гор
56	9	8	7	5	4	1	8	2	2	пр	гор	гор	пр
57	9	7	7	5	5	4	6	2	8	гор	фр	фр	пр
58	7	9	8	1	5	4	8	2	6	фр	гор	пр	пр
59	8	7	9	4	1	5	2	8	6	пр	гор	фр	гор
60	1	1	2	4	2	1	3	7	6	гор	фр	пр	фр

1.6 Приклади виконання контрольних завдань

1. Зобразимо на комплексному кресленнику проєкції площини загального положення, задані координатами точок $A(6,7,3)$, $B(4,1,9)$ та $C(2,4,1)$ (рис. 1.15).

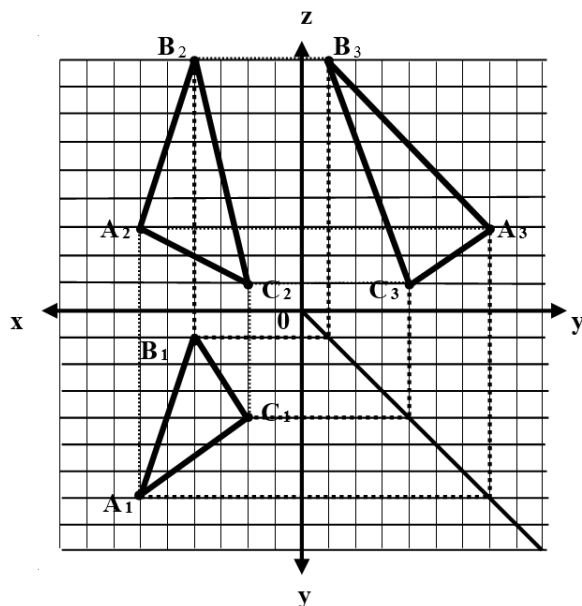


Рисунок 1.15 – Площина загального положення

2. На комплексному кресленнику зобразимо профільну пряму рівня, профільна проєкція якої проходить через точки A_3 та B_3 , а горизонтальна та фронтальна проєкції проходять через точки A_1 та A_2 відповідно (рис. 1.16).

3. На комплексному кресленнику зобразимо фронтально-проєкційну пряму, що проходить через відповідні координати точки A (рис. 1.17).

4. На комплексному кресленнику зобразимо горизонтальну площину рівня, горизонтальна проєкція якої задана координатами точок A_1 , B_1 та C_1 , а інші проєкції проходять через однойменні проєкції точки A (рис. 1.18).

5. На комплексному кресленнику зобразимо горизонтально-проєкційну площину, горизонтальна проєкція якої задана координатами точок A_1 та B_1 . Координати третьої точки G поставимо довільно (рис. 1.19).

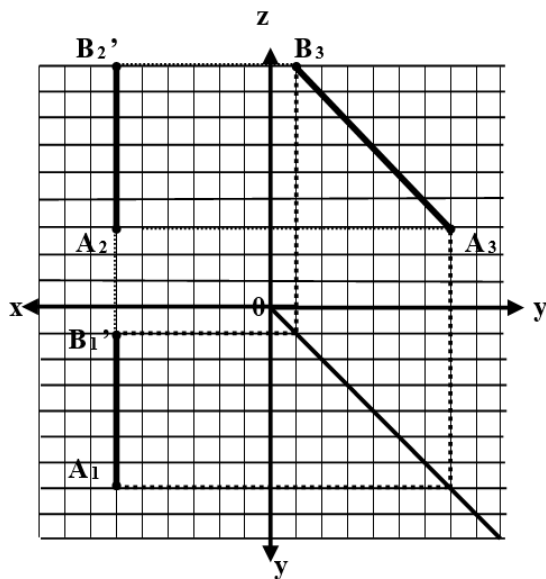


Рисунок 1.16 – Профільна пряма рівня

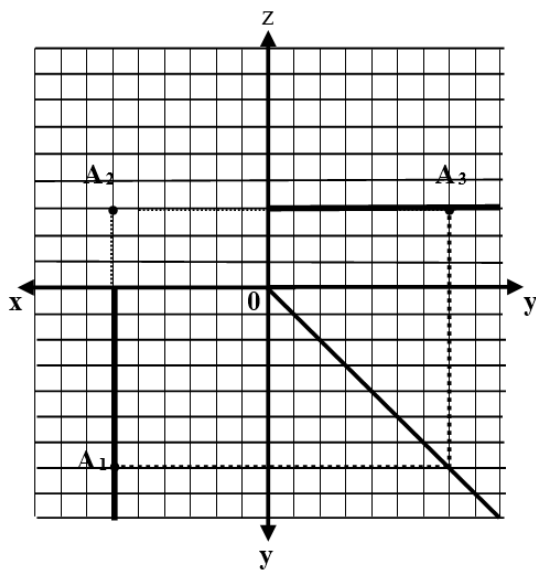


Рисунок 1.17 – Фронтально-проекційна пряма

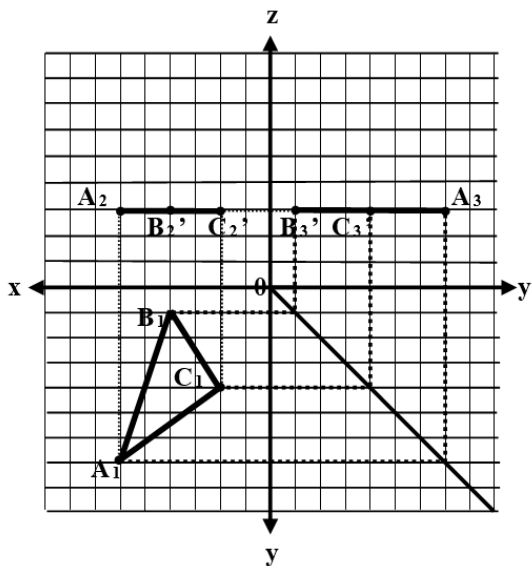


Рисунок 1.18 – Горизонтальна площина рівня

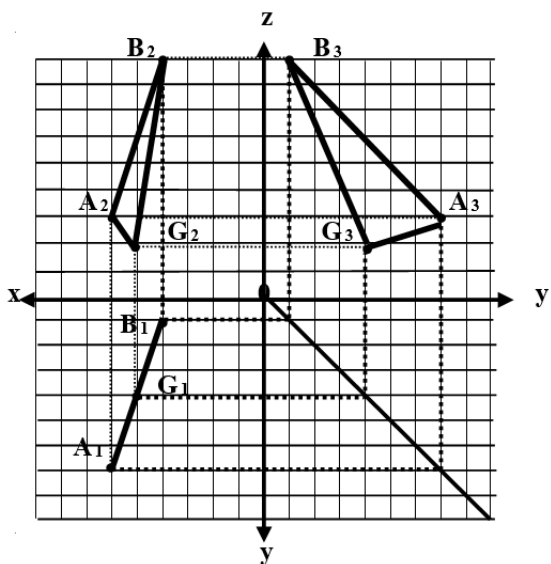


Рисунок 1.19 – Горизонтально-проекційна площина

2 ПОЗИЦІЙНІ ЗАДАЧІ

Позиційні задачі – задачі, пов'язані з взаємним розташуванням геометричних фігур, які включають в себе задачі на взаємну належність і взаємний перетин.

2.1 Взаємна належність геометричних фігур

Перш ніж розглядати конкретні позиційні задачі, необхідно розібрати розв'язання вихідної задачі – щодо належності точки поверхні.

Поверхню зручно розглядати як сукупність послідовних положень певної лінії (*твірної*), що переміщується в просторі за визначеним законом. Закон переміщення твірної доцільно задавати у вигляді сімейства ліній (*напрямні*), по яких переміщуються твірні (рис. 2.1). Описаний спосіб утворення поверхні називається кінематичним.

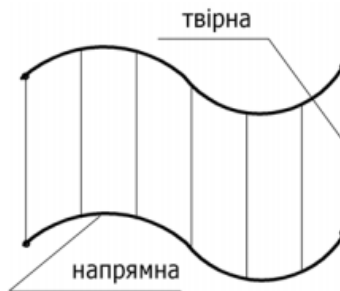


Рисунок 2.1 – Кінематичний спосіб утворення поверхні

План розв'язання задач щодо належності точки поверхні включає:

- побудову проєкцій точки;
- визначення виду заданої поверхні;
- вибір графічно простої для побудови на кресленні лінії поверхні, яка проходить через задану точку;
- побудову проєкцій цієї лінії на кресленику;
- порівняння взаємного положення проєкцій точки та лінії.

Для того, щоб вирішити задачу щодо належності точки поверхні, наприклад, точки A конічної поверхні обертання (рис. 2.2), необхідно:

- спочатку допустити, що точка A належить поверхні, тобто конкретній твірній поверхні;

- задати цю твірну (OB), тобто на кресленику нанести її проєкцію, при цьому одну з проєкцій (O_2B_2) провести через проєкцію точки (A_2), а другу (O_1B_1) – виходячи із умов належності твірної поверхні;

- порівняти взаємне положення другої проєкції твірної (O_1B_1) та заданої точки (A_1). Якщо ці проєкції збігаються, то це означає, що точка належить твірній, а, отже, і поверхні. Якщо проєкції не співпадають, то точка не належить поверхні.

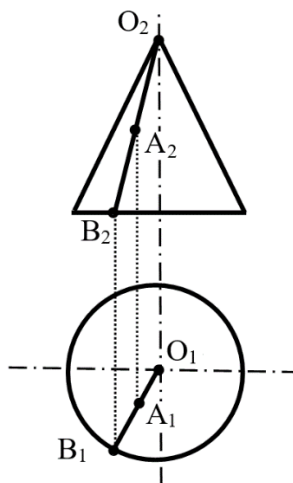


Рисунок 2.2 – Належність точки конічній поверхні

Позиційні задачі на взаємну належність можна об'єднати в три групи.

Перша група позиційних задач: належність точки до іншої точки, прямої, площини і поверхні.

А. Належність точки до іншої точки і прямої визначається за креслеником без додаткових побудов – на основі властивості проєктування (якщо точка належить прямій, то проєкція точки належить проєкції прямої).

Б. Для визначення належності точки площині потрібні побудови, якщо точка не задана на лінії площині. Побудови виконуються за загальним

планом, при цьому як допоміжна лінія використовується пряма площини (АЕ) (рис. 2.3). План виконання задачі полягає у тому, що:

- на комплексному кресленні здійснюємо побудову проєкцій точки D і площини ABC;
- на одній з проєкцій (фронтальній) через проєкцію точки (D_2) та проєкцію будь-якої точки площини (A_2) проводимо пряму (A_2D_2) і продовжуємо її до перетину з однієї зі сторін площини (точка E_2);
- припускаючи, що допоміжна пряма АЕ належить площині ABC, знаходимо іншу проєкцію прямої (A_1E_1);
- порівнюємо взаємне положення побудованої проєкції допоміжної прямої (A_1E_1) і точки (D_1). Якщо ці проєкції збігаються, це означає, що точка D належить площині ABC, якщо не збігаються – точка D не належить площині ABC.

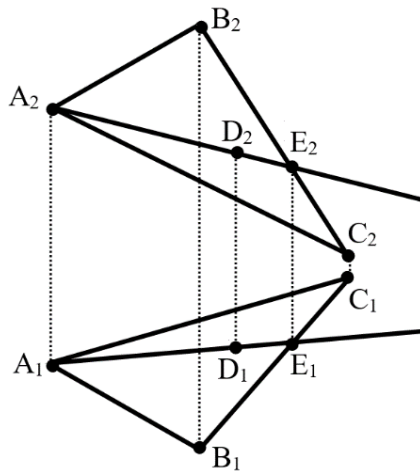


Рисунок 2.3 – Належність точки D площині ABC

В. Належність точки поверхні.

Належність точки поверхні перевіряється за допомогою побудов, виконуваних за загальним планом.

Приклад 1. Задача про належність точки поверхні конуса може бути вирішена двома способами (рис. 2.2 та 2.4).

Перший спосіб розглянуто вище і наведено на рис. 2.2. У ньому як лінія поверхні використовується твірна конуса – пряма лінія (AB).

Другий спосіб передбачає використання як лінія поверхні паралель n , яка проєкуватиметься на фронтальну площину проєкцій в пряму n_2 (яка проходить через фронтальну проєкцію A_2 точки A), а на горизонтальну – в коло n_1 , на якій і перебуватиме (або не перебуватиме) проєкція A_1 точки A , яку необхідно знайти (рис. 2.4).

Залежно від цього можна зробити висновок щодо належності точки A поверхні конуса.

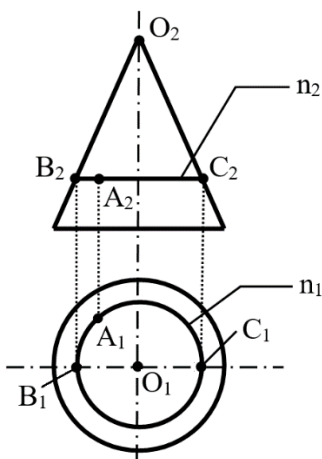


Рисунок 2.4 – Належність точки A поверхні конуса

Приклад 2. За заданої фронтальної проєкції K_2 точки K знайти її профільну проєкцію K_3 , яка належить сфері (рис. 2.5).

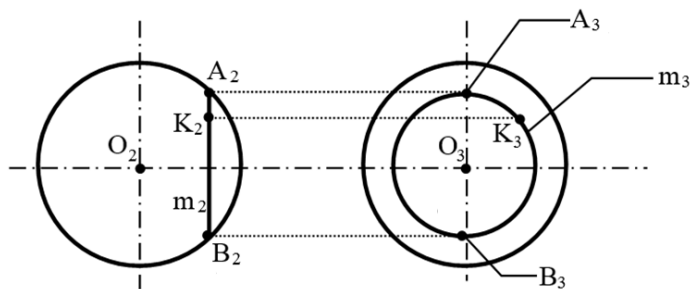


Рисунок 2.5 – Належність точки до поверхні сфери

Як допоміжна лінія виберемо паралель сфери, що проходить через точку К і лежить у фронтальній площині. Порядок побудови:

- 1) проводимо m_2 ;
- 2) через точки A_2, B_2 перетину m_2 з фронтальною проєкцією сфери проводимо лінії зв'язку A_2A_3, B_2B_3 до перетину з профільною проєкцією вертикальної осі сфери;
- 3) проводимо коло m_3 діаметром $A_3B_3 = A_2B_2$;
- 4) через точку К2 проводимо лінію зв'язку К2К3 до перетину з m_2 .

Друга група позиційних задач – належність прямої іншій прямій, а також площині і поверхні. На прямій (аналогічно і на кривій лінії) необхідно взяти певну кількість точок (для прямої – не менше двох) і визначити їхню належність другій геометричній фігурі, тобто необхідно використовувати першу групу задач.

Третя група позиційних задач – належність площини іншій площині і поверхні.

А. Належність однієї площини іншій фактично означає їхній збіг. Якщо для вирішення потрібні побудови, то в одній площині беруть 3 точки, тобто тричі використовують розв'язання першої групи задач.

Б. Належність площини поверхні в загальному випадку неможливе (за винятком граної поверхні, тоді виходить збіг площин). Можливий також дотик – граничне положення перетину.

Допоміжні лінії, що використовуються для вирішення задач на взаємну належність геометричних фігур, завжди можна представити як лінії перетину заданої поверхні з відповідною допоміжною площиною. В цьому випадку план вирішення задач на взаємний перетин поверхонь буде єдиним для усіх.

2.2 Взаємний перетин геометричних фігур

2.2.1 Загальний план розв'язання

Завдання на взаємний перетин можна розділити на дві групи: задачі на взаємний перетин поверхонь і задачі на перетин лінії з поверхнею, в тому числі і прямою з поверхнею. Розв'язання задач першої групи є загальним, оскільки використовується при вирішенні задач другої групи.

Для побудови ліній перетину поверхонь необхідно використовувати допоміжні січні поверхні $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_N$ (рис. 2.6).

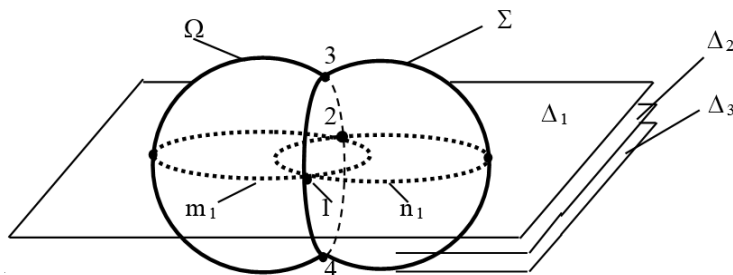


Рисунок 2.6 – Побудова перетину двох поверхонь

При цьому спочатку знаходять лінії перетину $m_1, m_2, \dots$ та $n_1, n_2, \dots$ цих допоміжних поверхонь з заданими Σ та Ω . Потім для кожної січної поверхні в перетині цих ліній m_1 та n_1, m_2 та $n_2, \dots$ отримують точки їхнього перетину 1, 2, 3 ... Ці точки належать одночасно всім трьом поверхням – заданим, січній і допоміжній, а, отже, і лінії перетину, яку знаходять. Число використовуваних допоміжних січних поверхонь, а, отже, і кількість точок ліній перетину залежить від необхідної точності вирішення задачі. Поєднавши на кресленні однойменні проєкції знайдених точок плавною лінією, отримуємо проєкції лінії перетину заданих поверхонь.

В ході побудови лінії перетину поверхонь необхідно спочатку знайти опорні точки, а потім проміжні. До опорних точок належать:

1) точки, що лежать на контурних лініях поверхні (тобто відокремлюють видиму частину лінії перетину від невидимої щодо відповідної площини проєкції);

2) екстремальні точки (вищі, нижчі), а також точки, що лежать на ребрах і лініях основи поверхонь.

Як допоміжні січні поверхонь необхідно застосовувати такі, які розсікають задані поверхні по заздалегідь відомих і простих для побудови на креслениках лініях (прямих і колах). Як такі поверхні широко застосовують площини і сфери.

План вирішення задач на взаємний перетин поверхонь включає:

- 1) визначення виду заданих поверхонь;
- 2) вибір допоміжних січних поверхонь;
- 3) знаходження опорних точок лінії перетину;
- 4) знаходження проміжних точок ліній перетину;

5) побудову шуканої лінії перетину з урахуванням її видимості і форми, якщо вона відома (пряма, коло, еліпс тощо).

Позиційні задачі на взаємний перетин можна об'єднати в три групи:

- а) перетин прямої з іншою прямою, а також з площиною і поверхнею;
- б) перетин площини з площиною і поверхнею;
- в) взаємний перетин поверхонь.

2.2.2 Взаємний перетин прямих

Взаємний перетин прямих визначається за креслеником без додаткових побудов. Прямі можуть перетинатися, схрещуватися і бути паралельними.

Прямі, що перетинаються (рис. 2.7) – прямі (а, б), мають одну спільну точку К. На підставі властивості прямокутного проєктування точки K_1 та K_2 однойменних проєкцій повинні знаходитися на одній лінії зв'язку.

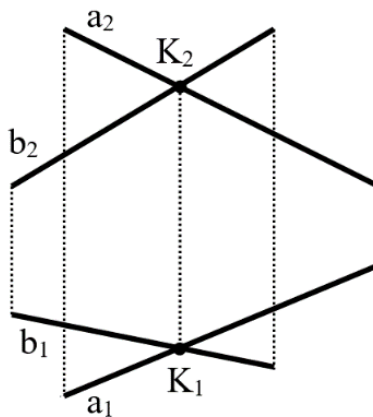


Рисунок 2.7 – Прямі, що перетинаються

Прямі, що схрещуються (або перехресні прямі) (рис. 2.8) – не мають спільної точки. Точки перетину однойменної проєкції перехресних прямих не повинні належати одній лінії зв'язку.

Паралельні прямі (рис. 2.9) – прямі, що перетинаються в нескінченно віддаленій точці. На кресленіку однойменні проєкції паралельних прямих повинні бути паралельними.

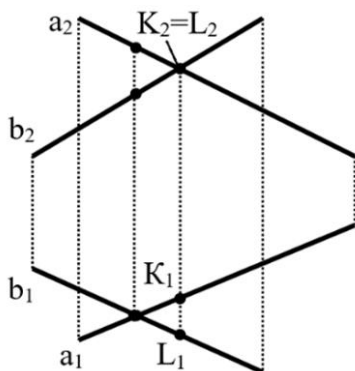


Рисунок 2.8 – Перехресні прямі

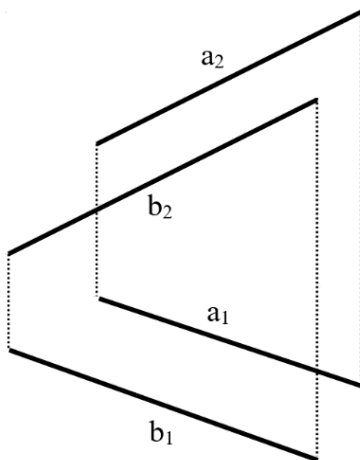


Рисунок 2.9 – Паралельні прямі

Якщо хоча б одна з прямих є профільною, то для з'ясування взаємного положення прямих необхідно побудувати їхні профільні проєкції (рис. 2.9, 2.10).

На рисунку 2.10 дві профільні прямі, горизонтальні і фронтальні, проєкції яких будуть паралельні за визначенням, насправді є перехресними, тому що їхні профільні проєкції перетинаються.

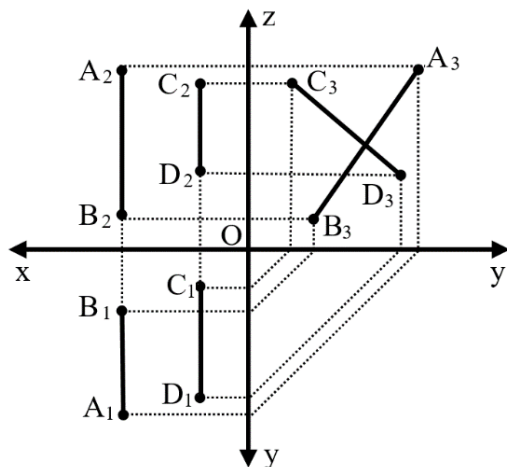


Рисунок 2.10 – Перевірка двох профільних прямих на паралельність

На рис. 2.11 профільна пряма AB і пряма загального положення CD є перехресними, тому що точки перетину їхніх горизонтальних, фронтальних і профільних проєкцій (V_1, V_2 і V_3) не лежать в одних лініях зв'язку.

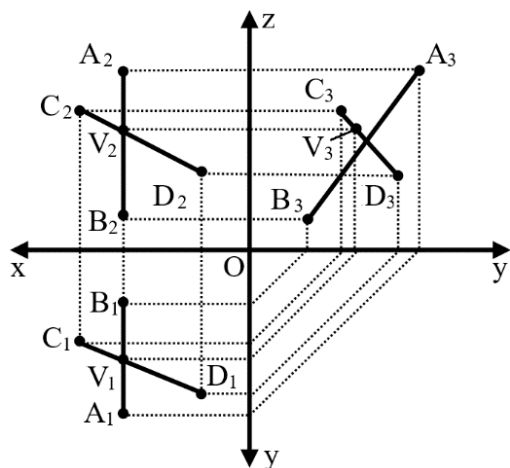


Рисунок 2.11 – Перевірка прямої загального положення і профільної прямої на взаємний перетин

2.2.3 Перетин прямої з площиною

Для знаходження точки перетину прямої з площиною застосовується загальний план вирішення, спрощений, тому що як допоміжна поверхня використовують одну площину, яка проектується, і знаходять лише одну точку перетину. Для вирішення цієї задачі використовують такі відомості з геометрії:

- а) через одну точку простору можна провести нескінченну кількість прямих;
- б) дві точки однозначно визначають положення прямої;
- в) якщо дві точки прямої належать площині, то пряма належить площині;
- г) пряма паралельна площині, якщо вона паралельна будь-якій прямій на цій площині;
- д) якщо пряма перпендикулярна двом непаралельним прямим площини, то вона перпендикулярна площині;
- е) через одну пряму можна провести нескінченну кількість площин;
- ж) дві площини перетинаються єдиною прямою.

Пряма щодо площини може займати два положення: належати площині або перетинати її. Окремими випадками перетину можуть бути паралельність – перетин прямої з площиною на нескінченності і перпендикулярність – перетин прямої з площиною під кутом 90° .

Приклад 1. Розглянемо вирішення задачі на перетин прямою m і площиною загального положення ABC (рис. 2.12).

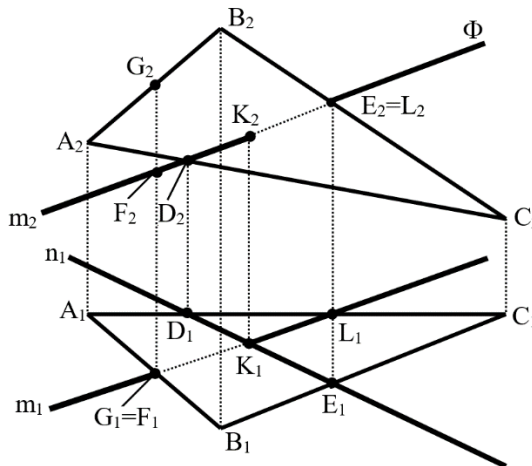


Рисунок 2.12 – Перетин прямої і площини

Як допоміжна площини обираємо фронтально проєктуючу Φ , так, що її фронтальна проєкція збігається з фронтальною проєкцією прямої m (m_2). Знаходимо проєкції точок D , E перетину цієї допоміжної площини Φ заданої площиною ABC (D_2 , E_2 та D_1 , E_1). Перетин горизонтальної проєкції заданої прямої (m_1) з прямою D_1E_1 (n_1) дасть нам горизонтальну проєкцію K_1 точки перетину площини ABC з прямою m . Фронтальна проєкція цієї точки знаходиться на перетині лінії зв'язку K_1K_2 і прямої m_2 .

Для визначення видимості прямої використовують дві пари конкуруючих точок GF та EL . Розглядаючи G_2 і F_2 , ми бачимо, що точка G_2 знаходиться вище, ніж точка D_2 . Отже, пряма AB закриває пряму m відносно горизонтальної площини проєкції, отже її частина F_1K_1 не буде видна.

Аналогічно для точок L та E , точка E_1 ближче до нас, ніж точка F_1 , тому що на фронтальній площині проєкції пряма B_2C_2 закриває пряму m_2 і частина прямої K_2L_2 буде невидимою.

Приклад 2. Через точку M провести пряму, паралельну площині DEF і горизонтальну площині проєкції (рис. 2.13).

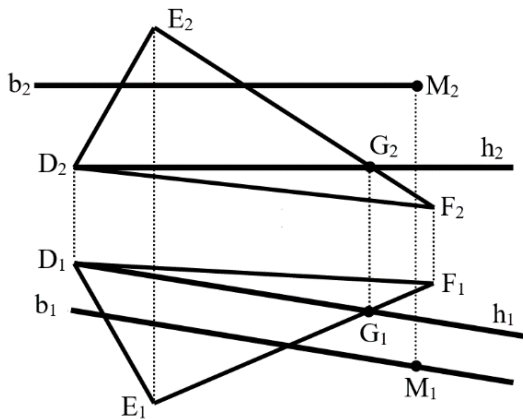


Рисунок 2.13 – Пряма, паралельна площині

Для вирішення задачі в заданій площині проводимо горизонталь h , що належить DEF , для чого:

– будуємо фронтальну проєкцію горизонталі (h_2), що проходить через точку D_2 до перетину зі стороною E_2F_2 (точка G_2);

– знаходимо горизонтальну проєкцію точки G (G_1) і будуємо горизонтальну проєкцію горизонталі (h_1), що проходить через точки D_1G_1 .

Через обидві проєкції точки M проводимо проєкції прямої b , паралельні проєкціям побудованої горизонталі h .

Приклад 3. Через точку C провести перпендикуляр до площини ABC

Для вирішення використовуємо вказане раніше визначення перпендикуляра до площини. Спочатку в площині ABC проводимо горизонталь h (h_2, h_1) і фронталь f (f_1, f_2). Далі через точку C проводимо шуканий перпендикуляр d , горизонтальна проєкція d_1 якого перпендикулярна горизонтальній проєкції горизонталі $d_1 \perp h_1$, а фронтальна проєкція d_2 перпендикулярна фронтальній проєкції фронталі $d_2 \perp f_2$ (рис. 2.14).

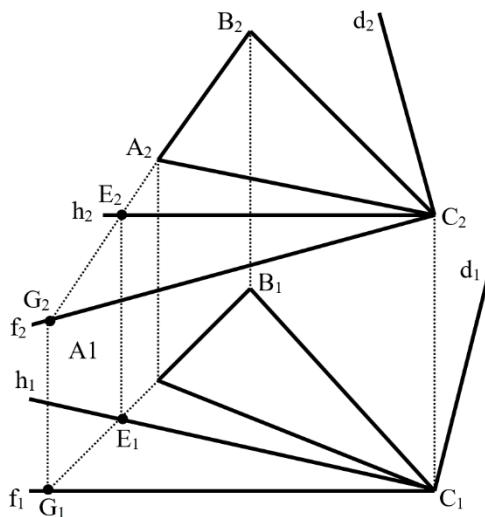


Рисунок 2.14 – Побудова перпендикуляра до площини

2.2.4 Взаємний перетин площин

У загальному випадку дві площини можуть належати одна одній або перетинатися. У першому випадку це буде одна і та ж площина. У другому – перетин може бути в межах креслення, на нескінченності – паралельність і під кутом 90° – перпендикулярність.

З геометрії відомо, що:

а) три точки, які не належать одній прямій, визначають площину;

б) якщо дві прямі, які перетинаються, однієї площини паралельні двом прямим, які перетинаються, іншої площини, то ці площини паралельні між собою;

в) якщо площина проходить через пряму, перпендикулярну іншій площині, то ці площини взаємно перпендикулярні.

Знайдемо лінію перетину двох площин загального положення ABC , DEF (рис. 2.15).

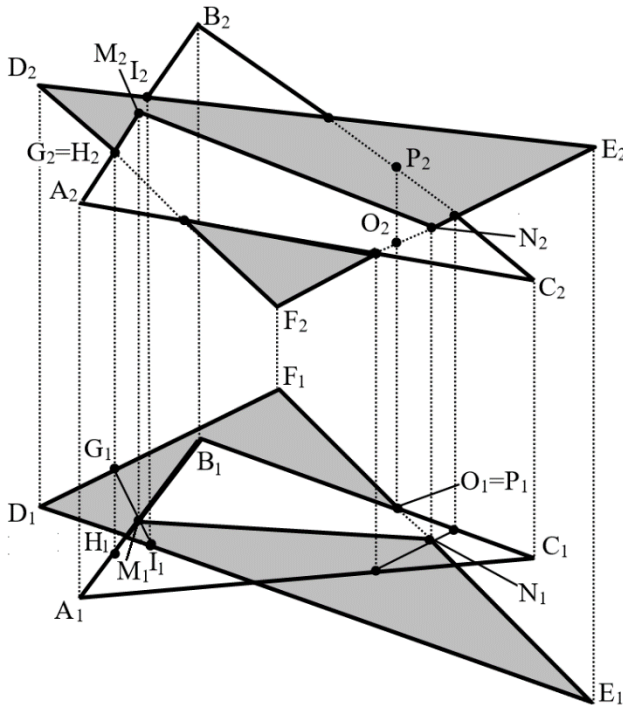


Рисунок 2.15 – Перетин двох площин

Для вирішення цієї задачі двічі застосовуємо розв'язання задачі на перетин прямої і площини.

1. Знаходимо точку M перетину прямої AB з площиною DEF :

– знаходимо точки перетину A_2B_2 з D_2F_2 та D_2E_2 (G_2, I_2) і їхні горизонтальні проекції (G_1, I_1);

– перетин лінії G_1I_1 з A_1B_1 дасть горизонтальну проекцію M_1 точки M , маючи яку знаходимо фронтальну проекцію M_2 .

2. Аналогічно знаходимо точку перетину N прямої FE з площиною DEF .
3. Знаходимо лінію MN перетину площин ABC та DEF .
4. Визначимо видимість площин по конкуруючих точках $G_2=H_2$ і $P_1=O_1$:
 - точки G_2, H_2 визначають видимість на фронтальній площині проєкцій (на горизонтальній площині проєкцій точки H_1 лежить нижче точки G_1 , а значить пряма A_2B_2 , на якій лежить точка H_2 , закриває пряму D_2F_2);
 - точки O_1P_1 визначають видимість на горизонтальній площині проєкцій (точка P_2 лежить вище точки O_2 на фронтальній площині проєкцій, а значить пряма B_1C_1 , якій належить точка P_1 закриває пряму FE на горизонтальній площині проєкцій).

2.2.5 Площини перетину

Розглянемо приклади перетину поверхні з площиною. З огляду на те, що площину завжди можна із загального положення перетворити в окреме положення, розглядатимемо випадки перетину поверхонь площинами окремого положення (проєктуючими або рівня). При цьому площина вважається прозорою.

Приклад 1. Перетин грані поверхні площиною.

Грані поверхні є відрізками площин, тобто вони перетинатимуться із заданою площиною за прямими. В цьому випадку лінією перетину буде ламана лінія.

Для побудови лінії перетину досить знайти точки лінії перетину ребер поверхні із заданою площиною – опорні точки, а потім з'єднати їх з урахуванням видимості.

Наприклад, побудуємо лінію перетину поверхні трикутної піраміди з фронтально-проєктуючою площиною Φ (рис. 2.16).

Вирішення цієї задачі проводиться в такій послідовності:

- 1) на фронтальній площині проєкцій знаходимо точки D_2, E_2, G_2 перетину ребер піраміди A_2S_2, B_2S_2 та C_2S_2 з фронтально-проєктуючою площиною Φ_2 ;
- 2) на горизонтальній площині проєкцій будуємо точки D_1, E_1, G_1 перетину ребер піраміди A_1S_1, B_1S_1 і C_1S_1 з фронтально-проєктуючою площиною Φ_1 .

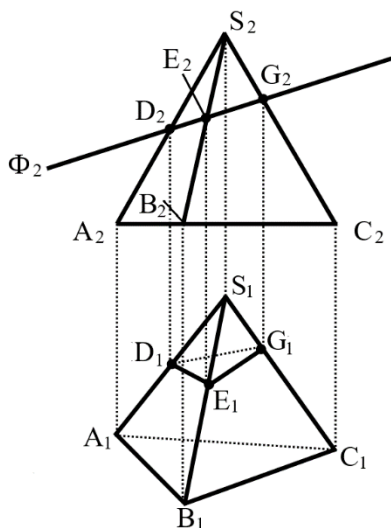


Рисунок 2.16 – Перетин піраміди площиною

Приклад 2. *Перетин сфери з площиною.*

У цьому випадку лінія перетину – коло. Якщо січна площина займає положення площини рівня (рис. 2.17), то на паралельну площину проєкцій коло проєктуватиметься без спотворень, а на перпендикулярну – у відрізок прямої, рівний по довжині діаметру кола.

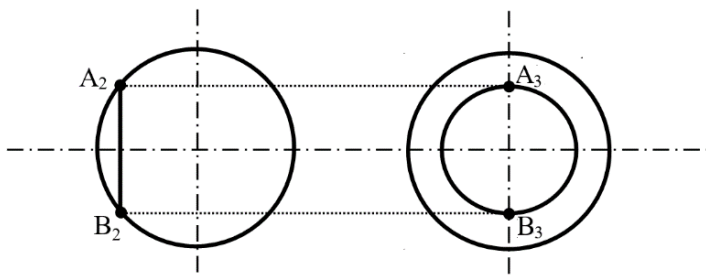


Рисунок 2.17 – Перетин кола площиною рівня

Якщо січна площина займає положення проєктуючої (рис. 2.18), то на площину проєкцій, перпендикулярну проєктуючій, коло перетину проєктуватиметься у відрізок прямої, а на іншу – в еліпс.

Для вирішення цієї задачі необхідно застосувати план вирішення задач щодо належності. Щоб побудувати профільну проєкцію лінії перетину – еліпс n_3 – необхідно знайти проєкції ряду точок цієї лінії. Спочатку необхідно знайти опорні точки, що обмежують осі еліпса (А, В) і, якщо вони є, точки перетину площини з екватором. Проміжні точки (С, D, E, F) знаходять між опорними точками шляхом побудови додаткових січних площин рівня (m , k), які на фронтальну площину проєкцій проєктуються у відрізки прямих m_2 , k_2 , а на профільній – в коло m_3 , k_3 з діаметрами, рівними довжині відрізків. Кількість додаткових січних площин залежить від необхідної точності побудови лінії перетину.

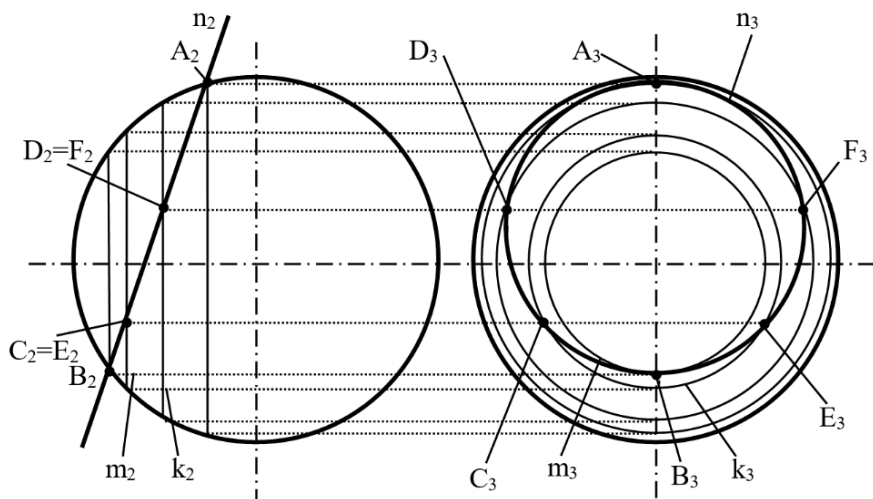


Рисунок 2.18 – Перетин кола фронтально-проєктуючою площиною

Приклад 3. Перетин циліндричної поверхні з площиною (рис. 2.19)

В цьому випадку можуть бути отримані такі лінії:

- 1) коло, якщо січна площина перпендикулярна осі обертання циліндра (Φ_2 перпендикулярна i_2);
- 2) еліпс, якщо січна площина (Ω_2) не паралельна і не перпендикулярна осі обертання циліндра;
- 3) дві прямі, якщо січна площина (Θ_2) паралельна твірним поверхні циліндра.

При цьому коло і еліпси проектуватимуться в прямі на площину проєкцій, паралельній осі поверхні, тобто перпендикулярній січній площині, а на площину проєкцій, перпендикулярній до осі поверхні – в коло, яке збігається з проєкцією всієї поверхні.

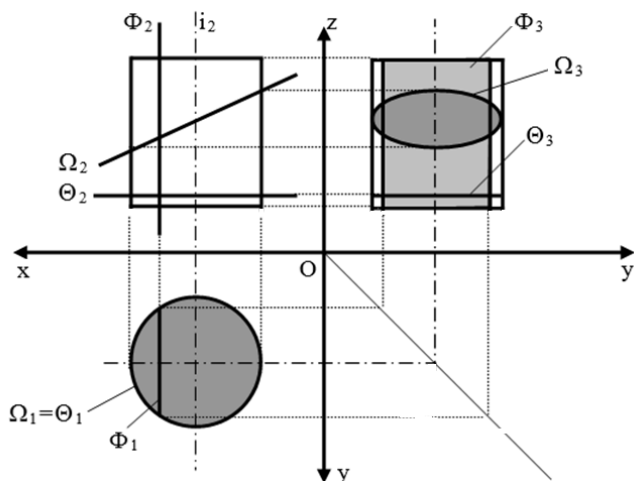


Рисунок 2.19 – Перетин циліндричної поверхні з площиною

Приклад 4. Перетин конічної поверхні обертання площиною.

В цьому випадку можуть бути отримані такі лінії:

1) коло, якщо січна площина перпендикулярна осі обертання (рис. 2.20);

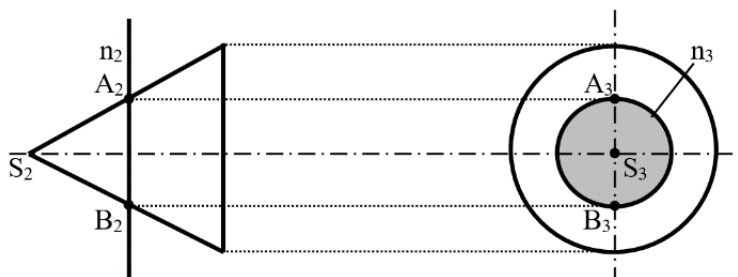


Рисунок 2.20 – Перетин конуса січною площиною, перпендикулярною осі обертання

2) еліпс, якщо січна площина не паралельна жодній твірній, тобто перетинає всі твірні (рис. 2.21);

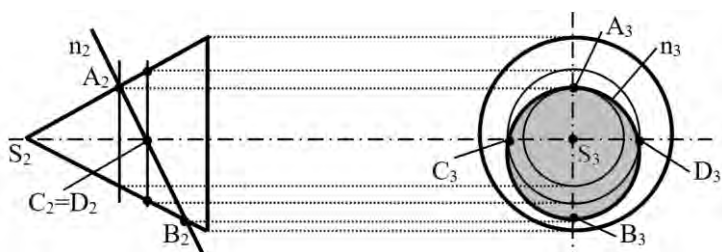


Рисунок 2.21 – Перетин конуса з площиною, яка перетинає обидві твірні

3) парабола, якщо січна паралельна одній твірній (рис. 2.22);

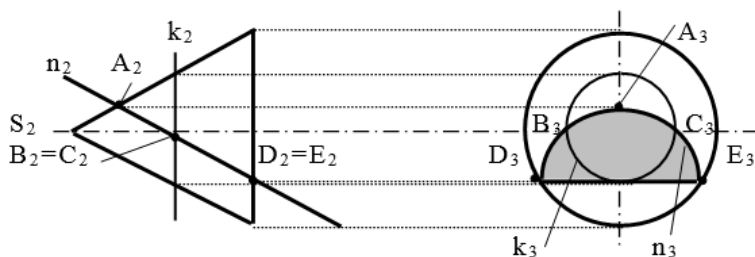


Рисунок 2.22 – Перетин конуса з площиною, паралельній одній твірній

4) гіпербола, якщо січна площина паралельна двом твірним поверхні (рис. 2.23);

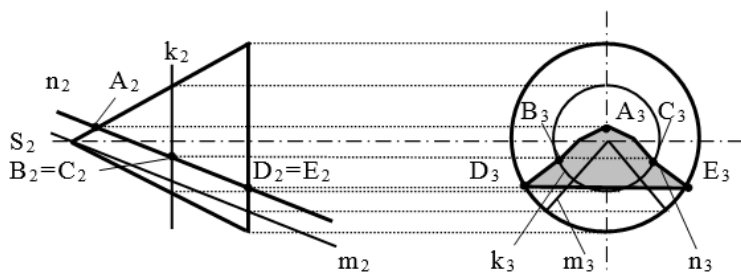


Рисунок 2.23 – Перетин конуса з площиною, паралельній двом твірним

5) дві твірні, якщо січна площина проходить через вершину поверхні (рис. 2.24).

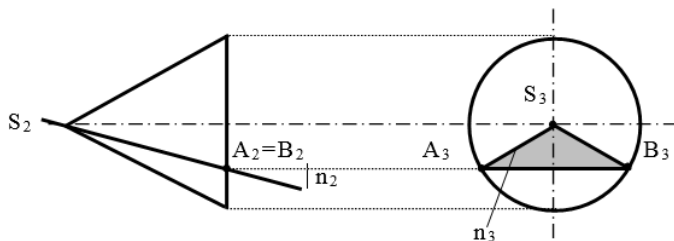


Рисунок 2.24 – Перетин конуса з площиною, що проходить через його вершину

2.2.6 Лінія зрізу

Лінією зрізу називається лінія, отримана від перетину поверхні обертання з площиною, яка паралельна її осі обертання (окремий випадок перетину поверхонь). Лінія зрізу будується на кресленні так само, як і лінія перетину. Як допоміжні січні поверхонь використовують площини, перпендикулярні осі обертання поверхні.

Приклад 1. Необхідно побудувати лінію зрізу циліндричної поверхні обертання фронтальної площини рівня Θ (рис. 2.25).

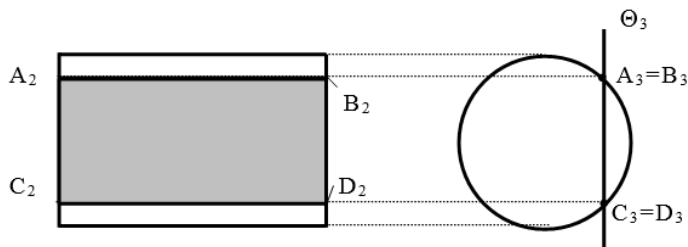


Рисунок 2.25 – Перетин циліндричної поверхні фронтальної площини рівня

Оскільки задана площина паралельна осі циліндра, то вона перетинає його по двох твірних AB та CD . Фронтальні проєкції цих твірних знаходять, використовуючи лінії зв'язку.

Приклад 2. Побудувати лінію зрізу конічної поверхні обертання фронтальної площини рівня Φ (рис. 2.26).

Січні площини паралельні осі конічної поверхні, отже, лінією зрізу буде гіпербола. Для її побудови використовуємо ряд допоміжних січних профільних площин рівня P_2, R_2 і т.д. Ці площини перетинають конічну

поверхню по колу, тому що вони перпендикулярні осі обертання цієї поверхні. Кола проєктуватимуться на профільну площину проєкцій без спотворень. На перетині профільних проєкцій цих кіл із заданою січною площин P_3 , R_3 виходять проєкції точок А, В, С, D, Е, які необхідно знайти. Використовуючи лінії зв'язку і приналежність цих точок січній площині, знаходимо їхні фронтальні проєкції.

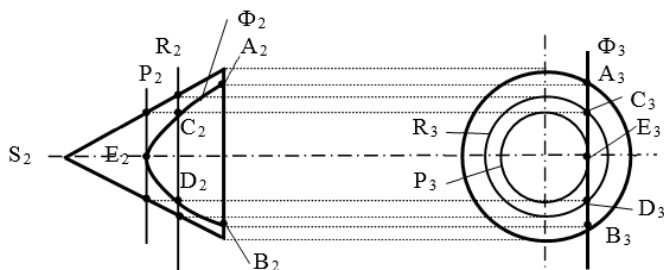


Рисунок 2.26 – Лінія зрізу поверхні конуса фронтальною площиною рівня

2.3 Контрольні завдання

1. Визначити належність точки D площині трикутника ABC (табл. 1.1).
2. Визначити належність точки M поверхні сфери радіусом 5 у.о. з центром у точці O (5, 5, 5).
3. Визначити характер взаємного положення двох прямих AB і CE.
4. Визначити точку перетину прямої KL і площини ABC. Вказати видиму і невидиму частини прямої.
5. Через точку K (табл. 2.1) провести пряму, паралельну площині ABC (табл. 1.1) і заданій в табл. 2.1 площині проєкцій.
6. Із точки C відновити перпендикуляр до площини ABC (табл. 1.1).
7. Визначити лінію перетину площин ABC і RST (табл. 2.2).
8. Побудувати лінію перетину фронтально-проєктуючої площини, фронтальна проєкція якої проходить через точки K2L2, однією з таких поверхонь обертання (табл. 2.2):
 - а) сфера, задана в п. 2 цього завдання;
 - б) циліндр, висотою 9 у. о. і діаметром 8 у. о., центр нижньої основи якого знаходиться в точці O (5, 5, 1);
 - в) конус, висотою 9 у.о., центр основи якого перебуває в точці O (5, 5, 1), а діаметр дорівнює 8 у. о.

Таблиця 2.1 – Варіанти індивідуальних завдань до пп. 1 – 4

№вар.	Координати точок (в у. о.)															Площина проєкцій
	D			M			E			K			L			
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	
1	2	3	4	7	3	3	4	2	5	6	1	9	1	5	3	гор.
2	3	3	4	6	3	3	6	6	4	5	3	7	2	4	1	фр.
3	6	4	5	7	7	6	9	4	5	9	2	4	2	8	7	пр.
4	7	6	4	4	4	3	9	6	5	9	8	5	3	3	1	гор.
5	4	5	5	8	8	7	7	6	9	7	7	3	1	1	8	фр.
6	4	5	5	2	7	7	7	9	7	7	6	2	1	3	7	пр.
7	7	4	6	7	3	6	8	5	8	9	4	2	3	5	8	гор.
8	4	5	3	3	8	8	3	7	6	5	4	5	1	7	2	фр.
9	4	5	5	5	7	7	9	3	3	7	7	8	2	2	2	пр.
10	3	4	3	6	3	3	8	3	2	6	1	2	3	6	6	гор.
11	3	2	4	3	8	4	2	1	9	5	4	8	1	1	2	фр.
12	3	3	4	3	4	4	5	8	1	7	2	2	1	7	5	пр.
13	4	2	5	2	4	7	4	8	8	9	2	7	1	4	2	гор.
14	5	4	2	7	2	4	9	9	7	9	0	7	2	5	3	фр.
15	3	4	4	7	6	3	1	5	6	6	2	2	1	6	5	пр.
16	5	2	7	3	4	6	1	6	8	9	4	4	3	1	9	гор.
17	5	5	4	4	3	9	3	9	9	9	1	4	2	6	2	фр.
18	5	4	4	8	8	4	9	5	9	7	5	2	2	2	7	пр.
19	3	3	6	3	3	2	4	3	6	8	1	4	1	4	7	гор.
20	5	6	3	2	7	3	7	9	7	9	2	5	1	7	2	фр.
21	3	4	7	8	7	7	1	7	7	8	4	3	1	1	9	пр.
22	6	6	4	3	8	7	6	4	3	9	8	7	2	1	4	гор.
23	6	6	3	2	7	5	9	8	4	8	9	1	5	2	6	фр.
24	7	5	6	6	6	7	4	3	6	8	3	4	4	7	8	пр.
25	7	5	6	3	3	3	3	1	4	9	4	4	3	7	9	гор.
26	6	6	7	8	3	3	3	1	2	9	8	7	1	1	5	фр.
27	3	7	6	2	6	3	1	4	3	9	6	8	1	1	4	пр.
28	5	5	6	8	7	7	3	4	9	9	9	6	3	2	2	гор.
29	3	4	3	2	2	7	8	8	2	8	3	5	1	6	3	фр.
30	4	3	4	7	9	9	7	2	7	1	6	3	6	1	2	пр.

Продовження таблиці 2.1

№ вар.	Координати точок (в у. о.)															Площина проєкцій
	D			M			E			K			L			
	x	y	z	x	y	z	X	y	z	x	y	z	x	y	z	
31	4	4	5	6	6	2	8	6	8	8	6	1	1	1	1	гор.
32	4	4	5	8	3	4	6	7	9	8	7	2	1	1	7	фр.
33	2	5	3	6	4	6	4	8	6	5	6	1	1	2	6	пр.
34	3	4	4	6	7	2	1	3	4	6	0	2	1	5	5	гор.
35	3	4	4	3	3	7	2	1	1	6	3	6	1	5	1	фр.
36	7	4	5	8	4	6	9	5	5	9	1	4	2	9	8	пр.
37	6	5	4	7	4	3	2	1	5	8	3	1	3	8	7	гор.
38	5	5	5	3	3	6	8	1	4	9	6	3	1	2	8	фр.
39	4	4	6	7	2	4	6	2	2	7	4	7	2	6	2	пр.
40	6	5	5	4	4	4	4	7	1	8	1	3	3	7	7	гор.
41	5	6	3	3	7	6	1	3	3	7	3	6	2	7	1	фр.
42	4	5	4	8	3	3	2	8	1	6	3	2	1	5	6	пр.
43	4	5	5	3	3	4	2	2	2	6	6	2	1	4	7	гор.
44	3	4	5	7	3	3	6	1	9	6	5	8	2	2	2	фр.
45	4	4	4	3	8	7	7	1	6	7	1	5	1	4	3	пр.
46	5	2	5	7	8	3	3	1	2	7	4	4	3	1	7	гор.
47	3	3	4	6	2	8	5	1	1	7	1	6	1	6	3	фр.
48	5	2	6	3	4	4	3	1	2	2	4	5	9	2	7	пр.
49	5	4	5	6	2	2	2	1	3	9	4	2	2	1	4	гор.
50	5	3	6	4	3	3	2	1	4	7	0	8	2	6	2	фр.
51	5	2	6	4	3	7	2	1	2	9	1	8	2	4	3	пр.
52	4	6	3	4	6	7	7	3	1	7	5	5	1	6	2	гор.
53	3	3	5	3	3	3	2	1	3	5	4	3	1	1	7	фр.
54	6	5	4	7	7	7	3	7	6	9	7	4	3	6	8	пр.
55	7	5	3	6	7	2	3	8	6	9	5	1	5	2	6	гор.
56	7	5	3	6	2	3	6	8	5	9	5	2	5	2	5	фр.
57	7	5	6	7	3	3	9	8	3	9	2	4	4	8	7	пр.
58	6	5	6	4	2	2	7	3	5	9	7	3	1	2	8	гор.
59	5	6	7	1	5	4	9	2	7	8	3	4	2	6	9	фр.
60	3	3	2	6	1	7	2	1	1	5	5	4	1	2	5	пр.

Таблиця 2.2 – Варіанти індивідуальних завдань до пп. 7 – 8

№ вар.	Координати точок (в у. о.)															Поверхня обертання
	R			S			T			K			L			
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	
1	5	2	2	4	6	7	1	3	4	6	1	9	1	5	3	сфера
2	5	1	6	4	5	1	1	3	3	5	3	7	2	4	1	циліндр
3	9	5	5	3	1	2	2	4	8	9	2	4	2	8	7	конус
4	9	6	5	5	9	1	2	3	8	9	8	5	3	3	1	сфера
5	7	7	2	6	1	9	1	6	6	7	7	3	1	1	8	циліндр
6	6	2	2	7	9	7	1	6	5	7	6	2	1	3	7	конус
7	7	7	2	8	4	8	3	3	6	9	4	2	3	5	8	сфера
8	6	9	1	7	5	7	2	4	5	5	4	5	1	7	2	циліндр
9	5	8	2	6	5	5	1	1	4	7	7	8	2	2	2	конус
10	7	3	3	5	1	6	2	5	2	6	1	2	3	6	6	сфера
11	4	4	2	3	1	8	1	4	4	5	4	8	1	1	2	циліндр
12	5	3	5	4	7	1	1	2	4	7	2	2	1	7	5	конус
13	7	4	3	3	1	8	2	6	3	9	2	7	1	4	2	сфера
14	7	2	2	6	7	8	3	3	6	9	0	7	2	5	3	циліндр
15	6	5	5	3	6	1	1	3	6	6	2	2	1	6	5	конус
16	8	3	5	4	1	9	3	4	3	9	4	4	3	1	9	сфера
17	7	3	2	5	8	7	2	4	4	9	1	4	2	6	2	циліндр
18	7	5	8	6	1	3	2	6	6	7	5	2	2	2	7	конус
19	4	6	3	5	1	9	1	2	5	8	1	4	1	4	7	сфера
20	7	3	5	5	7	1	1	5	3	9	2	5	1	7	2	циліндр
21	6	3	8	3	1	4	2	6	7	8	4	3	1	1	9	конус
22	9	4	6	7	8	1	4	3	7	9	8	7	2	1	4	сфера
23	8	8	5	7	3	1	5	7	4	8	9	1	5	2	6	циліндр
24	7	7	4	8	3	8	5	4	6	8	3	4	4	7	8	конус
25	9	4	9	7	7	3	4	2	6	9	4	4	3	7	9	сфера
26	8	7	7	4	2	3	2	8	8	9	8	7	1	1	5	циліндр
27	8	4	5	4	9	9	2	2	4	9	6	8	1	1	4	конус
28	9	5	4	4	3	8	3	8	3	9	9	6	3	2	2	сфера
29	6	7	3	3	1	6	2	6	1	8	3	5	1	6	3	циліндр
30	6	2	6	4	7	1	1	1	7	1	6	3	6	1	2	конус

Продовження таблиці 2.2

№вар.	Координати точок (в у. о.)															Поверхня обертання
	R			S			T			K			L			
	x	y	z	x	y	z	x	y	Z	x	y	z	x	y	z	
31	8	6	8	6	1	1	1	4	5	8	6	1	1	1	1	сфера
32	7	6	2	6	1	8	1	4	4	8	7	2	1	1	7	циліндр
33	6	8	4	3	1	1	1	3	7	5	6	1	1	2	6	конус
34	5	2	2	3	6	7	1	2	4	6	0	2	1	5	5	сфера
35	5	6	2	2	1	5	1	3	3	6	3	6	1	5	1	циліндр
36	9	5	5	4	1	8	2	4	2	9	1	4	2	9	8	конус
37	9	5	5	5	1	1	3	7	5	8	3	1	3	8	7	сфера
38	8	8	1	6	1	8	1	7	6	9	6	3	1	2	8	циліндр
39	7	8	8	5	2	2	1	5	5	7	4	7	2	6	2	конус
40	8	4	8	6	2	2	2	8	5	8	1	3	3	7	7	сфера
41	7	3	2	5	9	4	2	4	3	7	3	6	2	7	1	циліндр
42	6	4	6	4	7	2	1	5	5	6	3	2	1	5	6	конус
43	6	6	8	5	1	2	1	7	6	6	6	2	1	4	7	сфера
44	5	5	2	4	1	8	1	4	6	6	5	8	2	2	2	циліндр
45	6	2	5	3	7	1	2	1	4	7	1	5	1	4	3	конус
46	6	1	5	5	4	7	4	2	3	7	4	4	3	1	7	сфера
47	5	1	7	4	6	1	1	3	6	7	1	6	1	6	3	циліндр
48	8	4	3	4	1	9	3	5	4	2	4	5	9	2	7	конус
49	8	3	3	4	9	7	2	4	2	9	4	2	2	1	4	сфера
50	9	3	6	5	0	3	2	4	7	7	0	8	2	6	2	циліндр
51	5	4	8	4	1	3	1	5	7	9	1	8	2	4	3	конус
52	8	2	6	6	8	0	1	6	4	7	5	5	1	6	2	сфера
53	5	4	4	2	1	3	1	5	8	5	4	3	1	1	7	циліндр
54	9	6	6	6	8	1	3	1	7	9	7	4	3	6	8	конус
55	9	4	5	7	1	0	5	8	6	9	5	1	5	2	6	сфера
56	9	6	5	7	2	6	6	7	1	9	5	2	5	2	5	циліндр
57	9	4	3	8	8	8	4	2	6	9	2	4	4	8	7	конус
58	8	8	7	5	1	3	2	7	6	9	7	3	1	2	8	сфера
59	8	2	8	5	9	10	2	4	4	8	3	4	2	6	9	циліндр
60	5	5	4	1	6	5	2	0	0	5	5	4	1	2	5	конус

2.4 Приклади виконання контрольних завдань

1. Визначимо належність точки $D(4,4,4)$ площині трикутника ABC (рис. 2.27).

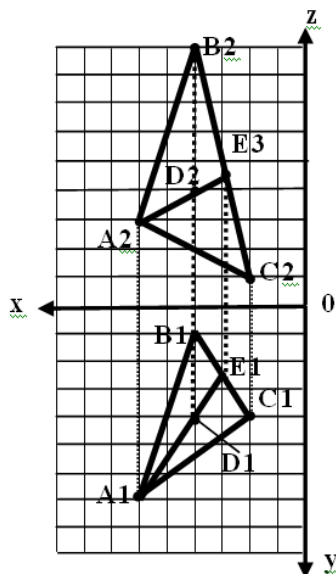


Рисунок 2.27 – Належність точки площині

Проводимо через точку D_2 допоміжну пряму A_2E_2 , що належить трикутнику ABC . Знаходимо горизонтальну проєкцію прямої AE . Оскільки всі проєкції точки D лежать на відповідних проєкціях прямої AE , отже точка D належить площині трикутника ABC .

2. Визначимо належність точки $M(7,7,3)$ поверхні сфери радіусом 5 у.о. з центром у точці $O(5,5,5)$ (рис. 2.28).

Проведемо допоміжну січну горизонтальну площину рівня через точку M . Фронтальна проєкція лінії перетину цієї площини зі сферою виглядатиме як відрізок прямої m_2 . Горизонтальна проєкція лінії перетину – коло m_1 діаметром, рівним m_2 . Оскільки горизонтальна проєкція точки M (M_1) не лежить на колі m_1 , це свідчить про те, що точка M не належить поверхні сфери.

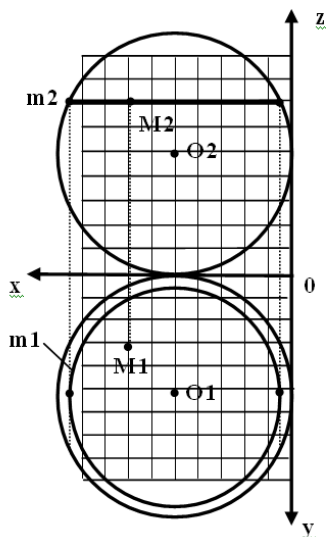


Рисунок 2.28 – Належність точки поверхні сфери

3. Визначимо характер взаємного положення двох прямих АВ та СЕ (координати точки Е – 7, 2, 8) (рис. 2.29).

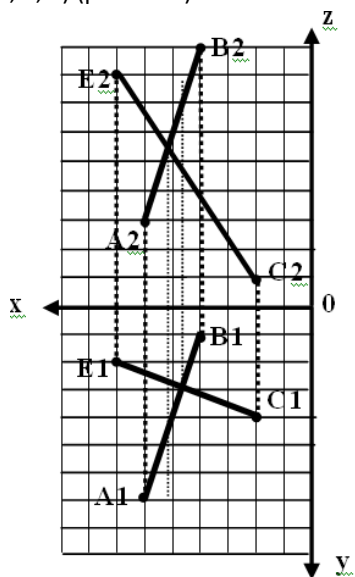


Рисунок 2.29 – Перехресні прямі

З кресленника видно, що точки перетину проєкцій прямих АВ та РС не знаходяться на одній лінії зв'язку. Тому ці прямі – перехресні.

2.4.4. Визначимо точку перетину прямої KL (координати точок К – 7,2,5; L – 1,5,7) і площини ABC (рис. 2.30).

Для вирішення задачі побудуємо допоміжну фронтально-проєктуючу площину, що проходить через K_2L_2 . Знайдемо лінію перетину цієї площини з площиною трикутника ABC – MN. Точка перетину M_1N_1 з K_1L_1 – Q_1 є точкою перетину прямої KL з площиною ABC. Видимість (невидимість) відрізків прямої KL знаходимо методом конкуруючих точок $M_2 = H_2$ на фронтальній і $F_1 = G_1$ на горизонтальній проєкціях (див. пп. 2.2.3).

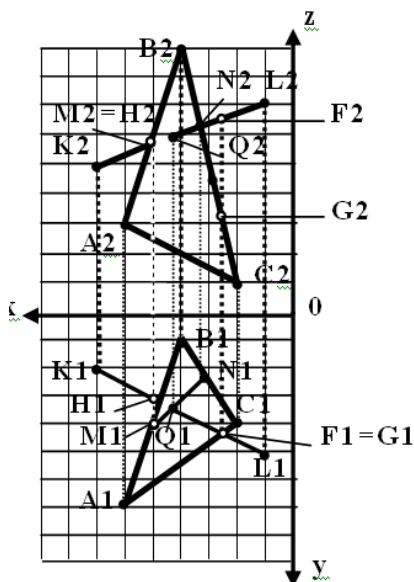


Рисунок 2.30 – Перетин прямої з площиною

2.4.5 Через точку К (7, 2, 5) проведемо пряму, паралельну площині ABC та фронтальній площині проєкцій (рис. 2.31).

Для вирішення задачі, у фронтальній площині проєкцій проводимо фронталь f , що належить ABC, для чого:

- будуємо горизонтальну проєкцію фронталі (f_1), що проходить через точку C_1 (і паралельну осі x) до перетину зі стороною A_1B_1 (точка G_1);
- знаходимо фронтальну проєкцію точки G (G_2) і будуємо фронтальну проєкцію фронталі (f_2), що проходить через точки C_2G_2 .

Через обидві проекції точки К проводимо проєкції прямої b , паралельні проєкціям побудованої фронталі f .

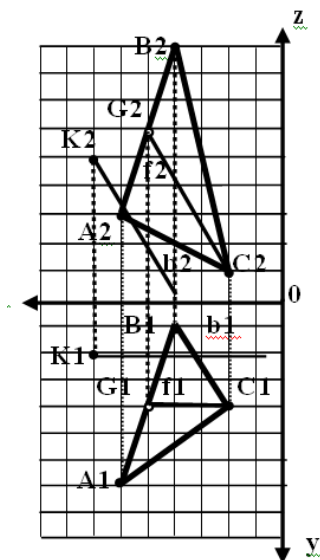


Рисунок 2.31 – Пряма, паралельна площині ABC і фронтальній площині проєкцій

2.4.6 З точки С відновимо перпендикуляр до площини ABC (рис. 2.32).

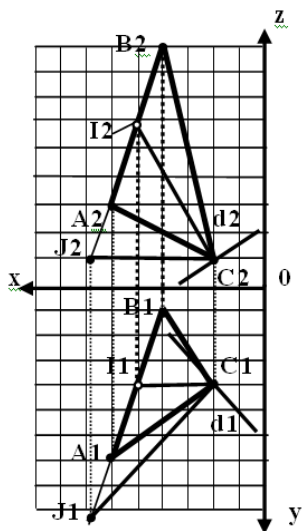


Рисунок 2.32 – Пряма, перпендикулярна площині ABC

Для вирішення використовуємо вказане раніше визначення перпендикуляра до площини. Спочатку в площині ABC проводимо горизонталь CJ (C_2J_2 , C_1J_1) і фронталь CI (C_1I_1 , C_2I_2). Далі через точку C проводимо шуканий перпендикуляр d , горизонтальна проєкція d_1 якого перпендикулярна горизонтальній проєкції горизонталі $d_1 \perp C_1J_1$, а фронтальна проєкція d_2 перпендикулярна фронтальній проєкції фронталі $d_2 \perp C_2I_2$.

2.4.7 Визначимо лінію перетину площин ABC та RST (координати точок RST – відповідно $(6, 2, 6)$, $(4, 7, 1)$ і $(1, 1, 7)$), рисунок 2.33.

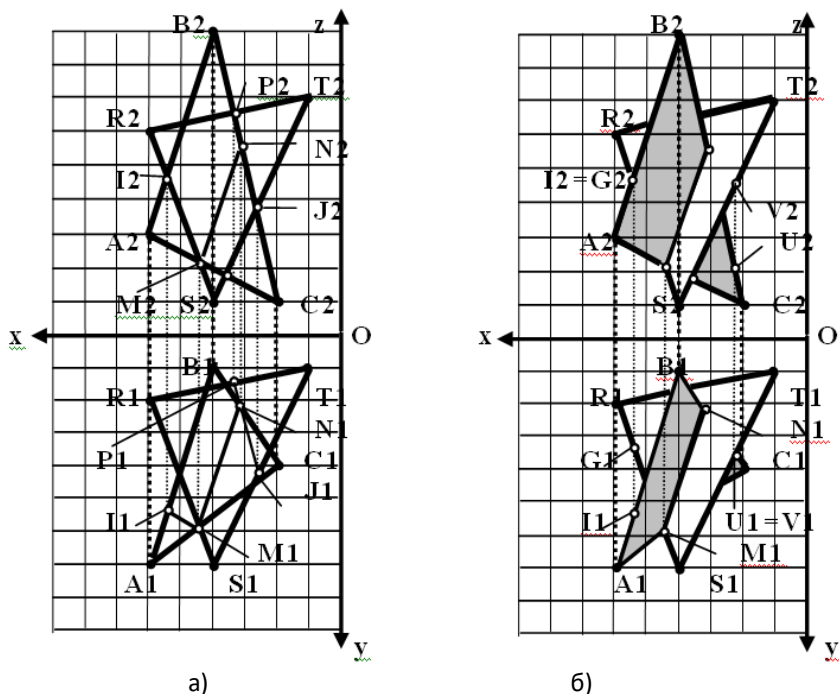


Рисунок 2.33 – Перетин площин ABC і RST

Для вирішення цієї задачі двічі застосовуємо розв'язання задачі на перетин прямої і площини (рис. 2.33, а):

1. Знаходимо точку N перетину прямої B_2C_2 з площиною RST :

– знаходимо точки перетину B_2C_2 з R_2T_2 і S_2T_2 (J_2 , P_2) і їхні горизонтальні проєкції (J_1 , P_1);

– перетин лінії P_1J_1 з B_1C_1 дасть горизонтальну проєкцію N_1 точки N , маючи яку знаходимо фронтальну проєкцію N_2 .

2. Аналогічно знаходимо точку перетину M прямої SR з площиною ABC .

3. Проводимо лінію MN перетину площин ABC і RST .

4. Визначимо видимість площин по конкуруючих точках $I_2 = G_2$ і $V_1 = U_1$ (рис. 2.33, б):

– точки I_2, G_2 визначають видимість на фронтальній площині проєкцій (на горизонтальній площині проєкцій точка I_1 лежить нижче точки G_1 , а значить пряма A_2B_2 , на якій лежить точка I_2 , закриває пряму R_2S_2);

– точки V_1, U_1 визначають видимість на горизонтальній площині проєкцій (точка V_2 лежить вище точки U_2 на фронтальній площині проєкцій), а значить пряма S_1T_1 , якій належить точка V_1 , закриває пряму B_1C_1 на горизонтальній площині проєкцій.

2.4.8 Побудуємо лінію перетину фронтально-проєктуючої площини, фронтальна проєкція якої проходить через точки K_2L_2 (координати точок $K - 7,2,5$; $L - 1,5,7$), циліндра, висотою 9 у. о., центр нижньої основи якого знаходиться в точці $O(5,5,1)$, а діаметр дорівнює 8 у. о. (рис. 2.34).

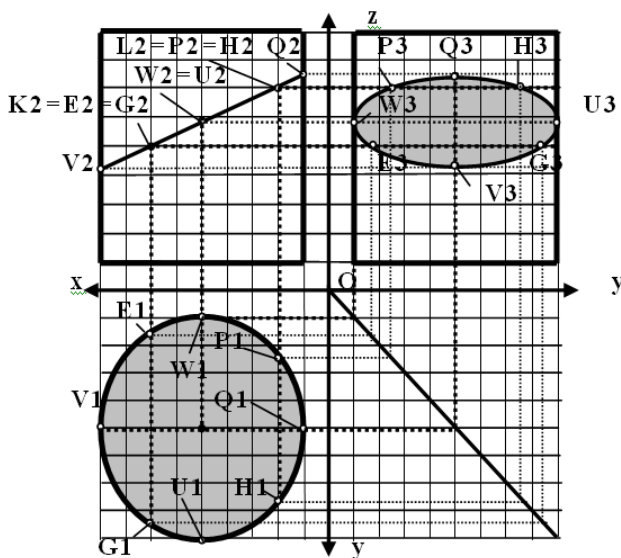


Рисунок 2.34 – Перетин циліндра з фронтально-проєктуючою площиною

Порядок побудови:

– на фронтальній проекції лінії перетину, що проходить через K_2L_2 , відзначаємо допоміжні точки $V_2, E_2, G_2, W_2, U_2, Q_2, P_2, H_2$, що належать одночасно поверхні циліндра і січній площині, і знаходимо їхні горизонтальні і профільні проекції;

– з'єднавши однойменні проекції зазначених точок, отримуємо шукані лінії перетину (точність побудови ліній перетину визначається кількістю допоміжних точок);

У горизонтальній площині проекції лінія перетину є колом, а в профільній – еліпсом.

3 МЕТРИЧНІ ЗАДАЧІ

Метричні задачі – це задачі, пов'язані з визначенням розмірів різних геометричних об'єктів. Їх можна визначити в три групи:

- 1) визначення відстаней;
- 2) визначення кутів;
- 3) визначення величини частини геометричного образу (прямої, площини, поверхні).

Перша група включає в себе визначення відстаней:

- а) від точки до іншої точки, прямої, площини поверхні;
- б) від прямої до іншої прямої, площини, поверхні;
- в) від площини до іншої площини, поверхні.

Друга група включає в себе визначення кутів між:

- а) перекресними прямими і прямими, що перетинаються;
- б) прямою і площиною, поверхнею;
- в) площинами, що перетинаються (двогранний кут);
- г) площиною і поверхнею.

Третя група включає в себе знаходження:

- а) довжини частини лінії;
- б) величини частини площини;
- в) величини частини поверхні.

3.1 Перетворення креслеників

Будь-яка метрична задача може бути вирішена, якщо використовувати одне з чотирьох перетворень кресленика, що призводять вихідні прямі і площини із загального положення до окремого.

3.1.1 Перша вихідна задача перетворення кресленика

Необхідно перетворити креслення так, щоб щодо нової площини проєкції пряма загального положення зайняла положення прямої рівня (рис. 3.1).

Для вирішення цієї задачі нова площина має бути паралельною заданій прямій. Для цього потрібно виконати такі побудови:

1. Замінити площину проєкцій Π_2 на нову площину Π_2' , розташувавши її паралельно прямій AB і перпендикулярно площині проєкцій Π_1 , тобто перейти від системи площин Π_2/Π_1 до нової системи площин Π_2'/Π_1 , при цьому Π_2' паралельна AB і перпендикулярна Π_1 . Нова вісь x' має бути паралельна проєкції A_1B_1 .

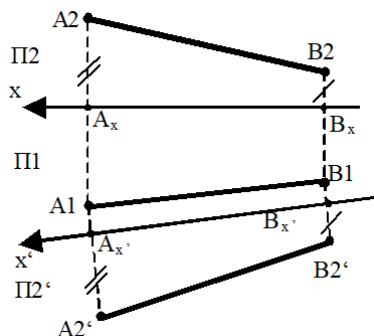


Рисунок 3.1 – Перетворення прямої загального положення в пряму рівня

2. Знайти нову проєкцію A_2' , B_2' на новій площині. Для цього провести з проєкції A_1 , B_1 нові лінії зв'язку, перпендикулярні новій осі x' і відкласти від осі x' відрізки A_xA_2' і B_xB_2' , які рівняються віддаленню проєкцій A_2 і B_2 від осі x (A_xA_2 і B_xB_2).

3. З'єднати A_2' і B_2' прямою. У новій системі координат пряма AB є лінією рівня, паралельною площині проєкцій Π_2' і проєкується на неї без спотворень.

3.1.2 Друга вихідна задача перетворення кресленника

Перетворити кресленник так, щоб щодо нової площини проєкцій пряма загального положення зайняла положення проєктуючої прямої (рис. 3.2).

Для вирішення цієї задачі нова площина проєкцій має бути перпендикулярна заданій прямій. Для цього необхідно провести дві послідовних заміни площин. При першій заміні нову площину проєкції Π_2' необхідно розташувати паралельно заданій прямій, тобто застосувати розв'язання першої задачі перетворення кресленника.

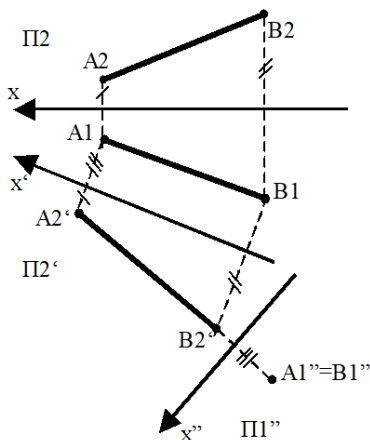


Рисунок 3.2 – Перетворення прямої загального положення в проєктуючу пряму

План розв'язання полягає у виконанні таких перетворень:

1. Перетворимо $\Pi_2/\Pi_1 \rightarrow \Pi_2'/\Pi_1$, при цьому Π_2' паралельна AB і Π_2' перпендикулярна Π_1 . На кресленні проводимо x' паралельно A_1B_1 і знаходимо $A_2'B_2'$ (як це було зроблено пп. 3.1.1).

2. Перетворимо $\Pi_2'/\Pi_1 \rightarrow \Pi_2''/\Pi_1''$, при цьому Π_1'' перпендикулярна AB і Π_2'' . Для цього проводимо x'' перпендикулярно $A_2'B_2'$ і знаходимо нову проєкцію $A_1''B_1''$, яка проєкується в точку $A_1''=B_1''$ (відстань від осі x'' до точки $A_1''=B_1''$ дорівнює відстані від точок A_1 і B_1 до осі x').

3.1.3 Третя вихідна задача перетворення кресленика

Необхідно перетворити кресленик так, щоб щодо нової площини проєкцій площина загального положення зайняла положення проєктуючої площини (рис. 3.3).

Будь-яку площину можна уявити як безліч відповідних прямих рівня, наприклад, горизонталей. Для перетворення прямих рівня в проєктуючі достатньо однієї заміни площини проєкцій (друга частина другої вихідної задачі перетворення кресленика).

Порядок побудови на кресленні.

1. У площині ABC побудуємо горизонталь AD (тобто $AD \in ABC$, AD паралельна Π_1), для чого проведемо A_2D_2 паралельну осі x і знайдемо A_1D_1 .

2. Побудуємо нову систему проєктуючих площин $\Pi_2/\Pi_1 \rightarrow \Pi_2'/\Pi_1$, при цьому Π_2' перпендикулярна A_1D_1 і Π_1 , для чого на кресленні будуємо вісь x' перпендикулярну A_1D_1 і проводимо лінії зв'язку від точок A_1, B_1, C_1 , перпендикулярних осі x' .

3. Знаходимо A_2', B_2', C_2' , відкладаючи на лініях зв'язку відрізки, рівні A_2A_x, B_2B_x, C_2C_x .

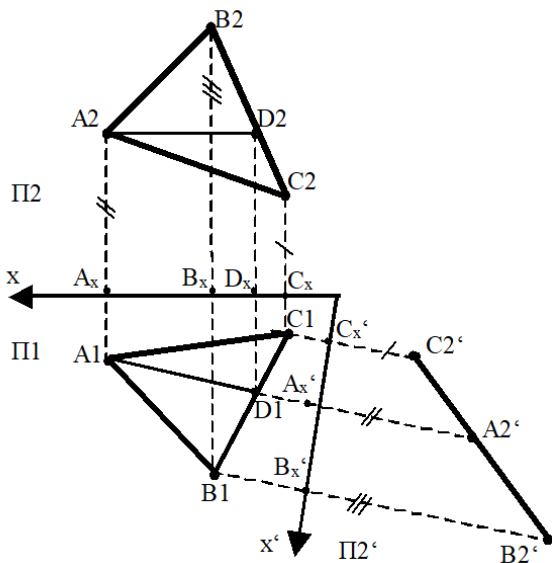


Рисунок 3.3 – Перетворення площини загального положення в проєктуючу площину

3.1.4 Четверта вихідна задача перетворення кресленика

Необхідно перетворити кресленик так, щоб щодо нової площини проєкцій площина загального положення зайняла становище площини рівня. Для вирішення цієї задачі необхідно провести дві послідовних заміни площин проєкції (рис. 3.4).

При першій заміні нову площину проєкцій необхідно розташувати перпендикулярно заданій площині загального положення, тобто застосувати розв'язання третьої вихідної задачі перетворення кресленика. При другій заміні нову площину проєкції треба розташувати паралельно заданій площині.

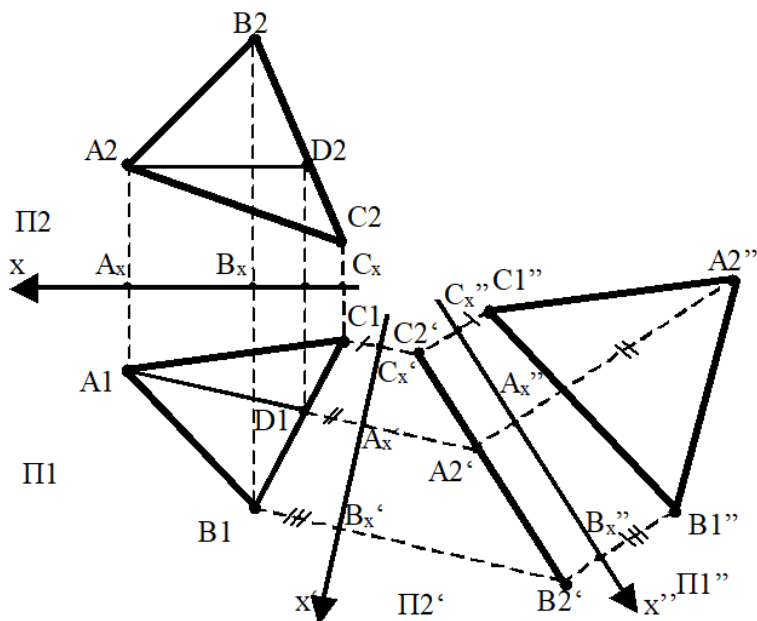


Рисунок 3.4 – Перетворення площини загального положення в площину рівня

Порядок побудови на кресленні.

1. У площині ABC провести горизонталь AD (A_2D_2 , A_1D_1).
2. Побудуємо нову систему проєктуючих площин $\Pi_2/\Pi_1 \rightarrow \Pi_2'/\Pi_1$, при цьому $\Pi_2' \perp A_1D_1$, $A_1B_1C_1$, Π_1 , для чого проводимо нову вісь $x' \perp A_1D_1$ і проводимо лінії зв'язку від точок A_1 , B_1 , $C_1 \perp$ до осі x' .
3. Знаходимо A_2' , B_2' , C_2' , відкладаючи на лініях зв'язку відрізки, рівні A_2A_x , B_2B_x , C_2C_x .
4. Будуємо нову систему проєктуючих площин $\Pi_2'/\Pi_1 \rightarrow \Pi_2''/\Pi_1''$, при цьому Π_1'' паралельна ABC і перпендикулярна Π_2' , для чого будуємо нову вісь x'' паралельно A_2' , B_2' , C_2' .
5. Знаходимо на площині проєкцій Π_1'' проєкцію $A_1''B_1''C_1''$, яка конгруентна самому трикутнику ABC , для чого відкладаємо на лініях зв'язку, проведених від точок A_2' , B_2' , $C_2' \perp x''$ відрізки $A_x''A_1''$, $B_x''B_1''$, $C_x''C_1''$ рівні відповідно відрізкам A_1A_x , B_1B_x , C_1C_x .

3.2 Розв'язання метричних задач

3.2.1 Вимірювання відстаней

1. Відстань від однієї точки до іншої вимірюється довжиною відрізка прямої, що з'єднує ці точки. Отже, необхідно застосувати перше перетворення кресленика (рис. 3.1).

2. Відстань від точки до прямої вимірюється відрізком перпендикуляра, проведеного від точки до прямої. Якщо пряма буде проєктуючою, то відрізок перпендикуляра проєктуватиметься без спотворень на площину проєкцій, перпендикулярну до прямої. Отже, необхідно застосувати друге перетворення кресленика (рис. 3.5).

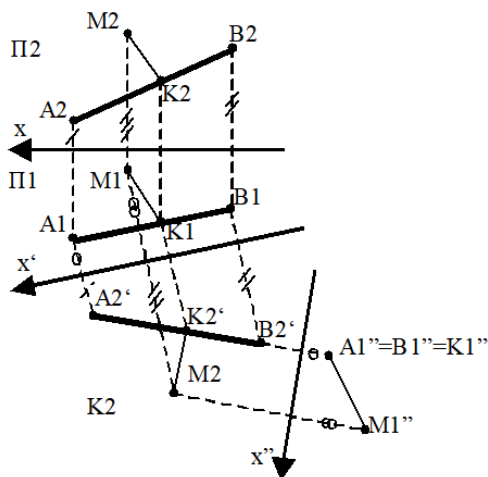


Рисунок 3.5 – Вимірювання відстані від точки до прямої

3. Відстань від точки до площини вимірюється відрізком перпендикуляра, проведеного з точки до площини. Якщо площина є проєктуючою, то відрізок перпендикуляра проєктуватиметься без спотворень на площину проєкцій, перпендикулярну до заданої площині. Отже, необхідно застосувати розв'язання третьої вихідної задачі перетворення кресленика (рис. 3.6).

4. Відстань від точки до поверхні визначається як відстань від точки до найближчої твірної поверхні. Для вирішення цієї задачі необхідно знайти згадану твірну, а потім відстань до неї.

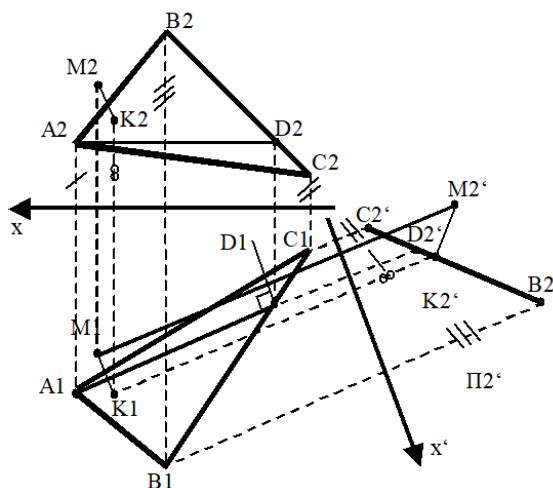


Рисунок 3.6 – Вимірювання відстані від точки до площини

5. Відстань від однієї прямої до іншої прямої (паралельної або перехресної) вимірюється відрізком перпендикуляра між ними. Для вирішення цієї задачі необхідно одну з прямих (або обидві, в разі якщо вони паралельні) перетворити в положення проєктуючої (друге перетворення кресленика) (рис. 3.7).

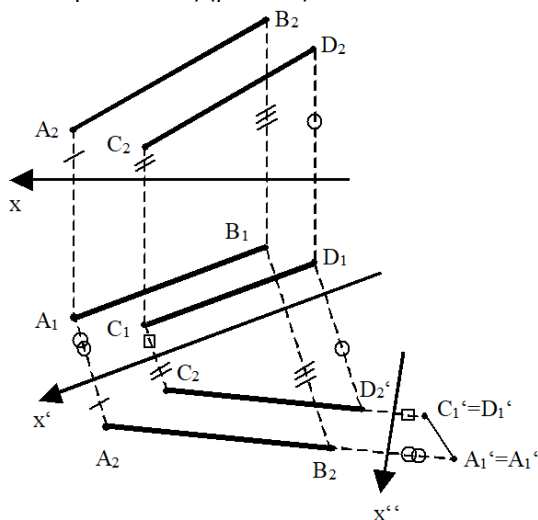


Рисунок 3.7 – Вимірювання відстані між двома паралельними прямими

6. *Відстань від прямої до площини (паралельної прямій)* також вимірюється відрізком перпендикуляра. Довжина перпендикуляра визначається після перетворення площини в положення проєктуючої (третя задача перетворення кресленика) (рис. 3.8).

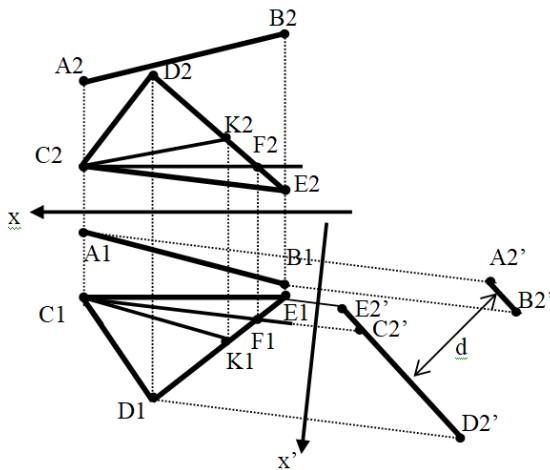


Рисунок 3.8 – Відстань від прямої до площини

7. *Відстань між паралельними площинами* вимірюється відрізком перпендикуляра між ними. Необхідно, щоб площини були проєктуючими. Отже, необхідно застосувати третє перетворення кресленика.

3.2.2 Вимірювання кутів нахилу

1. *Кут між прямими, які перетинаються.* Якщо площина, яка визначається цими прямими, займатиме положення площини рівня, то кут, який необхідно визначити, проєктуватиметься на паралельну площину без спотворень (четверта задача перетворення кресленика) (рис. 3.9).

2. *Кут між перехресними прямими.* З геометрії відомо, що цей кут вимірюється кутом між прямими, які перетинаються, паралельними заданим перехресним прямим, отже, отримуємо попередню задачу після проведення допоміжних прямих.

3. *Кут між прямою і площиною* може бути визначений або через додатковий кут (між прямою і перпендикуляром до заданої площини), або безпосередньо. У першому випадку розв'язання повторює попередню задачу. У другому – нову площину проєкції необхідно розташувати

паралельно заданій прямій і перпендикулярно заданій площині. Для цього треба застосувати розв'язання четвертої задачі, а потім першої задачі перетворення кресленика.

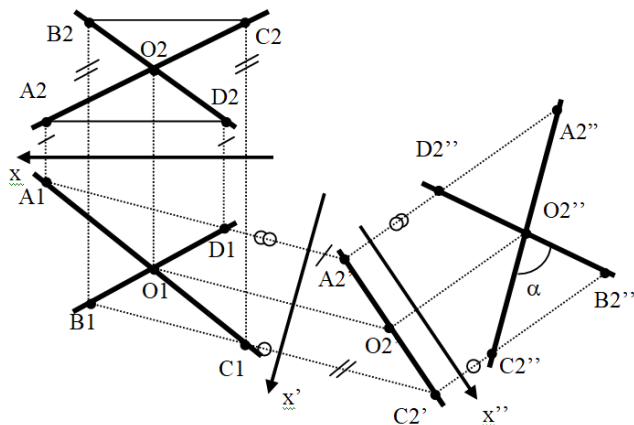


Рисунок 3.9 – Вимірювання кута між двома прямими, які перетинаються

4. *Кут між двома площинами* – двогранний кут вимірюється кутом, отриманим від перетину граней двогранного кута площиною, перпендикулярною до його ребра. Отже, нову площину проєкцій треба розташувати перпендикулярно до ребра кута, тобто застосувати розв'язання другої вихідної задачі перетворення кресленика.

3.2.3 Вимірювання величини частини геометричного образу

1. *Визначення довжини частини прямої*, тобто відрізка, здійснюється після застосування першої вихідної задачі перетворення кресленика.

2. *Визначення довжини частини лінії* здійснюється шляхом заміни кривої лінії на ламану і визначення її довжини як суми відрізків ламаної. Необхідно неодноразово застосувати розв'язання першої вихідної задачі перетворення кресленика для визначення довжини відрізків ламаної.

3. *Визначення величини частини площини (плоскої фігури)* здійснюється застосуванням четвертої задачі перетворення кресленика.

4. *Розмір частини поверхні (розгортку)* можна визначити, знайшовши довжину відповідних твірних і напрямних поверхні, тобто після неодноразового застосування розв'язання першої вихідної задачі перетворення кресленика.

3.3 Контрольні завдання

3.3.1. Визначити довжину відрізка АВ (табл. 1.1) методом перетворення кресленика та з використанням формули

$$|AB| = \sqrt{(A_x - B_x)^2 + (A_y - B_y)^2 + (A_z - B_z)^2}.$$

Порівняти отримані результати.

3.3.2. Визначити відстань між двома перехресними прямими АВ (табл. 1.1) і СЕ (табл. 2.1).

3.3.3. Визначити відстань між точкою D (табл. 2.1) і площиною ABC (табл. 1.1).

3.3.4. Визначити кут між двома перехресними прямими АВ (табл. 1.1) і СЕ (табл. 2.1).

3.4 Приклад виконання контрольного завдання

1. Визначимо довжину відрізка методом перетворення кресленика (рис. 3.10).

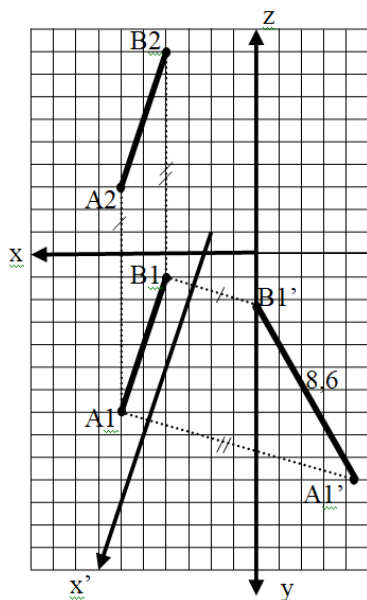


Рисунок 3.10 – Визначення довжини відрізка АВ

Для вирішення задачі скористаємося першим вихідним перетворенням кресленика. Для цього проводимо допоміжну вісь x' , паралельну горизонтальній проекції прямої АВ. Після чого від точок A_1 і B_1 проводимо лінії зв'язку, перпендикулярні осі x' . На побудованих лініях зв'язку відкладаємо відстані від осі x' , рівні відповідним відстаням від точок A_2 і B_2 до осі x , отримуючи проекції A_1' , B_1' в новій площині проекцій.

Відрізок $A_1'B_1'$ є прямою рівня щодо нової площини проекцій і тому конгруентній прямій АВ також. Довжина відрізка A_1' , B_1' , що вимірюється на кресленні, дорівнює 8,6 у. о.

Визначимо довжину відрізка за формулою

$$|AB| = \sqrt{(A_x - B_x)^2 + (A_y - B_y)^2 + (A_z - B_z)^2}.$$

Підставляючи у формулу відповідні координати точок А (6, 7, 3), В (4, 1, 9), отримуємо

$$|AB| = \sqrt{(6-4)^2 + (7-1)^2 + (3-9)^2} = \sqrt{4+36+36} = \sqrt{76} = 8,71.$$

Порівняння отриманих експериментального і теоретичного результатів показує їхній збіг з точністю, яка визначається точністю побудов.

2. Визначимо відстань між двома перехресними прямими АВ і СЕ (рис. 3.11).

Відстань між перехресними прямими вимірюється відрізком перпендикуляра між ними. Для вирішення цієї задачі необхідно одну з прямих (АВ) перетворити в положення проєктуючої (друге перетворення кресленика). Для здійснення другого перетворення необхідно спочатку здійснити перше перетворення (див. попередній приклад), а потім провести нову вісь x'' перпендикулярно прямій $A_2' B_2'$ і провести лінії зв'язку від точок A_2' , B_2' , C_2' , E_2' перпендикулярно осі x'' . На лініях зв'язку від осі x'' відкладемо відстані, рівні відстаням від точок A_1 , B_1 , C_1 , E_1 до осі x' , отримуючи точки A_1'' , B_1'' , C_1'' і E_1'' . Точки $A_1''=B_1''$ – конкуруючі, оскільки в результаті другого перетворення креслення пряма АВ є проєктуючою до отриманої площини проєкцій. Довжина перпендикуляра від точки $A_1''=B_1''$ до прямої $C_1''E_1''$ дорівнює шуканій відстані між АВ і СЕ.

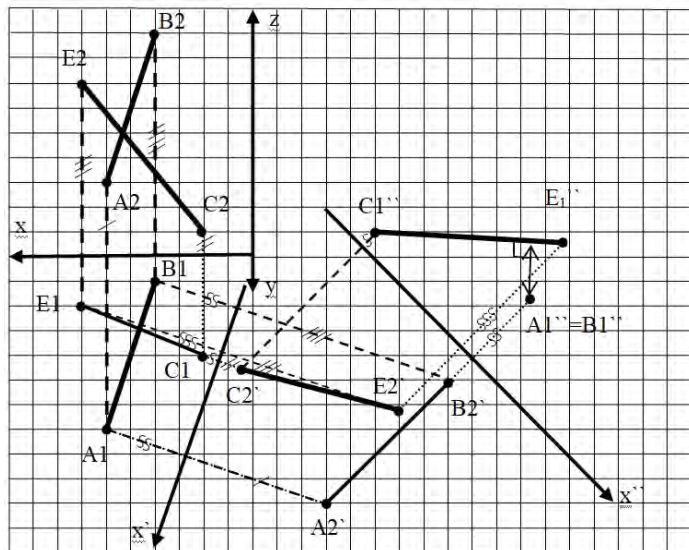


Рисунок 3.11 – Вимірювання відстані між перехресними прямими AB та CE

3. Визначимо відстань між точкою D і площиною ABC (рис. 3.12).

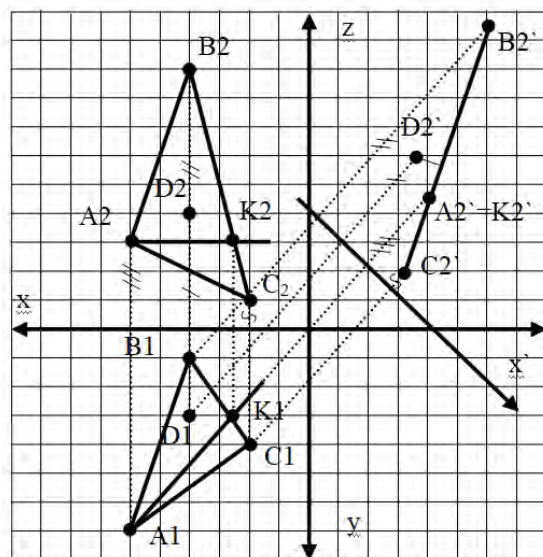


Рисунок 3.12 – Визначення відстані від точки D до площини ABC

Відстань від точки до площини вимірюється відрізком перпендикуляра, проведеного з точки до площини. Якщо площина є проєктуючою, то відрізок перпендикуляра проєктуватиметься без спотворень на площину проєкцій, перпендикулярну до заданої площини. Отже, необхідно застосувати розв'язання третьої вихідної задачі перетворення кресленика, яке здійснюємо наступним чином.

А). У площині ABC побудуємо горизонталь AK , для чого проведемо A_2K_2 паралельну осі x і знайдемо A_1K_1 .

Б) Побудуємо вісь x' перпендикулярну A_1K_1 і проводимо лінії зв'язку від точок A_1, B_1, C_1, D_1 перпендикулярні осі x' .

В) Знаходимо A_2', B_2', C_2', D_2' , відкладаючи на лініях зв'язку від осі x' відрізки, рівні $A_2A_x, B_2B_x, C_2C_x, D_2D_x$. Побудована площина ABC буде проєктуючою по відношенню до нової площини проєкцій.

Г) Опускаємо з точки D_2' перпендикуляр до прямої $B_2'C_2'$, довжина якого дорівнює шуканій відстані від точки D до площини ABC .

4. Визначимо кут між двома перехресними прямими AB і CE (рис. 3.13).

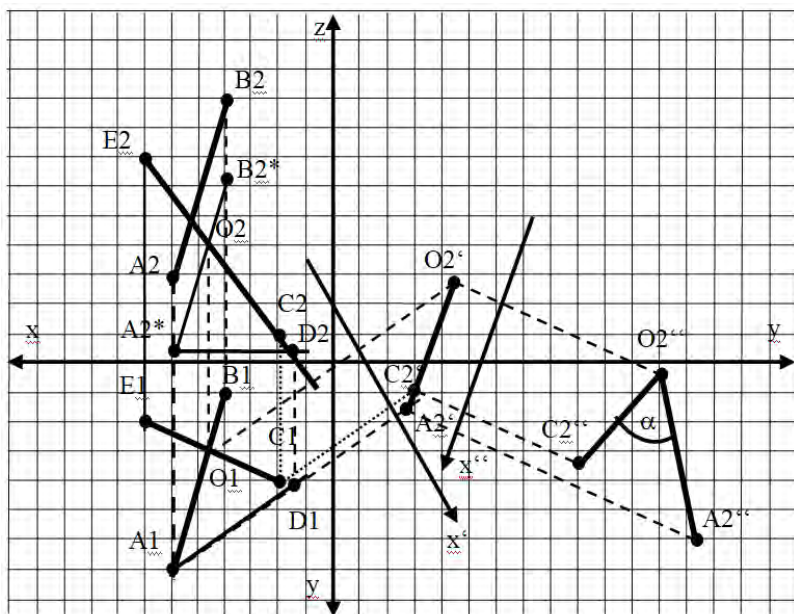


Рисунок 3.13 – Визначення кута між перехресними прямими AB та CE

З геометрії відомо, що цей кут вимірюється кутом між прямими, які перетинаються, паралельними заданим перекресним прямим. Тому спочатку проведемо додаткову пряму $A_2^*B_2^*$, паралельну A_2B_2 , точка перетину якої O_2 з прямою C_2E_2 лежить на одній лінії зв'язку з точкою O_1 , що є точкою перетину прямих A_1B_1 і C_1E_1 .

Утворені в результаті побудови перекресні прямі утворюють площину. Якщо ця площина займатиме положення площини рівня, то шуканий кут проєктуватиметься на паралельну площину без спотворень. Таким чином необхідно здійснити четверте перетворення кресленника.

Для вирішення цієї задачі необхідно провести спочатку третє перетворення креслення, яке виконується в такий спосіб.

А) Проводимо горизонталь AD (A_2D_2 , A_1D_1).

Б) Проводимо нову вісь $x' \perp A_1D_1$ і проводимо лінії зв'язку від точок A_1 , B_1 , $O_1 \perp$ осі x' .

В) Знаходимо A_2', B_2', O_2' , відкладаючи на лініях зв'язку від осі x' відрізки, рівні A_2A_x , B_2B_x , C_2C_x .

Отримана площина $A_2'O_2'C_2'$ є проєктуючою щодо нової площини проєкцій.

Для здійснення четвертого перетворення будуємо нову вісь x'' паралельно $A_2'O_2'C_2'$, а потім знаходимо проєкцію $A_1''O_1''C_1''$, яка конгруентна самому трикутнику AOC , для чого відкладаємо на лініях зв'язку, проведених від точок A_2' , O_2' , $C_2' \perp x''$ відрізки $A_x''A_1''$, $O_x''O_1''$, $C_x''C_1''$ рівні відповідно відріzkам A_1A_x , O_1O_x , C_1C_x . Кут між прямими $O_2''A_2''$ і $O_2''C_2''$ дорівнює шуканому куту між прямими AB і CE .

4 АКСОНОМЕТРИЧНІ ПРОЄКЦІЇ

Комплексний кресленик відповідає двом основним вимогам, що висуваються до креслеників: оборотності та простоті виконання. Недолік його – мала наочність. Для усунення цього недоліку комплексний кресленик доповнюють аксонометричним.

Аксонометричний кресленик – це кресленик, що складається з зображення на одній площині проєкції предмета і координатних осей, до яких він віднесений разом з натуральними масштабними відрізками по цих осях.

Суть аксонометричного проєкціювання полягає в тому, що предмет разом із системою, в якій він знаходиться, проєкціюється на вільно обрану площину аксонометричної проєкції. Візьмемо площину Π' і розташуємо її так, щоб вона перетинала осі x , y , z . На площину спроєкціюємо координатні осі, точку A та її проєкції (рис. 4.1).

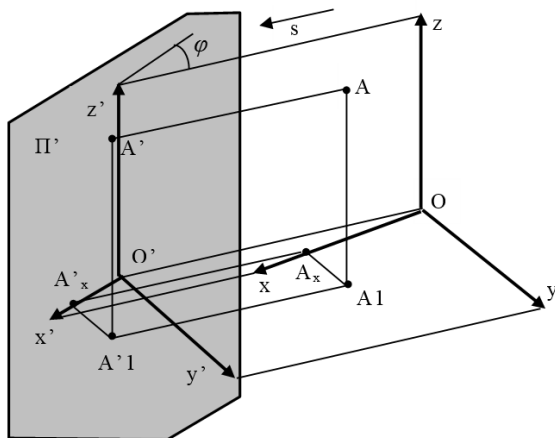


Рисунок 4.1 – Утворення аксонометричного креслення

Тут s – напрямок проєкціювання, xyz – натуральна система координат, $x'y'z'$ – аксонометрична система координат, A_1 – аксонометрична проєкція точки A (первинна проєкція), A_1' – аксонометрична вторинна проєкція точки A .

При утворенні аксонометричного кресленика координатні відрізки (відрізки вздовж координатних осей) проєкціюватимуться на площину аксонометричних проєкцій спотворення. Наприклад OA_x – в $O'A'_x$. Відношення аксонометричних координатних відрізків і їхніх натуральних величин називають *коефіцієнтом спотворення* і позначають:

$$\text{по осі } x: u = \frac{O'A'_x}{OA_x}; \text{ по осі } y: v = \frac{A'_1A'_x}{A_1A_x}; \text{ по осі } z: w = \frac{A'_1A'_1}{A_1A_1}.$$

Коефіцієнти спотворень знаходяться в певній залежності, так званої *основної формули аксонометрії*:

$$u^2 + v^2 + w^2 = 2 + \text{ctg}^2 \varphi, \quad (4.1)$$

де φ – кут між напрямком проєкціювання і площиною аксонометричних проєкцій.

Залежно від величини кожного з трьох коефіцієнтів спотворення аксонометричні проєкції поділяються на:

- *ізометричні* – всі коефіцієнти рівні між собою ($u = v = w$);
- *диметричні* – два коефіцієнти рівні та відрізняються від третього ($u = v \neq w$; $u = w \neq v$; $u \neq v = w$);
- *триметричні* – всі три коефіцієнти не рівні між собою ($u \neq v \neq w$).

Залежно від віддалення центру проєкціювання від площини аксонометричних проєкцій останні поділяють на *центральні* та *паралельні*.

Залежно від напрямку проєкціювання паралельні аксонометричні проєкції поділяють на *косокутні* (напрямок проєкціювання не перпендикулярний площині проєкцій) та *прямокутні* (напрямок проєкціювання перпендикулярний площині проєкцій). Для прямокутних аксонометричних проєкцій $\varphi = 90^\circ$ і $\text{ctg} \varphi = 0$, а основна формула має вигляд:

$$u^2 + v^2 + w^2 = 2. \quad (4.2)$$

В курсі інженерної графіки розглядають два види аксонометричних проєкцій: прямокутна ізометрична і прямокутна диметрична з коефіцієнтами спотворення $u = w = 2v$.

4.1 Прямокутна ізометрична проєкція

Прямокутна ізометрична проєкція (ПІП) (рис. 4.2) утворюється при прямокутному проєкціюванні предмета і пов'язаних з ним координатних

осей на площині аксонометричних проєкцій, однаково нахилenu до кожної координатної осі.

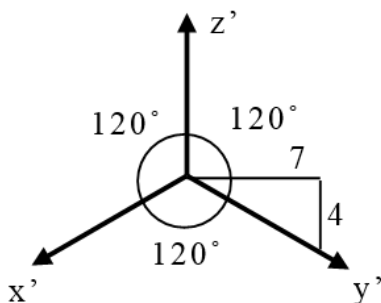


Рисунок 4.2 – Прямокутна ізометрична проєкція

При такому проєкціюванні всі три коефіцієнти спотворення будуть рівні між собою, як і кути нахилу координатних осей до площини. Тому $u = v = w$ та кути між аксонометричними осями дорівнюватимуть 120° (рис. 4.2).

Знаючи основну формулу аксонометрії (4.2), можна визначити коефіцієнти спотворень:

оскільки

$$u = v = w,$$

то

$$3u^2 = 2,$$

звідки

$$u = v = w = \sqrt{2/3} \approx 0,82.$$

Отже, при утворенні прямокутної ізометричної проєкції натуральні розміри вздовж координатних осей скорочуються в 0.82 рази. На практиці коефіцієнт спотворення приймають рівним 1, при цьому зображення предмета отримують збільшеним в 1.22 рази.

4.2 Прямокутна диметрична проєкція

Прямокутна диметрична проєкція (рис. 4.3) утворюється при прямокутному проєкціюванні предмета на площину аксонометричних проєкцій, однаково нахилenu до двох координатних осей. З основної формули аксонометрії (4.2) можна визначити коефіцієнти спотворень:

оскільки $u = w = 2v$, то

$$u^2 + (u/2)^2 + u^2 = 2,$$

звідки $u = \sqrt{8/9} \approx 0,94$,

тобто $u = w = 0,94$; $v = 0,47$.

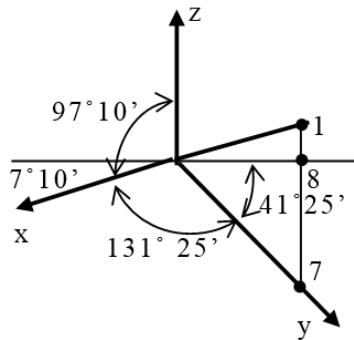


Рисунок 4.3 – Прямокутна диметрична проєкція

На практиці приймають $u = w = 1$, $v = 0,5$.

В цьому випадку зображення предмета збільшується в 1.06 рази.

4.3 Зображення геометричних фігур в аксонометричних проєкціях

Будь-яку геометричну фігуру можна розглядати як сукупність точок. Тому спочатку необхідно розглянути побудову зображення точки в аксонометричних проєкціях.

Як приклад виконаємо зображення точки $K(22, 10, 25)$ в прямокутній ізометричній проєкції (рис. 4.4). Проводимо осі прямокутної ізометричної проєкції, вказавши масштаб: $M^A 1,22:1$. Після цього відкладаємо точки $OK_x = 22\text{мм}$, K_xK_1 (паралельно y) = 10) мм, K_1K (паралельно z) = 25 мм.

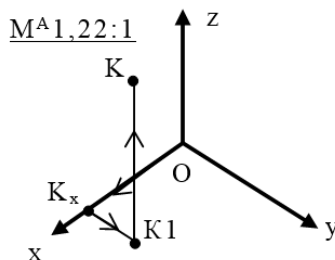


Рисунок 4.4 – Зображення точки в прямокутній ізометричній проєкції

Виконаємо зображення цієї ж точки в прямокутній диметричній проєкції (рис. 4.5). Для цього проводимо осі прямокутної диметричної проєкції, вказавши масштаб: $M^A 1,06:1$. Після цього відкладаємо точки $OK_x = 22$ мм, K_xK_1 (паралельно y) = 5) мм, K_1K (паралельно z) = 25 мм.

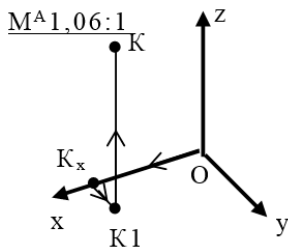


Рисунок 4.5 – Зображення точки в прямокутній диметричній проєкції

Будь-яку іншу геометричну фігуру можна зображувати в аксонометричній проєкції як сукупність точок, що її складають, при цьому точність побудови залежить від кількості заданих точок.

Приклад 1. Виконаємо зображення кола, заданого на комплексному кресленнику в прямокутній ізометричній проєкції. Задане коло розташоване в горизонтально-проєкціюючій площині (рис. 4.6). Позначимо на кресленнику проєкції ряду точок 1,2,3,4,5. Проведемо осі ізометричної проєкції. Знайдемо проєкції позначених точок у заданій аксонометричній системі координат $1', 2', 3', 4', 5'$. З'єднаємо плавною кривою отримані точки.

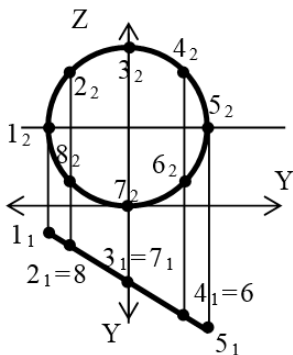


Рисунок 4.6 – Побудова аксонометричних проєкцій кіл

Для наочного уявлення розташування і величини еліпсів, в які проєкціюються кола, останні вписані в межі куба (рис. 4.7). Коло, вписане

в грань куба, дотикається його ребер в їхній середині. В аксонометричних проєкціях точки дотику також знаходитимуться в середині ребер. Крім цих точок можна вказати ще чотири. Для прямокутної ізометрії величина більшого діаметра еліпса дорівнює $1.22 \cdot d$, а малого діаметра – $0.7 \cdot d$, де d – діаметр кола. В прямокутній диметрії більший діаметр еліпсу дорівнює $1.06 \cdot d$, а малий – $0.35 \cdot d$.

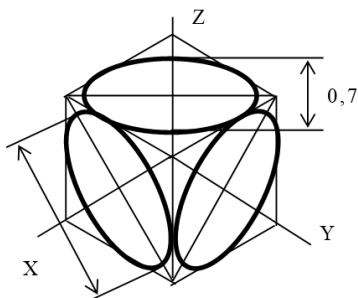


Рисунок 4.7 – Побудова аксонометричних проєкцій кіл

Приклад 2. Виконаємо зображення поверхні похилого конуса в прямокутній диметричній проєкції. Конус заданий вершиною $S(10, 50, 44)$, центром основи $T(34, 30, 0)$ і діаметром кола основи $d = 28$ мм. Коло основи належить площині XOY . Проведемо осі диметричної проєкції. Використовуючи задані координати, знаходимо положення точок T та S . Для побудови кола будуюмо велику і малу осі еліпсу з урахуванням $l_1 = d \cdot 1.06 = 28 \cdot 1.06 = 29.7$, $l_2 = d \cdot 0.35 = 28 \cdot 0.35 = 9.8$.

З'єднаємо точку S дотичними до еліпса (рис. 4.8).

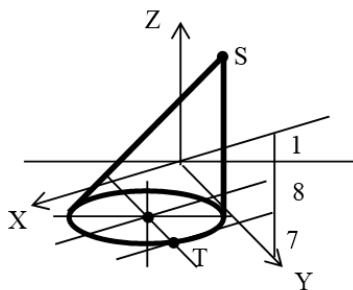


Рисунок 4.8 – Побудова поверхні похилого конуса в прямокутній диметричній проєкції

4.4 Контрольні запитання та завдання

1. Що таке аксонометричний кресленик?
2. В чому полягає суть аксонометричного проєкціювання?
3. Що називають коефіцієнтом спотворення?
4. Запишіть основну формулу аксонометрії.
5. В чому полягає суть ізометричної проєкції?
6. В чому полягає суть диметричної проєкції?
7. В чому полягає суть триметричної проєкції?
8. Наведіть приклад зображення точки в прямокутній ізометричній проєкції.
9. Наведіть приклад зображення кола в прямокутній ізометричній проєкції.
10. Наведіть приклад зображення поверхні похилого конуса в прямокутній диметричній проєкції.

4.5 Контрольне завдання

Зобразіть в ізометричній і диметричній прямокутних проєкціях трикутник ABC, координати вершин якого наведені на рис. 4.9.

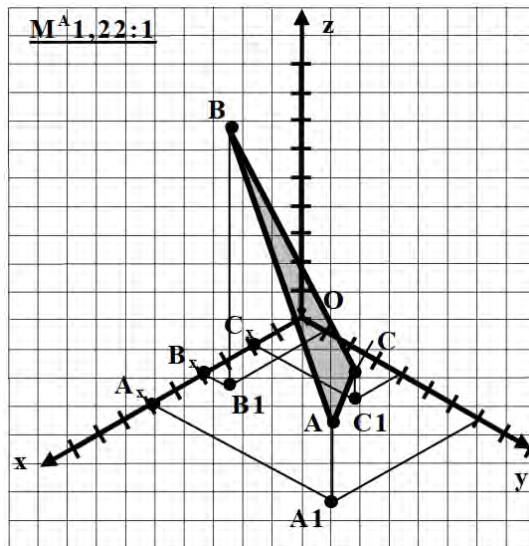


Рисунок 4.9 – Ізометрична прямокутна проєкція трикутника ABC

4.6 Приклад виконання контрольного завдання

4.6.1. Зобразимо в ізометричній прямокутній проєкції трикутник, вершини якого задані координатами точок А (6, 7, 3), В (4, 1, 9), С (2, 4, 1) (рис. 4.9).

Проведемо осі ізометричної проєкції і позначаємо масштаб аксонометричного зображення $M^A_{1,22:1}$. Знайдемо проєкції точок АВС в ізометричній системі координат. З'єднаємо прямими отримані точки.

4.6.2. Зобразимо в диметричній прямокутній проєкції трикутник, вершини якого задані координатами точок А, В, С.

Проведемо осі диметричної проєкції (рис. 4.10) і позначаємо масштаб аксонометричного зображення $M^A_{1,06:1}$.

Знайдемо проєкції точок АВС у диметричній системі координат. З'єднаємо прямими отримані точки.

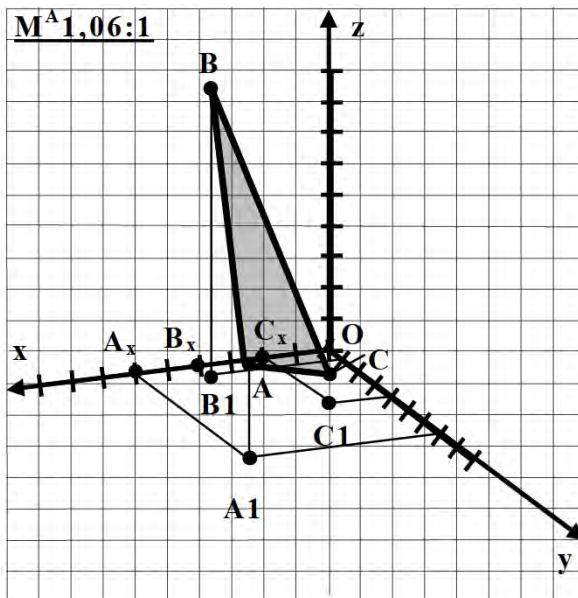


Рисунок 4.10 – Диметрична прямокутна проєкція трикутника АВС

5 ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ В АВТОМАТИЗОВАНОМУ ПРОЄКТУВАННІ

Машинна (комп'ютерна) графіка – це створення, збереження і обробка геометричних моделей об'єктів за допомогою ЕОМ.

Процес створення графічного зображення за допомогою ЕОМ складається з трьох етапів:

- 1) перетворення інформації про геометричний об'єкт з графічної в машинну (створення цифрової моделі геометричного об'єкта);
- 2) редагування графічної інформації (обробка інформації в машинній формі з метою підготовки зображення до відтворення);
- 3) перетворення відредагованого зображення геометричного об'єкта з машинної в графічну форму, його вивід на екран, принтер або плоттер.

Реалізація перерахованих етапів здійснюється за допомогою графічних систем (ГС).

Розрізняють пасивні та інтерактивні графічні системи. З точки зору програмного забезпечення пасивні ГС включають в себе:

- 1) прикладну структуру даних, що містить опис об'єктів, зображення яких має з'явитися на екрані;
- 2) прикладну програму, яка описує дво- і тривимірну геометрію об'єкта, що підлягає виводу на екран;
- 3) графічний пакет, що забезпечує програмну підтримку обміну інформацією з пристроями вводу-виводу і захищає користувача від знання архітектури та команд графічних пристроїв виведення інформації.

Інтерактивні ГС – це комплекс програмних і апаратних засобів, що забезпечують користувачеві зручне спілкування з ЕОМ у режимі діалогу при вирішенні прикладних задач побудови зображень. Інтерактивні ГС дозволяють вирішувати завдання в діалозі користувач – ЕОМ, забезпечують інтерфейс мовою користувача і дозволяють редагувати вихідні дані з екрану.

На відміну від пасивної ГС замість пристрою виводу графічної інформації, інтерактивна ГС містить графічний термінал, який складається з графічного дисплея, маніпулятора і графічного планшета.

Цей принцип зараз найбільш повно реалізується в мобільних пристроях (смартфонах, планшетах тощо). Протягом останніх років спостерігається підвищене розповсюдження мобільних пристроїв по всьому світу. Збільшилась не тільки кількість користувачів мобільних пристроїв, але й посилилась взаємодія споживачів з їхніми мобільними пристроями у різних повсякденних справах, будь-то перегляд відео, покупки або просто доступ до Інтернету. Сучасні мобільні пристрої дозволяють робити будь-які операції з графічними зображеннями.

5.1 Побудова зображень в комп'ютерній графіці

5.1.1 Основні підходи і принципи

Існують два підходи до конструювання на основі комп'ютерних технологій.

Перший підхід базується на двовимірній геометричній моделі і використанні комп'ютера як електронної дошки для креслення, що дозволяє значно прискорити процес конструювання і поліпшити якість оформлення конструкторської документації.

В основі *другого підходу* лежить *просторова геометрична модель виробу*, яка є більш наочним способом подання оригіналу і більш потужним і зручним інструментом вирішення геометричних задач. Кресленик у цьому випадку є відображенням просторової моделі, відіграє допоміжну роль і є необхідним лише на етапі виробництва.

Реалізація першого підходу заснована на наступних принципах.

1. Як завгодно складні зображення на площині можна побудувати за допомогою фіксованого набору найпростіших геометричних фігур – графічних примітивів (ГП), що характеризуються геометричними і негеометричними атрибутами.

2. Підвищення ефективності проектування досягається об'єднанням примітивів у блоки (сукупність примітивів, пов'язаних єдиним ідентифікатором, наприклад, позначення радіоелементів при створенні радіосхем, топографічні позначення в картографії тощо), які об'єднуються в стандартні вузли, уніфіковані конструкції, готові фрагменти кресленика, архіви зображень.

3. Наявність електронної пам'яті комп'ютера дозволяє проводити копіювання та клонування примітивів і вузлів на їхній основі, що істотно скорочує терміни проектування. Клонований об'єкт змінює свої властивості аналогічно зміні властивостей об'єкта-оригіналу.

4. Електронний кресленник будується з *шарів*, що нагадують накладені один на одний шари прозорої кальки. Шари використовуються для прискорення створення кресленника, тому в кожному з них зображуються примітиви однакового функціонального призначення (розміри, осі і т. д.), що мають однакові атрибути (колір, товщина і тип ліній), що задаються в описі шару. Крім того, використання шарів дозволяє легко вирішувати завдання на перетин об'єктів, а також здійснювати вибір різних варіантів побудови виробів (включенням і виключенням шару).

5. Побудова і редагування кресленника здійснюється *засобами перетворення* геометричних (шляхом повороту, перенесення, масштабування, віддзеркалення) і негеометричних (зміна кольору, видимості, типу лінії) атрибутів складових його примітивів.

6. Із загального кресленника графічного об'єкта можна "вирізати" окремі області (вузли, деталі). Ця операція проводиться на основі використання математичних *алгоритмів відсікання*.

7. Геометричні атрибути примітивів, а також їхнє взаємне положення задаються абсолютними і відносними координатами, а також методами *крокової і об'єктної прив'язки*.

Відмінні принципи формування просторових геометричних моделей полягають в наступному.

1. Просторові моделі можуть задаватися трьома способами:

- каркасна (дротова) модель, що описується координатами вершин і ребрами, що їх з'єднують;
- полігональна (поверхнева) модель формується за допомогою плоских і об'ємних поверхонь;
- об'ємна (твердотільна) модель формується з об'ємних примітивів (базисних тіл).

Як об'ємні примітиви застосовуються примітиви типу ящик, клин, конус, циліндр, куля, тор.

2. Твердотільні примітиви створюються шляхом обертання або видавлювання двовимірного об'єкта.

3. Формування об'ємних моделей здійснюється використанням логічних операцій об'єднання, віднімання, перетину.

4. Об'ємна модель дозволяє легко будувати графічні зображення (види, розрізи, перерізи) і розраховувати масоінерційні характеристики виробу.

5.1.2 Алгоритм побудови зображення

Цей алгоритм складається з таких блоків:

1) опис об'єкта за допомогою графічних примітивів у світових координатах, зберігання інформації в структурі даних (перетворення графічної інформації в машинну);

2) виділення вікна на зображенні, що підлягає виводу на екран (в світових координатах);

3) відсікання вмісту вікна, утворення графічного файлу, що складається з примітивів, які потрапили у вікно (в світових координатах);

4) перетворення світових координат у нормалізовані;

5) геометричні перетворення і модифікація об'єкта, до яких належать перенесення, поворот, масштабування відносно початку системи координат;

6) побудова приладо-незалежного опису об'єкта за допомогою оператора стандартного формату, призначення поля виводу на видовій поверхні (координати приладу);

7) формування дисплейної програми для конкретного пристрою виводу (драйвер пристрою вводу-виводу), що забезпечує побудову зображення;

8) реалізація програми для виведення вмісту вікна на видову поверхню екрану (перетворення машинної інформації в графічну).

В ході опису тривимірного об'єкта цей алгоритм необхідно доповнити такими етапами:

- задання точки огляду предмета;
- задання виду проєкціювання: паралельне або центральне;
- виконання перетворення проєкціювання;
- видалення прихованих ліній і поверхонь;
- моделювання кольору і тіней для отримання реалістичного зображення.

Ці етапи вводяться між етапами 1 і 2, описаними вище.

5.2 Основні принципи створення примітивів

Графічним примітивом у комп'ютерній графіці називається найменший неподільний об'єкт зображення (точка, відрізок прямої, коло, дуга тощо). Він характеризується геометричними і негеометричними атрибутами.

Геометричні атрибути – визначають метричні характеристики і положення примітиву в просторі в координатах користувача – метри, градуси тощо.

Негеометричні атрибути – визначають візуальні властивості примітивів і їхній статус по відношенню до різних операцій графічної системи.

Візуальні властивості:

- 1) видимість (так / ні);
- 2) яскравість (градації);
- 3) колір;
- 4) режим мерехтіння (так / ні);
- 5) вид лінії (суцільна, пунктирна, штрихова і т. д.).

Для реалізації примітивів у графічній системі є спеціальні апаратні або програмні блоки, що утворюють базове графічне забезпечення пристрою виводу. Алгоритмами створення примітивів є математичні вирази аналітичної геометрії.

5.2.1 Перетворення геометричних атрибутів графічних примітивів

Всі перетворення на площині можна виконати шляхом здійснення комбінації з елементарних перетворень: поворот, масштабування, відображення і перенесення.

Для трансформації точки M з координатами (x, y) в точку M^* з координатами (x^*, y^*) перераховані перетворення еквівалентні наступним математичним операціям.

1. *Поворот навколо деякої початкової точки на кут φ* (рис. 5.1) описується виразами

$$x^* = x \cos \varphi - y \sin \varphi;$$

$$y^* = x \sin \varphi + y \cos \varphi.$$

2. Масштабування вздовж координатних осей виражається формулами:

$$x^* = ax;$$

$$y^* = by,$$

де a і b – коефіцієнти стиснення (розтягування) по осях X і Y .

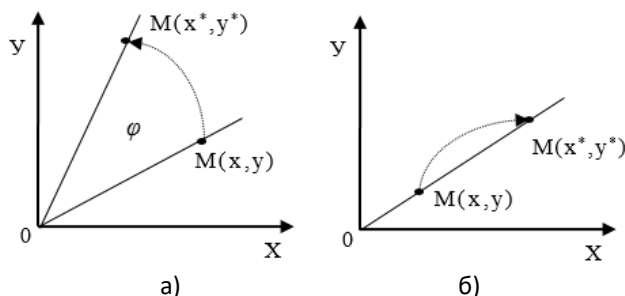


Рисунок 5.1 – Поворот на кут φ (а) і масштабування (б)

3. Віддзеркалення відносно координатної осі виражається в зміні знаку в координаті неоднойменної з найменуванням осі. Так, для віддзеркалення відносно осі X , маємо (рис. 5.2, а):

$$x^* = x;$$

$$y^* = -y.$$

4. Перенесення на вектор MM^* з координатами (k, l) полягає у виконанні співвідношень (рис. 5.2, б)

$$x^* = x + k;$$

$$y^* = y + l.$$

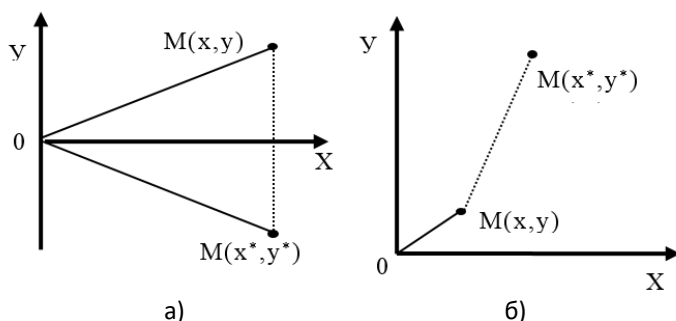


Рисунок 5.2 – Віддзеркалення (а) і перенесення (б)

Перераховані класичні перетворення мають наочний геометричний сенс і зручно описуються за допомогою матриць. Цей математичний апарат лежить в основі перетворень в комп'ютерній графіці.

5.2.2 Реалізація негеометричних атрибутів

Основним негеометричним атрибутом примітивів у комп'ютерній графіці є колір. В основі колірних стандартів лежать дві основні системи: система адитивних і субтрактивних кольорів.

Система адитивних кольорів RGB (система складання) працює з випромінюваним світлом. У системі використовують три основні кольори: червоний, зелений і синій (Red, Green, Blue). При складанні їх в різних пропорціях отримують всі інші колірні відтінки. Складання трьох основних кольорів з максимальною інтенсивністю дає чисто білий колір, а їхня відсутність – чорний колір. Ця система застосовується в моніторах комп'ютерів, телевізорів, на екранах мобільних пристроїв.

Система субтрактивних кольорів CMY (від англійського subtract – віднімати) реалізує зворотний процес: будь-який колір є відніманням інших кольорів із загального променя відбитого світла. Суть його в тому, що частина спектрального складу випромінювання під час проходження через речовину поглинається. Іншими словами – шар речовини поглинає певну частину випромінювання. Поліграфічні фарби (або тонери) мають властивість поглинати випромінювання однієї з трьох зон спектра та пропускати у двох інших. Пропускання у зоні поглинання має бути керованим. Засобом управління при субтрактивному синтезі є товщина шару фарби. З її зменшенням пропускання зростає і навпаки. Колір фарби є додатковим до кольору протилежного випромінювання. Жовта поглинає синє випромінювання, пурпурна – зелене, а блакитна – червоне.

У системі субтрактивних кольорів основними є блакитний, пурпуровий та жовтий кольори (CMY) – протилежні червоному, зеленому та синьому.

У цій системі білий колір з'являється внаслідок відсутності всіх кольорів, тоді як їхня присутність дає чорний колір. Система субтрактивних кольорів працює із відбитим світлом, наприклад, від аркуша паперу. Білий папір відбиває всі кольори, пофарбований – деякі поглинає, інші відбиває. Оскільки друкарські фарби не повністю поглинають світло, то сума трьох

основних кольорів виглядає темно-коричневою. Тому для коригування кольорів і отримання істинно чорного кольору додають чорну фарбу.

Системи кольорів, засновані на принципі чотириколірного друку, позначають аббревіатурою CMYK (K – від black).

Існують і інші системи кодування кольору – HSB, HSL, Luv, Lab. В основі цих моделей, розроблених різними фірмами, лежать різні набори математичних формул. Так, наприклад, модель HSB відтворює кольори способом, близьким до сприйняття кольору людським оком. У ній будь-який колір описується трьома параметрами – тоном (Hue), насиченістю (Saturation) і яскравістю (Brightness).

Тон є конкретним відтінком кольору, відмінний від інших. Він відповідає довжині хвилі світла.

Насиченість характеризує відносну інтенсивність кольору і відповідає амплітуді світла. Зі зменшенням насиченості колір стає більш блідим.

Яскравість визначається кількістю світла, що відбивається від даного кольору.

Недоліком цієї системи є необхідність перетворення її в адитивну і субтрактивну при виведенні зображення відповідно на монітор і принтер.

Система HSL (L – Light, освітленість) практично еквівалентна HSB.

Найбільше використовується в даний час система Lab. Це апаратно – незалежна система, вона відображає колір без спотворень незалежно від властивостей конкретного пристрою і відтворює колір способом, близьким до принципу сприйняття кольору людським оком. Діапазон відтінків, які можна створити за допомогою цієї моделі перекриває колірні діапазони моделей RGB і CMYK. Ця система також використовується для визначення кольору в засобах вимірювання кольору (спектрофотометрах).

Перераховані системи працюють з усім спектром кольорів, що має кілька мільйонів можливих відтінків. Користувачеві найчастіше достатньо кілька сотень кольорів. У цьому випадку використовують *індексовані палітри*, що містять фіксований набір кольорів – 16, 64 або 256 (4, 6 або 8 біт). Їхнє використання економить ресурси пам'яті комп'ютера (для систем RGB і CMYK необхідно відповідно 24 і 32 біта пам'яті).

5.3 Способи представлення графічних зображень

Існують два способи представлення графічних зображень: *растровий* і *векторний*. Їм відповідають растровий і векторний формати графічних файлів. Растрові формати добре підходять для зображення зі складними кольоровими гаммами, відтінків і форм (фотографії, малюнки, відскановані дані) і застосовуються в художній графіці, цифровій фотографії. Векторні формати застосовуються для створення і обробки креслень і зображень з простими формами, тінями, забарвленнями і застосовуються в системах автоматизованого проектування, картографії тощо.

5.3.1 Растрова графіка

Растр, або *растровий масив* (bitmap) є сукупністю окремих неподільних елементів зображення – пікселів (pixel), розташованих на сітчастому полі. Растрове зображення об'єкта при сильному збільшенні нагадує японський кросворд. Кількість пікселів на одиницю довжини екрану називають роздільною здатністю і вимірюють в одиницях dpi (dot per inch – точок на дюйм). Роздільна здатність лазерного принтера – не нижче 300 dpi. Піксель може мати значення одиниця (включений) або нуль (вимкнений). Стан пікселів можна використовувати для побудови чорно-білого (так званого однобітового) зображення. Необхідність відтворення кольорових зображень, як уже було сказано вище, призводить до збільшення необхідних обсягів пам'яті на один піксель. У цьому полягає основний недолік растрової графіки. Прості растрові картинки (наприклад, екранні копії) займають до декількох сотень кілобайт. Високоякісні кольорові фотографії займають обсяг кілька десятків мегабайтів. Для вирішення проблеми обробки об'ємних графічних файлів використовують два основних способи:

- збільшення пам'яті і швидкодії комп'ютера;
- стиснення зображень.

Будь-яке зображення зберігається в комп'ютері у файлах спеціальних форматів. Використання різних форматів і дозволяє забезпечити стиснення інформації при зберіганні в пам'яті ЕОМ.

При виборі графічного формату необхідно керуватися такими характеристиками:

- 1) ефективність витрачання дискового простору;

- 2) підтримка кольорових зображень;
- 3) підтримка рухомих зображень;
- 4) спотворення зображень при стисненні.

Найбільш поширеними форматами растрових графічних файлів є TIFF, BMP, GIF, PNG, JPEG.

Формат BMP – один з перших графічних форматів, основний формат WINDOWS, легко читається будь-яким комп'ютером. Зображення в ньому не стискається, тому немає втрат в якості.

Формат TIFF (Tagget Image File Format) був розроблений на початку 80-х років фірмами Aldus і Microsoft як загальний формат для систем введення зображень зі сканерів і настільних видавничих систем. Володіє недостатньо гарним стисненням зображення, але зберігає максимальну інформацію про колір, тому часто використовується в поліграфії для підготовлених для друку зображень.

Формат GIF (Graphics Interchange Format) – відомий формат, який розроблений фірмою CompuServe в 1987 р. Для стиснення зображення використовує алгоритм LZW (Lempel-Ziv-Welch). У кольорових зображеннях зазвичай досягається стискання 3:1, а іноді і 5:1. Цей формат широко поширений в мережі Internet, але через малу кількість кольорів (8 біт), GIF все активніше замінюється JPEG, гранична глибина кольору в якому обмежена 24 бітами. Забезпечує стиснення без втрат. Важливою особливістю GIF є можливість одночасно містити кілька зображень – бібліотеку, тому його використовують для створення анімацій.

Формат PNG був розроблений для заміни GIF. Алгоритм компресії працює без втрат якості зображення. Забезпечує високий ступінь стиснення зображення, тому з огляду на невеликі розміри своїх файлів цей формат добре підходить для передачі по Internet. На відміну від GIF, формат PNG підтримує три типи графічних зображень: 8-бітове кольорове зображення, 16-бітна сіра шкала і 32 бітове True Color. Використовує п'ять способів запису на диск (фільтрів), які визначають розмір файла.

Формат JPEG отримав назву від назви групи, що його розробила – Joint Photographic Experts Group. Він був створений для стиснення True Color (повнокольорових) або Grayscale фотографій. Широко використовується в Web-дизайні. Він не підтримує двокольорові і рухомі зображення. Алгоритм стиснення працює з деякими втратами.

Для стиснення інформації в растровій графіці використовують декілька алгоритмів:

- групове стиснення;
- кодування методом Хаффмана;
- стиснення за схемою LZW;
- арифметичне стиснення та ін.

В основі схем стиснення лежить використання одного з властивостей графічних даних: *надмірність, передбачуваність, необов'язковість*. Надмірність використовується в алгоритмі групового стиснення, який полягає в тому, що серія повторюваних величин замінюється єдиною величиною та її кількістю (TIFF, PCX і т. д.).

5.3.2 Векторна графіка

Векторне представлення, на відміну від растрової графіки, описує зображення за допомогою примітивів (див. підрозділ 5.2) Для опису примітивів використовуються комбінації комп'ютерних команд і математичних формул. Це дозволяє різним пристроям комп'ютера, таким як монітор і принтер, під час малювання цих об'єктів обчислювати, де необхідно поміщати реальні точки.

Основною перевагою векторної графіки є мала пам'ять в ході опису об'єкта. Крім того, порівняно з растровою, векторна графіка має такі переваги:

- простота масштабування зображення без погіршення якості;
- незалежність обсягу пам'яті, необхідної для зберігання зображення, від обсягу пам'яті.

Недоліком векторної графіки є обмежена область застосування. Векторні зображення завжди можуть бути перетворені в растрові, що необхідно, в першу чергу, під час виведення векторної графіки на растровий дисплей. Цей процес називається конвертацією форматів. Необхідно зауважити, що не завжди растрові формати можуть бути конвертовані у векторні. Обробка та редагування векторних зображень виконується в спеціальних векторних графічних редакторах. До графічних редакторів можуть належати спеціальні утиліти, які дозволяють виконувати конвертацію растрових зображень у векторні – трасування (наприклад, CorelTrace в редакторі CorelDraw).

Для векторної графіки були розроблені формати DWG (AutoCad), CDR (CorelDrawing), WMF (Windows), EPS, AI.

Формат DWG використовується для збереження креслеників в автоматизованій системі проєктування – AutoCad.

EPS та *AI* є першими з форматів векторних файлів і стандартними типами графічних файлів, з якими працює Adobe Illustrator. Обидва формати підходять для створення векторної графіки, але EPS-файли також можна використовувати для отримання бітових зображень.

5.4 Виведення графічної інформації на екран

Для виведення графічної інформації в комп'ютерній графіці використовуються дисплейні системи. Графічний дисплей має вбудований дисплейний процесор, який реалізує дисплейну програму, в результаті роботи якої на екрані з'являється зображення геометричного об'єкта.

Дисплейна програма – це впорядкована послідовність команд дисплейного процесора і графічних даних, необхідних для виконання цих команд.

Під час розробки графічних дисплейних систем необхідно витримати принцип інваріантності програмного забезпечення до:

- технічних засобів вводу-виводу графічної інформації;
- предметної області (об'єкта зображення);
- мов програмування;
- систем координат.

Незалежність програмного забезпечення від об'єкта зображення і координатних систем, в яких він описаний, досягається перетворенням світових координат вікна на зображенні в апаратні координати через систему нормованих координат.

Нормованою називають координату, задану в проміжній, незалежній від пристрою системі координат і нормовану відносно деякого діапазону (зазвичай від 0 до 1).

Незалежність програмного забезпечення від об'єкта зображення досягається за рахунок введення принципу побудови зображення з графічних примітивів.

Формувати зображення на екрані можна двома способами:

- 1) шляхом довільного сканування;
- 2) шляхом растрового сканування.

У першому випадку говорять про векторний дисплей, у другому – про растровий (не плутати з векторною і растровою графікою). Довільне сканування здійснюється шляхом перенесення (відключення) електронного променя в початкову точку, включення променя і послідовне його зміщення вздовж контуру променя (рис. 5.3, а).

Растрове сканування називається телевізійним (рис. 5.3, б, в). У растровій системі зображення розбивається на горизонтальні рядки. Спочатку з'являються всі частини зображення, що знаходяться в першому рядку, потім – в другому і т. д. Один прохід зверху вниз формує кадр зображення. Телебачення зазвичай працює з растром, що містить 625 рядків, але растрові системи використовують 256, 512, 1024 і більше рядків, тому що чим більше рядків, тим краще якість зображення.

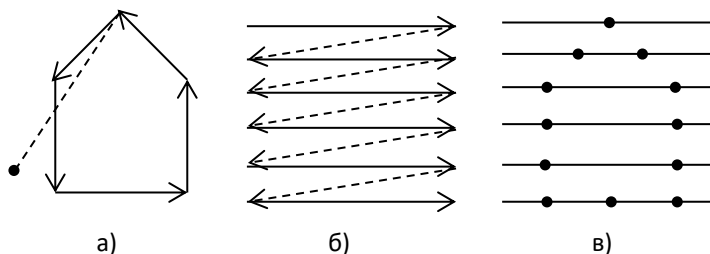


Рисунок 5.3 – Векторне а) і растрове б, в) сканування

5.5 Контрольні запитання та завдання

1. Чим займається комп'ютерна графіка?
2. Чим відрізняються інтерактивні графічні системи від пасивних?
3. Які два підходи до конструювання на основі комп'ютерних технологій існують? В чому їхні особливості?
4. Які принципи використовуються для конструювання двомірної геометричної моделі?
5. Назвіть основні принципи формування просторових геометричних моделей

6. Що таке графічні примітиви? Які вони бувають?
7. Назвіть елементарні перетворення геометричних атрибутів графічних примітивів. Як вони здійснюються?
8. Що таке система адитивних кольорів? Як формується колір у цій системі?
9. Що таке система субтрактивних кольорів? Як формується колір у цій системі?
10. Дайте визначення нормованих координат.
11. Назвіть основні растрові формати. Їх особливості.
12. Які векторні формати ви знаєте? Для чого вони використовуються?
13. Що таке довільне сканування? Де воно використовується?
14. Що таке растрове сканування? В яких пристроях воно використовується?

6 СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНСТРУЮВАННЯ AUTOCAD

У процесі проектування інженеру – конструктору необхідно працювати з великою кількістю довідкової інформації у вигляді архівів креслень, бібліотек з великою кількістю текстової документації. Використання обчислювальної техніки дозволяє різко підвищити ефективність зберігання, перетворення та виведення графічної інформації. Однією із програм автоматизованого проектування є AutoCAD. Назва цієї системи походить від укороченого англійського словосполучення Autodesk Computer Aided Drafting and Design, що в перекладі означає “Автоматизоване креслення та проектування за допомогою ЕОМ”.

6.1 Основні відомості

6.1.1 Призначення та основні функціональні особливості системи AutoCAD

AutoCAD – універсальний графічний пакет, створений американською компанією Autodesk, Inc., призначений для роботи з технічною або презентаційною графікою. Його основні особливості:

- дозволяє будувати креслення будь-якого розміру з точністю, обмеженою ЕОМ;
- має велику кількість примітивів;
- дозволяє будувати багат шарові креслення з необмежену кількість шарів;
- дозволяє створювати кресленики зі стандартних елементів, окремих блоків, створювати бібліотеку блоків,
- має можливість розширення: створення нових команд, модифікація меню, інтерфейсу користувача;
- орієнтована працювати під Windows і дозволяє передавати зображення додаткам Windows;
- дозволяє працювати із тривимірними зображеннями.

Компанія Autodesk – лідер у галузі розробки рішень для 3D-проектування, дизайну, графіки та анімації.

AutoCAD має безкоштовну пробну версію для ознайомлення з основним функціоналом. Підтримує 3D-САПР, 3D-друк, проектування об'єктів інфраструктури, промислове будівництво, ПЗ для студентів.

6.1.2 Запуск AutoCAD та його інтерфейс

Початок роботи

Запустити AutoCAD, як і будь-яке інше Windows-додаток, можна, вибравши відповідний пункт у розділі Програми або скориставшись ярликом, який AutoCAD після установки автоматично поміщає на робочий стіл.

Після запуску AutoCAD натисніть кнопку «Створити» на вкладці «Початок», щоб створити новий кресленик, або кнопку «Відкрити» для роботи з існуючим креслеником (рис. 6.1).

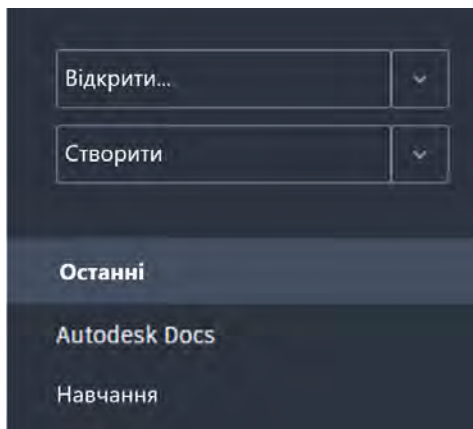


Рисунок 6.1 – Початок роботи в AutoCAD

Після запуску програми вам буде представлено простір Model (Модель), призначений для виконання всіх графічних побудов і редагування, а також ще два поки не підготовлених просторів аркуша, призначених для обробки документа перед друком (рис. 6.2).

Простір моделі не має кордонів, в той час як зона зображення визначається встановленими лімітами кресленика. За замовчуванням вони становитимуть 420 × 297 мм (формат A3).



Рисунок 6.2 – Вид простору моделі і зони побудови кресленника

Інтерфейс

Для успішної роботи з AutoCAD, необхідно спочатку ознайомимися з його інтерфейсом і вивчити основні прийоми роботи з цим додатком. Після запуску AutoCAD на екрані з'являється *головне вікно програми* (рис. 6.3), яке має такі елементи:

- *стрічка* – містить згруповані за типами вкладки із зібраними в них типовими командами AutoCAD: Home (Головна), Insert (Вставка), Annotate (Анотації), Parametric (Параметризація), View (Вид), Manage (Управління), Output (Вивід), Express Tools (Експрес-інструменти);
- *інструментальні групи* – кожна вкладка має набір інструментальних груп з набором піктограм, пов'язаних з виконанням певних команд AutoCAD;
- *панель швидкого доступу* – дозволяє викликати часто використовувані команди;
- *робоча область* – безмежна зона головного вікна, призначена для розробки креслень;
- *командний рядок* – вікно, що використовується для введення команд і виведення інформації про реакцію на них системи;
- *рядок стану* – рядок, що містить інформацію про координати перехрестя курсора, а також про стан режимів креслення;
- *швидкий пошук* – панель, що дозволяє знайти в довідці необхідну інформацію;
- *заголовок вікна* – відображає назву поточного креслення;

- *панель робочого простору* – містить в собі різні настройки з редагування робочого місця користувача, а також дозволяє налаштовувати масштаб і відображення робочої області;
- *інструмент "видовий куб"* – є зручним інструментом для управління орієнтацією видів.
- *знак ПСК* – показує осі ХУ прямокутної системи координат, яка називається користувальницькою системою координат (ПСК).

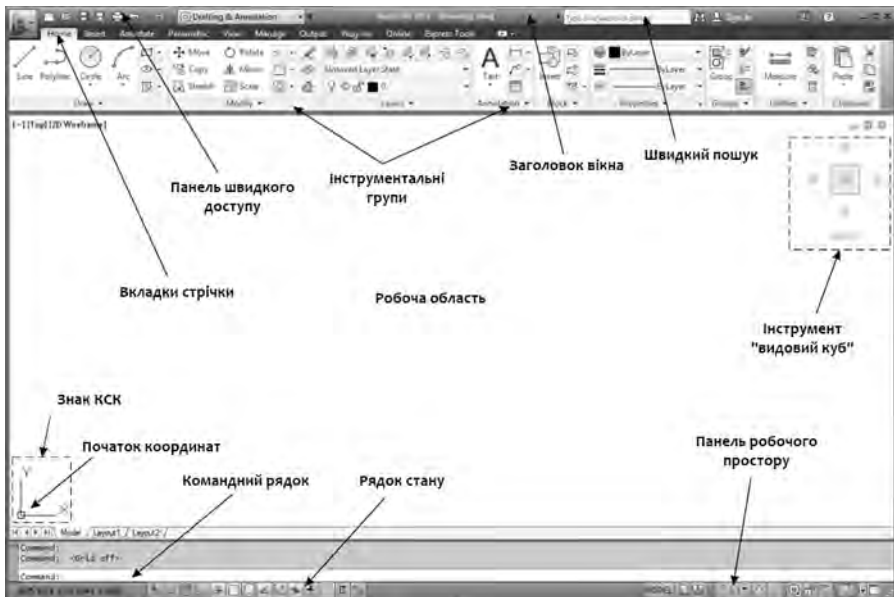


Рисунок 6.3 – Головне вікно AutoCAD і його елементи

Стрічка

Основну частину робочого простору займає графічний екран, на якому відображатимуться створювані об'єкти – робоча область або область кресленика (drawing area). На графічному екрані покажчик мишки набуває вигляду перехрестя.

У верхній частині вікна знаходиться стрічка з вкладками, на яку винесені всі основні інструменти і засоби AutoCAD. Вона замінила панелі інструментів, що використовувалися в попередніх версіях програми (рис. 6.4).

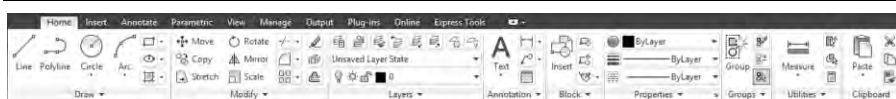


Рисунок 6.4 – Стрічка з вкладками

На стрічці розташовані вкладки, кожна з яких містить в собі набір інструментальних груп, а на них, у свою чергу, розташовані команди для створення і роботи з об'єктами. На стрічці присутні такі вкладки:

- *Home (Головна)* – на цій вкладці розташовані інструментальні групи, що дозволяють створювати прості об'єкти, змінювати поточні об'єкти на кресленику, виконувати операції з шарами, анотаціями та блоками, редагувати властивості ліній, а також представлений набір інструментів (вбудований калькулятор, швидке виділення і т. д.);

- *Insert (Вставка)* – ця вкладка дає можливість використовувати команди вставки блоків, зовнішніх посилань і об'єктів інших додатків;

- *Annotate (Анотації)* – містить засоби, необхідні для вставки тексту, таблиць і розмірів у кресленик;

- *Parametric (Параметризація)* – вкладка містить команди, призначені для створення параметричних об'єктів, вид яких визначається автоматично завданням певного параметра, наприклад, довжини або діаметра;

- *View (Вид)* – дає можливість використовувати команди управління екраном, панорамування, перемикання режимів простору аркуша і простору моделі, установки точки спостереження, видалення невидимих ліній, зафарбування, тонування, управління параметрами дисплея;

- *Manage (Управління)* – дозволяє управляти настройками призначеного для користувача інтерфейсу, а також редагувати і створювати макроси;

- *Output (Вивід)* – містить команди, необхідні для друку кресленика, а також експортування налаштувань;

- *Plug-ins (модулі)* – містить додаткові модулі, що виконують функції, не реалізовані в AutoCAD, наприклад, огляд і пошук мережних файлів, редагування тривимірних об'єктів тощо;

- *Online* – забезпечує доступ в Інтернет і коректну роботу з online-застосунками;

- *Express Tools (Експрес-інструменти)* містить команди виклику пакета Express Tools.

Стрічку легко налаштовувати: наприклад, її можна згорнути або закрити. Захоплюючи мишкою край панелей, їх можна легко реорганізувати або закрити (аналогічно панелям інструментів у старих версіях програми). Всі ці панелі можна редагувати, налаштовуючи тим самим призначений для користувача інтерфейс.

Щоб приховати стрічку, необхідно натиснути кнопку , яка знаходиться праворуч від назв вкладок стрічки. Для розкриття стрічки необхідно повторно натиснути ту ж кнопку.

Меню застосунку

Над стрічкою в лівому верхньому кутку екрану AutoCAD розташована кнопка , яка відкриває меню програми (рис. 6.5). За допомогою даного меню можна виконувати різні операції з креслениками, файлами й аркушами.



Рисунок 6.5 – Меню застосунку (Application menu)

У меню застосунку доступні такі підменю:

- *New (Новий)* – дозволяє створювати нові аркуші в кресленику, а також нові кресленики;

- *Open (Відкрити)* – дозволяє відкрити збережені файли креслеників, аркуші та налаштування;
- *Save (Зберегти)* – зберігає поточний кресленик у стандартному форматі AutoCAD .dwg;
- *Save As (Зберегти як)* – дозволяє зберегти поточний кресленик в інших форматах (.dwg, .dwt, .dws, .dwx), передбачених в AutoCAD;
- *Export (Експорт)* – експортує кресленик в інший формат (наприклад: .eps, bmp, .pdf);
- *Publish (Публікація)* – служить для публікації пакета креслеників у багатоаркушевому форматі;
- *Print (Друк)* – дозволяє друкувати кресленик, змінювати налаштування друку, принтера, а також налаштування аркуша кресленика;
- *Drawing Utilities (Утиліти для креслення)* – дозволяє редагувати настройки креслення, змінювати одиниці вимірювання та інші параметри;
- *Close (Закрити)* – закриває поточний кресленик або всі відкриті кресленики.

У правій верхній частині меню міститься поле швидкого пошуку, що дозволяє шукати необхідні команди в даному меню (для цього треба ввести в це поле потрібну команду).

У правій нижній частині меню знаходяться кнопки *Options (Налаштування)* і *Exit AutoCAD (Вийти з AutoCAD)*. Вони дозволяють відповідно змінити налаштування і вийти з програми.

Робоча область

Як уже зазначалося, робоча область головного вікна AutoCAD, на відміну від багатьох інших застосунків, безмежна, що дозволяє виконувати кресленики об'єктів у реальних масштабах (наприклад, план міста).

Внизу графічного екрану розташовані ярлики вкладок *Model (Модель)*, *Layout1 (Аркуш1)*, *Layout2 (Аркуш2)* (рис. 6.6). Вони використовуються для перемикання між просторами моделі і аркуша. Трикутні кнопки зліва від вкладок дозволяють пересуватися по вкладках в обох напрямках. Праворуч від ярликів вкладок розташована горизонтальна лінійка прокрутки для графічного екрану. За замовчуванням активною завжди є вкладка *Model (Модель)*.

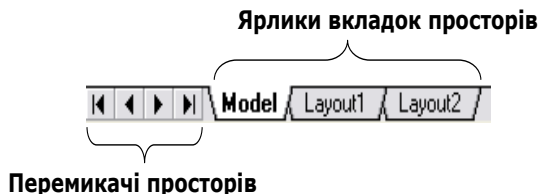


Рисунок 6.6 – Рядок ярликів вкладок документа

Основним інструментом розробки креслеників, нерозривно пов'язаним з графічною областю, є перехрестя курсора (рис. 6.7) з «прицілом» (а) або без нього (б). Перехрестя призначене для позначення координат точок на кресленику за допомогою мишки, а «приціл» – для вибору об'єктів на запит команд редагування.



Рисунок 6.7 – Перехрестя з «прицілом» (а) та без «прицілу» (б)

Перехрестя курсору автоматично змінюється на перехрестя з «прицілом» при запиті системи вибору об'єктів у командах редагування. Зворотний процес відбувається, якщо система запитує координати точки.

Вікно команд

Нижня частина екрану, де розташоване запрошення системи у формі *Command*, становить область, за допомогою якої в основному відбувається діалог користувача з системою. Тут відображаються команди і відповіді (або питання) AutoCAD, які вводяться користувачем. Останній рядок вікна команд, що містить запрошення *Command*, називається *командним рядком* (або рядком підказки).

Вікно команд, як і панелі інструментів, можна вивести в будь-яке місце екрану, представивши його у вигляді плаваючого вікна (рис. 6.8). Крім того, зафіксувати положення вікна команд можна не тільки в нижній частині екрану, як це робиться за замовчуванням, але і у верхній частині екрану – нижче панелі меню.

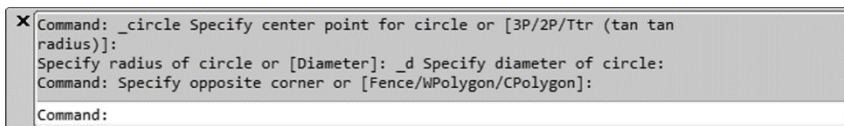


Рисунок 6.8 – Вікно команд

Рядок стану

У нижній частині вікна під командним вікном розташована *рядок стану (status bar)* з набором кнопок для управління відображенням кресленика (рис. 6.9).

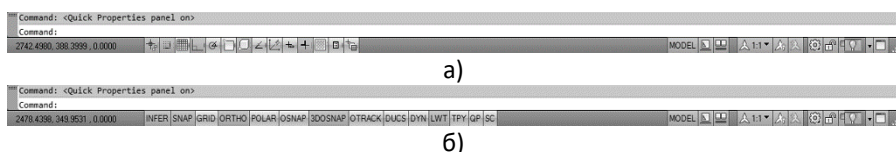


Рисунок 6.9 – Вікно команд

Рядок стану дозволяє:

- відображати поточні координати покажчика перехрестя (мишки);
- перемикати режими роботи AutoCAD за допомогою кнопок-індикаторів.

В AutoCAD кнопки-індикатори можуть відображатися в режимі значків (встановлено за замовчуванням), як показано на рис. 6.9, а, і в текстовому режимі, як показано на рис. 6.9, б.

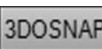
Для перемикання між режимами необхідно натиснути правою кнопкою миші на будь-який з кнопок-індикаторів і в контекстному меню вибрати відповідний пункт.

Кнопки-індикатори подано в таблиці 6.1.

Розташовані в рядку стану кнопки режимів креслення свідчать про активність режиму, якщо вони натиснуті, і навпаки – відтиснутий стан кнопок означає пасивність відповідного режиму. Включити або виключити який-небудь режим можна мишкою, а також за допомогою функціональних клавіш.

Лічильник координат служить для орієнтування на полі кресленика – він змінює своє значення під час руху курсору мишки по графічному екрану. Лічильник може бути відключений, якщо натиснути на ньому праву кнопку мишки і вибрати в контекстному меню команду *Off (Вимкнути)*. Аналогічно дією лічильник можна знову включити.

Таблиця 6.1 – Режими індикації

Піктограма	Текстовий режим	Назва	Опис	Клавіша
1	2	3	4	5
		Snap Mode (Крокова прив'язка)	увімкнення режиму крокової прив'язки	F9
		Grid Display (Сітка)	увімкнення сітки	F7
		Ortho Mode (Режим «орто»)	включення ортогонального (перпендикулярного) режиму	F8
		Infer Constraints (Передбачувані залежності)	включення режиму, при якому автоматично накладаються залежності між об'єктом, що створюється або редагується, з одного боку і об'єктом або точками, пов'язаними з об'єктною прив'язкою – з іншого	Ctrl+Shift+I
		Object Snap (Об'єктна прив'язка)	увімкнення режиму об'єктної прив'язки	F3
		3D Object Snap (3D об'єктна прив'язка)	увімкнення режиму об'єктної прив'язки для тривимірних об'єктів	F4
		Polar Tracking (Полярне відстеження)	увімкнення режиму полярного відстеження	F10
		Object Snap Tracking (Об'єктне відстеження)	увімкнення режиму відстеження об'єктної прив'язки	F11
		Lineweight (Товщина лінії)	відображення ліній відповідно до товщини	
		Dynamic UCS (Динамічна ПСК)	увімкнення режиму динамічної ПСК, який використовується тільки при тривимірному моделюванні	F6
		Dynamic Input (Динамічний ввід)	увімкнення режиму динамічних підказок	F12

Продовження таблиці 6.1

1	2	3	4	5
		Show/Hide Transparency (Показати/приховати прозорість)	увімкнення режиму прозорості	
		Quick Properties (Швидкі властивості)	увімкнення відображення вікна швидких властивостей	Ctrl+Shift+P
		Selection Cycling (Циклічний вибір)	увімкнення режиму циклічного вибору з налаштованими параметрами	Ctrl+W

Контекстні меню

Ще одним елементом інтерфейсу в AutoCAD є система *контекстних меню*. У загальному випадку контекстне меню – це спеціалізоване вікно з набором команд, призначених для роботи з активним об'єктом. Викликається контекстне меню клацанням правою кнопкою мишки по об'єкту і з'являється поруч з перехрестям курсора.

Склад команд контекстного меню залежить від оброблюваної в момент його виклику команди, а також від клавіші Shift (викликати контекстне меню можна, утримуючи клавішу Shift).

В AutoCAD застосовуються п'ять основних видів контекстних меню.

- *Контекстне меню режиму редагування* – відкривається відразу після вибору мишкою будь-якого об'єкта і наступного за цим клацання правою кнопкою мишки. Для деяких складних об'єктів (наприклад розмірних ліній) контекстне меню режиму редагування міститиме об'єктно-орієнтовані засоби управління об'єктами. Більшість контекстних меню мають в своєму арсеналі команду *Properties (Властивості)*. Наприклад меню, яке викликається для виділеного об'єкта креслення – лінії, кола, дуги та ін. Команда *Properties* призначена для виклику палітри властивостей обраного об'єкта, в якій можна змінити або переглянути параметри, що його характеризують. Такі як приналежність до шару, колір, тип лінії, стиль, а також його геометричні характеристики – довжина, діаметр, площа тощо.

- *Контекстне меню панелі, вікна або палітри* – відкривається після клацання правою кнопкою мишки по панелі, вікні або палітрі.

- *Контекстне меню командного режиму* – відкривається після клацання правою кнопкою мишки на робочій області в момент активності будь-якої команди. Таке контекстне меню містить параметри активної команди.
- *Службове контекстне меню* – відкривається після клацання правою кнопкою мишки в командному рядку. При цьому в розділі *Recent Commands (Останні команди)* можна побачити список з семи останніх виконаних команд.
- *Контекстне меню за замовчуванням* – відкривається відразу після клацання правою кнопкою мишки в довільній області креслення. При цьому об'єкти графічної області не повинні бути виділені і ніяка команда в цей момент не повинна бути активною.

Палітра властивостей

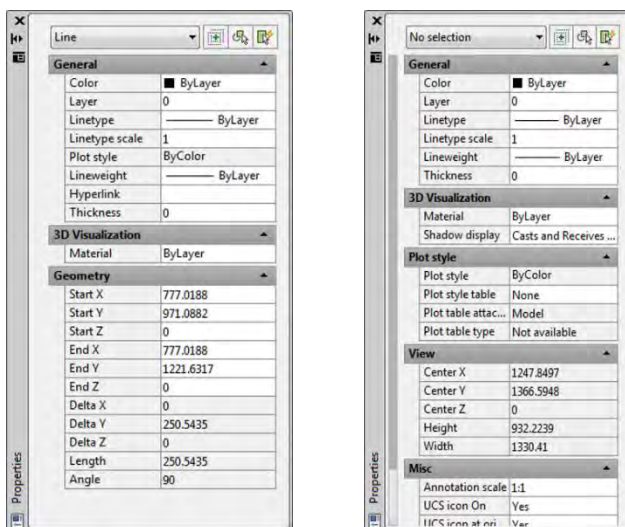
Важливим інструментом, призначеним для редагування властивостей об'єктів кресленика, є палітра *Properties (Властивості)*, наведена на рис. 6.8. Склад палітри залежить від особливостей виділеного об'єкта. Вона містить властивості, згруповані за такими категоріями:

- *General (Загальні)* – основні властивості об'єктів (колір, тип лінії, приналежність до шарів та ін.);
- *3D Visualization (3D Візуалізація)* – основні властивості відображення 3D-моделі (матеріал, блиск та ін.);
- *Geometry (Геометрія)* – геометричні властивості об'єктів (координати початкової і кінцевої точок, довжина елемента, координати центру, радіус, діаметр, площ, приріст координат між початковим і кінцевим пунктом та ін.);
- *Plot style (Стиль друку)* – властивості друку (стиль друку, простір друку);
- *View (Вид)* – основні властивості екранів;
- *Misc (Різне)* – настройка системи координат.

Викликати палітру властивостей можна зазначенням команди *Properties (Властивості)* контекстного меню вибраного об'єкта або за допомогою однойменної кнопки , розташованої в інструментальній

групі *Palettes (Палітри)* вкладки *View (Вид)*. Також можна скористатися поєднанням клавіш **Ctrl + 1**.

В будь-якому випадку, якщо існує необхідність редагування геометрії (рис. 6.10, а), в першу чергу потрібно виділити відповідний об'єкт, а тільки потім вводити команду. Інакше палітра властивостей міститиме категорії, загальні для всіх об'єктів кресленника (рис. 6.10, б).



а)

б)

Рисунок 6.10 – Палітра властивостей об'єкта

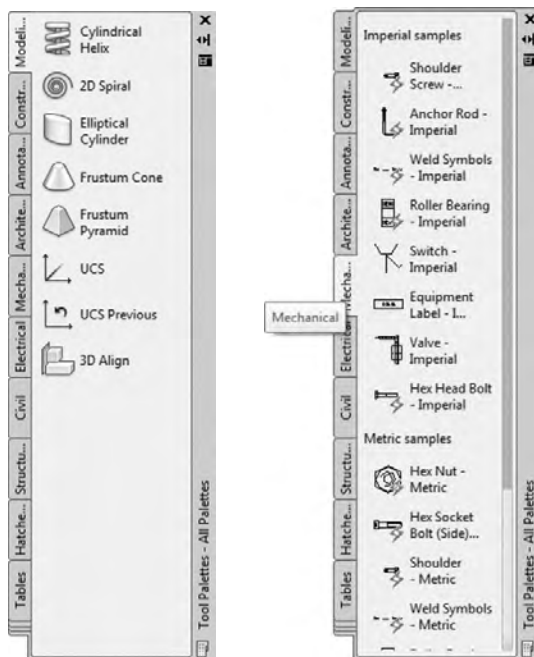
Будь-які зміни, внесені в осередку палітри властивостей, автоматично відбиваються на об'єктах документа, і навпаки – виділення будь-якого об'єкта супроводжується змінами в змісті палітри.

Якщо дозволяє робоча область (точніше – розміри екрану), можна перевести палітру властивостей у фіксоване стан. Для цього достатньо перетягнути її мишкою до лівої або правої межі екрану. Якщо розміри екрану не дозволяють, а працювати з палітрою доводиться постійно, можна зробити так, щоб в плаваючому стані під час своєї пасивності палітра тимчасово згорталася. Для цього достатньо включити режим **Auto-hide** (Автоматично

згорнути), клацнувши лівою кнопкою мишки по значку , розташованому поруч з найменуванням вікна (значок при цьому зміниться на ).

Палітри інструментів

Вікно *Tool Palettes* (Палітри інструментів), наведене на рис. 6.11, можна викликати командою *ToolPalettes* або за допомогою однойменної кнопки , розташованої в інструментальній групі *Palettes* (Палітри) вкладки *View* (Вид). Також можна натиснути клавіші **Ctrl + 3**.



а) б)
Рисунок 6.11 – Палітри інструментів

Всі палітри інструментів на вкладках об'єднані за функціональною ознакою.

Наприклад, на вкладці *Mechanical* (Механічні) розташовані інструменти для створення креслеників механізмів, на вкладці *Architectural*

(Архітектурні) представлені інструменти і шаблони для створення архітектурних планів та креслеників тощо.

Вікно *Tool Palettes* (Палітри інструментів) призначене для швидкого виклику і вставки таких елементів оформлення, як штрихування, блоки та заливки, шаблони яких зібрані на палітрах (трафаретах). Згодом можна створити свій трафарет і додати в нього особисті шаблони, необхідні для роботи.

Палітри інструментів вікна *Tool Palettes* можуть містити піктограми, які виконують попередньо задані команди; часто використовувані команди додаються в трафарети точно так само, як і на панелі інструментів.

6.2 Команди

Командою в AutoCAD позначається будь-яка дія користувача, яка призводить до певної реакції застосунку. Більшість команд можна викликати декількома способами. Деякі з цих способів є традиційними для багатьох графічних застосунків і засновані, наприклад, на використанні панелі меню, контекстних, діалогових меню або панелей інструментів. В останніх версіях AutoCAD ці традиційні способи «прижилися» досить вдало. Однак існують такі команди, які неможливо знайти ні в одному з цих елементів інтерфейсу. Крім того, деякі команди, які все-таки дублюються в них, легше виконувати засобами, традиційними саме для AutoCAD (тобто з командного рядка). Це підкріплюється наявністю у більшості команд власних параметрів, що вказують на особливості їхнього виконання.

Командний рядок, розташований в нижній частині екрана, де знаходиться запрошення у формі *Command*. У цю область користувачем вводяться команди, параметри команд, координати точок та інша інформація. Тут відображаються і відповіді, питання AutoCAD та інші повідомлення. Таким чином, через командний рядок програма веде діалог з користувачем мовою команд.

Можливо комбіноване використання засобів вводу даних у відповідь на запити системи AutoCAD – деяка частина даних вводиться безпосередньо в командах (наприклад, сама команда з уточнюючими параметрами), а інша (наприклад, координати) – вказується з використанням мишки, панелей інструментів або діалогових вікон. Так, наприклад, при активному режимі

DYN (Динамічне введення) параметри команд можна задавати в спеціальних полях, які прямують разом з перехрестям курсора. При цьому будь-яка дія користувача або програми відображається в командному рядку.

Якщо у відповідь на запит Command у командному рядку натиснути Enter або Пробіл, то AutoCAD повторить виклик попередньої команди. Перервати будь-яку команду, яка вже почала роботу, можна клавішею Esc.

Після набору команди на клавіатурі необхідно не забувати натискати клавішу Enter, оскільки вона є для системи сигналом до початку обробки команди. Поки клавіша Enter не була натиснута, набраний в командному рядку текст можна відредагувати, використовуючи комбінації клавіш, стандартні для будь-якого текстового редактора.

6.2.1 Текстове вікно команд

Записи командного рядка автоматично зберігаються в протоколі роботи з програмою; їх можна переглянути зі спеціального текстового вікна (рис. 6.12), яке викликається клавішею F2.

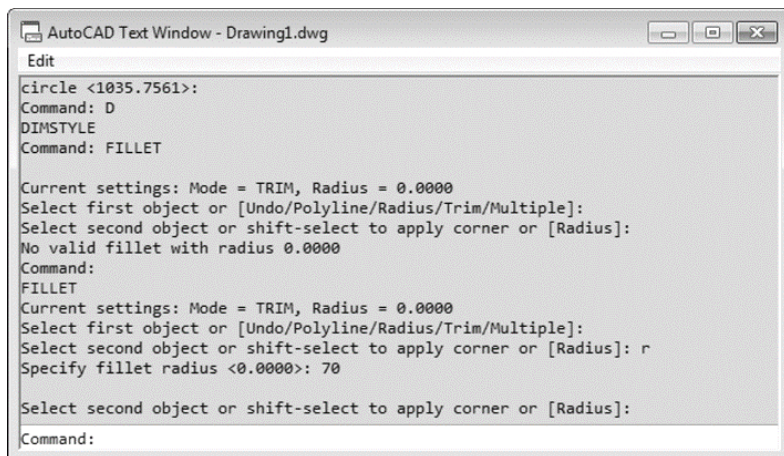


Рисунок 6. 12 – Текстове вікно протоколу команд

Переміщення по текстовому вікні здійснюється тими ж клавішами, що і по командному рядку.

6.2.2 Параметри команд

Більшість команд мають додаткові параметри або опції команди, що дозволяють змінювати поведінку команди на льоту, тобто під час її виконання, шляхом введення уточнюючої інформації.

Наприклад, окружність в AutoCAD може будуватися за різними характеристиками: по центру і радіусу, по центру і діаметру, по трьох точках, по дотичних тощо. Використовуючи відповідні параметри, можна направляти діалог з AutoCAD так, щоб виконати побудову об'єкта потрібним способом.

Можливі параметри команд виводяться в командному рядку зразу ж за назвою і відразу після введення команди. При цьому AutoCAD поміщає їх у квадратні дужки, а якщо параметрів кілька – розділяє косою рискою.

Розглянемо як приклад синтаксис команди Circle, яка має три параметри:

Command: Circle

Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]:

< Введення координат центру кола або вказівка одного з уточнюючих параметрів команди >

де 3P, 2P і Ttr (tan tan radius) – можливі параметри команди Circle.

Для того щоб продовжити працювати з командою Circle, необхідно ввести назву одного з можливих параметрів. Після цього буде запропоновано координати точок або іншого параметра.

Для вибору одного з параметрів активної команди немає необхідності набирати назву параметра цілком – достатньо ввести частину його назви, яка в командному рядку виділена великими літерами. Наприклад, для введення параметра Diameter достатньо ввести букву D, а для параметра BEgin – BE.

Важливо

В прикладах лістингів поміщатимуться в кутові дужки <...> пояснення до дії, яку необхідно виконати у відповідь на запит активної команди. Зрозуміло, що в командному рядку AutoCAD даної інформації не буде.

Приклад 1. Побудова кола з використанням координат центру і діаметру.

Необхідно побудувати окружність, задавши координати її центру (100, 200) і значення діаметра (40), застосувавши при цьому параметр D (Diameter) команди Circle.

Розглянемо порядок виконання завдання (лістинг 1).

1. Спочатку необхідно ввести в командний рядок назву команди (Circle) і натиснути Enter. Відразу після цього повідомлення пропонується на вибір кілька способів побудови кола. За замовчуванням (якщо виключити параметри) AutoCAD пропонує ввести координати центру кола.

2. Тепер необхідно призначити координати центру кола, для чого достатньо ввести в командний рядок 100,200 і натиснути Enter. Відразу після цього повідомлення пропонується на вибір два варіанти подальших побудов – введення радіусу (за замовчуванням) або діаметра (у вигляді параметра).

3. Далі необхідно ввести параметр D, натиснути Enter і коли AutoCAD «переключиться» на параметр, задати значення діаметра 40.

Лістинг 1.

< Побудова кола за координатами центру і діаметру>

Command: Circle

Specify center point for circle or

[3P/2P/Ttr (tan tan radius)]: 100,200

Specify radius of circle or [Diameter]: D

Specify diameter of circle: 40

Необхідно зазначити, що вводити параметри команд можна і за допомогою контекстних меню командного режиму. При цьому контекстне меню можна викликати тільки в тому випадку, якщо в рядку команд після назви команди в квадратних дужках представлений набір доступних параметрів. Іншими словами, контекстне меню викликається в разі активності будь-якої команди, і тільки за наявності у неї уточнюючих параметрів.

6.2.3 Відміна команд

Для успішної роботи необхідно розглянути прийоми, що дозволяють скасовувати і повторювати раніше виконані команди.

Спочатку опишемо прийоми скасування, які можна розділити на два види – відмова від виконання оброблюваної команди і відмова від вже виконаної команди. У першому випадку достатньо натиснути Esc, а в другому – скористатися однією з двох команд: U чи Undo.

Команда U дозволяє скасувати останню команду. Її можна викликати або шляхом введення в командний рядок, або традиційно – натиснувши на кнопку , розташовану на панелі швидкого доступу.

У свою чергу, команда Undo дозволяє скасувати відразу групу команд.

При виклику команди Undo в командному рядку з'являється така підказка:

Command: Undo

Enter the number of operations to undo or [Auto/Control/BEgin/End/Mark/Back] <1>: < Введення кількості відмінюють команди або вибір одного з можливих уточнюючих параметрів>

Параметри команди Undo такі:

- <1> – кількість команд, які відмінюються за замовчуванням;
- *Auto* – включення режиму, в якому група команд розглядається як одна команда, і одночасно відмінюється дія всієї групи. Якщо режим вимкнений (значення OFF), то кожна команда групи розглядається як окрема команда;
- *Control* – дозволяє задати кількість кроків, що відмінюються під час виконання команди Undo (параметр має свої власні, наведені нижче, опції);
- *BEgin i End* – використовуються для створення групи послідовних команд, що розглядається командами Undo або U як одна команда. Параметр BEgin вводиться для позначення початку групи, а параметр End встановлює кінець групи;
- *Mark* – дозволяє створити мітку, яка відзначає поточну команду і використовується для скасування дії всіх наступних команд;
- *Back* – дає можливість скасувати дію всіх команд, введених після мітки Mark.

При зверненні до команди Undo з параметром Control у командному рядку з'являється така підказка:

Command: Undo

Enter the number of operations to undo or [Auto/Control/BEgin/End/Mark/Back] <1>: C

Enter an UNDO control option [All/None/One] <All>: <Вибір одного з можливих уточнюючих параметрів>

Параметри команди такі:

- *All* – параметр, який дозволяє скасувати дію всіх виконаних раніше команд;
- *None* – параметр, який блокує дію команд Undo або U, а також блокує створення групи команд за допомогою параметрів BEgin і End або Mark і Back;
- *One* – параметр, який обмежує кількість дій, що відміняються однією командою (анулювати дію попередніх команд скасування при цьому неможливо).

Приклад 2. Створення та скасування групи команд

У завданні необхідно сформувати групу команд, призначену для побудови кола і її радіусу, а потім скасувати результат побудови однією командою.

1. Розглянемо методику виконання завдання (лістинг 2).
2. Для початку запису команд в одну групу необхідно ввести команду Undo і на уточнююче запитання вибору параметра вказати опцію BE.
3. Потім необхідно ввести в командний рядок назву команди Circle і на перше питання системи вказати координати центру кола (150,200), після чого один раз натиснути Enter.
4. У відповідь на наступне питання системи необхідно призначити радіус кола – для цього достатньо ввести його значення (20) і натиснути Enter.
5. Для продовження досить перейти до побудови відрізка – для цього в першу чергу необхідно ввести команду Line.
6. У відповідь на перше питання системи після введення команди Line потрібно вказати координати точки початку лінії (150,200), а на другий – точки її кінця (270,200).

7. Для завершення запису команд в одну групу необхідно ввести команду Undo і у відповідь на уточнююче запитання вибору параметра вказати опцію E.

8. Для скасування створеної групи команд (побудова кола і лінії її радіусу) досить ввести U або один раз натиснути кнопку , розташовану на панелі швидкого доступу.

Лістинг 1

< Створення та видалення групи команд>

Command: Undo

Enter the number of operations to undo or [Auto/Control/ Begin/ End/Mark/Back] <1>: BE

Command: Circle

Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]: 150, 200

Specify radius of circle or [Diameter]: 20

Command: Line

Specify first point: 150,200

Specify next point or [Undo]: 270,200

Command: Undo

Enter the number of operations to undo or [Auto/Control/ Begin/ End/Mark/Back] <1>: E

Command: U

GROUP

Для повторення виконаних дій, які були скасовані командами U або *Undo*, використовується команда *Redo*. Застосовується вона тільки для останньої скасованої команди, тому вводити її треба відразу після скасування команди. В результаті віддалені об'єкти знову з'являться на екрані. Даною команді відповідає кнопка , розташована на панелі інструментів *Standard (Стандартна)*.

Окремим випадком команди *Redo* є команда *Oops*, що застосовується тільки до останньої виконаної команді *Erase*, яка видаляє виділені об'єкти креслення. Якщо об'єкти були видалені і після цього введені інші команди, то команда *Oops* все одно їх відновить.

6.3 Прості об'єкти AutoCAD

Об'єктами AutoCAD називаються графічні фігури, створені командами редагування. Існують прості і складні об'єкти.

Прості об'єкти умовно можна розділити на:

- відрізки і смуги;
- промені (безмежні лінії);
- точки (вузли);
- кола та дуги (частини кола);
- сплайни (згладжені криві);
- еліпси та еліптичні дуги (частини еліпса);
- кільця;
- однорядкові текстові елементи;
- прямокутники і багатокутники.
- відрізки

6.3.1 Відрізок, смуги та промені

Відрізок – це один з найпростіших типів об'єктів, визначається декількома параметрами: координатами початку і кінця, товщиною (вагою) і стилем викреслювання. Для побудови відрізків використовується команда

Line або кнопка  *Line (Відрізок)*, розташована в інструментальній групі *Draw (Малювання)* вкладки *Home (Головна)*. Відрізки можуть бути поодинокими або об'єднуватися в ламані лінії, кожен сегмент яких є самостійним об'єктом. Приклади відрізків наведені на рис. 6.13.

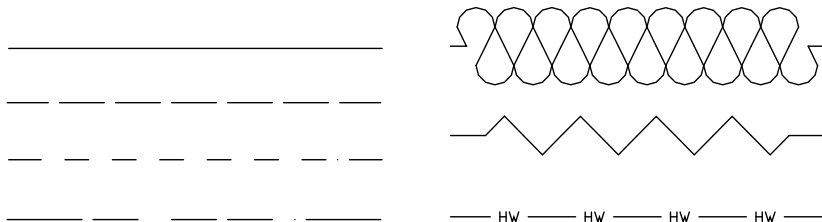


Рисунок 6. 13 – Приклади відрізків

Смуга в AutoCAD будується командою *Trace* і відрізняється від відрізка тим, що для неї точно задається товщина (відразу після виконання команди). Крім того, кожен сегмент смуги має чотири вершини, за допомогою яких смугу можна редагувати.

Наступний об'єкт, який є різновидом лінії, – це **промінь**. У променя в AutoCAD прагнути в нескінченність може один або два кінця. Крім того, промені, на відміну від відрізків або смуг, не можна робити ламаними. Для побудови променів використовуються команди *Xline* або *Ray*. Залежно від того, один або два кінця променя необхідно направити в нескінченність, використовується та чи інша команда.

Команда *Xline* будує промінь, який йде в нескінченність в обох напрямках і проходить через координати двох точок. У свою чергу, команда *Ray* будує промінь, що виходить з першої точки і йде в нескінченність через другу точку. В інструментальній групі *Draw* (Малювання) вкладки

Home (Головна) є кнопка  *Construction Line* (Промінь), що є аналогом команди *Xline*. Зазначимо, що промені, так само як і відрізки, можуть мати різну товщину і стиль.

6.3.2 Точки

Точки використовуються в основному як вузли під час роботи з об'єктною прив'язкою. Разом з тим точка може виступати і як самостійний об'єкт, і як допоміжний засіб. Оскільки існує безліч команд і прийомів, які не можуть використовуватися без точок.

Об'єктна прив'язка – це режим креслення з точним позиціонуванням перехрестя мишки, при якому знову вводяться точки «магнітяться» до характерних точок раніше створених об'єктів.

Точки характеризуються декількома параметрами: координатами вставки, розміром і різновидом (стилем). Останній дозволяє подати точку в різних форматах (рис. 6.14).

Для побудови точок використовується команда *Point* або кнопка  *Point* (Вузол) в інструментальній групі *Draw* (Малювання) вкладки *Home* (Головна).

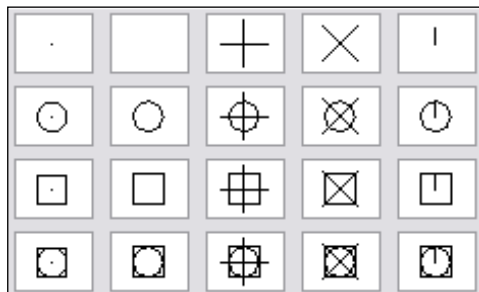


Рисунок 6.14 – Стилі точок

6.3.3 Кола та дуги

Як відомо, до характеристик **кола** належить центр (точніше, координати центру), а також її діаметр або радіус. Для креслення цієї фігури AutoCAD використовує п'ять способів побудови. Можна побудувати окружність за координатами її центру і радіусу (або діаметру), за двома або трьома точками, а також за двома дотичними і радіусу.

Для побудови кіл призначена команда *Circle*. або кнопка  *Circle* (Окружність), розташована в інструментальній групі *Draw* (Малювання) вкладки *Home* (Головна).

Щодо об'єкта «**дуга**», то він є частиною кола; і тому для креслення дуги необхідні як характеристики кола, так і власні параметри дуги. До власних характеристик дуги належать координати її початкової і кінцевої точки, довжина хорди і центральний кут (рис. 6.15), а до характеристик окружності – її центр і радіус (або діаметр).

Для побудови дуги використовується команда *Arc* або кнопка  *Arc* (Дуга), розташована в інструментальній групі *Draw* (Малювання) вкладки *Home* (Головна).

Починаючи з версії AutoCAD 2000, параметри команди *Arc* структуровані за рівнями виклику. Це означає, що послідовність введення параметрів залежить від обраного сценарію створення дуги.

Дуга в AutoCAD є своєрідним «рекордсменом» за кількістю способів побудови і має найбільший набір уточнюючих параметрів.

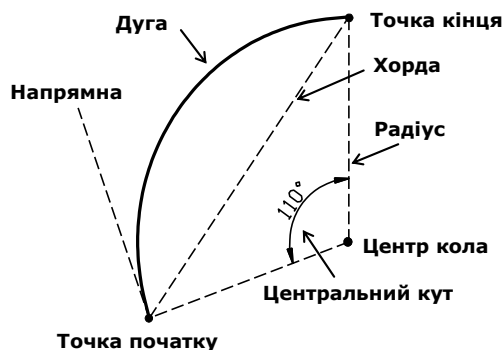


Рисунок 6.15 – Параметри дуги

6.3.4 Сплайни

У загальному випадку, **сплайн** – це згладжена крива, що проходить через задані користувачем точки. Бувають замкнуті і розімкнуті сплайни. Замкнені сплайни, на відміну від розімкнутих, мають спільну точку початку і кінця. Точки решт сплайна мають напрямні – допоміжні лінії, які виходять із цих точок і проведені у ставленні до кривої (рис. 6.16). Напрявні визначають кривизну сплайна в його початку та кінці.

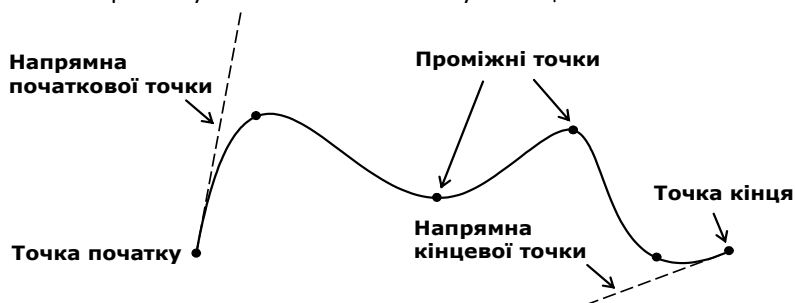


Рисунок 6.16 – Параметри розімкнутого сплайну

Для побудови сплайна використовується команда *Spline* або



кнопка *Spline (Сплайн)*, розташована в інструментальній групі *Draw (Малювання)* вкладки *Home (Головна)*. Під час обробки цієї команди AutoCAD спочатку запитує координати всіх точок і тільки потім становище дотичної – спочатку в початковій точці, а потім у кінцевій.

6.3.5 Еліпси та еліптичні дуги

Еліпс, на відміну від окружності, не має діаметру і будується за допомогою двох взаємно перпендикулярних осей, одна з яких більша за іншу (рис. 6.17). Якщо ці осі однакові, еліпс перетворюється в коло. Таким чином, до основних геометричних характеристик еліпса, які застосовує AutoCAD при його побудові, належать координати центру еліпса, а також розміри його великої і малої осей.

За замовчуванням у ході побудови еліпса AutoCAD використовує три точки – точки початку і кінця першої осі, а також точку, розташовану на одному з кінців другої осі (точка 1, точка 2, точка 3). У цьому випадку центр еліпса обчислюється автоматично, шляхом пошуку точки перетину малої і великої осей. Можна також побудувати еліпс по двох точках, спочатку задавши координати центру еліпса (центр еліпса, точка 1, точка 3). Таким способом зручно будувати еліпс, знаючи розміри його півосей (точка 1 – центр еліпса, точка 2 – центр еліпса) і координати центру.

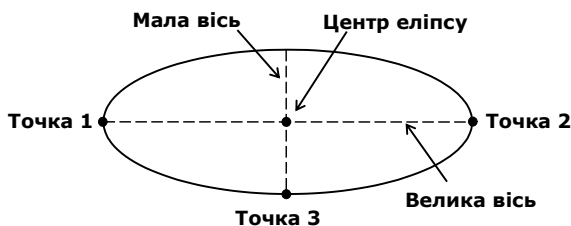


Рисунок 6.17 – Параметри еліпсу

Для побудови еліпса використовується команда *Ellipse* або



кнопка *Ellipse (Еліпс)*, розташована в інструментальній групі *Draw (Малювання)* вкладки *Home (Головна)*. Під час обробки цієї команди є можливість використовувати один з двох уточнюючих параметрів, перший з яких призначений для побудови еліптичної дуги, а другий – для визначення порядку побудови еліпса.

Еліптична дуга є частиною еліпса, утвореної відсіканням його сектора двома лініями, що виходять із центру еліпса. Кут між цими лініями називається центральним кутом еліптичної дуги (рис. 6.18). Оскільки еліптична дуга є фігурою, похідною від еліпса, в ході її побудови спочатку

необхідно накреслити еліпс і тільки після цього вказати характеристики дуги. Цими характеристиками, як видно на рис. 6.18, є точки початку і кінця дуги, а також її центральний кут.

Для побудови еліптичної дуги скористайтеся командою *Ellipse* з параметром *Arc* або кнопками  *Ellipse (Elinc)* та  *Ellipse Arc* (Еліптична дуга), розташованими в інструментальній групі *Draw* (Малювання) вкладки *Home* (Головна). Дії цих кнопок відрізняються тільки тим, що в першому випадку AutoCAD запропонує на вибір побудову еліпса або дуги (необхідно буде вибрати один з уточнюючих параметрів), а в другому – тільки еліптичної дуги.

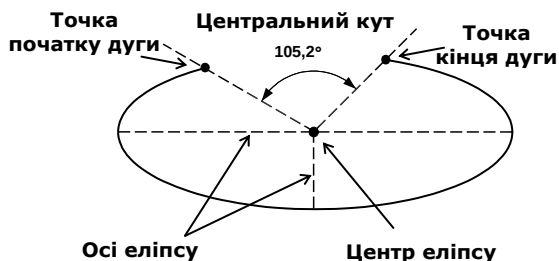


Рисунок 6.18 – Параметри еліптичної дуги

6.3.6 Кільця

Кільце має три характеристики: внутрішній і зовнішній діаметри кіл, а також координати центру кіл.

Для побудови кільця призначена команда *Donut* або кнопка  *Donut* (Кільце), розташована в інструментальній групі *Draw* (Малювання) вкладки *Home* (Головна). Команда побудови кільця відпрацьовується так, що спочатку на запит в командному рядку необхідно ввести внутрішній діаметр, а потім зовнішній. Після цього кільце «підвішується» за курсор (рис. 6.19, а), і залишається тільки застосувати його як шаблон, ввівши координати центру з клавіатури або вказавши їх клацанням лівої кнопки мишки в необхідній точці. Креслення можна повторювати до тих пір, доки на запит чергових координат центру не натиснути Esc для переривання роботи команди. На рис. 6.19, а показано перехрестя з шаблоном кільця і вже накресленого кільця (рис. 6.19, б).

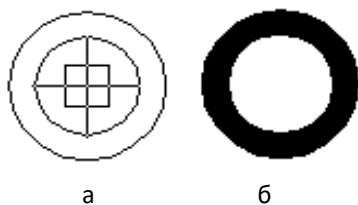


Рисунок 6.19 – Побудова кілець

6.3.7 Текст

До простих об'єктів AutoCAD можуть також належати об'єкти *однорядкового тексту* (*Single Line Text*). Це особливий вид тексту, специфічний для AutoCAD, що відрізняється тим, що кожен його рядок є окремим об'єктом. Як і будь-який інший об'єкт, після вставки однорядковий текст можна форматувати і редагувати.

Однорядковий текст характеризується координатами точки вставки, кутом повороту тексту, висотою і стилем (рис. 6.20).



Рисунок 6.20 – Параметри однорядкового тексту

За замовчуванням текст, що вводиться, малюється зліва направо від точки вставки, однак таке орієнтування завжди можна змінити, використовуючи спеціальні уточнюючі параметри вирівнювання. Крім того, за допомогою цих параметрів з'являється можливість вписати текст у задану область, керуючи висотою рядка або пропорціями символів.

Для побудови однорядкового тексту використовується команда *Text*.

6.3.8 Прямокутники та багатокутники

Останні два типи об'єктів, які можуть належати до простих, – це прямокутники і багатокутники. Що стосується побудови **прямокутника**, то після виконання команди *Rectang* (від *Rectangle* – прямокутник)

або натискання кнопки  *Rectangle* (Прямокутник), розташованої в інструментальній групі *Draw* (Малювання) вкладки *Home* (Головна), достатньо ввести в командний рядок або вказати мишкою в графічній зоні координати двох його протилежних вершин. Крім того, команда *Rectang* має кілька уточнюючих параметрів, що дозволяють створити прямокутник зі зрізаними фасками або округленими кутами (рис. 6.21).

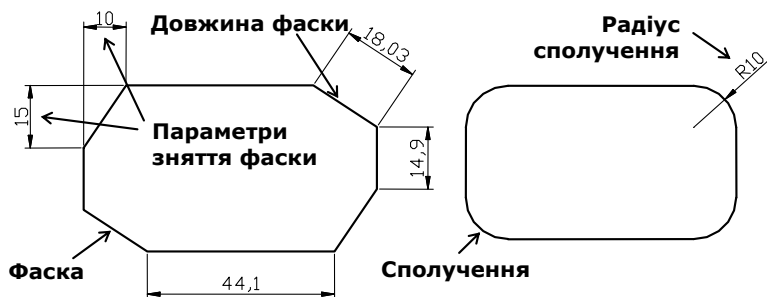


Рисунок 6.21 – Приклади форматуваних прямокутників

Під **багатокутниками** в AutoCAD вважають замкнуті, геометрично правильні фігури з рівними внутрішніми кутами зі сторонами однакової довжини (рис. 6.22). Допустима максимальна кількість сторін для багатокутника дорівнює 1024, а мінімальна – 3. Очевидно, що в разі збільшення числа сторін багатокутник наближуватиметься до кола.

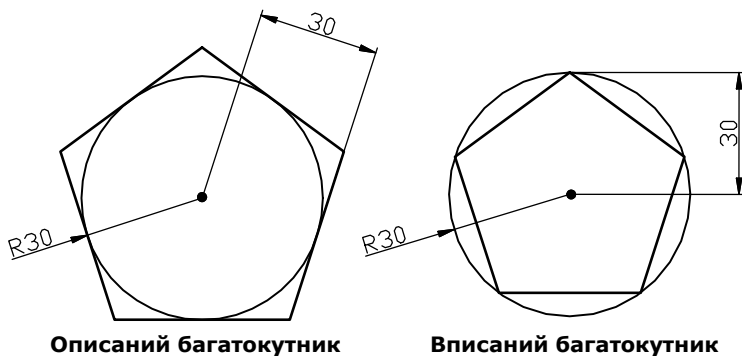


Рисунок 6.22 – Приклади багатокутників

Будувати багатокутник можна за координатами його центру або шляхом вказівки довжини його сторін. У будь-якому випадку на перше питання доведеться ввести в командний рядок кількість вершин багатокутника. Після цього способи креслення розходяться в порядку введення уточнюючих параметрів. Так, у першому випадку необхідно задати центр умовного кола, що бере участь в побудові, а потім вказати спосіб прив'язки до нього – вписаний або описаний багатокутник. Далі достатньо буде лише вказати радіус умовного кола, а довжину сторони багатокутника AutoCAD вирахує автоматично.

Під час використання другого способу побудови необхідно ввести координати початкової та кінцевої точок умовного відрізка, з яким буде поєднана одна з його сторін.

У кожному із зазначених способів побудови необхідно користуватися командою *Polygon* або кнопкою  *Polygon (Багатокутник)*, розташованої в інструментальній групі *Draw (Малювання)* вкладки *Home (Головна)*.

6.4 Складні об'єкти AutoCAD

До складних об'єктів AutoCAD можуть належати фігури, які мають трохи ускладнений спосіб побудови або додаткові засоби з редагування та налаштування. Взагалі, точне визначення, що виражає кардинальну відмінність складних об'єктів від простих, сформулювати складно. Умовно можуть належати до складних об'єктів такі фігури:

- мультилінії;
- полілінії;
- розмірні блоки;
- області;
- блоки та зовнішні посилання;
- багаторядковий текст.

6.4.1 Мультилінії

Мультилінією в AutoCAD називається набір паралельних ліній, що викреслюються одночасно. У наборі мультилінії може бути від 1 до 16 простих ліній, які можуть мати відмінні один від одного властивості (стиль,

колір і ін.). Такі лінії застосовуються для креслення контурів стін, що складаються з осі, внутрішньої і зовнішньої меж. Приклад мультилінії наведено на рис. 6.23.

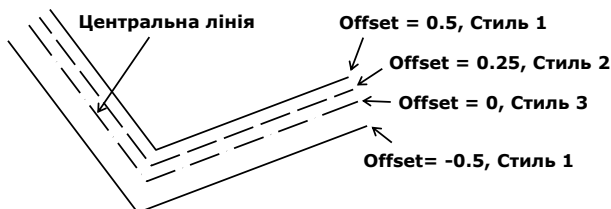


Рисунок 6.23 – Мультилінія та її параметри

Кожна з одиночних ліній мультилінії має свої власні параметри. Поряд з опціями кожної лінії є також параметри і у самій мультилінії. Основні з них: кількість одиночних ліній, їхня прив'язка до центральної осі (Offset), тип закінчення мультилінії, заливка.

Вибір для мультилінії певного стилю або інших опцій здійснюється безпосередньо під час її створення за допомогою параметрів команди Mline. За замовчуванням стиль креслення буде таким ж, як і для останньої побудованої мультилінії.

6.4.2 Полілінії

Різновидом лінії є полілінія – послідовність відрізків і дуг, що обробляється як єдине ціле (наприклад, при редагуванні або видаленні). Полілінія – це один з небагатьох об'єктів AutoCAD, який може мати ненульову ширину. Крім того, ширина початку полілінії може відрізнятися від ширини її кінця, і AutoCAD у такому випадку плавно сполучає їх між собою.

Для створення полілінії служить команда *Pline*. При введенні цієї команди AutoCAD спочатку запитує координати першої точки першого сегмента, далі – тип першого сегмента (лінія або дуга), а також його ширину в точках початку і кінця. Потім достатньо буде вказати координати другої точки першого сегмента (точки його кінця). Після побудови першого сегмента цикл повторюється заново. Так, наприклад, на рис. 6.24 показано дві полілінії з однаковими типами сегментів (сегмент 1 і сегмент 2) і координатами їхніх граничних точок (точка 1, точка 2, точка 3), але різною шириною в точках кінця кожного сегмента (точка 2 в сегменті 1, точка 3 в сегменті 2).

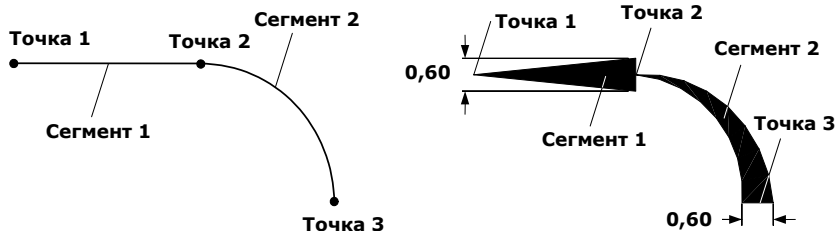


Рисунок 6.24 – Полілінії

При кресленні сегментів-дуг поліліній кривизна дуги може здаватися клацанням правої кнопки мишки в графічній зоні або з використанням спеціального параметра центрального кута команди *Pline*

Після креслення поліліній залишається можливість її подальшого редагування. Для цього призначені граничні маркери кожного з сегментів і маркери кривизни сегментів з типом «дуга». Також необхідно відзначити, що в системі AutoCAD є команда, призначена для креслення полілінії, що має форму хмари. Йдеться про команду *Revcloud*, яку також можна виконати

натисканням кнопки  *Revcloud (Хмара)*, розташованої в інструментальній групі *Draw (Малювання)* вкладки *Home (Головна)*.

6.4.3 Розмірні блоки

Розмірні блоки – це особливі об'єкти AutoCAD, призначені для оснащення кресленника видимою інформацією щодо геометричних розмірів, допусків та інших елементів точного уявлення технічних даних. Процес нанесення розмірних блоків на об'єкт можна назвати розмірюванням, а сам об'єкт – розмірюваним. Будь-який розмірний елемент AutoCAD налаштовується відповідно до вимог діючих стандартів.

Розмірні блоки складаються (залежно від їхнього типу) з декількох елементів. Так, наприклад, одинарний розмірний блок (рис. 6.25) складається з чотирьох елементів. Крім того, для точної прив'язки розмірного блоку до фігури, розмір якої виноситься в блоці, в AutoCAD використовуються елементи об'єктної прив'язки.

Розміри, що проставляються AutoCAD, можуть підтримувати з об'єктом асоціативний зв'язок, тобто зі зміною геометричних розмірів або інших

характеристик об'єкта проставлені розміри відповідним чином змінюються разом з ними.

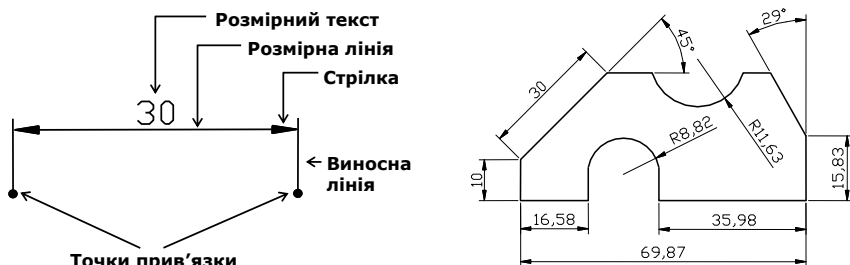


Рисунок 6.25 – Елементи розмірного блоку та приклад кресленика з розмірами

Для роботи з розмірними блоками в AutoCAD призначена спеціальна панель інструментів *Dimension (Розміри)* і діалогове вікно *Dimension Style Manager (Менеджер розмірних стилів)*.

Питання проставлення розмірів в AutoCAD знаходять досить широке практичне застосування – це дуже потужний інструмент, який значно полегшує роботу конструктора.

6.4.4 Области

Областями в AutoCAD називаються об'єкти, утворені шляхом з'єднання в замкнутий контур декількох простих фігур. Крім того, в області можна перетворювати кола, еліпси і замкнуті полілінії.

Корисною особливістю областей є те, що AutoCAD може обчислити для них безліч простих і складних геометричних характеристик, таких як: площа; периметр; центр ваги; вісьові, головні, полярні і відцентрові моменти інерції і інші характеристики. Крім того, область можна буде в подальшому заповнити однотонним кольором (заливанням) або штрихуванням.

Для створення області служить команда *Region*, яка, крім введення

з клавіатури, може бути викликана за допомогою кнопки  *Region (Область)*, розташованої в інструментальній групі *Draw (Малювання)* вкладки *Home (Головна)*.

При відпрацюванні команди *Region* необхідно спочатку вказати об'єкти, що беруть участь в створенні контуру області, а потім підтвердити закінчення вибірки натисканням *Enter* або клацанням правої кнопки мишки.

Об'єкти, які беруть участь у створенні області, повинні бути з'єднані в граничних точках з використанням режимів об'єктної прив'язки. В іншому випадку сегменти, що об'єднуються, можуть не мати спільних точок, що призведе до ігнорування команди створення області. Також виключаються різні режими перетинів об'єктів між собою.

Команда *Boundary* є альтернативою команді *Region*. Виклик цієї команди призводить до виводу на екран спеціального діалогового вікна *Boundary Creation (Створити межу)*. Відмінність *Boundary* від *Region* полягає в тому, що в даному випадку область створюється виключно з контуру, утвореного перетином набору інших об'єктів (областей, ліній, дуг, прямокутників тощо). При цьому новий контур утворюється через вершини перетину вихідних об'єктів (рис. 6.26). Достатньо скористатися діалоговим вікном *Boundary Creation (Створити межу)* і вказати точки, що знаходяться всередині виділеної області.

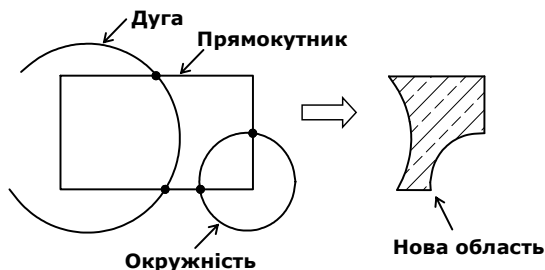


Рисунок 6.26 – Створення області перетину об'єктів

Одним з переваг області вважається можливість її заповнення заливкою або штрихуванням. Особливий інтерес при цьому викликає штрихування. Так, наприклад, на рис. 6.27 виділена область заповнена візерунком, що складається з набору паралельних ліній різного типу. Для заповнення області подібними та іншими візерунками використовується

команда *Bhatch* або кнопку  *Hatch (Штриховка)*, розташована в інструментальній групі *Draw (Малювання)* вкладки *Note (Головна)*. При цьому можна вибирати різні типи штрихування, користуючись спеціальними зразками.

6.4.5 Блоки та зовнішні посилання

Блоком в AutoCAD називається група об'єктів, що обробляється як одне ціле. Прикладом блоку може служити розроблений раніше кресленик, вставлений в поточний документ. При цьому всі об'єкти вставленого кресленика утворюють один блок з певним ім'ям, з яким він зберігається в базі даних креслеників.

З блоком можна пов'язувати особливий тип текстових параметрів (видимих або невидимих на кресленику), званий атрибутом блоку. Основна перевага атрибута полягає в тому, що його можна витягати з кресленика і зберігати у вигляді текстового файлу для подальшого застосування.

Зовнішні посилання – це особливий тип блоку, який використовується для побудови складових кресленика з елементів інших креслеників. Основною відмінністю зовнішнього посилання від блоку є те, що пов'язані з даним посиланням частини кресленика не вставляються в кресленик, а зберігаються в ньому тільки як адресне посилання. При кожному відкритті кресленика, що має такі посилання, AutoCAD знаходить їх і виводить інформацію про поточний стан цих посилань.

6.5 Системні змінні

Кожний кресленик AutoCAD містить так звані системні змінні, в які заноситься певна інформація про кресленик. Так, наприклад, системні змінні можуть містити такі дані:

- інформацію про поточні параметри кресленика (настройки шару, кольору, типу ліній);
- інформацію про останню виконану дію (ім'я останньої команди, координати останньої точки, значення останнього радіусу кола);
- інформацію про параметри деяких команд (довжина фаски, радіус сполучення тощо).

Загальна кількість системних змінних AutoCAD – понад 200. Кожна змінна має відповідний формат уявлення: ціле або дійсне число, текстовий рядок або координати точки. Всі ці дані можуть зберігатися в самому документі або в системному реєстрі Windows.

Ви можете вивести на екран перелік і значення системних змінних і більшу частину з них змінити. Решта змінюються системою в процесі роботи, а користувач доступу до них не має.

Для роботи з системними змінними призначена команда Setvar. Перший запит, який видає ця команда під час свого виконання, – це ім'я змінної, значення якої необхідно перевірити чи змінити. Тут можна задати ім'я будь-якої системної змінної або ввести знак питання «?» для отримання докладної довідки. В останньому випадку AutoCAD буде готовий вивести в текстове вікно значення тих змінних, імена яких ви зазначите. Можливе введення імен змінних з використанням групових символів «*» і «?». Наприклад, можна вказати А * – щоб вивести значення змінних, що починаються з символу «А», або DIM * Т – для виведення змінних, імена яких починаються з DIM і закінчуються на Т. Отримати повний список команд можна, якщо повторити наведений нижче протокол роботи команди:

Command: Setvar

Enter variable name or [?]: ?

Enter variable(s) to list <*>: *

Після вказівки одного тільки символу «*» AutoCAD виводить в текстове вікно першу частину всіх системних змінних (рис. 6.27).

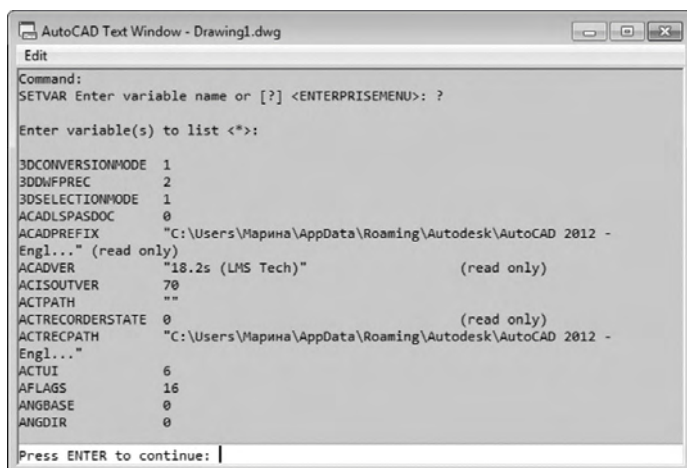


Рисунок 6.27 – Перелік системних змінних

У текстовому вікні список системних змінних оформляється в три стовпці. Перший стовпець – ім'я змінної, другий – значення, третій – примітка.

Якщо в запису значення тієї чи іншої змінної присутні три крапки, це свідчить про те, що значення змінної скорочено (тобто відображається тільки його частина).

Приклад 3

Редагування значення системної змінної

Розглянемо приклад редагування значення системної змінної LUPREC, яка визначає число десяткових розрядів лічильника координат. Іншими словами, ця змінна вказує, скільки знаків після десяткового дробу потрібно виводити в лічильнику координат, розташованому в лівому нижньому кутку екрану, а також у довідковій інформації текстового вікна.

Порядок виконання наступний (лістинг 3).

1. Спочатку необхідно викликати команду *Setvar*, у відповідь на питання *Enter variable name or [?]* Ввести назву самої змінної LUPREC у верхньому або нижньому регістрі і натиснути Enter. Щоб переглянути список усіх змінних можна ввести послідовно параметр? і *, після чого за допомогою клавіші Enter перегорнути виводяться сторінки зі списками і значеннями змінних.

2. На наступне питання необхідно ввести значення змінної (від 0 до 8), наприклад 2.

Лістинг 2

< Редагування значення системної змінної LUPREC >

Command: Setvar

Enter variable name or [?]: LUPREC

Enter new value for LUPREC <4>: 2

Якщо ви пам'ятаєте назву змінної, його можна вводити в командний рядок відразу, без попереднього виклику команди *Setvar*.

6.6 Відкриття кресленника

Відкриття існуючого креслення після запуску AutoCAD здійснюється за допомогою команди «А» | *Open (Відкрити)* | *Drawing (Креслення)* (рис. 6.28).

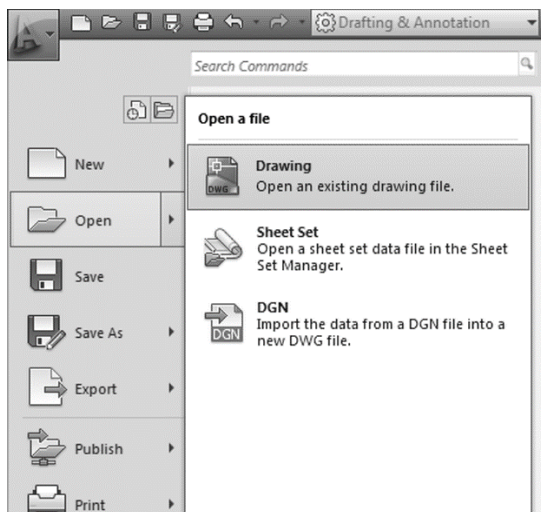


Рисунок 6.28 – Меню Open (Відкрити)

Полегшують пошук потрібного файлу два елементи – область попереднього перегляду вмісту файлу, розташована праворуч, а також інформаційне поле.

Інший спосіб завантаження кресленника в сеансі програми – використовувати команду Open, ввівши її в командний рядок. У результаті відкриється діалогове вікно *Select File (Вибір файлу)* (рис. 6.29).

Для виклику вікна *Select File* також можна скористатися кнопкою  *Open (Відкрити)*, розташованої на панелі швидкого доступу, або комбінацією клавіш Ctrl + O.

У вікні вибору файлу для завантаження *Select File (Вибір файлу)* також є засоби, що полегшують пошук кресленників. Йдеться про діалогове вікно *Find (Пошук)*, наведеному на рис. 6.30. Для виклику цього вікна необхідно в переліку кнопки  вибрати пункт *Find*.

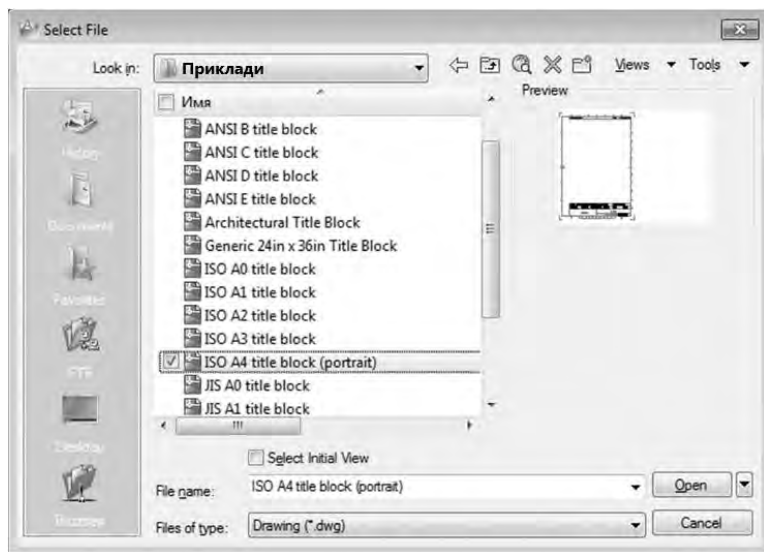


Рисунок 6.29 – Вікно відкриття документа

Вкладка *Name & Location (Ім'я & Розташування)* діалогового вікна *Find (Пошук)* має три поля з розкриваючими списками:

- *Named (Ім'я)* – задає ім'я файлу, яке можна ввести безпосередньо з клавіатури або вибрати в переліку, що розкривається для цього поля;
- *Type (Тип)* – задає тип файлу для пошуку, який визначається розширенням (повний перелік розширень можна знайти в списку даного поля);
- *Look in (Шукати в)* – місце пошуку на жорсткому диску, яке можна вибрати з переліку раніше використаних шляхів або задати заново за допомогою стандартних засобів Windows, пропонованих під час натискання кнопки *Browse (Вибрати)*.

Вкладка *Date Modified (Дата редагування)* вікна *Find (Пошук)* призначена для настройки параметрів відбору при пошуку файлів (рис. 6.31). Тут можна задати певний час створення або редагування файлів для пошуку. В останньому випадку достатньо вказати часовий інтервал, вибравши в календарі дати його початку і кінця (поля *between* і *and*). Або ж можна просто задати кількість днів або місяців, що минули з дня створення або останньої корекції файлів, попередньо встановивши перемикач

during the previous (протягом попередніх) у відповідне положення: months (місяців) або days (днів).

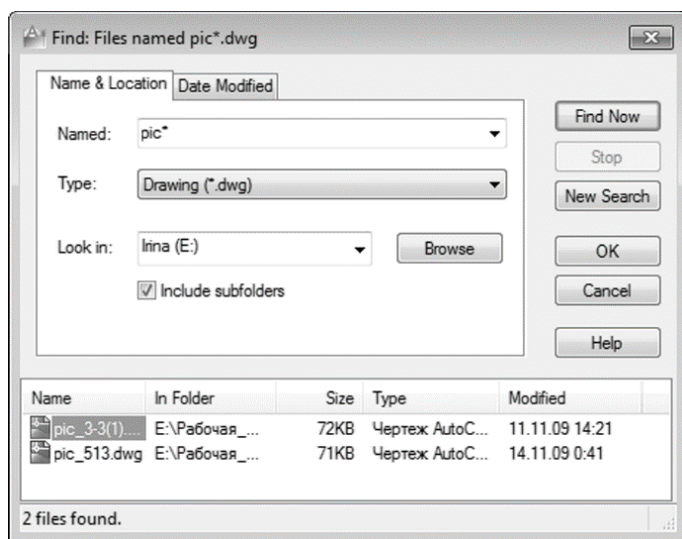


Рисунок 6.30 – Діалогове вікно пошуку файлів AutoCAD

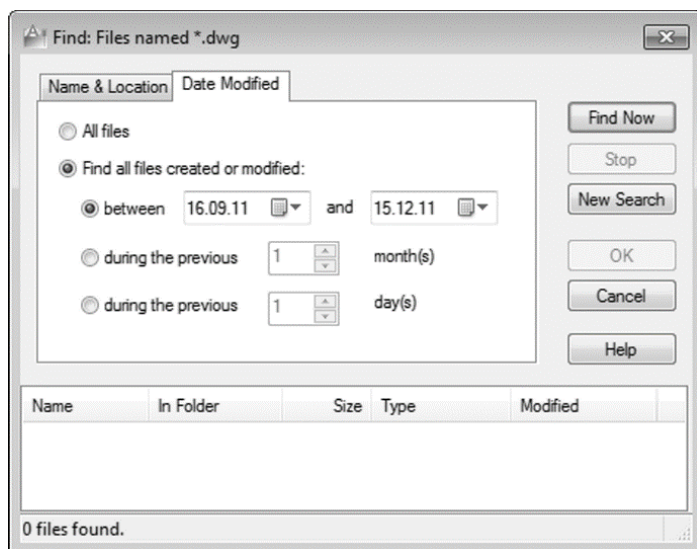


Рисунок 6.31 – Налаштування параметрів пошуку файлів

Вибравши файл для завантаження (вказавши його у вікні *Select File (Вибір файлу)*) або попередньо здійснивши пошук з використанням засобів вікна *Find (Пошук)*, необхідно його відкрити за допомогою кнопки *Open (Відкрити)*, яка має список, що розкривається з наступними уточнюючими пунктами завантаження креслення для роботи:

- *Open (Відкрити)* – відкриває файл у звичайному режимі;
- *Open Read-Only (Відкрити тільки для читання)* – застосовується для того, щоб випадковим записом не зіпсувати вихідний файл;
- *Partial Open (Часткове завантаження)* – дозволяє вказати потрібний для завантаження обсяг креслення;
- *Partial Open Read-Only (Часткове завантаження тільки для читання)* – відкриває частину креслення в режимі тільки для читання, щоб випадковим записом не зіпсувати вихідний файл.
- Збереження і закриття кресленика;
- Збереження кресленика.

Для виконання операції запису файлу необхідно скористатися командою *Qsave*, ввівши її в командний рядок, або вибрати відповідний пункт у меню AutoCAD. В результаті збереження кресленика першим способом відкриється вікно *Save Drawing As (Зберегти кресленик як)*, зображене на рис. 6.32.



Крім того, для виклику цього вікна можна скористатися кнопкою *Save (Зберегти)*, розташованої на панелі швидкого доступу, або комбінацією клавіш **Ctrl + S**.

При первинному збереженні необхідно ввести в поле *File name (Ім'я файлу)* ім'я файлу і вибрати в списку *Save in (Зберегти в)* папку, в якій він буде збережений. У разі, якщо папка для збереження раніше не створювалася, її можна створити кнопкою  *Create New Folder (Створити нову папку)*.

За необхідності можна зберегти кресленик так, щоб з ним можна було працювати в одній з попередніх версій AutoCAD, або ж для перетворення креслеників у додатковий формат необхідно вибрати відповідне розширення в переліку *Files of type (Типи файлів)*. У списку представлений перелік

розширень, підтримуваних AutoCAD (рис. 6.33). Найбільш використовувані наведено нижче:

- стандартний формат креслення DWG;
- формати .dwg для 14-ї і 13-ї версій AutoCAD;
- формат шаблону креслення .dwt;
- формат .dxf – обмінний формат для 2000-ї, 14-ї, і інших версій системи AutoCAD.

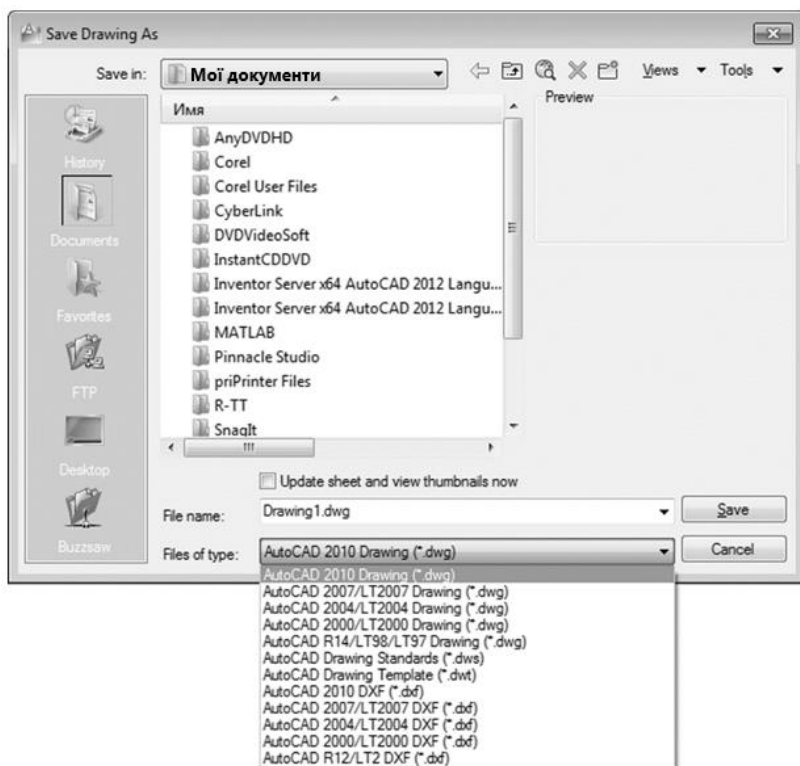


Рисунок 6.32 – Діалогове вікно запису креслика

6.7 Експорт у інші програми

Щоб виконати операцію експорту креслика AutoCAD в стандартні Windows-формати або формати інших застосунків, необхідно скористатися

командою *Export*, ввівши її в командний рядок, або вибрати пункт меню програми *Export (Експорт)*. В результаті відкриється діалогове вікно *Export Data (Експорт даних)*, яке дуже схоже на вікно *Save Drawing As (Зберегти креслення як)*. У списку *Files of type (Типи файлів)* можна вибрати один з наступних форматів: .wmf, .sat, .sti, .eps, .dxx, .bmp, .3ds. Крім того, тут можна знайти формат .dwg, що підтримує можливість виведення опису блоку поточного креслення в окремий файл.

Перед завершенням роботи з документом AutoCAD дає можливість зберегти разом з кресленням деяку призначену для користувача інформацію. Для цього необхідно ввести в командний рядок команду *Dwgprops*.

На закінчення треба зазначити, що закрити будь-який креслення можна за допомогою команди *Close*. Також закриття документа здійснюється за допомогою пункту меню програми *Close (Закрити)*. При цьому AutoCAD аналізує, збережені зміни чи ні в кресленні, який закривається. Якщо немає, то задає питання про необхідність збереження: *Save changes to?* Тут необхідно вибрати *Так*, якщо зміни потрібно зберегти, або *Ні*, якщо зміни не потрібні. Вибір кнопки *Скасування* скасовує закриття креслення.

Для виходу з поточного сеансу роботи AutoCAD необхідно ввести команду *Exit* або скористатися пунктом *Exit (Вихід)* меню програми. AutoCAD аналізує, чи збережені зміни у всіх відкритих кресленнях, і якщо немає, то по кожному не збереженому файлу задає питання про збереження або ігнорування змін.

6.8 Контрольні запитання та завдання

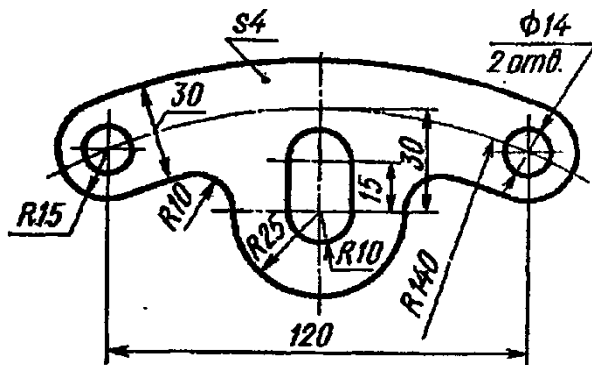
1. Яке призначення системи AutoCAD?
2. Дайте визначення об'єкта AutoCAD.
3. Які об'єкти належать до простих?
4. Які об'єкти є складними?
5. Перерахуйте всі режими об'єктної прив'язки і їхні можливості.
6. Продемонструйте, як здійснюється в системі AutoCAD введення команд і даних.
7. Продемонструйте можливості AutoCAD для вилучення об'єктів або їхніх частин. Як здійснюється при цьому вибір об'єктів?
8. Які команди побудови примітивів Ви знаєте?

9. Які команди редагування графічних примітивів ви знаєте?
10. Як здійснюється управління шарами в системі AutoCAD?
11. Які команди використовуються для збереження файла кресленика?
12. Продемонструйте засоби проставлення лінійних розмірів.
13. Як у системі AutoCAD здійснюється налаштування параметрів проставлення розмірів?
14. Роз'ясніть поняття простору моделі і простору аркуша у системі AutoCAD.
15. За якими ознаками на робочому полі кресленика можна відрізнити простір моделі від простору аркуша?

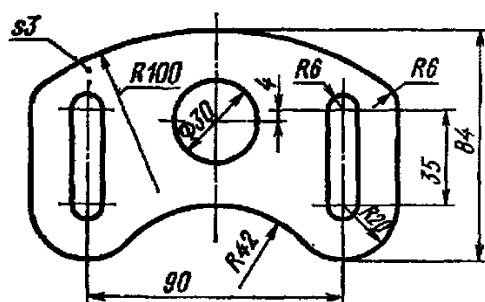
6.9 Контрольні завдання

Виконайте побудову креслення заданої плоскої деталі за допомогою графічного пакета AutoCAD.

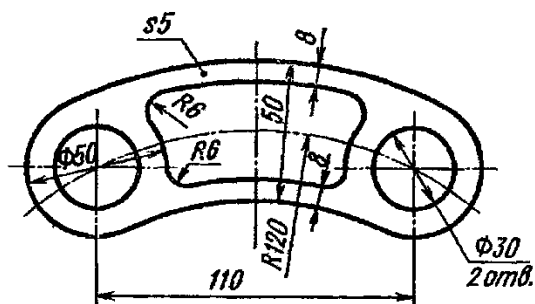
6.9.1 Варіанти індивідуальних завдань



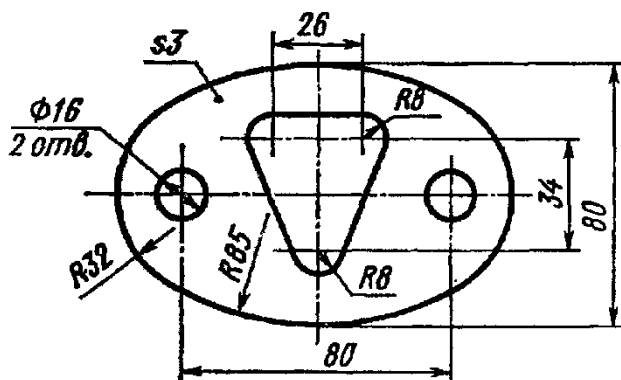
Варіант 1



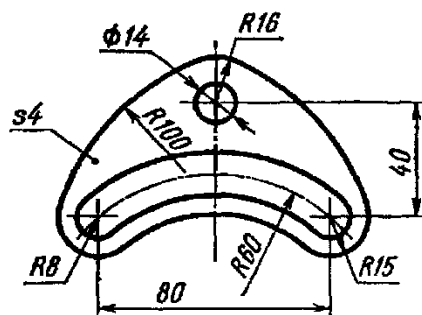
Варіант 2



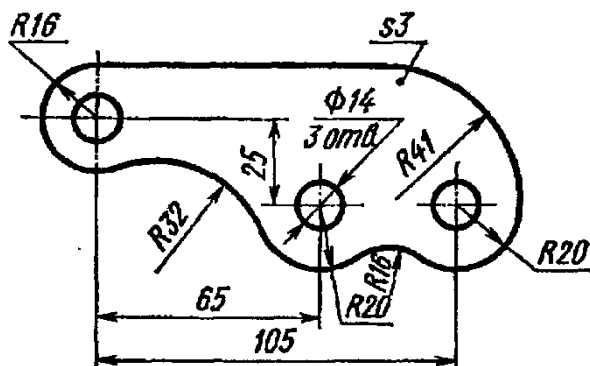
Варіант 3



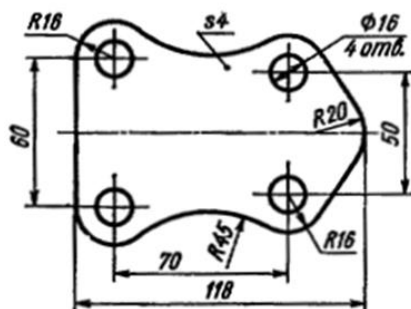
Варіант 4



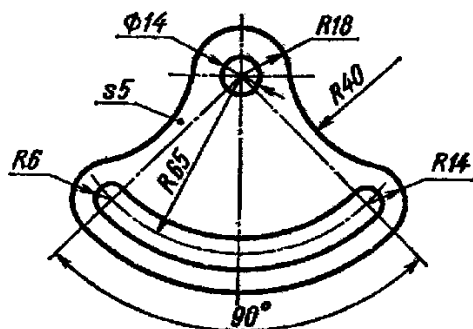
Варіант 5



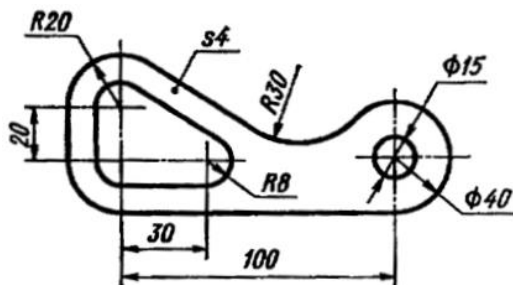
Варіант 6



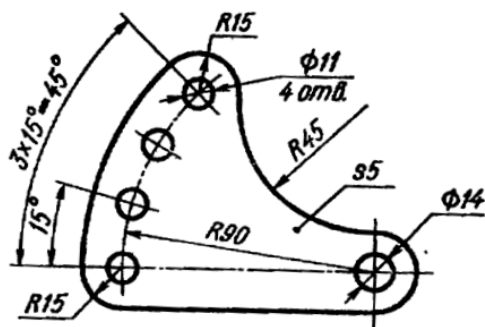
Варіант 7



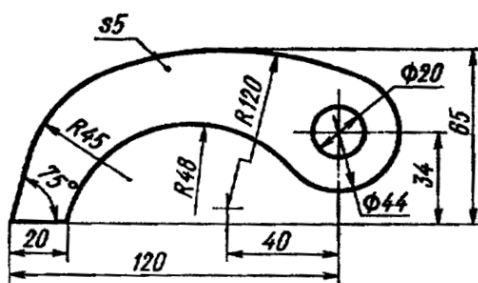
Варіант 8



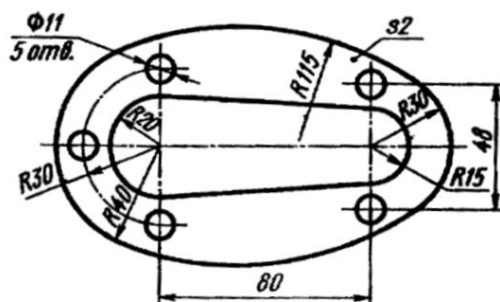
Варіант 9



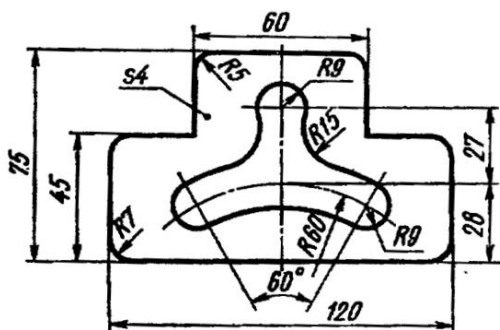
Варіант 10



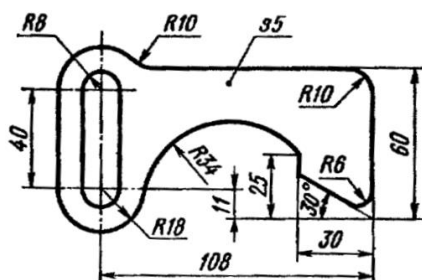
Варіант 11



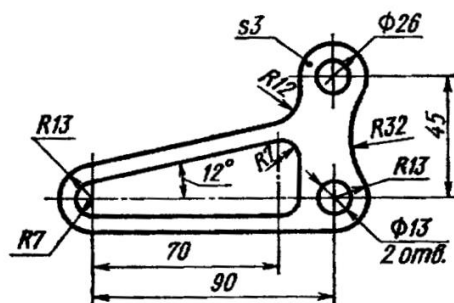
Варіант 12



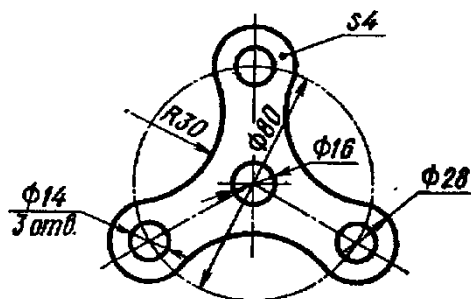
Варіант 13



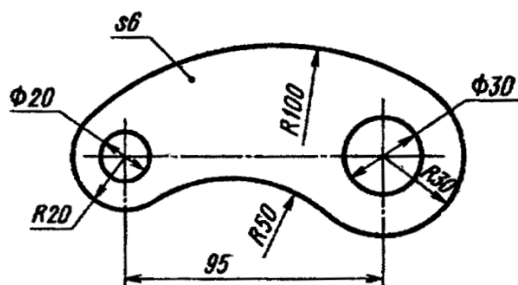
Варіант 14



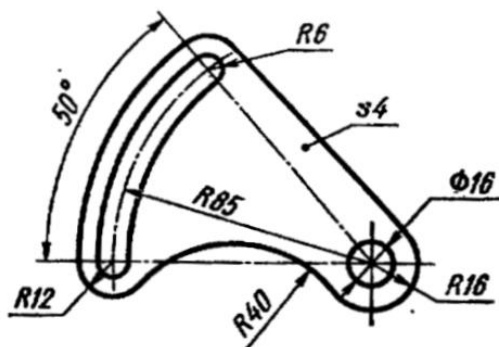
Варіант 15



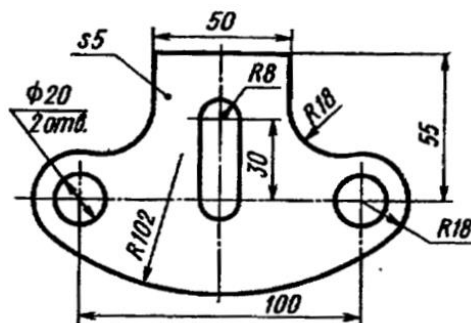
Варіант 16



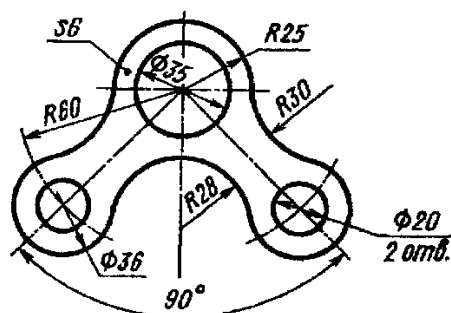
Варіант 17



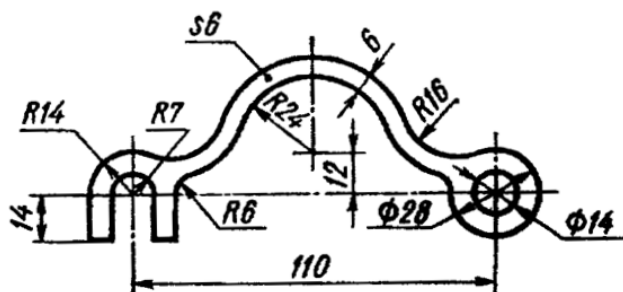
Варіант 18



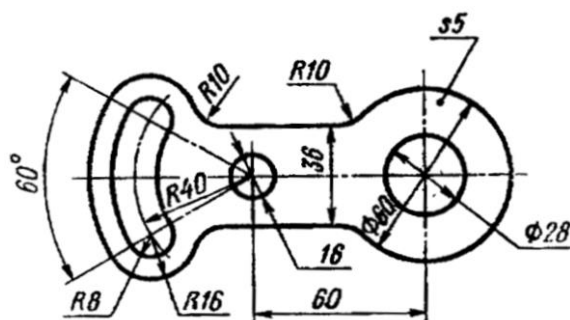
Варіант 19



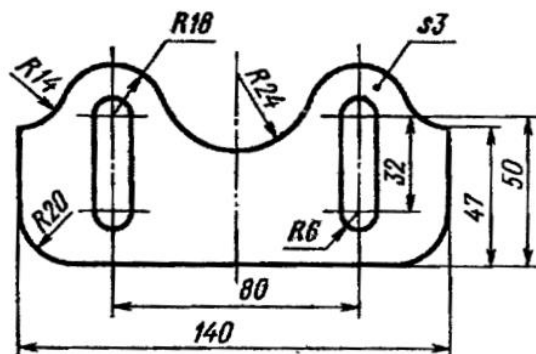
Варіант 20



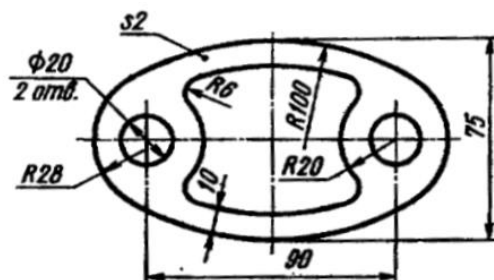
Варіант 21



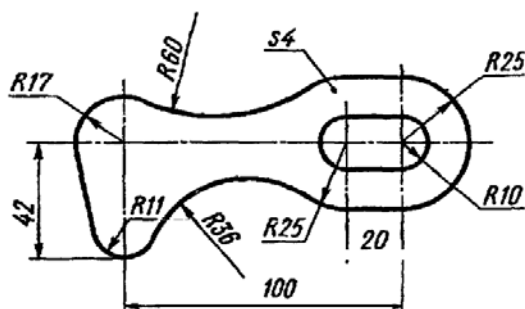
Варіант 22



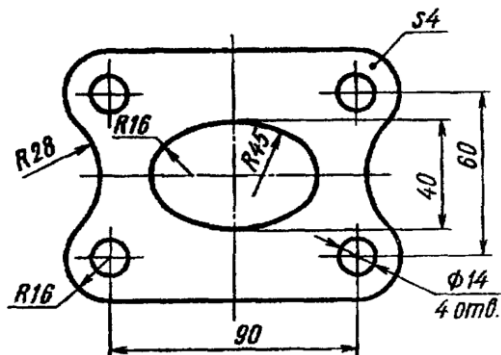
Варіант 23



Варіант 24



Варіант 25



Варіант 29

6.10 Приклад виконання контрольного завдання

Виконаємо повну побудову креслення плоскої деталі (рис. 6.33) за допомогою графічного пакета AutoCAD.

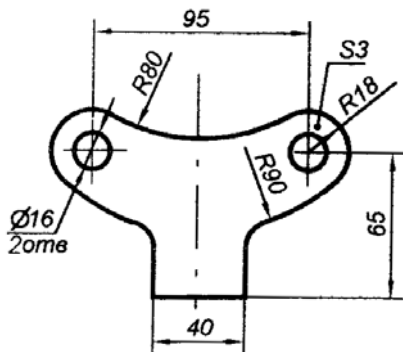


Рисунок 6.33

Виконання завдання здійснюється в такому порядку.

1. Задати формат креслення A4 210x297, використовуючи команду LIMITS (ЛІМІТИ), що знаходиться в головному меню Формат. Границі креслення – це пари двомірних крапок у світовій системі координат, що задають лівий нижній (Lower left corner) і правий верхній (Upper right corner) кути прямокутної області.

2. Встановити режим висновку на екран координатної сітки зі зручним розміром осередку (команда GRID).

3. Задати крокову прив'язку графічного курсору до вузлів невидимої растрової сітки (команда SNAP) з обраним кроком.

4. Здійснити визначення шарів, у яких виконуватиметься креслення взаємопов'язаних елементів креслення. Діалогове вікно Властивість шару і типи ліній викликається відповідною кнопкою в панелі інструментів Властивості об'єктів. Призначення шарів, що рекомендуються: BICI – для креслення вісьових ліній; ДОП – для креслення допоміжних побудов; ОСН – для креслення основних ліній креслення; РОЗМ – для проставлення розмірів.

5. Далі виконується безпосередньо саме креслення.

5.1. У шарі BICI проводимо вісьові лінії (рис. 6.34, а) з урахуванням розмірів деталі і вибору початку координат.

5.2. У шарі ДОП тонкими лініями здійснюємо побудова кіл (CIRCLE), прямих (LINE) і сполучень (FILLET) (рис. 6.34, б).

5.3. За допомогою команди ПОЛІЛІНІЯ (PLINE) у шарі ОСН робимо наведення креслення лініями товщиною 0,8 мм. Після цього шар ДОП можна заморозити (рис. 6.34, в).

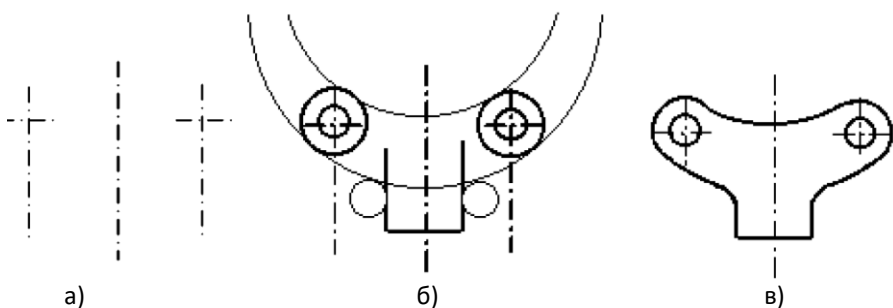


Рисунок 6.34 – Етапи побудов креслення

5.4. За допомогою панелі інструментів «Розміри» здійснюється розстановка розмірів креслення.

6. За допомогою команди SAVE креслення зберігається у файлі з ім'ям, що включає номер варіанта.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ванін В.В., Перевертун В.В., Надкернична Т.М., Власюк Г.Г. Інженерна графіка: підручник. – К.: Видавнича група BVH, 2009, 400 с.
2. Інженерна графіка: креслення, комп'ютерна графіка: навчальний посібник /За ред. А.П. Верхоли - К.: Каравела, 2006. – 304 с.
3. Попудняк Ю.Я. Інженерна графіка. Геометричне та проекційне креслення: навчальний посібник / Ю.Я. Попудняк, А.С. Щербак. – Дніпро: ДНУЗТ, 2017. – 140 с.
4. Козяр М.М., Фещук Ю.В. Комп'ютерна графіка: AUTOCAD. – Херсон: Олді+, 2018, 304 с.
5. Лебедев Б.В., Сінько І.С., Павлишко А.В., Бовнегра Л.В. Прийоми роботи в AutoCAD: навчальний посібник. – Одеса: АО БАХВА, 280 с.

Електронне навчальне видання

ЗАХАРОВ Ігор Петрович
ЧЕБОТАРЬОВА Ірина Борисівна

ІНЖЕНЕРНА ТА КОМП'ЮТЕРНА ГРАФІКА

Навчальний посібник
Електронне видання

Відповідальний випусковий І.П. Захаров
Редактор Б.П. Косіковська
Комп'ютерна верстка Л.Ю. Светайло

План 2024 (друге півріччя), поз. 6.
Підп. до використання 28.05.2021.

Формат pdf. Обсяг даних 6,05 Мб.

ХНУРЕ, 61166, Харків, просп. Науки, 14, E-mail: info@nure.ua

Підготовлено в редакційно-видавничому відділі ХНУРЕ
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №1409 від 26.06.2003