

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Т. В. Гнітецька, Г. О. Гнітецька

Інженерна та комп'ютерна графіка. САПР AutoCAD

Підручник

Затверджено Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як підручник для здобувачів ступеня бакалавра
за спеціальністю G5 Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка

Електронне мережеве навчальне видання

Київ
КПІ ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО
2026

УДК 744.41 (075.8)
Г56

Автори: *Гнітецька Тетяна Віталіївна*, канд. техн. наук, доцент
Гнітецька Галина Омелянівна, канд. пед. наук, доцент

Рецензенти: *Баишта О. Т.*, канд. техн. наук, проф. кафедри комп'ютерних технологій дизайну і графіки Національного університету «Київський авіаційний інститут»
Холковський Ю. Р., канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерних технологій дизайну і графіки Національного університету «Київський авіаційний інститут»

Відповідальний редактор: Жук С. Я. д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри радіотехнічних систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського

*Гриф надано Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 7 від 29.06.2026 р.)*

Гнітецька Т. В.

Г56 Інженерна та комп'ютерна графіка. САПР AutoCAD. [Електронний ресурс] : підручник для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю G5 Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка / Т. В. Гнітецька, Г. О. Гнітецька, Електрон. текст. дані (1 файл : 19,5 Мб). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2026. – 465 с.

ISBN 978-966-990-300-6 (Ел.)

У підручнику викладено теоретичні основи геометричного моделювання плоских і просторових об'єктів засобами нарисної геометрії та методику побудови тривимірних моделей у САПР AutoCAD із застосуванням інструментів параметризації. Особливу увагу приділено алгоритмам автоматизованого оформлення конструкторської документації (креслеників деталей, складальних одиниць, схем) згідно з вимогами національних стандартів України (ДСТУ, ДСТУ ISO, ДСТУ EN ISO, ДСТУ IEC ISO).

Видання розраховане на здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю G5 «Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка». Також може бути корисним для здобувачів вищої технічної освіти інших технічних спеціальностей ЗВО, викладачів інженерної та комп'ютерної графіки, а також інженерам. Нормативну базу наведено станом на 1.05.2026.

УДК 744.41 (075.8)

ISBN 978-966-990-300-6 (Ел.)

© Т. В. Гнітецька, Г. О. Гнітецька, 2026
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026

ЗМІСТ

ЧАСТИНА 1. ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ОРТОГОНАЛЬНИХ ПРОЄКЦІЯХ	15
РОЗДІЛ 1. ПРЕДМЕТ І МЕТОД НАРИСНОЇ ГЕОМЕТРІЇ. ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ У СИСТЕМІ ОРТОГОНАЛЬНИХ ПЛОЩИН	16
ВСТУП. ПРЕДМЕТ І МЕТОД НАРИСНОЇ ГЕОМЕТРІЇ.....	16
1.1. Геометричне моделювання точки і прямої	17
1.1.1. Метод центрального проєкціювання.....	17
1.1.2. Метод паралельного проєкціювання.....	19
1.1.2.1. Способи відтворення положення моделі точки у просторі за її заданою проєкцією	21
1.1.3. Метод ортогонального проєкціювання	23
1.1.4. Комплексне креслення.....	24
1.1.5. Задання проєкцій точок за допомогою координат	25
1.1.6. Побудова третьої проєкції точки за її двома заданими проєкціями.....	26
1.1.7. Моделювання точки у просторі восьми октантів	30
1.1.8. Положення точок відносно площин проєкцій.....	31
1.1.8.1. Конкуруючі точки.....	32
1.1.9. Моделювання прямої лінії.....	33
1.1.9.1. Сліди прямої	34
1.1.9.2. Моделювання прямої у системі ортогональних площин проєкцій.....	37
1.1.9.3. Натуральна величина відрізка прямої загального положення.....	38
1.1.9.4. Взаємне положення точки і прямої у системі ортогональних площин проєкцій	40
1.1.9.5. Поділ відрізка у заданому відношенні	40
1.1.9.6. Взаємне розташування двох прямих у системі ортогональних площин проєкцій.....	41
<i>Запитання для самоперевірки</i>	<i>44</i>

РОЗДІЛ 2. МОДЕЛЮВАННЯ ПЛОЩИНИ	46
2.1. Сліди площини	47
2.2. Моделювання площини у системі ортогональних площин проєкцій	50
2.2.1. Площини особливого положення	50
2.2.1.1. Проєкціюючі площини	50
2.2.1.2. Площини рівня	52
2.2.2. Площини загального положення	53
2.3. Прямі і точки, які належать площині	54
2.3.1. Прямі площини.....	54
2.3.1.1. Лінії рівня площини.....	55
2.3.2. Точка, яка належить площині.....	57
2.4. Побудова площини за заданою прямою.....	57
2.5. Взаємне розташування двох площин	57
2.5.1. Паралельність площин	58
2.5.2. Перетин площин.....	60
2.6. Взаємне положення прямої і площини.....	64
2.6.1. Паралельність прямої і площини	64
2.6.2. Перетин прямої і площини.....	67
<i>Запитання для самоперевірки</i>	<i>69</i>
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИ СПРОЩЕННЯ РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧ НАРИСНОЇ ГЕОМЕТРІЇ.....	70
3.1. Метод заміни площин проєкцій	70
3.1.1. Основні перетворення методу заміни площин проєкцій	73
3.1.1.1. Перетворення прямої загального положення в пряму рівня	73
3.1.1.2. Перетворення прямої загального положення у проєкціюючу пряму	74
3.1.1.3. Перетворення площини загального положення у проєкціюючу площину.....	75
3.1.1.4. Перетворення площини загального положення у площину рівня	77
<i>Запитання для самоперевірки</i>	<i>78</i>

РОЗДІЛ 4. КРИВІ ЛІНІЇ І ПОВЕРХНІ	80
4.1. Моделювання плоских кривих ліній	80
4.1.1. Проекціювання кола	83
4.1.2. Моделювання кола у площині рівня	86
4.1.3. Моделювання кола у проєкціюючій площині	87
4.1.4. Моделювання кола у площині загального положення	88
4.2. Моделювання просторових кривих	90
4.3. Моделювання поверхонь	92
4.3.1. Лінійчасті поверхні	93
4.3.1.1. Лінійчасті розгортні поверхні з однією напрямною	94
4.3.1.2. Нерозгортні лінійчасті поверхні з двома напрямними і площиною паралелізму	96
4.3.2. Гвинтові поверхні	99
4.3.3. Поверхні обертання	103
<i>Запитання для самоперевірки</i>	110
РОЗДІЛ 5. ПЕРЕТИН ПОВЕРХНІ ПЛОЩИНОЮ	111
5.1. Алгоритм побудови лінії перетину	112
5.2. Основні типи задач перетину поверхонь площиною	113
5.2.1. Задачі першого типу	113
5.2.2. Задачі другого типу	119
5.3. Розгортки	130
5.3.1. Спосіб нормального перерізу	131
5.3.2. Спосіб розкочування	133
5.3.3. Спосіб тріангуляції	143
<i>Запитання для самоперевірки</i>	145
РОЗДІЛ 6. ОДИНАРНЕ ПРОНИКАННЯ	146
6.1. Метод повних перетинів	146
6.2. Метод ребер	153
<i>Запитання для самоперевірки</i>	155

РОЗДІЛ 7. ПЕРЕТИН ПОВЕРХОНЬ	156
7.1. Метод площин-посередників	158
7.2. Перетин многогранників	159
7.3. Перетин поверхонь другого порядку.....	163
7.4. Сферичні посередники	168
7.4.1. Спосіб концентричних сфер	171
7.5. Окремі випадки перетину поверхонь другого порядку	174
<i>Запитання для самоперевірки</i>	<i>177</i>
ЧАСТИНА 2. ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ СТАНДАРТІВ ЩОДО ОФОРМЛЕННЯ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ.....	179
РОЗДІЛ 8. ОФОРМЛЕННЯ КРЕСЛЕНИКІВ.....	180
8.1. Формати і основні написи	180
8.1.1. Формати.....	180
8.1.2. Основні написи.....	182
8.1.2.1. Основний напис (ДСТУ ГОСТ 2.104:2006).....	182
8.1.2.2. Основний напис (ДСТУ EN ISO 7200:2005)	184
8.2. Масштаби	187
8.3. Лінії.....	188
8.4. Шрифти	190
<i>Запитання для самоперевірки</i>	<i>194</i>
РОЗДІЛ 9. ЗОБРАЖЕННЯ: ВИДИ, РОЗРІЗИ, ПЕРЕРІЗИ.....	195
9.1. Види	195
9.1.1. Винесені види.....	200
9.1.2. Частинні види	200
9.1.3. Додаткові види.....	202
9.1.4. Місцеві види	203
9.2. Розрізи	204
9.2.1. Розрізи виконані однією січною площиною.....	207
9.2.2. Розрізи виконані двома і більше паралельними січними площинами	208

9.2.3. Розрізи виконані двома і більше січними площинами, які перетинаються	210
9.2.4. Місцеві розрізи	211
9.3. Перерізи.....	212
9.4. Виносні елементи	214
9.5. Умовності і спрощення	215
9.6. Штрихування	220
9.7. Лінії-виноски	221
9.8. Написи на полі кресленика.....	222
<i>Запитання для самоперевірки</i>	<i>223</i>
РОЗДІЛ 10. НАНЕСЕННЯ РОЗМІРІВ НА КРЕСЛЕНИКАХ ДЕТАЛЕЙ	224
10.1. Основні вимоги і визначення	224
10.2. Основні правила нанесення розмірів	225
10.3. Спрощене нанесення розмірів	231
10.4. Особливості нанесення розмірів.....	232
<i>Запитання для самоперевірки</i>	<i>233</i>
РОЗДІЛ 11. КРЕСЛЕНИКИ ДЕТАЛЕЙ	234
11.1. Загальні вимоги	234
11.2. Вимоги щодо зображень деталей.....	235
11.3. Приклади оформлення креслеників деталей	236
11.3.1. Гайка накидна шестигранна.....	236
11.3.2. Вал	238
11.3.3. Накривка.....	240
11.3.4. Корпус.....	241
11.4. Нарізь	242
11.4.1. Основні параметри нарізі	242
11.4.2. Зображення нарізі.....	246
11.4.3. Види нарізі	247
11.4.4. Технологічні елементи нарізі	251

11.5. Шорсткість	253
11.5.1. Загальні вимоги	253
11.5.2. Позначення шорсткості.....	254
<i>Запитання для самоперевірки</i>	<i>258</i>
РОЗДІЛ 12. З'ЄДНАННЯ ДЕТАЛЕЙ.....	259
12.1. Рознімні з'єднання	259
12.1.1. Нарізові з'єднання.....	259
12.1.2. Кріпильні вироби	260
12.1.2.1. Механічні властивості кріпильних виробів.....	260
12.1.2.2. Зображення нарізових з'єднань кріпильними елементами.....	261
12.1.2.3. Позначення кріпильних виробів	262
12.2. Нерознімні з'єднання	263
12.2.1. З'єднання зварюванням	263
12.2.2. З'єднання пайкою	266
12.2.3. З'єднання склеюванням.....	268
<i>Запитання для самоперевірки</i>	<i>270</i>
РОЗДІЛ 13. СКЛАДАЛЬНИЙ КРЕСЛЕНИК	271
13.1. Специфікація.....	271
13.2. Складальний кресленик.....	272
13.2.1. Вміст складального кресленика.....	273
13.2.2. Вимоги до виконання зображень на складальному кресленику	273
13.2.3. Нанесення розмірів на складальному кресленику.....	274
13.2.4. Позначення номерів позицій на складальному кресленику	274
13.2.5. Умовності і спрощення при виконанні зображень на складальному кресленику	276
13.3. Кресленик загального виду	280
13.3.1. Деталювання кресленика загального виду	282
13.3.2. Перелік елементів складаної одиниці	283
13.3.3. Опис кресленика загального виду гнізда коаксіального роз'єму.....	286
<i>Запитання для самоперевірки</i>	<i>287</i>

РОЗДІЛ 14. СХЕМИ	288
14.1. Загальні положення	288
14.2. Схема електрична принципова	289
14.2.1. Умовні графічні позначки	290
14.2.2. Літерно-цифрові позначки	293
14.2.3. Кваліфікувальні символи	295
14.2.4. Оформлення виводів схеми електричної принципової	296
14.2.5. Текстова інформація на креслениках електричних схем	296
14.2.6. Перелік елементів	297
<i>Запитання для самоперевірки</i>	<i>298</i>
ЧАСТИНА 3. ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ AUTOCAD ПРИ РОЗРОБЛЕННІ ТА ОФОРМЛЕННІ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ	299
РОЗДІЛ 15. ПОБУДОВА ТА РЕДАГУВАННЯ ГРАФІЧНИХ ПРИМІТИВІВ. СТВОРЕННЯ ШАБЛОНІВ. РОБОТА З БЛОКАМИ	301
15.1. Налаштування інтерфейсу програми	301
15.2. Налаштування одиниць вимірювання	305
15.3. Обрання режиму креслення	305
15.4. Налаштування шарів	307
15.5. Налаштування текстових стилів	310
15.6. Налаштування розмірних стилів.....	311
15.7. Створення листів	316
15.8. Створення рамки та основного напису	318
15.9. Побудова контуру рамки.....	323
15.10. Створення блоків з атрибутами	326
<i>Запитання для самоперевірки</i>	<i>329</i>
РОЗДІЛ 16. ВИКОНАННЯ ПЛАСКОГО КОНТУРУ ДЕТАЛІ.....	330
16.1. Робота з об'єктними прив'язками.....	330
16.2. Команди обрання, побудови та редагування об'єктів.....	332

16.3. Нанесення розмірів	337
<i>Запитання для самоперевірки</i>	<i>340</i>
РОЗДІЛ 17. ОСНОВИ 3D МОДЕЛЮВАННЯ.	
ПОБУДОВА ПРОЄКЦІЙНОГО КРЕСЛЕНИКА ДЕТАЛІ	
ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ РОЗРІЗІВ ОДНІЄЮ ПЛОЩИНОЮ.....	341
17.1. Команди створення твердотільних 3D об'єктів	341
17.2. Редагування 3D примітивів	345
17.3. Робота з булевими операціями.....	352
17.4. Система координат користувача	354
17.5. Компоновка кресленика.....	360
<i>Запитання для самоперевірки</i>	<i>377</i>
РОЗДІЛ 18. ПОБУДОВА ПРОЄКЦІЙНОГО КРЕСЛЕНИКА	
ДЕТАЛІ З ВИКОНАННЯМ РОЗРІЗІВ ДЕКІЛЬКОМА	
ПАРАЛЕЛЬНИМИ ПЛОЩИНАМИ	378
18.1. Етапи виконання 3D моделі	379
18.2. Виконання проєкційного кресленика.....	384
<i>Запитання для самоперевірки</i>	<i>387</i>
РОЗДІЛ 19. ОСНОВИ ПАРАМЕТРИЗАЦІЇ.	
ПАРАМЕТРИЗАЦІЯ ПЛАСКОГО КОНТУРУ	389
19.1. Геометричні залежності.....	391
19.2. Розмірні залежності.....	395
19.3. Диспетчер параметрів	397
19.4. Приклад параметризації плаского контуру	398
<i>Запитання для самоперевірки</i>	<i>404</i>
РОЗДІЛ 20. СТВОРЕННЯ 3D МОДЕЛІ ГАЙКИ НАКИДНОЇ	
З ЕЛЕМЕНТАМИ ПАРАМЕТРИЗАЦІЇ	405
20.1. Створення пласкої заготовки для її параметризації	
і виконання операції обертання	407
20.2. Побудова 3D моделі	410
20.3. Компоновка кресленика гайки накидної.....	413
<i>Запитання для самоперевірки</i>	<i>416</i>

РОЗДІЛ 21. СТВОРЕННЯ 3D МОДЕЛІ ВАЛА З ЕЛЕМЕНТАМИ ПАРАМЕТРИЗАЦІЇ. ОФОРМЛЕННЯ КРЕСЛЕНИКА ДЕТАЛІ	418
21.1. Виконання параметризації контуру перетину вала.....	419
21.2. Побудова 3D моделі вала	422
21.3. Побудова кресленника вала	426
<i>Запитання для самоперевірки</i>	<i>428</i>
РОЗДІЛ 22. СКЛАДАЛЬНИЙ КРЕСЛЕНИК	430
22.1. Складальний кресленник пристрою з нарізевими з'єднаннями.....	430
22.1.1. Застосування динамічних блоків для створення спрощених зображень кріпильних елементів	432
22.1.2. Оформлення складального кресленника	441
22.2. Виконання складального кресленника пристрою з нерознімними з'єднаннями.....	445
<i>Запитання для самоперевірки</i>	<i>450</i>
РОЗДІЛ 23. СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНІ ПРИНЦИПОВІ	451
23.1. Умовні графічні позначки елементів схеми електричної принципової.....	451
23.2. Виконання переліку елементів.....	453
<i>Запитання для самоперевірки</i>	<i>453</i>
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	456
ПЕРЕЛІК НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ.....	457

ВСТУП

У сучасному світі рівень успішності суспільства безпосередньо залежить від розвитку технічної освіти. Ключовим чинником підвищення її якості є впровадження інноваційних моделей навчання, що ґрунтуються на новітніх інформаційних ресурсах та цифрових технологіях. Формування професійних компетентностей здобувача вищої технічної освіти складна багатовимірна педагогічна задача. Рівень фахівця визначається не лише його науково – технічним кругозором, а і просторовим мисленням, креативністю та практичними навичками набутими протягом навчання.

Однією з дисциплін, яка закладає основи професійних компетентностей здобувача вищої технічної освіти, є «Інженерна та комп'ютерна графіка». У сучасному інженерному світі графічна грамотність – це здатність вільно оперувати геометричними моделями, майстерно володіти цифровими інструментами проектування та створювати конструкторську документацію відповідно до вимог національних стандартів України, гармонізованих з Європейськими та міжнародними (ISO, EN, IEC) системами стандартизації. Уміння працювати за міжнародними стандартами є обов'язковою умовою для інтеграції вітчизняної інженерії у глобальний простір.

Державний стандарт освіти вимагає переходу до навчальних видань практико-орієнтованого типу. З огляду на це та спираючись на власний досвід викладання курсу [1, 2] у даному підручнику автори відійшли від класичного викладу навчального матеріалу на користь алгоритмічного підходу, зумовленого специфікою дисципліни. У даному виданні відображені результати впровадження гібридних технологій навчання, у яких основну роль відіграють дистанційні курси викладені авторами на платформі дистанційного навчання «Сікорський» НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського» та запроваджені у навчальний процес. Підручник відіграє роль інструменту керування навчальною пізнавальною діяльністю здобувачів вищої технічної освіти забезпечуючи активну освітню технологію та керовану самостійну роботу.

Підручник створений відповідно до силабусу спеціальності ***G5 Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка***. Представлений у ньому навчальний матеріал комплексно інтегрує основи теоретичного геометричного

і комп'ютерного тривимірного моделювання, елементи параметризації в середовищі САПР AutoCAD та актуальні вимоги нової системи стандартизації.

Навчальний матеріал підручника структуровано за трьома частинами:

1. **«Геометричне моделювання в ортогональних проекціях».** У цій частині подано навчальний матеріал, вивчення якого закладає фундамент просторового мислення та дозволяє опанувати «азбуку» моделювання об'єктів, без якої неможливе розуміння складних форм пристроїв радіоелектронної апаратури.

2. **«Загальні вимоги стандартів щодо оформлення конструкторської документації».** Тут розглядаються правила оформлення конструкторської документації відповідно до норм чинних в Україні стандартів, що відповідають міжнародним. Ці знання дозволять Вам спілкуватися з інженерами усього світу єдиною професійною мовою.

3. **«Застосування системи автоматизованого проектування AutoCAD при розробленні та оформленні конструкторської документації».** Ця частина є практичною реалізацією знань отриманих при вивченні перших двох частин курсу. Ви навчитесь створювати професійну документацію, використовуючи сучасні цифрові інструменти на прикладі САПР AutoCAD.

У Додатку представлено актуальний перелік нормативних документів (ДСТУ EN ISO / ДСТУ ISO) станом на 01.05.2026 р., який буде корисним не лише здобувачам вищої технічної освіти, але й викладачам та інженерам.

Для підвищення ефективності навчання підручник інтегровано з дистанційними курсами на навчальній платформі дистанційного навчання «Сікорський» (система управління навчанням Moodle):

- **«Нарисна геометрія»** (<https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1995>) містить інтерактивний конспект лекцій з покроковим викладанням теорії курсу, доступний з будь-якого пристрою.

- **«Інженерна та комп'ютерна графіка»** (<https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=3362>) – основою курсу є відеолекції з докладними інструкціями щодо роботи в AutoCAD, що дозволяє опановувати навчальний матеріал курсу самостійно.

Запропонований у підручнику комплекс навчальних матеріалів допоможе Вам автоматизувати процес створення конструкторської документації та вибудувати власну траєкторію навчання у зручний для Вас час.

Рекомендації щодо роботи з підручником

Для досягнення максимального результату при вивченні курсу рекомендується наступний алгоритм організації власної пізнавальної діяльності:

Крок 1. Теоретична підготовка. Прочитайте відповідну тему у підручнику. Це допоможе зрозуміти логіку навчального матеріалу і вимоги до заданого практичного завдання.

Крок 2. Сприйняття та коментарі. Перегляньте електронний конспект лекцій або відеолекцію на платформі «Сікорський». Це дозволить Вам зрозуміти процес виконання практичного завдання з професійними коментарями.

Крок 3. Практичне виконання. Виконайте практичне завдання за власним варіантом. У разі потреби повторно зверніться до відповідних матеріалів підручника, інтерактивного конспекту чи відеолекції.

Крок 4. Самоконтроль. Перевірте виконане практичне завдання на відповідність стандартам. Пам'ятайте, що якісно підготовлений кресленик – це не просто зображення, а надійна інструкція для виробництва, що не допускає подвійних тлумачень.

Системна робота за цією методикою забезпечить Вам здобуття фахових компетентностей, що стануть запорукою успіху у майбутній професії.

ЧАСТИНА 1
ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ
В ОРТОГОНАЛЬНИХ ПРОЄКЦІЯХ

РОЗДІЛ 1. ПРЕДМЕТ І МЕТОД НАРИСНОЇ ГЕОМЕТРІЇ. ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ У СИСТЕМІ ОРТОГОНАЛЬНИХ ПЛОЩИН

ВСТУП. ПРЕДМЕТ І МЕТОД НАРИСНОЇ ГЕОМЕТРІЇ

Нарисна геометрія наука, за допомогою методів якої складні просторові і планіметричні задачі розв'язуються графічно.

Предмет нарисної геометрії – розроблення алгоритмів геометричного моделювання об'єктів і процесів.

Основний метод нарисної геометрії – метод проєкціювання. За допомогою цього методу отримують плоскі зображення просторових об'єктів. Лише методи і способи нарисної геометрії дозволяють розв'язувати просторові задачі графічно за допомогою їх плоских зображень (проєкцій). Тому нарисна геометрія, як наука, має важливе прикладне значення.

До основних задач, які можна вирішувати за допомогою методів нарисної геометрії належать:

- побудова плоских зображень різноманітних тривимірних об'єктів (побудова креслень);
- відтворення тривимірних об'єктів за їх плоскими зображеннями (читання креслення);
- дослідження геометричних властивостей (форми, розмірів, взаємного розташування у просторі) об'єктів за їх плоскими зображеннями;
- розв'язок просторових задач графічними методами;
- розв'язок загальноосвітніх задач за допомогою використання методів нарисної геометрії як засобу пізнання світу;
- розвиток просторового (творчого) мислення здобувачів вищої технічної освіти.

Задачі нарисної геометрії можна поділити на дві групи. Перша група – *позиційні задачі*. Це задачі, в яких необхідно визначити положення об'єкта у просторі або взаємне положення об'єктів. Друга група задач – *метричні*. Це задачі,

в яких досліджується метрика об'єкта, тобто виконуються побудови, за допомогою яких можна вимірювати дійсні величини відрізків, кутів, обчислювати площі плоских фігур тощо.

1.1. Геометричне моделювання точки і прямої

Зображення об'єкта на площині побудоване у відповідності до законів геометричної оптики, які об'єктивно діють у реальному світі, називають його проєкцією на цю площину.

Метод проєкцій використовують для побудови зображень в нарисній геометрії.

Існує два основні методи проєкціювання: центральне проєкціювання і паралельне проєкціювання.

1.1.1. Метод центрального проєкціювання

Апарат методу центрального проєкціювання складається з площини проєкцій Π , напрямку проєкціювання s і об'єкта проєкціювання (точки, лінії тощо), що знаходиться поза площиною проєкцій. При побудові центральної проєкції точки слід з'єднати центр проєкціювання S та задану точку A прямою лінією (променем) і продовжити її до перетину з площиною проєкцій Π . Результатом перетину проєкціюючого променя з площиною проєкцій Π є точка A_{Π} , яка і є центральною проєкцією точки A на площину проєкцій Π (рис. 1.1, а).

Нехай через точку A проходить деяка крива. Необхідно знайти центральну проєкцію цієї кривої на площину проєкцій Π . Обираємо на кривій допоміжні точки B, C, D, E . Знаходимо центральні проєкції $B_{\Pi}, C_{\Pi}, D_{\Pi}, E_{\Pi}$ точок B, C, D, E за допомогою проєкціюючих променів b, c, d, e на площину проєкцій Π . З'єднуємо отримані проєкції кривою лінією. Отримуємо центральну проєкцію $B_{\Pi}, C_{\Pi}, D_{\Pi}, E_{\Pi}$ заданої кривої (рис. 1.1, б, в, г). За необхідності уточнення проєкції кількість точок може бути збільшена.

Проекціюючі промені, що виходять з центра проєкціювання S , утворюють у просторі проєкціюючу конічну поверхню. Тому цей метод проєкціювання називають ще *конічним або полярним*, оскільки центр проєкціювання точку S ще називають полюсом.

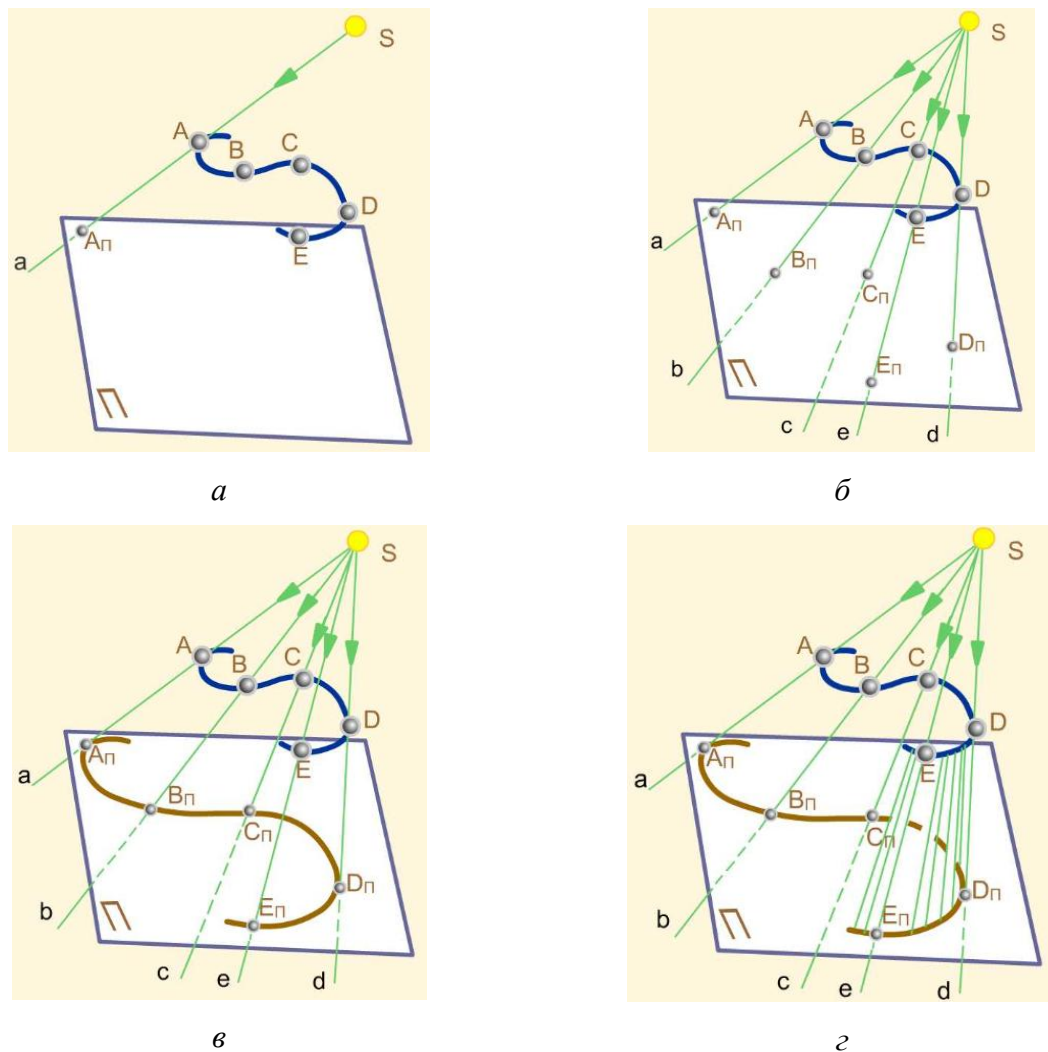


Рис. 1.1

Проекція $A_{\Pi}B_{\Pi}C_{\Pi}D_{\Pi}E_{\Pi}$ кривої $ABCDE$ є лінією перетину проєкціюючої конічної поверхні з площиною проєкцій Π .

Отримана проєкція не є точною копією об'єкта проєкціювання. Тобто, при центральному проєкціюванні відбувається відображення об'єкта проєкціювання в його плоске зображення з деякою зміною його форми і розмірів. Таке проєкціювання називають перспективним (або перспективою). Разом з тим нескладно побачити, що при такому перетворенні деякі властивості об'єкта проєкціювання зберігаються, а саме:

- зображення точки є точкою;
- зображення прямої в загальному випадку є прямою (проєкція проєкціюючої прямої вироджується у точку перетину цієї прямої з площиною проєкцій);

- точка перетину прямих є точкою перетину їх проєкцій;
- якщо точка належить до якої-небудь прямої (кривої), то і проєкції цієї точки

належать проєкціям тієї ж прямої (кривої), тощо.

Тобто між об'єктом проєкціювання і його зображенням існують відповідні зв'язки, які дозволяють досліджуючи зображення, робити висновки про геометричні властивості об'єкта проєкціювання. Але на рис. 1.1 видно, що отримана проєкція, є спотвореним зображенням, що не відповідає розміру цієї лінії у просторі. Тому цей вид проєкціювання не використовують для побудови технічних креслень об'єктів, які супроводжуються нанесенням розмірів.

На зображеннях отриманих методом центрального проєкціювання кожній точці простору відповідає її єдина проєкція. Але проєкції точки відповідає множина точок простору, які розташовані на одному проєкціюючому промені. Тому можна зробити висновок, що *центральна проєкція об'єкта є зображенням неповним, по якому неможливо відновити форму об'єкта у просторі.*

1.1.2. Метод паралельного проєкціювання

При паралельному проєкціюванні використовують площину проєкцій, напрямок проєкціювання s та об'єкт проєкціювання, що знаходиться поза площиною проєкцій. У цьому випадку проєкціюючі промені розташовуються паралельно один одному та напрямку проєкціювання s .

Розглянемо приклад. Нехай у просторі розташовано деяку точку A . Необхідно отримати її паралельну проєкцію на площину проєкцій Π . Проводимо проєкціюючий промінь паралельно до напрямку проєкціювання s_{Π} . В перетині з площиною проєкцій Π отримуємо A_{Π} – паралельну проєкцію точки A (рис. 1.2, *a*).

Щоб побудувати проєкцію кривої лінії $ABCD$ обирають на ній ряд точок, через які проводять проєкціюючі промені b_{Π} , c_{Π} , d_{Π} , e_{Π} . При їх перетині з площиною проєкцій Π отримують сукупність проєкцій точок, які у результаті їх з'єднання утворюють проєкцію кривої (рис. 1.2, *б, в, г*). У разі необхідності уточнення форми кривої обирають більшу кількість точок. У загальному випадку крива проєкціюється зі спотворенням.

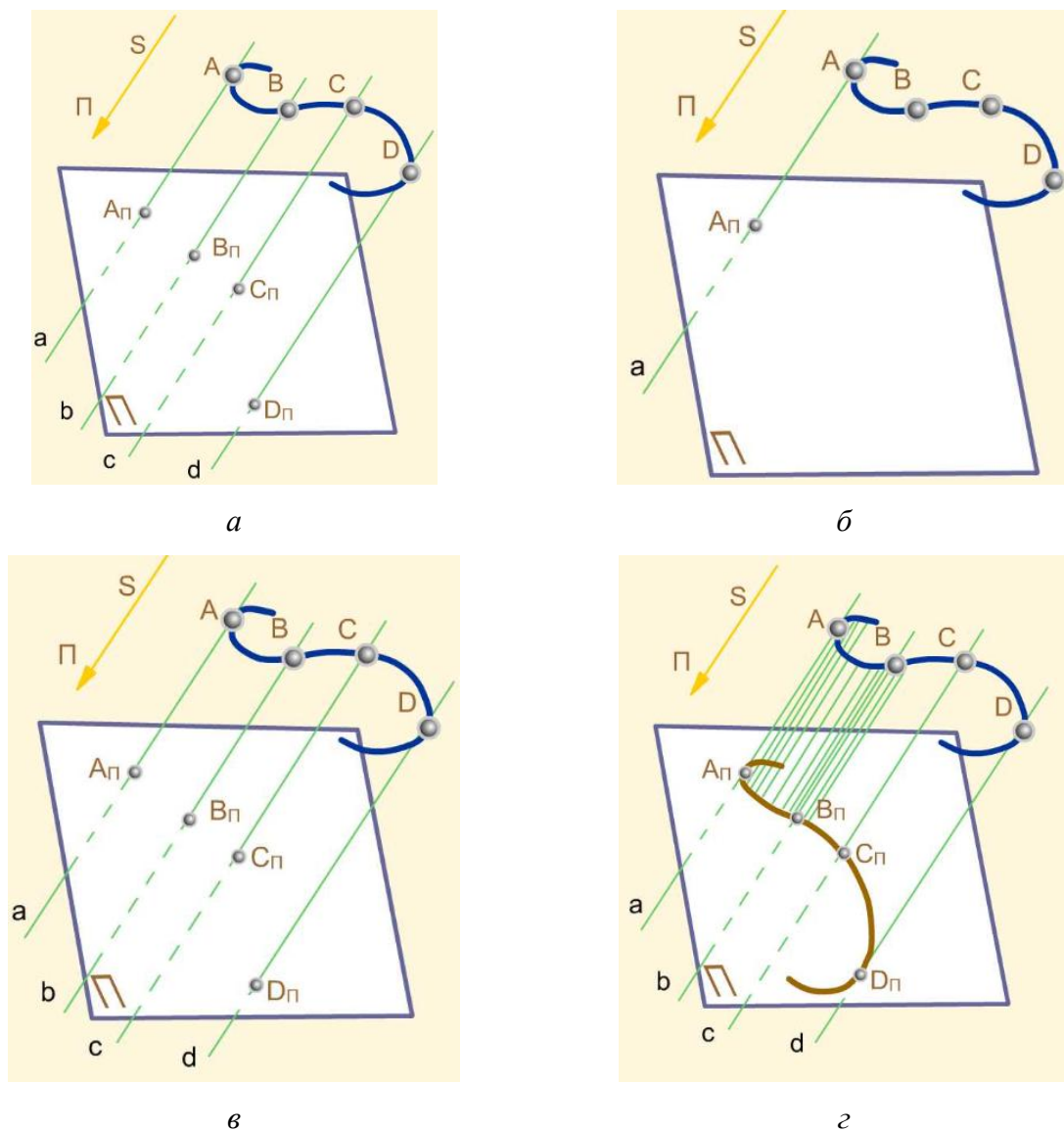


Рис. 1.2

Оскільки при цьому методі проєкціювання проєкціюючі промені утворюють у просторі циліндричну поверхню, то такий метод паралельного проєкціювання ще називають *циліндричним*. Проєкція $A_{\pi}B_{\pi}C_{\pi}D_{\pi}$ кривої ABCD є лінією перетину проєкціюючої циліндричної поверхні з площиною проєкцій П.

Залежно від кута нахилу напрямку проєкціювання s по відношенню до площини проєкцій П розрізняють косокутне паралельне проєкціювання (кут нахилу напрямку проєкціювання s не дорівнює 90°) та прямокутне (ортогональне) паралельне проєкціювання (кут нахилу s дорівнює 90°). У загальному випадку об'єкти проєкціюються на площину проєкцій спотворено. При фіксованому положенні площини проєкцій характер спотворення залежить від положення об'єкта відносно площини

проекцій та напрямку проєкціювання. При паралельному проєкціюванні зберігаються ті ж властивості, що і при центральному. Перевагою паралельного проєкціювання перед центральним є деякі його властивості. Вони такі:

- проєкції двох паралельних прямих паралельні між собою;
- відношення відрізків однієї і тієї ж прямої дорівнює відношенню проєкцій цих двох відрізків;
- відношення відрізків паралельних прямих дорівнює відношенню проєкцій цих відрізків.

Ортогональне проєкціювання має переваги перед центральним та косокутним паралельним проєкціюванням в тому, що геометричні побудови при цьому виді проєкціювання простіші, а при деяких умовах ортогональні проєкції не спотворюються і зберігають форму та розміри оригіналу. *Вказані переваги обумовили переважне використання цього виду проєкціювання при побудові технічних креслень об'єктів, які супроводжуються нанесенням розмірів.*

При паралельному проєкціюванні кожній точці простору на площині проєкцій відповідає її єдина проєкція. Наприклад, точці A відповідає її проєкція $A_{\text{п}}$. Але проєкції $A_{\text{п}}$ може відповідати безліч точок простору A' , A'' тощо. Робимо висновок, що при паралельному проєкціюванні як і при центральному одна проєкція точки є зображенням неповним, що не дозволяє відтворити цю точку у просторі (рис. 1.2).

1.1.2.1. Способи відтворення положення моделі точки у просторі за її заданою проєкцією

Зображення має практичну цінність якщо за ним можна визначати дійсні розміри форми об'єкта проєкціювання, взаємне розташування у просторі усіх точок, які його утворюють, тощо. Таке зображення називають відтворюваним. Які ж умови необхідні, щоб зображення було відтворюваним? Ці умови можуть бути створені різними способами. З існуючих способів побудови відтворюваних зображень розглянемо лише ті, які найбільше поширені в інженерній графіці.

На рис. 1.2, *а* та рис. 1.3, *а* видно, що при паралельному як і при центральному проєкціюванні кожній точці простору на площині проєкцій відповідає її єдина

проекція. Наприклад, точці A відповідає її проекція A_1 (позначимо площину проєкцій Π_1) (рис. 1.3, *a*). Але при відомій проєкції точки неможливо на напрямку проєкціювання віднайти саму точку. Тобто, *одна проєкція точки є зображенням не повним і за ним не можна робити висновок про її положення у просторі.*

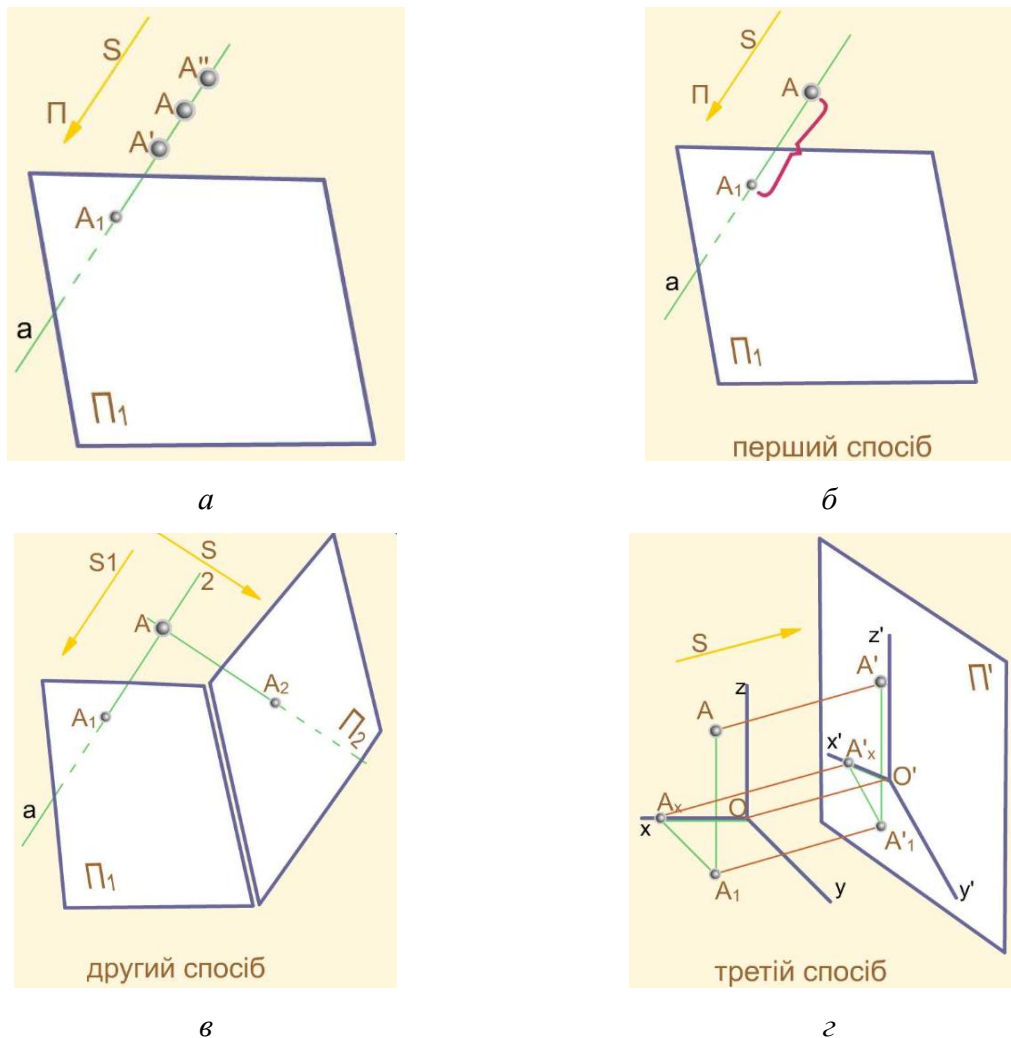


Рис. 1.3

Відомо три способи вирішення цієї проблеми. *Перший спосіб* називається «проєкції з числовими відмітками» і полягає у тому, що уздовж проєкціюючого променя у напрямку від проєкції точки відкладають числове значенні відстані $A-A_1$ і отримують саму точку (рис. 1.3, *б*). Числова відмітка доповнює проєкційне зображення і є додатковим його елементом. Спосіб використовують для побудови ландшафту місцевості.

Другий спосіб полягає у тому, що проєкцію A_1 доповнюють ще однією проєкцією A_2 цієї точки на площину проєкцій Π_2 . У перетині відповідних проєкціюючих променів отримують точку A (рис. 1.3, в). Тобто *дві проєкції точки є зображенням повним, що дає інформацію про положення об'єкта у просторі*.

Третій спосіб – аксонометричне проєкціювання. При такому проєкціюванні точку відносять до системи координатних осей Ox , Oy , Oz і разом з ними проєкціюють на аксонометричну площину Π' . Залежно від напрямку проєкціюючих променів, положення аксонометричної площини тощо отримане зображення може бути спотвореним але буде містити інформацію про положення об'єкта у просторі (рис. 1.3, г).

Крім двох мінімально необхідних площин проєкцій для отримання відтворюваного проєкційного зображення можна проєкціювати об'єкти і на більшу кількість площин і отримувати зображення на трьох, чотирьох і більше площинах проєкцій.

1.1.3. Метод ортогонального проєкціювання

У практиці технічного конструювання використовується *метод ортогонального проєкціювання*.

Розглянемо проєкціювання на три взаємно перпендикулярні площини проєкцій: Π_1 – *горизонтальну* площину проєкцій, Π_2 – *фронтальну* і Π_3 – *профільну* площину проєкцій (рис. 1.4, а). Лінії перетину площин проєкцій називають *осями проєкцій* (Ox , Oy , Oz), точка O – *початок осей проєкцій*. s_1 , s_2 , s_3 – *напрямки проєкціювання* на відповідні площини проєкцій.

Оскільки проєкціювання ортогональне, кожен з напрямків розташований перпендикулярно до відповідної площини проєкцій. Задамо у просторі системи трьох площин проєкцій точку A і побудуємо її проєкції: A_1 (*горизонтальну проєкцію*), A_2 (*фронтальну проєкцію*), A_3 (*профільну проєкцію*). Відрізки $A-A_1$, $A-A_2$ і $A-A_3$ характеризують відповідно *висоту*, *глибину* і *широту* точки у просторі тригранного кута перпендикулярних площин проєкцій. Кожен з цих відрізків проєкціюється без спотворення на відповідну площину проєкцій (рис. 1.4, а, б, в, г). A_x , A_y , A_z – проєкції точки на відповідні осі проєкцій.

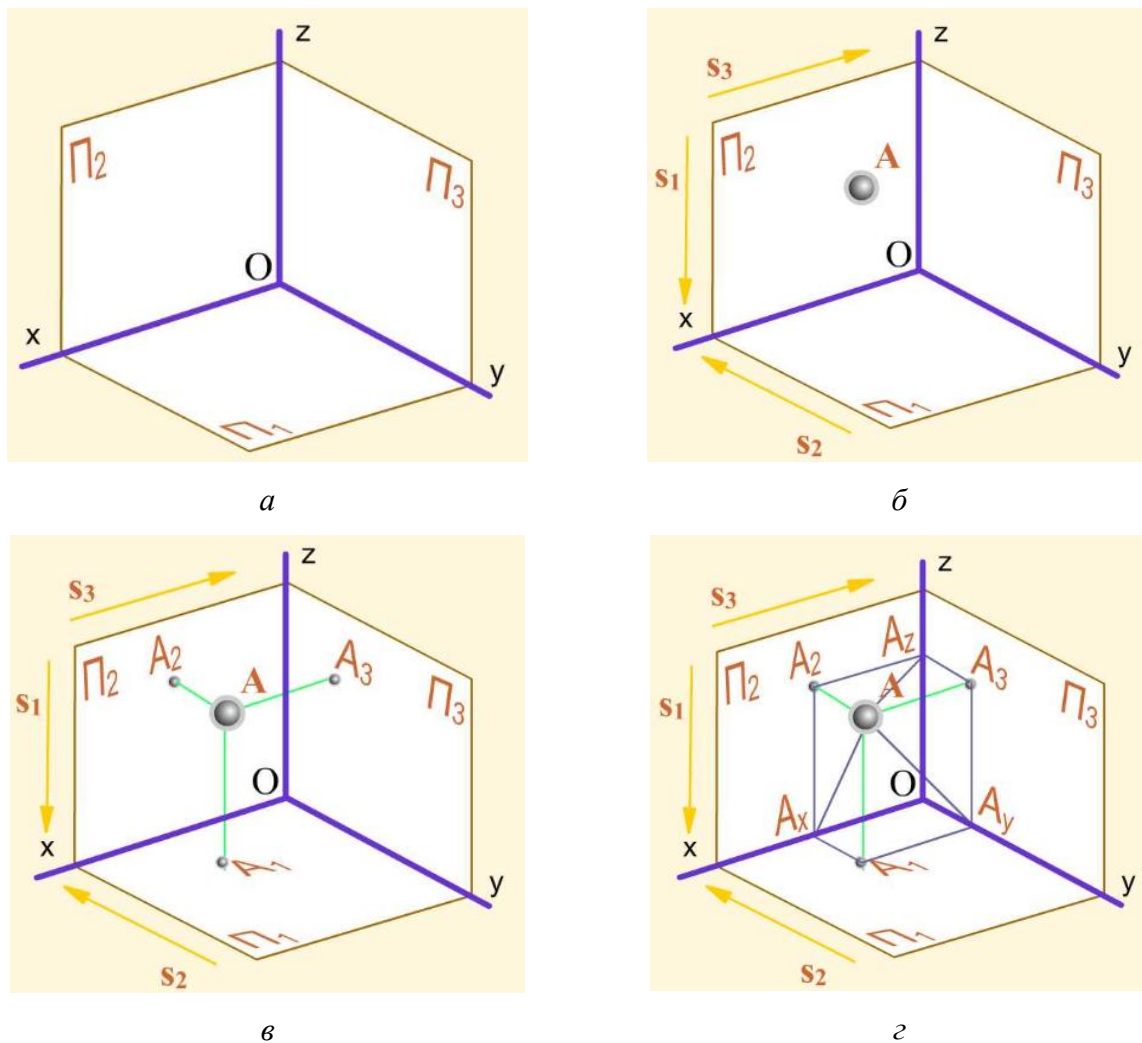


Рис. 1.4

1.1.4. Комплексне креслення

На рис. 1.5, а, б, в, г показано процес створення комплексного креслення точки. При цьому горизонтальну площину проєкцій Π_1 з проєкцією точки $A-A_1$ поворотом навколо осі Ox суміщають з фронтальною площиною проєкцій Π_2 .

Профільну площину проєкцій Π_3 разом з проєкцією точки $A-A_3$ поворотом навколо осі Oz суміщають з тією ж фронтальною площиною проєкцій Π_2 . У результаті суміщення отримують комплекс з двох пар взаємно пов'язаних площин проєкцій – *комплексне креслення*. При цьому положення осей Ox і Oz залишається незмінним, а вісь Oy повторюється двічі: з горизонтальною площиною проєкцій Π_1-Oy_1 , і з профільною площиною проєкцій Π_3-Oy_3 .

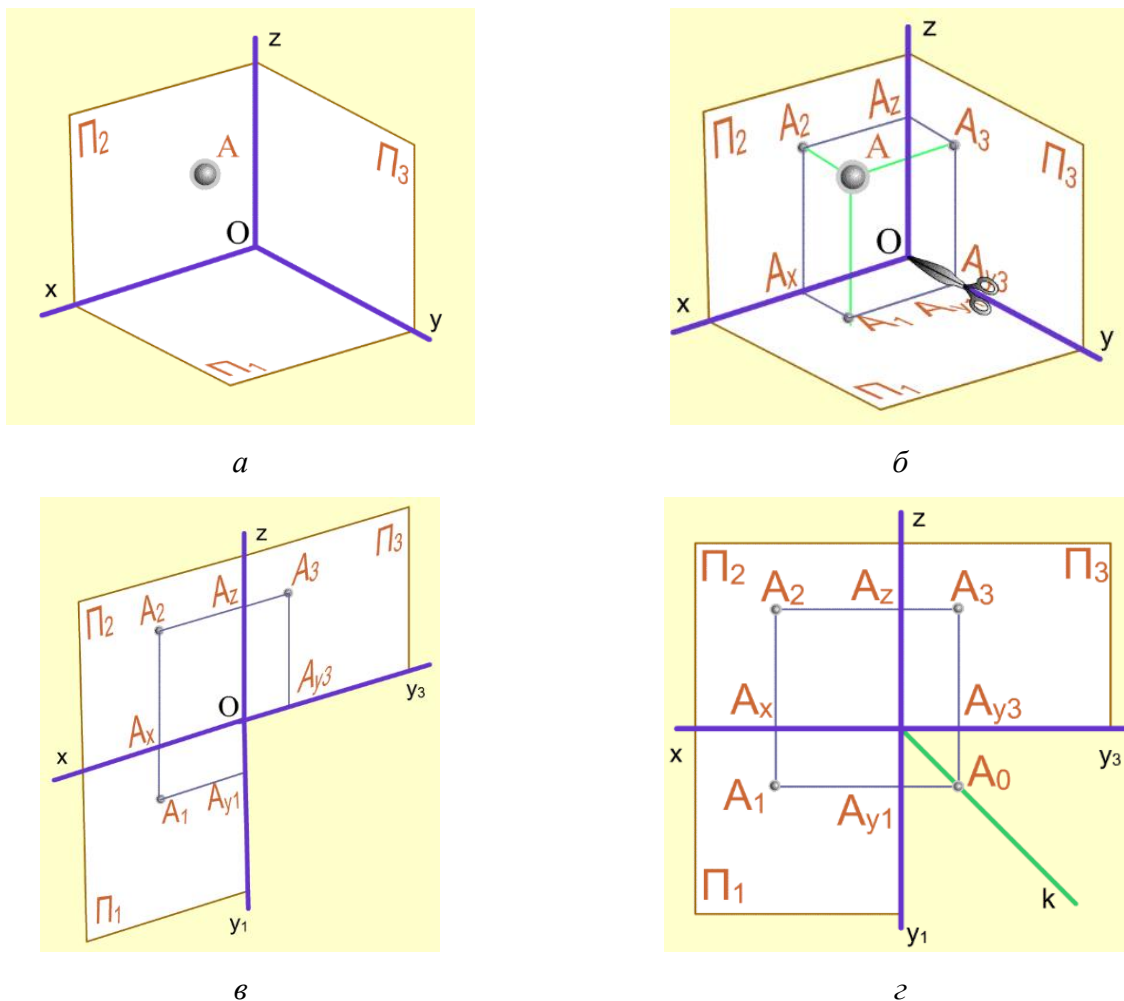


Рис. 1.5

Проекції точки $A-A_1$ та A_2 , A_2 та A_3 розташовуються на перпендикулярах до відповідних осей проєкцій (рис. 1.5, г). Ці перпендикуляри – лінії зв'язку – вертикальна і горизонтальна. На комплексному кресленні дві проєкції точки знаходяться на одній лінії зв'язку перпендикулярній до відповідної осі проєкцій. Лінію A_1-A_2 називають *вертикальною лінією зв'язку*, A_2-A_3 *горизонтальною лінією зв'язку*, а $A_1-A_0-A_3$ *ламаною лінією зв'язку*. A_0 знаходиться на бісектрисі прямого кута утвореного осями Oy_1 і Oy_2 при розвороті площин проєкцій Π_1 і Π_3 . Бісектрису кута називають *постійною прямою кресленника k*.

1.1.5. Задання проєкцій точок за допомогою координат

Для чисельного задання на епюрі (кресленні) положення проєкцій точок в нарисній геометрії використовують той же метод координат, що і в аналітичній геометрії. Він полягає в наступному. Положення точки, як і будь-якого об'єкта,

в просторі можна визначити, якщо віднести її до деякої координатної системи. Наприклад, такої, що складається з трьох взаємно перпендикулярних координатних площин. Тоді положення точки визначається відстанями від координатних площин. Ці відстані дорівнюють координатним відрізкам, які можуть бути відкладені на відповідних осях координат. В такому випадку точка в просторі задається трьома координатами $A(x, y, z)$.

Координатами точки називають числа, які відображають величину відповідних координатних відрізків в деяких одиницях вимірювання довжин.

Якщо сумістити таку координатну систему з системою ортогональних площин проєкцій, то не лише саму точку, але і її проєкції можна задавати відповідними значеннями координат. Горизонтальна проєкція точки $A-A_1$ характеризується координатами x, y , фронтальна A_2-x, z , профільна A_3-y, z . Відповідно можна стверджувати, що будь-які **дві ортогональні проєкції точки визначають її положення у просторі**: $A(A_1, A_2)$, $A(A_2, A_3)$, $A(A_1, A_3)$, тому що вони мають інформацію про три її координати. Наприклад, $A(A_1, A_2) \rightarrow A_1(x, y)$, $A_2(x, z)$ тощо.

Слід звернути увагу на те, що при розвороті площин проєкцій в процесі побудови комплексного креслення осі ox і oz не змінили свого положення, а вісь oy роздвоїлась на oy_1 та oy_3 оскільки вона одночасно належить як площині проєкцій P_1 , так і P_3 . З цього спостереження слід зробити важливий висновок, що при побудові проєкцій точок за заданими значеннями координат, значення координати y можна відкладати від точки O як вниз уздовж осі oy_1 , так і праворуч – уздовж осі oy_3 (рис. 1.5, з).

1.1.6. Побудова третьої проєкції точки за її двома заданими проєкціями

Попередньо було показано, що дві проєкції точки визначають її положення у просторі. Тобто, якщо задано дві проєкції точки, то за допомогою них можуть бути визначені усі три її координати. Кожна проєкція точки задається двома координатами. Тому для побудови третьої проєкції точки слід:

- виміряти на комплексному кресленні необхідну пару координат, користуючись двома заданими проєкціями точки;

- відкласти одержані координати у відповідній площині проєкцій і, виконавши необхідні графічні побудови, знайти третю проєкцію точки.

Існує декілька способів побудови третьої проєкції точки. В усіх випадках користуються тим правилом, що дві проєкції точки лежать на одній лінії зв'язку перпендикулярній до відповідної осі проєкцій. Відрізняються способи лише графічними побудовами, які використовуються при вимірюванні та відкладенні необхідних координат. Якщо задані дві проєкції точки A_1 і A_2 , то для побудови проєкції A_3 значення координати z можна перенести за допомогою горизонтальної лінії зв'язку. Значення координати y може бути перенесене одним із наступних способів:

Координатний спосіб – вимірюванням значення координати y уздовж осі Oy_1 від A_x і відкладенням отриманого значення уздовж осі Oy_3 від A_z (рис. 1.6, а, б);

Проекційний спосіб – значення координати y відкладають на осях Oy_1 і Oy_3 від центра проєкцій O будь-яким способом. Проєкцію точки A – A_3 знаходять у перетині відповідних ліній зв'язку (рис. 1.6, а, в);

За допомогою постійної прямої креслення k . У цьому способі при перенесенні значення координати y використовується ламана лінія зв'язку (рис. 1.6, а, г).

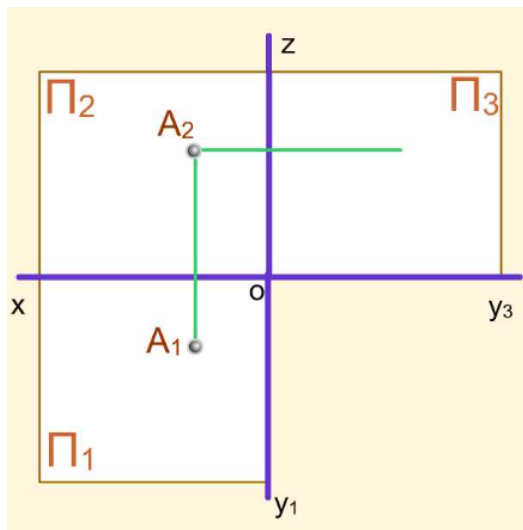
Алгоритм побудови третьої проєкції точки у інших площинах проєкцій аналогічний до попередньо розглянутого.

За подібним алгоритмом виконуються зворотні побудови, коли точка задана проєкціями і необхідно виміряти значення її координат. Спочатку вимірюємо координату x (рис. 1.7, а), потім y і z (рис. 1.7, б, в). При цьому можна скористатись і профільною проєкцією точки (рис. 1.7, г).

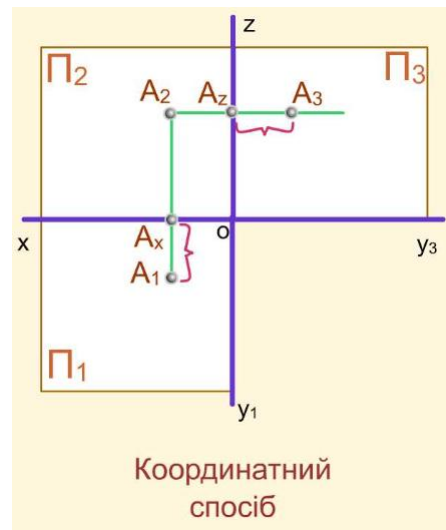
Як зазначалось вище, основними задачами нарисної геометрії є побудова та читання креслення. Комплексне креслення точки містить усю необхідну інформацію для визначення її положення в системі площин проєкцій. За комплексним кресленням можна визначити координати точки, її відстань від площин та осей проєкцій, інші задачі. Розглянемо деякі з них.

Побудуємо комплексне креслення точки за заданими значеннями її координат – $A(x, y, z)$ (рис. 1.7). Виконуємо побудови за наступним алгоритмом. Ліворуч центра

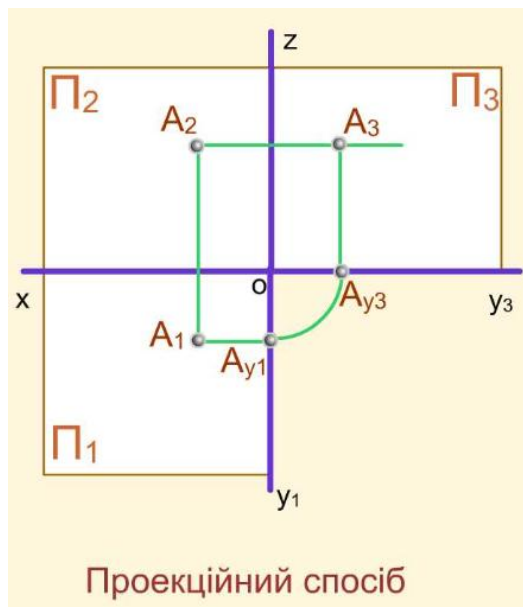
проекцій O у напрямку осі Ox відкладаємо значення координати x (рис. 1.7, *а*). В отриманій точці A_x проводимо вертикальну лінію зв'язку. По цій лінії зв'язку вгору від A_x відкладаємо значення координати z , отримуємо фронтальну проекцію точки $A-A_2$ (рис. 1.7, *в*). При відкладенні вниз по цій лінії зв'язку значення координати y отримуємо горизонтальну проекцію точки $A-A_1$ (рис. 1.7, *б*). Профільна проекція точки A_3 може бути знайдена одним із попередньо зазначених способів побудови третьої проекції точки (рис. 1.7, *г*).



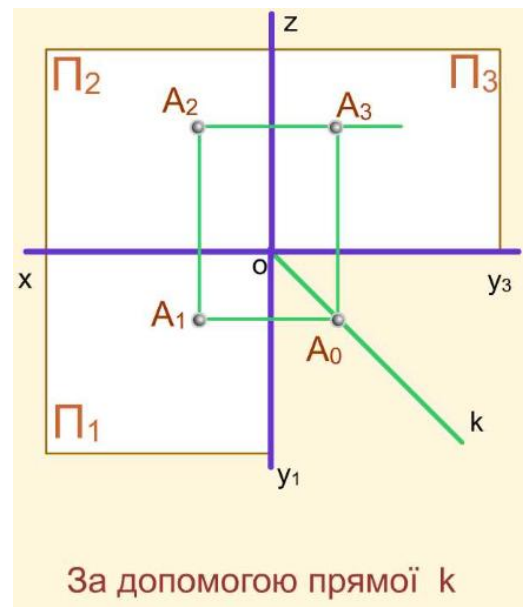
а



б

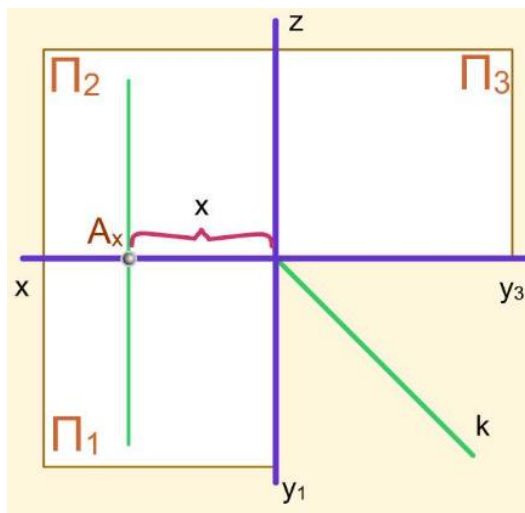


в

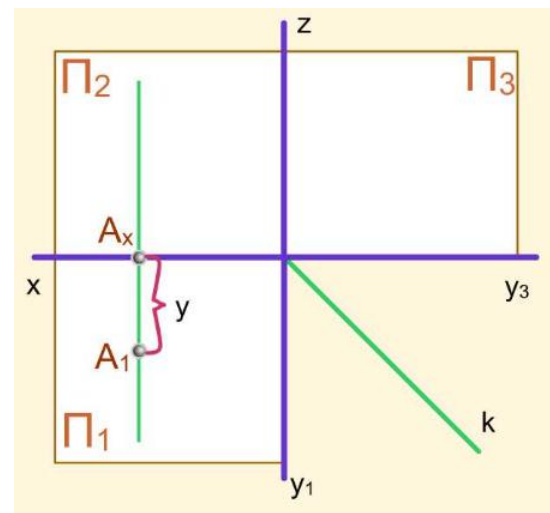


г

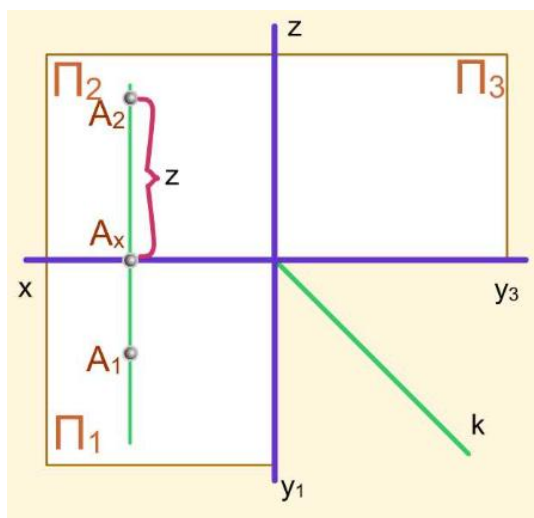
Рис. 1.6



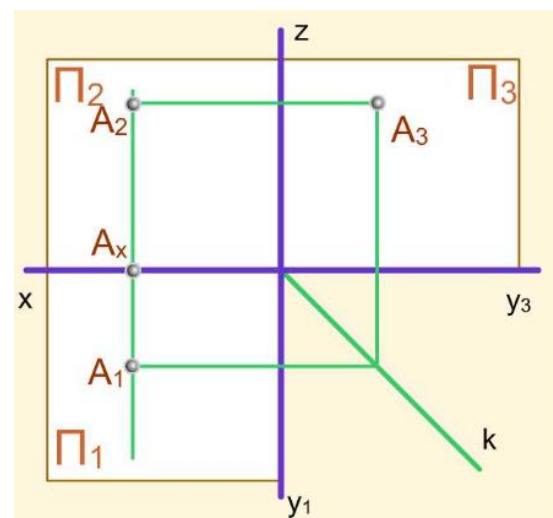
а



б



в



г

Рис. 1.7

Наступна задача: за комплексним кресленням виміряти відстані, на яких знаходиться точка від площин і осей проєкцій.

Аналізуючи умовний паралелепіпед утворений за допомогою проєкціюючих променів у просторі тригранного кута ортогональних площин проєкцій можна побачити, що координати x , y і z можуть бути виміряними на лініях зв'язку паралельних відповідним осям проєкцій (рис. 1.8, а, б, в – за рівністю вертикальних ребер паралелепіпеда). Це відстані від відповідних площин проєкцій. Відстані до осей можуть бути виміряними уздовж відповідних діагоналей граней паралелепіпеда (рис. 1.8, в, г).

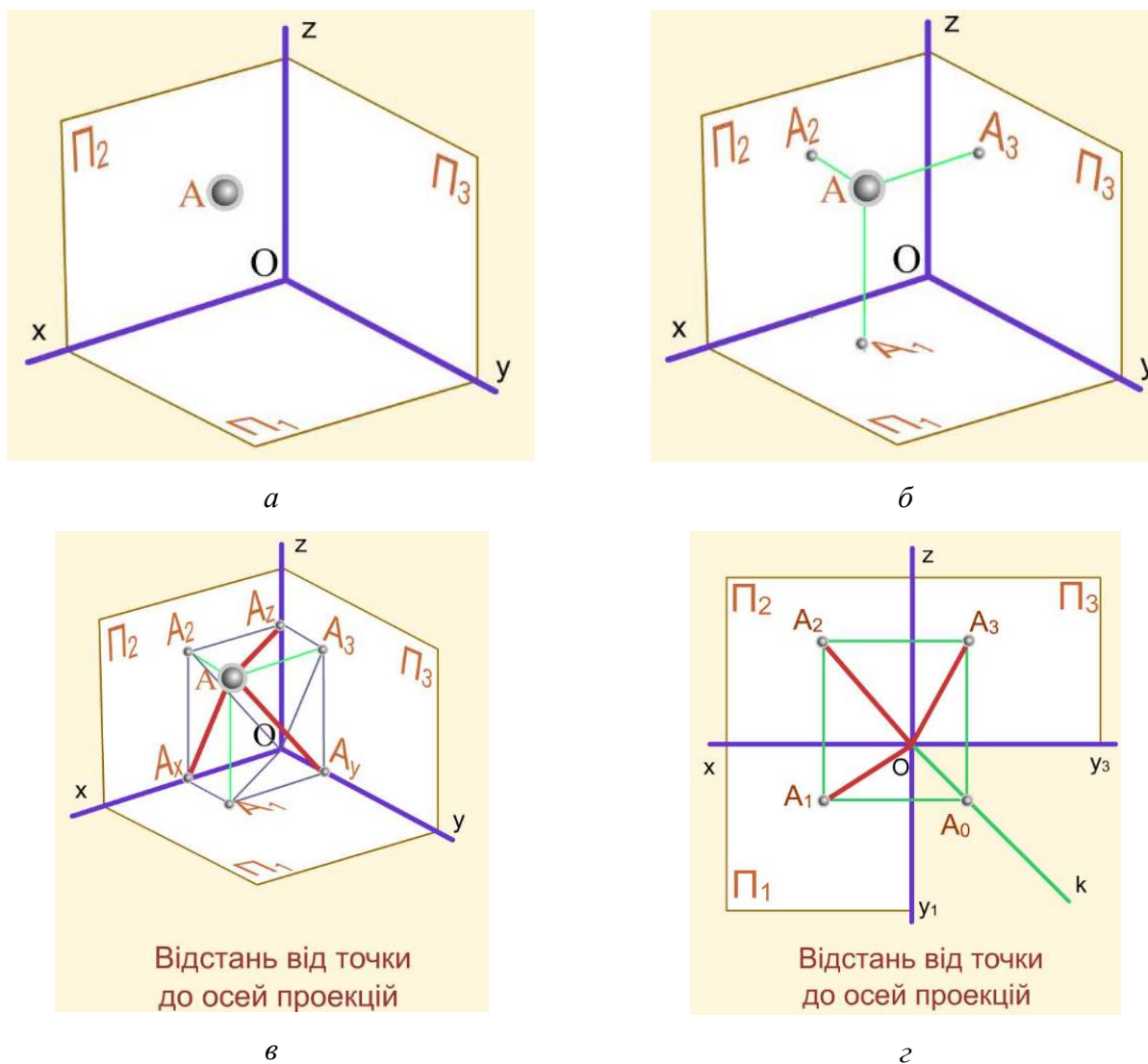
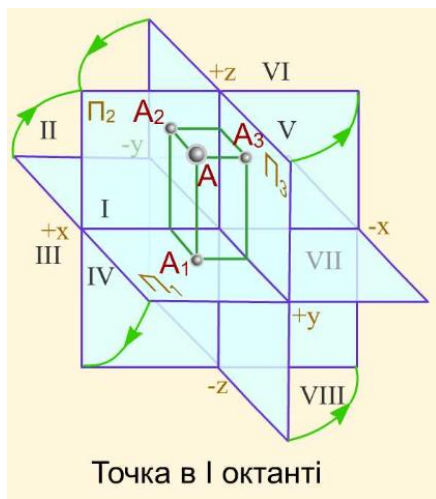


Рис. 1.8

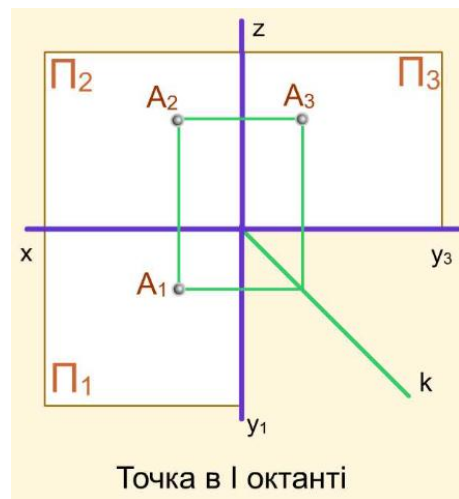
1.1.7. Моделювання точки у просторі восьми октантів

У загальному випадку площини проєкцій створюють у просторі вісім тригранних кутів – вісім октантів. Нумерацію октантів та положення осей проєкцій показано на рис. 1.9, а, в.

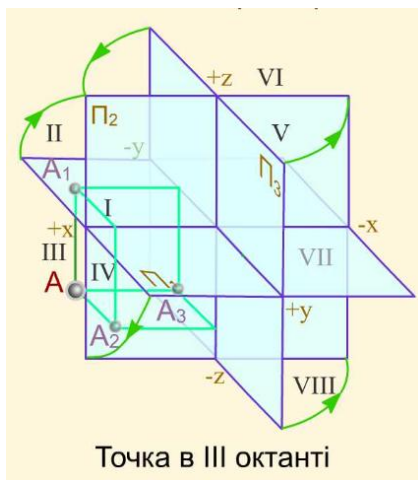
На рис. 1.9, б, г показано побудову проєкцій точки на комплексному кресленику у першому і третьому октантах відповідно.



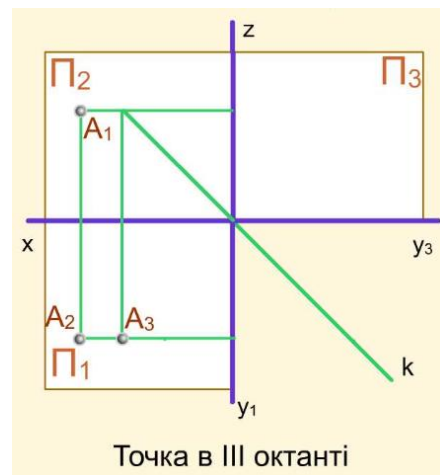
a



б



в



г

Рис. 1.9

1.1.8. Положення точок відносно площин проєкцій

Можуть бути три випадки розташування точки у системі ортогональних площин проєкцій:

- точка знаходиться у просторі тригранного кута площин проєкцій. У цьому випадку жодна з її трьох координат не дорівнює нулю (рис. 1.4, *г*);
- точка знаходиться у площині проєкцій. Відповідно одна з її координат дорівнює нулю (рис. 1.10, *a, б*);
- точка знаходиться на осі проєкцій. Тоді її дві координати дорівнюють нулю (рис. 1.10, *в, г*).

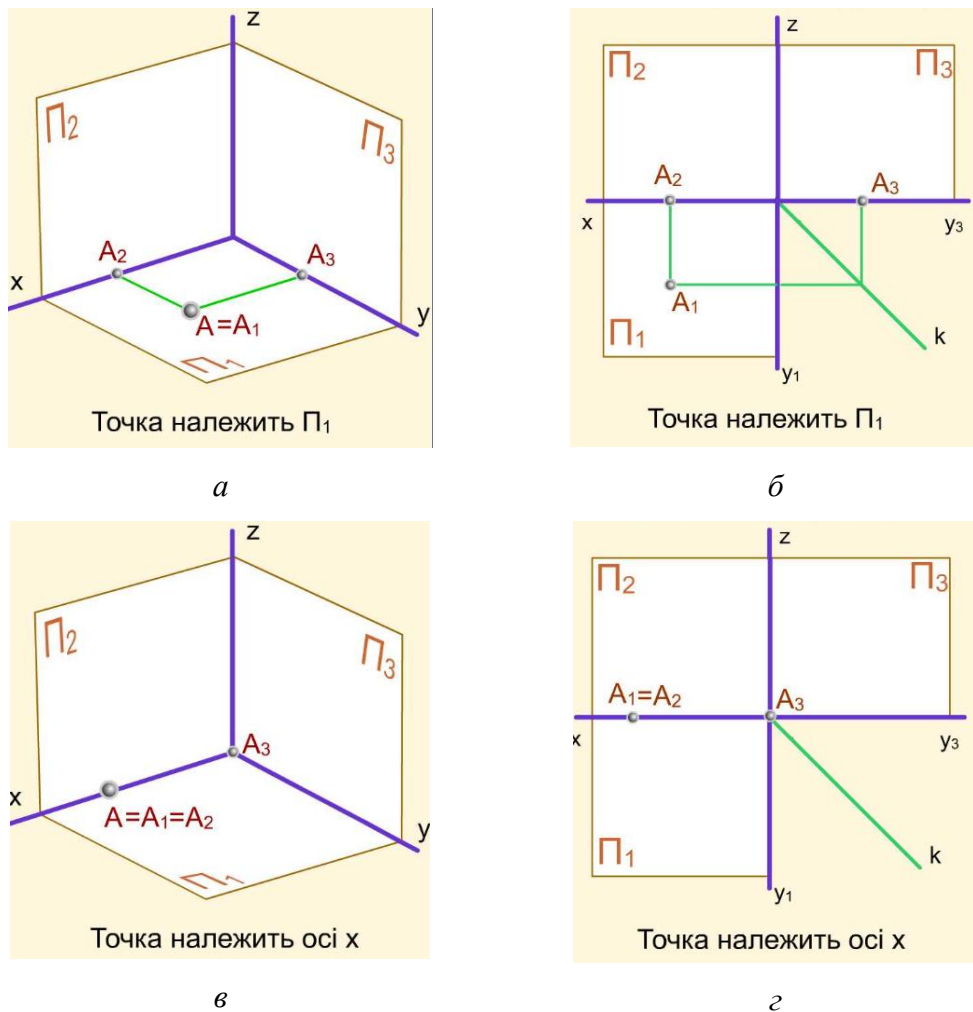


Рис. 1.10

1.1.8.1. Конкуруючі точки

Розглянемо взаємне положення двох точок у системі площин проєкцій. Існують особливі випадки розташування двох точок. Наприклад, точки, які знаходяться на одному проєкціюючому промені. Такі точки називають *конкуруючими*.

На одній з площин проєкцій проєкції цих точок співпадають, на інших – ні. Ці пари точок мають дві однакові координати. На рис. 1.11, *а, б* у точок співпадають координати x і y , на рис. 1.11, *в, г* співпадають координати x і z . Конкуруючі точки використовують для визначення видимості проєкцій окремих геометричних елементів об'єктів моделювання на комплексному кресленні. Якщо дві точки розташовані не на одному проєкціюючому промені, то усі їх координати різні, проєкції не співпадають. У цьому випадку одна точка по відношенню до іншої може бути розташована одночасно і над, і перед тощо.

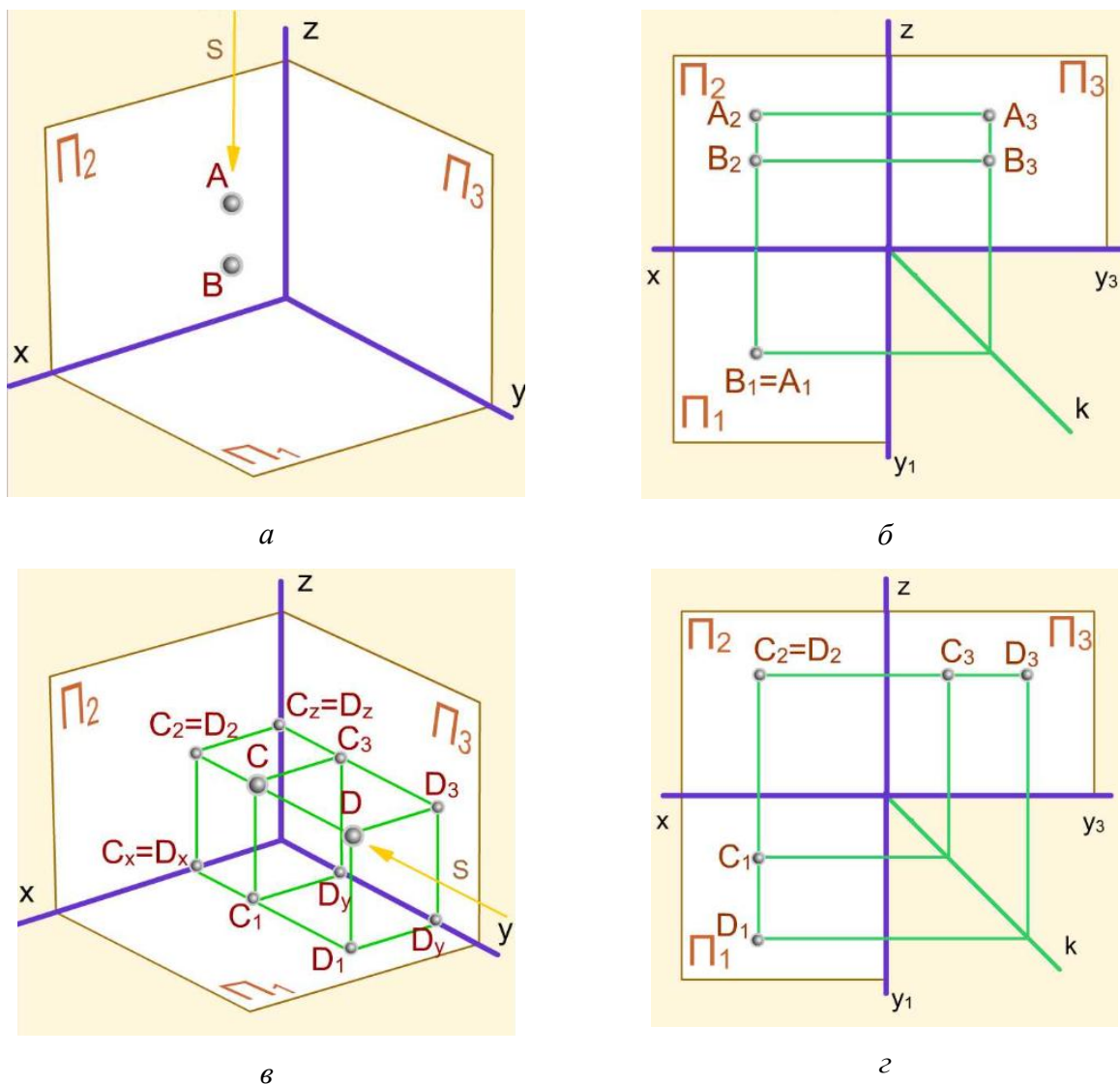


Рис. 1.11

1.1.9. Моделювання прямої лінії

Пряма може розглядатись як траєкторія руху деякої точки у просторі в напрямку заданого вектора.

Положення прямої лінії у просторі задається двома точками, що їй належать. Тобто відрізком. Щоб побудувати проєкції відрізка, слід побудувати проєкції його двох точок і їх з'єднати по найкоротшій відстані (рис. 1.12, а, б, в). Пряма може задаватись напрямком і не обмежуватись точками (рис. 1.12, г). Для побудови комплексного кресленика такої прямої на ній обирають дві довільні точки і виконують побудови як і з відрізком.

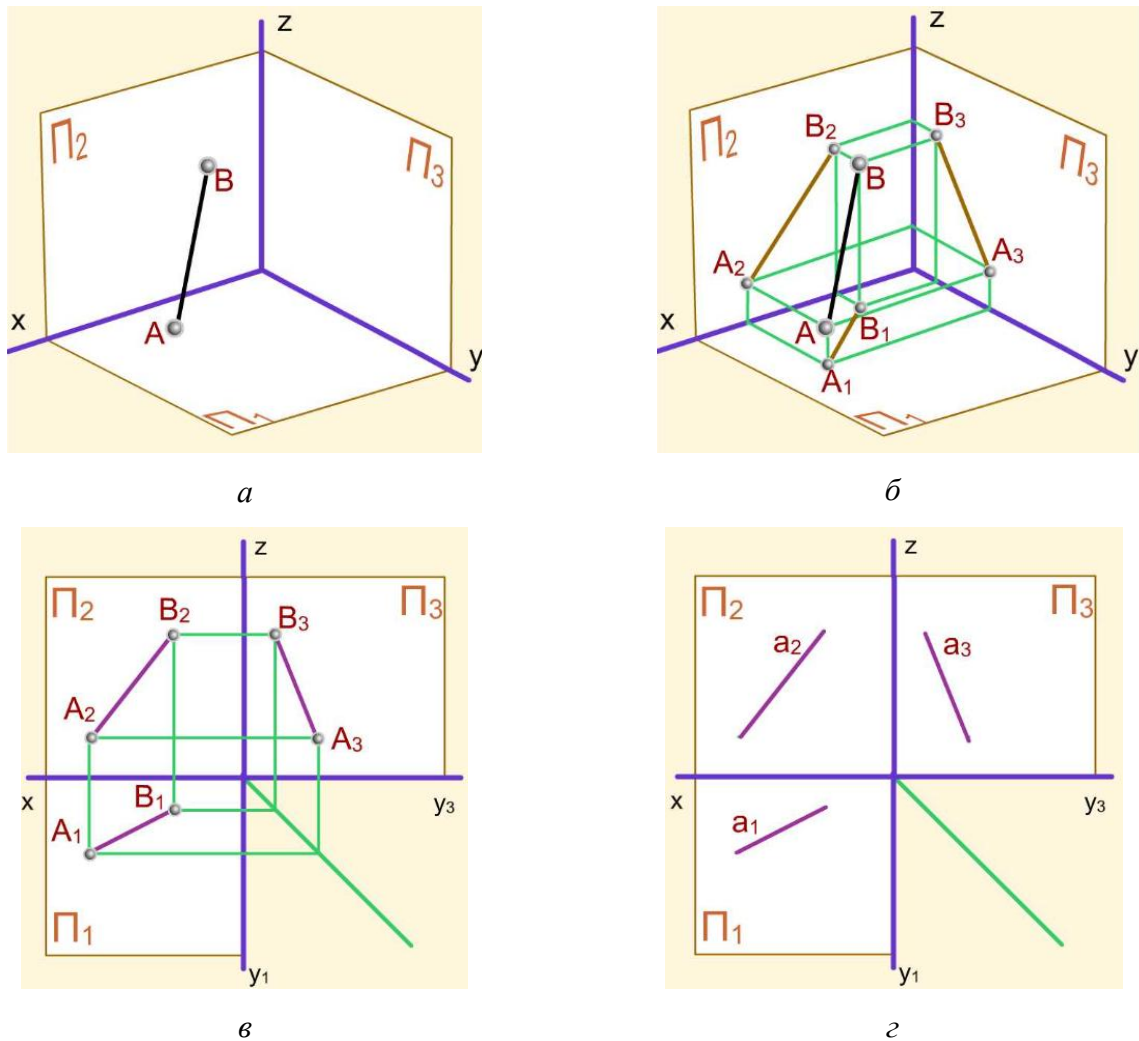


Рис. 1.12

1.1.9.1. Сліди прямої

Якщо пряма може бути задана будь-якими двома точками, то, як особливий випадок, – це можуть бути точки її перетину з площинами проєкцій. *Точка перетину прямої з площиною проєкцій називається слідом прямої.* Оскільки точка перетину прямої з площиною проєкцій належить як прямій, так і площині проєкцій, то одна з її координат дорівнює нулю. Так горизонтальний слід прямої має координату z , що дорівнює нулю, фронтальний – y , а профільний – x . На рис. 1.13, а, б показано пряму перпендикулярну до горизонтальної площини проєкцій. Вона має лише один слід – горизонтальний (точка М). Прямі перпендикулярні до інших площин проєкцій відповідно теж мають один слід на тій площині проєкцій, до якої вони перпендикулярні.

Пряма, що паралельна до однієї з площин проєкцій, відповідно перетинає дві інші площини проєкцій і утворює два сліди (рис. 1.13, в, г). На комплексному кресленні рис. 1.13, г показано утворення горизонтального (М) та фронтального (N) слідів прямої.

Якщо пряма не паралельна і не перпендикулярна до жодної з площин проєкцій, вона має три сліди. На рис. 1.14, а точка М горизонтальний слід прямої, N – фронтальний, а Р – профільний.

Оскільки моделювання геометричних об'єктів розглядається у цьому курсі лише в першому октанті, то на рис. 1.14, б, в показано побудову лише двох слідів прямої. На рис. 1.14, г показано побудову горизонтального і фронтального слідів прямої на комплексному кресленні.

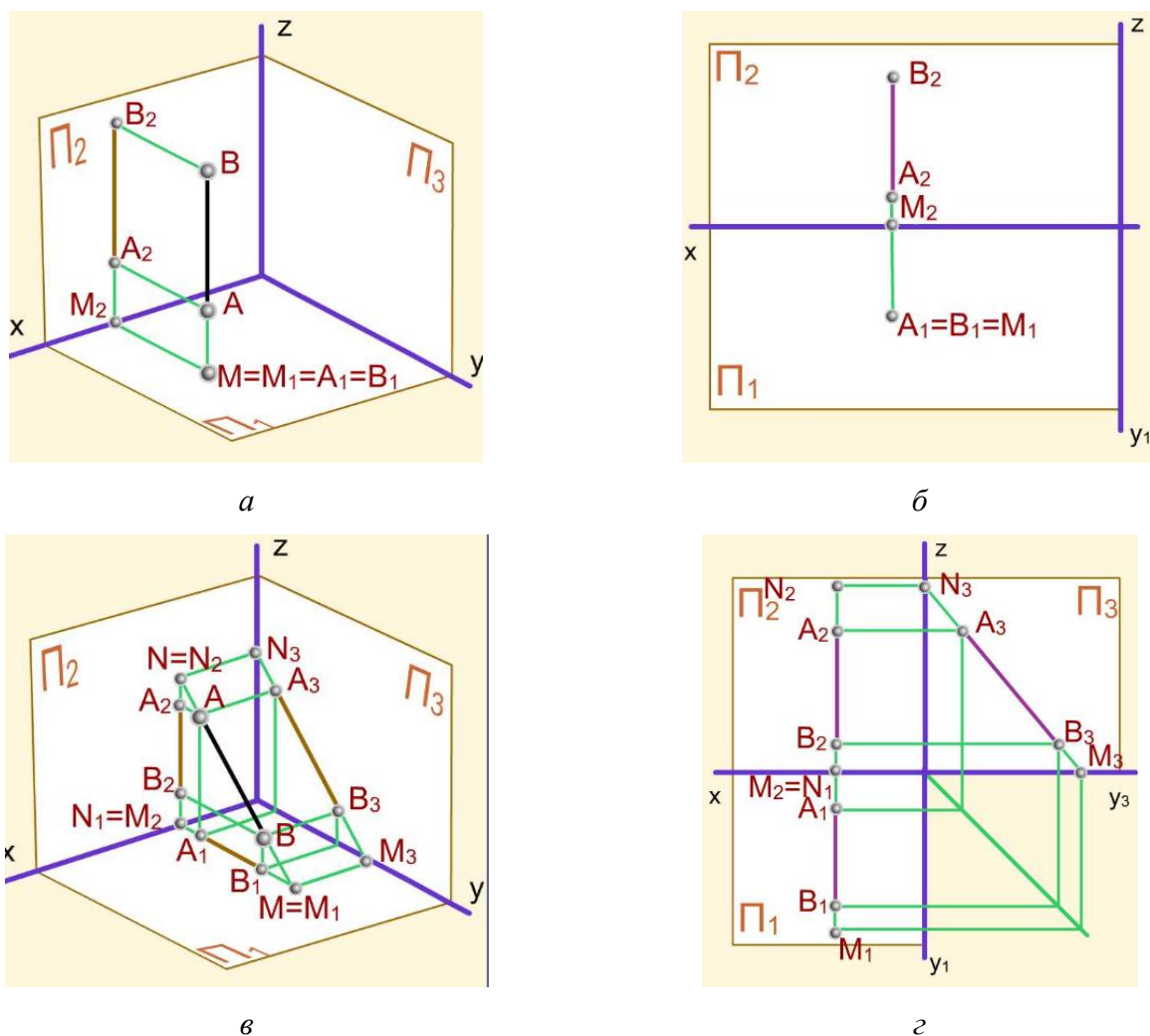
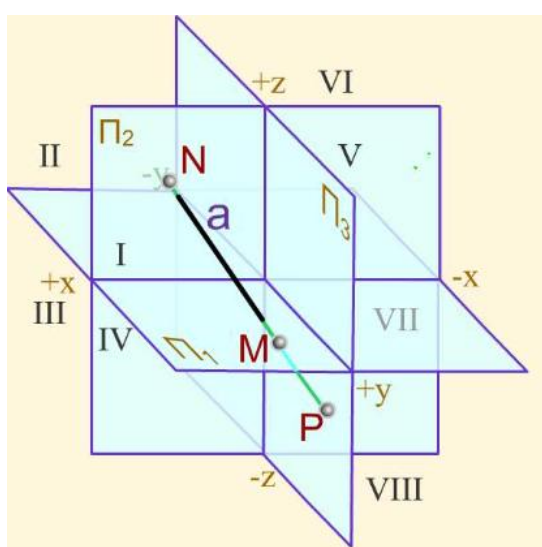
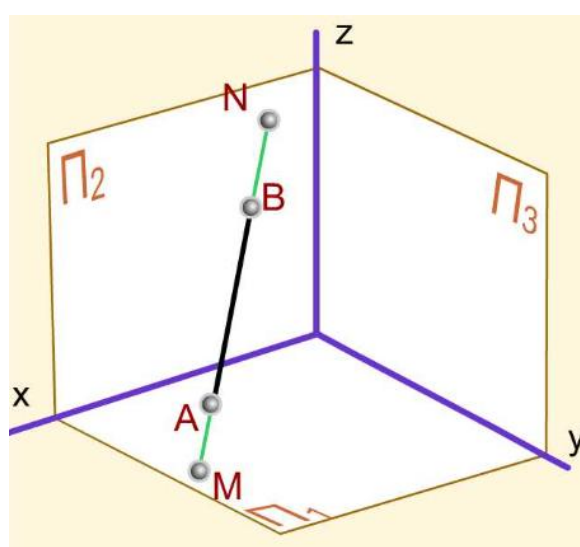


Рис. 1.13

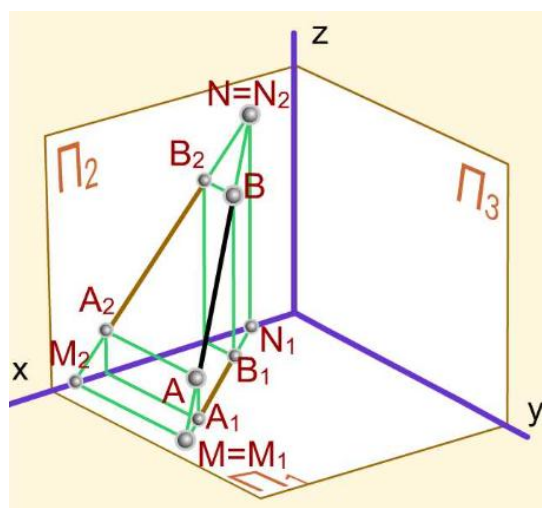
Тобто, щоб побудувати на комплексному кресленні горизонтальний слід прямої, необхідно продовжити її фронтальну проєкцію до перетину з віссю ox і отримати фронтальну проєкцію її горизонтального сліду $M-M_2$. Горизонтальна проєкція горизонтального сліду M_1 знаходиться на горизонтальній проєкції прямої. Аналогічно, щоб побудувати фронтальний слід прямої, необхідно продовжити її горизонтальну проєкцію до перетину з віссю Ox і отримати горизонтальну проєкцію фронтального сліду $N-N_1$. Фронтальна проєкція фронтального сліду N_2 знаходиться на фронтальній проєкції прямої.



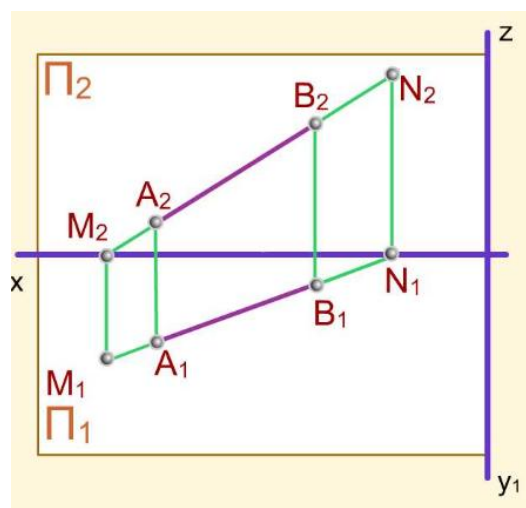
a



б



в



г

Рис. 1.14

1.1.9.2. Моделювання прямої у системі ортогональних площин проєкцій

Кожна пряма займає в системі площин проєкцій деяке положення. Відповідно до цього розрізняють прямі, що перпендикулярні або паралельні до якої-небудь площини проєкцій. Такі прямі називають прямими особливого положення. До прямих особливого положення належать прямі перпендикулярні до якої-небудь площини проєкцій (*проєціюючі прямі*) (рис. 1.15, а, б) або паралельні до якої-небудь площини проєкцій (*прямі рівня*) (рис. 1.15, в, г). Прямі, які нахилені до всіх площин проєкцій під кутами, що не дорівнюють 0° або 90° називають *прямими загального положення* (рис. 1.15, д, е).

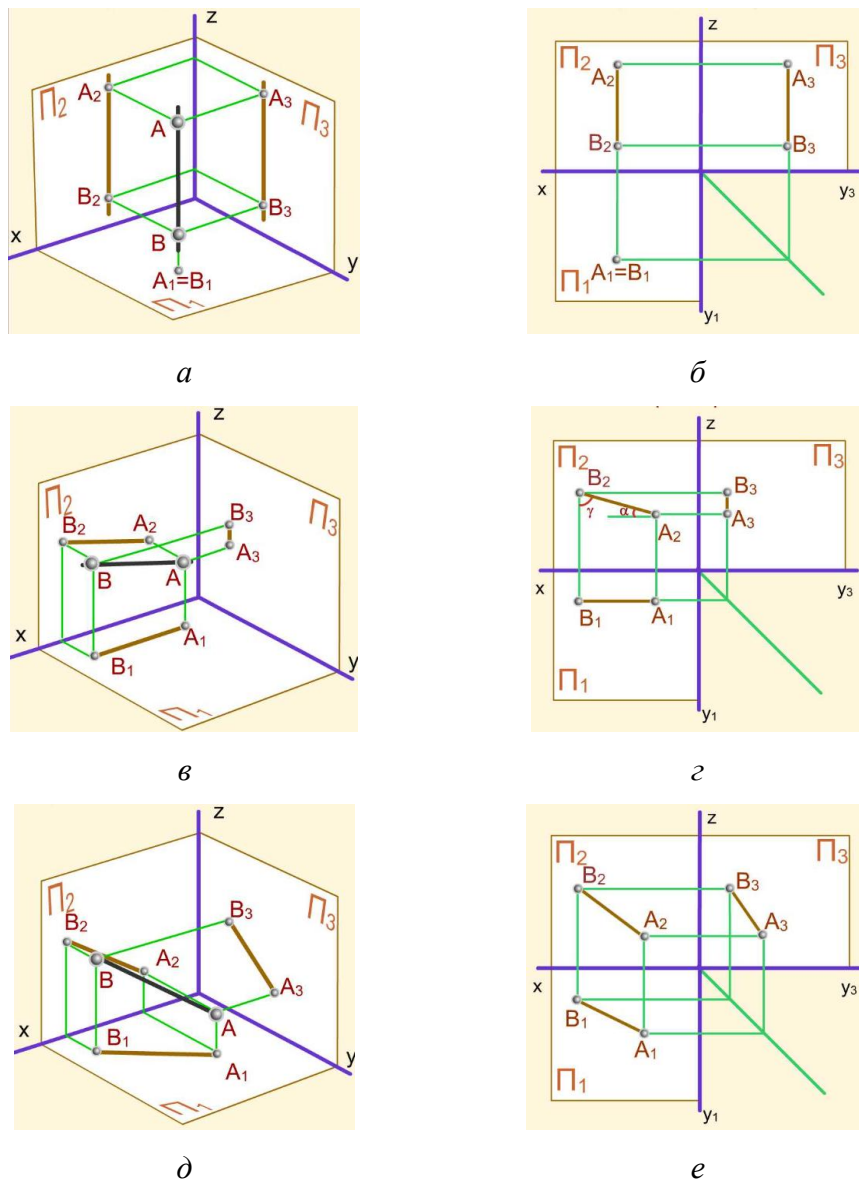


Рис. 1.15

Пряма, що перпендикулярна до горизонтальної площини проєкцій називається *горизонтально-проєкціюючою* прямою, фронтальної – *фронтально-проєкціюючою*, профільної – *профільно-проєкціюючою*. Пряму паралельну до горизонтальної площини проєкцій називають *горизонталлю*, фронтальної – *фронталлю*, профільної – *профільною прямою*. Горизонталь позначають h , фронталь – f , профільну – p . Це лінії рівня. Якщо лінія рівня лежить у площині проєкцій її називають нульовою. Нульову горизонталь позначають h° , нульову фронталь – f° .

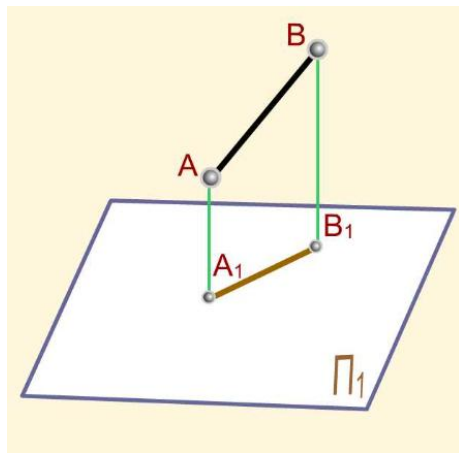
Відрізки проєкціюючих прямих на дві площини проєкцій, до яких вони паралельні, проєкціюються у натуральну величину U натуральну величину проєкціюється відрізок прямої рівня на площину проєкцій, до якої ця пряма паралельна.

Прийнято кут нахилу прямої до площини проєкцій Π_1 позначати – α , до Π_2 – β і до Π_3 – γ .

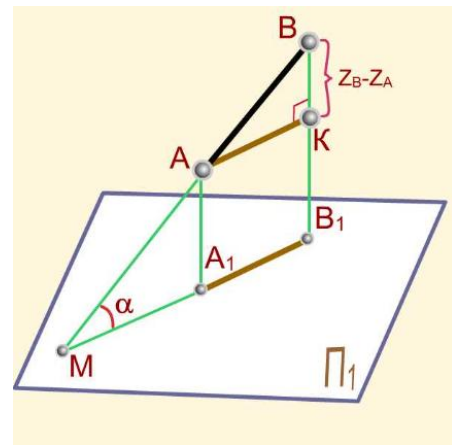
1.1.9.3. Натуральна величина відрізка прямої загального положення

Оскільки відрізок прямої загального положення проєкціюється на усі площини проєкцій спотворено, виникає необхідність визначення його *натуральної величини*.

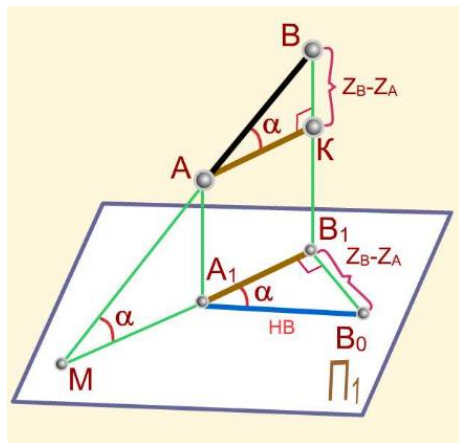
На рис. 1.16, *а, б, в, г* показано як за допомогою графічних побудов можна знайти натуральну величину відрізка прямої загального положення. Відрізок прямої загального положення АВ розташовано у просторі під деяким кутом α до горизонтальної площини проєкцій Π_1 . Побудовано горизонтальну проєкцію A_1B_1 цього відрізка. На рис. 1.16, *в* у точці А побудовано відрізок АК паралельний до горизонтальної площини проєкцій, що дорівнює горизонтальній проєкції A_1B_1 відрізка АВ. Утворився прямокутний трикутник, у якого гіпотенуза АВ є натуральною величиною відрізка, АК катет, що дорівнює горизонтальній проєкції відрізка A_1B_1 і катет ВК дорівнює різниці відстаней кінців відрізка від горизонтальної площини проєкцій (різниці координат z). Використовуючи проєкцію відрізка A_1B_1 і різницю координат z кінців відрізка, як два катети, будуємо на горизонтальній площині проєкцій прямокутний трикутник $A_1B_1B_0$, який дорівнює прямокутному трикутнику АВК. Тобто гіпотенуза цього трикутника A_1B_0 дорівнює натуральній величині відрізка.



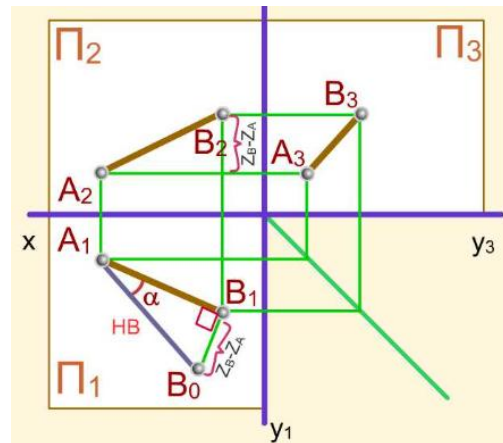
a



б



в



г

Рис. 1.16

Отже, знаючи значення катетів прямокутного трикутника, можна будувати такий прямокутний трикутник на будь-якій площині проєкцій. Зрозуміло, що гіпотенузи побудованих прямокутних трикутників мають однакову довжину і дорівнюють натуральній величині відрізка, а катети різні: один з катетів – проєкція відрізка на відповідну площину проєкцій, другий катет – дорівнює різниці координат, що визначають відстань кінців цього відрізка від відповідної площини проєкцій: на Π_1 – Δz ; на Π_2 – Δy ; на Π_3 – Δx . У кожному з цих трикутників між гіпотенузою і проєкцією відрізка визначається кут нахилу відрізка до тієї площини проєкцій, на якій будується прямокутний трикутник.

Тобто, *натуральна величина відрізка прямої загального положення дорівнює гіпотенузі прямокутного трикутника, у якого один з катетів дорівнює проєкції цього відрізка на відповідну площину проєкцій, а другий – різниці координат, що*

визначають відстань кінців відрізка від цієї ж площини проєкцій. Між гіпотенузою і катетом, що дорівнює проєкції відрізка, визначається кут нахилу відрізка прямої загального положення до тієї площини проєкцій, на якій будується прямокутний трикутник.

Цей метод визначення натуральної величини відрізка прямої загального положення називають *методом прямокутного трикутника*.

1.1.9.4. Взаємне положення точки і прямої у системі ортогональних площин проєкцій

Точка може належати, чи не належати прямій. Якщо точка належить прямій, то проєкції цієї точки належать одноіменним проєкціям прямої за твердженням збереження належності геометричних елементів при паралельному проєкціюванні. Якщо одна з проєкцій точки належить одноіменній проєкції прямої, а друга ні, то така точка не належить прямій (рис. 1.17, а).

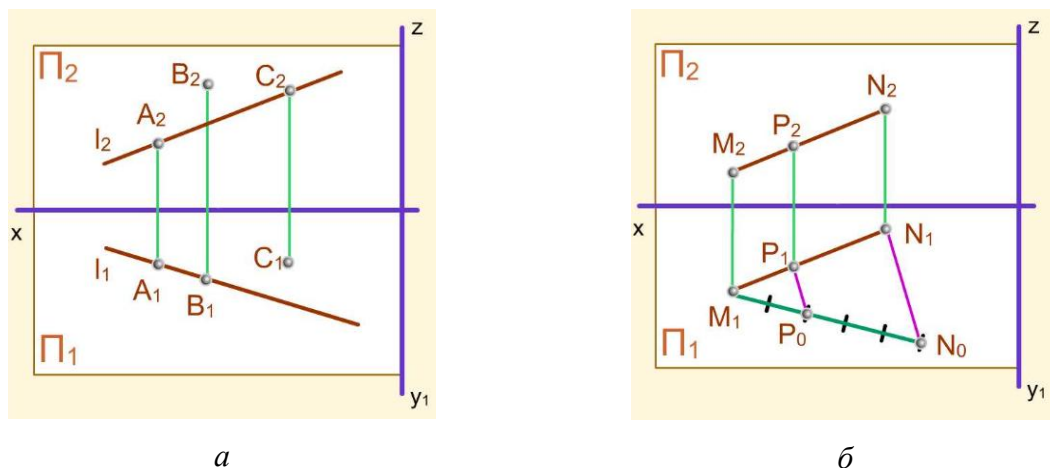


Рис. 1.17

1.1.9.5. Поділ відрізка у заданому відношенні

Властивістю паралельного проєкціювання є твердження, що відношення відрізків прямої дорівнює відношенню відповідних проєкцій цих відрізків. Тому, щоб поділити відрізок прямої MN у заданому відношенні, достатньо поділити у цьому ж відношенні одну з його проєкцій, а потім спроекціювати отриману точку поділу на другу проєкцію відрізка (рис. 1.17, б).

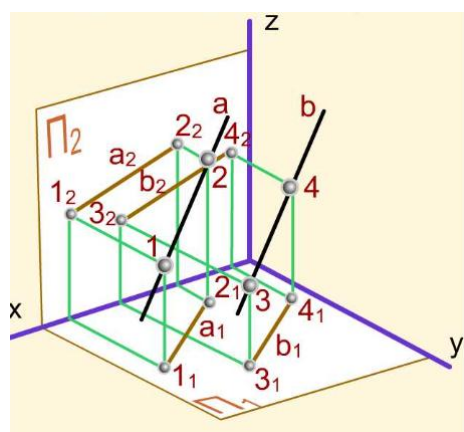
1.1.9.6. Взаємне розташування двох прямих у системі ортогональних площин проєкцій

Дві прямі у просторі можуть бути паралельними, перетинатись, і бути не паралельними і не перетинатись (мимобіжними).

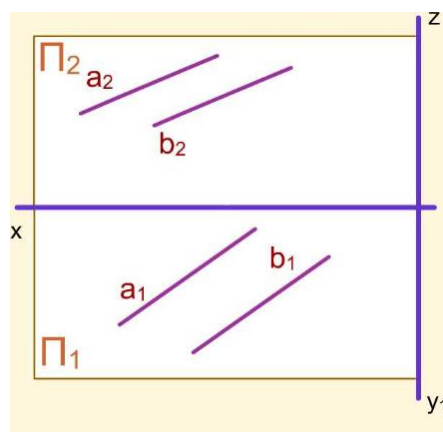
Паралельність прямих

Якщо прямі паралельні у просторі, то паралельні і їх відповідні проєкції.

Доведемо це. Пряма a разом з горизонтально проєкціюючими променями утворює площину перпендикулярну до горизонтальної площини проєкцій Π_1 . Таку ж площину утворює і пряма b . Ці дві площини паралельні між собою. Вони перетинають горизонтальну площину проєкцій Π_1 по двох прямих a_1 і b_1 , які є ортогональними проєкціями прямих a і b на горизонтальну площину проєкцій Π_1 і вони паралельні між собою. Аналогічно паралельні a_2 і b_2 (рис. 1.18, а).



а



б

Рис. 1.18

На комплексному кресленні паралельність прямих розпізнається за паралельністю їх одноіменних проєкцій (рис. 1.18, б).

Паралельність прямих рівня на комплексному кресленні слід перевіряти на тій площині проєкцій, до якої вони паралельні (рис. 1.19, а). Після виконаних побудов бачимо, що прямі не паралельні, а мимобіжні (за допомогою побудов на горизонтальній площині проєкцій можна чітко визначити конкуруючі точки 1 і 2) (рис. 1.19, б).

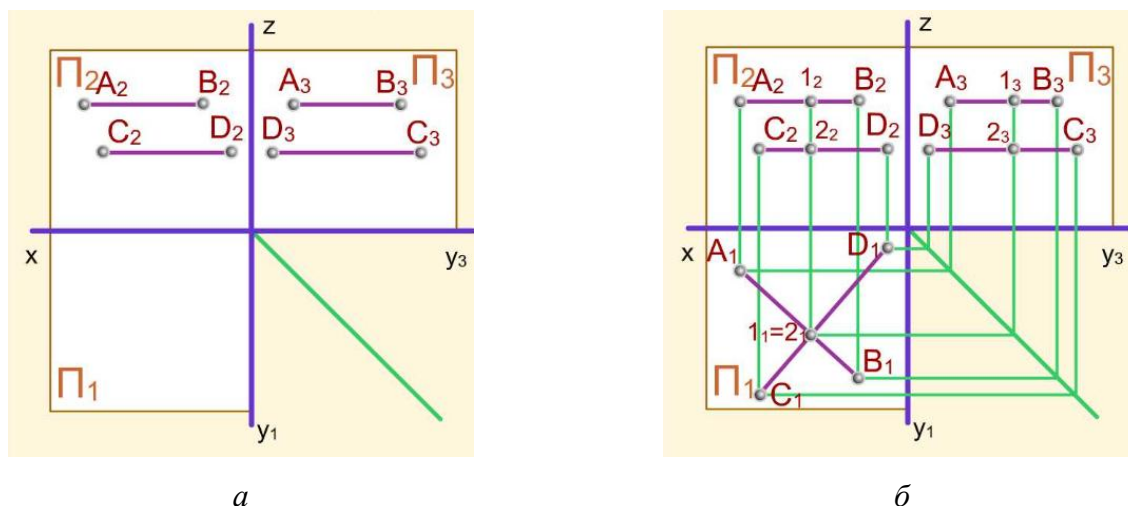


Рис. 1.19

Перетин прямих

Якщо прямі перетинаються у просторі, то перетинаються і їх одноіменні проєкції. При цьому проєкції точки їх перетину знаходяться на одній лінії зв'язку.

На рис. 1.20, а у системі двох площин проєкцій показано побудову точки перетину 1 і її горизонтальної 1_1 і фронтальної 1_2 проєкцій, які знаходяться на одній лінії зв'язку. На рис. 1.20, б показано комплексне креслення цих побудов.

Перетин профільної прямої з будь якою іншою прямою слід перевіряти побудовами комплексного креслення на профільній площині проєкцій. На рис. 1.21, в, г показано, що у даному випадку є мимобіжність, а не перетин.

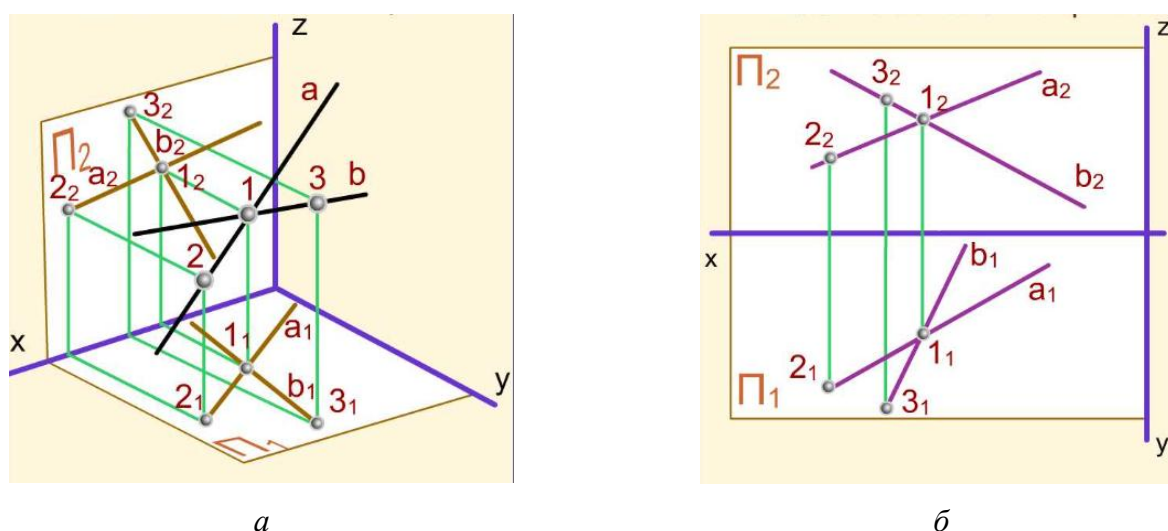
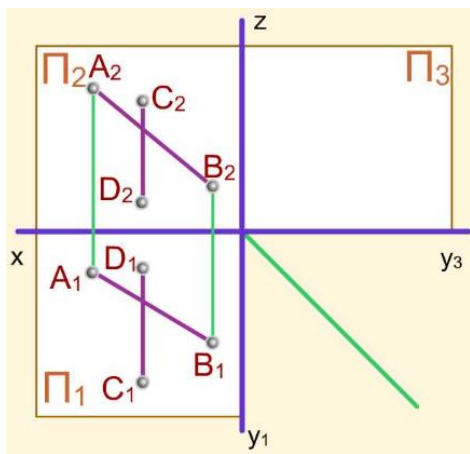
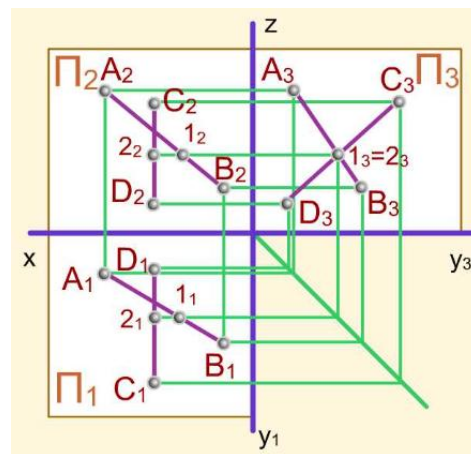


Рис. 1.20



а

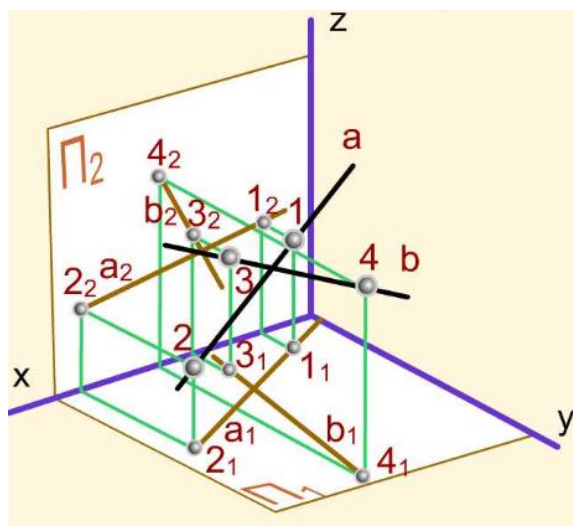


б

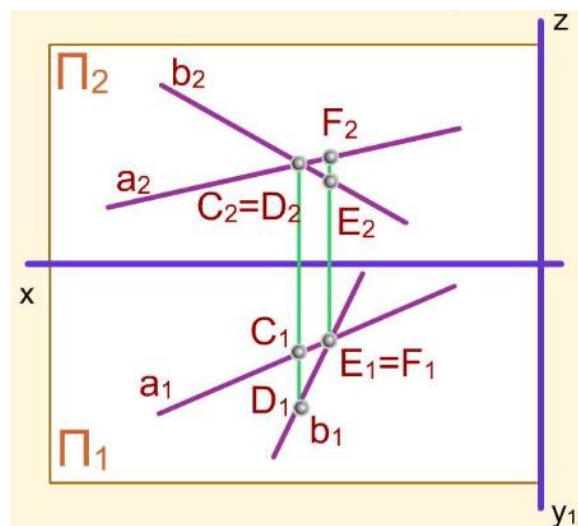
Рис. 1.20 Закінчення (див. також с. 42)

Мимобіжність прямих

Мимобіжними прямими називають прямі, які не паралельні і не перетинаються (рис. 1.21). Ці прямі не мають спільних точок. Розглянемо дві мимобіжні прямі a і b в системі двох площин проєкцій Π_1 і Π_2 . Задамо кожен з них відрізком. Прямую a відрізком 1–2, а прямую b відрізком 3–4. Виконаємо проєкціювання (рис. 1.21, а). Зобразимо ці прямі на комплексному кресленнику (рис. 1.21, б).



а



б

Рис. 1.21

Проаналізуємо отримані малюнки. Бачимо, що точки C і D є конкуруючими. Вони мають різні глибини (координати y). Оскільки точка D розташована перед

точкою C , то вона є видимою на площині проєкцій Π_2 . Тобто пряма b , якій ця точка належить, проходить у зоні накладення цих прямих ближче до спостерігача. Аналогічно аналіз взаємного розташування точок E і F показує, що вони мають різні координати z і точка F розташована вище точки E . Тобто пряма a , якій належить точка F , проходить у зоні накладення цих точок вище прямої b (рис. 1.21, б).

На комплексному кресленні конкуруючі точки, що знаходяться на мимобіжних прямих, використовують для визначення ребер многогранника. Наприклад, на рис. 1.22, а пряма n знаходиться ближче до спостерігача, ніж пряма k .

Якщо на кожній з мимобіжних прямих взяти по точці і провести в ній по прямій відповідно паралельній до іншої мимобіжної прямої, то у просторі будуть утворені дві паралельні площини. Ці площини називають *площинами паралелізму мимобіжних прямих*. Кут між двома мимобіжними прямими дорівнює куту між двома прямими, що перетинаються і їм відповідно паралельні (рис. 1.22, б). Так визначають кути між мимобіжними прямими.

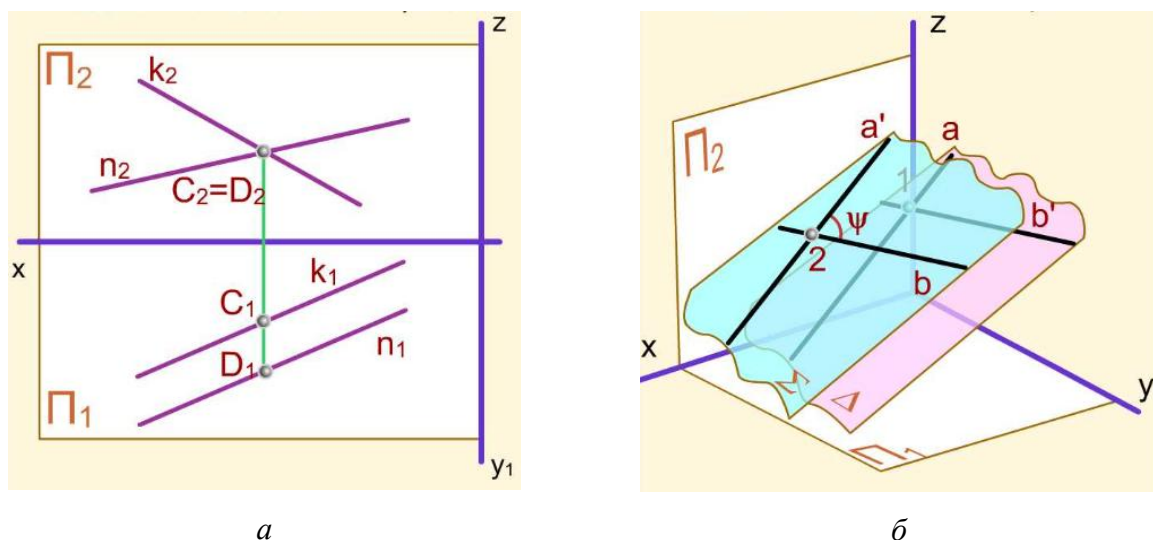


Рис. 1.22

Запитання для самоперевірки

1. Які методи проєкціювання дозволяють отримати проєкцію точки на площині проєкцій?
2. Який основний метод проєкціювання застосовують при побудові технічних креслеників?
3. Які умови отримання ортогональної проєкції точки (прямої)?

4. Як отримують комплексне креслення точки?
5. Які існують лінії зв'язку?
6. Який геометричний зміст координат точки?
7. Як визначити на комплексному кресленні відстань від точки до осі координат?
8. Що таке слід прямої?
9. Скільки слідів має пряма загального положення?
10. Як розташовані відносно площин проєкцій проєкціюючі прямі?
прямі рівня? прямі загального положення?
11. Як визначається натуральна величина відрізка прямої загального положення?
12. Як визначити на комплексному кресленні паралельність прямих? перетин прямих?
мимобіжність прямих?

РОЗДІЛ 2. МОДЕЛЮВАННЯ ПЛОЩИНИ

У просторі площина задається трьома точками, які не належать одній прямій, або іншими геометричними елементами, які можуть бути утворені на основі трьох точок.

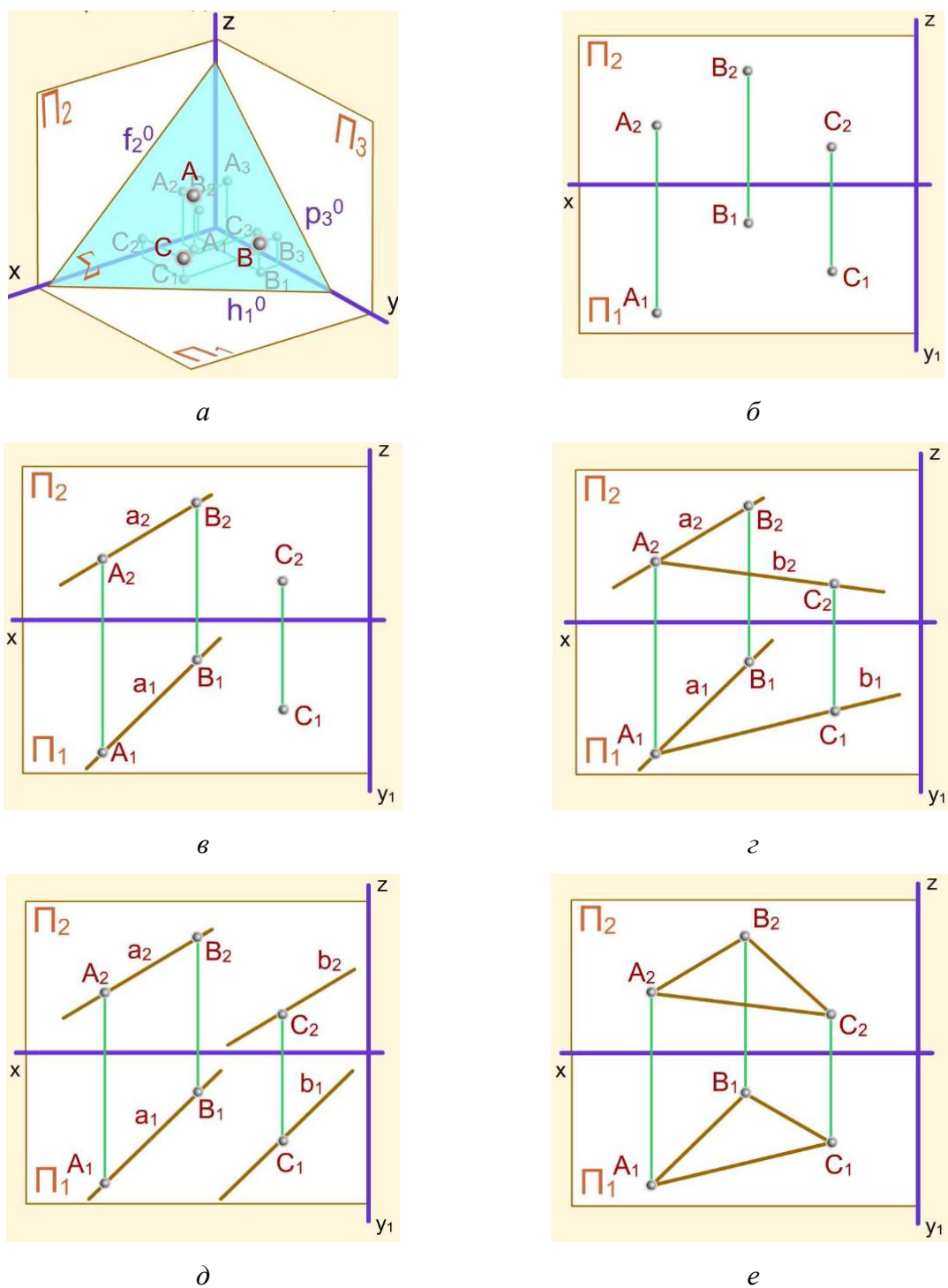


Рис. 2.1

Тобто у просторі площини можуть бути задані:

- трьома точками, що не належать одній прямій;
- прямою і точкою, що не належить цій прямій;
- двома прямими, які перетинаються;
- двома паралельними прямими;
- плоскою фігурою.

На комплексному кресленні площину задають проєкціями точок, прямих, плоских фігур (рис. 2.1, *а, б, в, г, д, е*). Площину прийнято позначати великими літерами грецького алфавіту і задавати визначником, наприклад, $\Sigma (axb)$. У визначнику вказуються геометричні елементи, якими задано площину, та умови їх взаємного розташування (перетин, паралельність тощо).

У загальному випадку вважають, що площина в просторі не обмежена, а її проєкції покривають усе поле площин проєкцій.

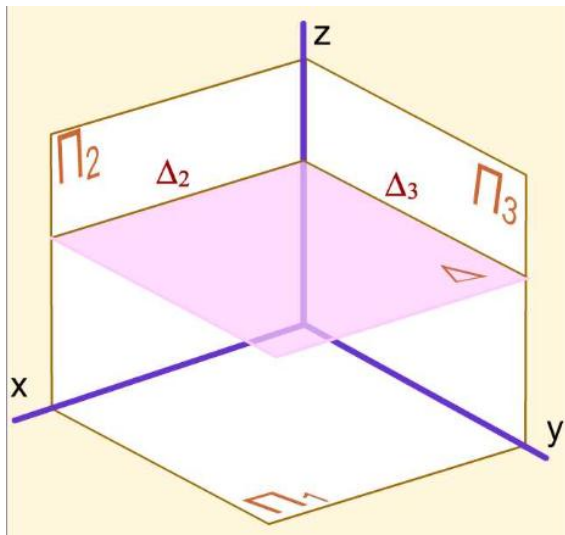
2.1. Сліди площини

Слід площини – пряма, по якій площина перетинає площину проєкцій.

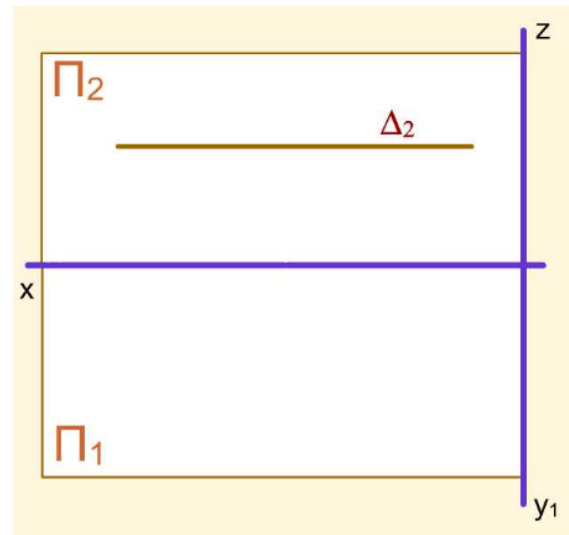
Така пряма належить як заданій площині, так і відповідній площині проєкцій. Отже одна проєкція сліду співпадає із самим слідом, а дві інші його проєкції співпадають з відповідними осями проєкцій. Пряма, по якій площина перетинає горизонтальну площину проєкцій називається *горизонтальним* слідом, фронтальну – *фронтальним*, профільну – *профільним*.

На рис. 2.2, *а* показано площину паралельну до горизонтальної площини проєкцій. Вона перетинає дві інші площини проєкцій по прямих лініях, які є слідами цієї площини. Вони також є і проєкціями цієї площини (внаслідок перпендикулярності заданої площини до цих площин проєкцій). Такі лінії називають *слідами-проєкціями*.

На рис. 2.2, *б* показано зображення сліду-проєкції на комплексному кресленні. Аналогічно визначають сліди площин паралельних до інших площин проєкцій.



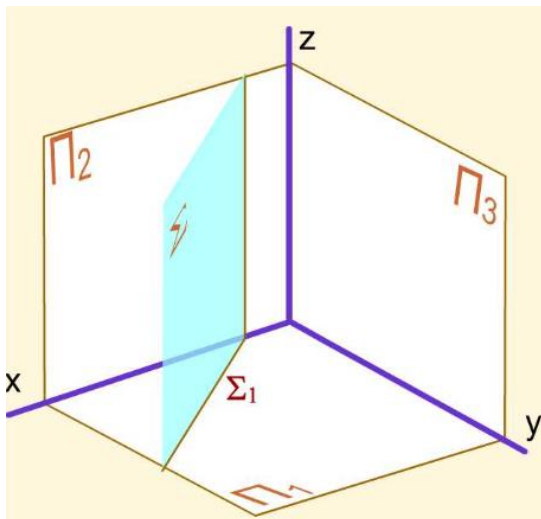
a



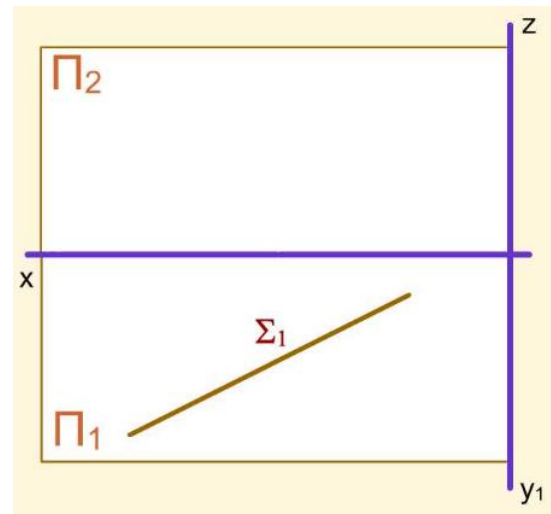
б

Рис. 2.2

На рис. 2.3, *a* показано площину перпендикулярну до горизонтальної площини проєкцій. Вона перетинає цю площину проєкцій по прямій лінії – сліду-проєкції. На комплексному кресленнику така площина може бути задана лише слідом-проєкцією (рис. 2.3, *б*). Аналогічно визначають сліди площин перпендикулярних до інших площин проєкцій.



a



б

Рис. 2.3

Слід-проєкція має збиральні властивості. Тобто усі геометричні елементи, що належать площині, проєкціюються на слід-проєкцію.

На рис. 2.4, *а* показано площину нахилену до усіх площин проєкцій під деякими кутами. Слідами такої площини є її *нульові лінії рівня*, тому що *нульова горизонталь* площини має нульову висоту і належить як заданій площині так і горизонтальній площині проєкцій. Тобто є лінією їх перетину. *Нульова фронталь* має нульову глибину і є лінією перетину заданої площини і фронтальної площини проєкцій. Кожна пара слідів площини перетинається в точці на відповідній осі проєкцій. *Точка перетину пари слідів площини з віссю називається точкою збігу слідів* (Σ_x).

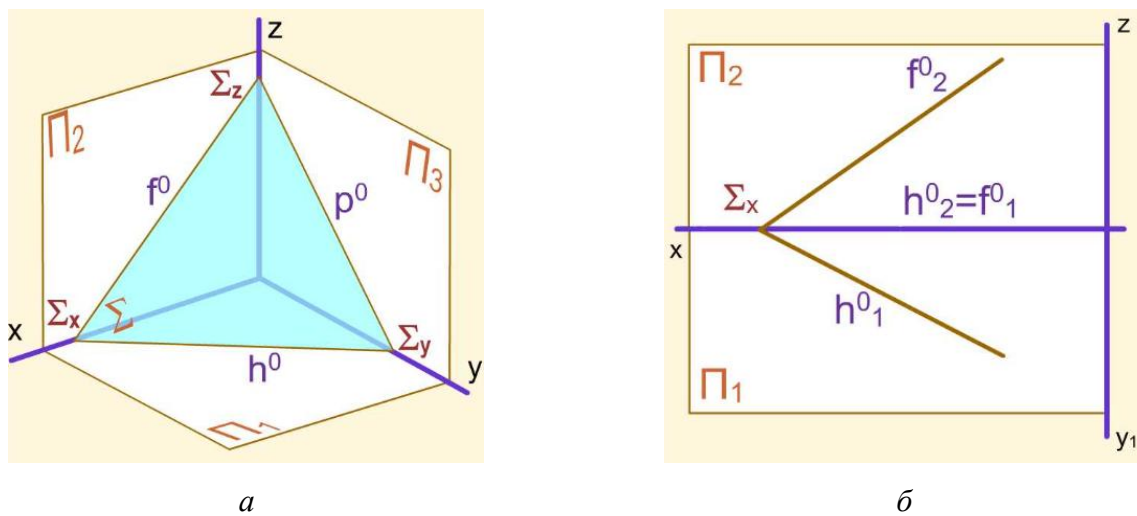


Рис. 2.4

Розглянемо приклад побудови слідів площини, що задана двома прямими *a* і *b*, які перетинаються. Для побудови одного зі слідів достатньо знати дві точки, які належать заданій площині та відповідній площині проєкцій. Такими точками можуть бути сліди прямих, якими задана площина (рис. 2.5, *а*).

Виконаємо відповідні побудови на комплексному кресленнику. Знаходимо проєкції фронтальних слідів прямих *a* і *b* (точки *N* і *N'*) і з'єднуємо їх фронтальні проєкції проєкцією нульової фронталі. Знаходимо горизонтальні проєкції слідів прямих *a* і *b* точки (*M* і *M'*) і з'єднуємо їх горизонтальні проєкції нульовою горизонталлю (рис. 2.5, *б*). Пам'ятаємо, що горизонтальна проєкція нульової фронталі і фронтальна проєкція нульової горизонталі співпадають з віссю *ox*. Отримаємо сліди заданої площини.

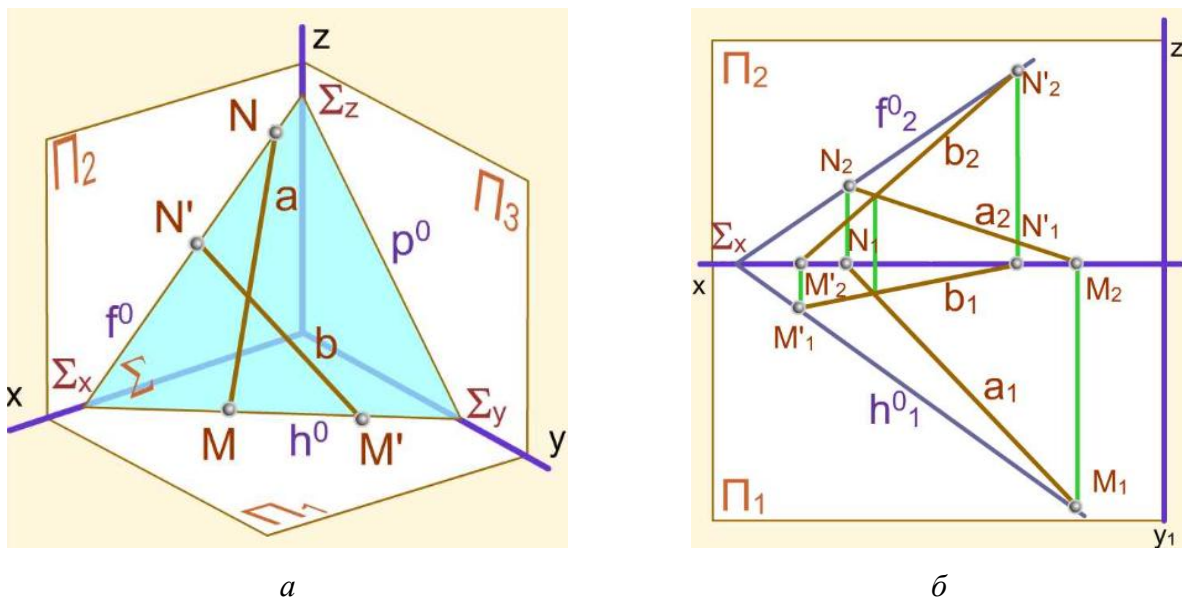


Рис. 2.5

2.2. Моделювання площини у системі ортогональних площин проєкцій

Є три випадки розташування площини відносно системи площин проєкцій. Площина може бути перпендикулярна до якої-небудь площини проєкцій, паралельна та бути нахиленою до площин проєкцій під деякими кутами.

2.2.1. Площини особливого положення

До площин особливого положення відносять площини, які паралельні або перпендикулярні до якої-небудь площини проєкцій.

2.2.1.1. Проекціюючі площини

Площини, що перпендикулярні до однієї з площин проєкцій, називають *проекціюючими площинами*. На площину проєкцій, до якої задана площина перпендикулярна, вона проєкціюється у пряму лінію (слід-проекцію). До інших площин проєкцій проєкціююча площина нахилена під деякими кутами. Тому геометричні елементи, що належать цій площині, проєкціюються на площини проєкцій спотворено (рис. 2.6, а, б). Залежно від того, до якої площини проєкцій перпендикулярна задана площина, розрізняють *горизонтально-проекціюючі*, *фронтально-проекціюючі* та *профільно-проекціюючі* площини. На комплексному кресленні проєкціюючі площини задають лише слідом-проекцією. За допомогою комплексного

креслення проєкціюючої площини визначають її кути нахилу до інших площин проєкцій. Так для горизонтально-проєкціюючої площини кут нахилу до площини проєкцій Π_2 (β) вимірюється між її слідом-проєкцією і віссю ox , кут нахилу до Π_3 (γ) – між слідом-проєкцією і віссю oy (рис. 2.6, в). На рис.2.6, г показано розташування ліній рівня проєкціюючої площини по відношенню до площин проєкцій. У горизонтально-проєкціюючої площини горизонталі розташовуються паралельно до горизонтальної площини проєкцій, фронталі перпендикулярно. Очевидно, що у фронтально-проєкціюючої площини перпендикулярними до фронтальної площини проєкцій будуть горизонталі, а фронталі паралельними.

Визначник такої площини $\Sigma(\Sigma_1)$ (для горизонтально-проєкціюючої площини).

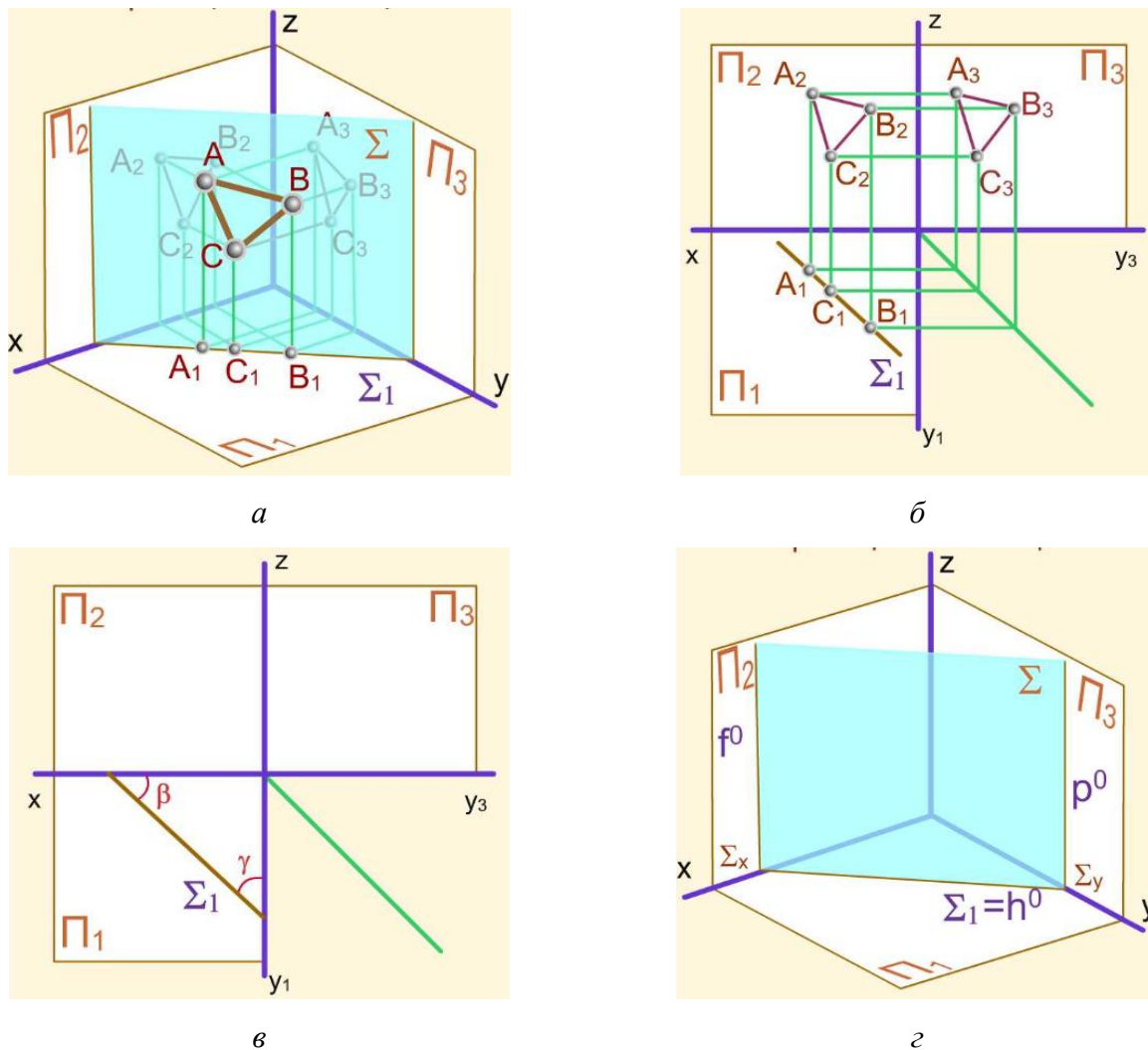


Рис. 2.6

2.2.1.2. Площини рівня

Площиною рівня називають площину паралельну до площини проєкцій. Геометричні елементи, що належать цій площині, проєкціюються на площину, до якої площина рівня паралельна, в натуральну величину. На дві інші площини проєкцій площина рівня проєкціюється у вигляді слідів-проєкцій, що паралельні до відповідних осей проєкцій (рис. 2.7, а, б). Розрізняють *горизонтальні*, *фронтальні* та *профільні площини рівня*. На комплексному кресленні достатньо для задання площини рівня вказати лише один із її слідів-проєкцій (рис. 2.7, в). Відповідно до однієї із площин проєкцій такі площини нахилені під кутом 0° , до двох інших – 90° .

Визначник площини: $\Sigma(\Sigma_2)$ (для горизонтальної площини рівня) (рис. 2.7, в).

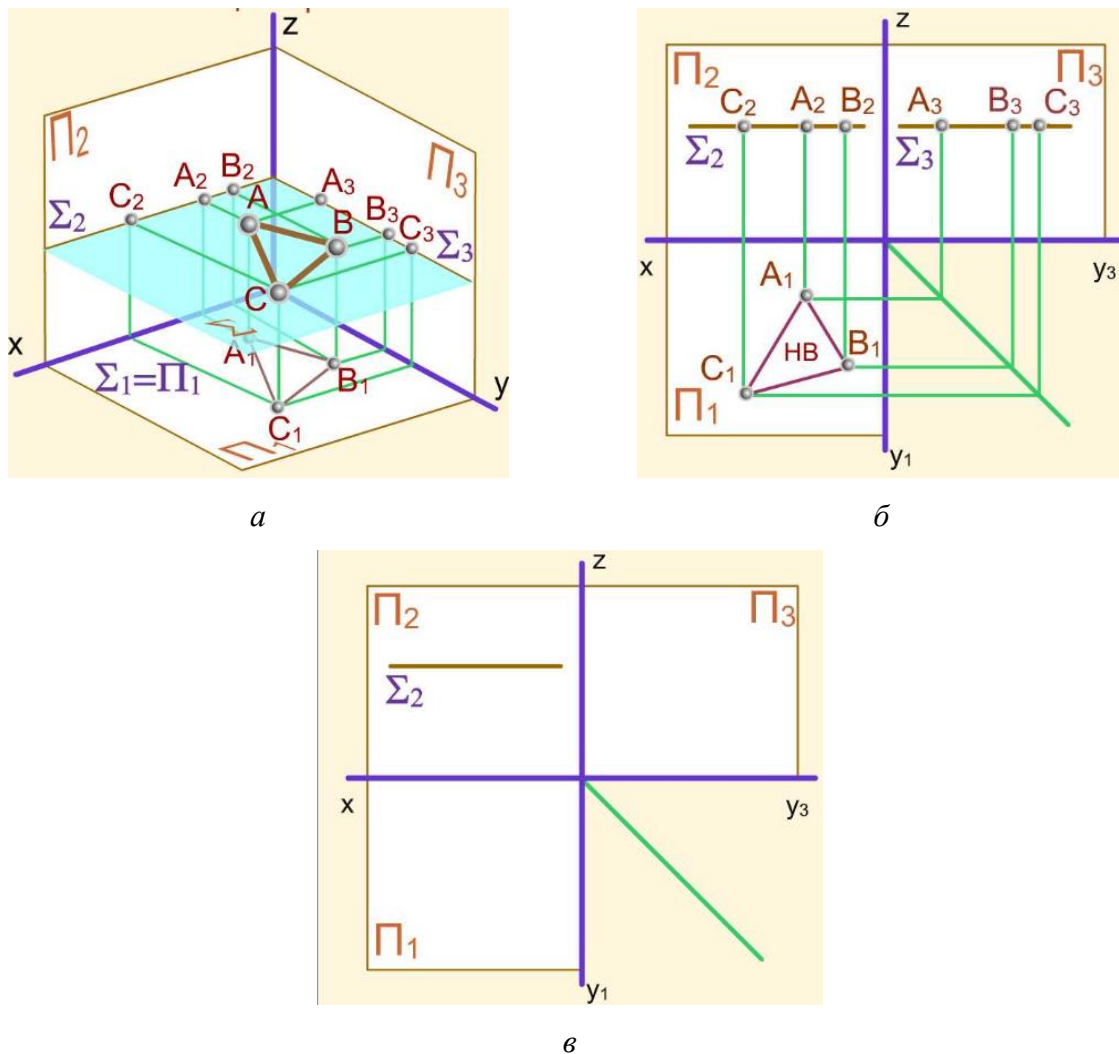


Рис. 2.7

2.2.2. Площини загального положення

Площиною загального положення називають площину не паралельну і не перпендикулярну до жодної з площин проєкцій.

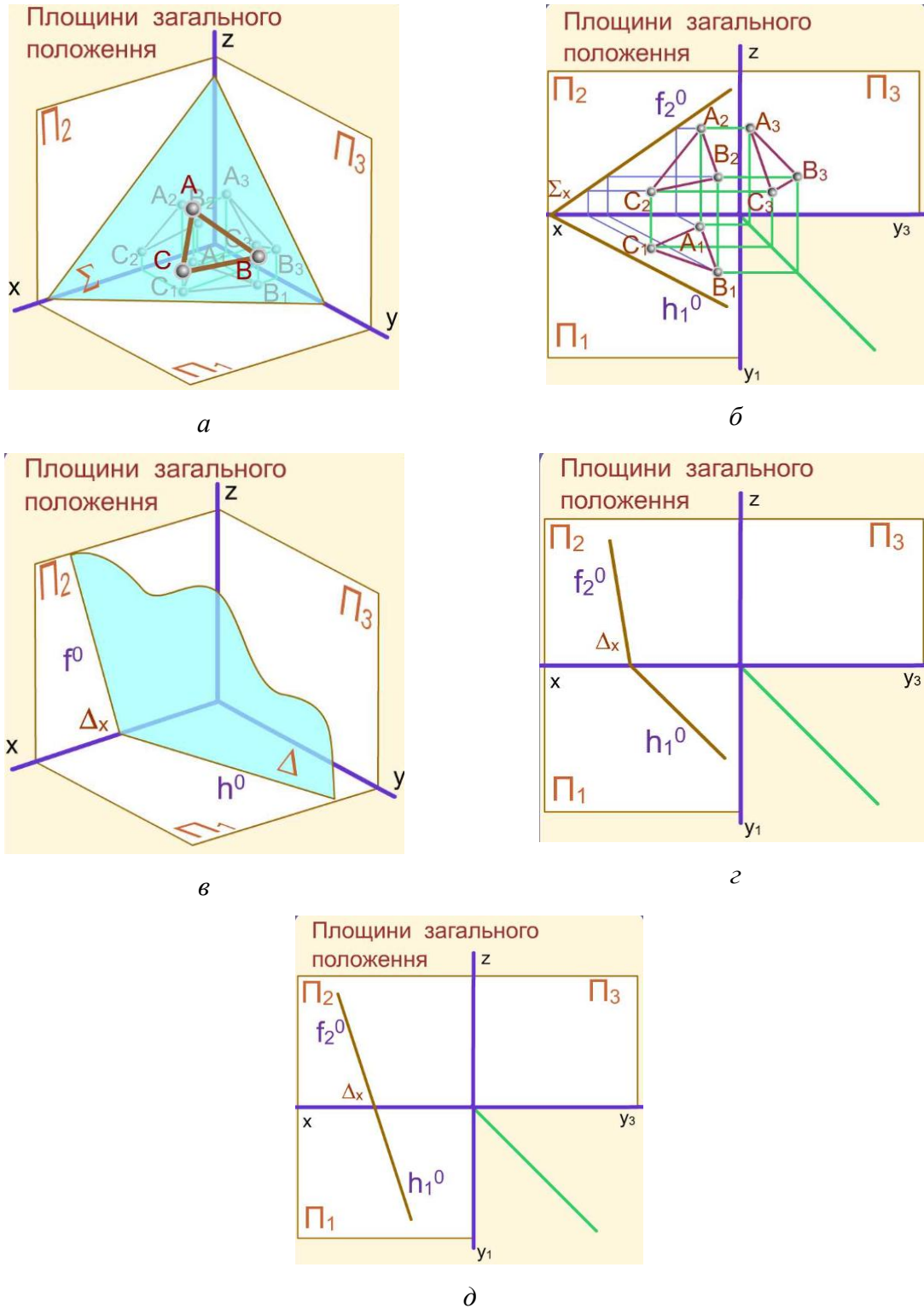


Рис. 2.8

Всі попередньо показані п'ять варіантів задання площини (трьома точками, що не належать одній прямій; прямою і точкою, яка їй не належить; двома прямими, які перетинаються, тощо є варіантами задання площини загального положення.

На усі площини проєкцій геометричні елементи, які належать цій площині, проєкціюються спотворено. Спотворено проєкціюються і кути нахилу цієї площини до площин проєкцій (рис. 2.8, а, б). На рис. 2.8, в, г, д додатково показано варіанти розташування площини загального положення у системі площин проєкцій (рис. 2.8, а – гострокутна, рис. 2.8, в, г – тупокутна, рис. 2.8, д – рівнонахилена).

Отже, раніше були розглянуті усі випадки положення площин відносно площин проєкцій. Розглянемо проєкціювання точок і прямих, які належать цим площинам.

2.3. Прямі і точки, які належать площині

Однією з основних графічних операцій, які виконуються на площині, є побудова точок і прямих ліній, які належать цій площині.

2.3.1. Прямі площини

Пряма належить площині, якщо вона проходить через дві точки цієї площини, або проходить через одну точку площини і паралельно до якої-небудь прямої цієї площини.

Розглянемо декілька задач на побудову прямої, яка належить заданій площині.

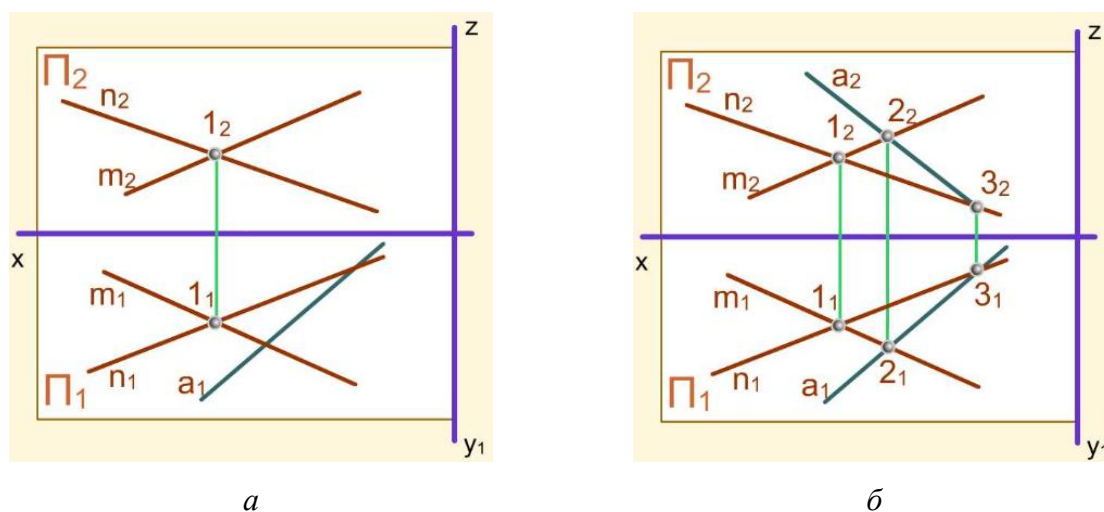


Рис. 2.9

Задано площину загального положення двома прямими m і n , що перетинаються, і горизонтальну проєкцію прямої a , яка цій площині належить (рис. 2.9, *а*). Оскільки вона не паралельна жодній із заданих прямих, то шукаємо точки її перетину з ними 1 і 2. Спочатку їх горизонтальні проєкції. Потім знаходимо їх фронтальні проєкції. З'єднуємо і отримуємо фронтальну проєкцію прямої a (рис. 2.9, *б*). Задачу розв'язано.

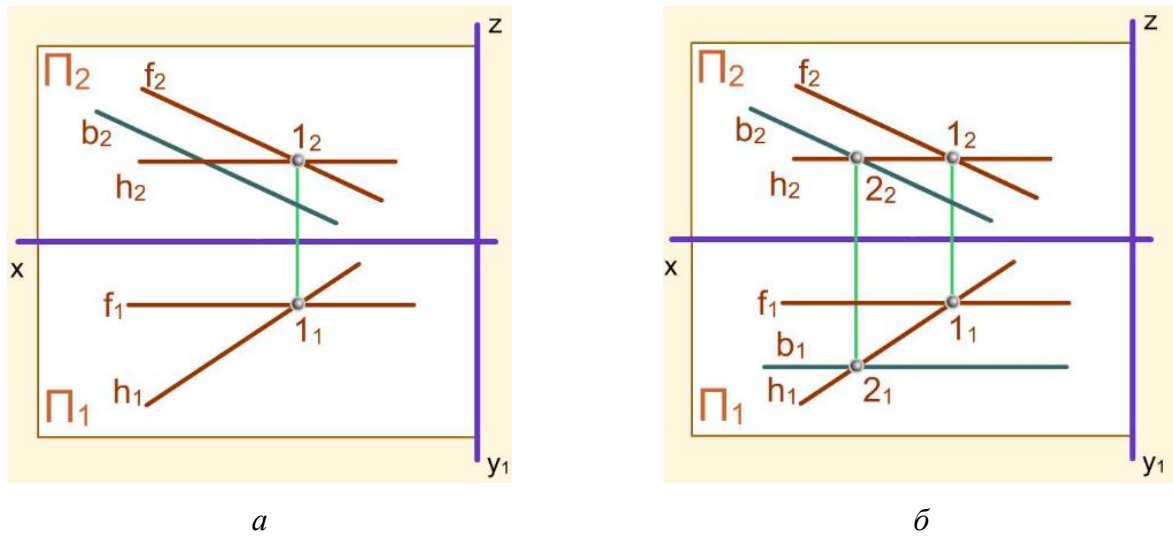


Рис. 2.10

На рис. 2.10, *а* площину задано лініями рівня (fxh) і фронтальну проєкцію прямої b , що цій площині належить. Необхідно знайти горизонтальну проєкцію прямої b . З аналізу умови задачі бачимо, що пряма b проходить паралельно фронталі площини і перетинає її горизонталь. Знаходимо цю точку перетину і через її горизонтальну проєкцію проводимо горизонтальну проєкцію прямої b (b_1) паралельно до горизонтальної проєкції фронталі заданої площини (рис. 2.10, *б*). Задача розв'язана.

2.3.1.1. Лінії рівня площини

У будь-якій площині можна провести її лінії рівня – горизонталі і фронталі.

Характерною ознакою фронталі на комплексному кресленні є паралельність її горизонтальної проєкції осі Ox . Тому побудова фронталі завжди починається з її горизонтальної проєкції (рис. 2.11, *а*). У відповідності до теореми про належність прямої площині фіксуємо її горизонтальну проєкцію двома точками, знаходимо

їх фронтальні проєкції і будуюмо фронтальну проєкцію фронталі (рис. 2.11, б). Будь яка інша фронталь цієї ж площини буде проходити паралельно до попередньо побудованої фронталі оскільки вона теж паралельна до площини проєкцій Π_2 .

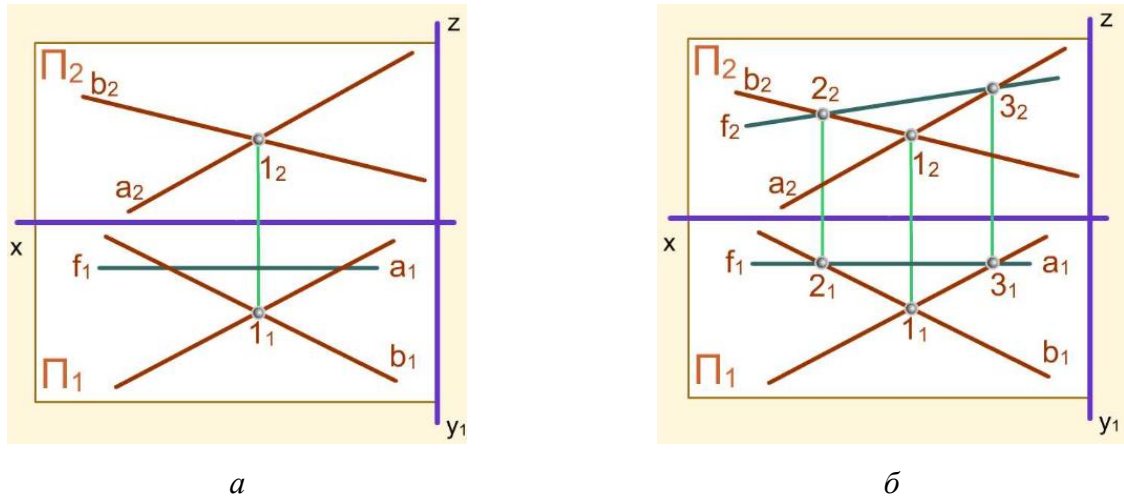


Рис. 2.11

Аналогічно відбувається побудова довільної горизонталі. При цьому слід врахувати, що фронтальна проєкція горизонталі проходить паралельно до осі ox (рис. 2.12, а). Будь яка інша горизонталь цієї ж площини буде проходити паралельно до попередньо побудованої горизонталі оскільки вона теж паралельна до площини проєкцій Π_1 (рис. 2.12, б).

Тобто, лінії рівня однієї і тієї ж площини відповідно паралельні між собою.

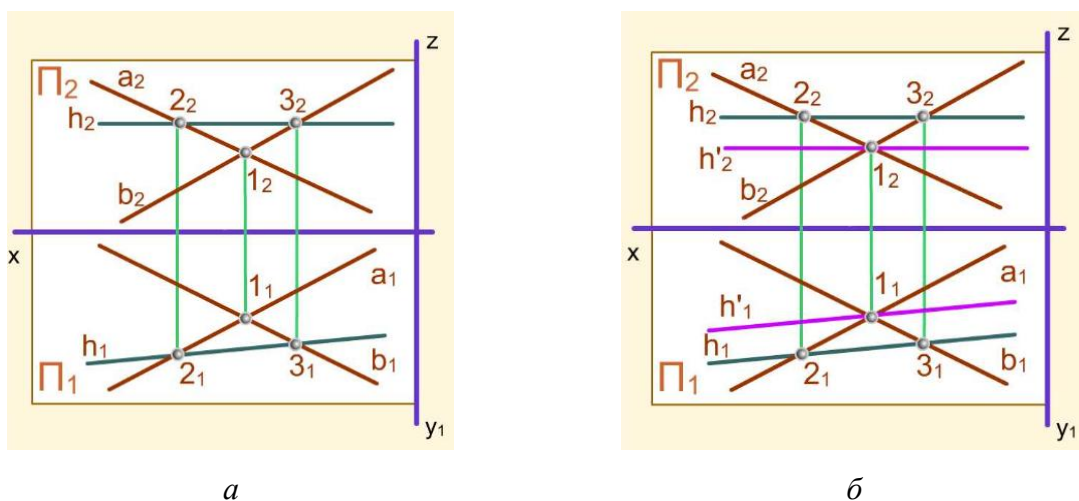


Рис. 2.12

2.3.2. Точка, яка належить площині

Точка належить площині, якщо вона належить прямій, яка належить цій площині.

Застосуємо цю теорему для розв'язку задач на комплексному кресленні. На рис. 2.13, а задано лініями рівня площину загального положення і фронтальну проєкцію точки $A-A_2$, що їй належить. Необхідно побудувати горизонтальну проєкцію точки $A-A_1$. У відповідності до попередньо зазначеної теореми проводимо через задану проєкцію точки фронтальну проєкцію довільної прямої. Знаходимо горизонтальну проєкцію побудованої прямої і на ній горизонтальну проєкцію точки $A-A_1$ (рис. 2.13, б). Задачу розв'язано.

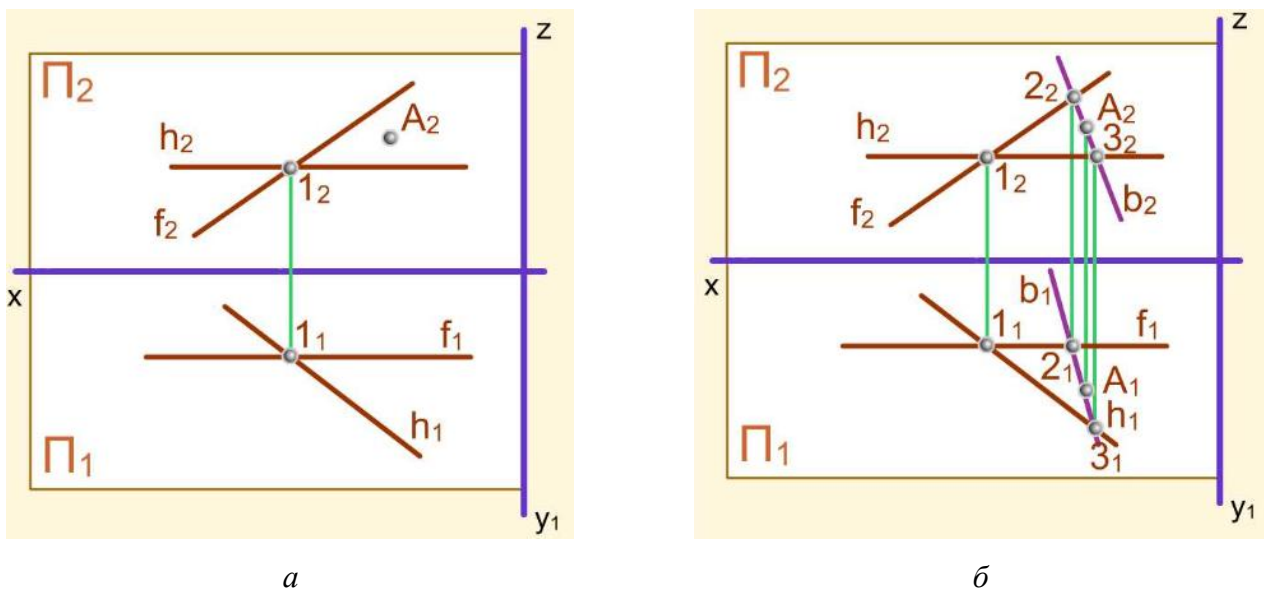


Рис. 2.13

2.4. Побудова площини за заданою прямою

Через задану пряму можна провести безліч площин, доповнюючи пряму точкою, що їй не належить; ще однією прямою, що її перетинає або паралельна до неї, ін. Щоб обмежити кількість розв'язків слід задати додаткові умови.

2.5. Взаємне розташування двох площин

Дві площини можуть бути паралельними між собою або перетинатись.

2.5.1. Паралельність площин

Площини паралельні, якщо дві прямі, які перетинаються, в одній площині відповідно паралельні двом прямим, які перетинаються, іншої площини.

На рис. 2.14, а в системі площин проєкцій Π_1 і Π_2 зображено дві площини $\Delta(axb)$ і $\Sigma(mxl)$, які задані двома прямими, що перетинаються. Причому пряма a площини Δ паралельна прямій l площини Σ і пряма b площини Δ паралельна прямій m площини Σ . Тобто, посилаючись на зазначену вище теорему, можна зробити висновок, що площина Δ і площина Σ паралельні. На комплексному кресленнику (рис. 2.14, б) паралельними є відповідні одноіменні проєкції цих прямих.

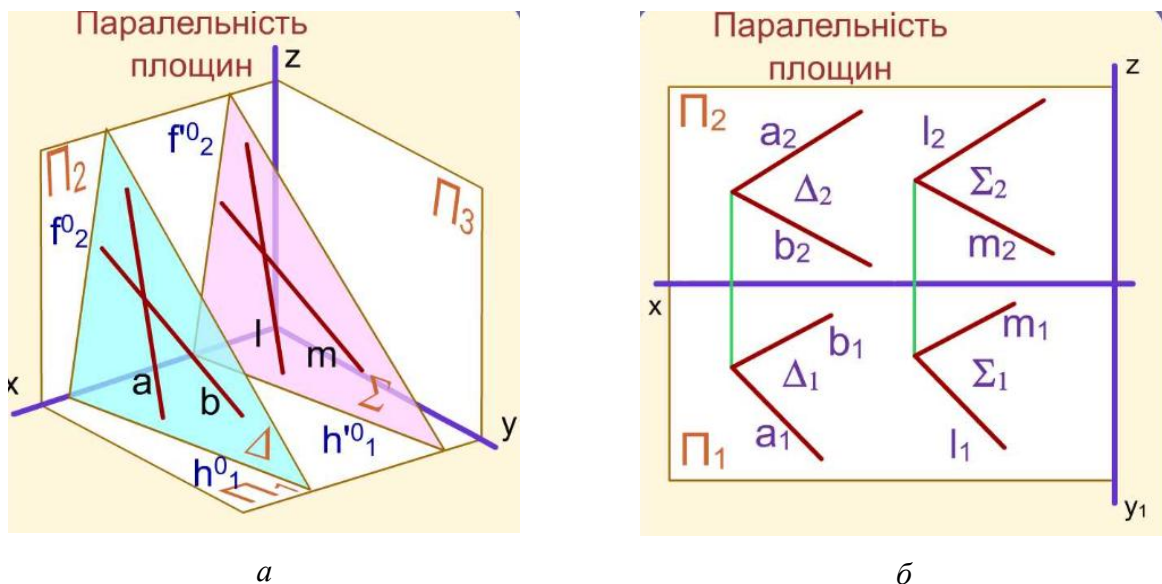


Рис. 2.14

Аналогічно, якщо площини задані лініями рівня, і, якщо відповідно паралельними є одноіменні проєкції їх фронталей і горизонталей, то дві площини вважають паралельними (рис. 2.15, а).

Також дві площини паралельні, якщо відповідно паралельними є одноіменні проєкції їх нульових фронталей і горизонталей (слідів площини) (рис. 2.15, б).

Відповідно площини окремого положення паралельні, якщо паралельні їх одноіменні сліди-проєкції (рис. 2.16, а, б). На рис. 2.16, а площини горизонтально-проєкціючі, на комплексному кресленні (рис. 2.16, б) – фронтально-проєкціючі.

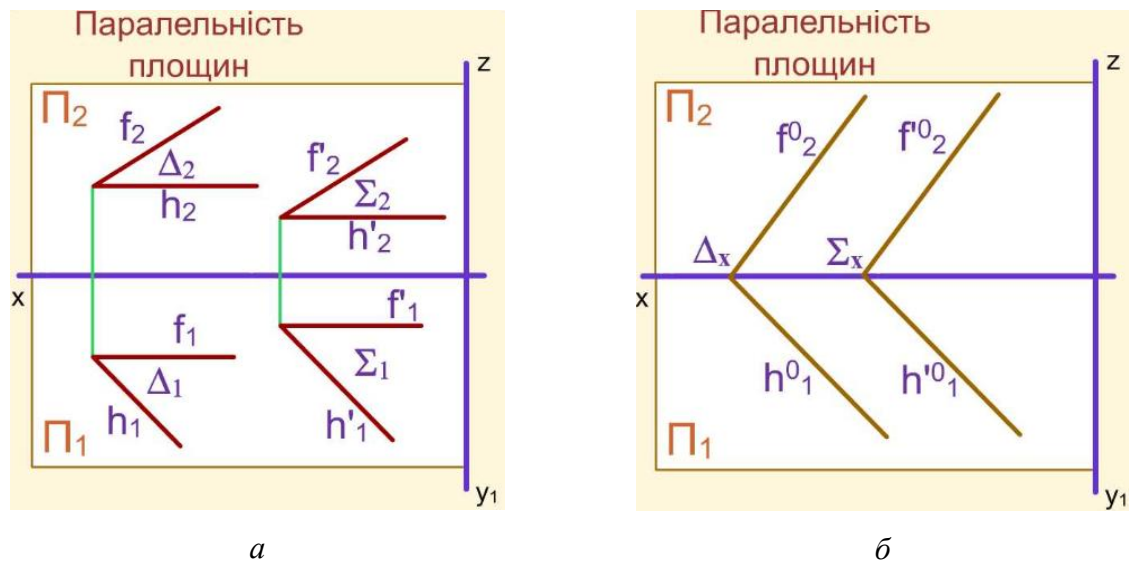


Рис. 2.15

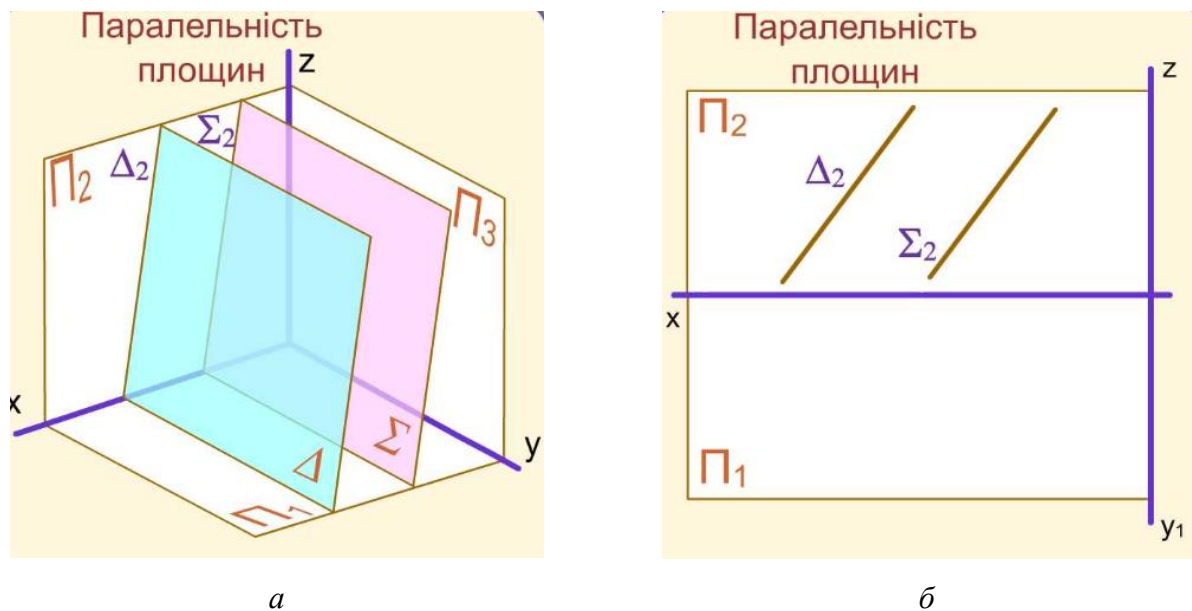


Рис. 2.16

Таким чином, на основі загальної теореми геометрії в курсі нарисної геометрії можна сформулювати декілька її наслідків.

Якщо площини задані лініями рівня, то дві площини вважаються паралельними, якщо відповідно паралельними є їх одноіменні проєкції фронталей і горизонталей.

Якщо площини задані нульовими лініями рівня, то в паралельних площинах відповідно паралельними будуть їх відповідні нульові лінії рівня. На комплексному кресленні у паралельних площинах відповідно паралельними будуть одноіменні проєкції нульових ліній рівня двох площин.

Площини особливого положення вважаються паралельними, якщо паралельні їх одноіменні сліди-проекції.

Задача на побудову паралельних площин є модульною позиційною задачею і може використовуватись як елемент розв'язку більш складних комплексних задач курсу.

2.5.2. Перетин площин

Спільним елементом для двох площин, які перетинаються, є *лінія їх перетину*.

У залежності від того, які площини перетинаються, задачі на перетин площин можуть бути поділені на декілька випадків:

Випадок 1. Перетинаються дві проєкціюючі площини, що перпендикулярні до однієї і тієї ж площини проєкцій (Π_1) (рис. 2.17, а). На малюнку видно, що їх лінією перетину є горизонтально-проєкціююча пряма (перпендикулярна до тієї ж площини проєкцій Π_1 , що і задані площини). Її горизонтальна проєкція збігається з точкою перетину слідів заданих площин. Фронтальна проєкція розташована перпендикулярно осі ox . На комплексному кресленні (рис. 2.17, б) показано проєкції лінії перетину при розв'язуванні поставленої задачі.

Висновок. *Якщо обидві площини, які перетинаються, перпендикулярні до однієї і тієї ж площини проєкцій, то лінія їх перетину перпендикулярна до тієї ж площини проєкцій.*

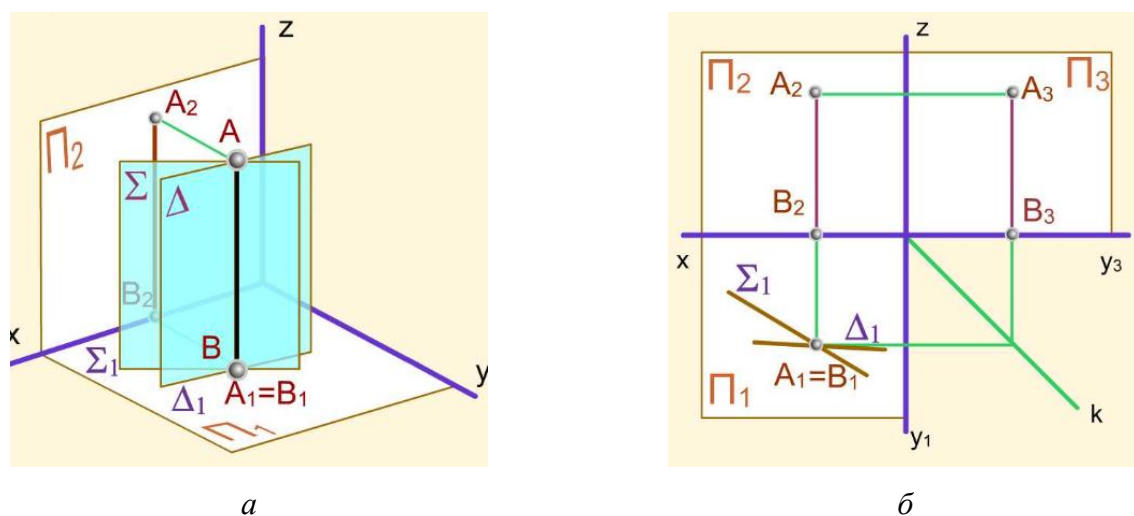


Рис. 2.17

Випадок 2. Перетинаються дві площини, одна з яких фронтально-проекціююча $\Delta(\Delta_2)$, а друга горизонтально-проекціююча $\Sigma(\Sigma_1)$ (рис. 2.18, а). Тобто задані площини перпендикулярні до різних площин проєкцій. Вони є проєкціюючими і на відповідні площини проєкцій проєкціюються у слід-проєкцію, що має збиральні властивості. Отже проєкції їх лінії перетину будуть співпадати з їх слідами-проєкціями (рис. 2.18, б).

Висновок. Якщо дві площини, які перетинаються, перпендикулярні до різних площин проєкцій, то проєкції лінії їх перетину співпадають з одноіменними слідами-проєкціями заданих площин.

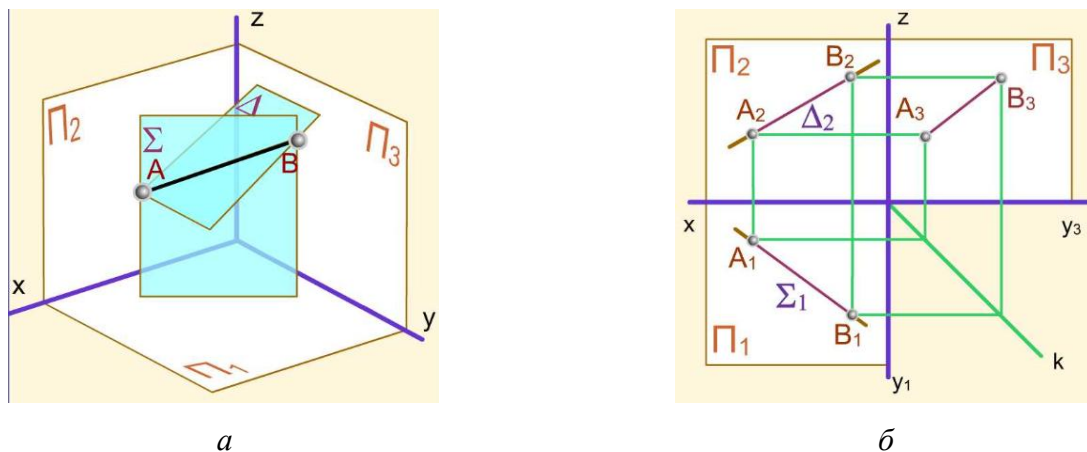


Рис. 2.18

Випадок 3. Перетинається площина загального положення з площиною окремого положення. Задачі такого типу теж дають спрощені розв'язки оскільки площина окремого положення на комплексному кресленнику задається слідом-проєкцією. Тобто одна з проєкцій лінії перетину буде збігатись зі слідом-проєкцією площини окремого положення. Друга проєкція лінії перетину знаходиться за належністю площині загального положення, оскільки це спільна пряма для обох площин.

На рис. 2.19, а площина загального положення $\Delta(f^0xh^0)$ перетинається горизонтальною площиною рівня $\Sigma(\Sigma_2)$. На малюнку видно, що дві проєкції лінії перетину АВ фронтальна та профільна співпадають з відповідними слідами-проєкціями горизонтальної площини рівня. Друга проєкція лінії перетину знаходиться за умови належності лінії перетину площини загального положення.

Оскільки лінія перетину є горизонталлю, будуємо її за спільною для обох площин точкою A та паралельно до нульової горизонталі площини загального положення (рис. 2.19, б). Тобто горизонтальна площина рівня розтинає площину загального положення по горизонталі. Відповідно фронтальна площина рівня розтинає площину загального положення по фронталі.

Висновок. Площини рівня розтинають площини загального положення по лініях рівня.

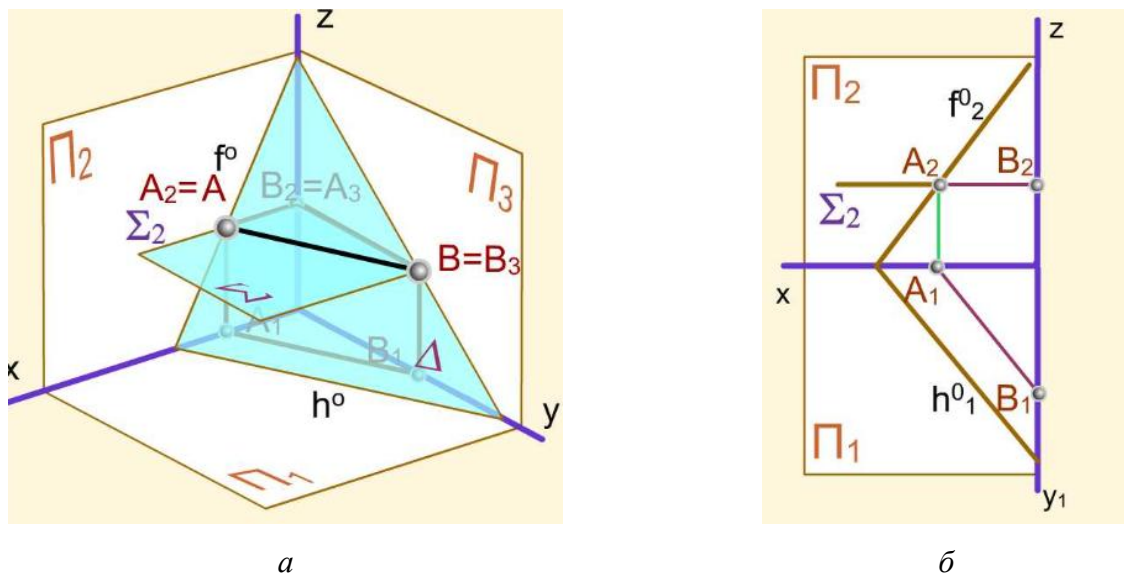


Рис. 2.19

Випадок 4. Перетинаються дві площини загального положення.

Оскільки лінією перетину є пряма, положення якої у просторі визначається двома її точками, то розв'язок задачі на побудову лінії перетину двох площин зводиться до знаходження спільних для обох площин двох точок.

Для розв'язку деяких класів позиційних задач в курсі нарисної геометрії використовують *метод посередників* – допоміжних геометричних елементів, використання яких спрощує розв'язки задач, даючи спільні точки для заданих об'єктів.

Лінію перетину двох площин загального положення можна побудувати використовуючи допоміжні *площини-посередники*, які перетинають кожен із заданих площин по прямій лінії. Перетинаючись в межах посередника, ці прямі дають спільну для обох заданих площин точку – точку їх лінії перетину (рис. 2.20, а).

Двох посередників достатньо, щоб отримати дві точки для побудови лінії перетину. Основною умовою обрання посередника є найпростіший розв'язок задачі. Тому посередниками обирають площини окремого положення, зважаючи на те, що вони на комплексному кресленні задаються слідами-проекціями, які мають збиральні властивості. Тобто одні проєкції ліній перетину кожної із заданих площин з площиною-посередником будуть співпадати на комплексному кресленні з їх слідами-проекціями. Другі проєкція ліній перетину можуть бути знайдені за умови, що ці прямі належать також заданим площинам (рис. 2.20, б).

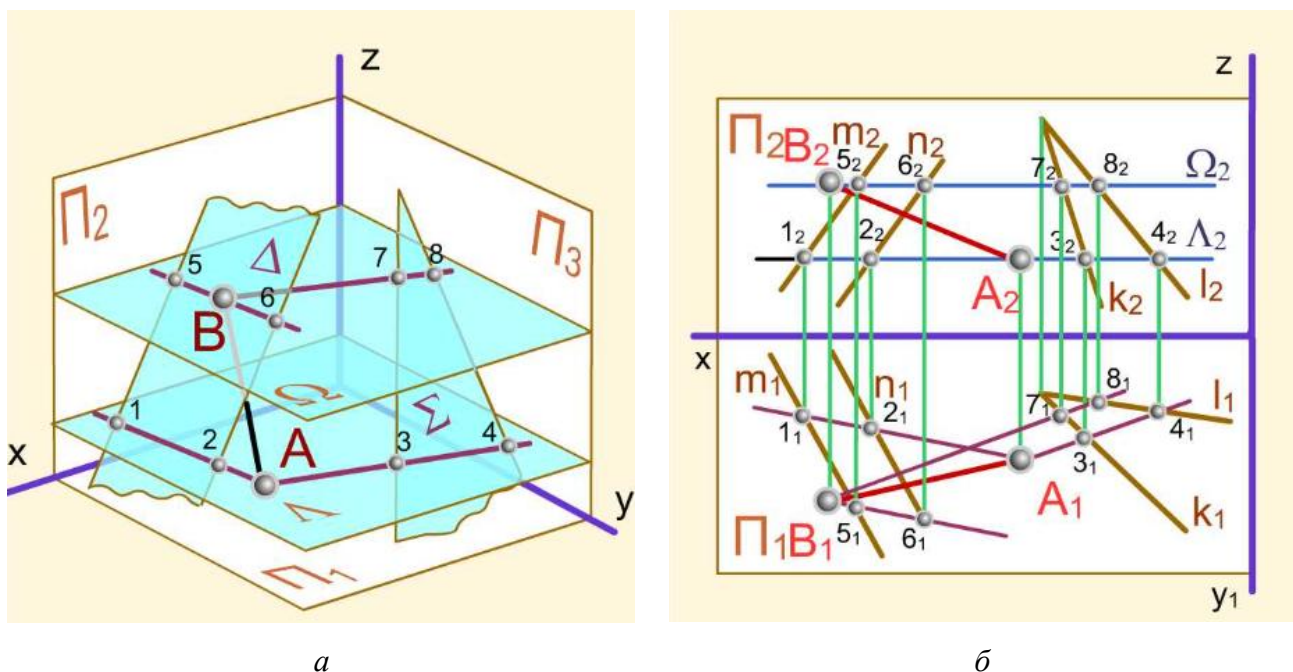


Рис. 2.20

У випадку, якщо посередниками є площини рівня, то лініями перетину заданих площин з посередником будуть їх лінії рівня. Це значно спрощує побудови (рис. 2.21, а, б).

Якщо площинами-посередниками обрати не площини рівня, а проєкціюючі площини, то алгоритм розв'язку задачі не зміниться. Лініями перетину площини-посередника з кожною із заданих площин в цьому випадку можуть бути не прямі рівня, а інші прямі.

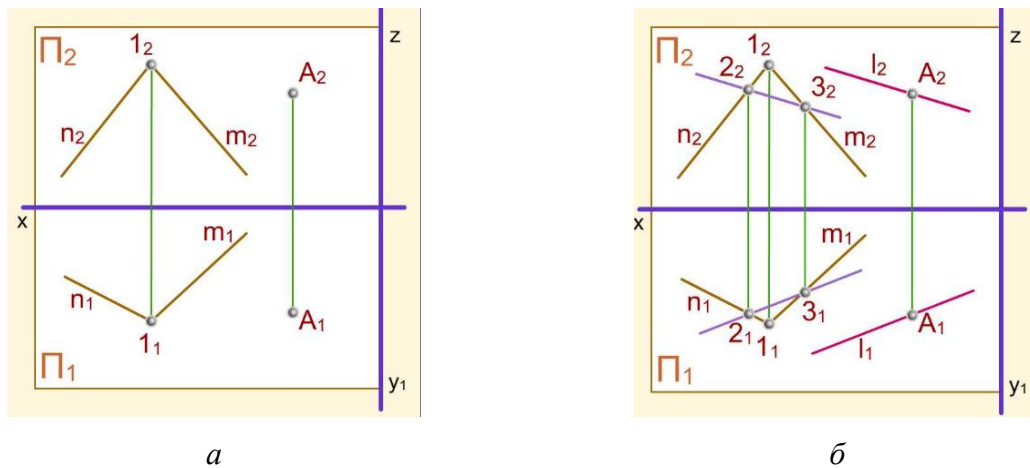


Рис. 2.22

Задача. У заданій точці A провести пряму паралельну до заданої площини $\Sigma(\Delta BCD)$ і горизонтальної площини проєкцій Π_1 (рис. 2.23, а).

Пряма, що має бути побудована в точці A повинна бути паралельною одночасно до двох площин $\Sigma(\Delta BCD)$ і Π_1 . Тобто вона повинна бути паралельною до лінії перетину заданих площин. Лінією перетину площини загального положення $\Sigma(\Delta BCD)$ з горизонтальною площиною проєкцій Π_1 є нульова горизонталь площини загального положення. Але оскільки усі горизонталі однієї і тієї ж площини паралельні між собою проводимо у площині трикутника довільну горизонталь, а в точці A пряму до неї паралельну (рис. 2.23, б). Задачу розв'язано. Введення в умову задачі додаткових вимог зменшує кількість розв'язків задачі у порівнянні з попередньою, де кількість розв'язків необмежена.

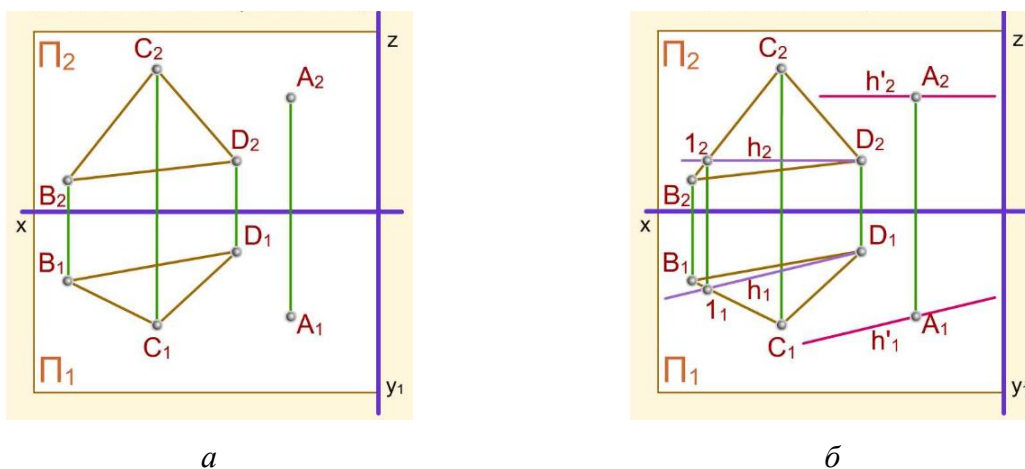


Рис. 2.23

Задача. У точці A побудувати площину паралельну заданій прямій l (рис. 2.24, а).

Очевидно, що площина, яка будується у точці A має включати пряму паралельну до заданої. Тому будуємо пряму $l' // l$. Наступний і завершальний крок – пряму l' заключаємо у площину, перетнувши її, наприклад, іншою довільною прямою m (рис. 2.24, б). Оскільки варіантів побудови площини за заданою прямою безліч, то безліч і розв'язків задачі.

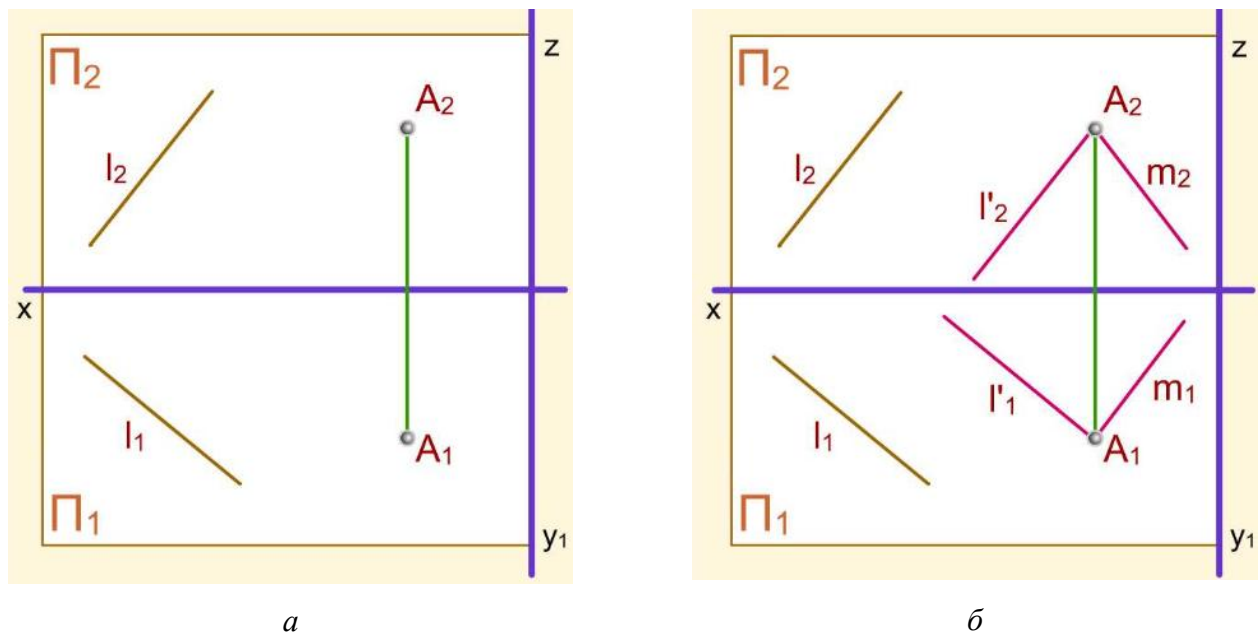


Рис. 2.24

Задача. У точці A побудувати площину паралельну заданій прямій l і рівнонахилена до горизонтальної Π_1 і фронтальної Π_2 площин проєкцій (площину задати слідами) (рис. 2.25, а).

По аналогії з попередньою задачею проводимо в точці A пряму l' паралельну до заданої в умові задачі. Оскільки за умовою задачі площина має бути задана слідами, знаходимо сліди побудованої прямої l' точки M і N . Пам'ятаємо, що сліди прямої співпадають зі слідами площини, якій ця пряма належить. Тому проводимо через точки M і N сліди рівнонахиленої за умовою задачі площини (рис. 2.25, б). Побудована площина має пару слідів, що збігаються. Може бути ще один випадок побудови рівнонахиленої площини – гострокутньої.

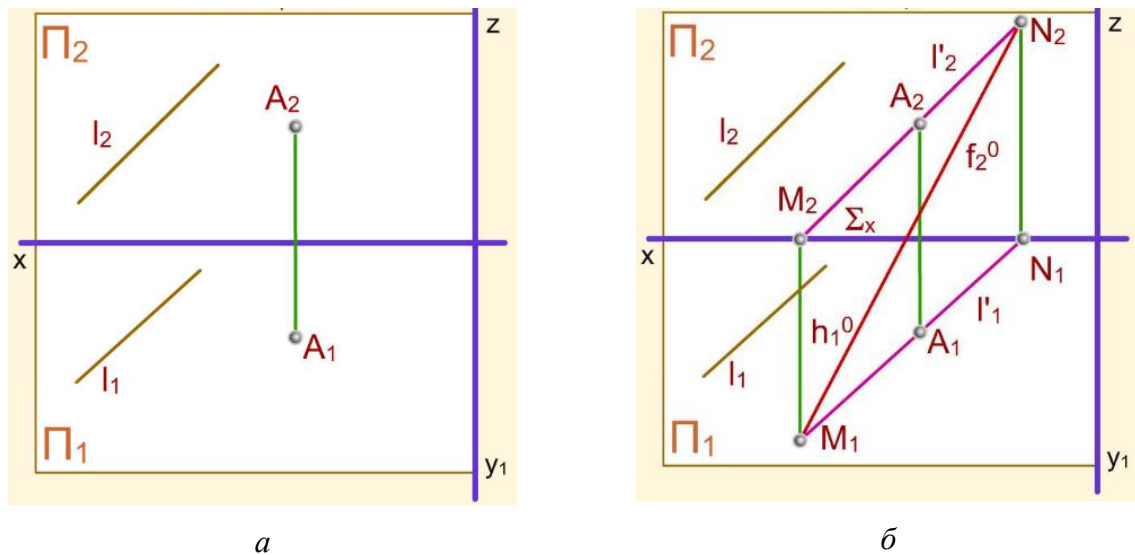


Рис. 2.25

Задачі на паралельність прямої і площини є модульними задачами курсу і можуть використовуватись при розв'язку комплексних задач.

2.6.2. Перетин прямої і площини

Якщо пряма не належить площині і не паралельна до неї, то вона перетинає площину в єдиній точці. Розглянемо послідовність виконання дій при розв'язуванні задач на перетин прямої і площини.

Такі задачі розв'язуються за допомогою застосування методу посередників, який використовувався при знаходженні лінії перетину площин загального положення.

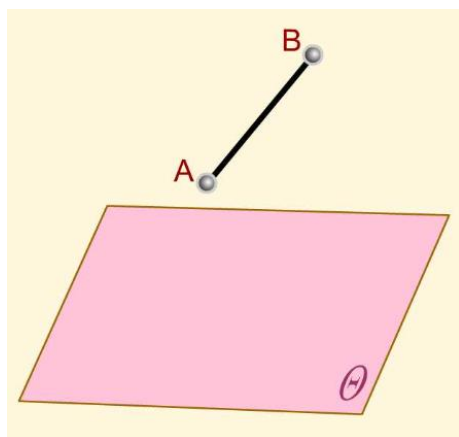
На рис. 2.26, *a* показано площину загального положення Θ і пряму загального положення задану відрізком АВ. Необхідно знайти точку їх перетину.

Алгоритм побудов наступний:

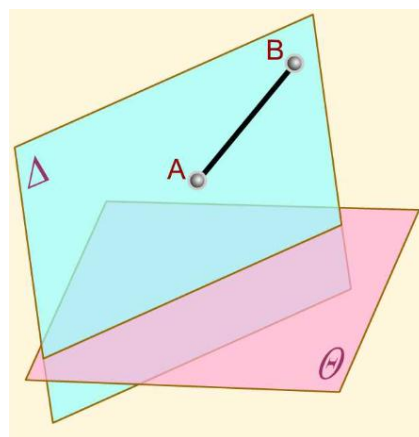
- заключаємо відрізок АВ у площину-посередник Δ (рис. 2.26, *б*);
- знаходимо лінію перетину k посередника Δ з заданою площиною Θ (рис. 2.26, *в*);
- отримуємо точку перетину К отриманої лінії k і заданої прямої АВ.

Точка К і є точкою перетину заданих прямої і площини, оскільки отримана пряма k є спільною прямою для заданої площини Θ і площини-посередника Δ , у якому знаходиться задана пряма АВ. Посередник обирають за умови отримання найпростіших розв'язків. Тому у даному випадку це можуть бути площини окремого

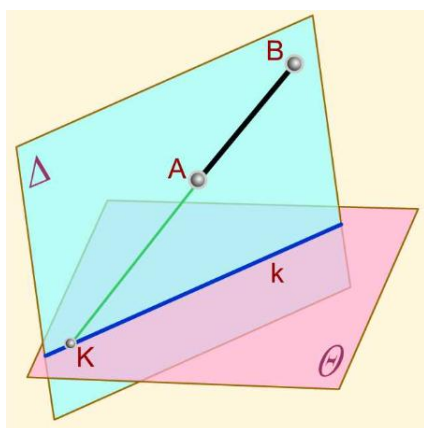
положення. У цьому випадку одна з проєкцій лінії перетину площини-посередника з заданою площиною співпадає зі слідом-проєкцією площини-посередника, а інша проєкція знаходиться за умови її належності заданій площині.



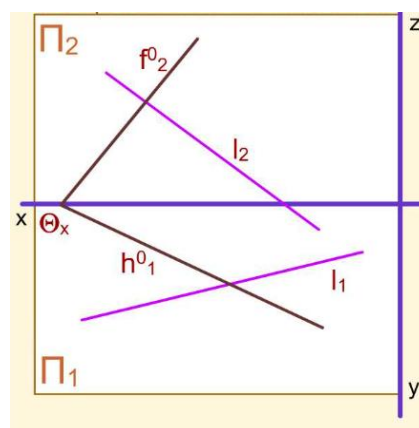
a



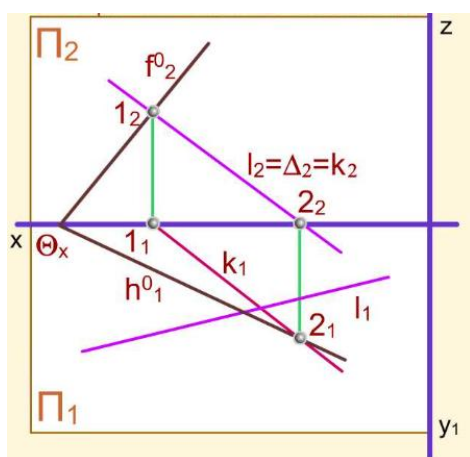
б



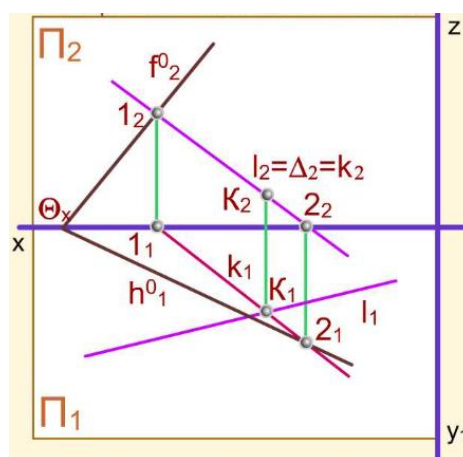
в



г



д



ж

Рис. 2.26

Розглянемо таку задачу на комплексному кресленику.

Задача. *Задано площину загального положення $\Theta(h^0xf^0)$ і пряму загального положення l . Знайти точку їх перетину (рис. 2.26, г).*

Оскільки і площина і пряма займають загальне положення задачу слід розв'язувати за загальним алгоритмом з введенням посередника. У даному випадку у якості посередника може бути обрана фронтально-проекціююча площина, слід-проекція якої співпадає з фронтальною проекцією заданої прямої l l_2 , так і горизонтально-проекціююча площина, слід-проекція якої співпадає з горизонтальною проекцією прямої l l_1 . Заклучимо пряму у фронтально-проекціюючу площину-посередник Δ (Δ_2). Знайдемо лінію перетину заданої площини $\Theta(h^0xf^0)$ з площиною-посередником Δ (Δ_2). Площина-посередник перетинає задану площину по деякій прямій k , що проходить через дві точки 1 і 2 (1_2 і 2_2), у яких площина-посередник перетинає нульові лінії рівня площини (рис. 2.26, д). Знаходимо точку перетину K заданої прямої l з лінією перетину k (рис. 2.26, ж). Задачу розв'язано.

Задача на побудову точки перетину прямої і площини є модульною позиційною задачею курсу і може входити як елемент розв'язку до більш складних комплексних задач.

Запитання для самоперевірки

1. Якими геометричними елементами можна задати площину?
2. Як розташована по відношенню до площин проєкцій площина рівня? проєкціююча площина? площина загального положення?
3. Як визначають на комплексному кресленні належність прямої площині? належність точки площині?
4. Які лінії називають лініями рівня площини?
5. Який спосіб використовують при знаходженні лінії перетину площин загального положення?
6. Як знаходять точку перетину прямої і площини на комплексному кресленні?

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИ СПРОЩЕННЯ РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧ НАРИСНОЇ ГЕОМЕТРІЇ

З попередньої частини курсу відомо, що усі задачі нарисної геометрії діляться на дві великі групи:

- 1) *позиційні задачі*, в яких визначається взаємне розташування геометричних елементів і при розв'язку яких не потрібно виконувати операції вимірювання;
- 2) *метричні задачі*, в яких визначаються натуральні величини відповідних геометричних елементів (відрізків, площин, кутів, ін.) і виконується їх вимірювання.

Більш складні задачі курсу можуть включати елементи розв'язку як першої, так і другої груп.

Більшість метричних і позиційних задач розв'язуються більш просто, коли геометричні елементи, які розглядаються в цих задачах, займають особливе положення. Перевести геометричні елементи із загального в особливе положення можна змінюючи систему площин проєкцій або обертаючи сукупність заданих геометричних елементів відносно фіксованої системи площин проєкцій.

І в першому, і у другому випадках взаємне розташування геометричних елементів не змінюється, а змінюється лише їх положення відносно існуючої чи нової системи площин проєкцій. Зміна положення геометричних елементів відносно нової системи площин проєкцій виконується методом заміни площин проєкцій, а відносно фіксованої методом обертання та плоско-паралельного переміщення.

3.1. Метод заміни площин проєкцій

При методі заміни площин проєкцій одна з двох площин проєкцій замінюється новою площиною, яка відповідним чином розташовується відносно об'єкта. При цьому нова площина проєкцій повинна бути перпендикулярна до тієї площини проєкцій, яка залишається в новій системі площин проєкцій.

При заміні однієї площини проєкцій іншою слід виконати наступні дії:

1. Замінити одну з площин системи площин проєкцій, залишивши іншу без змін.

2. Нова площина проєкцій повинна бути перпендикулярна до тієї площини проєкцій, що залишилась в системі.

3. Напрямок проєкціювання на нову площину проєкцій повинен бути перпендикулярним до цієї площини проєкцій.

4. На комплексному кресленні лінія зв'язку між проєкціями точки в новій системі площин проєкцій повинна бути перпендикулярна до нової осі проєкцій.

5. Відстань від нової проєкції точки до нової осі проєкцій повинна дорівнювати відстані від попередньої осі проєкцій до проєкції точки, що замінюється.

Відслідкуємо на прикладі точки алгоритм побудов методу. На рис. 3.1, *a* в системі площин проєкцій Π_1/Π_2 зображена точка A . Маємо дві її проєкції горизонтальну A_1 і фронтальну A_2 . Нехай з деяких міркувань виявилось доцільним відмовитись від фронтальної площини проєкцій Π_2 і замінити її іншою площиною проєкцій Π_4 розташованою дещо по-іншому у просторі, але перпендикулярною до площини проєкцій Π_1 .

Створено нову систему площин проєкцій Π_1/Π_4 . Лінія перетину цих площин – нова вісь проєкцій x_1 . Виконаємо проєкціювання точки A у новій системі площин проєкцій. Горизонтальна проєкція точки A – A_1 залишається без змін оскільки площина проєкцій Π_1 залишилась у новій системі. Щоб отримати проєкцію точки A – A_4 слід паралельно до напрямку проєкціювання s_4 , перпендикулярного до Π_4 , провести проєкціюючий промінь і в його перетині з площиною проєкцій Π_4 знайти A_4 (рис. 3.1, *a*). Встановимо зв'язок між попередньою і новою системами площин проєкцій. Площини проєкцій Π_2 та Π_4 перпендикулярні до площини проєкцій Π_1 . Відповідні напрямки проєкціювання перпендикулярні до цих площин. Маємо прямокутники, у яких $AA_1 = A_2A_x = A_4A_{x1}$. Тобто відстань нової проєкції точки A – A_4 від нової осі проєкцій x_1 дорівнює відстані проєкції точки A_2 , що замінюється, до попередньої осі проєкцій Ox . Нова пара проєкцій точки $A(A_1, A_4)$ визначає положення точки у просторі як і $A(A_1, A_2)$. Для переходу до комплексного креслення виконаємо суміщення площини проєкцій Π_4 з площиною проєкцій Π_1 (рис. 3.1, *б*). (Обертання може виконуватись як в одному так і в протилежному напрямках). Після цього, як і раніше, виконуємо суміщення площини проєкцій Π_1 (разом з Π_4)

з площиною проєкцій Π_2 . Звертаємо увагу, що лінії зв'язку між сусідніми проєкціями точок проходять перпендикулярно до відповідних осей проєкцій.

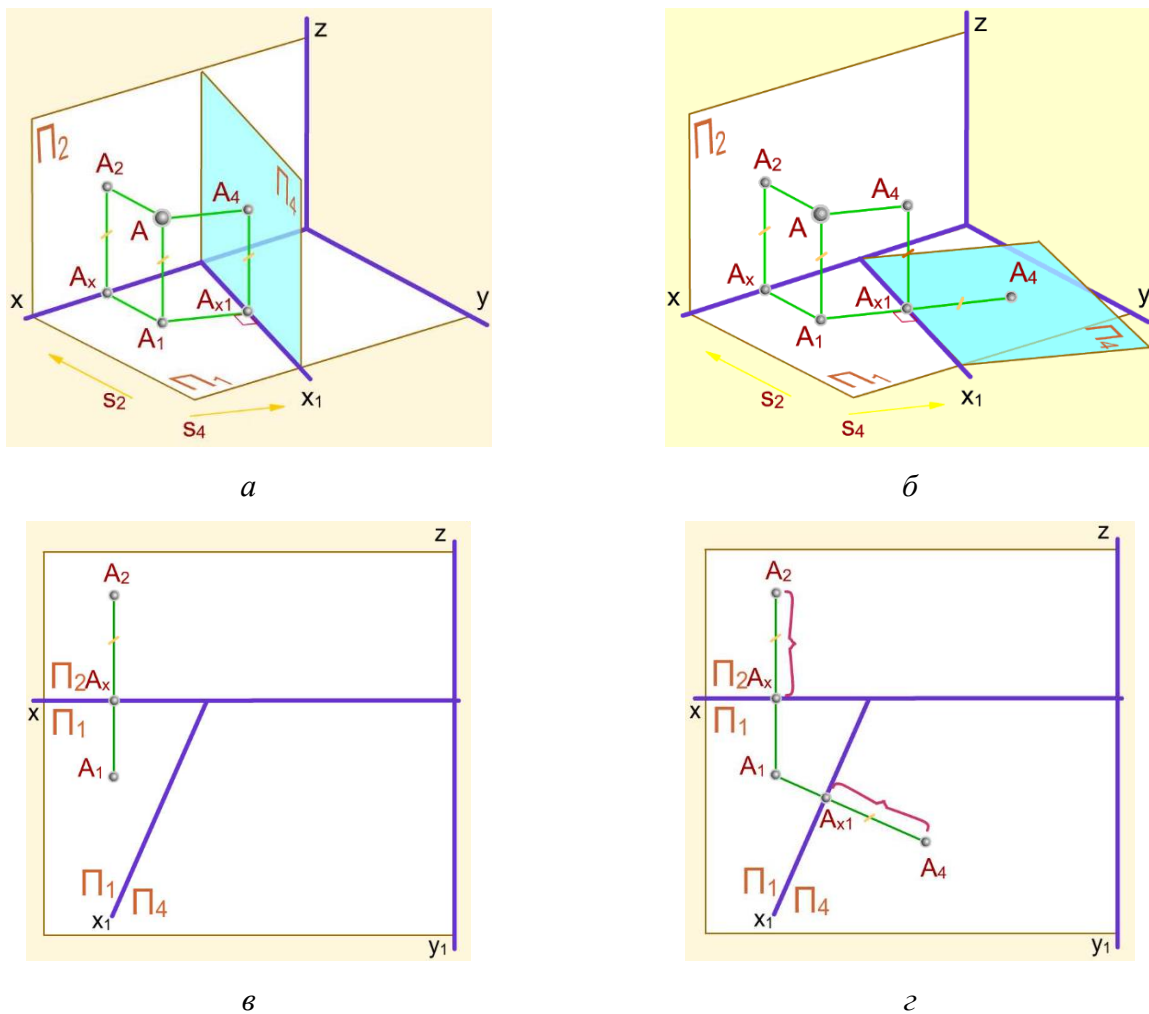


Рис. 3.1

Відповідно до розглянутого, на комплексному кресленні побудови проєкцій точки при заміні площин проєкцій відбуваються наступним чином (рис. 3.1, в). Створюємо комплексне креслення нової системи площин проєкцій Π_1/Π_4 (оскільки додаткових умов немає вісь Ox_1 проводимо довільно). Від горизонтальної проєкції A_1 проводимо лінію зв'язку перпендикулярну до осі проєкцій Ox_1 . В перетині з віссю отримуємо точку A_{x1} . Вимірюємо відстань A_2A_x і від точки A_{x1} відкладаємо її по лінії зв'язку в напрямку площини проєкцій Π_4 . Отримуємо нову проєкцію точки $A - A_4$ (рис. 3.1, г). В новій системі площин проєкцій Π_1/Π_4 можна виконати ще одну заміну, замінивши ту площину проєкцій, що залишилась в системі (Π_1), на нову

площину проєкцій перпендикулярну до іншої площини проєкцій системи (Π_4) і т.п. Такі послідовні заміни площин проєкцій дозволяють отримати систему площин проєкцій, яка так розташовується відносно нерухомого об'єкта, що він займе зручне для розв'язку задачі особливе положення.

При використанні методу заміни площин проєкцій слід біля осей проєкцій вказувати положення площин проєкцій.

Аналогічно виконуються побудови при заміні площини проєкцій Π_1 , наприклад, на Π_5 .

3.1.1. Основні перетворення методу заміни площин проєкцій

До основних перетворень методу відносяться:

- перетворення прямої загального положення в пряму рівня;
- перетворення прямої загального положення в проєкціюючу пряму;
- перетворення площини загального положення в проєкціюючу площину;
- перетворення площини загального положення в площину рівня.

3.1.1.1. Перетворення прямої загального положення в пряму рівня

Пряма загального положення нахилена до усіх площин проєкцій під деякими кутами, тому на жодну з площин проєкцій відрізок цієї прямої не проєкціюється в натуральну величину.

Якщо ж відрізок розташовано паралельно до якої-небудь площини проєкцій, то він є прямою рівня і на цю площину проєкцій проєкціюється в натуральну величину.

Тому виконаємо перетворення площин проєкцій, при якому відрізок прямої загального положення стане паралельним до якої-небудь площини проєкцій. Отримаємо його проєкцію на цю площину, що дорівнюватиме його натуральній величині.

Відмовляємось від площини проєкцій Π_2 і заміняємо її на Π_4 , розташовуючи її паралельно відрізку АВ і перпендикулярно площині проєкцій Π_1 . В новій системі площин проєкцій положення відрізка відносно площини проєкцій Π_1 не змінилось. Відповідно не змінились і висоти точок відрізка (рис. 3.2, а).

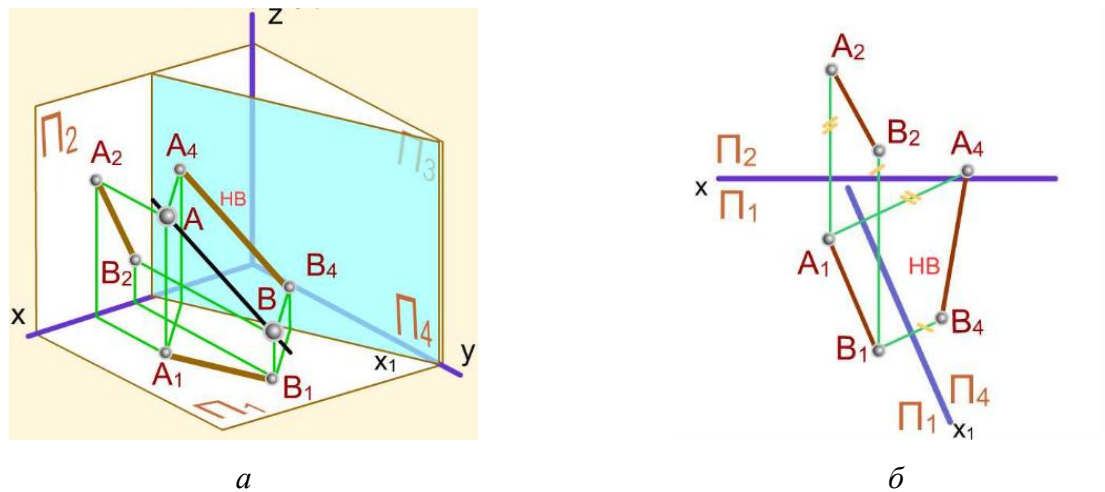


Рис. 3.2

Тобто відрізок AB , який в системі площин проєкцій Π_1/Π_4 був прямою загального положення, в новій системі площин проєкцій перетворився у пряму рівня без зміни свого положення у просторі і не втративши значень своїх вихідних координат.

На рис. 3.2, б показано комплексне креслення перетворення. Для побудови відрізка у новій системі координат використано його кінцеві точки A і B . Алгоритм побудови проєкцій точок у новій системі площин проєкцій описано вище.

Окрім натуральної величини відрізка можна виміряти і натуральну величину кута його нахилу до тієї з площин проєкцій, що залишилась у новій системі площин проєкцій. Це кут α . Аналогічно можна визначити натуральну величину відрізка і його кут нахилу β до площини проєкцій Π_2 , замінивши систему Π_1/Π_2 на Π_2/Π_5 .

За допомогою цього перетворення можна розв'язувати наступні задачі:

- визначати натуральну величину відрізка прямої загального положення;
- визначати кути нахилу прямих до площин проєкцій;
- будувати перпендикуляри з заданої точки на пряму тощо.

3.1.1.2. Перетворення прямої загального положення у проєкціюючу пряму

Це перетворення виконується двома замінами. Спочатку пряму загального положення перетворюють у пряму рівня (рис. 3.3, а). Наступною заміною пряму рівня перетворюють у проєкціюючу. На рис. 3.3, б показано комплексне креслення перетворення.

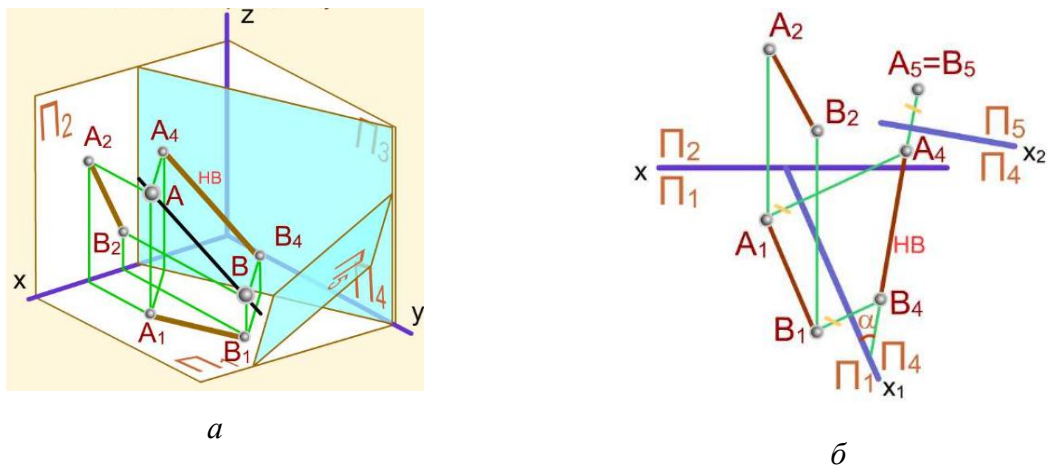


Рис. 3.3

На основі цього перетворення можна розв'язувати наступні задачі:

- визначення відстані від точки до прямої;
- визначення відстані між паралельними прямими;
- визначення натуральної величини двогранного кута;
- побудова циліндра за трьома його твірними тощо.

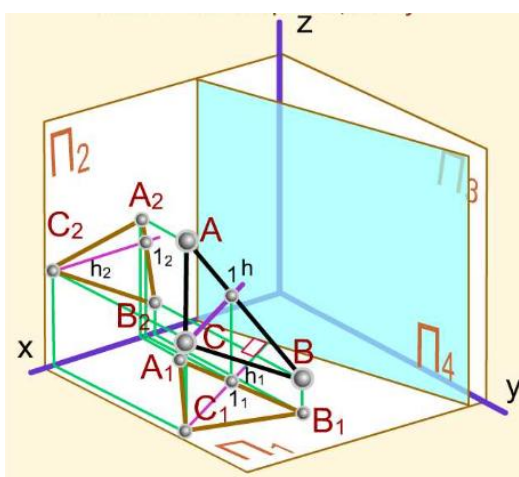
3.1.1.3. Перетворення площини загального положення у проєкціюючу площину

Розглянемо перетворення площини загального положення в проєкціюючу площину на прикладі трикутника $\triangle ABC$. У системі площин проєкцій Π_1/Π_2 трикутник є площиною загального положення і на жодну з площин проєкцій не проєкціюється у слід-проєкцію. Щоб перетворити площину загального положення у проєкціюючу слід використати іншу систему площин проєкцій. Проаналізуємо як розташовані лінії рівня проєкціюючої площини по відношенні до системи площин проєкцій, у просторі якої ця площина знаходиться. На рис. 2.6, з показано, що одні лінії рівня паралельні до тієї площини проєкцій, до якої площина перпендикулярна, інші перпендикулярні. Наприклад, у горизонтально-проєкціюючої площини горизонталі паралельні до горизонтальної площини проєкцій, а перпендикулярні до горизонтальної площини проєкцій її фронталі. Скористаємось цим для перетворення площини загального положення у проєкціюючу. Проведемо у площині трикутника лінію рівня, наприклад, горизонталь. Побудуємо нову площину проєкцій Π_4 перпендикулярно

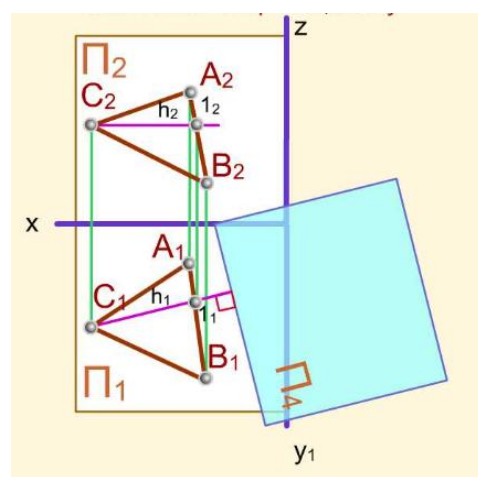
до неї і до площини проєкцій Π_1 , щоб виконати умови методу заміни площин проєкцій (рис. 3.4, а). Виконуємо проєкціювання площини трикутника на площину проєкцій Π_4 (рис. 3.4, б, в). Отримуємо слід-проєкцію (рис. 3.4, з). Між слід-проєкцією і віссю x_1 визначаємо кут нахилу α заданої площини до площини проєкцій Π_1 . Задача розв'язана. Щоб визначити кут нахилу заданої площини до фронтальної площини проєкцій, слід виконувати заміну площин проєкцій залишаючи у новій системі площин проєкцій фронтальну площину проєкцій Π_2 .

На основі цього перетворення розв'язуються наступні задачі:

- визначення кутів нахилу площини до площин проєкцій;
- визначення відстані від точки до площини;
- визначення відстані між паралельними площинами;
- побудова геометричного місця точок розташованих на певній відстані від заданої площини;
- визначення на прямій точки віддаленої від заданої площини на певній відстані;
- побудова геометричного місця точок рівновіддаленого від двох площин, які перетинаються;
- побудова лінії перетину поверхні площиною загального положення тощо.

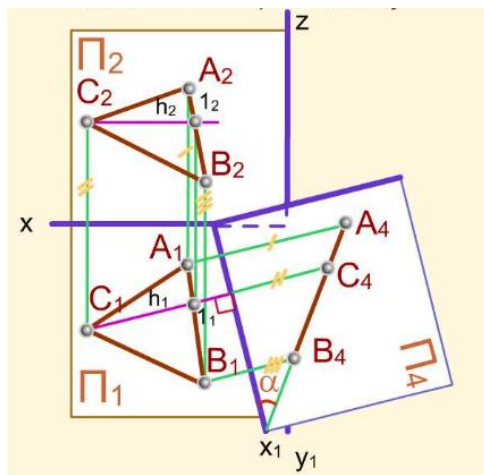


а

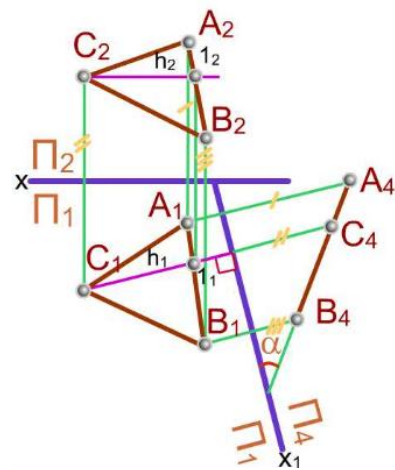


б

Рис. 3.4



а



б

Рис. 3.4 Закінчення (див. також с. 76)

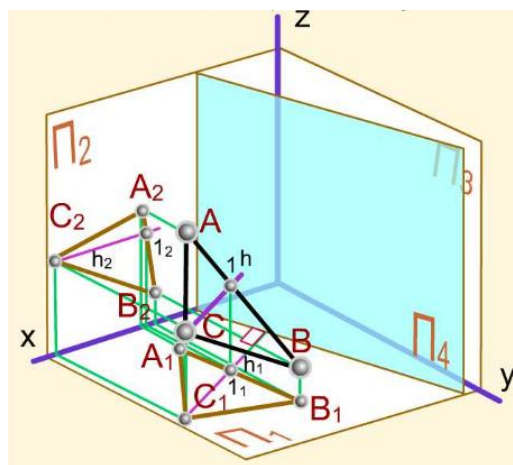
3.1.1.4. Перетворення площини загального положення у площину рівня

Відомо, що площина рівня розташована паралельно до площини проєкцій. Тобто, до інших двох площин проєкцій вона перпендикулярна і її сліди-проєкції проходять паралельно до відповідних осей проєкцій (рис. 3.5, а, б). Тобто, щоб перетворити площину загального положення у площину рівня, слід виконати два перетворення. Спочатку виконати її перетворення у проєкціюючу і отримати слід-проєкцію. Ще однією заміною площин проєкцій перетворити її у площину рівня.

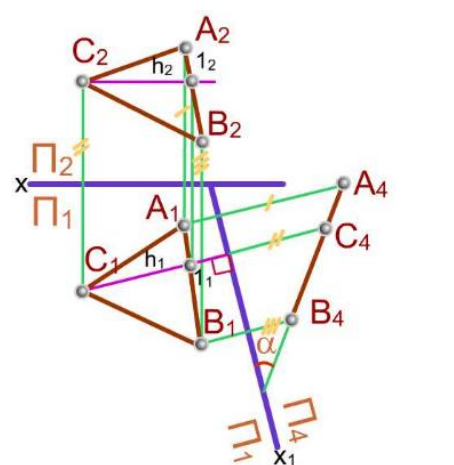
Виконуємо першу заміну площин проєкцій за алгоритмом попередньої задачі (рис. 3.5, а, б). Наступну заміну площин-проєкцій виконуємо перетворюючи проєкціюючу площину у площину рівня. Створюємо нову систему площин проєкцій Π_4/Π_5 . Площина Π_5 розташовується паралельно до проєкціюючої площини і перпендикулярно до площини проєкцій Π_4 (рис. 3.5, в). Завершуємо побудови на комплексному кресленику (рис. 3.5, г). Задачу розв'язано.

На основі цього перетворення розв'язуються наступні задачі:

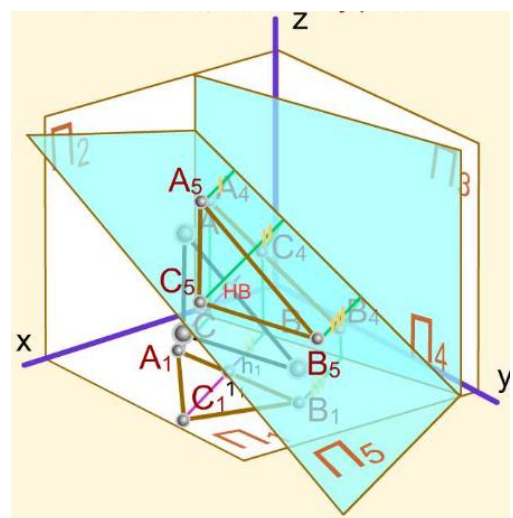
- визначення площ плоских фігур;
- побудова бісектрис плоских кутів;
- визначення величин кутів між відрізками прямих;
- визначення центрів вписаних та описаних навколо трикутників кіл тощо.



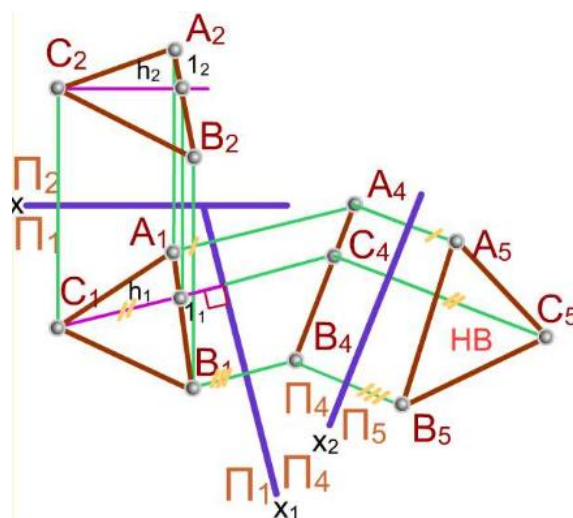
a



б



в



г

Рис. 3.5

У попередньо поданому у підручнику навчальному матеріалі розглядаються методи, способи і алгоритми розв'язку позиційних і метричних задач курсу, у яких геометричне моделювання застосовується до точок, прямих, площин.

Наступна частина курсу присвячується вивченню методів і способів геометричного моделювання точок, прямих ліній, площин, кривих ліній і поверхонь.

Запитання для самоперевірки

1. Коли слід застосовувати метод заміни площин проєкцій?
2. Які основні умови застосування методу заміни площин проєкцій?
3. Назвіть основні перетворення методу.
4. Як перетворити пряму загального положення у пряму рівня?

5. Як перетворити пряму загального положення у проєкціюючу пряму?
6. Як перетворити площину загального положення у проєкціюючу площину?
7. Як перетворити площину загального положення у площину рівня?
8. Як за допомогою методу заміни площин проєкцій визначити натуральну величину відрізка прямої загального положення?
9. Як за допомогою методу заміни площин проєкцій визначити відстань від точки до прямої?
10. Як за допомогою методу заміни площин проєкцій визначити натуральну величину двогранного кута?
11. Як за допомогою методу заміни площин проєкцій визначити центр вписаного в трикутник кола? описаного?

РОЗДІЛ 4. КРИВІ ЛІНІЇ І ПОВЕРХНІ

Крива лінія може розглядатись як:

- траєкторія точки, яка рухається у просторі;
- межа поверхні;
- лінія перетину поверхні з площиною;
- лінія перетину поверхонь.

Криві лінії бувають просторові, усі точки яких не належать одній площині, і плоскі, усі точки яких належать одній площині. Плоскими лініями є, наприклад, коло, еліпс, парабола, гіпербола. Прикладом просторової лінії може бути гвинтова лінія.

Крім того, криві лінії розподіляються на закономірні і незакономірні. Закономірні криві задаються алгебраїчними або трансцендентними рівняннями. Усі незакономірні криві називають графічними, тому що вони можуть задаватись лише графічно у вигляді свого зображення. Усі інші криві лінії можуть задаватись як рівнянням, так і графічно.

Алгебраїчні криві характеризуються порядком і класом. Порядок кривої визначається найбільшим ступенем рівняння, яким задана крива. Геометрично порядок плоскої алгебраїчної кривої лінії визначається найбільшою кількістю точок її перетину прямою лінією. Порядок просторової алгебраїчної кривої лінії визначається найбільшою кількістю точок її перетину площиною загального положення. Клас кривої лінії визначається максимально можливою кількістю дотичних, проведених до неї із зовнішньої точки. Для кривих другого порядку (коло, еліпс, гіпербола, парабола) клас і порядок кривої лінії співпадають.

4.1. Моделювання плоских кривих ліній

Нарисна геометрія вивчає криві лінії за їх проєкціями. Тому має суттєве значення питання, які властивості кривих зберігаються при їх проєкціюванні.

Пряма може перетинати плоску криву лінію у двох, трьох і більше точках. Відповідно цьому визначають порядок кривої. Чи може змінюватись порядок кривої при проєкціюванні? Кожній точці перетину двох ліній відповідає її єдина

проекція, тому число точок перетину прямої з кривою лінією повинно зберігатись і на проєкціях. Тобто *порядок кривої лінії не змінюється при проєкціюванні*.

При ортогональному проєкціюванні проєкції кривої лінії отримують як результат перетину проєкціюючого циліндра, створеного проєкціюючими променями, що проходять через точки, що належать кривій лінії, з площиною проєкцій (рис. 4.1, а, б).

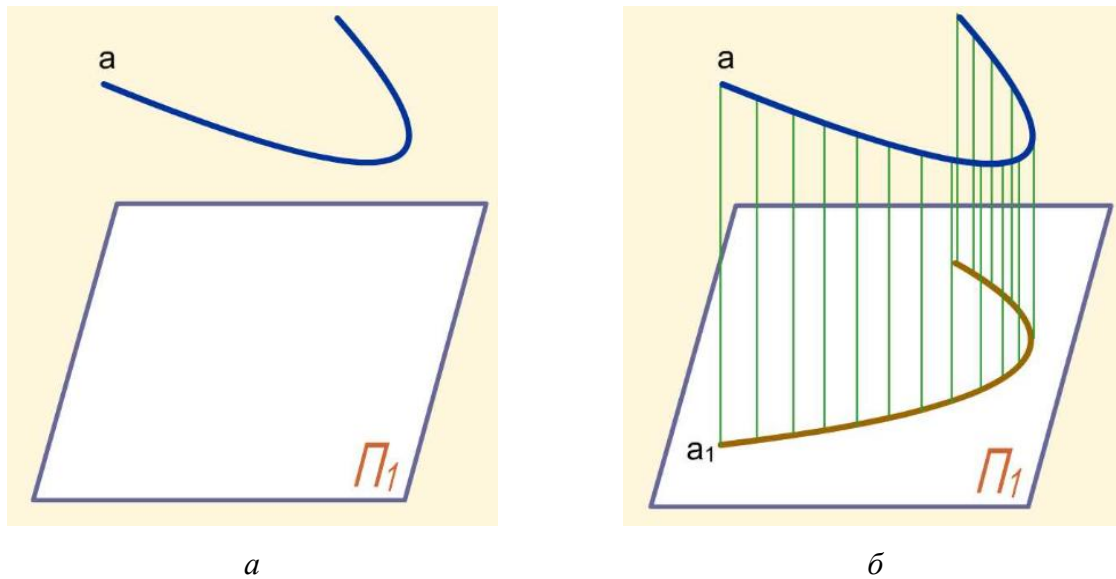


Рис. 4.1

Проекціями плоских і просторових кривих ліній є плоскі криві лінії (рис. 4.1, б).

По відношенню до кривої лінії пряма може бути *січною*, *дотичною* або *нормаллю*. Пряма, що перетинає криву лінію в одній, двох або більше точках, називається **січною**. Якщо січну **s**, що перетинає деяку криву **а** у двох точках, обернути навколо однієї з точок, наприклад, **М** так, щоб друга точка перетину **N** ставала усе ближчою до точки **М**, то січна **s** буде наближатись до деякого граничного положення **к**. У цьому граничному положенні січна переходить у дотичну до кривої **а** у точці дотику **М = N**” (рис. 4.2, а). Тобто, **дотична** це пряма, яка з’єднує дві нескінченно наближені точки кривої. Пряма проведена у площині кривої через точку дотику і перпендикулярно до дотичної називається **нормаллю**.

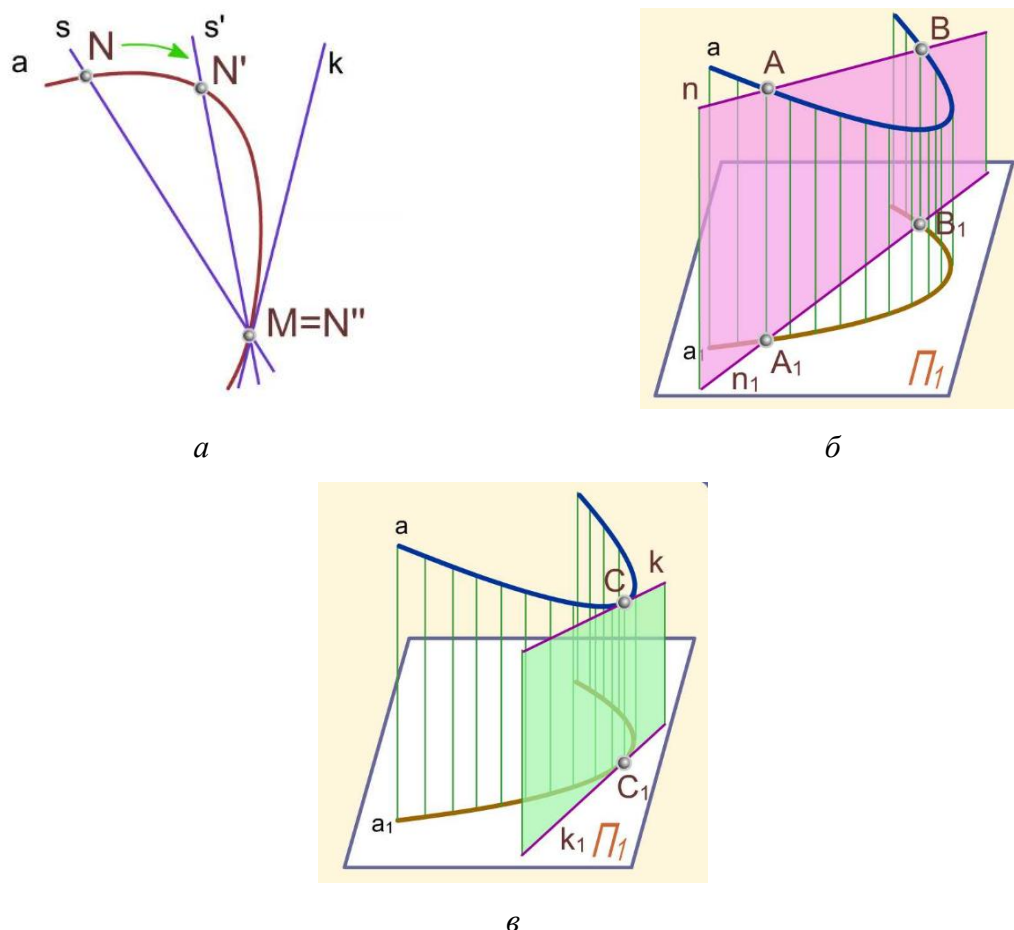


Рис. 4.2

Січна n кривої лінії a спроекціюється у січну її проєкції (рис. 4.2, б).

Дотична до кривої лінії k спроекціюється у дотичну k_1 до її проєкції (рис. 4.2, в).

Тобто, при побудові ортогональних проєкцій кривих ліній зберігаються наступні властивості:

- порядок проєкції алгебраїчної плоскої кривої у загальному випадку дорівнює порядку самої кривої, а просторової кривої дорівнює порядку кривої або може бути меншим;
- якщо точка належить кривій лінії, то проєкції цієї точки належать одноіменним проєкціям кривої (рис. 4.2, б);
- дотичні до кривої проєкціюються у дотичні до її проєкцій (рис. 4.2, в).

При проєкціюванні зберігаються і деякі інші властивості плоских кривих: проєкцією еліпса є еліпс (в окремих випадках коло), проєкціями параболи та гіперболи у загальному випадку також є парабола та гіпербола.

4.1.1. Проекціювання кола

Найпростішим прикладом плоскої кривої є коло. З загальної геометрії відомі такі властивості кола:

- діаметри кола у його центрі діляться навпіл;
- спряженими називають будь-які два діаметри кола, які є взаємно перпендикулярними. Спряжений діаметр ділить хорди паралельні іншому спряженому діаметру навпіл;
- дотична до кола наприкінці одного із спряжених діаметрів паралельна до іншого спряженого діаметра.

Розглянемо, які властивості кола зберігаються при його проєкціюванні (рис. 4.3). Проведемо в колі два взаємно перпендикулярних діаметра, позначивши їх точками 1 і 3 та 2 і 4. Вони перетинаються у центрі кола (точка O). Спроекціюємо коло на деяку площину проєкцій Π' , задавши напрямок проєкціювання s' . У загальному випадку коло спроекціюється у еліпс. Проекції діаметрів 1–3 і 2–4 $1'–3'$ та $2'–4'$ будуть перетинатись у точці O' , яка є проєкцією центра кола. У загальному випадку два взаємно перпендикулярних діаметра кола спроекціюються у два не перпендикулярних діаметра еліпса, тому що величини кутів у загальному випадку не зберігаються.

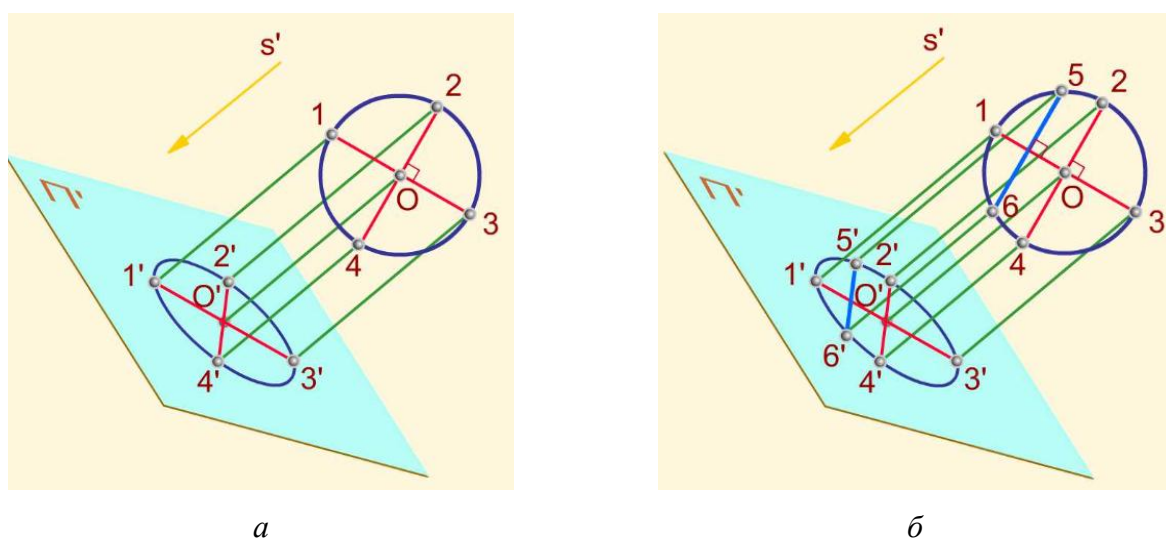


Рис. 4.3

Усі діаметри еліпса у центрі O діляться навпіл. Оскільки при паралельному проєкціюванні пропорційність відрізків зберігається, то і *усі проєкції діаметрів, що проходять через точку O' , будуть ділитись навпіл* (рис. 4.3, а).

Кожен з двох взаємно перпендикулярних діаметрів ділить навпіл хорди паралельні іншому спряженому діаметру. Наприклад, діаметр 1–3 ділить хорду 5–6 паралельну діаметру 2–4 (рис. 4.3, б). Оскільки при паралельному проєкціюванні паралельність та пропорційність відрізків зберігається, то проєкція хорди 5–6 $5'-6'$ залишається паралельною проєкції 2'–4' діаметра 2–4 і ділиться проєкцією діаметра 1–3 $1'-3'$ на рівні відрізки. Тобто *два спряжених діаметри кола проєкціюються у два спряжених діаметри еліпса*.

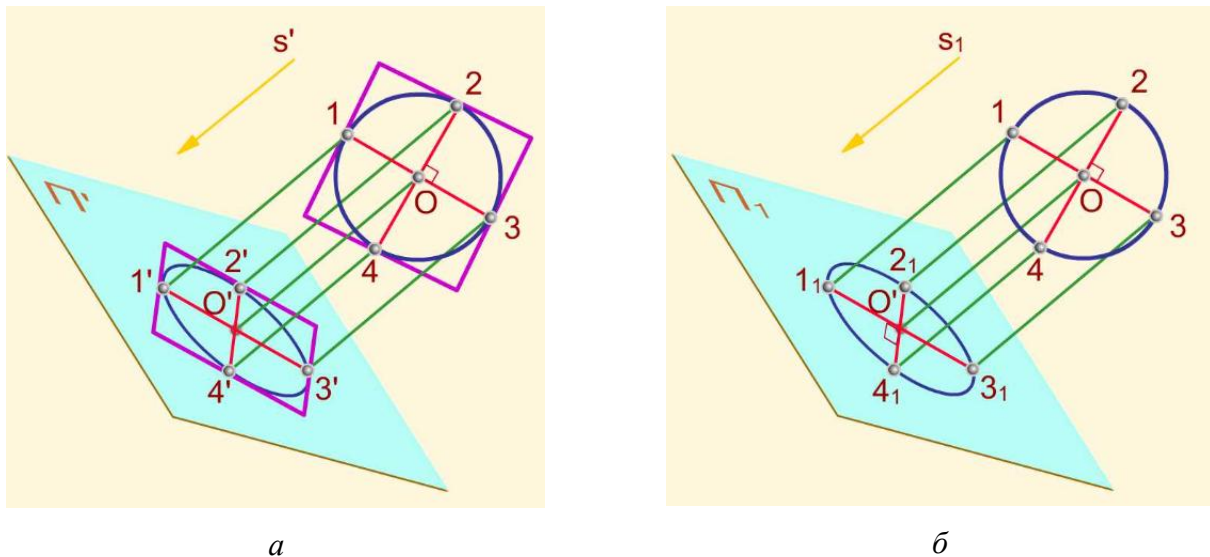


Рис. 4.4

Опишемо навколо кола квадрат, сторони якого відповідно паралельні діаметрам кола 1–3 і 2–4. Спроєкціюємо коло з описаним навколо нього квадратом на площину проєкцій Π' . Квадрат спроєкціюється у паралелограм. При цьому у відповідності до законів паралельного проєкціювання сторони паралелограма залишаться паралельними відповідним проєкціям діаметрів кола $1'-3'$ і $2'-4'$. Будь-яка зі сторін квадрата описаного навколо кола має з ним лише одну спільну точку і їй відповідає її єдина проєкція. Отже і сторона паралелограма, у який спроєкціювався квадрат, що проходить через проєкцію цієї точки, має з еліпсом, у який спроєкціювалось коло,

лише одну спільну точку (рис. 4.4, а). Тобто сторони паралелограма є дотичними до еліпса як і сторони квадрата дотичні до кола. Тобто *пряма дотична до кола проєкціюється у пряму дотичну до проєкції цього кола*.

Замінімо площину проєкцій Π площиною проєкцій Π_1 . Нехай напрямок проєкціювання s_1 буде перпендикулярним до площини проєкцій Π_1 . Тоді у загальному випадку отриманий внаслідок проєкціювання еліпс буде ортогональною проєкцією кола. Проведемо у колі діаметр 1–3 паралельно до площини проєкцій Π_1 . Тоді цей діаметр по відношенню до площини проєкцій Π_1 є її лінією рівня. Проведемо у колі діаметр 2–4 спряженим до діаметра 1–3.

У відповідності до теореми про проєкціювання прямого кута (<https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1995>) прямий кут між спряженими діаметрами, один з яких є лінією рівня, спроекціюються на площину проєкцій у натуральну величину. Оскільки через задану точку площини можна провести лише одну пряму паралельну до іншої прямої, що лежить у площині не паралельній до першої, то проведений діаметр буде єдиним. Тобто існує єдина пара взаємно перпендикулярних діаметрів кола, які при ортогональному проєкціюванні відображаються у пару спряжених діаметрів еліпса (рис. 4.4, б). Такі діаметри еліпса називають його *головними діаметрами або осями*. Діаметр 1–3, що є лінією рівня площини, проєкціюється на цю площину у натуральну величину. Це *велика вісь еліпса*. Перпендикулярний до нього діаметр 2–4 нахилений до площини проєкцій під деяким кутом проєкціюється спотворено у відрізок, що є меншим натуральної величини діаметра кола. Це *мала вісь еліпса*. Кожен еліпс має лише одну пару великої і малої осей.

Розглянемо випадки проєкціювання кола у системі площин проєкцій, яке лежить в площинах окремого та загального положення. Коло плоска крива другого порядку, яка може проєкціюватись у коло, еліпс, пряму лінію. Для побудови комплексного креслення кола слід використовувати його центр і пару спряжених діаметрів, кожен з яких паралельний до відповідної площини проєкцій.

4.1.2. Моделювання кола у площині рівня

На рис. 4.5, а зображено горизонтальну площину рівня $\Sigma(\Sigma_2)$, у якій знаходиться коло радіуса R з центром у точці O . Проведемо у колі два спряжені діаметри, з яких AC паралельний до фронтальної площини проєкцій.

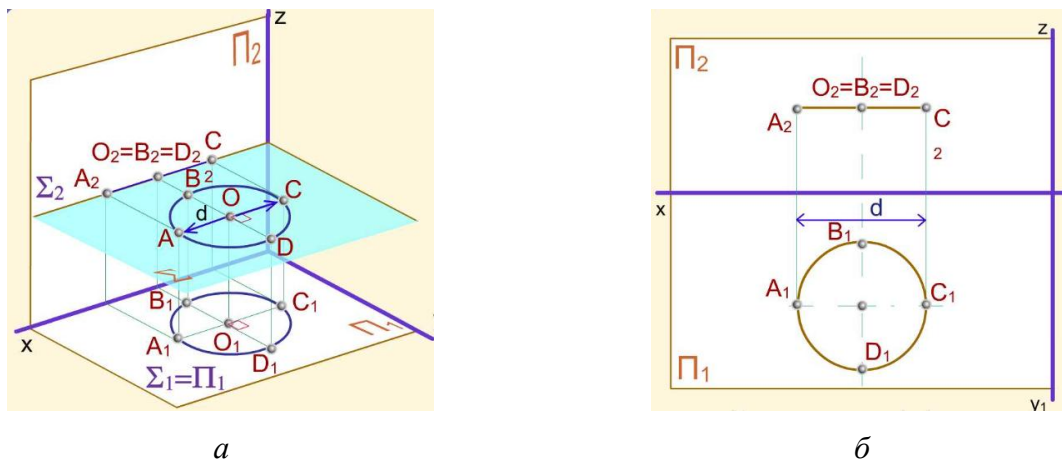


Рис. 4.5

Оскільки усі геометричні елементи, що лежать у горизонтальній площині рівня, проєкціюються на цю площину у натуральну величину, то і проєкція кола буде дорівнювати його натуральній величині. Відповідно на фронтальну площину проєкцій коло спроекціюється у відрізок, що дорівнює натуральній величині діаметра AC , і співпадає зі слідом-проєкцією горизонтальної площини рівня. Інший спряжений діаметр BD є фронтально-проєкціуючою прямою і на фронтальну площину проєкцій проєкціюється у точку, що співпадає з проєкцією центра кола. Аналогічно коло спроекціюється на профільну площину проєкцій за винятком того, що у натуральну величину спроекціюється діаметр BD , а діаметр AC спроекціюється у точку, що співпадає з проєкцією центра кола (рис. 4.5, б). Проєкція кола на профільну площину проєкцій співпадає зі слідом-проєкцією горизонтальної площини рівня. Подібним чином можна промодельовати положення кола у інших площинах рівня.

Висновок: якщо коло лежить у площині рівня, то на одну з площин проєкцій воно проєкціюється у натуральну величину, а на дві інші площини проєкцій у вигляді відрізка, довжина якого дорівнює діаметру кола, і, який співпадає зі слідом-проєкцією площини рівня.

4.1.3. Моделювання кола у проєкціюючій площині

На рис. 4.6, а зображено коло радіуса R з центром у точці O , що лежить у горизонтально-проєкціюючій площині $\Sigma(\Sigma_1)$. Площина $\Sigma(\Sigma_1)$ нахилена до фронтальної площини проєкцій під деяким кутом b . Тому на фронтальну площину проєкцій коло спроекціюється спотворено, як зазначалось раніше, у вигляді еліпса.

Для побудови еліпса скористаємось двома спряженими діаметрами кола AC і BD . Діаметр BD – фронталь горизонтально-проєкціюючої площини $\Sigma(\Sigma_1)$. Отже на фронтальну і профільну площину проєкцій діаметр кола BD спроекціюється у натуральну величину. Тобто маємо *велику вісь еліпса*, який отримуємо при проєкціюванні кола. На горизонтальну площину проєкцій діаметр BD проєкціюється у точку, що співпадає зі слідом-проєкцією горизонтально-проєкціюючої площини $\Sigma(\Sigma_1)$. Діаметр AC спроекціюється у натуральну величину на горизонтальну площину проєкцій на слід-проєкцію площини $\Sigma(\Sigma_1)$. Розмір його фронтальної A_2C_2 і профільної A_3C_3 проєкцій залежатиме відповідно від кутів нахилу горизонтально-проєкціюючої площини до цих площин проєкцій. Ці проєкції є *малими осями еліпсів* отриманих на фронтальній і профільній площинах проєкцій відповідно (рис. 4.6, б).

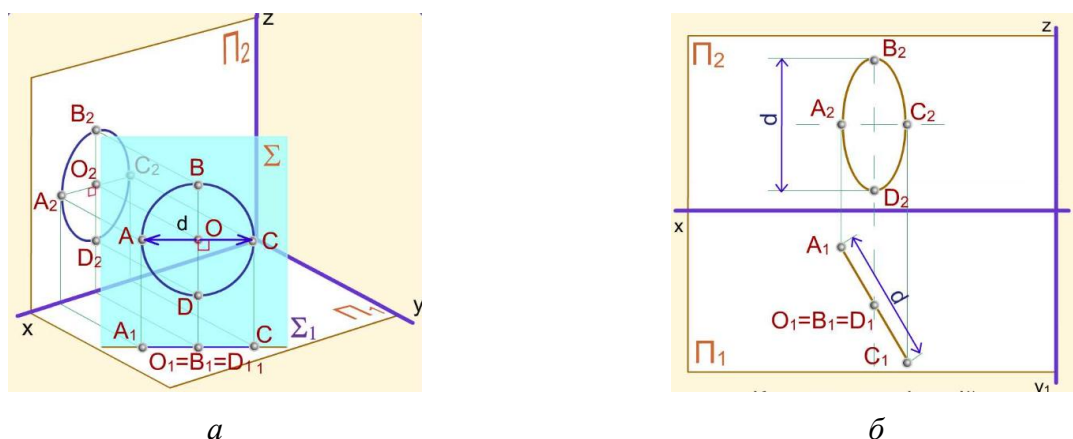


Рис. 4.6

Висновок: якщо коло лежить у проєкціюючій площині, то на одну з площин проєкцій воно проєкціюється у вигляді відрізка прямої, довжина якого дорівнює діаметру кола і який співпадає зі слідом-проєкцією проєкціюючої площини. На дві інші площини проєкцій коло проєкціюється у вигляді еліпса, велика вісь якого дорівнює

діаметру кола і направлена уздовж лінії рівня проєкціюючої площини. Розмір малої осі еліпса залежить від кута нахилу проєкціюючої площини до відповідних площин проєкцій.

4.1.4. Моделювання кола у площині загального положення

На рис. 4.7,а показано коло, що лежить у площині загального положення $\Sigma(h^\circ x f^\circ)$ радіуса R з центром у точці O . По відношенню до площин проєкцій задана площина нахилена під деякими кутами, що не дорівнюють 0° або 90° . Тому коло, що їй належить, спроекціюється на усі площини проєкцій спотворено у вигляді еліпса. У відповідності до розглянутого вище, велика вісь еліпса дорівнюватиме діаметру і буде направлена уздовж лінії рівня площини $\Sigma(h^\circ x f^\circ)$. Розмір малої осі еліпса залежатиме від кута нахилу площини $\Sigma(h^\circ x f^\circ)$ до відповідної площини проєкцій.

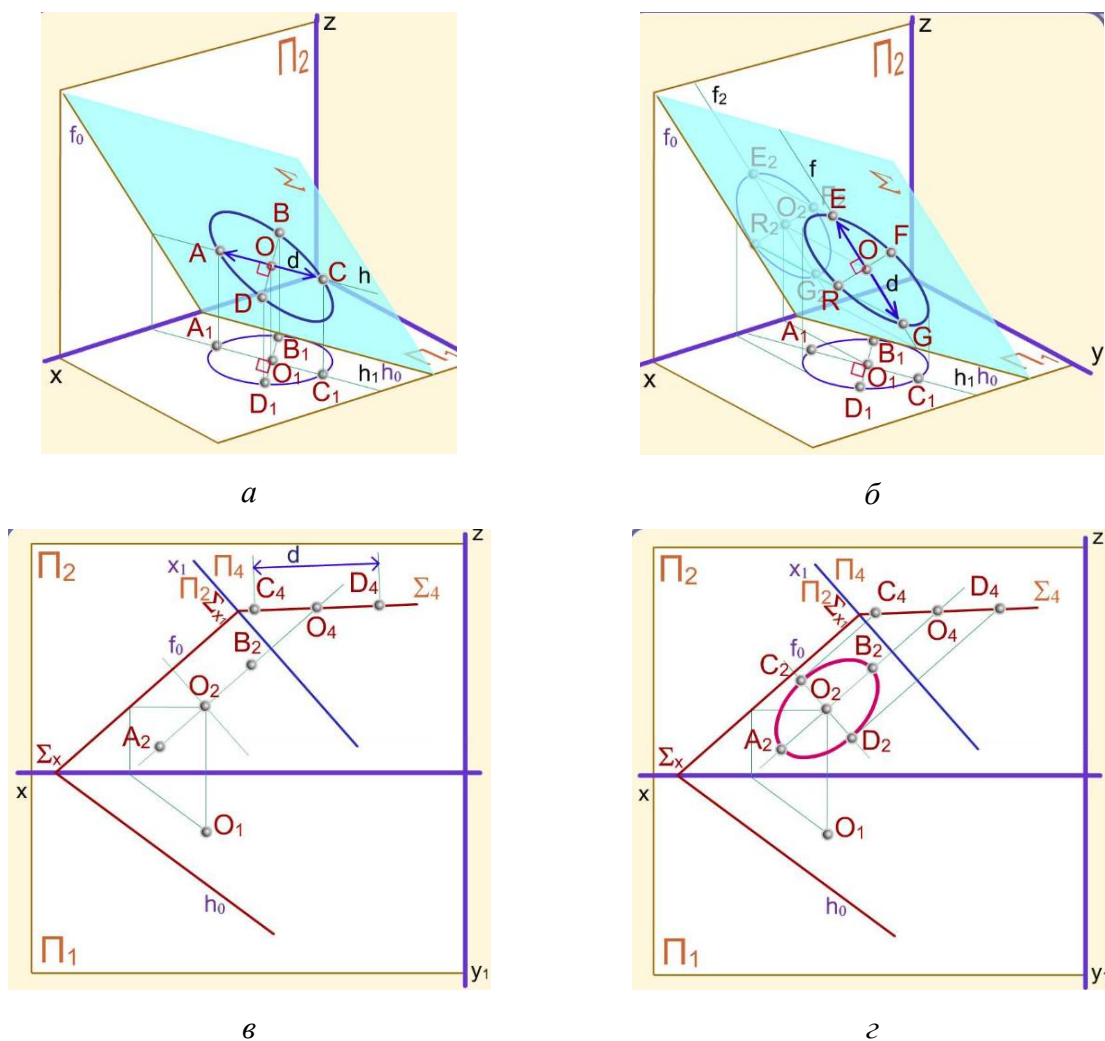


Рис. 4.7

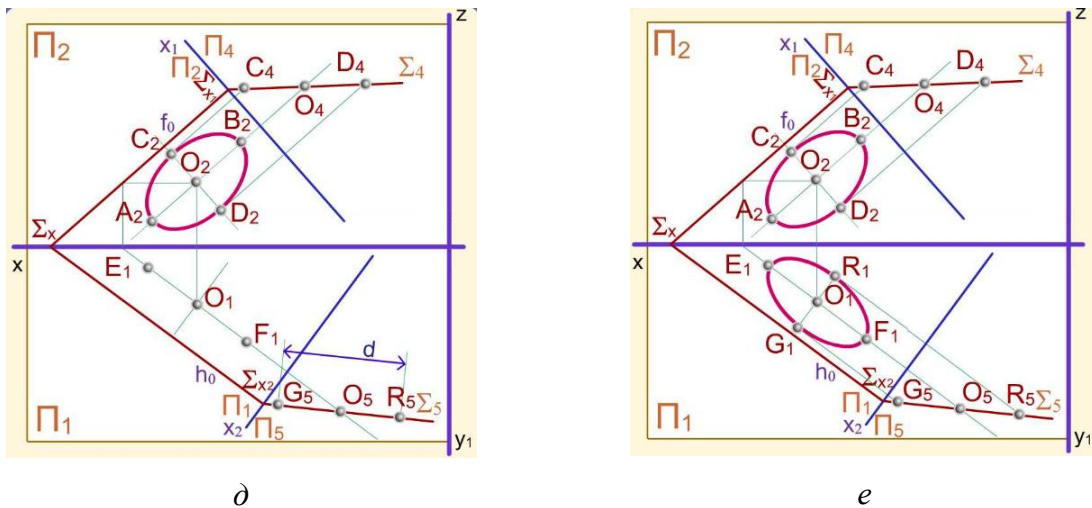


Рис. 4.7 Закінчення (див. також с. 88)

Для побудови еліпсів скористаємось двома парами спряжених діаметрів AC і BD для горизонтальної площини проєкцій та EG і RF для побудов на фронтальній площині проєкцій. Проводимо в проєкціях центра кола проєкції відповідних ліній рівня і проєкціюємо на них діаметри кола, що їм належать. На горизонтальній площині проєкцій отримуємо велику вісь еліпса, що дорівнює проєкції A_1C_1 (рис. 4.7, а), на фронтальній площині проєкцій велика вісь еліпса дорівнює проєкції E_2G_2 (рис. 4.7, б). Проводимо у проєкціях центра кола прямі перпендикулярні до проєкцій ліній рівня і проєкціюємо на них відповідні спряжені діаметри. Отримуємо малі осі еліпсів D_1B_1 і R_2F_2 . Будуємо еліпси.

Розглянемо розв'язок задачі на комплексному кресленні (рис. 4.7, в, г, д, е). Спочатку будуємо еліпс у фронтальній площині проєкцій. Проводимо через фронтальну проєкцію центра кола $O(O_2)$ допоміжну фронталь і відкладаємо на ній велику вісь еліпса (A_2B_2). Для побудови малої осі еліпса у фронтальній проєкції центра кола $O(O_2)$ проводимо перпендикуляр до фронталі. Щоб знайти розмір малої осі еліпса скористаємось методом заміни площин проєкцій і перетворимо площину загального положення у проєкціюючу (рис. 4.7, в). Оскільки коло проєкціюється на слід-проєкцію проєкціюючої площини у відрізок, що дорівнює натуральній величині його діаметра, як це було показано вище, виконуємо побудови і отримуємо проєкції малої осі еліпса спочатку C_4D_4 , а потім C_2D_2 . Будуємо еліпс у фронтальній площині проєкцій.

Для побудови еліпса у горизонтальній площині проєкцій скористаємось тим же алгоритмом, але застосовуємо побудови за допомогою допоміжної горизонталі. Хід розв'язку задачі продемонстровано на рис. 4.7, *д*, *е*. Завершуємо побудови. Задачу розв'язано.

Для визначення розміру малої осі еліпса, у який проєціюється коло, що лежить у площині загального положення, окрім методу заміни площин проєкцій використовують метод обертання, лінію найбільшого нахилу площини, ін.

На основі задач, в яких розглядається проєкціювання кола, яке знаходиться в площинах окремого та загального положення, розв'язують наступні задачі:

- побудова циліндрів та конусів, основи яких знаходяться в цих площинах;
- побудова кола, що лежить у площині загального положення, методами заміни площин проєкцій, обертання, плоско-паралельного переміщення;
- побудова проєкцій перетинів поверхонь обертання та натуральних величин перетинів, ін.

4.2. Моделювання просторових кривих

Серед просторових кривих найбільш поширеними у техніці є гвинтові лінії. Прикладами таких гвинтових ліній є циліндрична спіраль (геліса) та конічна спіраль. Розглянемо побудову геліси.

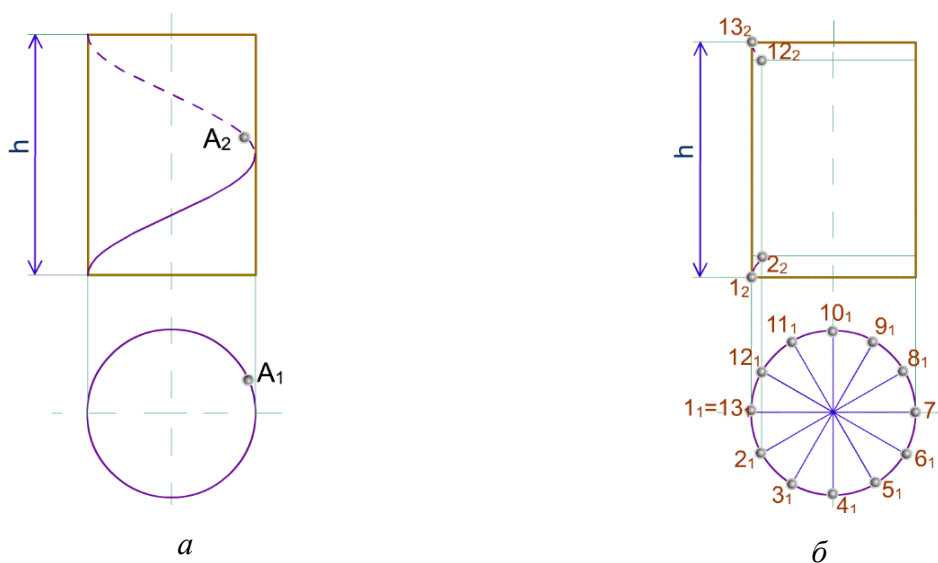


Рис. 4.8

Геліса – траєкторія точки, що рівномірно переміщається по прямій лінії, яка у свою чергу рівномірно обертається навколо осі, до якої ця пряма паралельна. Висота h , на яку точка підіймається по прямій лінії за повний оберт, називається кроком гвинтової лінії. Якщо вісь гвинтової лінії перпендикулярна до горизонтальної площини проєкцій, то горизонтальна проєкція гвинтової лінії коло, а фронтальна – синусоїда (рис. 4.8, а).

Для побудови проєкцій геліси обирають прямий круговий циліндр з діаметром основи d і висотою h , що дорівнює кроку геліси, вісь якого перпендикулярна, наприклад, до горизонтальної площини проєкцій. Наступним кроком ділять коло основи і висоту циліндра на рівну кількість частин, наприклад, дванадцять. Позначають отримані проєкції точок на проєкції основи циліндра і будують їх фронтальні проєкції. На рис. 4.8, б показано побудову чотирьох точок кривої.

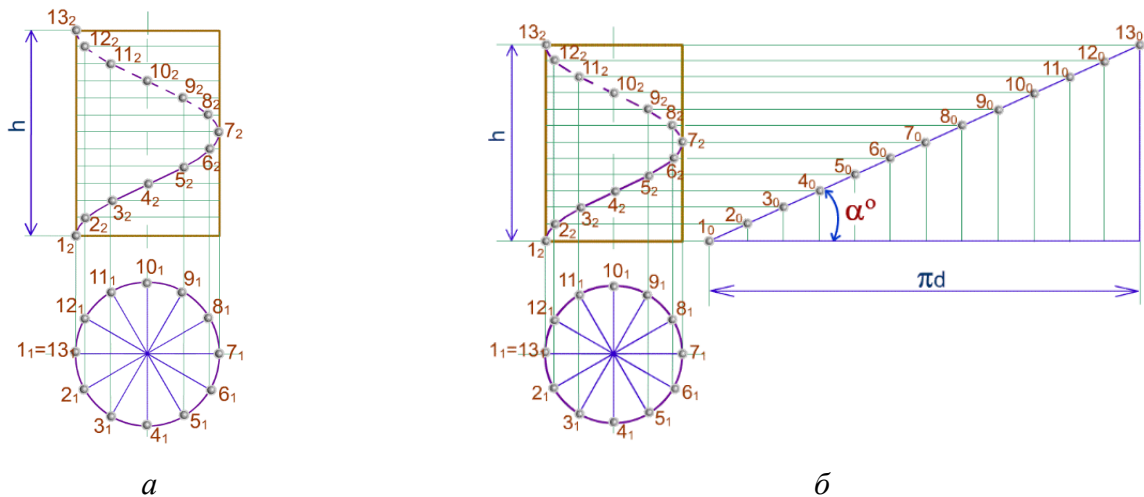


Рис. 4.9

Закінчуємо побудову точок і сполучаємо їх кривою лінією. Отримуємо синусоїду. Оскільки геліса утворена на циліндрі, то враховуючи видимість точок на його поверхні визначаємо видимість частин геліси (рис. 4.9, а). Якщо циліндр розрізати по твірній 1 – 13 і розгорнути його на площині, то гвинтова лінія на розгортці перетвориться у діагональ прямокутника розгортки циліндра. Тобто у пряму лінію нахилену під кутом α до лінії розгортки основи циліндра. Цей кут називають *кутом підйому* (рис. 4.9, б).

$$\operatorname{tg} \alpha = h / \pi d$$

За допомогою такої кривої утворюється поверхня нарізі.

4.3. Моделювання поверхонь

Існує три найбільш поширених способи задання поверхонь: *аналітичний*, *каркасний* і *кінематичний*.

При аналітичному способі задана поверхня розглядається як геометрична множина точок, координати яких задовольняють відповідне рівняння.

Каркасні поверхні задаються з певною точністю каркасом точок і ліній.

При *кінематичному способі* задання поверхня розглядається як сукупність послідовних положень лінії, яка переміщується у просторі за певним законом. Цю лінію називають *твірною поверхні*. Вона може бути як прямою лінією, так і кривою. Крива твірна може бути постійного виду або змінюватись. Закон руху твірної у просторі може бути заданий іншими лініями (однією або кількома), по яких ця твірна переміщається. Ці лінії називають *напрямними*.

При кінематичному способі поверхні задають визначником. *Визначник* поверхні відображає сукупність усіх геометричних елементів та незалежних умов, які відображають зв'язки між ними, що однозначно визначає поверхню у просторі. Визначник поверхні складається з двох частин: геометричної і алгоритмічної (кінематичної). В геометричній частині відображають основні геометричні елементи і співвідношення між ними. У алгоритмічній частині відображають послідовність і характер операцій зміни форми твірної і закону її переміщення.

При такому підході до утворення поверхні вона вважається заданою, якщо в кожен момент руху твірної можна визначити її положення і форму. Тобто відносно будь-якої точки простору можна вирішити питання про те належить вона даній поверхні чи ні.

Графічне задання елементів визначника поверхні не завжди забезпечує наочність креслення. Тому при побудові креслення поверхні часто показують проєкції досить густого каркасу твірних, а також обрисні твірні поверхні. При ортогональному проєкціюванні поверхні її проєкції отримують як результат перетину

проєкціуючого циліндра, створеного проєкціуючими променями, який огинає поверхню, і, перетин якого з площиною проєкцій створює обрис поверхні. На комплексному кресленні будь-яка поверхня має: на Π_1 – горизонтальний обрис, на Π_2 – фронтальний обрис, на Π_3 – профільний обрис.

Ознакою класифікації поверхонь може стати єдність способу їх утворення. Сукупність умов, які відображають спосіб утворення поверхні, входить у визначник поверхні. Тому одним із варіантів класифікації поверхонь може бути систематизація за їх визначником.

За геометричною частиною визначника ці поверхні можна поділити на два класи:

- лінійчасті поверхні (твірна – пряма лінія);
- нелінійчасті поверхні (твірна – крива лінія).

З цих двох основних класів за алгоритмічною частиною визначника виділяють три підкласи:

- поверхні, утворені поступальним переміщенням твірних;
- поверхні, утворені обертальним переміщенням твірних;
- поверхні, утворені гвинтовим переміщенням твірних.

Поверхні, в кожному з цих підкласів можуть відноситись як до класу лінійчастих поверхонь, так і до класу нелінійчастих поверхонь, в залежності від форми їх твірної.

Більша деталізація особливостей поверхонь дозволяє в класах виділяти групи поверхонь. Наприклад, лінійчасті поверхні можуть бути поділені на групи в залежності від кількості напрямних, які утворюють дану поверхню, і т.п.

Зі всієї існуючої множини поверхонь у даному курсі будуть розглянуті поверхні утворені кінематичним способом з твірними постійної форми.

Розглянемо приклади лінійчастих поверхонь, кількість напрямних яких не перевищує двох, гвинтових поверхонь та поверхонь обертання.

4.3.1. Лінійчасті поверхні

Лінійчасті поверхні утворюються рухом прямої лінії (твірної) за певним законом. Залежно від характеру руху твірної утворюються різні види лінійчастих поверхонь.

Серед них можна виділити дві групи поверхонь: *розгортні і нерозгортні*. До *розгортних поверхонь* відносять такі, які суміщаються з площиною без розривів і складок. Це стає можливим тому, що у розгортних поверхнях дві нескінченно наближені твірні перетинаються у власній чи невластній точці, і тому частина поверхні, обмеженої цими твірними, суміщається з площиною. У *нерозгортних поверхнях* дві сусідні твірні мимобіжні. Як відомо, мимобіжні прямі не створюють одну площину.

4.3.1.1. Лінійчасті розгортні поверхні з однією напрямною

Серед розгортних поверхонь розглянемо циліндричну, конічну і торсову поверхню. Усі ці поверхні мають одну напрямну.

На рис. 4.10, *а* зображено *циліндричну поверхню*. Поверхня утворюється рухом твірної *а*, що є прямою лінією, по кривій лінії напрямній *п*. У кожен момент руху твірна *а* проходить паралельно до деякого наперед заданого напрямку *с*. На рис. 4.10, *а* показано побудову довільної точки *F*, яка належить циліндричній поверхні і фіксується твірною *22'*. На рис. 4.10, *б* показано комплексне креслення цієї поверхні з побудовою проєкцій довільної точки *F*. Напрямна *п* плоска крива лінія.

Визначник циліндричної поверхні:

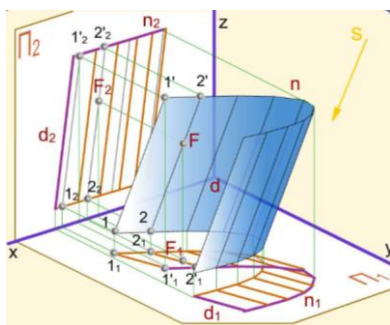
$$\Sigma(a, n, s)$$

$$a \perp n, a \parallel s$$

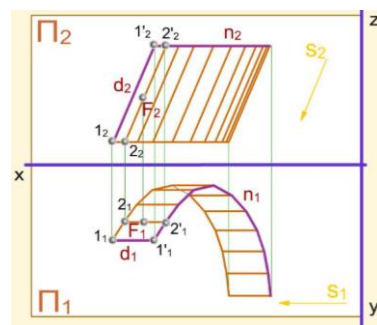
a – пряма лінія, твірна

n – крива лінія

s – напрямок переміщення твірної



а



б

Рис. 4.10

Конічна поверхня утворюється рухом прямої лінії твірної **a** по напрямній кривій лінії **n** (рис. 4.11, *a*). У кожен момент руху твірна **a** проходить через нерухому точку **S**. На рис. 4.11, *б* показано комплексне креслення цієї поверхні. Напрямна **n** плоска крива лінія.

Визначник конічної поверхні:

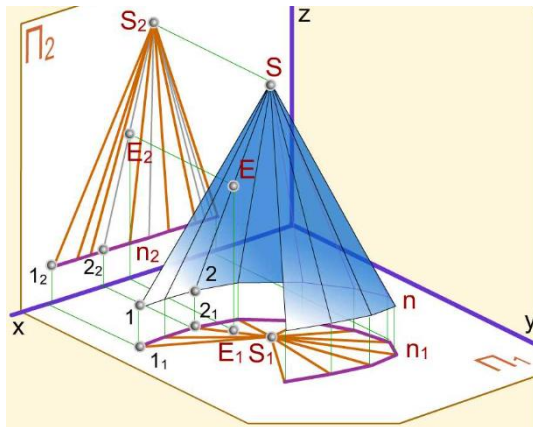
$$\Sigma(a, n, S)$$

$$axn, a\in S$$

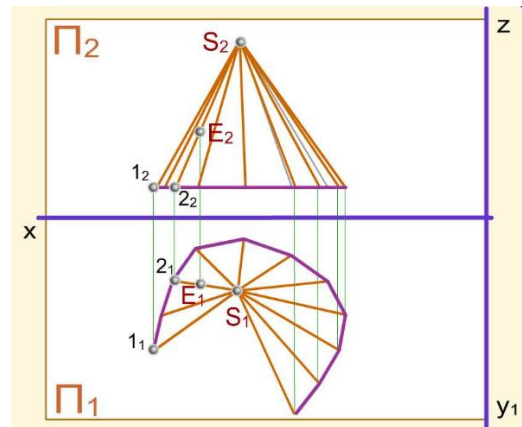
a – пряма лінія, твірна поверхні

n – крива лінія

S – точка

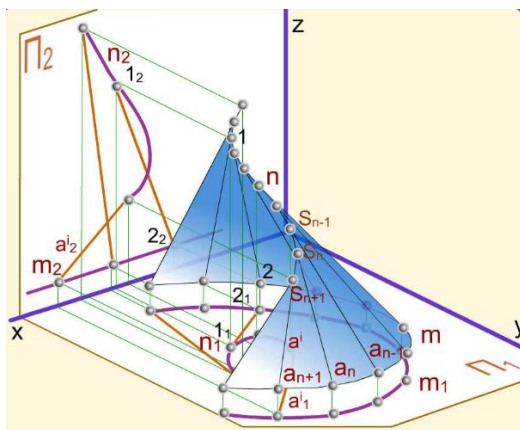


a

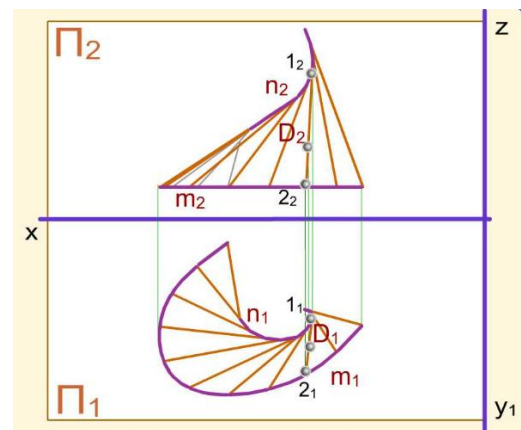


б

Рис. 4.11



a



б

Рис. 4.12

На рис. 4.12 зображено *поверхню торса*. Поверхня утворюється рухом твірної **a** прямої лінії по напрямній гладкій просторовій (плоскій) кривій лінії **n**. У кожен момент руху твірна **a** дотикається до напрямної **n**. Напрямна **n** називається *ребром звороту*.

Визначник поверхні торса:

$$\Sigma(a, n)$$

axn , **a** дотична до **n**

a – пряма лінія, твірна поверхні

n – крива лінія, напрямна (ребро звороту)

Якщо твірні продовжити за точку їх дотику до напрямної отримаємо ще одну частину поверхні торса (рис. 4.13).

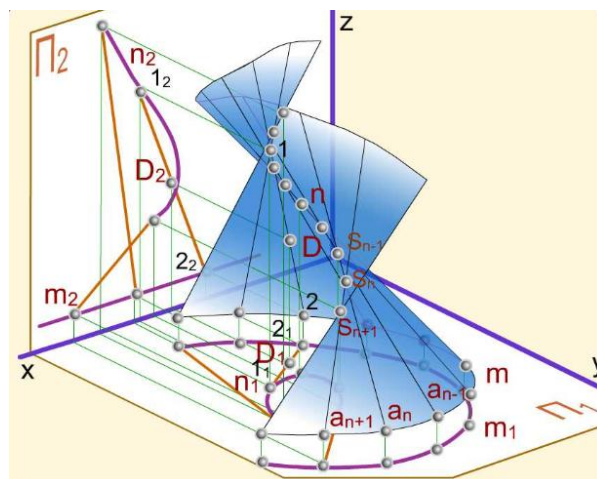


Рис. 4.13

4.3.1.2. Нерозгортні лінійчасті поверхні з двома напрямними і площиною паралелізму

Нерозгортні лінійчасті поверхні утворюються рухом твірної **t** (прямої лінії) по двох напрямних **m** і **n**. У кожен момент руху твірна **t** залишається паралельною до деякої площини паралелізму Δ . Залежно від форми напрямних утворюються різні поверхні.

На рис. 4.14 зображено *поверхню циліндроїда*. Поверхня утворена рухом твірної **t**, яка є прямою лінією, по двох напрямних кривих лініях **m** і **n**, що не лежать

в одній площині. У кожен момент руху твірна t залишається паралельною до площини паралелізму $\Delta(\Delta_1)$. Поверхня показана у системі площин проєкцій, на яких зображено відповідні проєкції поверхні.

Визначник поверхні циліндроїда:

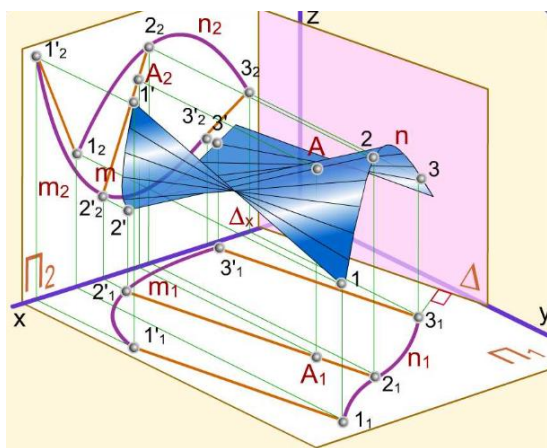
$$\Sigma(t, m, n, \Delta)$$

$$txm, txn, t \parallel \Delta$$

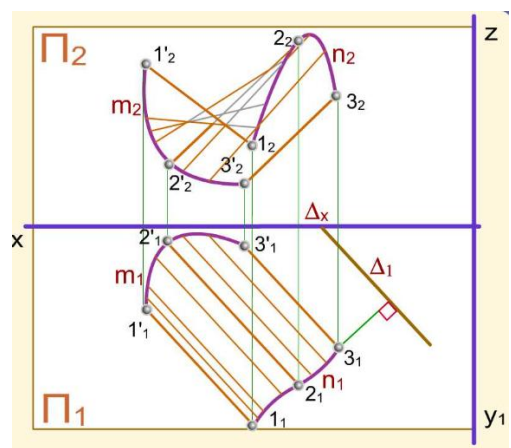
t – пряма лінія, твірна поверхні

m і n криві, що не належать одній площині

Δ – площина паралелізму



а



б

Рис. 4.14

На рис. 4.14, б показано комплексне креслення поверхні циліндроїда, на якому видно, що горизонтальні проєкції твірних розташовані паралельно сліду-проєкції горизонтально-проєкціюючої площини паралелізму $\Delta(\Delta_1)$. Фронтальна проєкція кожної твірної будується за двома точками її перетину з напрямними. Показано побудову довільної точки А, що належить поверхні і фіксується твірною $22'$. Якщо задана фронтальна проєкція точки, її горизонтальна проєкція знаходиться за допомогою сімейства твірних та кривої лінії, точки якої належать цим твірним і яка проходить через задану точку. Для побудови цієї кривої через задану проєкцію точки проводять допоміжну січну площину окремого положення задану слідом-проєкцією.

На рис. 4.15 показано *поверхню коноїда*. Поверхня утворена рухом твірної t , яка є прямою лінією, по двох напрямних m і n , що не лежать в одній площині. Одна з напрямних m пряма, друга n крива. У кожен момент руху твірна t залишається паралельною площині паралелізму $\Delta(\Delta_1)$. На поверхні коноїда побудовано довільну точку B , яка фіксується твірною $22'$.

Визначник поверхні коноїда:

$$\Sigma(t, m, n, \Delta)$$

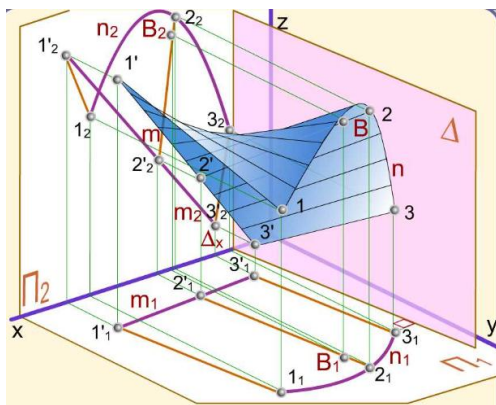
$$txm, txn, t \parallel \Delta$$

t – пряма лінія, твірна поверхні

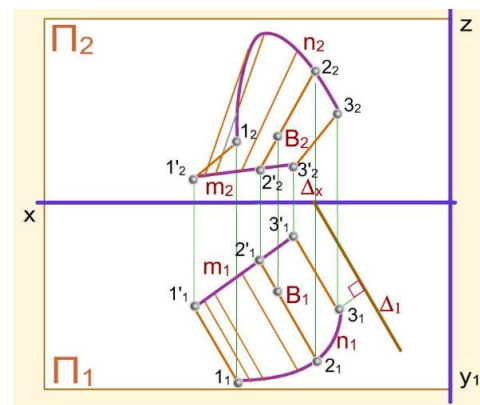
m – крива, n пряма лінія, що не належать одній площині

Δ – площина паралелізму

На рис. 4.15, б зображено комплексне креслення коноїда. Видно, що горизонтальні проєкції твірних розташовуються паралельно сліду-проєкції горизонтально-проєкціюючої площини паралелізму $\Delta(\Delta_1)$. Фронтальна проєкція кожної твірної будується за двома точками її перетину з напрямними. Будуємо довільну точку B на комплексному кресленні поверхні. Задаємо її горизонтальну проєкцію B_1 . Проводимо через B_1 горизонтальну проєкцію твірної t $2_1 2_1'$ паралельно до сліду-проєкції горизонтально-проєкціюючої площини $\Delta(\Delta_1)$. Будуємо фронтальну проєкцію твірної $22'$ $2_2 2_2'$. Завершуємо побудову зображенням фронтальної проєкції точки B B_2 на фронтальній проєкції твірної.



а



б

Рис. 4.15

На рис. 4.16, *а* зображено поверхню *гіперболічного параболоїда* (косу площину). Поверхня утворена рухом твірної *t* прямої лінії по двох напрямних *m* і *n*, які є мимобіжними прямими. У кожен момент руху твірна *t* залишається паралельною площині паралелізму Δ .

Визначник поверхні гіперболічного параболоїда:

$$\Sigma(t, m, n, \Delta)$$

$$txm, txn, t \parallel \Delta$$

t – пряма лінія, твірна поверхні

m і *n* прямі лінії, *m/n*

Δ – площина паралелізму

Будуємо на поверхні гіперболічного параболоїда довільну точку *C*. Для виконання побудов користуємось твірною *11'*, яка проходить через цю точку.

Комплексне креслення цієї поверхні будується за тими ж умовами паралельності твірних площині паралелізму, що і у інших поверхонь цієї групи (рис. 4.16, *б*).

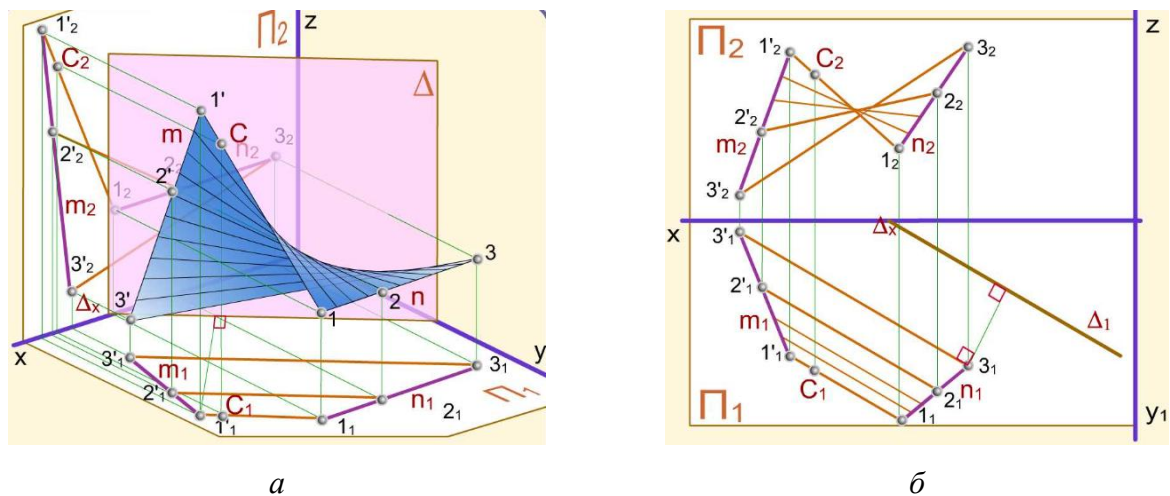


Рис. 4.16

4.3.2. Гвинтові поверхні

Гвинтові поверхні – це поверхні, криволінійною напрямною яких є гвинтова лінія. В залежності від виду твірної розрізняють лінійчасті гвинтові поверхні (твірна – пряма лінія) та нелінійчасті гвинтові поверхні (твірна – крива лінія). Якщо

нахил твірної по відношенню до осі циліндра 90° , то утворюється пряма гвинтова поверхня. Якщо нахил твірної по відношенню до осі циліндра не дорівнює 90° , то утворюється *коса гвинтова поверхня*. Визначник гвинтової поверхні має вигляд: $\Sigma(t, n, m)[A]$, де t – твірна, n – напрямна (гвинтова лінія), m – інша напрямна (гвинтова чи пряма лінія) (якщо напрямних дві), A – відображаються умови переміщення твірної по напрямній (напрямних).

Розглянемо декілька прикладів лінійчастих гвинтових поверхонь.

На рис. 4.17 зображено *гвинтовий циліндроїд*. Поверхня гвинтового циліндроїда утворюється внаслідок руху твірної t прямої лінії по двох напрямних m і n , які є циліндричними гвинтовими лініями. У кожен момент руху твірна залишається перпендикулярною до осі циліндра (паралельною до деякої площини паралелізму розташованої перпендикулярно до осі циліндра). У даному випадку площина паралелізму горизонтальна площина проєкцій Π_1 (рис. 4.17, *a*).

Визначник поверхні гвинтового циліндроїда:

$$\Sigma(t, n, m)$$

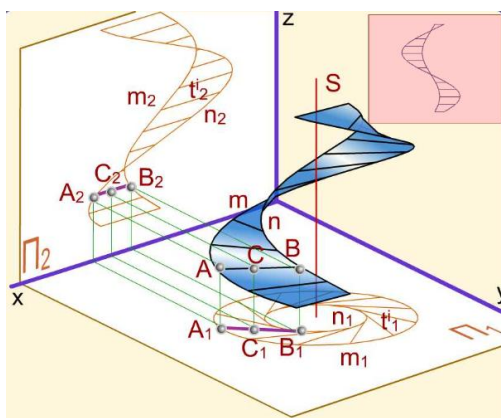
$$t \perp n, t \perp m, t \parallel \Pi_1$$

t – пряма лінія, твірна поверхні

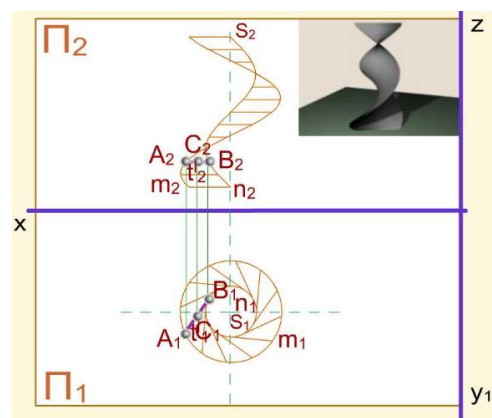
n – циліндрична гвинтова лінія

m – циліндрична гвинтова лінія

Π_1 – площина паралелізму



a



б

Рис. 4.17

На рис. 4.17, б зображено комплексне креслення поверхні гвинтового циліндроїда. У його верхньому правому куті показано модель поверхні. На комплексному кресленні показано побудову на поверхні гвинтового циліндроїда довільної точки С. Якщо задана одна з проєкцій точки, її друга проєкція знаходиться за допоміжною твірною АВ, що проходить через цю точку.

На рис. 4.18, а показано поверхню *гвинтового коноїда (прямого гелікоїда)*. Поверхня гвинтового коноїда утворюється завдяки переміщенню твірної *t*, яка є прямою лінією, по двох напрямних *n* і *s*, де *n* циліндрична гвинтова лінія, а *s* пряма лінія (вісь циліндра). У кожен момент руху твірна *t* залишається перпендикулярною до осі циліндра (паралельною до деякої площини паралелізму розташованої перпендикулярно до осі циліндра). У даному випадку площина паралелізму горизонтальна площина проєкцій Π_1 .

Визначник поверхні гвинтового коноїда:

$$\Sigma (t, n, s)$$

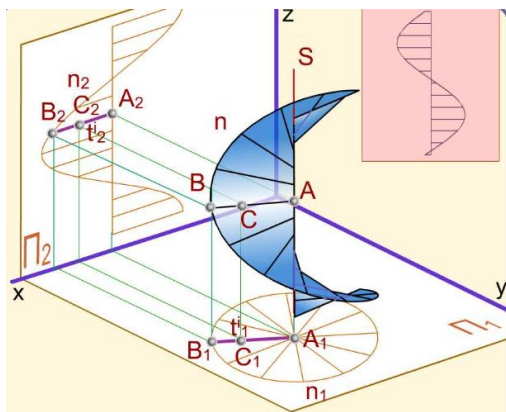
$$tx_n, tx_s, t \parallel \Pi_1$$

t – пряма лінія, твірна поверхні

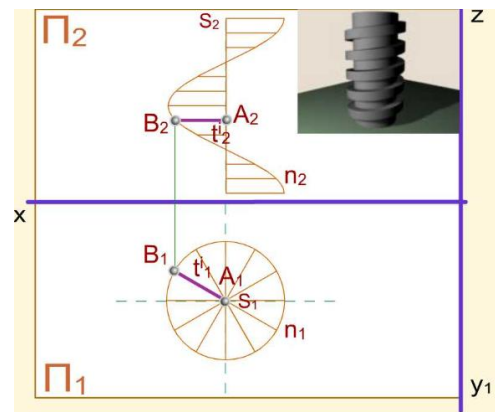
n – циліндрична гвинтова лінія

s – пряма лінія (вісь циліндра)

Π_1 – площина паралелізму



а



б

Рис. 4.18

На рис. 4.18, б зображено комплексне креслення поверхні гвинтового коноїда. У його верхньому правому куті показано модель поверхні. На комплексному кресленні показано побудову на поверхні гвинтового коноїда довільної точки С. Якщо задана одна з проєкцій точки, її друга проєкція знаходиться за допоміжною твірною АВ, що проходить через цю точку.

На рис. 4.19, а зображено поверхню *косого гелікоїда*. Поверхня косого гелікоїда утворюється завдяки переміщенню твірної *t*, яка є прямою лінією, по двох напрямних *n* і *s*, де *n* циліндрична гвинтова лінія, а *s* пряма лінія (вісь циліндра). У кожен момент руху твірна *t* залишається паралельною до твірної *a* деякого конуса обертання, вісь якого співпадає з віссю гвинтової лінії.

Визначник поверхні косого гелікоїда:

$$\Sigma(t, n, m)$$

$$tx_n, tx_m, t \parallel a$$

t – пряма лінія, твірна поверхні

m – циліндрична гвинтова лінія

s – пряма лінія (вісь циліндра)

a – пряма лінія (твірна конуса)

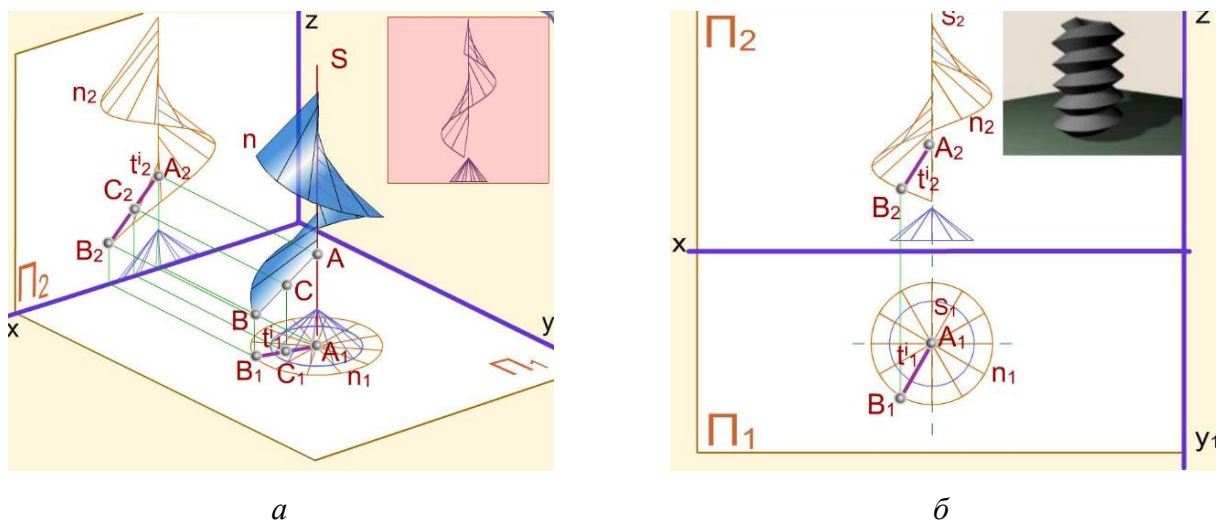


Рис. 4.19

На рис. 4.19, б зображено комплексне креслення поверхні косого гелікоїда. У верхньому правому куті зображено модель фрагмента гвинта утвореного двома

косими гелікоїдами. На комплексному кресленні показано побудову на поверхні косого гелікоїда довільної точки C за допоміжною твірною AB .

4.3.3. Поверхні обертання

Поверхні обертання утворюються обертанням прямолінійної або криволінійної твірної навколо нерухомої прямої – осі обертання. Характер поверхні обертання залежить від виду твірної і її положення відносно осі обертання.

На поверхні обертання розрізняють такі характерні лінії:

- *меридіани* – лінії перетину поверхні площиною, що проходить через вісь обертання поверхні;
- *паралелі* – кола, що описують окремі точки твірної при її обертанні навколо осі. Паралелі можуть бути отримані в результаті перетину поверхні площинами, перпендикулярними до осі обертання поверхні;
- *екватор* – паралель найбільш віддалена від осі поверхні (паралель найбільшого діаметра);
- *горло* – паралель найменш віддалена від осі поверхні (паралель найменшого діаметра).

На рис. 4.20, *а* зображено поверхню обертання довільного виду. Її твірна плоска крива. Вісь обертання z лежить у площині твірної.

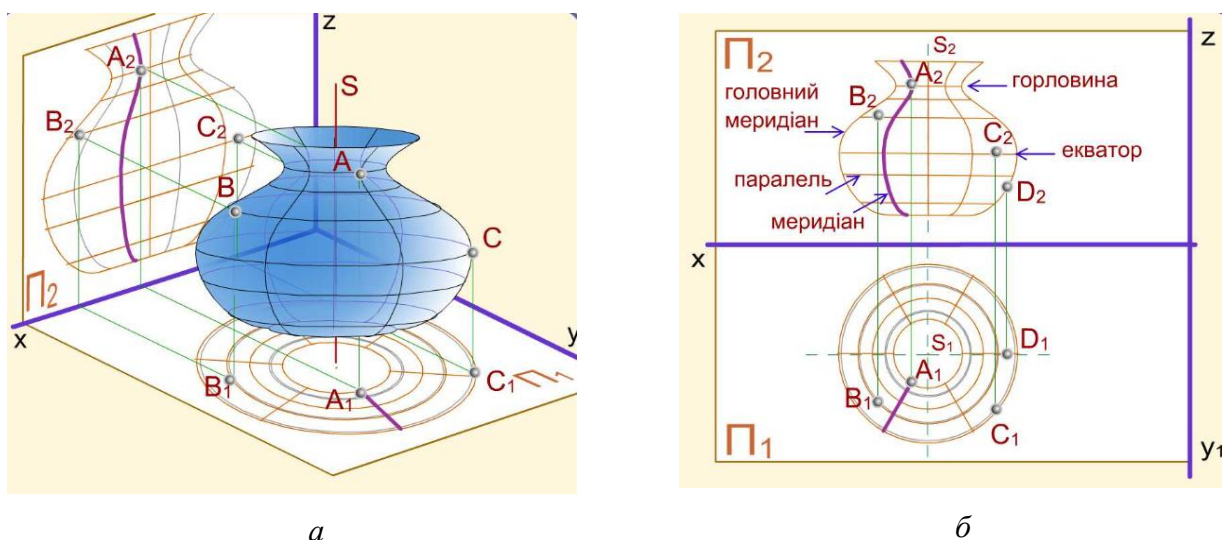


Рис. 4.20

На рис. 4.20, б на комплексному кресленнику показано характерні лінії поверхні обертання. Крім того, продемонстровано побудову проєкцій точок, що належать поверхні. Як видно, для побудови проєкцій точок на поверхнях обертання проводять допоміжні паралелі (або твірні (точка В)). Проекції точок, що лежать на екваторі (точка С), горлі (точка А), обрисних твірних (точка D) знаходять без допоміжних побудов.

На рис. 4.21, а зображено поверхню *однопорожнинного гіперболоїда*. Поверхня утворюється обертанням прямої мимобіжної до осі обертання. Вона також може бути утворена обертанням гіперболи навколо її уявної осі. При перерізі поверхні однопорожнинного гіперболоїда площиною перпендикулярною до осі обертання утворюється коло. Якщо площина перерізу проходить через вісь обертання отримуємо гіперболу. Для побудови довільної точки, що належить поверхні, у загальному випадку застосовують паралель або твірну, що проходять через задану точку.

На комплексному кресленні однопорожнинного гіперболоїда (рис. 4.21, б) показано побудову точки А, що знаходиться на верхній основі поверхні. Попередньо було задано горизонтальну проєкцію точки А–А₁. У даному окремому випадку знаходження фронтальної проєкції точки не потребує додаткових побудов.

Точка В попередньо була задана її фронтальною проєкцією В₂. Для побудови горизонтальної проєкції точки було використано твірну 1 – 2.

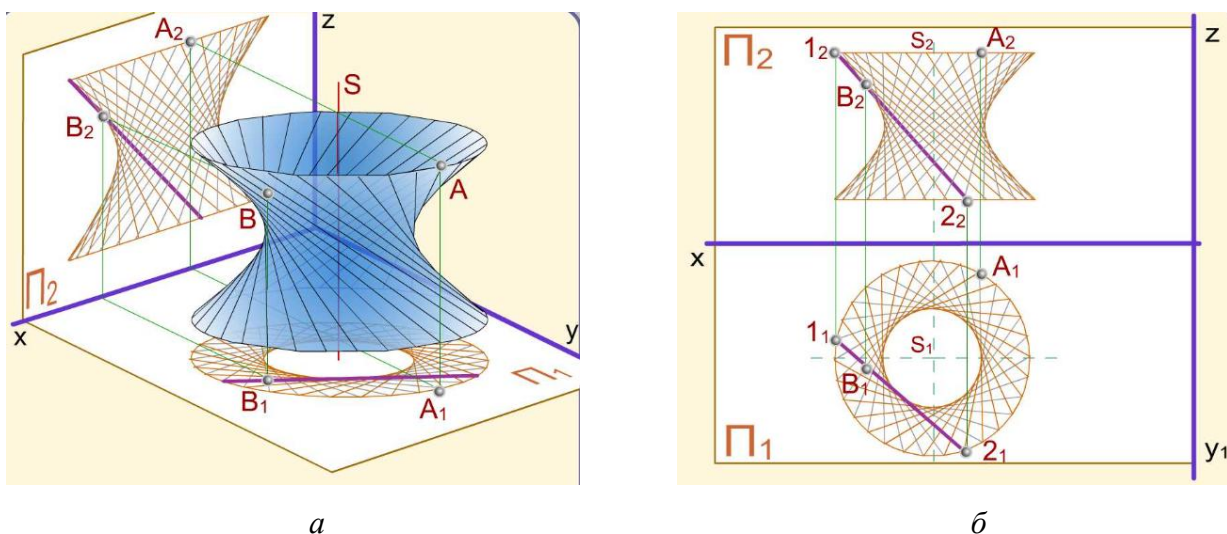
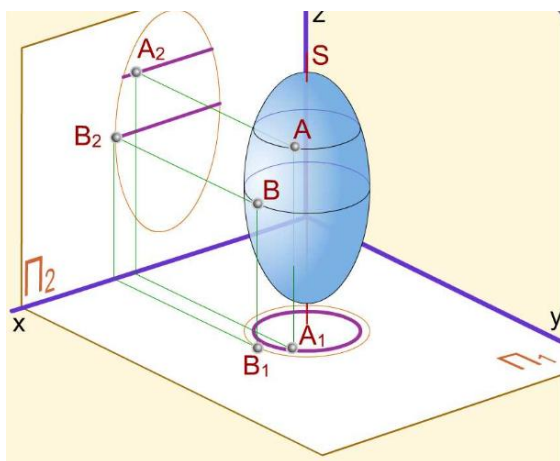


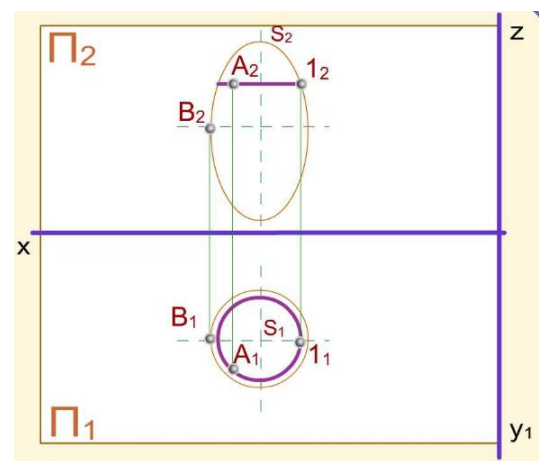
Рис. 4.21

На рис. 4.22, а зображено поверхню еліпсоїда. *Еліпсоїд* утворюється обертанням еліпса навколо однієї з його осей. На рисунку показано побудову двох довільних точок на поверхні еліпсоїда. Точка А знаходиться на допоміжній паралелі, точка В на екваторі.

Розглянемо побудову проєкцій цих точок на комплексному кресленні (рис. 4.22, б). Попередньо було задано фронтальну проєкцію точки А— A_2 . Тому допоміжну паралель було проведено спочатку у фронтальній площині проєкцій, а потім знайдено її горизонтальну проєкцію. На цій проєкції побудовано горизонтальну проєкцію точки А— A_1 за умови, що **попередньо задані проєкції точок видимі**. У точки В спочатку задано була її проєкція B_1 . Точку В задано на екваторі. Тому фронтальна проєкція точки В — B_2 знаходиться без допоміжних побудов.



а



б

Рис. 4.22

На рис. 4.23 зображено поверхню сфери. *Сфера* утворюється обертанням кола навколо власного діаметра. Віссю обертання може бути будь-який діаметр кола. На поверхні зображено декілька точок: А — на екваторі, В — на довільній паралелі.

Розглянемо побудову точок на комплексному кресленні сфери. Точка А попередньо задана на горизонтальній проєкції поверхні. Оскільки точка знаходиться на екваторі її фронтальна проєкція побудована на фронтальній проєкції найбільшого діаметра. У точки В попередньо було задано її горизонтальну проєкцію. Для побудови її фронтальної проєкції на горизонтальній проєкції сфери було проведено

горизонтальну проєкцію допоміжної паралелі. Після побудови фронтальної проєкції паралелі поверхні на ній побудовано фронтальну проєкцію точки В–В₂.

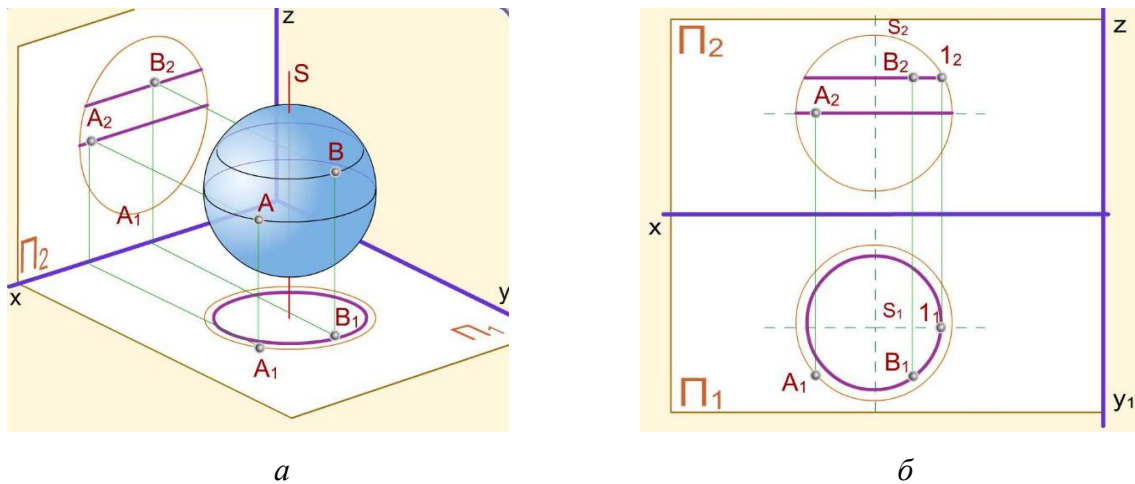


Рис. 4.23

На рис. 4.24, *а* зображено поверхню відкритого тора. *Відкритий тор* утворюється обертанням кола навколо осі *S*, що лежить у площині кола але не перетинає його. На поверхні задано дві точки *A* і *B*. Точка *A* знаходиться на найвищій паралелі поверхні. Її фронтальна проєкція співпадає з верхньою лінією обрису поверхні, у яку проєкціюється паралель. Горизонтальна проєкція точки *A*–*A*₁ знаходиться на горизонтальній проєкції паралелі. Для побудови точки *B* застосовувалась допоміжна паралель.

На рис. 4.24, *б* побудову точок показано на комплексному кресленнику.

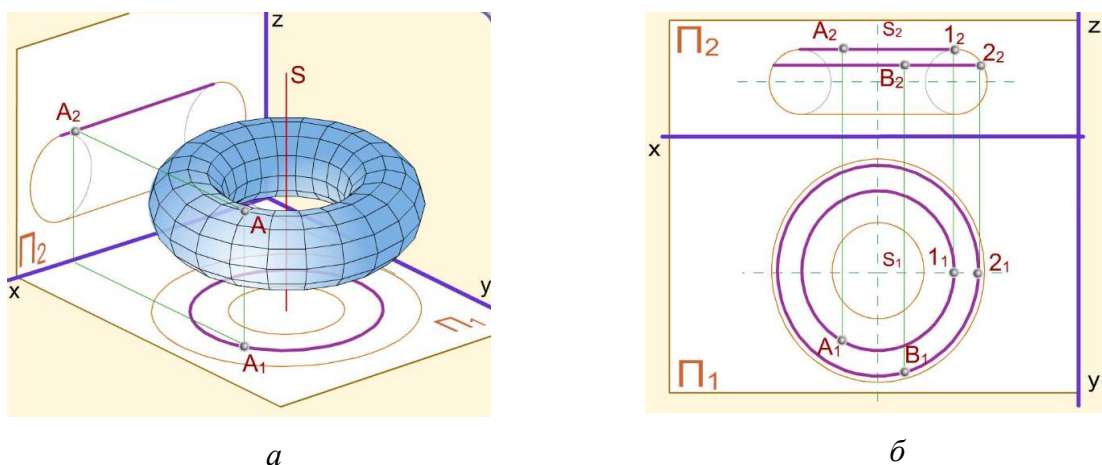


Рис. 4.24

На рис. 4.25, *а* зображено закритий тор. *Закритий тор* утворюється обертанням кола навколо осі S , що лежить у площині кола і перетинає його. Показано побудову точки A , що належить поверхні, за допоміжною паралеллю.

На рис. 4.25, *б* побудову точки A на поверхні закритого тора показано на комплексному кресленні.

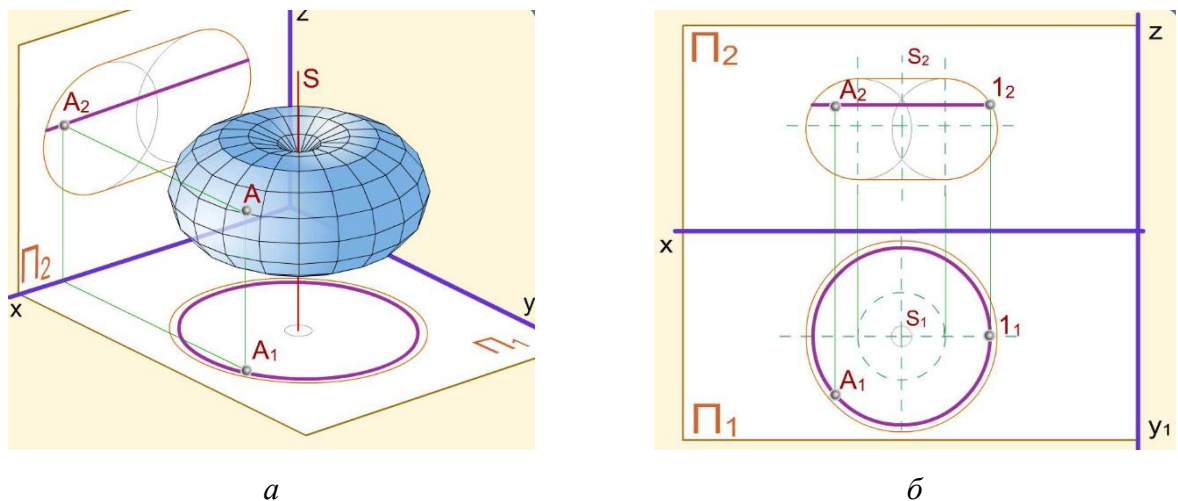


Рис. 4.25

Розглянемо декілька задач побудови точок на типових поверхнях обертання.

Задача. Побудувати на поверхні прямого кругового циліндра проєкції точок, яких не вистачає. Вважати задані проєкції точок видимими (рис. 4.26).

Фронтальну проєкцію точки $1-1_2$ задано на обрисній твірній циліндра. Твірні прямого кругового циліндра, основа якого знаходиться в горизонтальній площині проєкцій чи в горизонтальній площині рівня, є горизонтально-проєкціюючими прямими. Тобто горизонтальна проєкція точки $1-1_1$ співпадає зі слідом-проєкцією обрисної твірної. Профільна проєкція точки $1-1_3$ теж співпадає з профільною проєкцією твірної, яка накладається на проєкцію осі обертання циліндра (рис. 4.26, *а*).

Фронтальну проєкцію точки $2-2_2$ задано на твірній циліндра, яка є обрисною у профільній площині проєкцій. У фронтальній площині проєкцій вона накладається на проєкцію осі обертання циліндра. Будуємо проєкції точки 2 на відповідних проєкціях твірної (рис. 4.26, *б*).

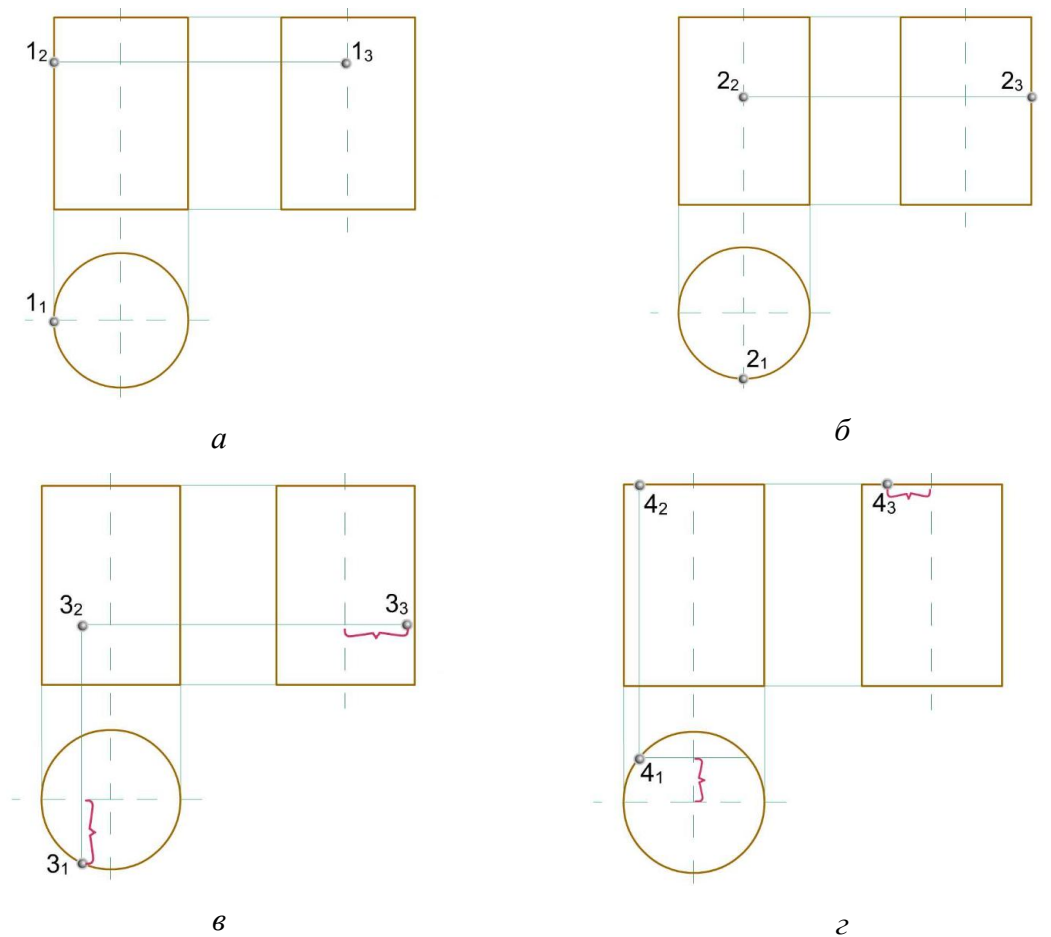


Рис. 4.26

Фронтальну проєкцію точки $3-3_2$ задано на довільній твірній циліндра. За умовою задачі точка видима на тій площині проєкцій де задана її проєкція. Виходячи з цього, будуюмо горизонтальну проєкцію точки $3-3_1$ на проєкції горизонтально-проєкціюючої твірної, якій ця точка належить. Профільна проєкція точки $3-3_3$ будується за загальним алгоритмом побудови проєкції точки за її двома заданими проєкціями (рис. 4.26, в).

Профільну проєкцію точки $4-4_3$ задано на верхній основі циліндра. За умовою задачі задана проєкція точки видима. Виходячи з цих умов будуюмо горизонтальну проєкцію точки $4-4_1$. Потім фронтальну 4_2 . Задачу розв'язано.

Задача. Знайти на поверхні прямого кругового конуса проєкції точок, яких не вистачає. Вважати задані проєкції точок видимими (рис. 4.27, а).

Фронтальна проєкція точки $1-1_2$ задана на лівій обрисній твірній конуса. Ця твірна проєкціюється на горизонтальну площину проєкцій на горизонтальну вісь

проекції основи конуса. На профільній площині проєкцій її проєкція співпадає з проєкцією осі обертання конуса. Будуємо на горизонтальній і профільній проєкціях твірної відповідні проєкції точки $1-1_1$ і 1_3 (рис. 4.27, *а*).

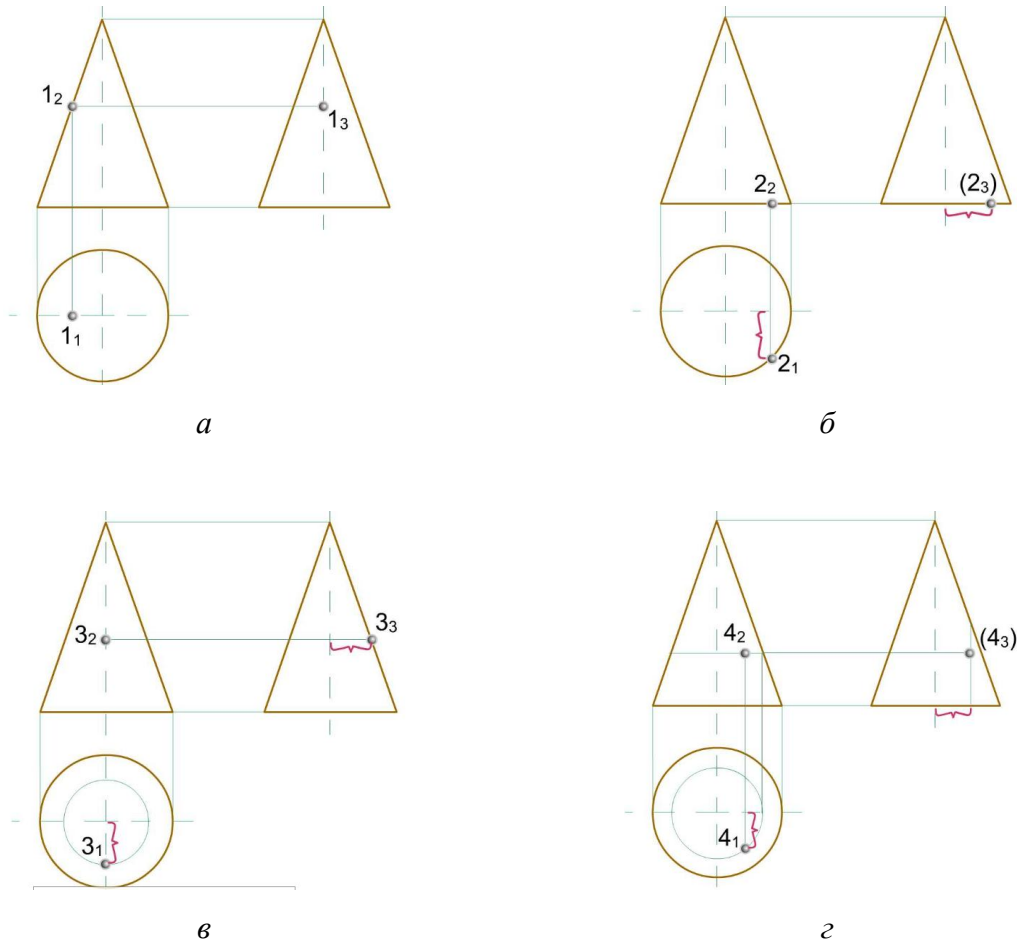


Рис. 4.27

Точка 2 задана на основі конуса. За умовою задачі задана проєкція точки видима. Виходячи з цього, будуємо горизонтальну проєкцію точки $2-2_1$. Профільна проєкція точки $2-2_3$ будується за загальним алгоритмом побудови третьої проєкції точки за двома її заданими проєкціями (рис. 4.27, *б*).

Профільна проєкція точки не видима. Такі проєкції прийнято брати у дужки.

Фронтальну проєкцію точки $3-3_2$ задано на твірній конуса, проєкція якої співпадає з фронтальною проєкцією осі обертання конуса. Проєкція точки видима. Виходячи з цього, будуємо її профільну проєкцію 3_3 на проєкції твірної, яка у профільній площині проєкцій є обрисною. Горизонтальну проєкцію точки $3-3_1$

будуємо за загальним алгоритмом знаходження третьої проєкції точки за двома її заданими проєкціями.

Горизонтальну проєкцію точки $4-4_1$ задано на бічній поверхні конуса. Для знаходження її фронтальної і профільної проєкцій застосовуємо загальний алгоритм побудови проєкцій точок на поверхнях обертання:

- проводимо через задану проєкцію точки проєкцію паралелі;
- знаходимо фронтальну проєкцію паралелі і будуємо на ній фронтальну проєкцію точки $4-4_2$;
- за відомим алгоритмом будуємо третю профільну проєкцію точки $4-4_3$;
- визначаємо видимість точки на окремих площинах проєкцій.

Задачу розв'язано.

Запитання для самоперевірки

1. Як геометрично визначається порядок плоскої алгебраїчної кривої?
2. Як геометрично визначається порядок просторової алгебраїчної кривої?
3. Як геометрично визначається клас кривої лінії?
4. Чи змінюється порядок кривої лінії при ортогональному проєкціюванні?
5. Які властивості кривих ліній зберігаються при ортогональному проєкціюванні?
6. Які властивості кола зберігаються при ортогональному проєкціюванні?
7. Як проєкціюється коло на площини проєкцій, коли воно розташоване у проєкціюючій площині? площині рівня? площині загального положення?
8. Як утворюється геліса?
9. Які є способи задання поверхонь?
10. Як розглядають поверхню при кінематичному способі її задання?
11. Що таке визначник поверхні?
12. Якими геометричними елементами задають лінійчасті поверхні?
13. Якими геометричними елементами задають нелінійчасті поверхні?
14. Як утворюються гвинтові поверхні?
15. Як утворюються поверхні обертання?
16. Яку лінію називають паралеллю?
17. Як визначають належність точки поверхні обертання?

РОЗДІЛ 5. ПЕРЕТИН ПОВЕРХНІ ПЛОЩИНОЮ

Перетином поверхні площиною є спільна для них плоска лінія. Форма її залежить від виду поверхні та взаємного розташування площини та поверхні. На рис. 5.1 показано дві різні поверхні крива і многогранна. У першому випадку лінії перетину криві лінії, у другому многокутники (ламани лінії). Вигляд ліній перетину при незмінній поверхні залежить від положення січної площини відносно елементів поверхні.

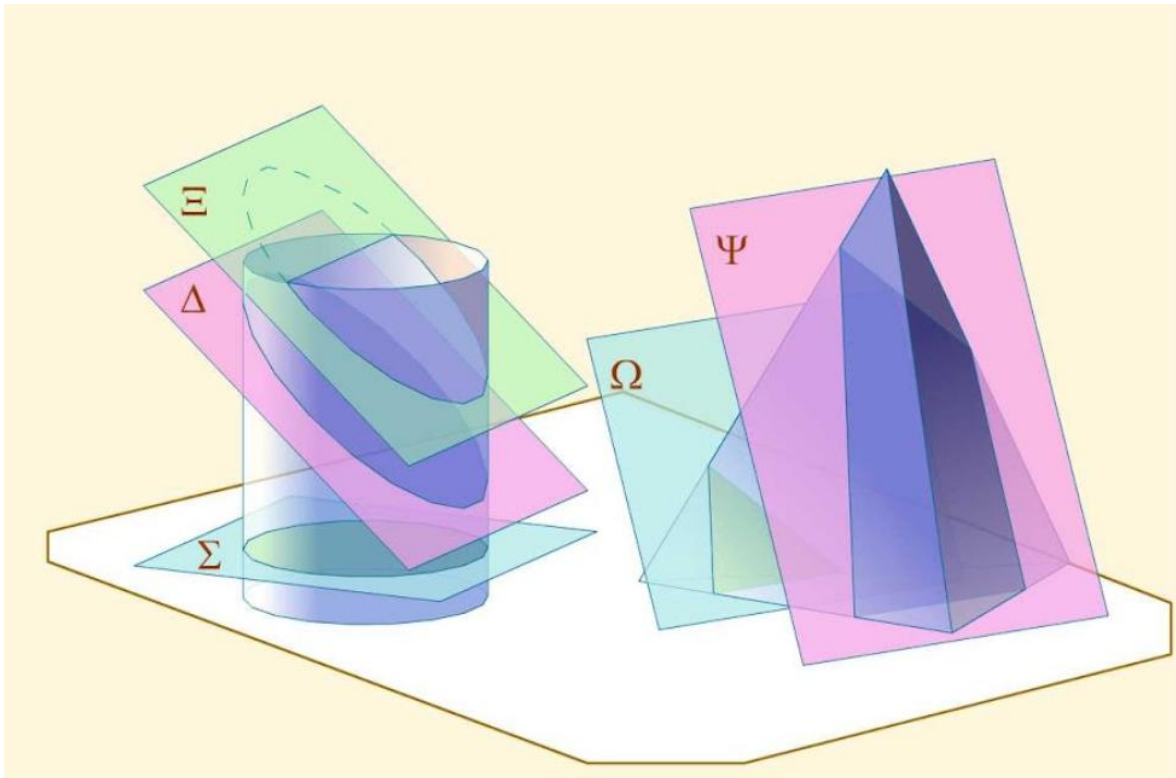


Рис. 5.1

Так при перетині многогранників площиною у загальному випадку утворюються многокутники, вершини яких належать ребрам многогранника, а сторони його граням. Тобто задачу на знаходження лінії перетину поверхні многогранника площиною можна звести до двох, вже відомих раніше задач, кожна з яких необхідно повторити певну кількість разів:

- визначення лінії перетину двох площин (грані многогранника і січної площини) – *спосіб граней*;

- визначення точки перетину прямої з площиною (ребра многогранника із січною площиною) – *спосіб ребер*.

Для кожного конкретного випадку обирають той чи інший спосіб. Можна використовувати при розв’язку задачі обидва способи одночасно.

При перетині кривих поверхонь площиною утворюються плоскі криві лінії. Для побудови проєкцій плоскої кривої лінії необхідно побудувати ряд її точок, які потім слід з’єднати за допомогою лекала. Точки будують наступними способами:

- за допомогою *способу використання допоміжних ліній* (наприклад, твірних поверхні, ін.);
- за допомогою *способу допоміжних січних площин*, які проводять через обрані точки лінії перетину.

Як правило, допоміжні січні площини проводять через характерні точки лінії перетину. *До характерних точок лінії перетину відносять: найвищу та найнижчу; найближчу і найбільш віддалену; точки дотику лінії перетину до обрисних твірних поверхні; точки, за якими відомими графічними прийомами можна побудувати всю лінію перетину, наприклад, для еліпсів – точки кінців їх спряжених діаметрів (в окремому випадку – точки, що є кінцями його великої і малої осей); для гіперболи і параболі – їх вершини і точки кінців їх найбільшої хорди.*

У разі необхідності, для більш точної побудови лінії перетину кривих поверхонь площиною назначають допоміжні точки, для побудови яких теж проводять допоміжні лінії або допоміжні січні площини.

5.1. Алгоритм побудови лінії перетину

1. Визначають форму лінії перетину поверхні площиною у просторі;
2. Визначають форму проєкцій лінії перетину;
3. Назначають характерні точки лінії перетину;
4. Назначають допоміжні точки лінії перетину;
5. Будують проєкції лінії перетину;
6. Визначають видимість окремих частин лінії перетину на кожній площині проєкцій окремо.

Алгоритм може бути доповнений наступними пунктами:

7. Будують натуральну величину фігури (лінії) перетину;
8. Будують розгортку зрізаного тіла;
9. Будують аксонометричне зображення зрізаного тіла.

5.2. Основні типи задач перетину поверхонь площиною

Серед множини задач перетину поверхні площиною, виділяють чотири типи задач, які різняться за видом поверхні, що перетинається, та за видом січної площини.

Перший тип: *поверхня проєкціююча, площина окремого положення.*

Другий тип: *поверхня загального виду, площина окремого положення.*

Третій тип: *поверхня проєкціююча, площина загального положення.*

Четвертий тип: *поверхня загального виду, площина загального положення.*

5.2.1. Задачі першого типу

До задач першого типу відносять задачі, у яких поверхня, яка перетинається, є проєкціюючою поверхнею, а січна площина займає в системі площин проєкцій окреме положення. До проєкціюючих поверхонь можна віднести поверхні, твірні, або ребра яких займають проєкціююче положення по відношенню до якої-небудь площини проєкцій. Це поверхні прямих кругових циліндрів та прямих призм. Особливістю розв'язку цих задач на комплексному кресленні є те, що *одна з проєкцій лінії перетину співпадає зі слідом-проєкцією січної площини особливого положення, друга її проєкція співпадає з проєкцією основи поверхні на тій площині проєкцій, у якій ця основа знаходиться, або до якої паралельна.* Розглянемо декілька задач цього типу.

Перетин прямого кругового циліндра площиною окремого положення

В залежності від положення січної площини у результаті перетину нею прямого кругового циліндра можуть бути отримані наступні лінії перетину (рис. 5.2):

- *коло*, якщо січна площина перпендикулярна до осі циліндра;
- *прямокутник*, якщо січна площина паралельна осі циліндра;

- *еліпс*, якщо січна площина не паралельна і не перпендикулярна до осі циліндра;

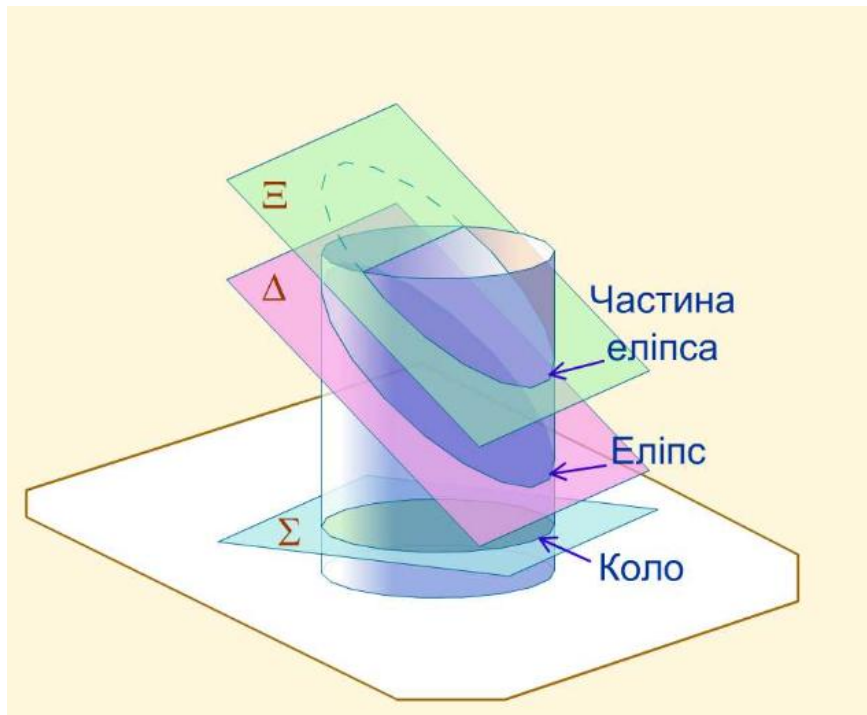


Рис. 5.2

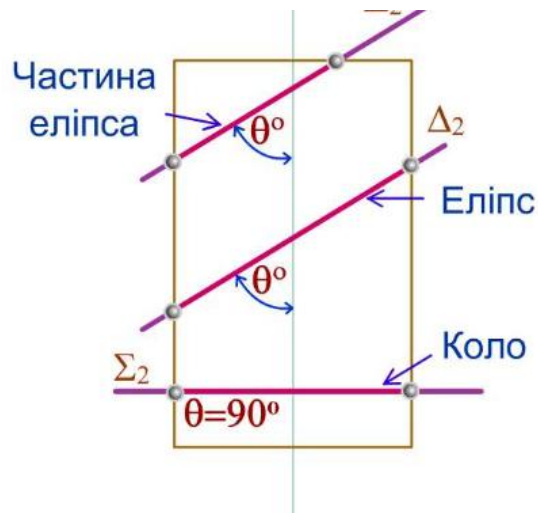


Рис. 5.3

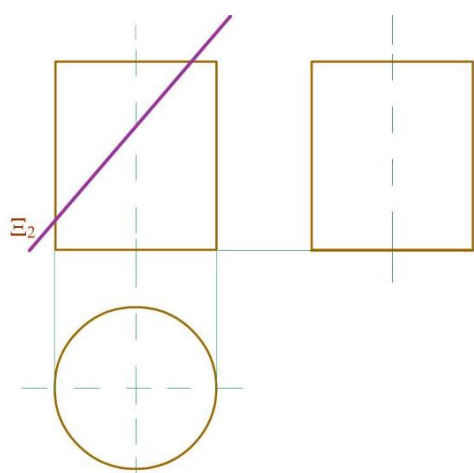
На рис. 5.3 показано, що якщо січна площина перетинає усі твірні циліндра і нахилена до його осі під деяким кутом, у перетині отримують *повний еліпс*. Якщо січна площина перетинає одну або обидві основи циліндра, *еліпс* перетину *неповний*.

Розглянемо задачу побудови лінії перетину прямого кругового циліндра січною площиною на комплексному кресленні (рис. 5.4, *a*).

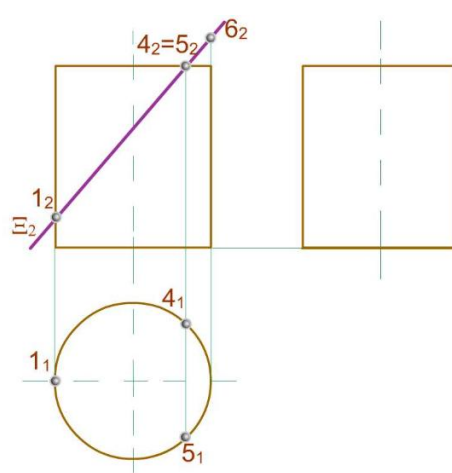
Поверхня – прямий круговий циліндр, твірні якого перпендикулярні до горизонтальної площини проєкцій. Січна площина фронтально-проєкціююча. Тобто поверхня і площина займають проєкціююче положення. Це задача першого типу.

У відповідності до зазначеного алгоритму визначаємо форму лінії перетину у просторі. У перетині неповний еліпс. На фронтальну площину проєкцій він проєкціюється у пряму лінію, що співпадає зі слідом-проєкцією січної площини. На горизонтальну площину проєкцій лінія перетину проєкціюється у частину кола, що співпадає з проєкцією основи циліндра. На профільній площині проєкцій його проєкція – більша частина еліпса. Оскільки побудова еліпса простіша якщо відомі його велика і мала осі, збільшуємо поверхню циліндра, щоб січна площина перетинала його повністю. В перетині отримаємо повний еліпс. Позначимо проєкції характерних точок лінії перетину на сліді-проєкції січної площини: 1_2 і 6_2 проєкції точок перетину січною площиною обрисних твірних циліндра (точки кінців однієї з осей еліпса); 2_2 і 3_2 – проєкції точок, які знаходяться на середині відрізка 1–6 (точки кінців другої осі еліпса) (рис. 5.4, *б*); 4_2 і 5_2 – проєкції точок обмеження неповного еліпса. Зазначимо, що профільні проєкції точок 2 і 3 – 2_3 і 3_3 знаходяться на проєкціях обрисних твірних циліндра і позначають межу видимості частин еліпса на профільній площині проєкцій. Будуємо інші проєкції обраних точок. З'єднуємо їх одноіменні проєкції. Отримуємо відповідні проєкції лінії перетину (рис. 5.4, *в*). Оформлюємо креслення, показуючи на проєкціях видимість окремих частин лінії перетину (рис. 5.4, *г*). (*Лінія перетину* відрізняється від *лінії зрізу* тим, що у першому випадку поверхня після перетину січною площиною залишається цілою. Тому і існують невидимі частини лінії перетину. У другому випадку частина зрізаної поверхні відкидається. Тоді уся лінія перетину видима).

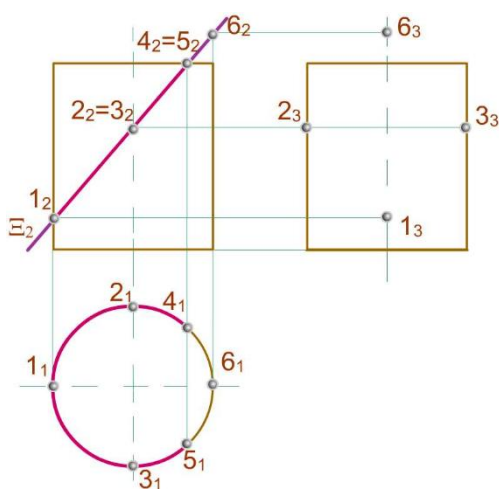
Побудуємо натуральну величину лінії перетину. Скористаємось методом заміни площин проєкцій (рис. 5.4, *д*, *е*).



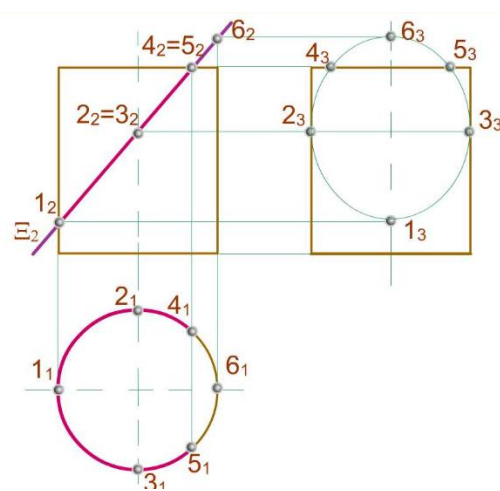
a



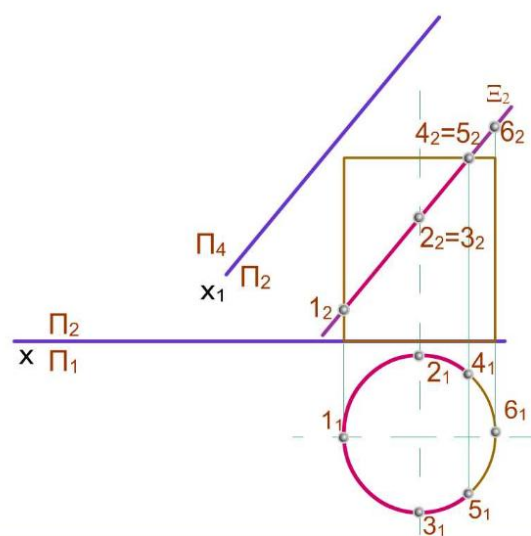
б



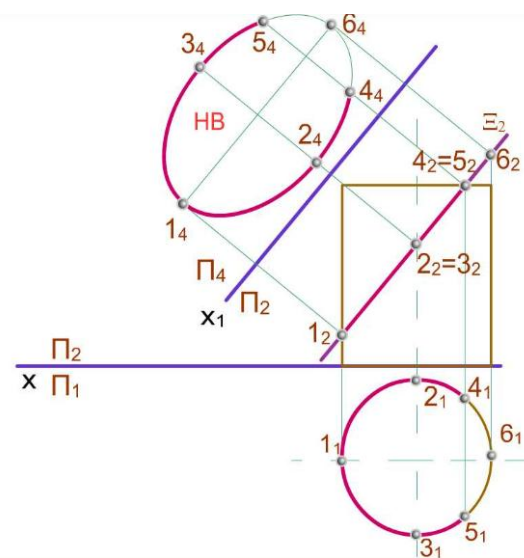
в



г



д



е

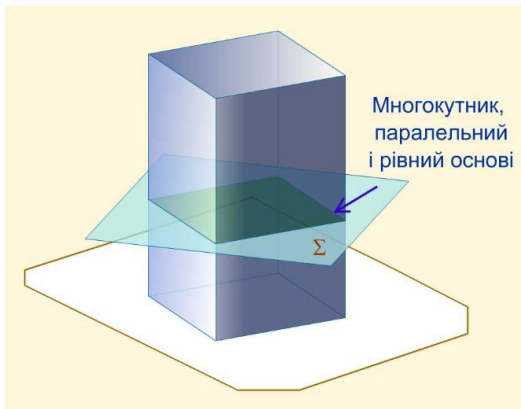
Рис. 5.4

Перетин прямої призми площиною окремого положення

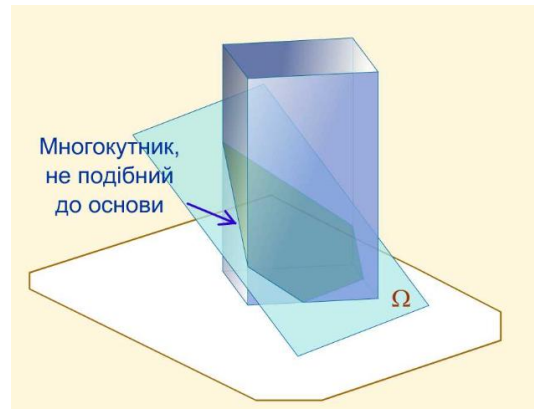
Якщо перетинати будь-яку призму площиною, то у загальному випадку у перетині будуть утворюватись многокутники, вершини яких знаходяться у точках перетину ребер призми із січною площиною:

- многокутник паралельний і рівний многокутнику основи (рис. 5.5, а);
- многокутник не подібний до многокутника основи (рис. 5.5, б);
- прямокутник (якщо призма нахилена – паралелограм) (рис. 5.5, в).

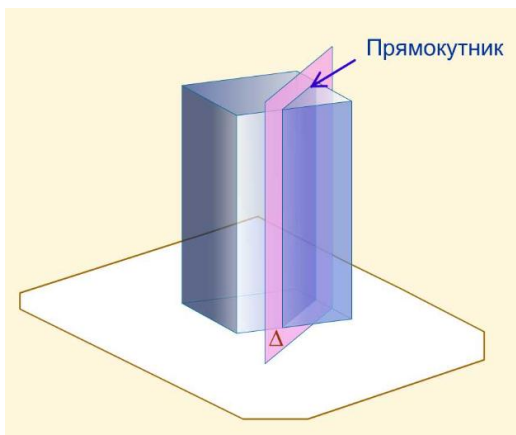
Якщо призма пряма і розташована таким чином, що її основа знаходиться в одній з площин проєкцій або паралельно до неї, то розв'язки задачі спрощуються. Це пов'язано з тим, що одна з проєкцій лінії перетину співпадає з проєкцією основи призми оскільки ребра і грані призми по відношенню до цієї площини займають проєкціююче положення (рис. 5.5, г).



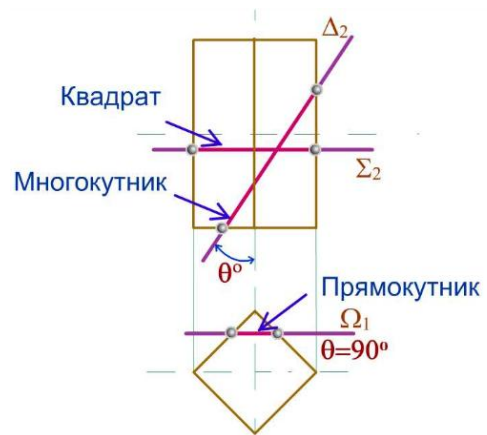
а



б



в



г

Рис. 5.5

Якщо січна площина, якою перетинається пряма призма, є площиною окремого положення, то такі задачі відносяться до *задач першого типу*.

Розглянемо задачу перетину прямої чотиригранної призми, основи якої паралельні до горизонтальної площини проєкцій, фронтально-проєкціюючою січною площиною $\Delta(\Delta_2)$ (рис. 5.6, *а*). Січна площина перетинає три вертикальних ребра призми (точки 3, 4, 5) і дві сторони нижньої основи (точки 1, 2). Отже у перетині отримуємо п'ятикутник. На горизонтальну площину проєкцій Π_1 він проєкціюється у п'ятикутник, що співпадає з проєкцією основи призми. Проекція п'ятикутника на фронтальну площину проєкцій Π_2 співпадає зі слідом-проєкцією січної площини (рис. 5.6, *б*). Будуємо проєкції точок на усіх площинах проєкцій. З'єднуємо їх у відповідній послідовності, враховуючи видимість на кожній площині проєкцій окремо (рис. 5.6, *в*). Задача розв'язана. Відомими способами можна побудувати натуральну величину фігури перетину.

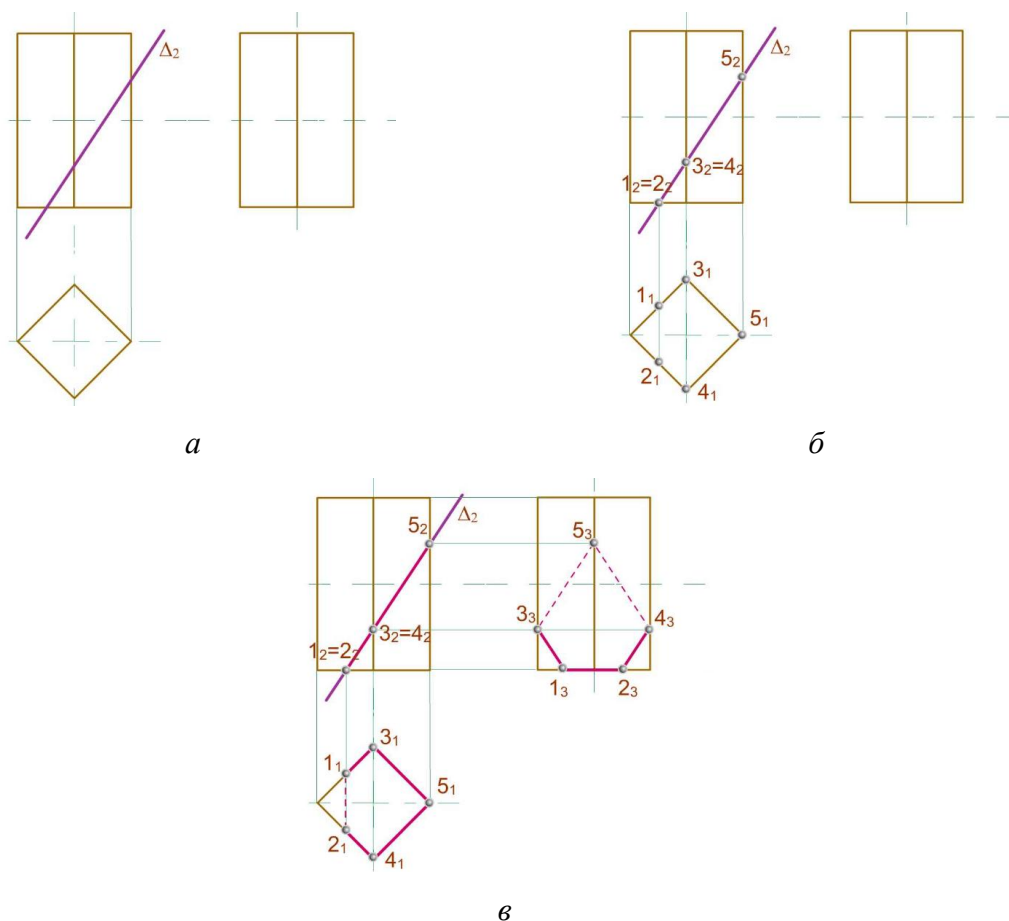


Рис. 5.6

5.2.2. Задачі другого типу

До задач другого типу належать задачі перетину поверхні площиною, у яких поверхні загального виду перетинаються площиною окремого положення. До поверхонь загального виду належать усі поверхні, твірні яких не займають проєкціюючого положення по відношенню до площин проєкцій (конус, сфера, піраміда, нахилена призма, ін). Особливістю розв'язку таких задач на комплексному кресленні є те, що оскільки січна площина є площиною окремого положення, то *одна з проєкцій лінії перетину співпадає зі слідом-проєкцією січної площини. Інші проєкції лінії перетину знаходять на відповідних проєкціях поверхні, що перетинається*. Розглянемо деякі з таких задач.

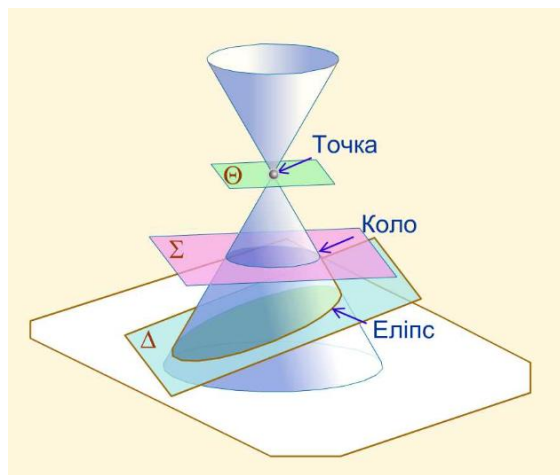
Перетини конуса

Форма лінії перетину конуса змінюється залежно від положення січної площини відносно його осі і твірних (рис. 5.7, а). При перетині конуса січною площиною можуть утворюватись наступні лінії перетину:

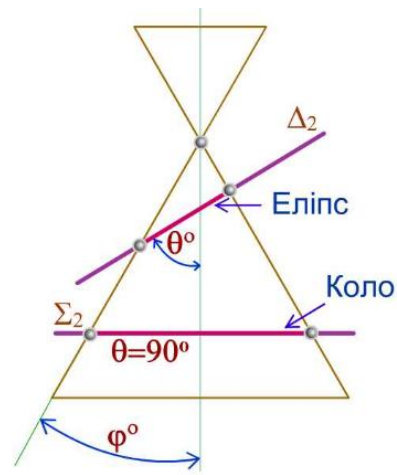
- коло;
- еліпс;
- гіпербола;
- парабола;
- окремі випадки (точка, подвійна пряма).

Розглянемо кожен з можливих випадків перетину окремо, попередньо позначивши кут нахилу твірної конуса до його осі φ^0 , а кут нахилу січної площини до осі конуса θ^0 (рис. 5.7, б).

Якщо січна площина перетинає усі твірні конуса, в перетині утворюється *еліпс*. В окремих випадках це може бути *коло*, якщо січна площина перетинає усі твірні конуса але проходить перпендикулярно до його осі. (Якщо кут нахилу січної площини до осі конуса більше кута нахилу твірної конуса до його осі ($\theta > \varphi$), в перетині отримуємо еліпс. При $\theta = 90^\circ$ коло). Якщо січна площина проходить через вершину конуса, в перетині отримуємо *точку*.



а



б

Рис. 5.7

Розглянемо на комплексному кресленні розв'язок задачі перетину прямого кругового конуса, основа якого знаходиться у горизонтальній площині проєкцій Π_1 фронтально-проєкціуючою площиною $\Delta(\Delta_2)$ (рис. 5.8, а). Площина $\Delta(\Delta_2)$ перетинає усі твірні конуса і не перпендикулярна його осі. У перетині отримуємо еліпс. На фронтальній площині проєкцій проєкція еліпса співпадає зі слідом-проєкцією січної площини. На горизонтальній і профільній площинах проєкцій проєкціями еліпса будуть еліпси, що не дорівнюють його натуральній величині. Велика вісь еліпса співпадає з фронталлю січної площини і проєкціюється на фронтальну площину проєкцій Π_2 у натуральну величину. Мала вісь еліпса співпадає з горизонталлю січної площини, яка проходить через точку поділу великої осі навпіл і перпендикулярно до фронтальної площини проєкцій.

Виконаємо відповідні побудови і отримаємо проєкції еліпса. Позначимо характерні точки еліпса – кінці його великої і малої осей (1, 2, 3, 4). Знаходимо проєкції цих точок у горизонтальній площині проєкцій Π_1 і будуємо горизонтальну проєкцію еліпса. Оскільки усі точки, що знаходяться на бічній поверхні еліпса, на горизонтальній площині проєкцій видимі, то видима і горизонтальна проєкція еліпса (рис. 5.8, б).

Будуємо проєкцію еліпса у профільній площині проєкцій Π_3 . Спочатку знаходимо профільні проєкції точок 1₃, 2₃, 3₃, 4₃. Обираємо ще одну пару характерних точок 5 і 6, проєкції яких у профільній площині проєкцій співпадають з проєкціями

обрисних твірних конуса. Це точки, які визначають межі видимості профільної проєкції еліпса (рис. 5.8, в). Будуємо профільну проєкцію еліпса. Задачу завершено. На рис. 5.8, г додатково показано побудову натуральної величини еліпса методом заміни площин проєкцій.

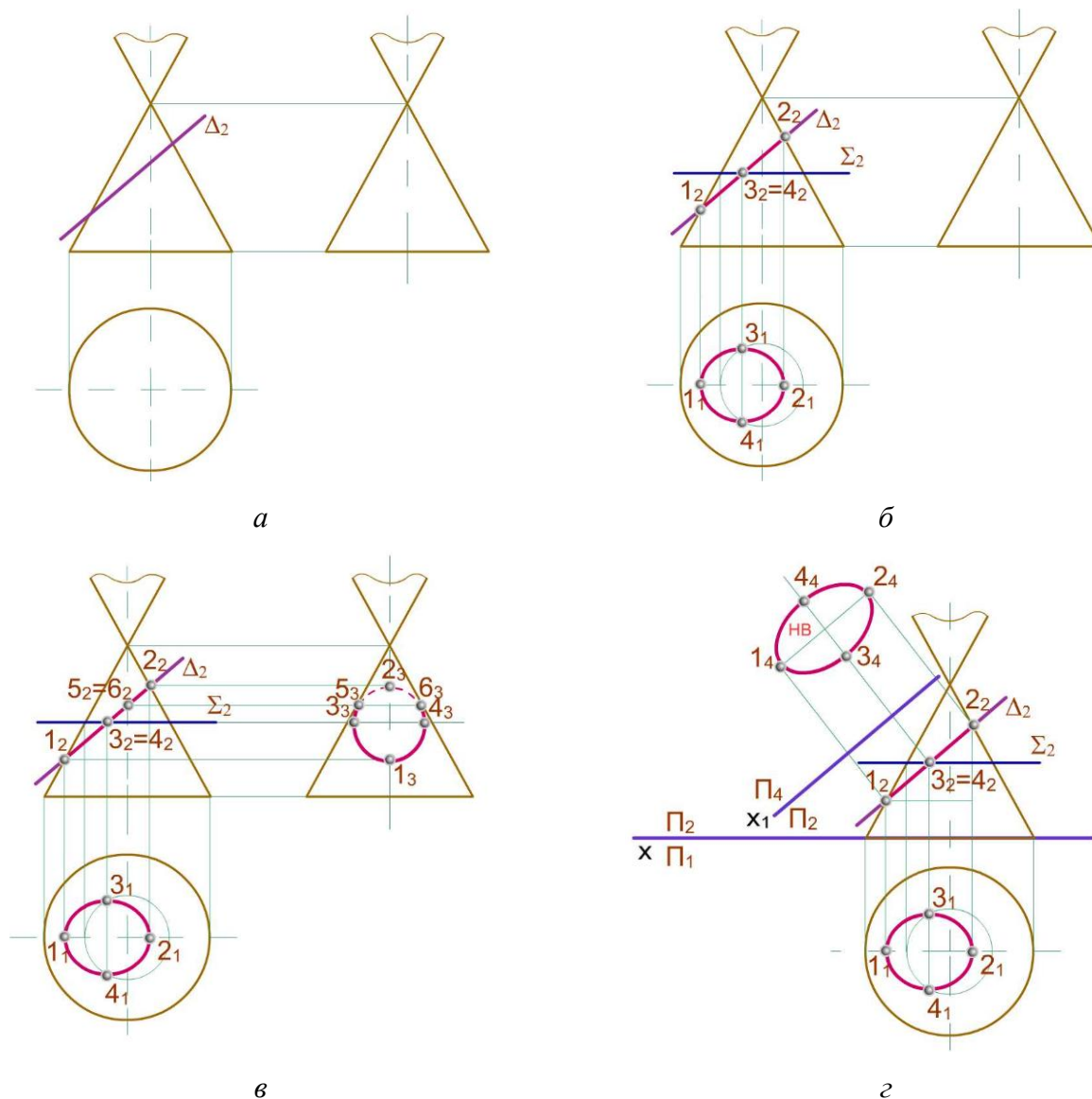
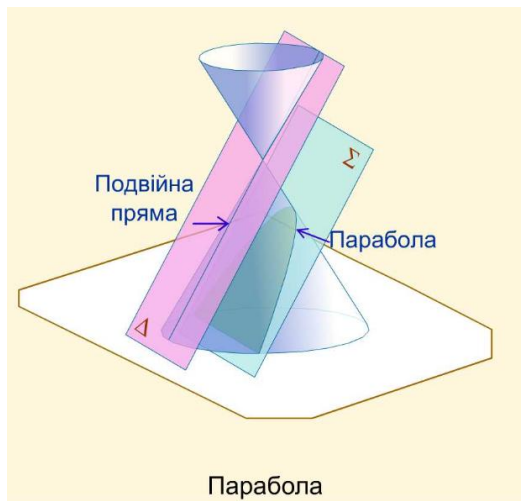
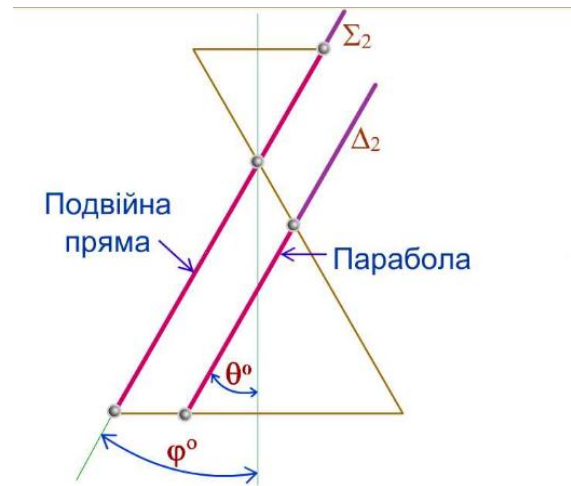


Рис. 5.8

На рис. 5.9, а показано наступний випадок перетину конуса січною площиною. Якщо січна площина паралельна до однієї з твірних конуса, в перетині отримують *параболу* ($\theta = \varphi$) (рис. 5.9, б). В окремому випадку, якщо січна площина, залишаючись паралельною до твірної конуса, проходить через його вершину, вона стає дотичною до конуса і у цьому випадку отримуємо *пряму лінію*.



a



б

Рис. 5.9

Розглянемо на комплексному кресленні розв'язок задачі перетину прямого кругового конуса фронтально-проекціюючою площиною $\Delta(\Delta_2)$ паралельною до однієї з обрисних твірних конуса (рис. 5.10, *a*). В перетині отримуємо параболу. Фронтальна проєкція параболи співпадає зі слідом-проекцією січної площини. На горизонтальну Π_1 і профільну Π_3 площини проєкцій параболу проєкціюється у вигляді параболи, що не дорівнює її натуральній величині.

Для побудови проєкцій лінії перетину обираємо характерні точки параболи: вершину (точка 1) та точки кінців її найбільшої хорди (точки 2 і 3). Будуємо горизонтальну проєкцію параболи. Для більш точного відтворення її форми обираємо пару допоміжних точок симетрично розташованих відносно осі параболи (точки 4 і 5) (рис. 5.10, *б*). У горизонтальній площині проєкцій лінія перетину видима (рис. 5.10, *в*).

Будуємо профільну проєкцію лінії перетину. Для визначення видимості частин параболи обираємо характерні точки 5 і 6, що позначають межі видимості (рис. 5.10, *г*). Задачу завершено.

На рис. 5.10, *д* і рис. 5.10, *е* додатково показано побудову натуральної величини лінії перетину.

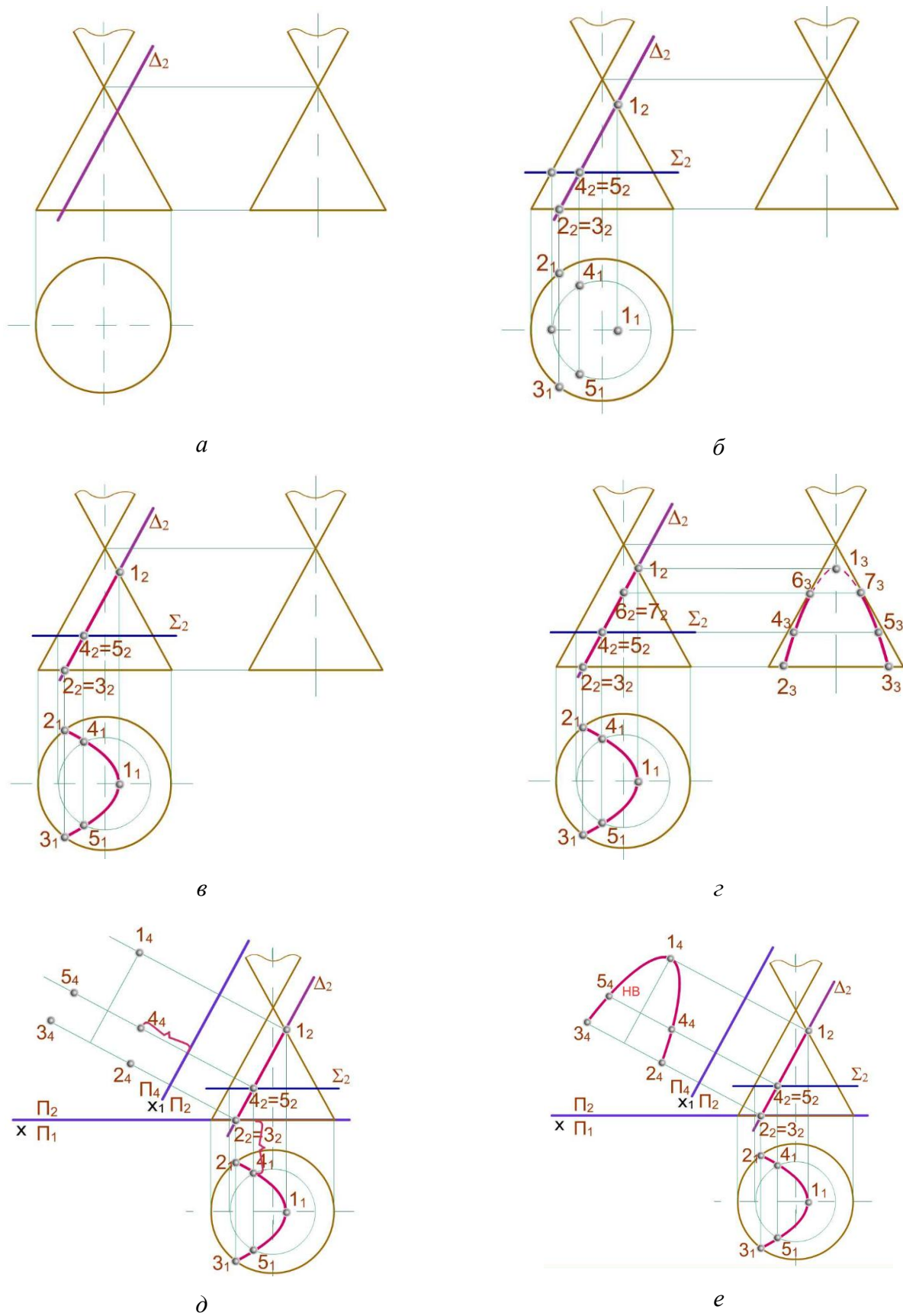


Рис. 5.10

На рис. 5.11, *а* показано наступний випадок перетину конуса площиною окремого положення. Якщо січна площина паралельна до двох твірних конуса в перетині отримуємо *гіперболу* ($\theta < \varphi$). В окремому випадку якщо січна площина, що паралельна до двох твірних, проходить через вершину конуса, отримуємо дві прямі лінії (твірні конуса) (рис. 5.11, *б*).

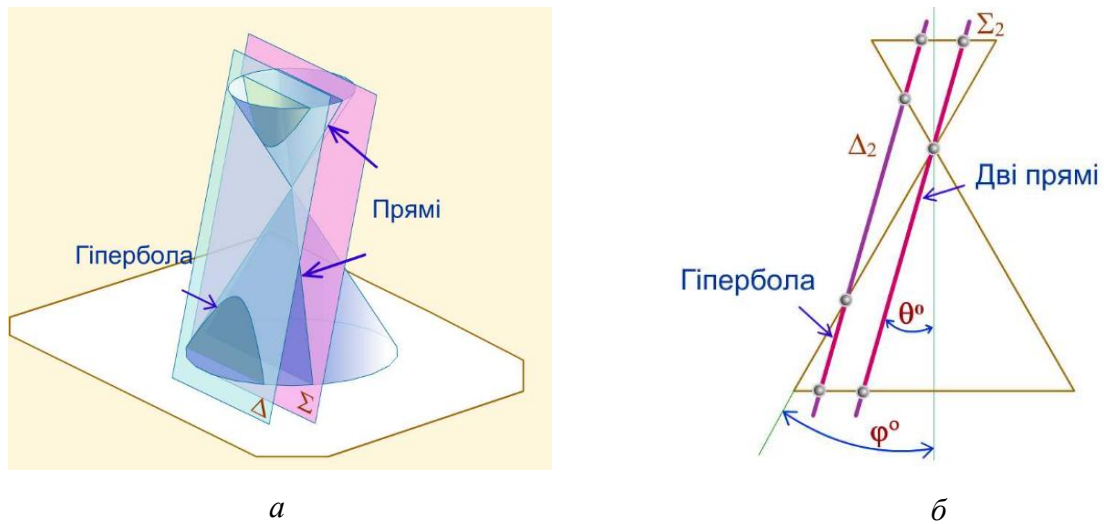


Рис. 5.11

Розглянемо на комплексному кресленні перетин прямого кругового конуса фронтально-проекціюючою площиною $\Delta(\Delta_2)$ паралельною до двох твірних конуса (рис. 5.12, *а*). Лінія перетину – гіпербола. У задачі розглядається випадок перетину фронтально-проекціюючою січною площиною двох конусів суміщених вершинами. Тобто у результаті перетину буде отримано дві гілки гіперболи. На фронтальній площині проєкцій Π_2 проєкції лінії перетину співпадуть зі слідом-проєкцією січної площини. На горизонтальній Π_1 і профільній Π_3 площинах проєкцій проєкціями ліній перетину будуть гіперболи.

Позначимо характерні точки гілок гіперболи: вершина (точка 1) і точки кінців її найбільшої хорди (точки 2 і 3) для нижньої гілки гіперболи і вершина (точка 4) і точки кінців найбільшої хорди гіперболи (точки 5 і 6) для верхньої гілки. На кресленні точки 5 і 6 вказані умовно оскільки основу верхнього конуса не показано (рис. 5.12, *б*).

Будуємо горизонтальні проєкції ліній перетину. Для побудови нижньої гілки гіперболи додамо пару допоміжних точок 7 і 8. За проєкціями п'яти точок будуємо горизонтальну проєкцію нижньої гілки гіперболи. Для побудови верхньої гілки гіперболи додамо пару допоміжних точок 9 і 10 (рис. 5.12, в). Обидві проєкції ліній перетину видимі.

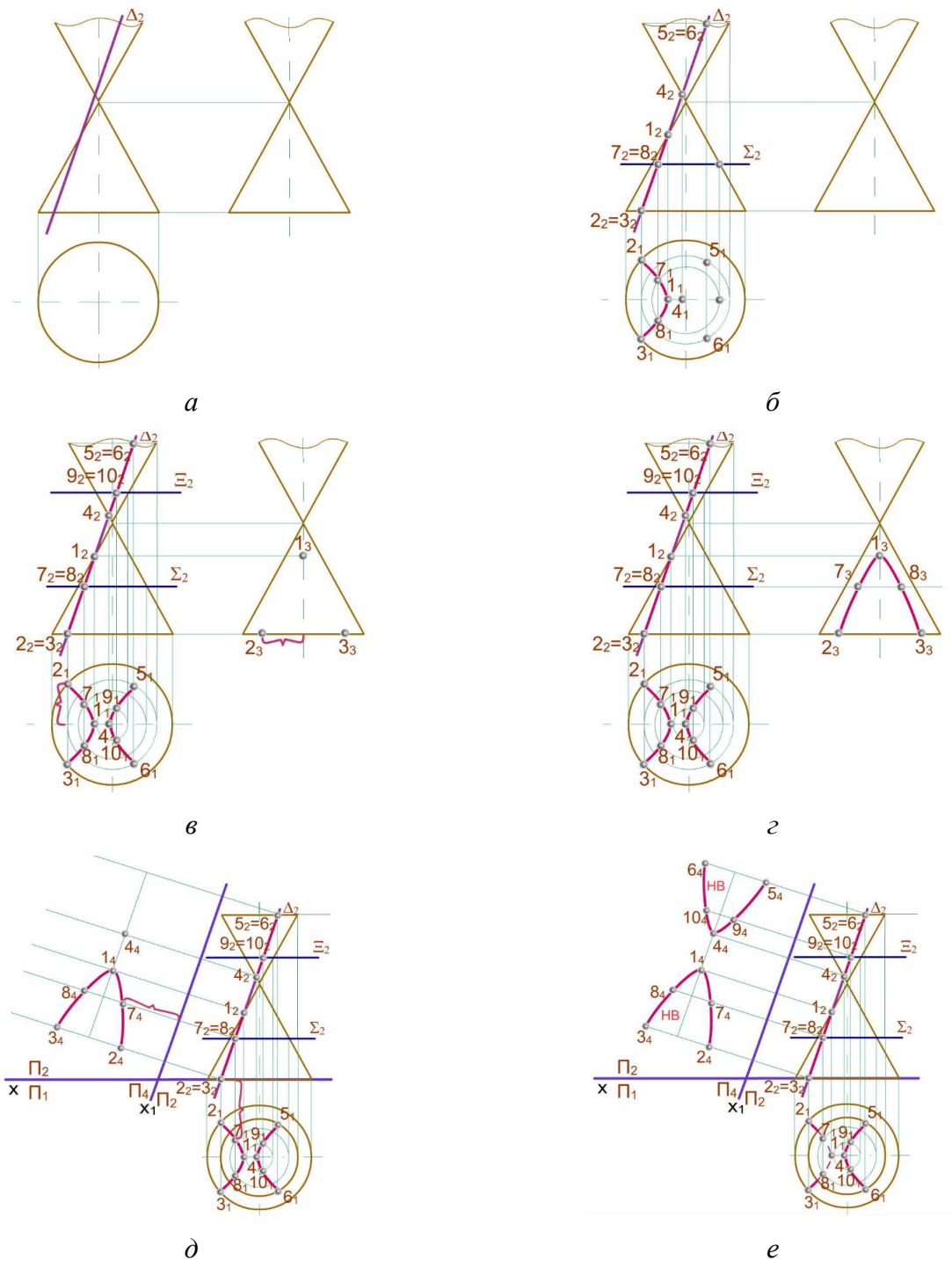


Рис. 5.12

Будуємо профільні проєкції ліній перетину. Спочатку будуємо проєкцію нижньої гілки гіперболи (рис. 5.12, *з*). Наступним кроком будуємо проєкцію верхньої гілки гіперболи. Проєкція нижньої гілки гіперболи видима. Для побудови проєкції верхньої гілки гіперболи, враховуючи видимість її частин, слід назначити точки дотику проєкції кривої до обрисних твірних профільної проєкції конуса. Задачу розв'язано.

На рис. 5.12, *д* і рис. 5.12, *е* додатково показано побудову натуральних величин гіпербол. Для цього верхній конус обмежили основою. Це вплинуло на зображення видимості проєкції нижньої гілки гіперболи у горизонтальній площині проєкцій. Видимою є та її частина, яка не перекрита верхнім конусом.

Перетини піраміди

Розглянемо задачі перетину піраміди площиною окремого положення. При перетині піраміди січною площиною утворюється *многокутник*, вершини якого знаходяться у точках перетину її ребер з січною площиною. Якщо січна площина проходить паралельно до основи піраміди, в перетині утворюється многокутник подібний до многокутника основи (трикутник). Якщо січна площина проходить нахилено до основи піраміди, в перетині утворюється многокутник, який не подібний до многокутника основи (трикутник, чотирикутник) (рис. 5.13, *а*, рис. 5.13, *б*).

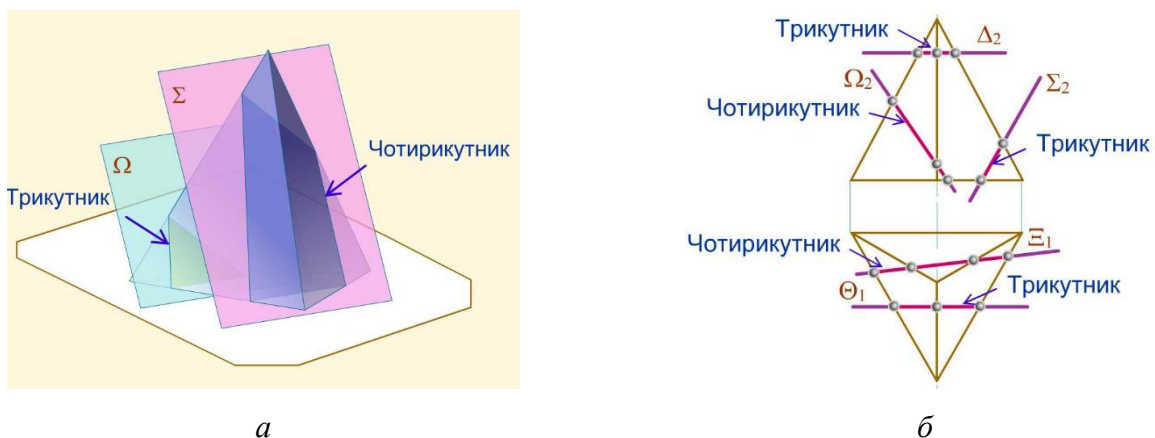


Рис. 5.13

Розглянемо задачу перетину тригранної піраміди фронтально-проєкціуючою площиною $\Delta(\Delta_2)$ (рис. 5.14, *а*). У цьому випадку одна з проєкцій лінії перетину співпадає зі слідом-проєкцією фронтально-проєкціуючої площини (точки 1, 2, 3, 4).

Це точки перетину січної площиною двох бічних ребер поверхні та двох ребер її основи. Інші дві проєкції слід будувати за належністю лінії перетину поверхні піраміди. Будуємо горизонтальну проєкцію лінії перетину. Проєкції точок 1, 2, 4 знаходимо на відповідних ребрах піраміди (рис. 5.14, б). Для побудови проєкції точки 3 застосовуємо допоміжні побудови, оскільки ребро, на якому вона знаходиться, є профільною прямою рівня. З'єднуємо отримані проєкції точок, враховуючи видимість частин лінії перетину (рис. 5.14, в). Будуємо профільну проєкцію лінії перетину (рис. 5.14, з).

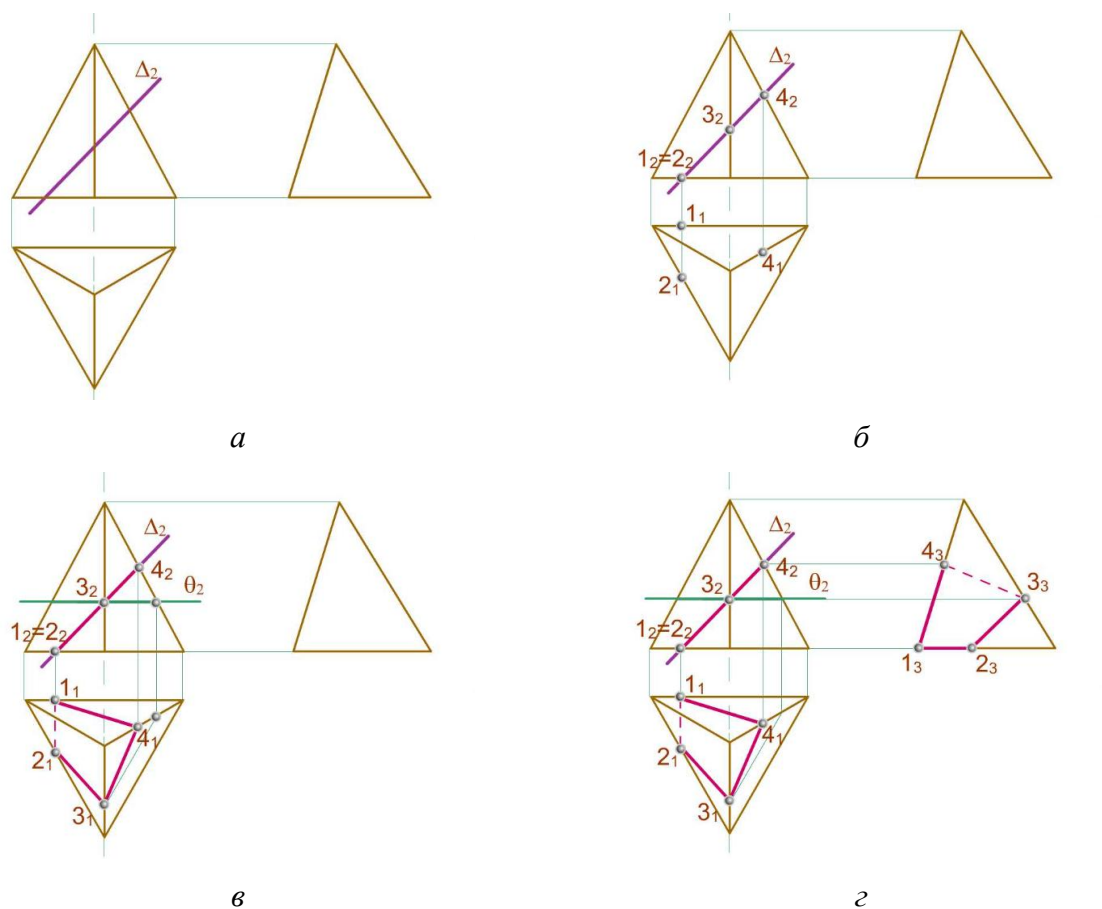


Рис. 5.14

Перетини сфери

Перетином поверхні сфери площиною є коло (рис. 5.15, а).

При проєкціюванні на площинах проєкцій коло може зображатись у вигляді еліпса, якщо січна площина нахилена до площини проєкцій під кутами, що не дорівнюють 0° або 90° . Якщо січна площина перпендикулярна до площини проєкцій,

коло спроекціюється у відрізок, що дорівнює діаметру кола і співпадає зі слідом-проекцією січної площини. Якщо січна площина паралельна до площини проєкцій, коло спроекціюється на цю площину проєкцій у натуральну величину (рис. 5.15, б). Оскільки у задачах другого типу січна площина має бути площиною окремого положення, розглядаються випадки перетину сфери проєкціуючою площиною або площиною рівня.

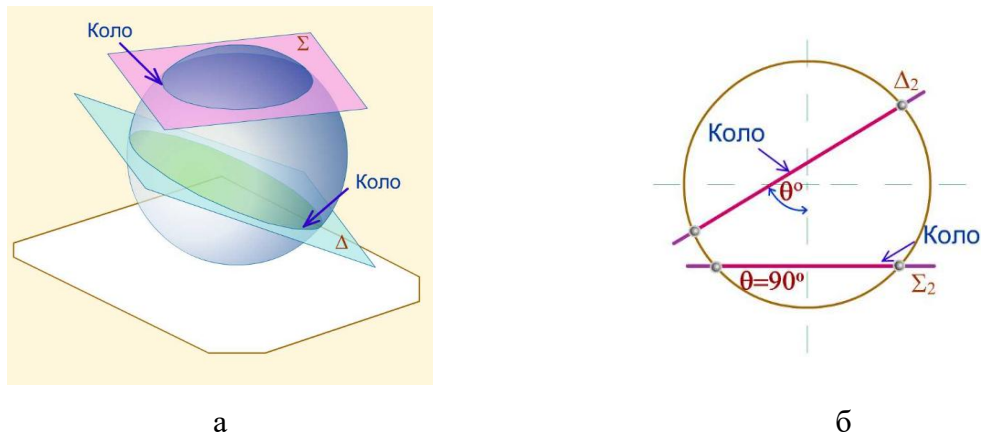


Рис. 5.15

Розглянемо перетин сфери площинами особливого положення у системі трьох площин проєкцій. При перетині сфери площиною рівня коло спроекціюється на площину проєкцій, до якої січна площина паралельна, у натуральну величину. На дві інші площини проєкцій коло спроекціюється у відрізок, що дорівнює його діаметру, і співпадає зі слідом-проекцією площини рівня. При перетині сфери проєкціуючою площиною на ту площину проєкцій, до якої січна площина перпендикулярна, коло спроекціюється у відрізок, що дорівнює його діаметру, і співпадає зі слідом-проекцією січної площини. На дві інші площини проєкцій коло проєкціюється у вигляді еліпса, велика вісь якого дорівнює діаметру кола, а мала залежить від кута нахилу січної площини, у якій лежить коло, до відповідної площини проєкцій.

Розглянемо випадок перетину сфери фронтально- проєкціуючою площиною $\Delta(\Delta_2)$. Як зазначалось вище, фронтальною проєкцією кола буде відрізок, що дорівнює натуральній величині його діаметра, і співпадає зі слідом-проекцією січної площини. На двох інших площинах проєкцій коло буде зображатись у вигляді еліпсів. Велика

вісь еліпсів дорівнює натуральній величині діаметра кола. Розмір малої осі визначається кутом нахилу січної площини до відповідних площин проєкцій. Для побудови еліпсів, у які спроекціюється коло на горизонтальну і профільну площини проєкцій, позначимо точки кінців його спряжених діаметрів 1, 2, 3, 4, які обмежують велику і малу осі еліпсів (рис. 5.16, а). Будуємо еліпс в горизонтальній площині проєкцій. Знаходимо горизонтальні проєкції обраних точок. Щоб визначити видимість частин еліпса на горизонтальній площині проєкцій додаємо ще пару характерних точок 5 і 6, які обираються в перетині екватора сфери паралельного до горизонтальної площини проєкцій зі слідом-проекцією січної площини. З'єднуємо отримані проєкції точок у відповідній послідовності, враховуючи їх видимість (рис. 5.16, б).

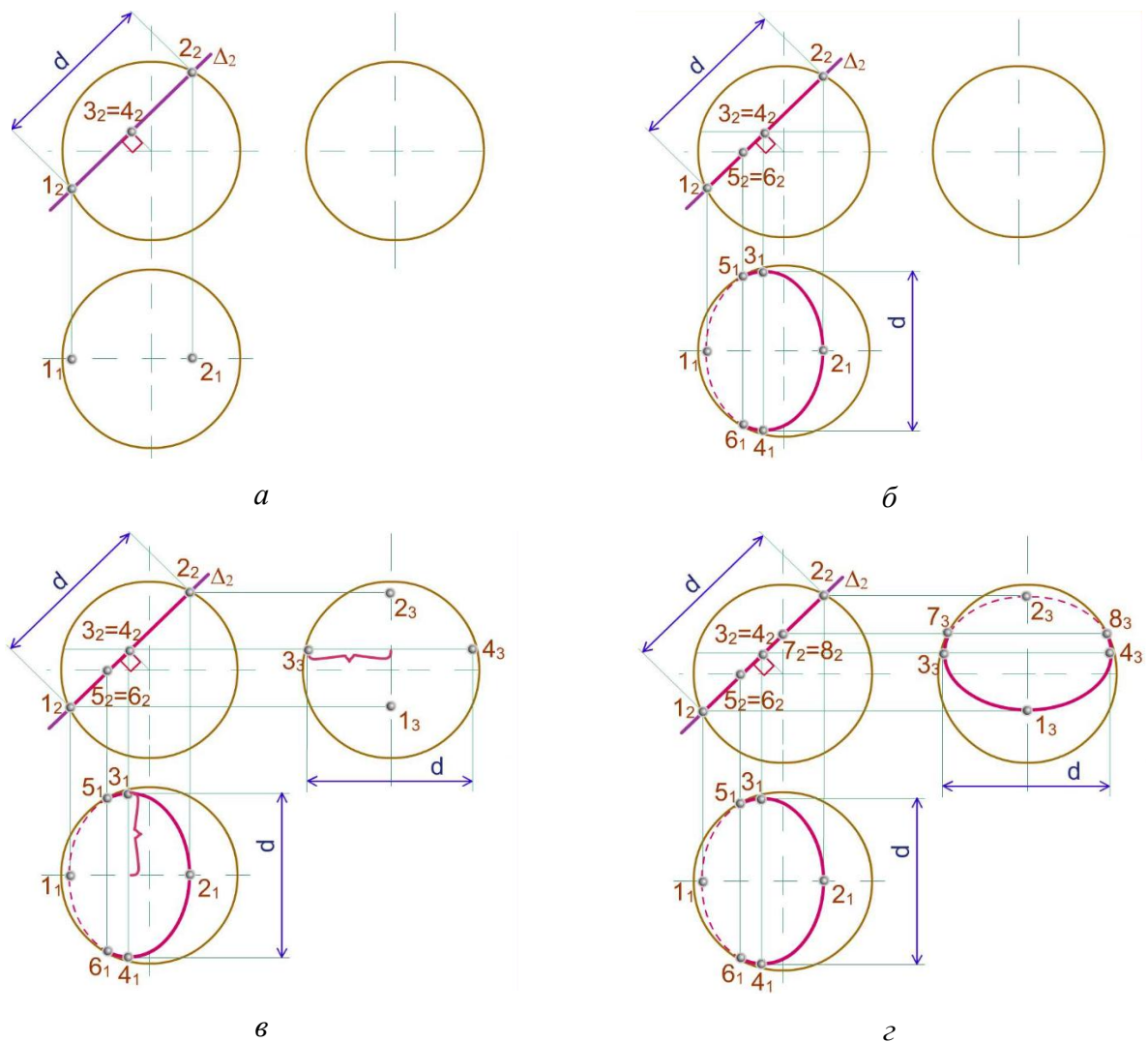


Рис. 5.16

Будуємо еліпс у профільній площині проєкцій. Знаходимо профільні проєкції точок 1, 2, 3, 4 (рис. 5.16, в). Для визначення видимості частин еліпса на профільній площині проєкцій додаємо пару характерних точок 7 і 8, які обираються в перетині екватора сфери, паралельного до профільної площини проєкцій, зі слідом-проєкцією січної площини. З'єднуємо проєкції точок у відповідній послідовності враховуючи їх видимість (рис. 5.16, г). Проєкції лінії перетину сфери фронтально-проєкціуючою площиною побудовано. Задача розв'язана.

5.3. Розгортки

Розгорткою називається плоска фігура, яку отримують суміщенням многогранної або криволінійної поверхні з площиною.

До розгортних поверхонь відносяться поверхні многогранників, циліндричні, конічні та торсові поверхні.

До нерозгортних поверхонь відносять сферичні, поверхні торів, поверхні з площиною паралелізму та інші поверхні, розгортки яких не можна отримати без розривів та складок. Для таких поверхонь виконують умовні розгортки.

На розгортці усі лінії і кути між ними зображаються в натуральну величину. Тому перш ніж будувати розгортку слід визначити натуральні величини елементів, за якими її будують.

Найпростіше будуються розгортки поверхонь призми та піраміди. При побудові розгорток криволінійних розгортних поверхонь в них попередньо вписують гранні поверхні. В залежності від кількості граней цих поверхонь розгортки криволінійних поверхонь отримують з більшою чи з меншою точністю.

Для розгортних поверхонь використовують три способи отримання розгортки:

- спосіб нормального перерізу;
- спосіб розкочування;
- спосіб трикутників (тріангуляції).

Розглянемо декілька способів.

5.3.1. Спосіб нормального перерізу

Задача. Побудувати розгортку похилої тригранної призми способом нормального перерізу.

Спосіб нормального перерізу полягає у тому, що для побудови розгортки, спочатку проводять січну площину перпендикулярну до ребер призми. Знаходять натуральну величину лінії перерізу. Ламана лінія перерізу розгортається у пряму лінію. По обидва боки від цієї лінії відкладають натуральні величини частин поділених перерізом ребер призми (рис. 5.17). Кінці ребер з'єднуються. Утворюється ламана лінія. Отримують розгортку бічної поверхні призми (рис. 5.18).

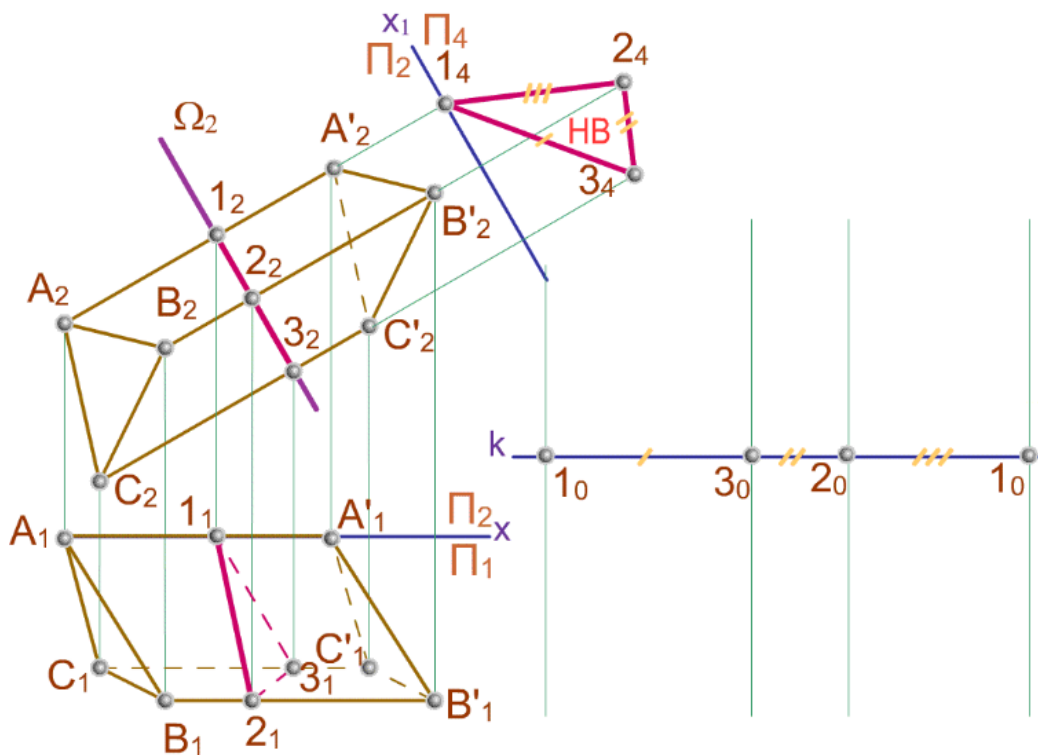
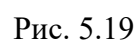
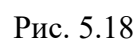


Рис. 5.17

Щоб отримати повну розгортку призми, слід до розгортки її бічної поверхні додати два трикутники основ призми ABC та $A'B'C'$, попередньо визначивши їх натуральну величину. Способи визначення натуральної величини трикутника, що є площиною загального положення, попередньо детально вивчались. Тому ці побудови на кресленні не відображені. (рис. 5.19).



5.3.2. Спосіб розкочування

Цей спосіб доцільно використовувати для побудови розгорток призм і циліндрів, основи яких розташовані паралельно до якої-небудь площини проєкцій, а бічні ребра (твірні) паралельні до іншої площини проєкцій. Якщо в умові задачі умова паралельності не виконується, слід, наприклад, методом заміни площин проєкцій привести задану поверхню до виду, де б вказані умови виконувались.

Спосіб полягає у наступному. Через одне з ребер призми проводять площину, у якій буде виконуватись розгортка. Навколо цього ребра обертанням виконують суміщення грані, якій належить ребро, з площиною розгортки. Повторюють алгоритм виконуючи обертання навколо кожного наступного уже суміщеного ребра.

Задача. Побудувати розгортку тригранної похилої призми способом розкочування.

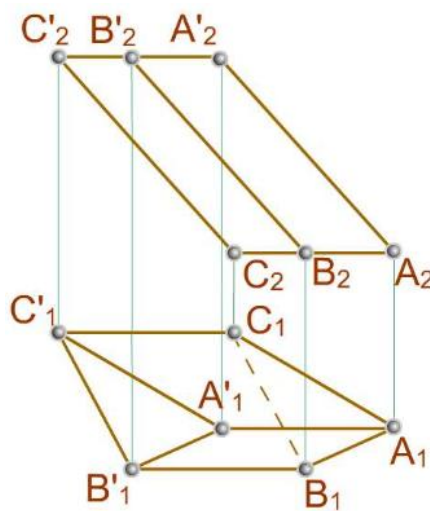


Рис. 5.20

Призма розташована так, що її бічні ребра є фронталями. Тобто на фронтальну площину проєкцій вони проєкціюються у натуральну величину (якщо ребра є прямими загального положення, методом заміни площин проєкцій виконують перетворення, після якого вони займуть положення прямих рівня). Основа призми розташована паралельно горизонтальній площині проєкцій. Тобто ребра основи є горизонтелями і проєкціюються на горизонтальну площину проєкцій у натуральну величину (рис. 5.20).

Проводимо через ребро AA' фронтальну площину рівня Δ , у якій виконаємо розгортку призми. Суміщаємо з ребром AA' першу лінію розгортки AA_0' . На першому етапі AA' вісь обертання. Обертаємо навколо цієї осі грань $AA'BB'$ до суміщення з площиною Θ . Радіус обертання – натуральна величина ребра основи A_1B_1 . Центри обертання точок B і B' відповідно точки A і A' . Отримуємо точки B_0 та B_0' суміщені з площиною розгортки Δ (рис. 5.21). З'єднуємо вершини і отримуємо натуральну величину грані $AA'BB'$ суміщеної з площиною Θ .

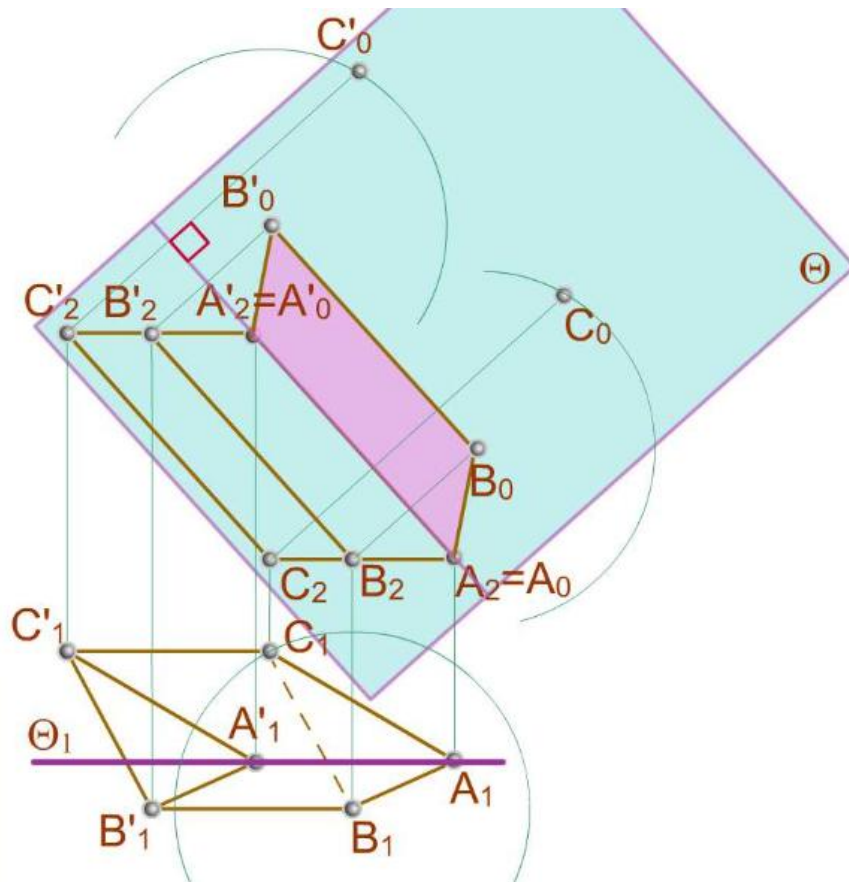


Рис. 5.21

Наступним кроком суміщаємо з площиною Θ грань $BB'CC'$. Вісь обертання B_0B_0' . Радіус обертання натуральна величина ребра основи $B'C'$ – B_1C_1 . З фронтальних проєкцій точок C і C' – C_2 і C_2' у фронтальній площині проєкцій проводимо сліди-проєкції обертання цих точок. На цих слідах-проєкціях радіусом обертання робимо позначки. Отримуємо точки C_0 і C_0' . З'єднуємо точки B , B_0 , C , C_0 . Отримуємо натуральну величину грані $BB'CC'$ (рис. 5.22).

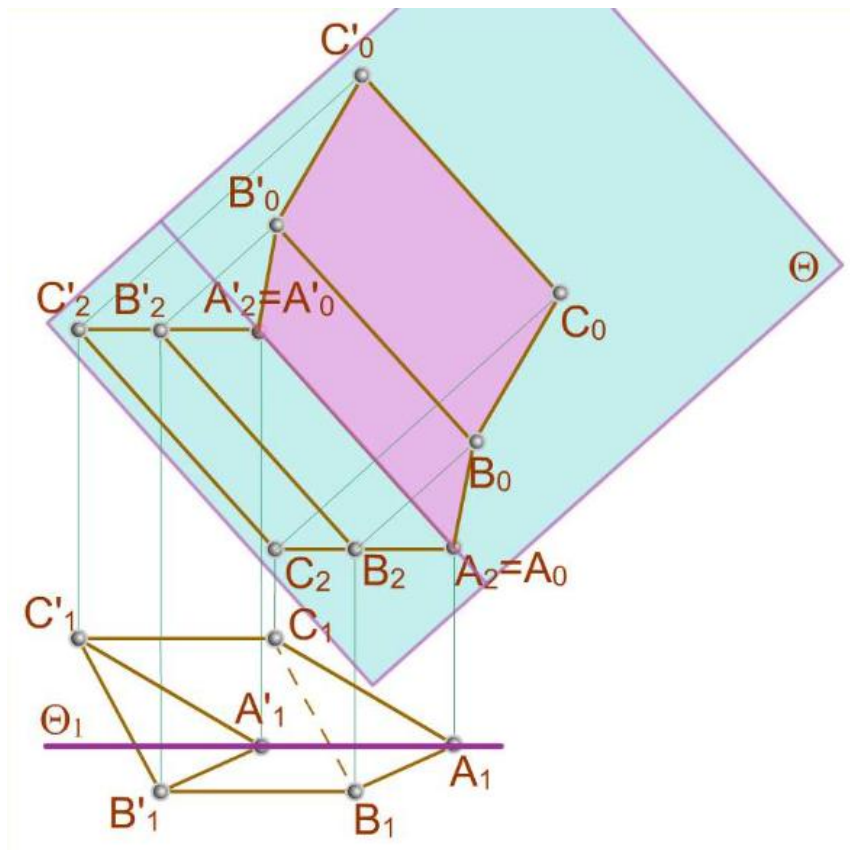


Рис. 5.22

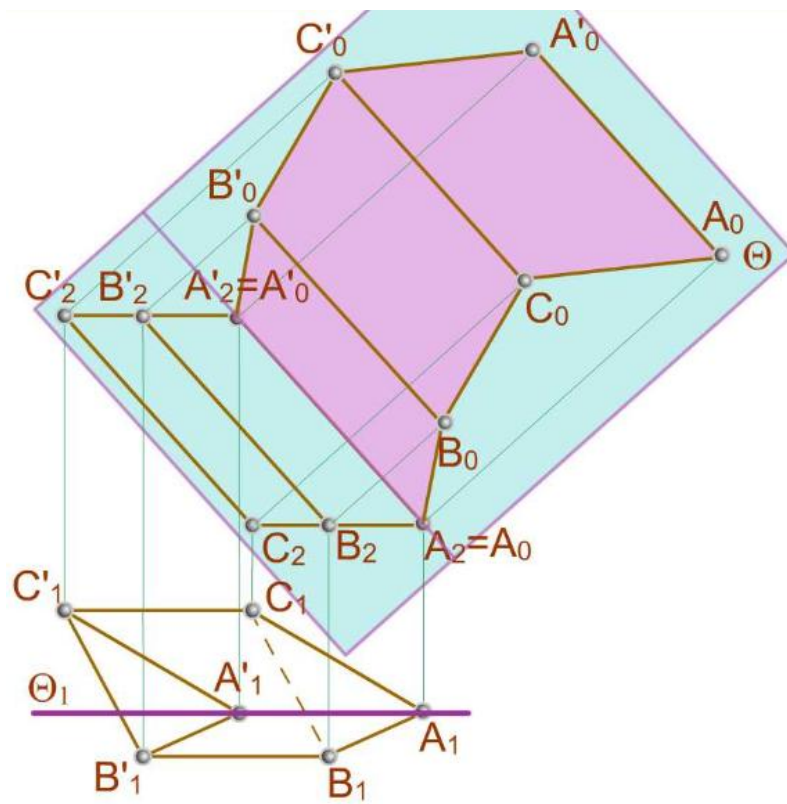


Рис. 5.23

Проводимо аналогічні побудови. Навколо осі CC_0 обертаємо ребро AA' . Проводимо слід-проєкції площин обертання точок A і A' . Радіус обертання ребро основи $AC - A_1C_1$. Отримуємо точки A_0 і A'_0 . З'єднуємо отримані точки. Завершуємо побудову розгортки бічної поверхні призми (рис. 5.23). Щоб отримати повну розгортку призми, слід до розгортки її бічної поверхні додати натуральні величини двох трикутників основ призми ABC та $A'B'C'$.

Задача. Побудувати розгортку бічної поверхні прямого кругового циліндра, основи якого розташовані паралельно до горизонтальної площини проєкцій (рис. 5.24).

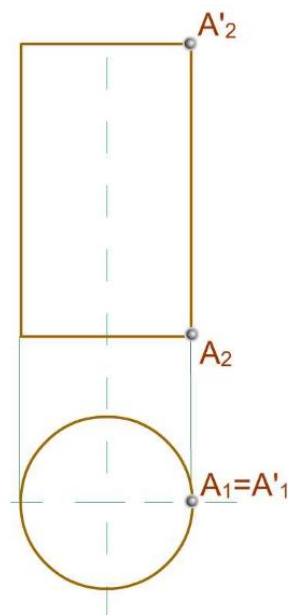


Рис. 5.24

Розгортку бічної поверхні прямого кругового циліндра можна виконати як способом нормального перетину, обравши за нормальний перетин одну з його основ, так і способом розкочування. Оберемо спосіб розкочування. Позначимо одну з твірних циліндра AA' , навколо якої почнемо розкочування. Твірна AA' горизонтально-проєкціююча пряма. При розкочуванні навколо неї бічної поверхні циліндра суміщення відбудеться із фронтальною площиною рівня, що проходить через цю твірну.

Проводимо через цю твірну фронтальну площину рівня Ω . Виконаємо розгортку бічної поверхні циліндра, відклавши на слідах-проєкціях горизонтальних площин

розмір, що дорівнює πd довжини основи циліндра. Проводимо в отриманій точці A'_0 твірну, якою завершується побудова.

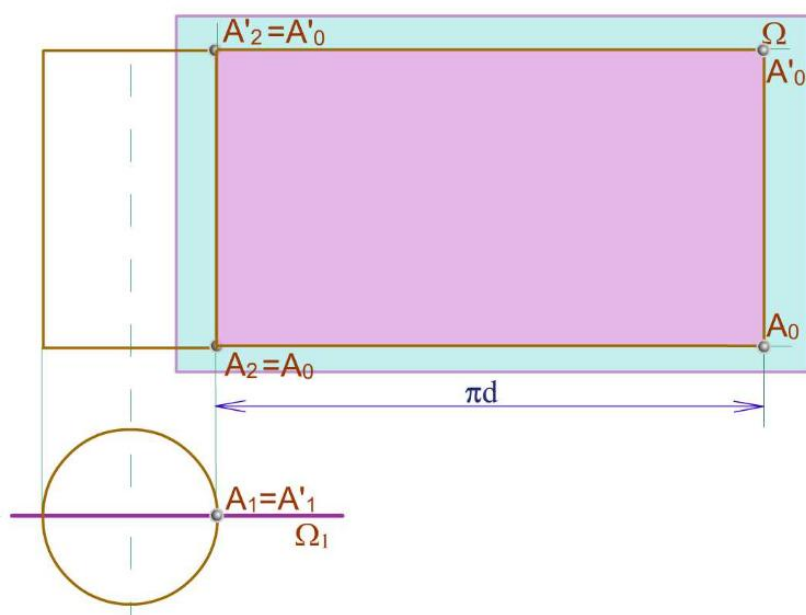


Рис. 5.25

Отримуємо розгортку бічної поверхні циліндра, яка є прямокутником, довжини якого дорівнює довжині кола його основи (πd), а висота – висоті циліндра (рис. 5.25). Задачу розв'язано.

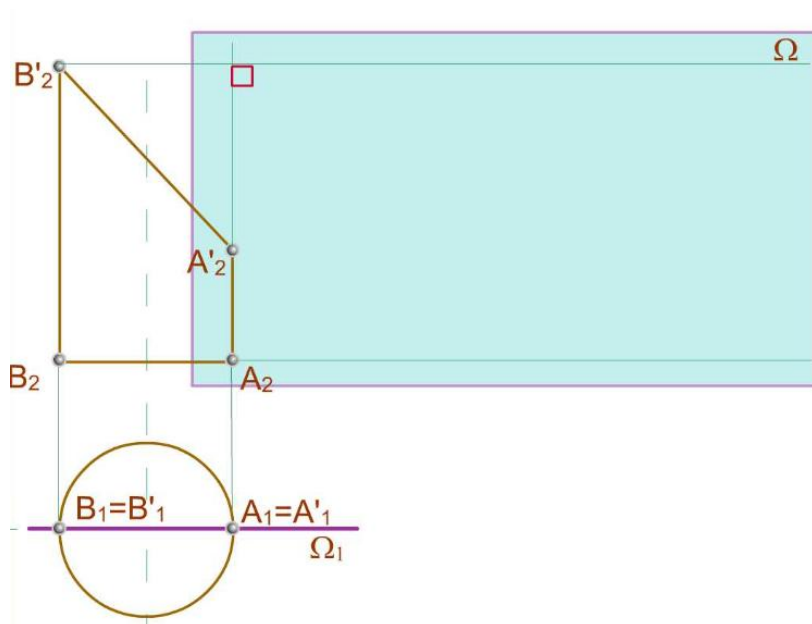


Рис. 5.26

Задача. Побудувати розгортку бічної поверхні циліндра зрізаного фронтально-проекціуючою площиною (рис. 5.26).

Виконуємо розгортку бічної поверхні циліндра без врахування зрізу, як у попередньому випадку (рис. 5. 26). Твірні зрізаного циліндра мають різну висоту. Розгортку його бічної поверхні можна виконати з деякою точністю, поділивши його основу, наприклад, на 12 рівних частин. Що більше частин, тим точніше виконана розгортка. Відкладемо точки поділу на лінії розгортки нижньої основи циліндра (рис. 5.27).

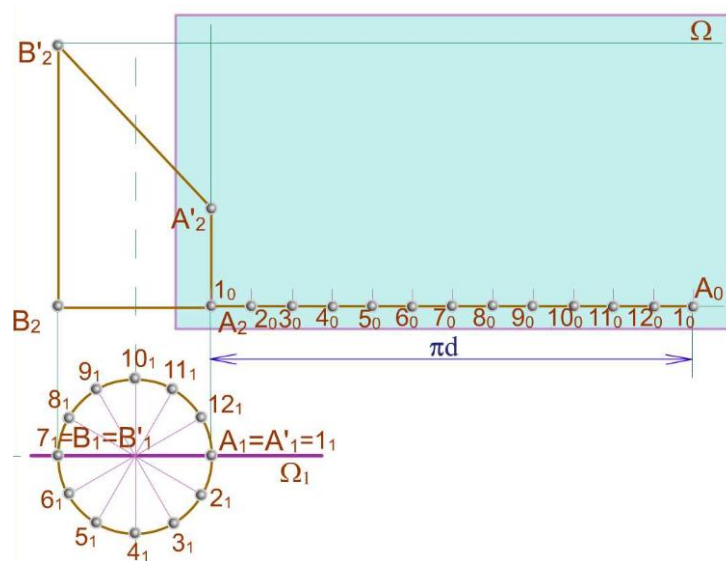


Рис. 5.27

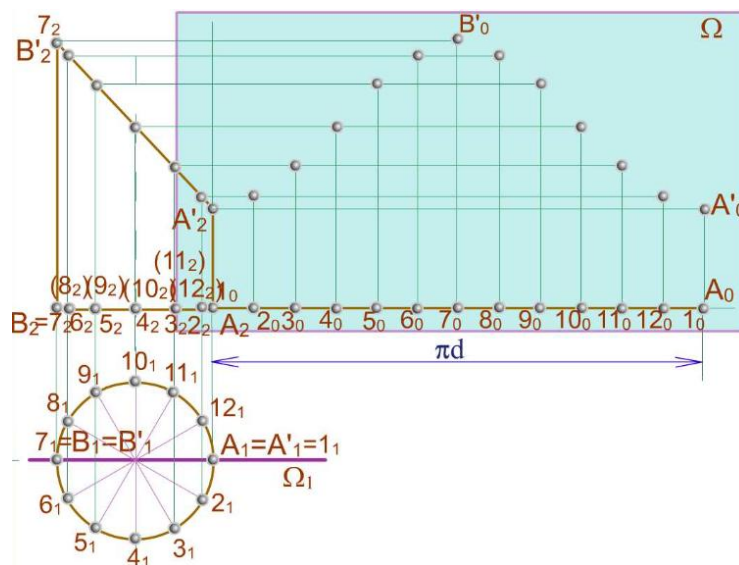


Рис. 5.28

У точках поділу проводимо твірні циліндра. Переносимо їх натуральні величини з фронтальної проєкції циліндра (рис. 5.28).

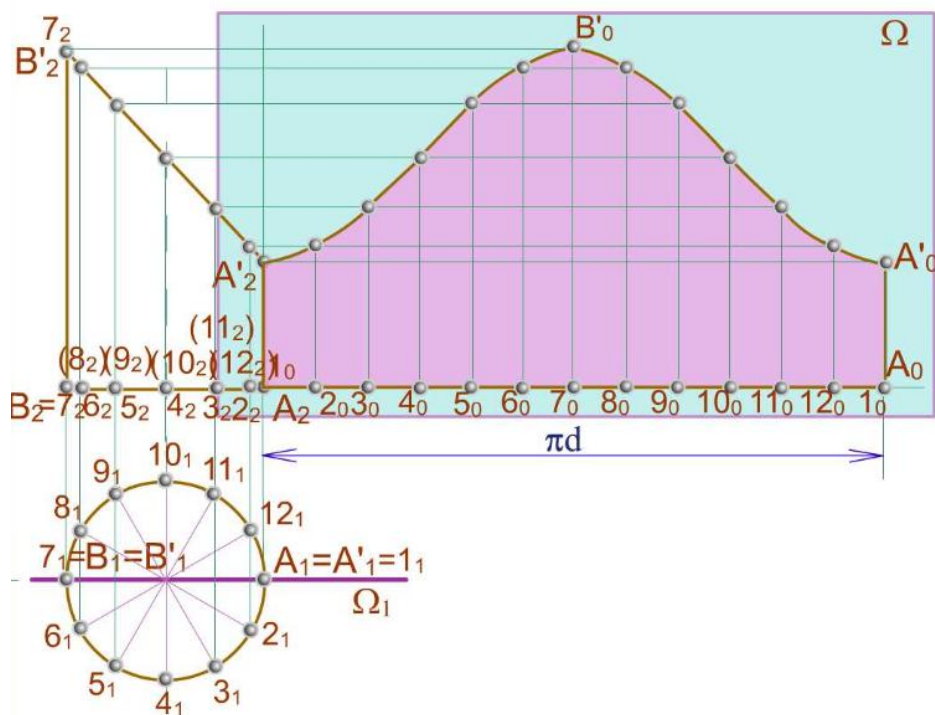


Рис. 5.29

З'єднуємо отримані точки плавною лінією. Отримуємо розгортку бічної поверхні зрізаного циліндра (рис. 5.29). Задачу завершено.

Розгортку еліптичних циліндрів виконують теж з деякою мірою точності. У їх бічну поверхню вписують призму. Виконують розгортку бічної поверхні призми. Кінці ребер з'єднують плавною лінією.

Задача. Побудувати розгортку бічної поверхні прямого кругового конуса. Знайти найкоротшу відстань між двома точками на його бічній поверхні (рис 5.30).

Найкоротші відстані між двома точками на поверхні називають геодезичними лініями. Якщо на поверхні задано дві точки і необхідно знайти найкоротшу відстань між ними, то слід спочатку побудувати розгортку цієї поверхні. Знайти на ній задані точки і сполучити їх прямою лінією. Так можна отримати натуральну величину відстані. Після того перенести цю лінію на проєкцію поверхні і отримати проєкції геодезичної лінії. Розглянемо приклад побудови геодезичної лінії на поверхні конуса (рис. 5.30).

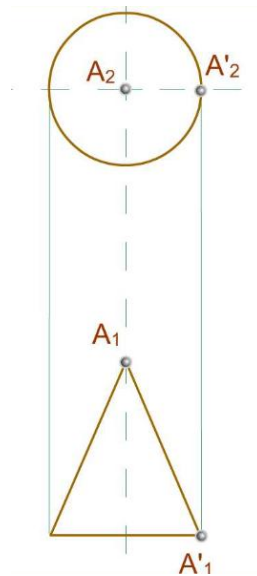


Рис.5.30

Прямий круговий конус розташовано основою паралельно до фронтальної площини проєкцій. Тобто обрисова твірна конуса AA' є горизонталлю. Тому при розкочуванні навколо неї бічна поверхня конуса буде суміщатись з горизонтальною площиною рівня, яка проходить через цю твірну (рис. 5.30). Бічна поверхня конуса розгортається у круговий сектор з кутом $\theta^0 = d \cdot 360^0 / 2r$, де d діаметр основи конуса, r – натуральна величина твірної конуса AA' (вимірюється у горизонтальній площині проєкцій) (рис. 5.31). Побудуємо на поверхні конуса деяку геодезичну лінію. Для виконання цієї задачі вписуємо у поверхню конуса поверхню прямої дванадцятигранної піраміди, ребра якої співпадають з твірними конуса. На кресленні позначками показано половину вписаної піраміди (лінії зв'язку та нумерація частини ребер опущені, щоб сприйняття малюнку було прозорішим). Візьмемо на твірних 1 і 5 конуса (ребрах піраміди) початкову B та кінцеву F точки геодезичної лінії (якщо точки не суміщаються з ребрами піраміди, їх шукають побудовою допоміжних прямих) (рис. 5.32).

Поділимо сектор розгортки на дванадцять рівних частин. Будуємо на розгортці твірні $A1-A_01_0$ та $A5-A_05_0$. Знаходимо натуральні величини відстаней точок 1 і 5 від вершини конуса (будь-яким способом) і переносимо зображення точок $B-B_0$ і $F-F_0$ на розгортку. З'єднуємо точки B_0 і F_0 прямою лінією. Це і є найкоротша відстань між двома точками на поверхні конуса (рис. 5.32).

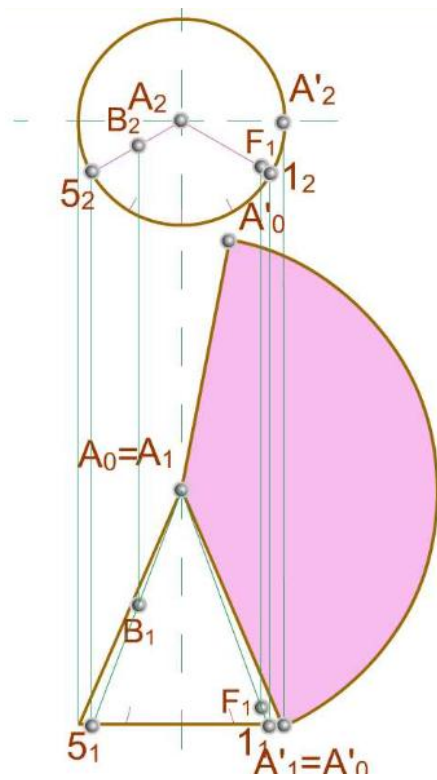


Рис. 5.31

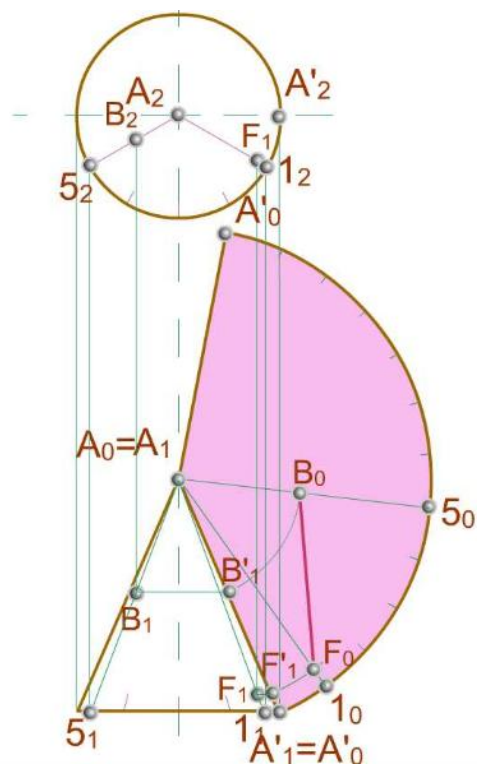


Рис. 5.32

Щоб побудувати проєкції прямої BF на поверхні конуса скористаємось сімейством допоміжних твірних (ребер піраміди). Спочатку проведемо їх на розгортці

потім на проєкціях конуса (рис. 5.33). Назначимо на розгортці допоміжні точки C_0 , D_0 , E_0 . Перенесемо їх спочатку на горизонтальну проєкцію конуса будь-яким способом, враховуючи, що лише обрисові твірні дорівнюють натуральній величині (рис. 5.33).

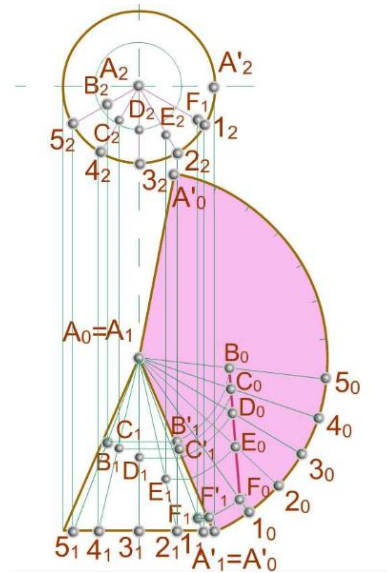


Рис. 5.33

Потім будуюмо фронтальну проєкцію допоміжних точок. З'єднуємо одноіменні проєкції побудованих точок. Отримуємо проєкції геодезичної лінії на поверхні прямого кругового конуса (рис. 5.34).

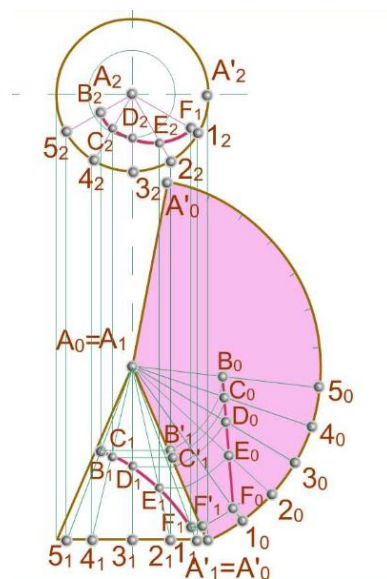


Рис. 5.34

5.3.3. Спосіб тріангуляції

Розглянемо приклад побудови розгортки поверхні чотиригранної піраміди $ABCDE$ способом тріангуляції (рис. 5.35, *а*). Оскільки усі грані піраміди трикутники різної величини, визначимо натуральну величину кожного з них. Будуємо натуральну величину грані ABC . Для визначення натуральних величин ребер піраміди скористаємось методом плоско-паралельного переміщення (або іншим способом). Визначаємо натуральну величину ребра піраміди AB A_2B' (рис. 5.35, *б*). Суміщаємо A_2B' з A_0B_0 і починаємо побудову розгортки. (Можна будувати розгортку і без такого суміщення у довільному місці креслення). Визначаємо натуральну величину іншого ребра AC A_2C' . Третя сторона трикутника ABC BC є бічною стороною піраміди. Основа піраміди знаходиться у горизонтальній площині проєкцій. Тому горизонтальна проєкція цієї сторони є натуральною величиною. За трьома відомими сторонами будуємо натуральну величину трикутника ABC $A_0B_0C_0$ (рис. 5.35, *в*).

Будуємо натуральну величину бічної грані піраміди ACE суміщаючи її із уже побудованою гранню ABC ребром AC . Знаходимо натуральну величину ребра AE A_2E' (рис. 5.35, *г*). Горизонтальна проєкція сторони трикутника CE C_1E_1 є її натуральною величиною. Будуємо натуральну величину грані ACE $A_0C_0E_0$ на розгортці (рис. 5.35, *д*). За тим же алгоритмом будуємо натуральну величину грані AED $A_0E_0D_0$. Отримуємо наступну частину розгортки бічної поверхні піраміди (рис. 5.35, *е*). Завершуємо побудову розгортки бічної грані піраміди натуральною величиною грані ADB $A_0D_0B_0$ (рис. 5.35, *ж*). Додаємо до розгортки натуральну величину чотирикутника основи піраміди, копіюючи її горизонтальну проєкцію. Отримуємо повну розгортку піраміди (рис. 5.35, *з*).

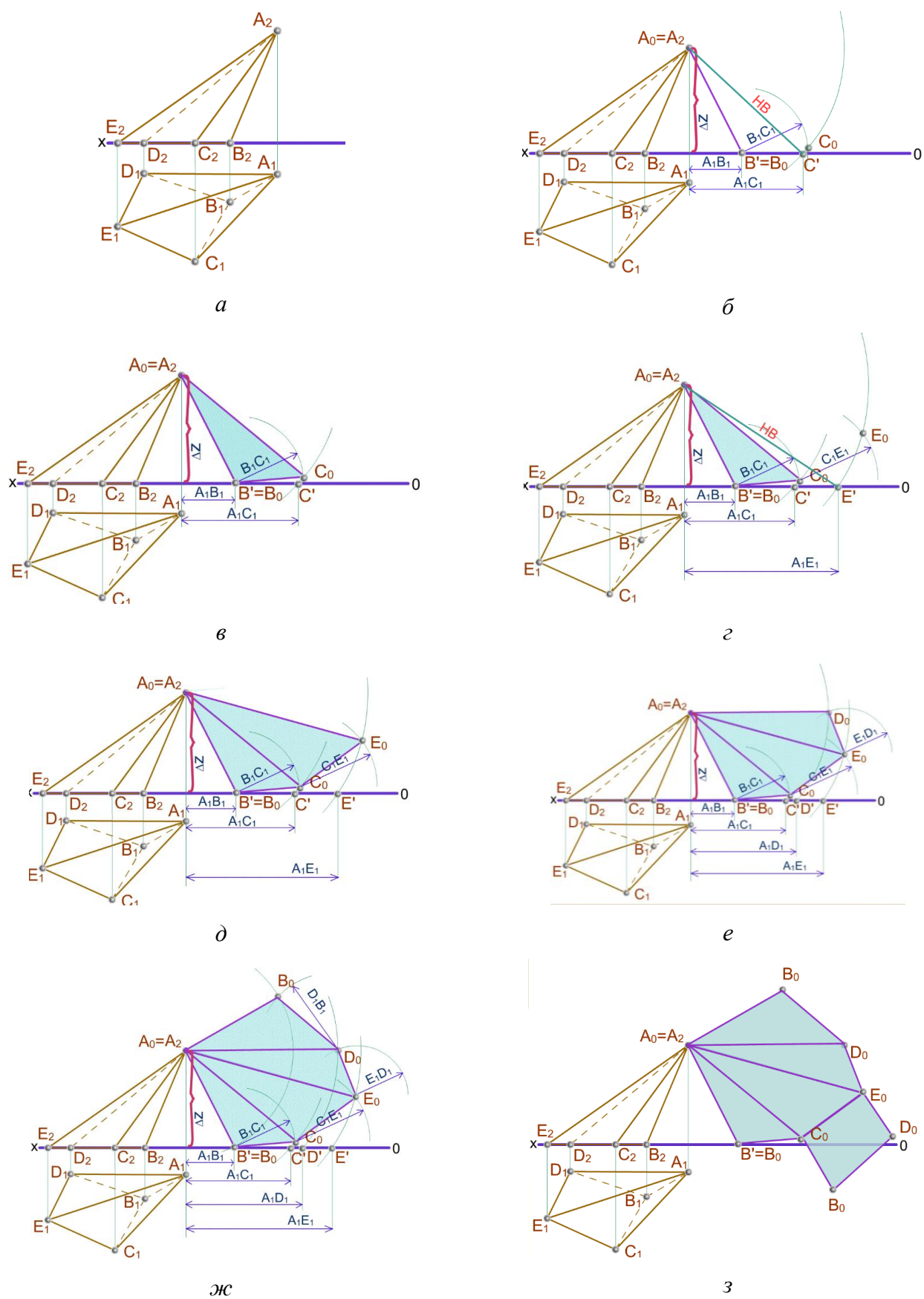


Рис. 5.35

Запитання для самоперевірки

1. Яка лінія утворюється при перетині поверхні площиною?
2. Які чинники впливають на форму лінії перетину поверхні площиною?
3. Які особливості способу граней?
4. Які особливості способу ребер?
5. Які особливості способу допоміжних січних перетинів?
6. Який алгоритм побудови лінії перетину поверхні площиною?
7. Які точки вважають характерними точками лінії перетину поверхні площиною?
8. Які основні типи задач перетину поверхні площиною?
9. Які характерні особливості першого типу задач?
10. Які характерні особливості другого типу задач?
11. Які характерні особливості третього типу задач?
12. Які характерні особливості четвертого типу задач?
13. Які лінії утворюються при перетині конуса площиною?
14. Що таке розгортка поверхні?
15. Які вимоги повинні бути враховані при побудові розгортки поверхні?
16. Які є способи побудови розгортки поверхні?
17. Як на поверхні будують геодезичну лінію?

РОЗДІЛ 6. ОДИНАРНЕ ПРОНИКАННЯ

Зміст задач теми «Одинарне проникання» полягає у знаходженні лінії перетину геометричного тіла горизонтальним отвором («вікном») у формі призматичної поверхні. Отвір може бути розташований як симетрично відносно вертикальної осі симетрії геометричного тіла («проникання»), так і не симетрично («врубка»). У першому випадку в результаті буде отримано дві замкнені лінії перетину на вході і виході горизонтального отвору. У другому випадку – одну замкнену лінію.

Залежно від форми заданої поверхні при розв'язку задачі може бути використано два методи. Перший – це метод повних перетинів. Його використовують при знаходженні лінії перетину вікнами геометричних тіл, бічна поверхня яких є криволінійною. Найчастіше це поверхні обертання. Другий метод – метод ребер. Його використовують, коли бічна поверхня геометричного тіла, яке перетинається, є многогранником.

6.1. Метод повних перетинів

Метод повних перетинів полягає у тому, що кожна грань горизонтального отвору суміщається з площиною, яка перетинає геометричне тіло повністю. Тобто комплексна задача перетину геометричного тіла складним отвором розділяється на окремі прості задачі його перетину однією площиною. Кількість таких задач відповідає кількості граней горизонтального вікна. Відповідно, така задача розв'язується за відомим з теми «Перетин тіл площиною» алгоритмом:

- визначають форму лінії перетину поверхні площиною у просторі;
- визначають форму проєкцій лінії перетину;
- назначають точки перетину ребер горизонтального вікна з бічною поверхнею геометричного тіла;
- обирають характерні для побудови лінії перетину точки і, якщо необхідно, допоміжні;
- обирають точку (точки) дотику лінії перетину до обрису поверхні;
- будують проєкції лінії перетину.

Наступним кроком виокремлюють ту частину лінії перетину, яка співпадає з гранню горизонтального вікна.

Повторюють алгоритм потрібну кількість разів в залежності від кількості граней горизонтального вікна.

Останнім кроком розв'язку задачі є з'єднання окремо отриманих частин ліній перетину в одну складену лінію перетину у послідовності обраного напрямку їх обходу контуру отвору.

Визначають видимість частин лінії перетину на кожній проєкції окремо (якщо виконують доцільні прості розрізи, цей пункт алгоритму уточнюють після виконання розрізів).

Після того, як геометрична частина задачі розв'язана, виконують доцільні розрізи, наносять розміри, завершують побудову кресленика.

Розглянемо задачі одинарного проникання різних типів поверхонь методом повних перетинів.

***Задача.** Побудувати проєкції лінії перетину прямого кругового циліндра «вікном» у вигляді горизонтальної трикутної призми. Оформити проєкційний кресленик.*

Аналізуємо комплексне креслення. Горизонтальне вікно у вигляді тригранної призми повністю перетинає геометричне тіло, яке є прямим круговим циліндром (рис. 6.1, а). Це випадок *проникання* однієї поверхні в іншу. Будуємо третю проєкцію поверхні, що перетинається «вікном». Поверхня «вікна» перетину розташована симетрично відносно вертикальної осі циліндра. Тобто в перетині буде отримано дві симетричні лінії перетину, які будуть складатись з трьох фрагментів плоских кривих другого порядку, що з'єднуються між собою на ребрах горизонтального вікна. Визначаємо зони перетинання поверхні прямого кругового циліндра тригранною призмою, в межах яких будуть відбуватись побудови лінії перетину поверхонь. Одна зона перетинання знаходиться між верхніми лівим і правим ребрами горизонтального призматичного «вікна». Друга зона – між верхньою гранню і нижнім ребром тригранної призми (рис. 6.1, в). За межами цих зон побудови виконуватись

не будуть. Тому частини поверхні циліндра, що не потрапляють у ці зони, як і фронтальну його проєкцію, наводять суцільною товстою лінією (рис. 6.1, б).

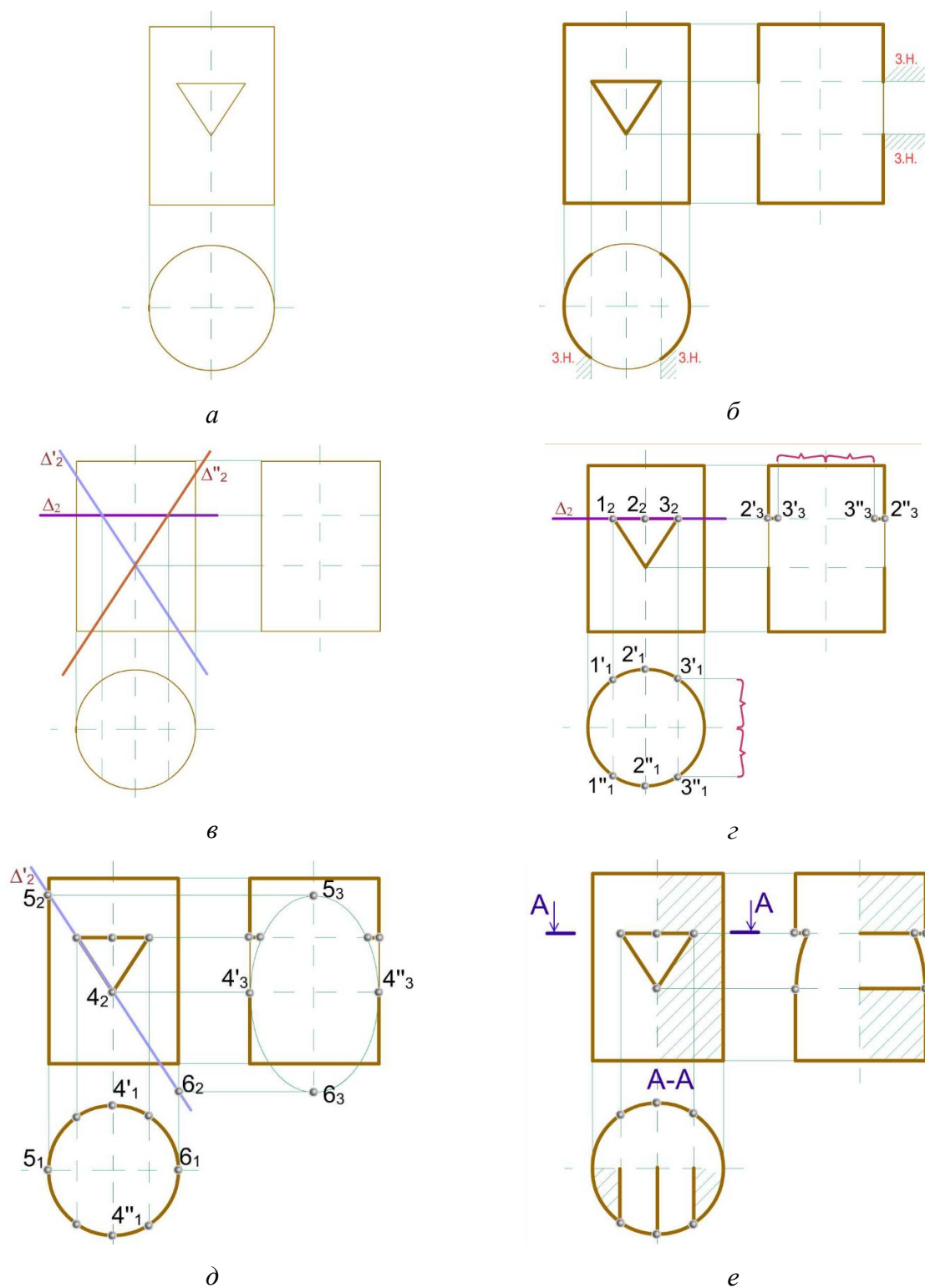


Рис. 6.1

Задачі такого типу розв'язуються *методом повних перетинів*. Тому наступним кроком розв'язку задачі буде суміщення кожної грані вікна з площиною, яка повністю перетинає поверхню циліндра. Верхня грань призми розташована паралельно до горизонтальної площини проєкцій. Тобто площина Δ (Δ_2) горизонтальна площина рівня. Оскільки дві нахилені грані призми розташовані перпендикулярно до фронтальної площини проєкцій, площини суміщення Δ' (Δ'_2) і Δ'' (Δ''_2) фронтально-проєкціуючі (рис. 6.1, в). Проаналізуємо, які лінії перетину утворюються при перетині зазначеними площинами прямого кругового циліндра, і як вони проєкціюються на площини проєкцій. Горизонтальна площина рівня перетинає циліндр по колу, яке на горизонтальну площину проєкцій спроекціюється в натуральну величину і співпадає з горизонтальною проєкцією кола основи циліндра. На фронтальну і профільну площини проєкцій коло спроекціюється у вигляді відрізка прямої, що дорівнює діаметру кола і співпадає зі слідом-проєкцією площини Δ (Δ_2). Площини Δ' (Δ'_2) і Δ'' (Δ''_2) перетинають циліндр по частині еліпса, що більше половини. На горизонтальній площині проєкцій їх проєкції співпадуть з проєкцією кола основи циліндра. На фронтальній площині проєкцій їх проєкції співпадуть зі слідами-проєкціями площин Δ' (Δ'_2) і Δ'' (Δ''_2). На профільну площину проєкцій лінії перетину спроекціюються у вигляді частини еліпса, що більше його половини, але спотворено. Оскільки площини Δ' (Δ'_2) і Δ'' (Δ''_2) розташовані дзеркально відносно осі циліндра, то профільні проєкції еліпсів співпадуть. Відповідно проєкції лінії перетину прямого кругового циліндра горизонтальним «вікном» будуть складатись з частин зазначених проєкцій розташованих між точками, що вказані на ребрах призми.

Виконаємо побудови. Позначимо у фронтальній площині проєкцій характерні точки ліній перетину циліндра горизонтальною площиною Δ (Δ_2). Точки 1 і 3 (1_2 і 3_2 та $1'_2$ і $3'_2$ на протилежній стороні циліндра) позначаємо на ребрах горизонтального вікна. Точки 2 і 2' (2_2 і $2'_2$) на твірних циліндра, проєкція яких співпадає з його вертикальною віссю. На профільній площині проєкцій їх проєкції відповідно будуть на проєкціях цих твірних, що стануть обрисовими. (Точки

зі штрихами на рисунках опущено). Знаходимо проєкції обраних точок і з'єднуємо їх у відповідній послідовності. Отримуємо проєкції фрагмента лінії перетину (рис.6.1, з). Назначаємо характерні точки для побудови еліпса. Точки 5 і 6 (5_2 і 6_2) обираємо в перетині січною площиною обрисових твірних циліндра. Це точки кінців однієї з осей еліпса. Точки 4 і 4' (4_2 і $4'_2$) позначаємо в місці перетину січною площиною Δ' (Δ'_2) твірних циліндра, проєкції яких співпадають з його вертикальною віссю. На профільній площині проєкції їх проєкції будуть співпадати з проєкціями твірних, що спроекціюються на обрис поверхні циліндра. Це точки кінців другої осі еліпса. Будуємо еліпс за його великою і малою осями (рис. 6.1, д). Наводимо частини еліпса між точками, що позначені на ребрах горизонтального «вікна», це фрагменти проєкцій ліній перетину. Проєкції фрагментів ліній перетину площиною Δ'' (Δ''_2) на горизонтальній площині проєкцій співпадають з проєкцією основи циліндра, а на профільній площині проєкцій накладаються на уже побудований еліпс. Побудови закінчено. Оформлюємо креслення (рис. 6.1, е).

***Задача.** Побудувати проєкції лінії перетину зрізаної сфери «вікном» у вигляді горизонтальної чотиригранної призми. Оформити проєкційний кресленик.*

Маємо наскрізний перетин поверхні зрізаної сфери горизонтально розташованою призматичною поверхнею (рис. 6.2, а.). Це випадок *проникання* однієї поверхні у другу. Тобто в перетині отримуємо дві лінії перетину. Одна на вході горизонтального вікна, друга – на виході. Призматичне вікно розташоване симетрично відносно осі сфери. Тобто лінії перетину будуть симетричними.

Першим кроком будуємо профільну проєкцію сфери (рис. 6.2, б).

Розв'язок задачі починаємо з визначення зон перетинання поверхонь, в межах яких будуть відбуватись побудови лінії перетину. Аналізуємо комплексне креслення. Одна зона перетинання знаходиться між верхньою і нижньою гранями горизонтально розташованої призматичної поверхні. Друга зона розташована між нижніми правим і лівим ребрами призми (рис. 6.2, в). За межами цих зон побудови виконуватись не будуть. Тому частини поверхні сфери за межами цих зон, як і фронтальну її проєкцію, оформляємо суцільною товстою лінією (рис. 6.2, з).

Як було сказано вище, задачі такого типу розв'язуються *методом повних перетинів*. Тому наступним кроком розв'язку задачі буде суміщення кожної грані «вікна» з площиною, яка повністю перетинає поверхню сфери. Оскільки обидві грані призми розташовані перепендикулярно до фронтальної площини проєкцій, площини суміщення $\Delta(\Delta_2)$ і $\Delta'(\Delta_2')$ є фронтально-проєкціюючими. Верхня і нижня грані призми розташовані паралельно до горизонтальної площини проєкцій. Тобто площини $\Delta''(\Delta_2'')$ і $\Delta'''(\Delta_2''')$ – горизонтальні площини рівня (рис. 6.2, д). При перетині сфери будь-якою січною площиною отримують коло. Форма його проєкцій залежить від положення січної площини відносно відповідної площини проєкцій. Оскільки площини суміщення займають окреме положення, на фронтальну площину проєкцій усі чотири кола спроекціюються співпадаючими зі слідами-проєкціями цих площин. Кола, що отримані при перетині сфери проєкціюючими площинами, на горизонтальну і профільну площини проєкцій спроекціюються у вигляді еліпсів. Кола, що отримані при перетині сфери горизонтальними площинами рівня, на горизонтальну площину проєкцій спроекціюються у натуральну величину двох кіл різного діаметра.

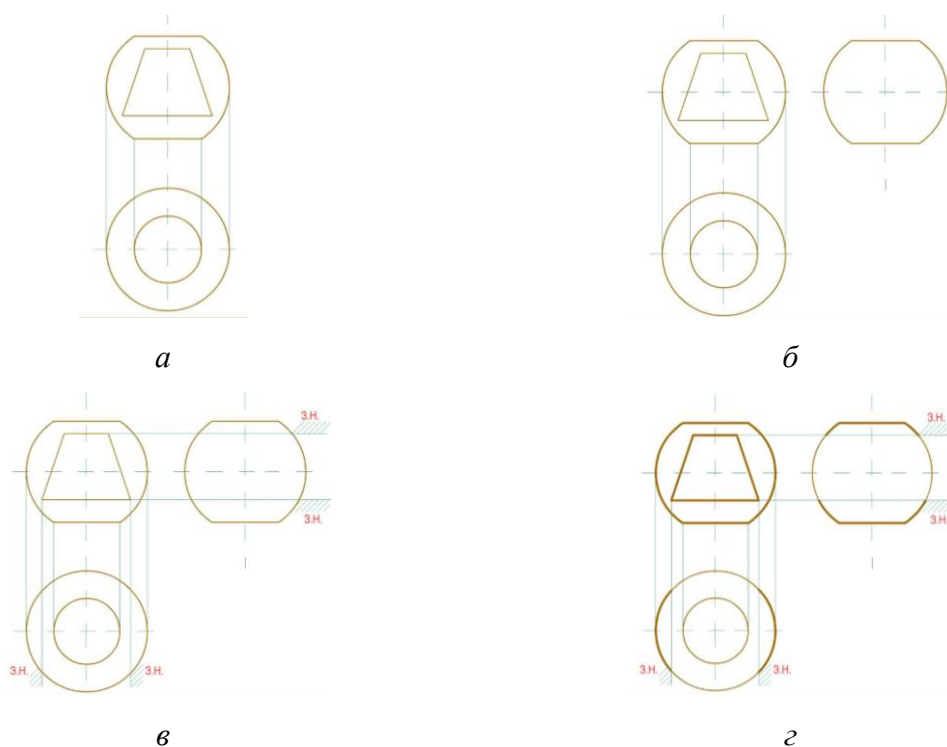


Рис. 6.2

Будуємо проєкції перетину кола січною площиною $\Delta(\Delta_2)$ (див.рис. 6.1, е). Точками 1, 5 і 6', 6'' позначено кінці спряжених діаметрів, проєкції яких у горизонтальній і профільній площині проєкцій дадуть велику і малу осі еліпсів. Точки 2 і 3 співпадають з проєкціями ребер призматичного вікна. Ними обмежуються частини проєкцій еліпсів, що належать грані вікна. Точка 4 лежить на верхній основі зрізаної сфери. Через неї проходить перетин. Тобто через неї пройде і коло перетину, яке на горизонтальну і профільну площини проєкцій спроекціюється в еліпс. Будуємо проєкцію еліпса в горизонтальній площині проєкцій (рис. 6.2, є). Виокремлюємо ті його частини, які утворюються при перетині зрізаної сфери лівою гранню вікна.

Будуємо частину проєкції лінії перетину правою гранню вікна у горизонтальній площині проєкцій і проєкцію лінії перетину у профільній площині проєкцій (площина перетину $\Delta'(\Delta_2')$). У профільній площині проєкцій лінії перетину лівою і правою гранями вікна накладаються одна на одну (рис. 6.2, ж).

Наступним кроком будуємо проєкції лінії перетину нижньою (рис. 6.1, з) і верхньою (рис. 6.2, к) гранями вікна.

Оформляємо креслення (рис. 6.2, л), (рис. 6.2, м). Задачу розв'язано.

6.2. Метод ребер

Метод ребер полягає у тому, що характерні точки лінії перетину обирають в місцях перетину поверхні геометричного тіла ребрами поверхні горизонтального отвору та в місцях, де ребра многогранної поверхні перетинають грані поверхні горизонтального отвору. Як і в попередньому випадку, обирають точки дотику лінії перетину до обрису поверхні.

Наступним кроком визначають напрямок обходу обраних точок і з'єднують їх відрізками прямих ліній, враховуючи видимість на кожній проєкції окремо. Отримують дві замкненених ламаних лінії на вході і виході горизонтального вікна, у разі випадку «проникання» і одну замкнену ламану лінію при «врубці».

Задача. Задано прямошестигранну призму, що перетинається горизонтальним симетричним п'ятигранним «вікном» (рис. 6.3, а). Побудувати лінії перетину. Оформити проєкційний кресленик.

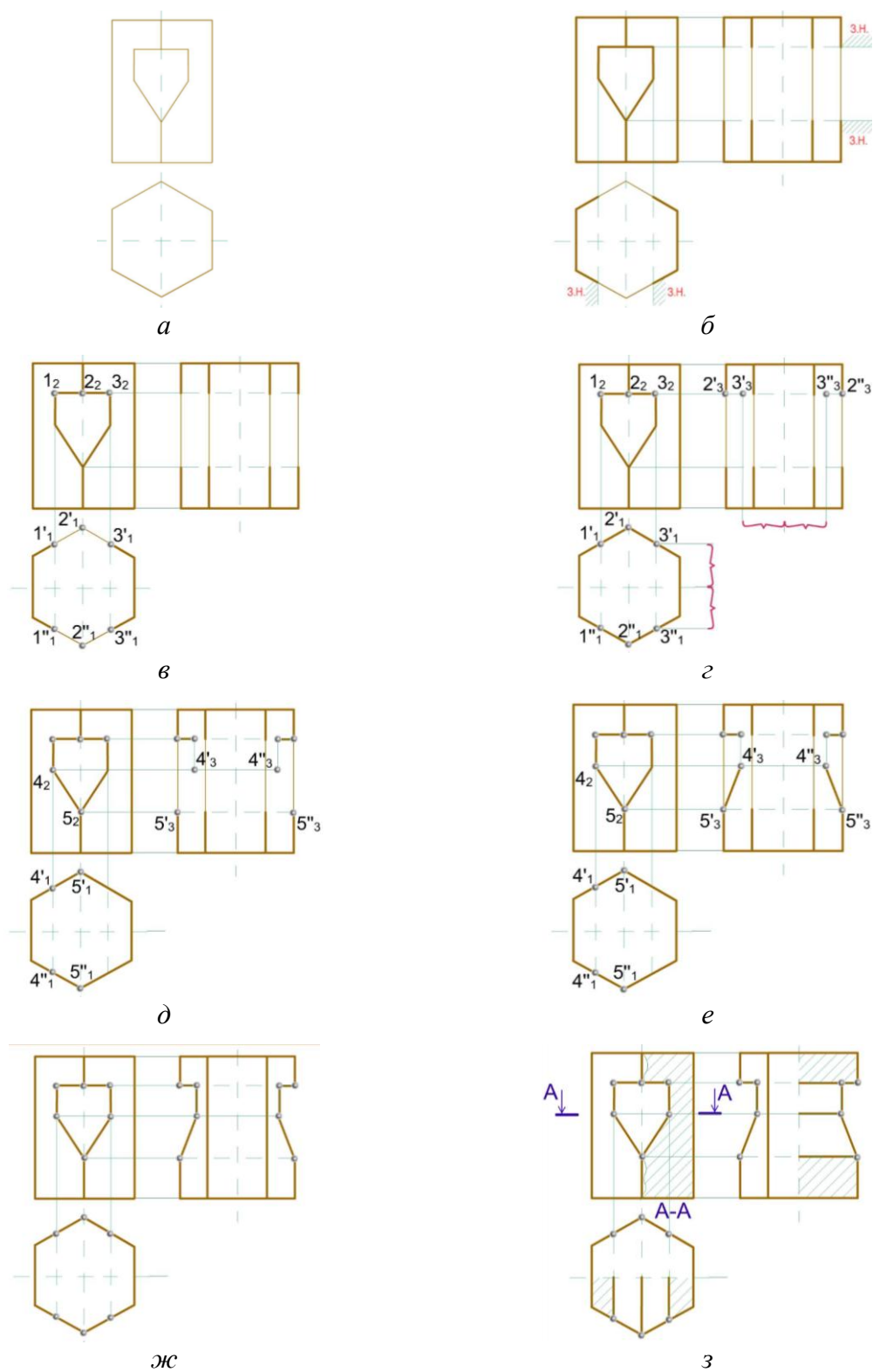


Рис. 6.3

Визначаємо зони перетину у горизонтальній і профільній площинах проєкцій (рис. 6.3, б). Будуємо фрагменти ліній перетину призми верхньою гранню горизонтального вікна. Для цього обираємо характерні точки 1, 2 і 3 (рис. 6.3, в, рис. 6.3, г). Будуємо фрагменти ліній перетину призми нахиленими гранями вікна. Обираємо точки 4, 5 на лівій грані. Такі ж симетричні точки можуть бути обрані на правій грані (побудови пропущено, щоб зменшити кількість рисунків). Будуємо проєкції лінії перетину у горизонтальній і профільній площинах проєкцій (рис. 6.3, д, рис. 6.3, е).

Обираємо напрямок обходу за годинниковою стрілкою і з'єднуємо усі однойменні проєкції отриманих точок (рис. 6.3, ж). Отримуємо проєкції лінії перетину в горизонтальній і профільній площинах проєкцій. Оформлюємо кресленик (рис. 6.3, з).

Запитання для самоперевірки

1. Яка форма вікна застосовується у задачах одинарного проникання поверхонь?
2. Які особливості перетину поверхні вікном при «прониканні»?
3. У яких випадках застосовують спосіб повних перетинів?
4. Який алгоритм розв'язку задач методом повних перетинів?
5. У яких випадках застосовують спосіб ребер?
6. Як визначають видимість окремих частин проєкцій лінії перетину поверхні вікном?

РОЗДІЛ 7. ПЕРЕТИН ПОВЕРХОНЬ

Лінія перетину поверхонь утворюється спільною для обох поверхонь упорядкованою множиною точок.

Форма лінії перетину поверхонь визначається формою і взаємним розташуванням поверхонь, які перетинаються.

Точки лінії перетину поверхонь обертання знаходять методом посередників, який попередньо був застосований при пошуку лінії перетину площин загального положення.

Оскільки поверхні є більш складними геометричними об'єктами ніж площини, то в якості посередників можуть використовуватись не лише площини окремого і загального положення, але і сфери, циліндри, конуси тощо.

Посередники обирають за умови, щоб у перетині ними поверхонь утворювались найпростіші лінії перетину (пряма лінія, коло). За потреби спрощення розв'язків задач використовують методи спрощення, наприклад, метод заміни площин проєкцій.

Для загальних випадків перетину поверхонь алгоритм розв'язку задач наступний:

- перетинають задані поверхні площинами (поверхнями) посередниками;
- знаходять лінії перетину посередником кожної з поверхонь;
- визначають точки перетину отриманих ліній – це точки лінії перетину поверхонь;
- з'єднують отримані точки у відповідній послідовності, враховуючи видимість частин лінії перетину на кожній з площин проєкцій.

Щоб лінію перетину побудувати більш точно слід посередник використати потрібну кількість разів. Як правило, посередники проводять спочатку через характерні точки лінії перетину. Якщо того вимагає розв'язок, обирають ще необхідну кількість допоміжних точок. До характерних точок лінії перетину відносять: найвищу та найнижчу, крайню ліву та крайню праву, точки, що визначають межу видимості частин проєкцій лінії перетину на проєкціях і належать обрисам поверхні, особливі точки кривих другого порядку, вершини ламаних, ін.

При перетині поверхонь можливі три основних випадки утворення лінії перетину:

- якщо перетинаються два багатогранника, то в перетині утворюються одна або дві замкнених просторових ламаних лінії. Вершинами цих ліній є точки перетину ребер одного багатогранника з гранями другого і ребер другого багатогранника з гранями першого;
- якщо перетинаються дві поверхні другого порядку, то в перетині утворюється одна або дві просторові плавні замкнені просторові криві, як правило, четвертого порядку. В окремих випадках ці криві можуть вироджуватись у криві другого порядку;
- якщо перетинається багатогранник з поверхнею обертання, то в перетині утворюється декілька плоских кривих другого порядку, які сходяться між собою на ребрах багатогранника;

Одне тіло може перетинати інше повністю або частково. Тоді внаслідок перетину утворюються дві або одна замкнені лінії. Якщо перетин не повний, на одному з тіл утворюється заглибина (*врізання*). Лінія перетину – одна замкнена лінія. Якщо одне тіло цілком проникає в інше, утворюються дві замкнені лінії перетину. Це випадок *проникнення*.

Після того, як точки лінії перетину знайдені, їх сполучають у відповідній послідовності, визначаючи видимість окремих частин лінії перетину на кожній площині проєкцій окремо. При цьому виходять з наступного:

- якщо перетинаються дві видимі грані багатогранника, то лінія їх перетину буде видимою. У випадку, коли хоча б одна з граней невидима на деякій площині проєкцій, лінія їх перетину вважається невидимою;
- якщо перетинаються дві видимі твірні кривої поверхні, то точка їх перетину буде видимою. У випадку, коли хоча б одна з твірних невидима на даній площині проєкцій, точка їх перетину вважається невидимою;
- точки межі видимості частин лінії перетину поверхонь лежать на обрисних твірних кривої поверхні, або обрисних ребрах багатогранної поверхні.

Примінімо ці положення на практиці.

7.1. Метод площин-посередників

Розглянемо загальний алгоритм методу застосування площин-посередників на прикладі використання у якості посередників площин рівня. Перетинаються дві поверхні другого порядку сфера і еліпсоїд (рис. 7.1, *a*). Тобто у перетині маємо отримати просторову криву четвертого порядку, що будується графічно за сукупністю отриманих за допомогою посередників точок. Застосовуємо зазначений вище алгоритм побудови лінії перетину двох поверхонь:

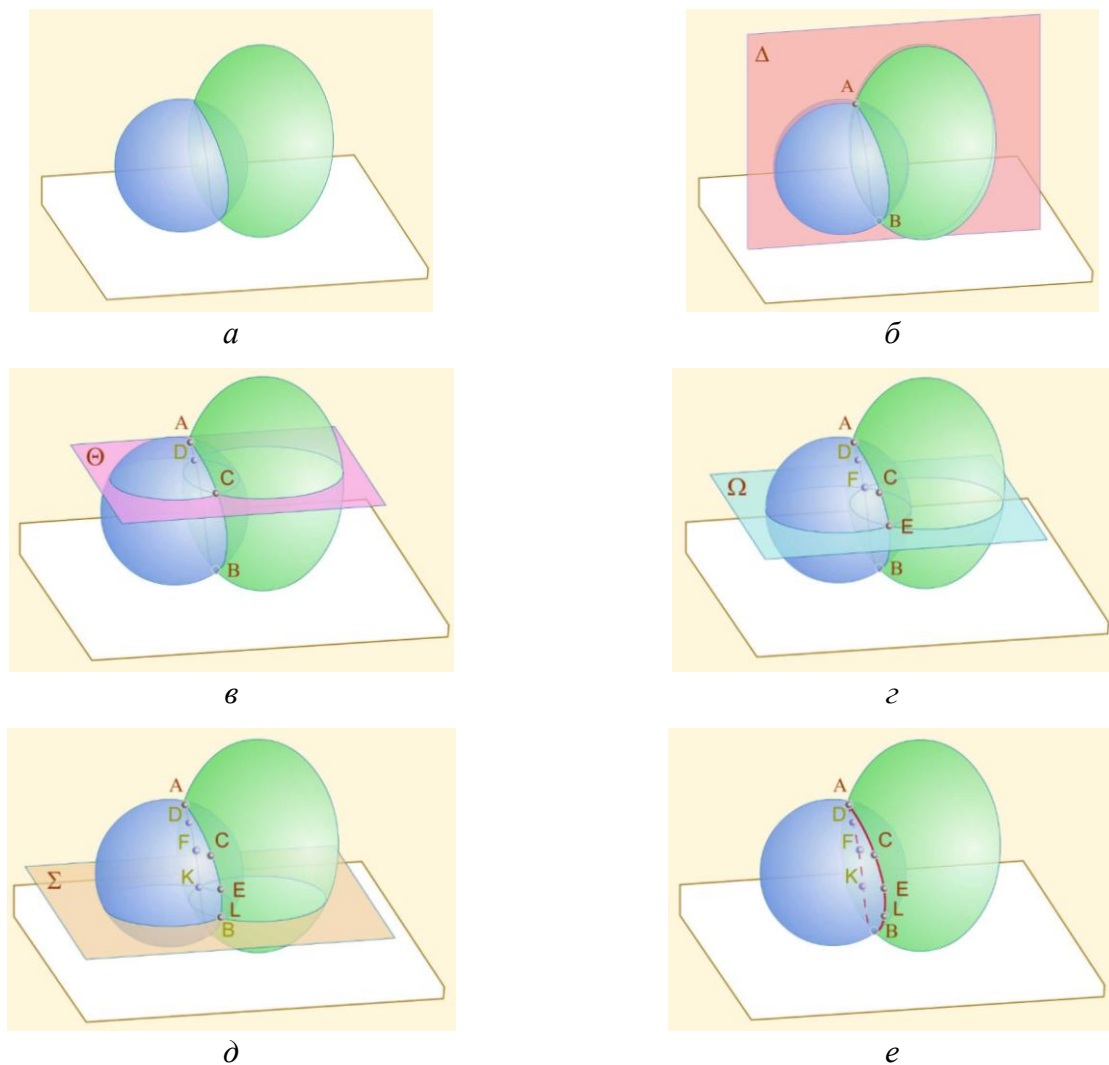


Рис. 7.1

1. Перетинаємо обидві поверхні посередником. На рис. 7.1, *б* показано як для визначення точок перетину обрисових твірних поверхонь використано у якості посередника фронтальну площину рівня Δ .

2. Знаходимо лінії перетину посередником кожної з поверхонь. На рис. 7.1, в показано, як горизонтальна площина рівня Θ , що обрана посередником, перетинає обидві поверхні по колам.

3. Знаходять точки перетину ліній перетину посередником поверхонь. На рис. 7.1, в показано як кола перетину поверхонь, перетинаючись у площині-посереднику, дають спільні для обох поверхонь точки D і C. Це точки лінії перетину поверхонь.

Посередників проводять стільки скільки необхідно знайти точок для більш точної побудови лінії перетину поверхонь (рис. 7.1, з, рис. 7.1, д).

4. З'єднують отримані точки у відповідній послідовності, визначаючи видимість частин лінії перетину на проєкціях (рис. 7.1, е).

Задачу розв'язано.

7.2. Перетин многогранників

Розглянемо особливості перетину многогранників, а також чим відрізняється перетин поверхонь «врізанням» від «проникнення». Спочатку розглянемо випадок проникнення.

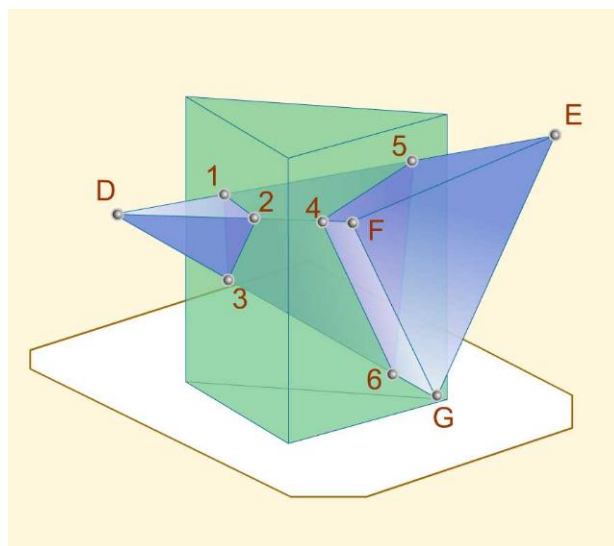


Рис. 7.2

На рис. 7.2 пряма тригранна призма перетинається з тригранною пірамідою. Піраміда повністю проникає у призму утворюючи дві замкнені ламані лінії перетину.

Кожне ребро піраміди двічі перетинає грані призми і жодне з ребер призми не перетинає грані піраміди. Цим визначається обрання характерних точок ліній перетину. Обираємо по дві точки в перетині кожного з ребер піраміди з гранями призми. З'єднуємо отримані точки у кожній з граней призми окремо. Отримуємо дві лінії перетину. Розглянемо задачу на комплексному кресленнику (рис. 7.3, а).

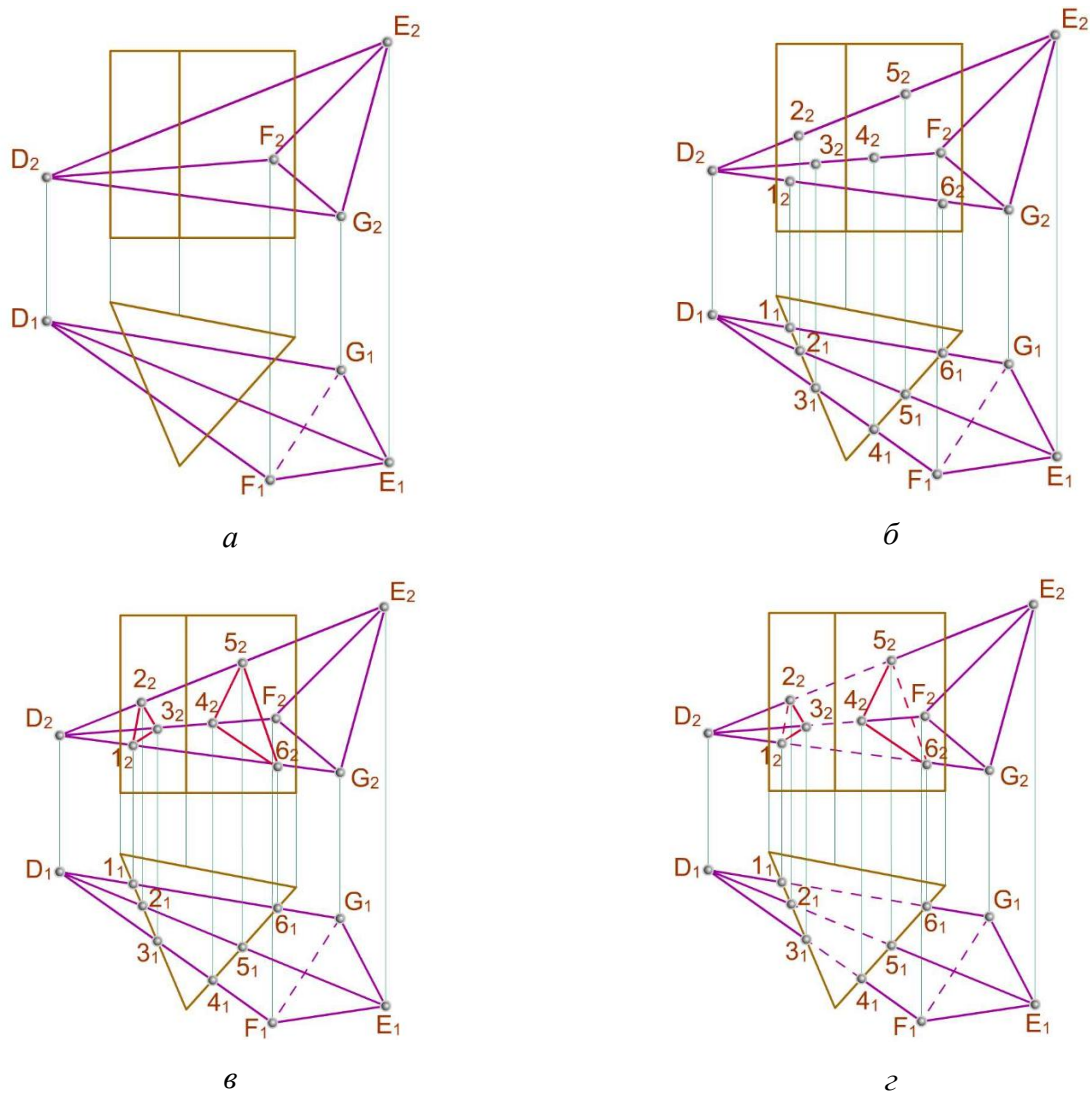


Рис. 7.3

Знаходимо точки перетину кожного з ребер піраміди з відповідними гранями призми. Задача спрощується тим, що грані призми займають горизонтально-проекціююче положення. Тобто горизонтальні проекції ліній перетину співпадають з горизонтальними проекціями граней призми. Тому обираємо спочатку проекції точок перетину у горизонтальній площині проєкцій потім у фронтальній (рис. 7.3, б).

Піраміда перетинає призму по двох замкнених лініях: 1–2–3 і 4–5–6. З'єднуємо отримані точки у відповідній послідовності відрізками прямих ліній (рис. 7.3, в). Отримуємо два замкнених контури. Визначаємо видимість частин лінії перетину на проєкціях (рис. 7.3, з). Задачу розв'язано.

Розглянемо особливості знаходження лінії перетину поверхонь у випадку врізання однієї поверхні у іншу.

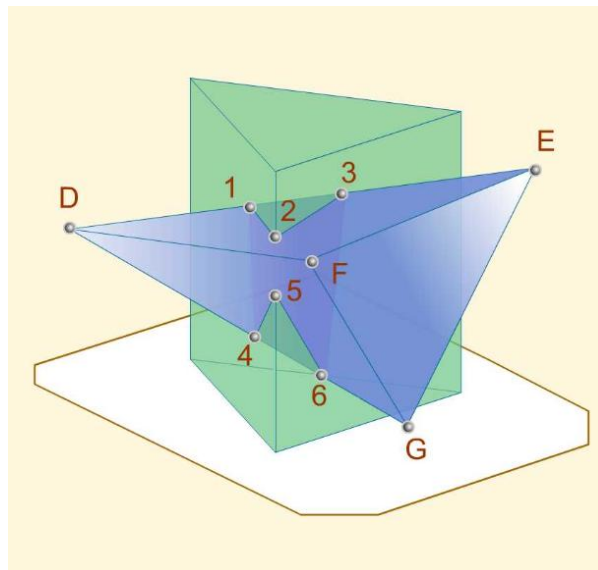


Рис. 7.4

На рис. 7.4 показано перетин прямої тригранної призми з тригранною пірамідою. Перетин неповний. Піраміда лише частково заглибилась у призму. У перетині утворюється одна замкнена лінія, яка складається з відрізків прямих ліній. Розглянемо розв'язок задачі на комплексному кресленні (рис. 7.5, а). Бачимо, що два ребра піраміди DG та DE двічі перетинають грані призми і одне ребро призми перетинає дві грані піраміди DEF і DGF. Задача спрощується тим, що призма займає горизонтально-проєкціуюче положення. Тобто горизонтальна проєкція лінії перетину співпадає з тією частиною основи призми, що знаходиться у зоні перетину тіл. Позначаємо у горизонтальній площині проєкції проєкції точок перетину 1–3–4–6 – 1_1 – 3_1 – 4_1 – 6_1 . Це точки перетину граней призми з ребрами піраміди. Позначаємо горизонтальні проєкції точок 2, 5, 2_1 , 5_1 . Це точки перетину горизонтально-проєкціуючого ребра призми з гранями DEF і DGF піраміди (рис. 7.5, б).

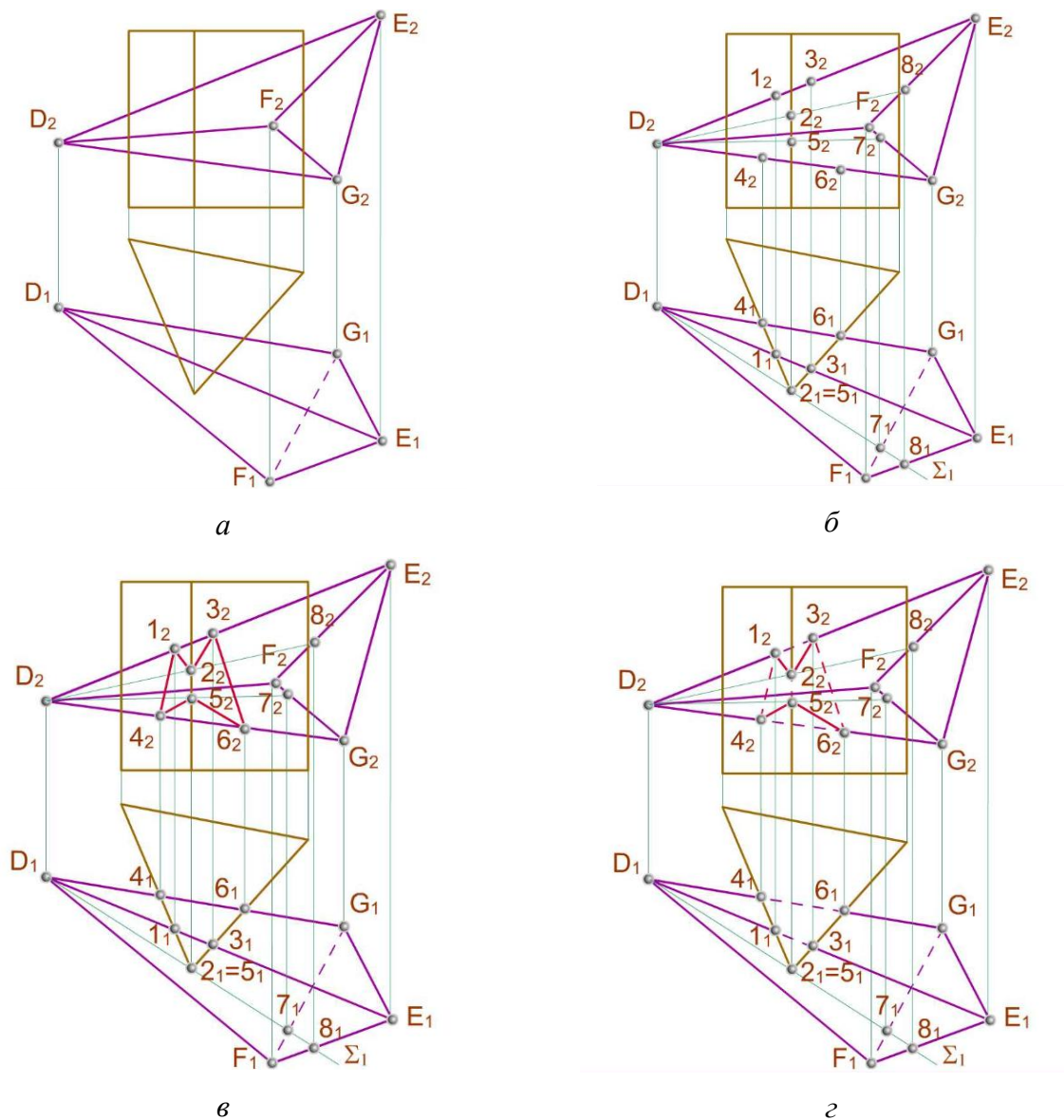


Рис. 7.5

Знаходимо фронтальні проєкції точок 1, 3, 4, 6 – $1_2, 3_2, 4_2, 6_2$. Відмічаємо їх на фронтальних проєкціях відповідних ребер піраміди. Для знаходження фронтальних проєкцій точок 2 і 5, що знаходяться в перетині ребра призми з гранями піраміди DEF і DGF, скористаємось горизонтально-проєкціуючою площиною-посередником $\Sigma(\Sigma_1)$, що проходить через ці точки і вершину піраміди точку D. Будуємо фронтальні проєкції ліній перетину піраміди площиною-посередником $\Sigma(\Sigma_1)$ D7 і D8 – D7₂ і D8₂. Знаходимо фронтальні проєкції точок 2 і 5 – 2_2 і 5_2 . Обираємо напрямок обходу і з'єднуємо фронтальні проєкції точок лінії перетину відрізками прямих ліній. На проєкції грані D₂E₂F₂ з'єднуємо проєкції точок $1_2, 2_2$ і 3_2 . Наступні фронтальні проєкції точок 3 і 6 – 3_2 і 6_2 з'єднуємо у грані DGF – D₂G₂F₂. Продовжуємо

і з'єднуємо точки 4 та 1 – 4_2 і 1_2 (рис. 7.5, в). Визначаємо видимість частин лінії перетину у фронтальній площині проєкцій (рис. 7.5, г). Розв'язок задачі завершено.

7.3. Перетин поверхонь другого порядку

Якщо при розв'язуванні задач на перетин многогранників метод посередників застосовують ситуативно, то при розв'язуванні задач на перетин кривих поверхонь метод посередників є основним.

Щоб лінію перетину поверхонь побудувати більш точно, слід посередник використати потрібну кількість разів. Як правило, посередники проводять спочатку через характерні точки лінії перетину. Якщо того вимагає розв'язок, обирають ще необхідну кількість допоміжних точок. До характерних точок лінії перетину відносять: найвищу та найнижчу, крайню ліву та крайню праву, точки, що визначають межу видимості частин проєкцій лінії перетину на проєкціях і належать обрисам поверхні, особливі точки кривих другого порядку, вершини ламаних, ін.

Площини рівня часто використовують у якості посередників для побудови лінії перетину поверхонь, які займають відносно площин проєкцій окреме положення. Розглянемо для прикладу наступну задачу.

Задача. Перетинається прямий круговий конус, основа якого знаходиться у горизонтальній площині проєкцій, з прямим круговим циліндром, твірні якого перпендикулярні до фронтальної площини проєкцій (рис. 7.6). Знайти лінію перетину.

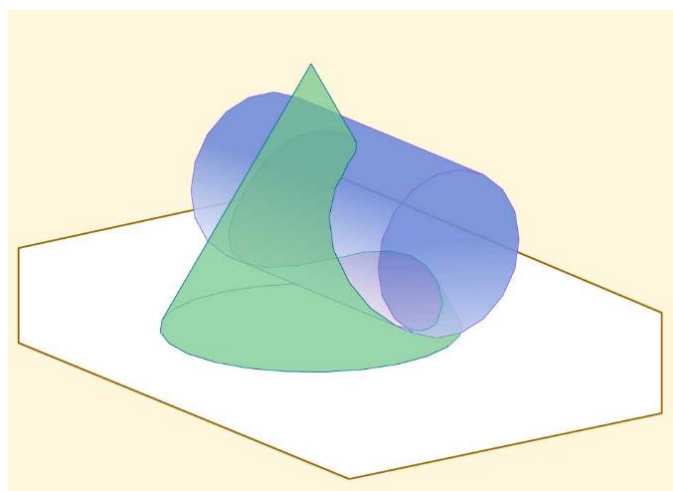


Рис. 7.6

Аналізуємо умову. Циліндр лише частково перетинає конус. Отже це випадок *врізання*. Тобто у перетині матимемо одну замкнену криву лінію. Оскільки обидві поверхні є поверхнями другого порядку, то лінія їх перетину – крива четвертого порядку. Побудову лінії перетину починають з визначення її характерних точок. До таких точок належать найвища точка (у даній задачі це одночасно точка перетину обрисних твірних конуса і циліндра) – точка А; найнижчі – точки F та F'; крайні ліві – точки С і С'; крайня права – точка G (у даній задачі вона одночасно є точкою перетину обрисних твірних конуса і циліндра). Для уточнення форми лінії перетину обираємо допоміжні точки.

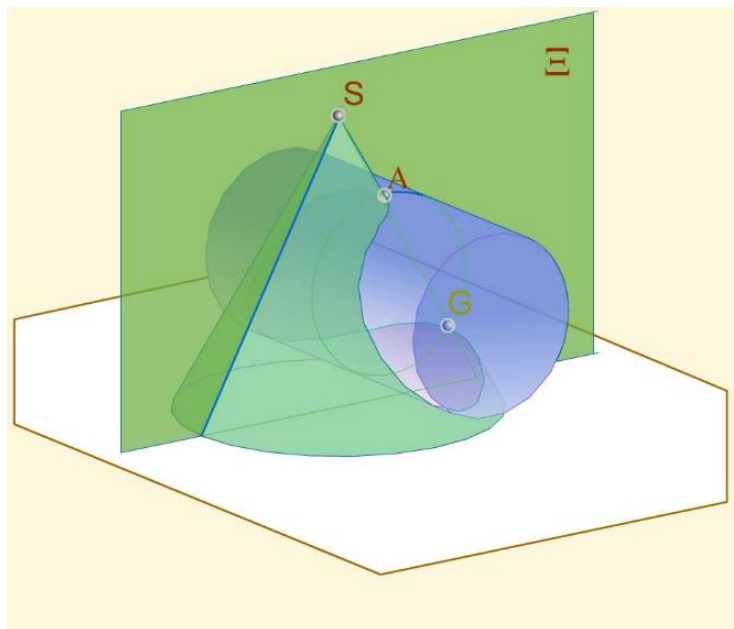
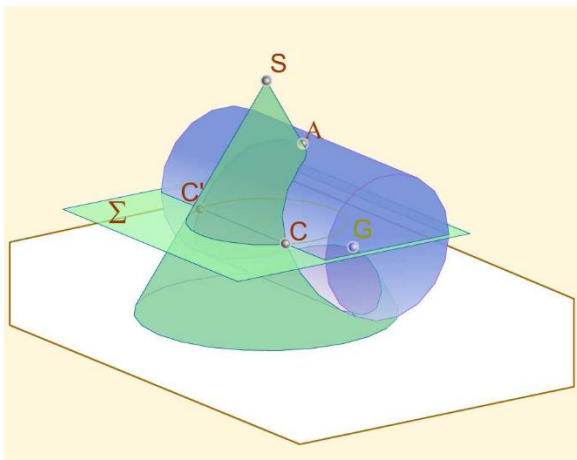


Рис. 7.7

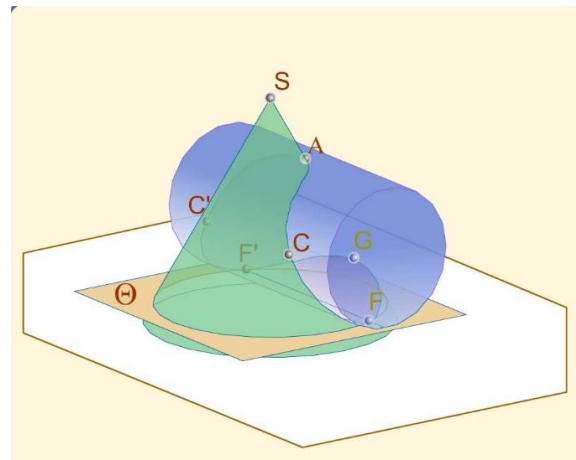
Точки перетину обрисових твірних циліндра і конуса А і G знаходимо, використовуючи у якості посередника фронтальну площину рівня Θ (Θ_2), яка співпадає з віссю конуса. Вона перетинає конус по твірних, а циліндр по колу паралельному основі (рис. 7.7). У перетині правої твірної конуса з колом перетину циліндра посередником отримуємо точки А і G.

Для знаходження інших точок лінії перетину доцільно використати у якості посередника горизонтальні площини рівня. Ці площини перетинають конус по колам паралельним основі, а циліндр по твірним. В їх перетині отримуємо точки

лінії перетину. Знаходимо крайні ліві точки лінії перетину C і C' , провівши площину-посередник через горизонтальну вісь циліндра (рис. 7.8, *а*).



а



б

Рис. 7.8

Аналогічно знаходимо найнижчі точки лінії перетину F і F' (рис. 7.8, *б*).

Знаходимо допоміжні точки B та B' , а також D та D' (рис. 7.9, *а*, рис. 7.9, *б*).

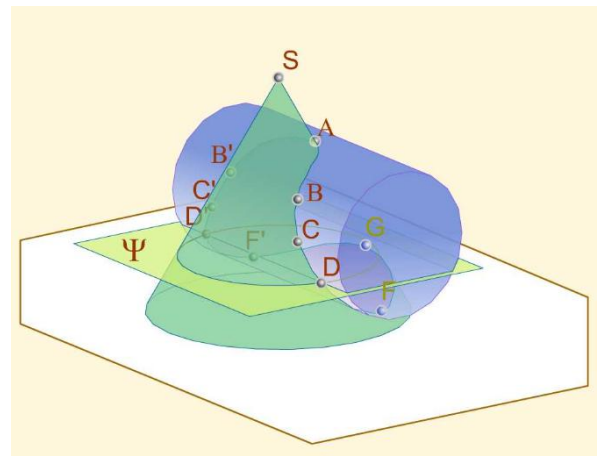
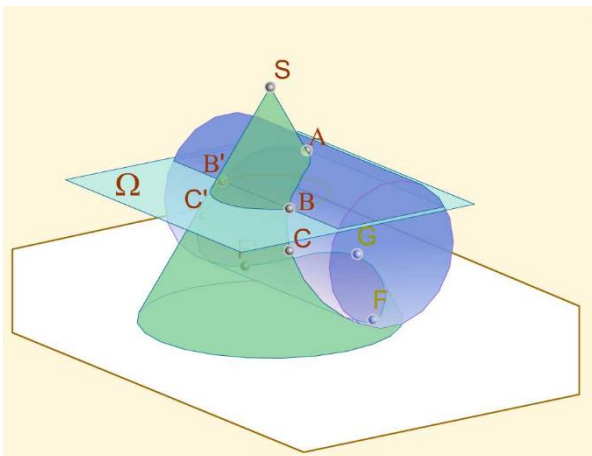


Рис. 7.9

Для уточнення нижньої частини кривої обираємо ще дві допоміжні точки E і E' , які знаходяться за допомогою площини-посередника, що проходить через крайню праву точку лінії перетину G (рис. 7.10, *а*).

Обираємо напрямок обходу і з'єднуємо отримані точки. Визначаємо видимість (рис. 7.10, *б*).

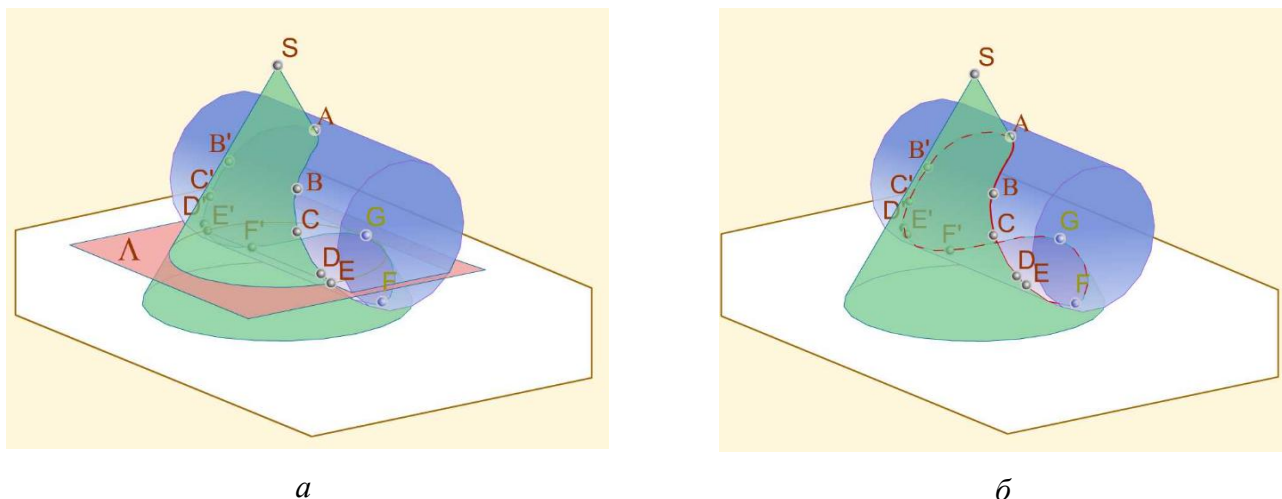


Рис. 7.10

Розв'яжемо задачу на комплексному кресленні (рис. 7.11, а). Прямий круговий циліндр розташовано основою паралельно фронтальній площині проєкцій. Тобто фронтальна проєкція циліндра співпадає з проєкцією його основи. Оскільки лінія перетину є спільною для обох поверхонь, то фронтальна проєкція лінії перетину поверхонь співпадає з тією частиною фронтальної проєкції основи циліндра, яка знаходиться в зоні перетину поверхонь. На цій проєкції доцільно обирати характерні і допоміжні точки лінії перетину поверхонь. Їх горизонтальні проєкції знаходяться за допомогою площин-посередників.

Вводимо першу площину – посередник фронтальну площину рівня Ξ (Ξ_1), яка співпадає з віссю конуса. Знаходимо проєкції найвищої точки А та крайньої правої точки G, які також є точками перетину обрисів поверхонь. Фронтальні проєкції точок А–А₂ і G–G₂ знаходяться в перетині фронтальної проєкції правої обрисової твірної конуса і фронтальної проєкції основи циліндра. Горизонтальні проєкції точок А–А₁ і G–G₁ проєкціюються на слід-проєкцію площини-посередника (рис. 7.11, б).

Будуємо проєкції крайніх лівих точок лінії перетину поверхонь С і С'. Їх фронтальні проєкції С₂ і С'₂ співпадають з проєкцією лівої обрисової твірної циліндра, яка є фронтально-проєкціюючою прямою. Для побудови їх горизонтальних проєкцій С₁ і С'₁ скористаємось площиною-посередником горизонтальною площиною рівня Ω (Ω_2), яка перетинає поверхні конуса і циліндра в точці С (рис. 7.11, в).

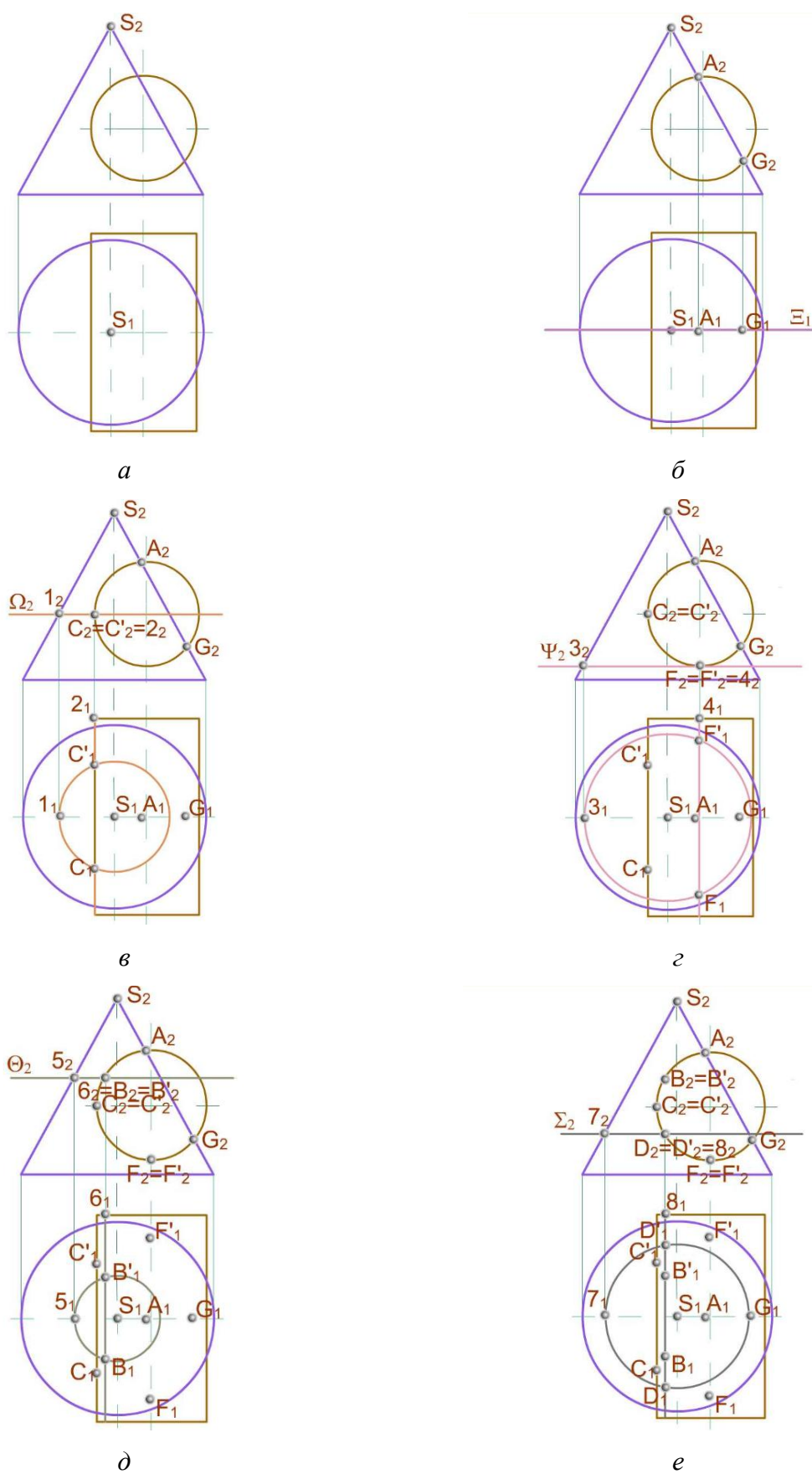


Рис. 7.11

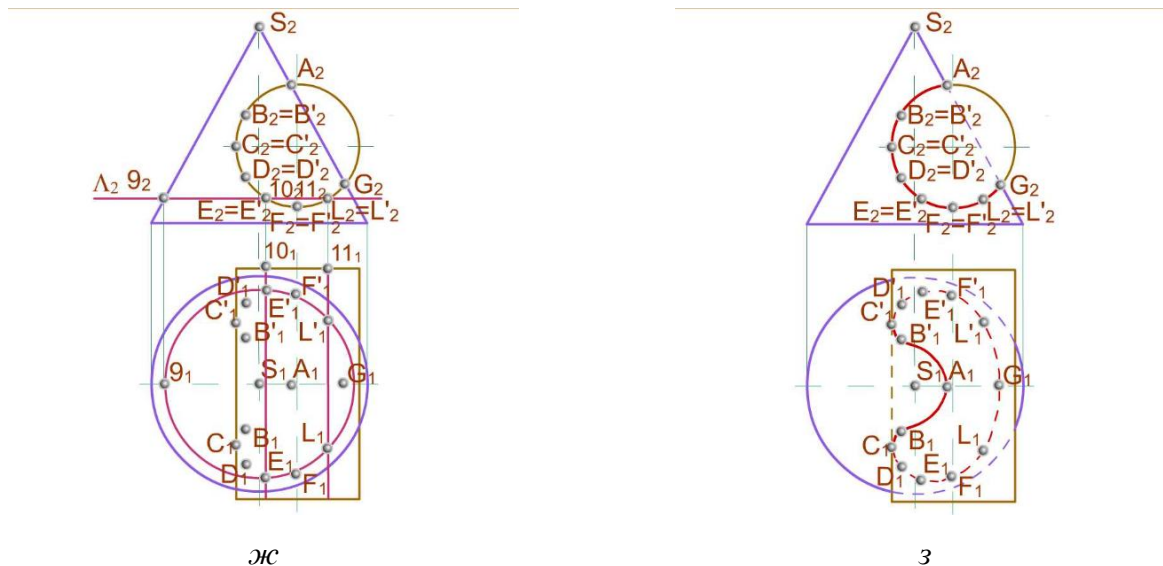


Рис. 7.11 Закінчення (див. також с.167)

Будуємо найнижчі точки лінії перетину поверхонь F (F_2) і F' (F'_2). Проводимо через ці точки площину-посередник горизонтальну площину рівня Ψ (Ψ_2). Знаходимо горизонтальні проєкції цих точок F_1 і F'_1 (рис. 7.11, з). Вводимо площину-посередник горизонтальну площину рівня Θ (Θ_2). Будуємо проєкції допоміжних точок B і B' (рис. 7.11, д). За допомогою площини-посередника Σ (Σ_2) будуємо ще одну пару допоміжних точок D і D' (рис. 7.11, е). Ще дві пари допоміжних точок E (E_2, E_1) і L (L_2, L_1) будуємо за допомогою площини-посередника горизонтальної площини рівня Λ (Λ_2) (рис. 7.11, ж). З'єднуємо отримані горизонтальні проєкції точок у тій же послідовності, у якій розташовані їх фронтальні проєкції. Враховуємо видимість частин лінії перетину поверхонь, що перетинаються, (рис. 7.11, ж). Задачу розв'язано.

7.4. Сферичні посередники

Сфери використовують в якості посередників з наступних міркувань:

- проєкції сфери на будь-яку площину є колами;
- в разі потреби на сфері можна виділити безліч сімей кіл;
- кожна пряма або площина, що проходить через центр сфери, є її віссю або площиною симетрії.

Використання сферичних посередників оснований на наступній теоремі:

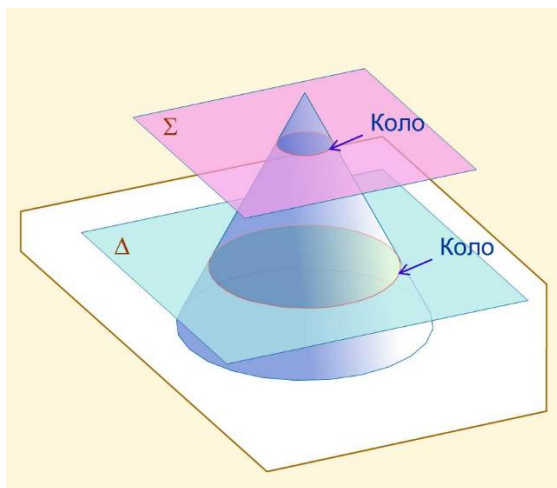
Дві співвісні поверхні обертання перетинаються по колах, кількість яких дорівнює кількості точок перетину твірних цих поверхонь, які лежать в одній меридіальній площині.

В методі сферичних посередників однією із співвісних поверхонь виступає сфера, а другою поверхня обертання. Попередньо були розглянуті задачі на перетин поверхонь обертання, при розв'язку яких посередниками обирались площини рівня. Зустрічаються випадки перетину таких поверхонь, коли лінії їх перетину знаходяться простіше, якщо у якості посередників застосовувати сфери.

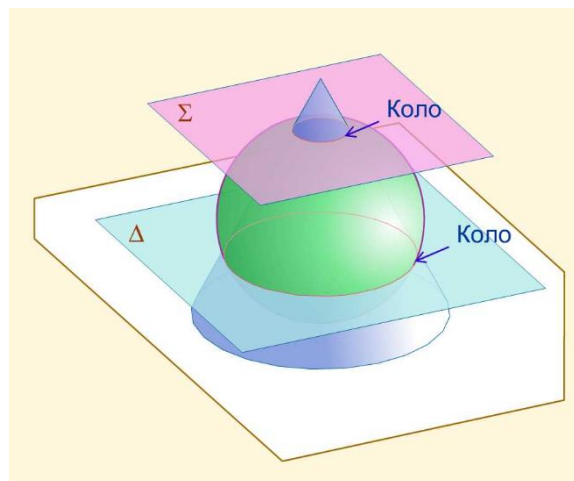
Покажемо, що використання сфер у якості посередників задовольняє умови, що ставляться при розв'язуванні задач на перетин поверхонь обертання. Тобто посередник повинен перетинати поверхні, що перетинаються, по найпростішим лініям і ці лінії перетину повинні проєкціюватись на площини проєкцій теж у найпростіші лінії (коло, пряма).

На рис. 7.12 демонструється можливість використання сфери в якості посередника. Візьмемо окрему поверхню другого порядку – прямий круговий конус, основа якого розташована у горизонтальній площині проєкцій. Якщо його перетнути горизонтальними площинами рівня, то в перетині отримаємо кола, які на горизонтальну площину проєкцій проєкціюються у натуральну величину, а на фронтальну площину проєкцій у відрізок, що дорівнює натуральній величині кола перетину (рис. 7.12, а).

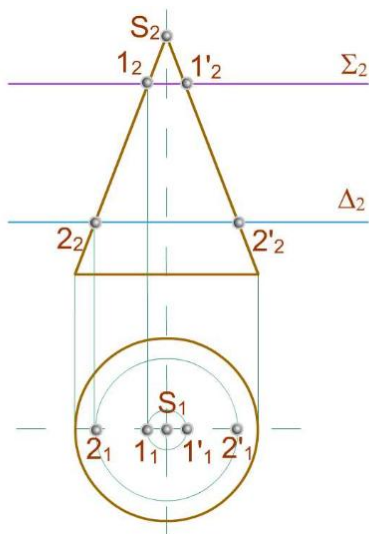
Візьмемо на осі конуса довільну точку і з неї як з центра побудуємо сферу відповідного радіуса, щоб вона проходила через точки перетину горизонтальними площинами-посередниками обрисових твірних конуса. Очевидно, що площини-посередники перетнуть сферу по тим же колам, що і конус. Якщо тепер прибрати площини-посередники, кола перетину конуса залишаться. Тобто сфера може перетинати поверхні другого порядку по простим лініям і застосовуватись у якості посередника (рис. 7.12, б). На рис. 7.12, в, рис. 7.12, г цей приклад продемонстровано на комплексному кресленні.



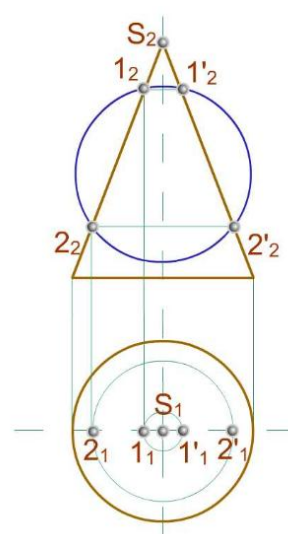
а



б



в



г

Рис. 7.12

Це також є прикладом перетину двох співвісних поверхонь – конуса і сфери.

В перетині сфери з тілами обертання отримують по два кола, рівних (у випадку перетину сфери з поверхнею прямого кругового циліндра) або різних діаметрів (у випадку перетину сфери з поверхнею прямого кругового конуса).

Для використання при розв'язку задач методу сферичних посередників необхідна наявність трьох умов:

- обидві задані поверхні, які перетинаються, повинні бути поверхнями обертання;
- осі заданих поверхонь повинні перетинатись;

- обидві осі поверхонь, що перетинаються, повинні бути паралельними до якої-небудь площини проєкцій.

Якщо остання умова не виконується, то слід попередньо виконати заміну площин проєкцій або плоско-паралельне переміщення.

Цим методом задачі розв'язуються за наступним алгоритмом:

- з точки перетину осей заданих поверхонь, як з центра, проводять допоміжні сферичні посередники;
- визначають лінію (лінії) перетину сферичного посередника з кожною із заданих поверхонь;
- знаходять точки перетину отриманих ліній;
- з'єднують отримані точки у відповідній послідовності, враховуючи видимість частин лінії перетину на кожній площині проєкцій окремо.

Існує декілька способів використання сферичних посередників. Розглянемо один із них.

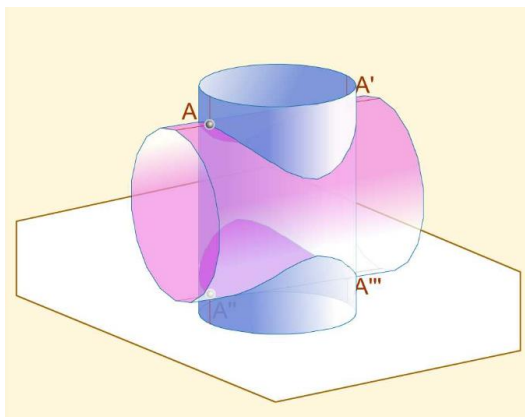
7.4.1. Спосіб концентричних сфер

Особливістю способу є те, що сферичні посередники проводять з одного центра – точки перетину осей поверхонь обертання, які перетинаються. Розглянемо приклад перетину двох прямих кругових циліндрів різних діаметрів (рис. 7.13, *a*).

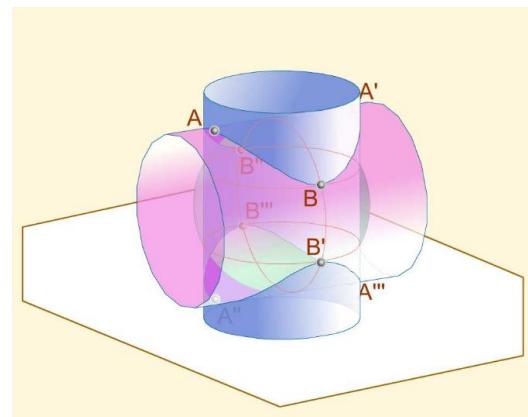
Проаналізуємо задачу. Перетинаються дві поверхні обертання. Осі циліндрів перетинаються і паралельні фронтальній площині проєкцій Π_2 . Тобто умови використання сферичних посередників задовольняються. Маємо випадок проникання однієї поверхні в другу. Тому отримаємо дві лінії перетину. Обидві лінії перетину є просторовими лініями червртого порядку і графічно будуються за сукупністю точок.

Обрисові твірні обох циліндрів знаходяться у фронтальній площині рівня і перетинаються в точках A, A', A'', A''' (рис. 7.13, *a*). Це найвищі точки лінії перетину циліндрів. Приймаємо точку перетину осей циліндрів за центр концентричних сферичних посередників. Проводимо перший сферичний посередник мінімального радіуса (мінімальний радіус дорівнює відстані від центра сферичного посередника

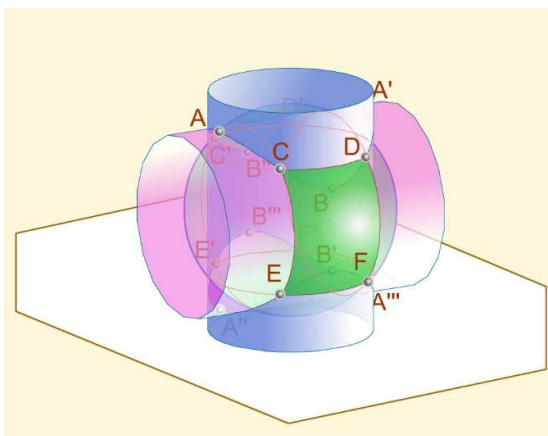
до твірних циліндра більшого діаметра розташованого горизонтально). Сферичний посередник мінімального радіуса торкається поверхні більшого циліндра по колу діаметра цього циліндра і розташованого перпендикулярно до його осі. Менший циліндр сферичний посередник перетинає по двох колах, площини яких перпендикулярні до його осі. Перетинаючись, ці кола дають найнижчі точки лінії перетину B, B', B'', B''' (рис. 7.13, б). Інші сферичні посередники проводять з того ж центра в зоні між сферичним посередником мінімального радіуса та точками перетину обрисових твірних циліндрів A, A', A'', A''' . За допомогою наступного посередника знаходимо точки C і D для верхньої лінії перетину та E і F для нижньої (рис. 7.13, в). З'єднуємо зазначені точки, враховуючи видимість, і отримуємо з певною точністю лінії перетину циліндрів. Щоб збільшити точність побудов, слід отримати більшу кількість точок. Для цього слід провести більшу кількість сферичних посередників.



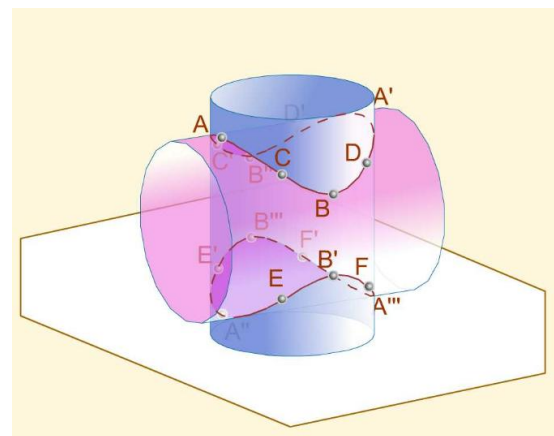
а



б



в



г

Рис. 7.13

Розглянемо задачу на комплексному кресленні. Оскільки осі обох циліндрів паралельні фронтальній площині проєкцій Π_2 , циліндри проєкціюються на цю площину проєкцій у вигляді прямокутників.

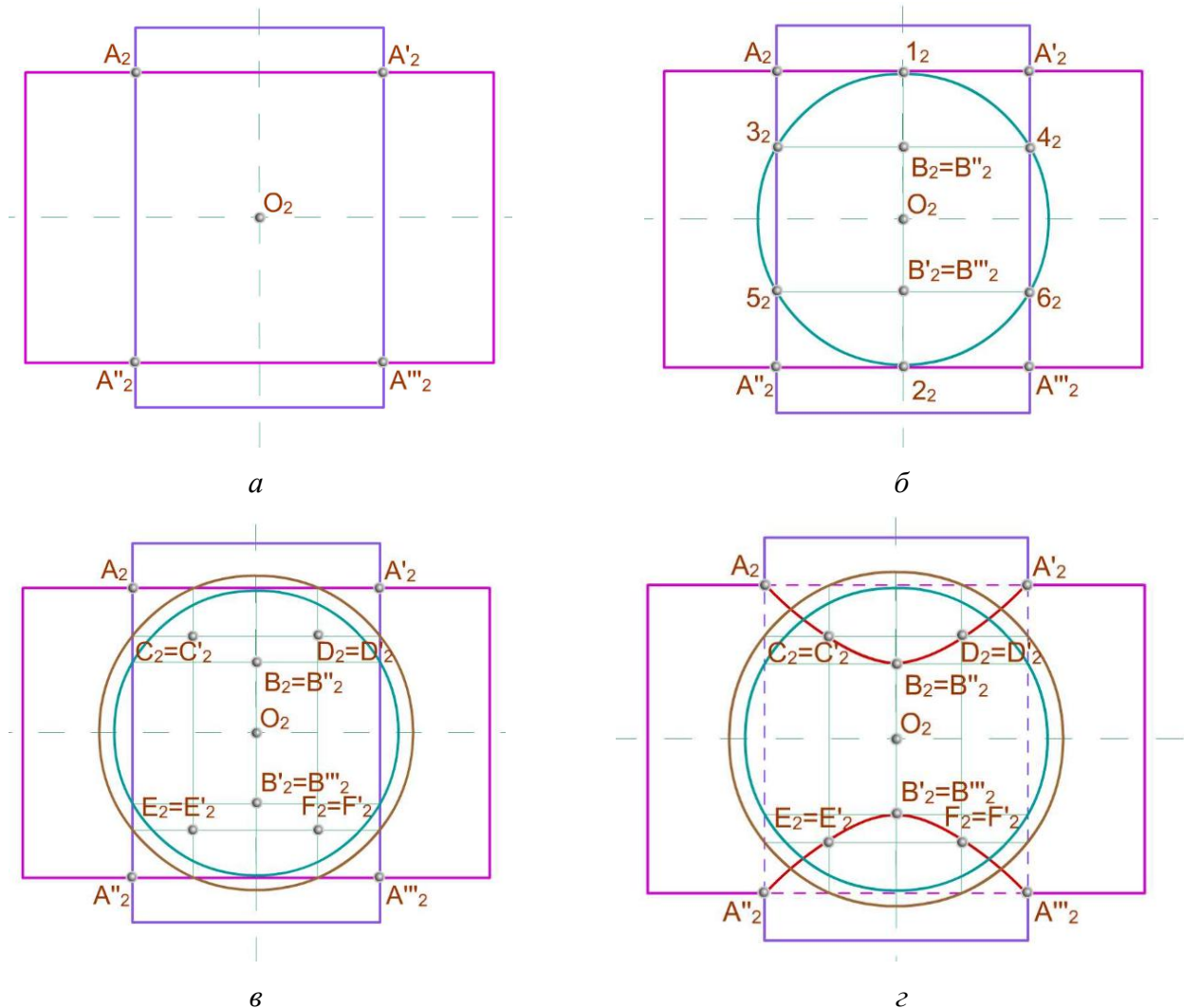


Рис. 7.14

На фронтальну площину проєкцій лінії перетину, що є кривими четвертого порядку, спроекціюються у криві другого порядку у відповідності до теореми: *якщо поверхні другого порядку мають спільну площину симетрії, то лінія їх перетину буде проєкціюватись на площину проєкцій паралельну площині симетрії у криву другого порядку*. Горизонтальні проєкції ліній перетину співпадут з проєкціями основ вертикально розташованого циліндра. Тому розглянемо побудову ліній перетину поверхонь лише у фронтальній площині проєкцій.

Знаходимо фронтальні проєкції точок перетину обрисів циліндрів A, A'_2, A_2, A''_2 (рис. 7.14, а). З точки перетину осей циліндрів $O (O_2)$ проводимо сферичний посередник мінімального радіуса. Коло, по якому сферичний посередник торкається поверхні більшого циліндра, проєкціюється на фронтальну площину проєкцій у вигляді прямої лінії 1–2 (1_2 – 2_2). Менший циліндр сферичний посередник перетинає по двох колах, що проєкціюються на фронтальну площину проєкцій у вигляді прямих ліній 3–4 (3_2 – 4_2) і 5–6 (5_2 – 6_2). У перетині отримуємо точки ліній перетину: B і B'' (B_2 і B''_2) для верхньої та B' і B''' (B'_2 і B'''_2) для нижньої лінії перетину (рис. 7.14, б). Проводимо ще один посередник. Він перетинає обидва циліндра по двох парах кіл, які, перетинаючись, дають дві точки C і D (C_2 і D_2) для верхньої лінії перетину та E і F (E_2 і F_2) для нижньої (рис. 7.14, в).

З'єднуємо фронтальні проєкції точок у відповідній послідовності, яку можна прослідкувати на горизонтальній площині проєкцій, обравши напрямок обходу. Отримуємо фронтальні проєкції ліній перетину циліндрів (рис. 7.14, г). Задачу розв'язано.

7.5. Окремі випадки перетину поверхонь другого порядку

У загальному випадку лінією перетину двох поверхонь другого порядку є просторова крива четвертого порядку. Але в деяких окремих випадках ці поверхні перетинаються по плоским кривим лініям (еліпсам, колам тощо). Тобто існують випадки виродження просторової кривої лінії, що отримують при перетині поверхонь другого порядку, у плоскі криві лінії другого порядку. Розглянемо деякі з них.

Випадок 1

Перетинаються прямий круговий та прямий еліптичний циліндри, які дотикаються один до одного у двох точках. Еліптичний циліндр розташований вертикально, круговий циліндр – горизонтально перпендикулярно до фронтальної площини проєкцій (рис. 7.15, а).

Їх точки дотику – A і B . У цьому випадку лінія перетину двох циліндрів розпадається на дві плоскі криві другого порядку, які лежать у фронтально-проєкціюючих площинах, що проходять через пряму лінію AB та точки перетину 1–2

і 3–4 відповідних обрисових твірних циліндрів. Ці криві еліпси. На фронтальну площину проєкцій вони спроекціюються у відрізки прямих, що співпадають зі слідами-проєкціями фронтально-проєкціюючих площин. Горизонтальна проєкція лінії перетину співпадає з проєкцією основи еліптичного циліндра (рис. 7.15, б).

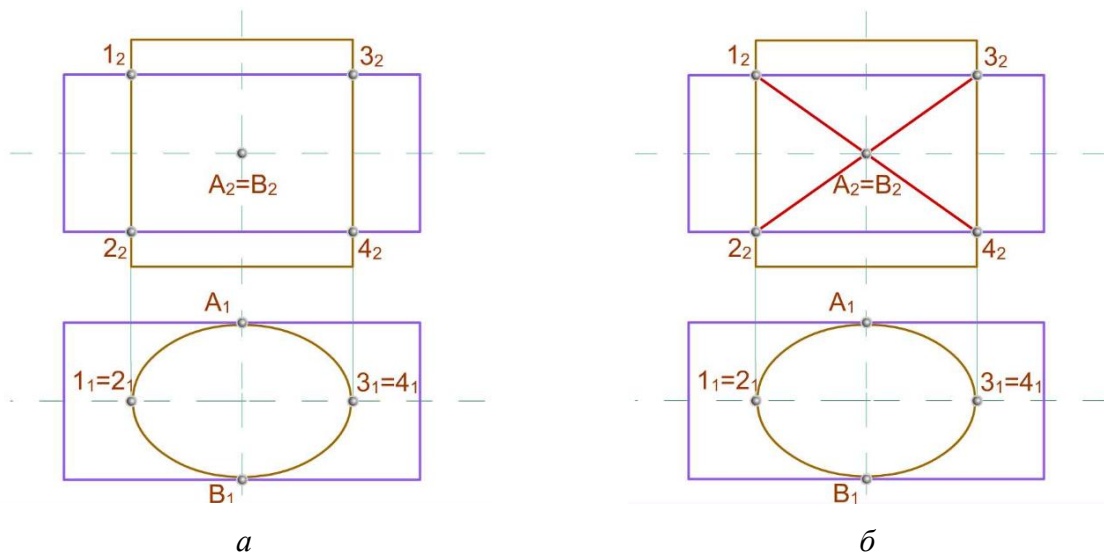


Рис. 7.15

Висновок. Якщо дві поверхні другого порядку, які перетинаються, мають дотик у двох спільних точках, то лінія їх перетину розпадається на дві плоскі криві другого порядку. Площини, у яких вони лежать, проходять через пряму, яка з'єднує точки дотику.

Випадок 2

Перетинається прямий круговий циліндр і похилий конус, основа якого коло. Основи циліндра і конуса співпадають (рис. 7.16, а).

Якщо основи двох поверхонь співпадають, вважаємо, що це одна з ліній їх перетину. Це коло діаметра АВ. На фронтальну площину проєкцій воно проєкціюється у відрізок, що дорівнює діаметру. На горизонтальній площині проєкцій проєкція кола перетину, як і другої лінії перетину, співпадає з проєкцією основи циліндра, твірні якого займають горизонтально-проєкціююче положення. Тому розглядаємо побудову проєкцій ліній перетину у фронтальній площині проєкцій.

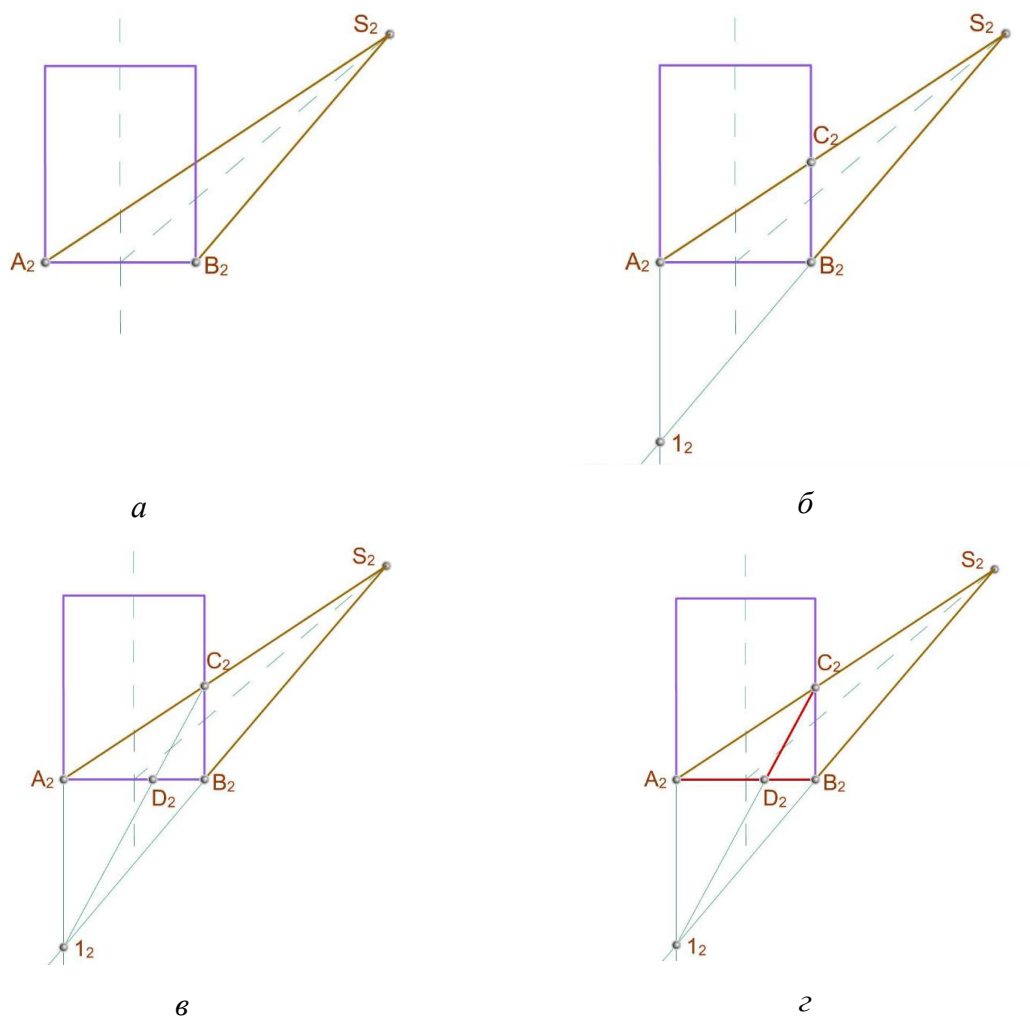


Рис. 7.16

Застосуємо *теорему про парність плоских перетинів*: Якщо дві поверхні другого порядку перетинаються по одній плоскій кривій, то вони перетинаються і по другій плоскій кривій.

Перша плоска лінія перетину пройшла через точки перетину першої пари обрисових твірних поверхонь, що перетинаються A і B (A_2 і B_2). Друга лінія перетину пройде через точки перетину другої пари обрисових твірних поверхонь C і I (C_2 і I_2) (рис. 7.16, б). З'єднуємо проєкції точок C_2 і I_2 прямою лінією. Отримуємо фронтальну проєкцію другої лінії перетину поверхонь, яка є еліпсом. Оскільки геометричні тіла обмежені нижніми основами, залишаємо проєкцію частини еліпса $C_2D_2D'_2$ (точка D' знаходиться на протилежній невидимій частині перетину) (рис. 7.16, в). Оформлюємо креслення (рис. 7.16, г).

Випадок 3. Теорема Монжа

Перетинаються поверхні прямого кругового конуса і прямого кругового циліндра описані навколо сфери (рис. 7.17, а). Знайти лінію їх перетину.

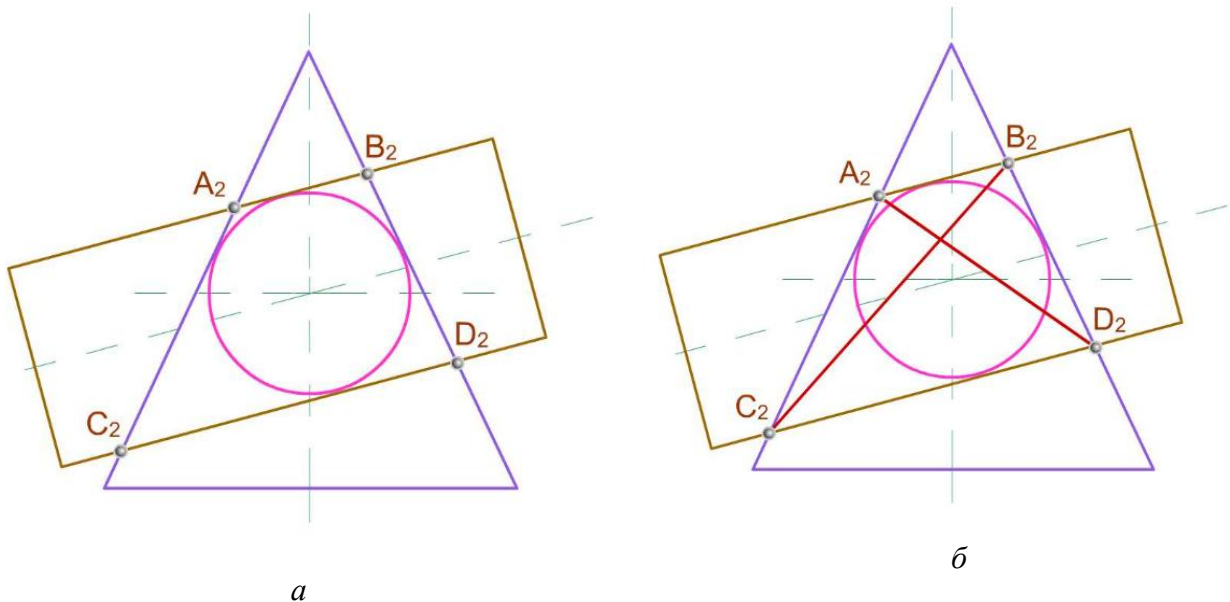


Рис. 7.17

По аналогії з попереднім випадком на комплексному кресленні знаходимо точки перетину двох пар обрисових твірних поверхонь А і D (A₂ і D₂) та В і С (B₂ і C₂) і попарно їх з'єднуємо. Отримуємо фронтальні проєкції двох плоских ліній перетину (рис. 7.17, б). Їх горизонтальні проєкції можна знайти побудовою горизонтальних проєкцій точок лінії перетину, наприклад, таких, що належать поверхні прямого кругового конуса.

Теорема Монжа: Якщо дві поверхні другого порядку вписані або описані навколо третьої поверхні другого порядку, то лінія їх перетину розпадається на дві плоскі криві другого порядку.

Запитання для самоперевірки

1. Як утворюється лінія перетину двох поверхонь?
2. Які чинники впливають на форму лінії перетину?
3. Який метод застосовують при знаходженні лінії перетину поверхонь?

4. Які посередники можуть застосовуватись при знаходженні лінії перетину поверхонь?
5. Які вимоги щодо застосування посередників?
6. Який алгоритм знаходження лінії перетину поверхонь?
7. Які є три основні випадки перетину поверхонь?
8. Як визначають видимість окремих частин проєкцій лінії перетину?
9. Які умови використання сферичних посередників?
10. Яка особливість способу концентричних сферичних посередників?
11. У яких випадках поверхні другого порядку перетинаються по плоских кривих другого порядку?
12. Сформулюйте теорему Монжа.

ЧАСТИНА 2

ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ СТАНДАРТІВ ЩОДО

ОФОРМЛЕННЯ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

РОЗДІЛ 8. ОФОРМЛЕННЯ КРЕСЛЕНИКІВ

8.1. Формати і основні написи

8.1.1. Формати

Конструкторську та іншу технічну документацію виконують на відповідних аркушах, розміри яких стандартизовані. Такі аркуші називають *форматами (formats)*.

Розміри форматів серії ISO-A регламентує ДСТУ ISO 5457 (див. табл. 8.1).

Таблиця 8.1. Розміри форматів

Позначки формату	Сторони обрізаних за форматом аркушів		Сторони поля кресленика		Сторони необрізаного за форматом аркуша	
	a ₁	b ₁	a ₂	b ₂	a ₃	b ₃
A0	841	1189	821	1159	880	1230
A1	594	841	574	811	625	880
A2	420	594	400	564	450	625
A3	297	420	277	390	330	450
A4	210	297	180	277	240	330

Розміри форматів A3 – A0 показані на рис.8.1.

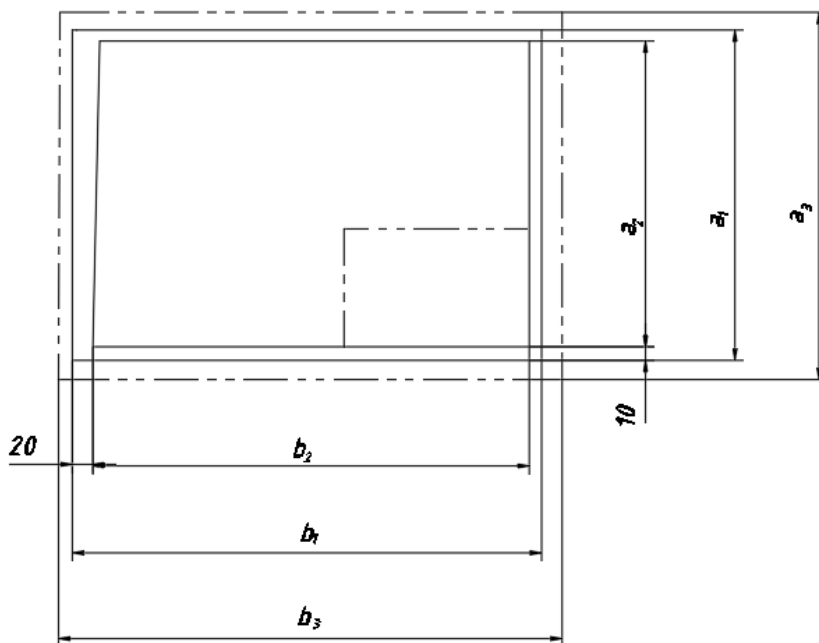


Рис. 8.1

Розміри формату A4 показані на рис. 8.2.

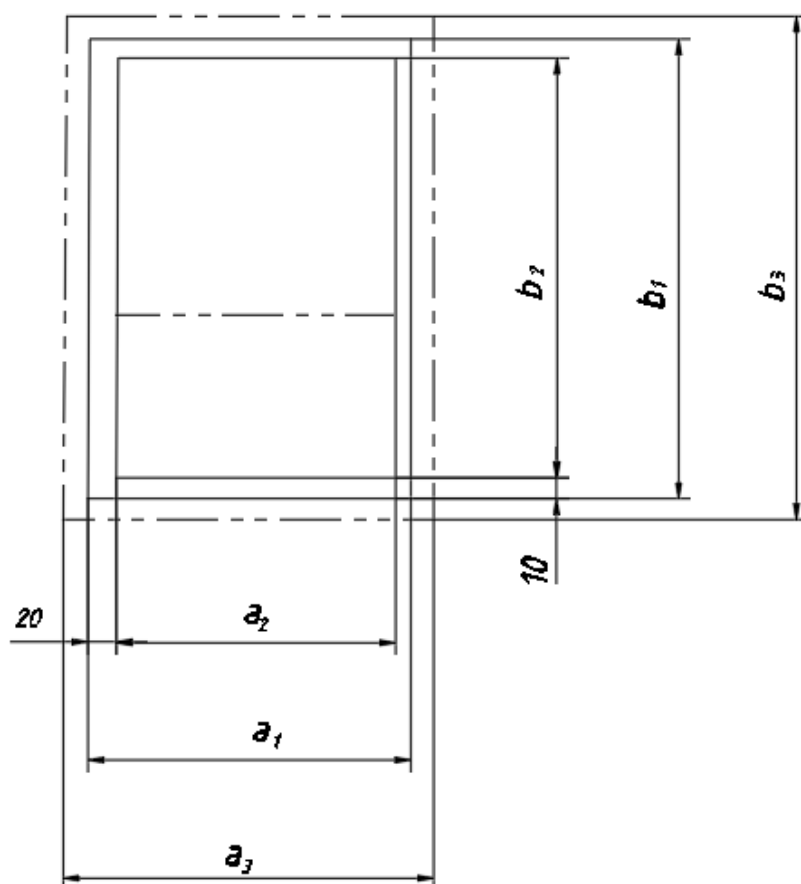


Рис. 8.2

841	A0				
594	A1			A1.0	
420	A2		A2.1	A2.0	
297	A4	A3	A3.2	A3.1	A3.0
	0	210	420	594	841
	1 189				

Рис. 8.3

У разі потреби використовують подовжені формати, які утворюються комбінуванням розмірів короткої сторони формату серії А (наприклад, А3) з розмірами довшої сторони іншого, більшого за розміром формату серії А (наприклад, А1). Утворений формат матиме позначку А3.1. Утворення подовжених форматів показано на рис. 8.3.

Позначку форматів слід розміщувати у правому куті нижнього берега. Береги утворені сторонами формату та рамкою, що обмежує поле кресленика, повинні бути з усіх сторін. Ширина берега з лівої сторони повинна бути 20 мм. Усі інші береги повинні становити 10 мм. Рамку, що обмежує поле кресленика, виконують суцільною товстою лінією типу 01.2 відповідно до ДСТУ ISO 128-24.

8.1.2. Основні написи

8.1.2.1. Основний напис (ДСТУ ГОСТ 2.104:2006)

Розміри і форму основних написів регламентує стандарт ДСТУ ГОСТ 2.104.

Основний напис – це сукупність характеристик виробу і виконаного на нього конструкторського документа, які зазначають разом з установленими підписами та відомостями про зміну документа в спеціальному штампі, розташованому в правому куті над нижньою лінією рамки поля документа (ДСТУ 3321).

На форматах А0 – А3 основний напис розміщують у правому нижньому куті поля кресленика. Ці формати розташовують лише горизонтально. У форматі А4 його розміщують по короткій стороні. Цей формат розташовують лише вертикально (ДСТУ ISO 5457). Напрямок читання кресленика та основного напису повинен бути однаковим.

Розглянемо форму основного напису та додаткових граф до них відповідно до ДСТУ ГОСТ 2.104. За вказаним стандартом для графічної документації рекомендуються основний напис за формою 1 (рис. 8.4).

Основний напис для креслеників і схем:

Форма 1

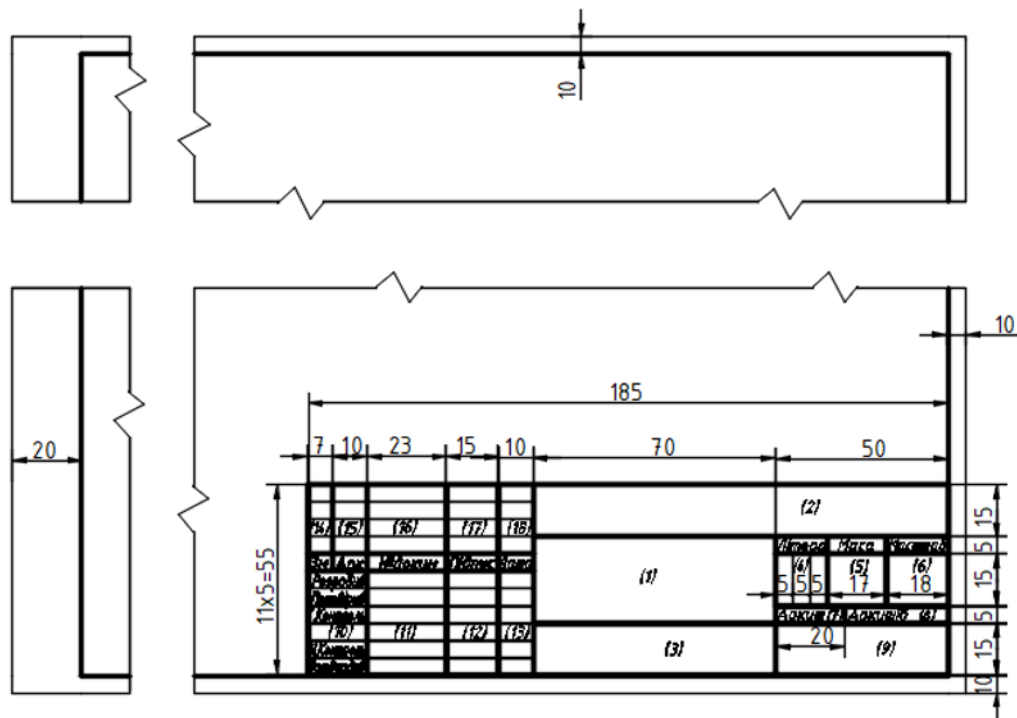


Рис. 8.4

Відповідно до ДСТУ ГОСТ 2.104 у графах основного напису вказують:

- (1) – назву виробу;
- (2) – позначку документа;
- (3) – позначку матеріалу деталі (графу заповнюють лише на креслениках деталей);
- (4) – літеру, яка присвоєна цьому документу;
- (5) – масу виробу;
- (6) – масштаб;
- (7) – порядковий номер аркуша (для документів, які складаються з одного аркуша, графу не заповнюють);
- (8) – загальну кількість аркушів документа (графу заповнюють лише на першому аркуші);
- (9) – найменування або код організації, що випускає документ (графу не заповнюють, якщо код міститься у позначці документа);

- (10) – характер роботи, яка виконується особою, що підписує документ;
- (11) – прізвище особи, яка підписала документ;
- (12) – підпис особи, прізвище якої вказано у графі 11;
- (13) – дату підпису документа;
- (14) – (18) – записують дані про зміни, які внесені у документ.

Відповідно ДСТУ ГОСТ 2.104 (додаток А) використовують додаткові графи до основного напису, у які заносять реквізити щодо затвердження, копіювання документа і ін. У разі потреби, у графу 36 заносять реквізити про одиницю вимірювання; у графу 37 – позначку методу проєкціювання (графу заповнюють, коли метод проєкціювання не у першому октанті); для електронних документів позначку формату аркуша, на якому буде відповідати вказаний у графі 6 масштаб вказують у графі 32; у графі 40 – код виду документа у відповідності до характеру використання: 1 – оригінал, 2 – правдник, 3 – дублікат, 4 – копія; додатковий код електронної структури виробу відповідно до ДСТУ ISO 10303, якщо структура експортується з AutoCAD до інших систем. Документи у електронній формі у реквізитній частині повинні містити позначку формату аркуша паперового носія, при виведенні на який масштаб зображення буде відповідати вказаному.

8.1.2.2. Основний напис (ДСТУ EN ISO 7200:2005)

Іншу форму і зміст граф основних написів (*main inscriptions*) при розробленні технічної документації регламентує стандарт ДСТУ EN ISO 7200. Відповідно до зазначеного стандарту основний напис має ширину 180 мм (рис. 8.5, рис. 8.6). На рис. 8.5 показано компактну форму основного напису з максимальною площею для відображення змісту документа.

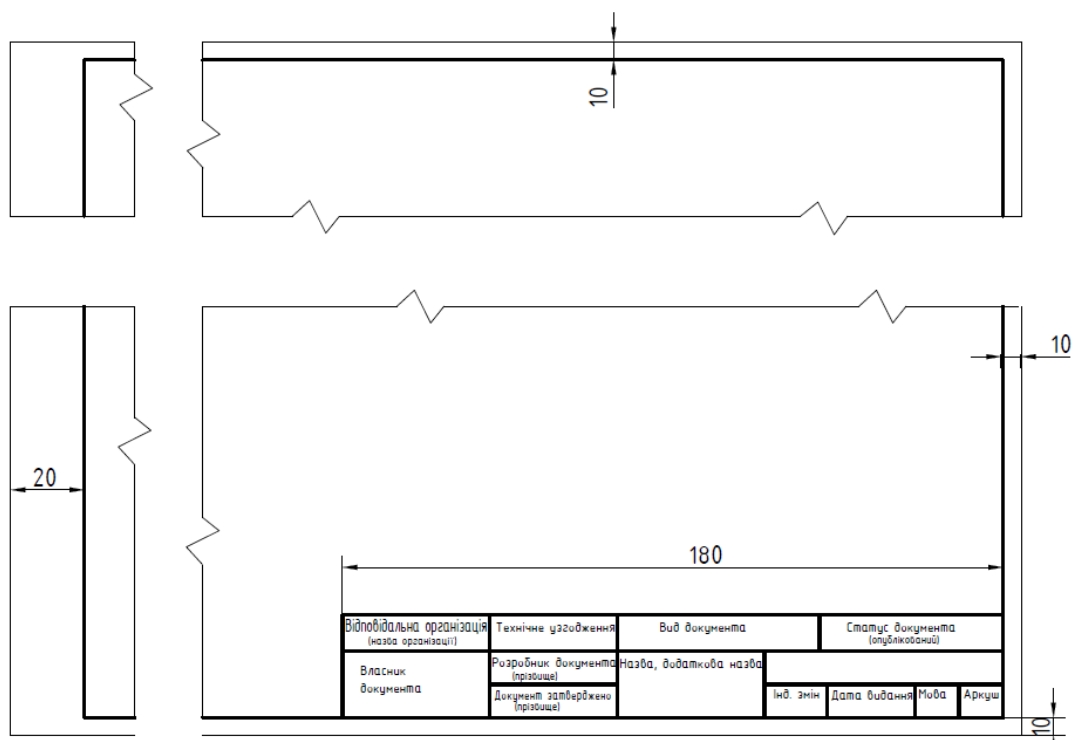


Рис. 8.5

На рис. 8.6 показано основний напис, у якому графі з прізвищами осіб винесені у окремий рядок і збільшено графу власника документа.

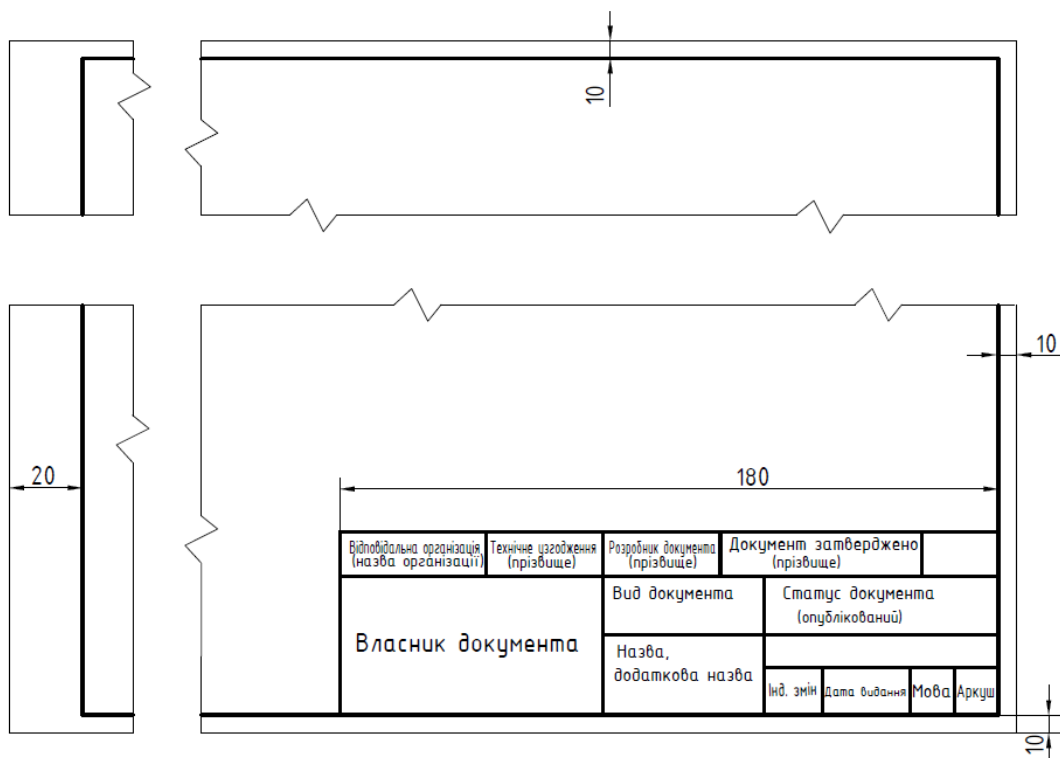


Рис. 8.6

Наведені на рис. 8.5 і рис. 8.6 основні написи можна використовувати у технічних креслениках і у текстових документах. При ширині 180 мм вони вписуються у формат аркуша А4, який рекомендовано розташовувати лише вертикально, уздовж його короткої сторони. За рекомендацією ДСТУ ISO 5457 інші формати розташовують лише горизонтально і основні написи розміщують у нижньому правому куті цих форматів.

Відповідно до стандарту ДСТУ EN ISO 7200 графи основного напису поділяються на ототожнювальні, описові і адміністративні. Частина цих граф є обов'язковою, інша – ні.

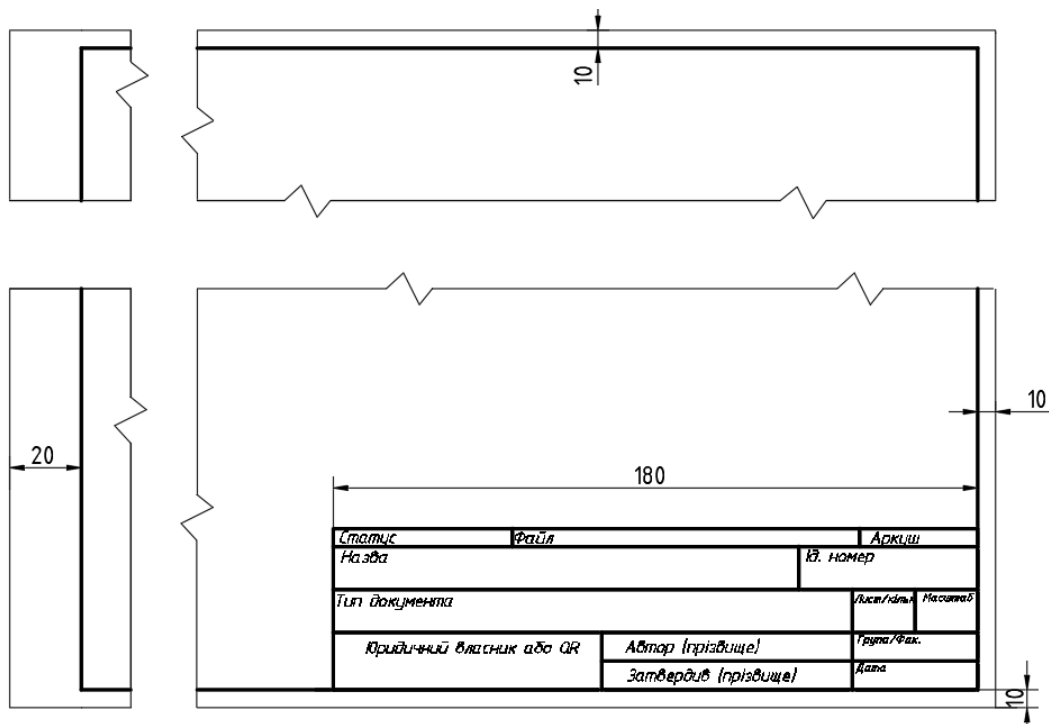


Рис. 8.7

Форма основних написів регламентованих стандартом ДСТУ EN ISO 7200 більшою мірою орієнтована на їх використання у автоматизованих системах керування документуванням. У процесі обміну документацією графа може бути частиною багатьох різних документів і за допомогою комп'ютера може здійснюватись передача даних завдяки застосуванню функцій ототожнення, внесення змін та поєднання. З цих причин кількість граф у основних написах мінімальна, а їх розмір такий, що забезпечує безпомилкове внесення інформації. Розміри і розташування граф

можуть змінюватись. На рис. 8.7 наведено основний напис, який пропонується для використання у навчальному процесі. Він містить як обов'язкові, так і допоміжні графи для відображення необхідної інформації.

Якщо потрібно вказати додаткову інформацію, наприклад, символ проєкціювання, матеріал, інші дані, їх вказують поза основним написом у додаткових графах.

8.2. Масштаби

При зображенні технічних об'єктів на креслениках виникає необхідність виконання їх не лише за їх дійсними розмірами, але і у збільшуваному або зменшуваному вигляді. Для цього використовують відповідні масштаби, значення яких регламентується ДСТУ ISO 5455 (табл. 8.2).

Масштаб (scale) – це відношення лінійного розміру елемента предмета, зображуваного на оригіналі кресленика, до реального лінійного розміру цього самого елемента того самого предмета (ДСТУ ISO 5455).

Відповідно до стандарту ДСТУ ISO 5455 використовують наступні масштаби:

- масштаб натуральної величини (full scale) – масштаб, за якого відношення становить 1:1;
- масштаб збільшування (enlargement scale) – масштаб, за якого відношення більше, ніж 1:1;
- масштаб зменшування (reduction scale) – масштаб, за якого відношення менше, ніж 1:1.

Таблиця 8.2. Ряди масштабів

Категорія	Рекомендовані ряди масштабів		
Масштаби збільшування	50:1	20:1	10:1
	5:1	2:1	
Масштаб натуральної величини	—	—	1:1
Масштаб зменшування	1:2	1:5	1:10
	1:20	1:50	1:100
	1:200	1:500	1:1000
	1:2000	1:5000	1:10000

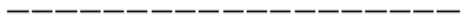
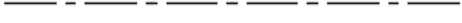
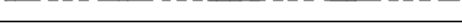
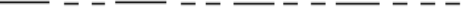
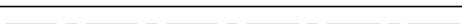
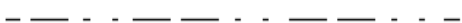
Примітка: За необхідності застосовувати більші чи менші масштаби ніж ті, що наведені у табл. 2.2, рекомендований ряд масштабів можна розширити у тому чи іншому напрямку за умови, що необхідний масштаб буде утворений з рекомендованого шляхом множення його на 10 у цілому степені.

Познаку масштабу, що використовується на кресленнику, записують у відповідну графу основного напису. Якщо на цьому ж кресленнику є зображення, масштаб яких відрізняється від вказаного у основному написі, його вказують поряд із позначкою цього зображення (виду, розрізу, виносного елемента тощо). В усіх випадках обраний масштаб повинен забезпечувати чітке виконання зображення.

8.3. Лінії

Лінії (lines) на технічних кресленнях виконують відповідно до ДСТУ ISO 128-20, який встановлює основні типи ліній (табл. 8.3).

Таблиця 8.3. Основні типи ліній

Номер типу ліній	Зображення	Назва лінії
01		Суцільна
02		Штрихова
03		Штрихова розріджена
04		Довгоштрихово-пунктирна
05		Довгоштрихово-двопунктирна
06		Довгоштрихово-трипунктирна
07		Пунктирна
08		Довгоштрихово-короткоштрихова
09		Довгоштрихово-двокороткоштрихова
10		Штриховопунктирна
11		Двоштрихово-пунктирна
12		Штрихово-двопунктирна
13		Двоштрихово-двопунктирна
14		Штрихово-трипунктирна
15		Двоштрихово-трипунктирна

Залежно від виду та розміру зображення товщина ліній d може бути обрана з наступного ряду: 0.13; 0.18; 0.25; 0.35; 0.5; 0.7; 1.4; 2 (розміри подано у міліметрах). Співвідношення надтової, тової та тонкої ліній має бути 4:2:1.

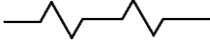
На одному і тому ж кресленнику параметри лінії, яка використовується, змінювати не можна.

Залежно від виконання, кожен з основних типів ліній може мати чотири різновиди: лінія утворюється накресленням від руки, у вигляді рівномірно хвилястої, рівномірно спіральної та рівномірно зигзагової.

На машинобудівних креслениках рекомендовано застосовувати для однієї і тієї ж лінії дві товщини. Товщини ліній мають співвідноситись між собою у пропорції 1:2.

Застосування ліній на машинобудівних креслениках визначає ДСТУ ISO 128-24. Типи ліній, що рекомендуються вказаним стандартом наведено у табл. 8.4. Першою частиною номера лінії у таблиці є номер основної лінії.

Таблиця 8.4. Застосування типів ліній

Номер типу ліній	Назва та зображення лінії	Застосування
1	2	3
01.1	Суцільна тонка лінія 	Уявні лінії переходу, розмірні лінії, виносні лінії, виноски та полиці ліній-виносок, штриховка, контури накладених перерізів, короткі центрові лінії, контур гвинтової нарізі по внутрішньому діаметру, діагоналі для позначання плоских поверхонь, лінії згинання на розгортках і деталях після процесу згинання, позначення виносних елементів, положення повторюваних елементів (наприклад, внутрішніх діаметрів зубчастих коліс), позначення розміщення багат шарових (пластинчатих) елементів (наприклад, пластин трансформатора), проекційвальні лінії, лінії координатної сітки
	Суцільна тонка лінія виконана від руки 	Виконана вручну позначка межі частинних або переривчастих видів (видів з розривами), розрізів і перерізів, якщо ця межа не є лінією симетрії чи центральною лінією
	Суцільна тонка лінія із зигзагами 	Інструментально виконана позначка межі частинних або переривчастих видів (видів з розривами) і перерізів, якщо ця межа не є лінією симетрії чи центральною лінією

1	2	3
01.2	Суцільна товста лінія 	Видимі грані; видимі контури; контур гвинтової нарізі по зовнішньому діаметру; межа ділянки гвинтової нарізі з повним профілем; зображення основних ліній на діаграмах, картах, графіках; лінії систем (металевих інженерних конструкцій); лінії роз'єднання форм на литих деталях; лінії вказівних стрілок розрізів і перерізів
02.1	Штрихова тонка лінія 	Невидимі грані, невидимі контури
02.2	Штрихова товста лінія 	Позначення поверхні, що підлягає обробленню (наприклад, термічному)
04.1	Довгоштрихово-пунктирна тонка лінія 	Осьові лінії; лінії симетрії; ділильні кола зубчастих коліс; центрові кола
04.2	Довгоштрихово-пунктирна товста лінія 	Позначення (обмежених) площ поверхонь обов'язкового оброблення (наприклад, термічного); положення розтинальних площин
05.1	Довгоштрихово-двопунктирна тонка лінія 	Контури суміжних деталей; граничне положення рухомих деталей; центроїдальні лінії; початкові контури перед наданням форми; частини предмета, що розміщені перед розтинальною площиною; контури можливих положень; контури готової деталі на зображенні заготовки; позначення окремих зон / площ; контур заданого виступового поля допуску (розташування)

8.4. Шрифти

Усі написи, що застосовують на технічній документації, виконують креслярським шрифтом, параметри якого стандартизовані. Стандарт ДСТУ ISO 3098–0 встановлює наступні типи *шрифтів (fonts)*:

- шрифт типу А, вертикальний (V);
- шрифт типу А, похилий (S);
- шрифт типу В, вертикальний (V);

- шрифт типу В, похилий (S);
- шрифт типу СА, вертикальний (V);
- шрифт типу СА, похилий (S);
- шрифт типу СВ, вертикальний (V);
- шрифт типу СВ, похилий (S).

Примітка.

Похилий шрифт креслять з нахилом у 75°; при використанні шрифтів типу СА і СВ у разі застосування числового програмного керування засобами автоматизованого проектування слід уточнювати їх параметри відповідно ISO 3098– 5.

Розмір шрифту визначають за номінальним розміром (висотою h зовнішнього контуру великих літер). Рекомендований зазначеним стандартом ряд номінальних розмірів наступний: 1.8; 2.5; 3.5; 5; 7; 10; 14; 20. Інші параметри визначають відношенням їх значень до розміру шрифту.

Розміри шрифту типу В подано у табл. 8.5.

Таблиця 8.5. Розмір шрифту типу В

Позначки		Кратність h	Розміри							
1		2	3							
Висота шрифту	h	(10/10)	1.8	2.5	3.5	5	7	10	14	20
Висота малих літер (x -висота)	c_1	(7/10) h	1.26	1.75	2.5 ⁴⁾	3.5	5 ⁴⁾	7	10 ⁴⁾	14
Висота берега для нижнього відростка малих літер	c_2	(3/10) h	0.54	0.75	1.05	1.5	2.1	3	4.2	6
Висота берега для верхнього відростка малих літер	c_3	(3/10) h	0.54	0.75	1.05	1.5	2.1	3	4.2	6
Висота берега для діакритичних знаків (у випадку великих літер)	f	(4/10) h	0.72	1	1.4	2	2.8	4	5.6	8
Проміжок між знаками	a	(2/10) h	0.36	0.5	0.7	1	1.4	2	2.8	4
Найменша відстань між базовими лініями ¹⁾	b_1	(19/10) h	3.42	4.75	6.65	9.5	13.3	19	26.6	38

1		2	3							
Найменша відстань між базовими лініями ²⁾	b ₂	(15/10) h	2.7	3.75	5.25	7.5	10.5	15	21	30
Найменша відстань між базовими лініями ³⁾	b ₃	(13/10) h	2.34	3.25	4.55	6.5	9.1	13	18.2	26
Проміжок між словами	e	(6/10) h	1.08	1.5	2.1	3	4.2	6	8.4	12
Товщина ліній	d	(1/10) h	0.18	0.25	0.35	0.5	0.7	1	1.4	2

¹⁾ спосіб написання: у випадку великих і малих літер з діакритичними знаками;

²⁾ спосіб написання: у випадку великих і малих літер без діакритичних знаків;

³⁾ спосіб написання: тільки у випадку великих літер;

⁴⁾ значення округлені.

Шрифт креслять на допоміжній сітці утвореній лініями, у проміжках між якими вписують літери. На рис. 8.8 показано приклад виконання літери шрифту типу В.

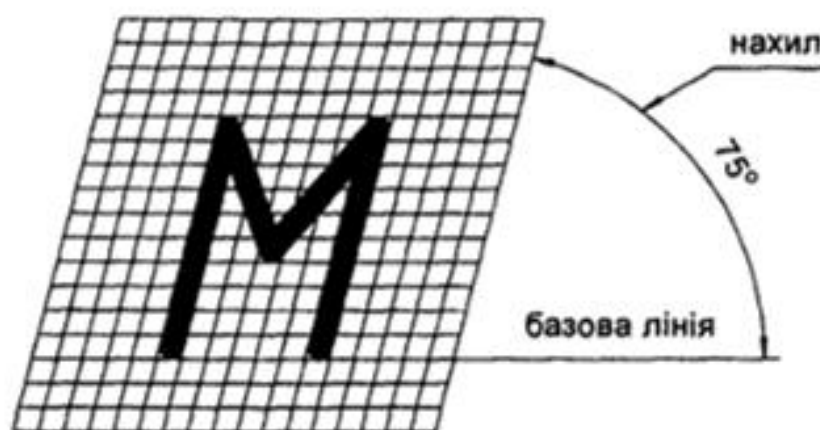


Рис. 8.8

Товщина ліній, якими виконується шрифт, повинна відповідати стандарту ДСТУ ISO 128-20. Між літерами (знаками) розмір повинен дорівнювати подвійній товщині лінії, якою виконується літера. У окремих випадках цей розмір можна скоротити до однієї товщини лінії (наприклад, для літер Г, Т, ін.).

Приклади виконання літер, цифр і знаків шрифту типу В наведено на рис. 8.9 і рис. 8.10.

АБВГДЕЄЖЗИІЙКЛМН

ОПРСТУФХЦЧШЩЬЮЯ

Рис. 8.9

абвгдеєжзиіїйклмн

опрстуфхцчшщьюя

Рис. 8.10

Примітка: у стандарті ДСТУ ISO 3098 українська абетка відсутня. Шрифт на рис. 2.7 і рис. 2.8 наведено у відповідності до ГОСТ 2.304-81, який не є чинним, але конфігурація літер і знаків близька до шрифту кириличної абетки, яка подана у стандарті ДСТУ ISO 3098.

На рис. 8.11 показано арабські цифри, на рис. 8.12 – символи, що відповідають стандарту ДСТУ ISO 3098 – 0.

1234567890

Рис. 8.11

При налаштуванні форматів та шаблонів файлів креслеників для виконання документації у AutoCAD у навчальному процесі застосовують шрифт ISOCPEUR.

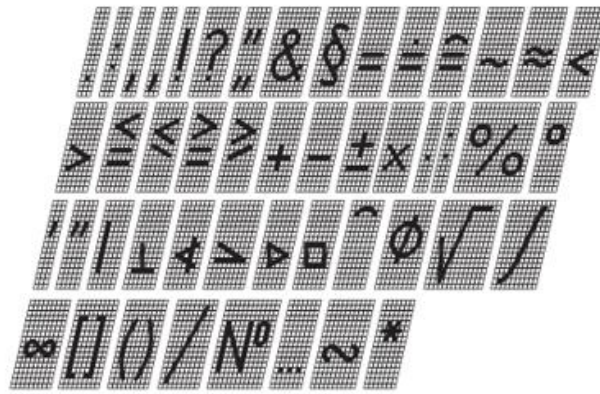


Рис. 8.12

Запитання для самоперевірки

1. Як позначають основні формати кресленика?
2. Що таке масштаб?
3. Які масштаби рекомендується застосовувати?
4. Як вказують масштаб на кресленику?
5. Які основні типи ліній застосовують на кресленику?
6. Якою лінією креслять контур деталі?
7. Якою лінією наносять розміри?
8. Якою лінією виконують штриховку у розрізах і перерізах?
9. Яку лінію застосовують при зазначенні січних площин у розрізах, які позначають?
10. У яких випадках використовують тонку суцільну лінію зі зламом?
11. Якою лінією креслять згини на розгортках деталей?
12. Які шрифти рекомендовані ДСТУ ISO 3098–0?
13. Яка форма основного напису застосовується при розробленні конструкторської документації?

РОЗДІЛ 9. ЗОБРАЖЕННЯ: ВИДИ, РОЗРІЗИ, ПЕРЕРІЗИ

У радіотехніці, електротехніці, приладобудуванні, машинобудуванні, інших галузях техніки зображення об'єктів виконують з дотриманням *методу ортогонального проєкціювання (orthogonal projection method)* (ДСТУ ISO 5456-1, ДСТУ ISO 5456-2).

Залежно від змісту зображення на кресленику поділяють на *види (views)*, *розрізи (cuts)* і *перерізи (sections)* (ДСТУ ISO 128-40).

9.1. Види

При виконанні на технічних креслениках зображень предметів методом ортогонального проєкціювання за основні площини проєкцій приймають шість граней куба (рис. 9.1). Зображення отримані проєкціюванням об'єкта на грані куба називають основними видами. Об'єкт розташовують відносно фронтальної площини проєкцій так, щоб його зображення на цю площину було найбільш інформативним. Це зображення називають *головним видом (principal view)*. Залежно від складності об'єкта, кресленик якого виконується, крім шести площин проєкцій можуть використовуватись додаткові площини проєкцій.

При способі проєкціювання у першому квадранті види орієнтують відносно головного (виду спереду) наступним чином:

- вид зверху (В) розміщують знизу;
- вид знизу (Е) розміщують зверху;
- вид зліва (С) розміщують справа;
- вид справа (D) розміщують зліва;
- вид ззаду (F) розміщують як зручніше, або зліва, або справа.

При суміщенні площин проєкцій з площиною кресленика зображення предмета займають положення як показано на рис. 9.2.

Якщо види розташовані у проекційному зв'язку, вони не підписуються.

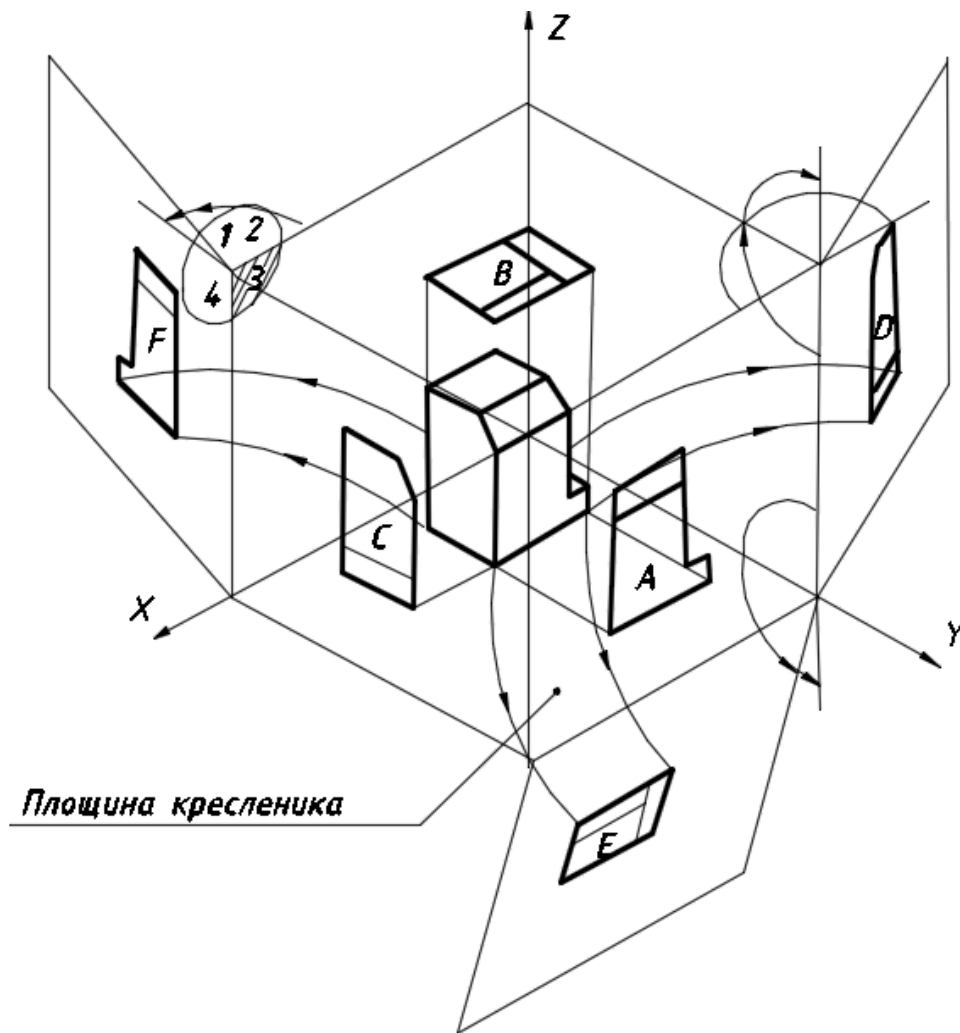


Рис. 9.3

При способі проєкціювання у третьому квадранті види орієнтують відносно головного (виду спереду) наступним чином (рис. 9.3):

- вид зверху (B) розміщують зверху;
- вид знизу (E) розміщують знизу;
- вид зліва (C) розміщують зліва;
- вид справа (D) розміщують справа;
- вид ззаду (F) розміщують як зручніше, або зліва, або справа.

У цьому випадку при суміщенні площин проєкцій з площиною кресленика зображення предмета займають положення як показано на рис. 9.4.

Зазвичай *головний вид* деталі обирають в положенні її виготовлення. У цьому він обирається незалежно від розташування деталі на складальному кресленнику. Головний вид повинен дати максимальне уявлення про форму і розміри об'єкта. Від правильного вибору головного виду залежить загальна кількість зображень. При створенні креслеників кількість зображень об'єкта обирають *мінімальною*, але такою, щоб його форма була відображена повністю, і *достатньою*, щоб була можливість нанесення усіх необхідних розмірів потрібних для виготовлення деталі.

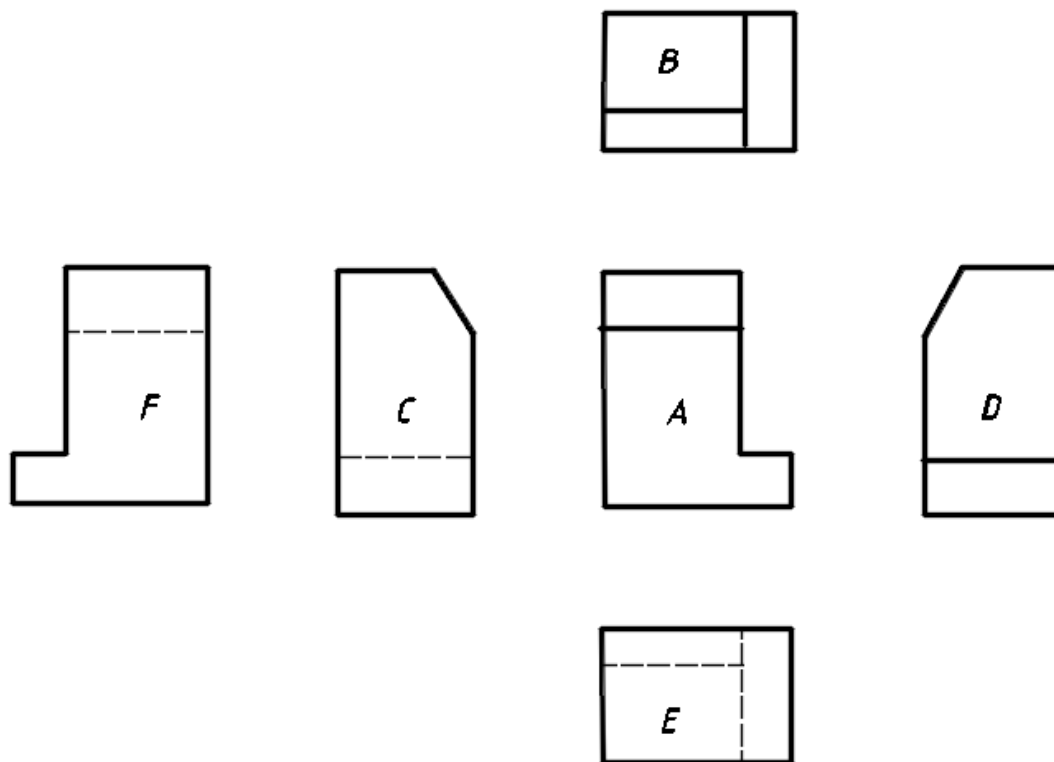


Рис. 9.4

На рис. 9.5, а показано розташування зображень при обранні способу першоквадрантного проєкціювання. На рис. 9.5, б кресленик деталі виконано способом третьоквадрантного проєкціювання.

На рис. 9.5 зображена цанга. Це деталь з внутрішнім циліндричним отвором, крізь який проходить дріт або кабель. Деталь є складовою частиною роз'ємів, що використовуються у радіотехніці, електроніці, електротехніці і т.п. Головний вид деталі обраний таким чином, що її вісь обертання розташована горизонтально.

Це обумовлено тим, що переважна більшість поверхонь деталі є поверхнями обертання і у такому положенні її виготовляють. Шліци профрезеровані через усю конусну частину деталі, їх глибина дорівнює довжині конуса. Деталь механічно оброблялась і однією із завершальних операцій її виготовлення було нанесення нарізі. Тому на головному виді вона розвернута за напрямком виконання цієї технологічної операції. Кількість зображень обрана мінімальною, але достатньою для розуміння будови деталі. На рисунках не показано виносний елемент зовнішньої проточки нарізі.

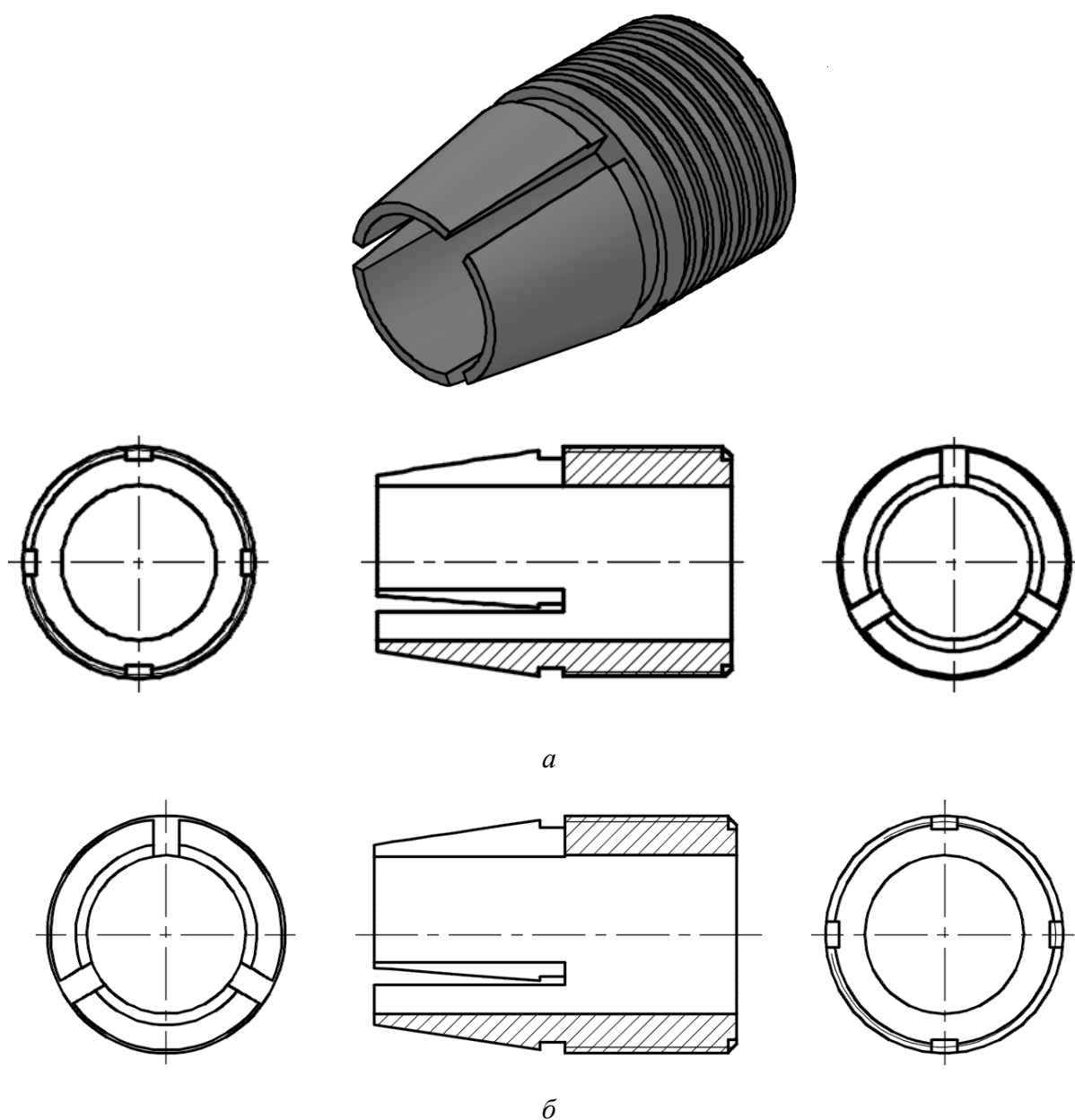


Рис. 9.5

При виконанні технічних креслеників відповідно до ДСТУ ISO 5456-2 у випадку показаному на рис. 9.5, б у додатковій графі основного напису необхідно вказати спосіб проєкціювання, що застосовується на даному документі.

У випадку, коли види на кресленику розташовують не у проєкційному зв'язку, їх позначають великою літерою латинської абетки, яку розташовують безпосередньо над відповідним видом. Ця літера має бути такою ж як і літера над посилальною стрілкою, що вказує напрям погляду при отриманні відповідного виду.

Відповідно до стандарту ДСТУ ISO 128-30 види бувають:

- *види, які обумовлені обраним способом проєкціювання;*
- *винесені види;*
- *частинні види;*
- *додаткові види;*
- *місцеві види.*

9.1.1. Винесені види

Винесені види (removed views) – це види, що не розміщують у безпосередньому проєкційному зв'язку з головним зображенням. У цьому випадку напрям проєкціювання вказується посилальною стрілкою на відповідному зображенні і позначається великою літерою латинської абетки. Розмір цієї літери має бути у 1.4 рази більшим за висоту розмірного числа на даному кресленику. При цьому рекомендовано перевагу віддавати шрифту типу В без нахилу відповідно до ДСТУ ISO 3098-0. Можна використовувати і інші шрифти цього стандарту.

9.1.2. Частинні види

Коли виникає потреба показати конструктивні особливості деталі, але зображення повного виду використовувати недоцільно, застосовують *частинні види (partial views)*. Частинний вид обмежують тонкою суцільною лінією із зигзагами (01.1.19 згідно з ISO 128-24) (рис. 9.6), яка може виходити за лінії контуру зображеної деталі.

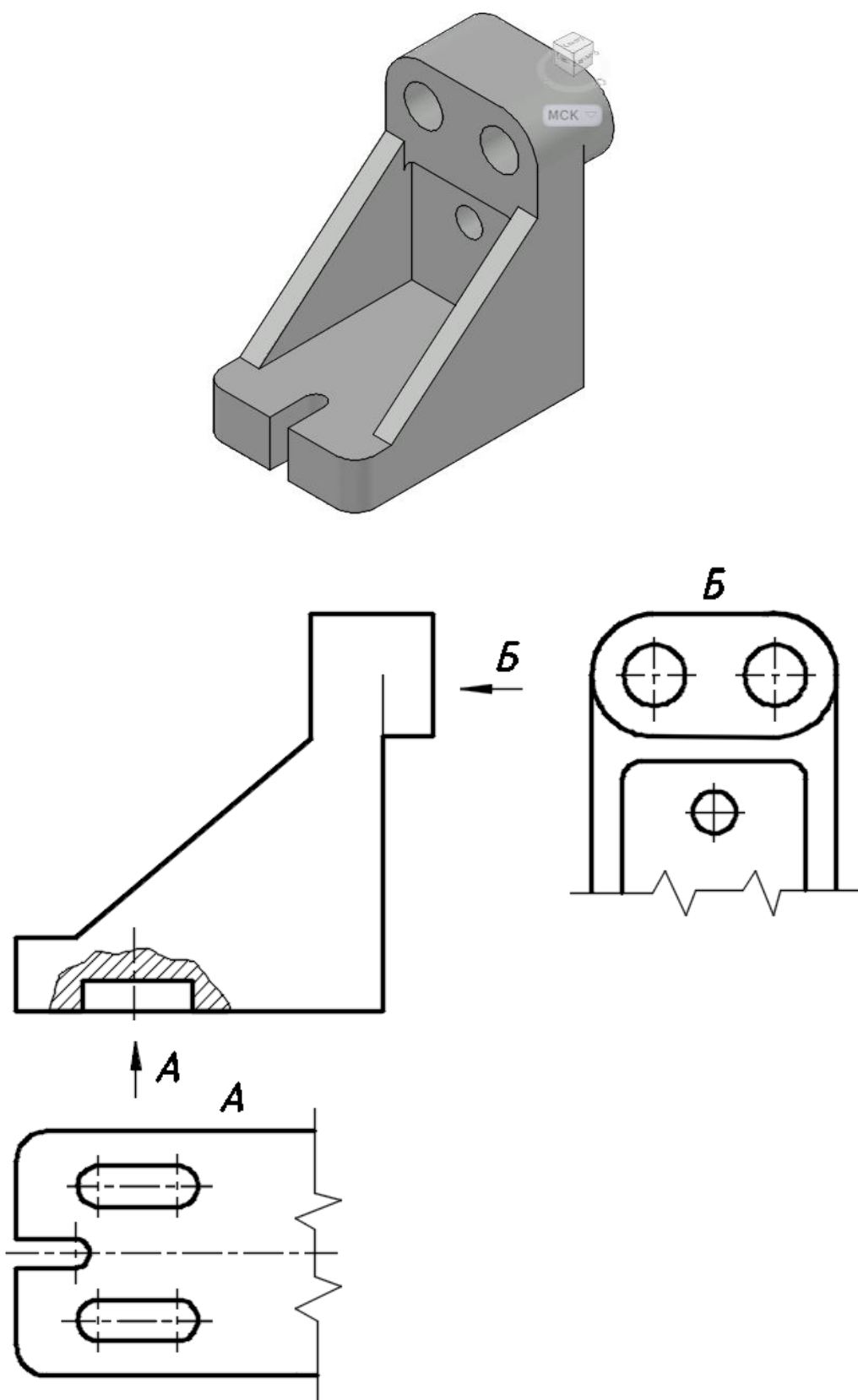


Рис. 9.6

Частинні види симетричних деталей можна зобразити у вигляді симетричної частини цілої деталі (рис. 9.7).

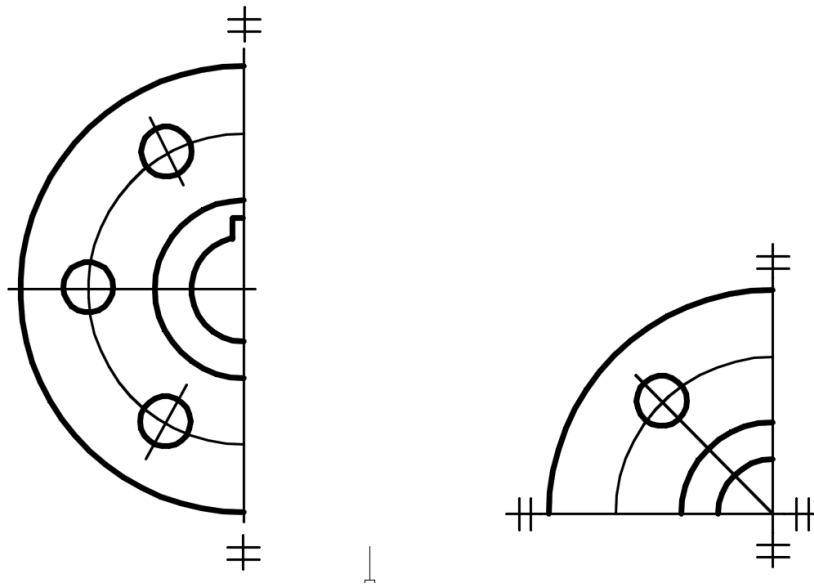
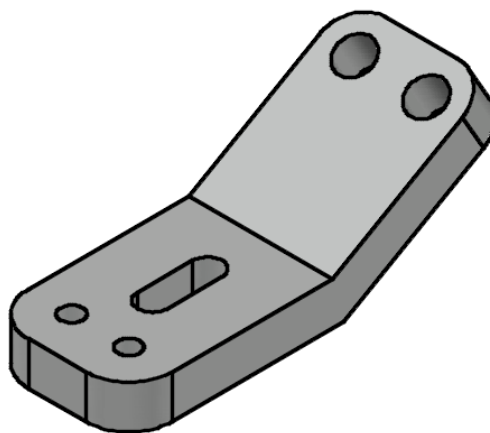


Рис. 9.7

При цьому лінію симетрії слід позначити умовною графічною позначкою показаною на рис. 9.7.

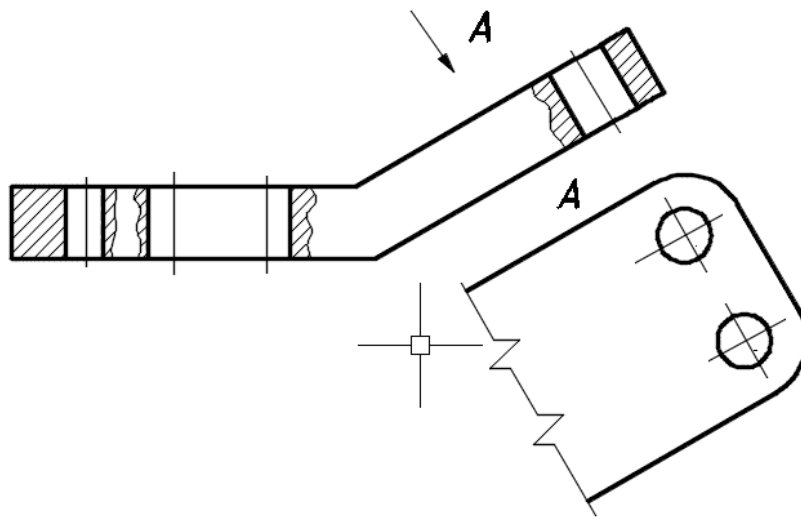
9.1.3. Додаткові види

Додаткові види (special position of views) отримують при проєкціюванні предмета на площини не паралельні основним площинам проєкцій. На рис. 9.8, а показано деталь, будова якої потребує при виконанні проєкційного креслення застосування додаткового виду. Приклад позначення додаткового виду розташованого у проєкційному зв'язку показано на рис. 9.8, б.



a

Рис. 9.8



б

Рис. 9.8. Закінчення (див. також с. 202)

Положення зображення додаткового виду може відрізнитись від того, яке вказано *посилальною стрілкою (reference arrow)*. Наприклад, бути поверненим. У цьому випадку над допоміжним видом слід вказати його позначку великою літерою, *дугоподібну стрілку (arc arrow)* і кут, на який повернуто вид. На рис. 9.9 показано зображення додаткового виду у положенні повернутому на 30° .

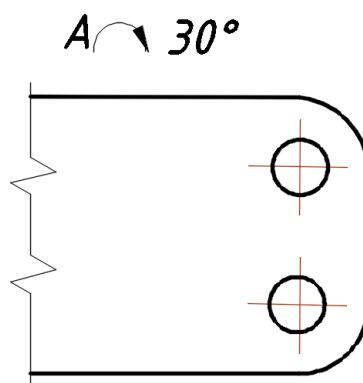


Рис. 9.9

9.1.4. Місцеві види

Місцеві види (local views) застосовують у разі потреби більш повного розкриття форми деталі і недоцільності виконання її повного виду. Місцеві види виконують способом проєкціювання у третьому квадранті незалежно від застосування

обраного способу отримання основного зображення на кресленику (рис. 9.10). При цьому місцевий вид поєднується з основним зображенням лінією типу 04.1 (ДСТУ ISO 128-24).

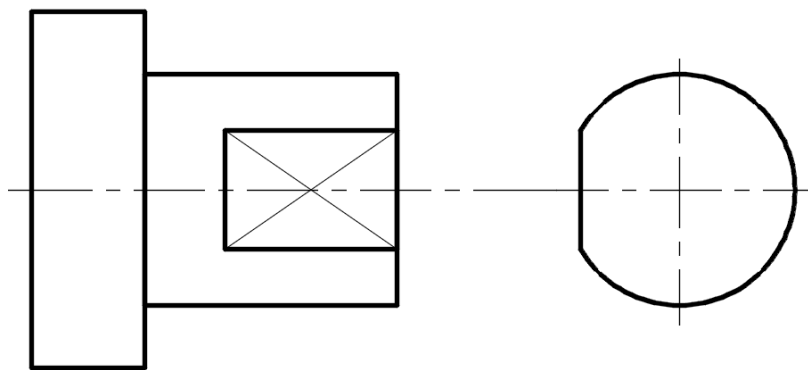


Рис. 9.10

9.2. Розрізи

Зображення, що розміщують на кресленику деталі, повинні містити повну інформацію про її зовнішню і внутрішню будову. Якщо деталь має внутрішні порожнини, їх невидимі контури показують штриховою лінією типу 02.1 (ДСТУ ISO 128-24). У разі складної внутрішньої будови деталі велика кількість штрихових ліній ускладнює розуміння її кресленика. У такому випадку використовувати лінії невидимого контуру на кресленику деталі не рекомендується. Щоб повністю розкрити внутрішню будову деталі використовують *розрізи/перізи (cuts/sections)*. При цьому деталь розтинають уявною однією або декількома площинами і ту її частину, що знаходиться ближче до спостерігача умовно відкидають. Іншу частину деталі проєкціюють на відповідну площину проєкцій. На розрізі показують зображення деталі, яке знаходиться у січній площині і за напрямком погляду за нею. Та частина зображення, що співпадає з січною площиною, виділяється на кресленику штриховкою. Контур деталі і її внутрішні обриси показують суцільною товстою лінією типу 01.2 (ДСТУ ISO 128-24). Порожнини, через які проходить січна площина не штрихують. Штриховку виконують відповідно до ДСТУ ISO 128-50 тонкою лінією типу 01.1.15 (ДСТУ ISO 128-24).

Розріз (cuts) є умовним зображенням. Він жодним чином не впливає на усі інші зображення деталі. При виконанні іншого розрізу цієї ж деталі її вважають цілою. Наступний розріз виконують за тим же алгоритмом. Тобто розрізи однієї і тієї ж деталі виконуються незалежно один від одного.

Загальні правила розрізів і перерізів регламентують стандарти ДСТУ ISO 128-40 і ДСТУ ISO 128-44. Уявну площину, яку застосовують при виконанні розрізів і перерізів називають *січною*. У відповідності до ДСТУ ISO 128-40 *січна площина (cutting plane)* – уявна площина, у якій предмет показаний розрізаним. *Лінія січної площини (cutting line)* – лінія, що вказує положення січної площини, чи частина осьової лінії у випадку двох і більше січних площин.

Розріз (section/cut) – зображення, що додатково показує контури деталі поза січною площиною (ДСТУ ISO 128-40).

Усі положення стандарту ДСТУ ISO 128-30 щодо розташування видів застосовуються при зображенні розрізів і перерізів.

Положення січних площин на зображеннях показують початковим і кінцевим штрихами довгоштрихово-пунктирної товстої лінії типу 04.2 (ДСТУ ISO 128-24), до яких під прямим кутом розташовані *вказівні стрілки (section arrow)*, які вказують напрям погляду (проекціювання) (рис. 9.11).



Рис. 9.11

Розріз/переріз позначають великою літерою, яку записують біля кожної з вказівних стрілок, що показують напрямок погляду для відповідного розрізу/перерізу, на кінцях лінії січної площини. Для цього використовують велику літеру латинської абетки, яку розташовують паралельно до основного напису кресленика.

Над зображенням розрізу чи перерізу розміщують його позначення, що складається з двох літер, якими позначена січна площина, написаних через дефіс. На одному і тому ж кресленику літери ідентифікації не повинні повторюватись. Розміри умовних графічних позначень, що використовуються при позначенні розрізів і перерізів слід узгоджувати з розмірами інших написів на кресленику. Висоту літери, що ідентифікує розріз/переріз h , обирають більшою у 1.4 рази ніж висота розмірних чисел на кресленику. Рекомендовано використовувати вертикальний шрифт типу В (ДСТУ ISO 3098-2), але можна використовувати і інші типи шрифтів цього стандарту.

Стрілки креслять суцільною товстою лінією типу 01.2.8 (ДСТУ ISO 128-24). Розмір вказівної стрілки під кутом 30° або 90° визначається висотою літери ідентифікації. Для машинобудівних креслеників переважно застосовують вказівні стрілки з кутом 30° .

Положення січної площини (площин) показують довгоштрихово-пунктирною товстою лінією (лінією січної площини) типу 04.2 (ДСТУ ISO 128-24). У разі зміни положення січної площини лінію січної площини показують лише у місцях, де відбулась зміна.

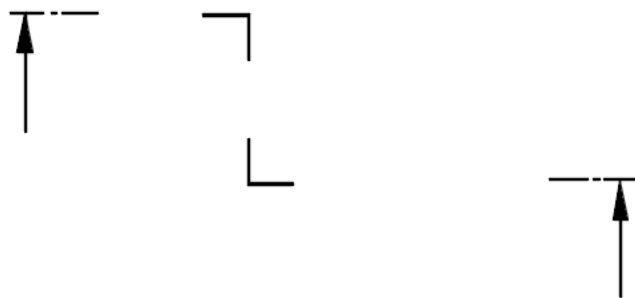


Рис. 9.12

Якщо необхідно, лінія січної площини може бути показана у повну її довжину. У цьому випадку застосовують довгоштрихово-пунктирну тонку лінію типу 04.1 (ДСТУ ISO 128-24). Якщо виникає потреба частково показати січну площину поза предметом, використовують довгоштрихово-пунктирну товсту лінію типу 04.2, а місця зміни січних площин показують товстою суцільною лінією так, як при виконанні розрізу паралельними площинами (рис. 9.12).

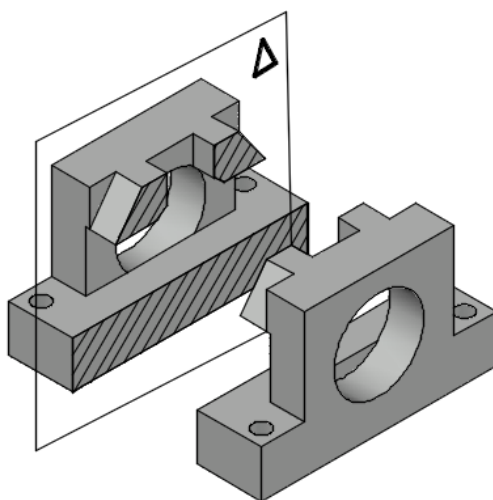
На полі кресленика розріз/переріз можна розташовувати у довільному місці забезпечивши його чітке прочитування. Положення цього зображення не обов'язково узгоджувати з видом, на якому показана січна площина. Над зображенням розрізу (винесеного перерізу) розміщують літери ідентифікації написані через дефіс.

Відповідно до ДСТУ ISO 128-40 класифікація розрізів наступна:

- *розрізи, що виконані однією січною площиною;*
- *розрізи, що виконані двома і більше січними площинами:*
 - *розрізи виконані паралельними площинами;*
 - *розрізи виконані площинами, що перетинаються.*
- *місцеві розрізи.*

9.2.1. Розрізи виконані однією січною площиною

Розріз виконаний однією січною площиною показаний на рис. 9.13, а на 3D моделі деталі. Якщо розріз виконано фронтальною, горизонтальною чи профільною площиною, він може бути розміщений на місці основного виду. Кожен з цих розрізів виконується окремою січною площиною, яка паралельна відповідній площині проєкцій. Якщо зображення виду і розрізу симетричні, на кресленку виконують суміщення половини виду і половини розрізу, що дозволяється стандартом як варіант спрощення зображень на кресленку.



a

Рис. 9.13

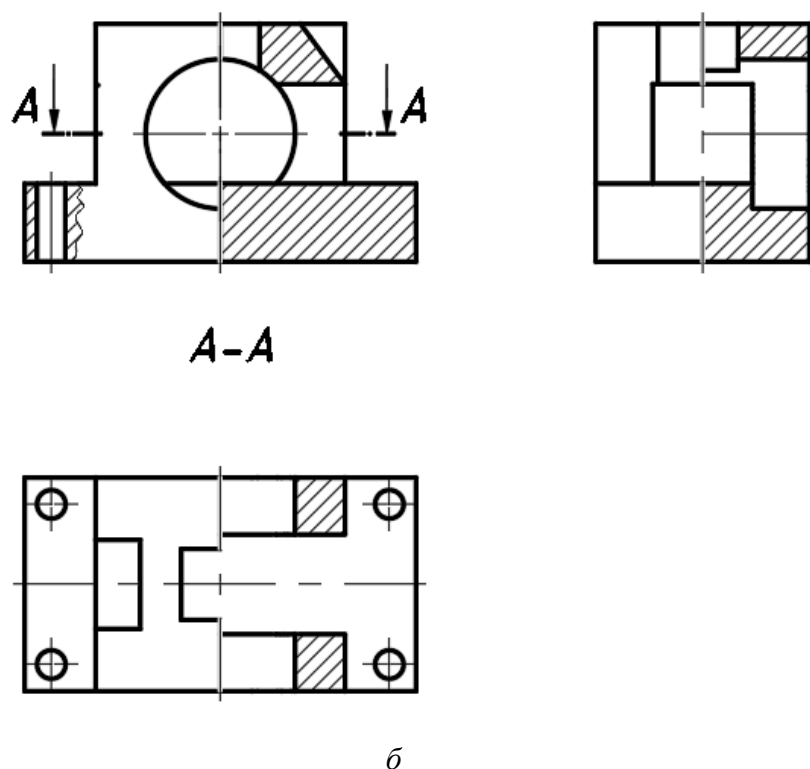


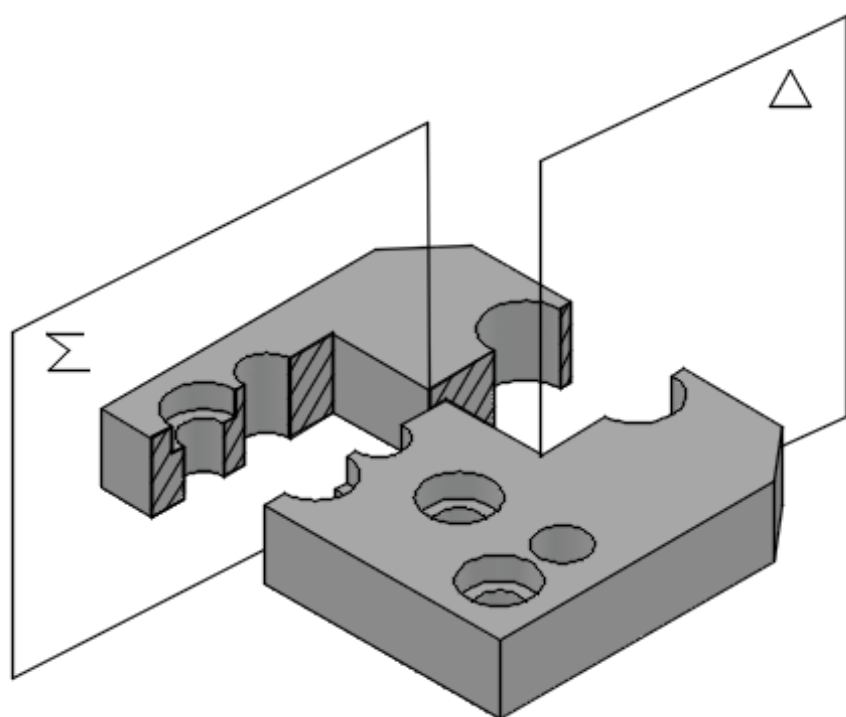
Рис. 9.13. Закінчення (див. також с. 207)

Розрізи, які виконуються однією січною площиною не позначаються і положення січної площини не показують, якщо січна площина співпадає з площиною симетрії деталі і зображення розміщені у проекційному зв'язку (на рис. 9.13, б – розрізи на місці головного виду і виду зліва). Якщо січна площина не співпадає з площиною симетрії деталі, такий розріз позначається (на рис. 9.13, б – розріз розташований на виді зверху).

Розрізи виконані декількома січними площинами позначаються завжди.

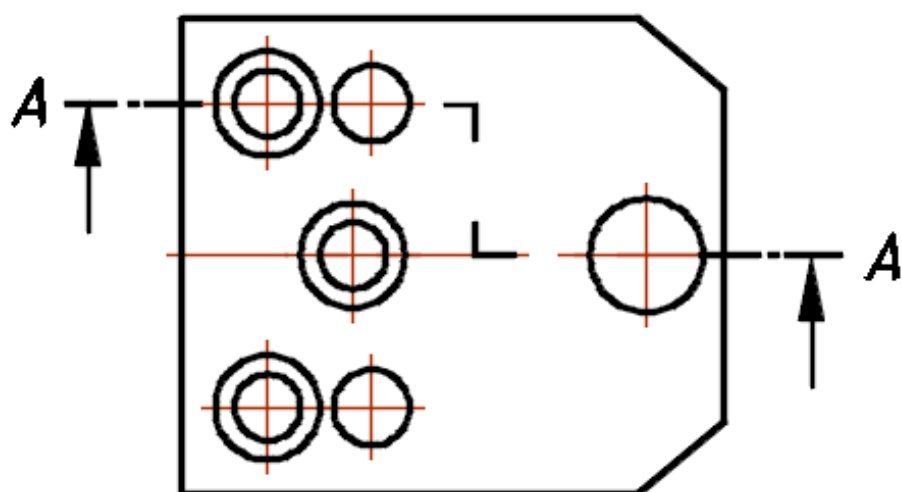
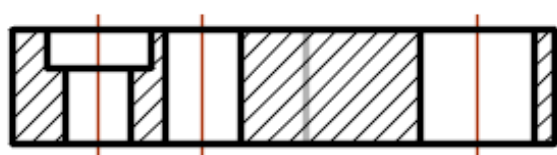
9.2.2. Розрізи виконані двома і більше паралельними січними площинами

На рис. 9.14, а на 3D моделі деталі показано виконання розрізу у випадку застосування двох паралельних січних площин. При зображенні розрізу виконаного паралельними площинами їх умовно суміщають в одну площину паралельну площині зображення. На рис. 9.14, б обидві січні площини паралельні до фронтальної площини проєкцій. Зображення розрізу на фронтальній площині виконано після умовного суміщення січних площин в одну. Межі між окремими січними площинами при їх умовному суміщенні на зображенні розрізу не показують.



a

A-A

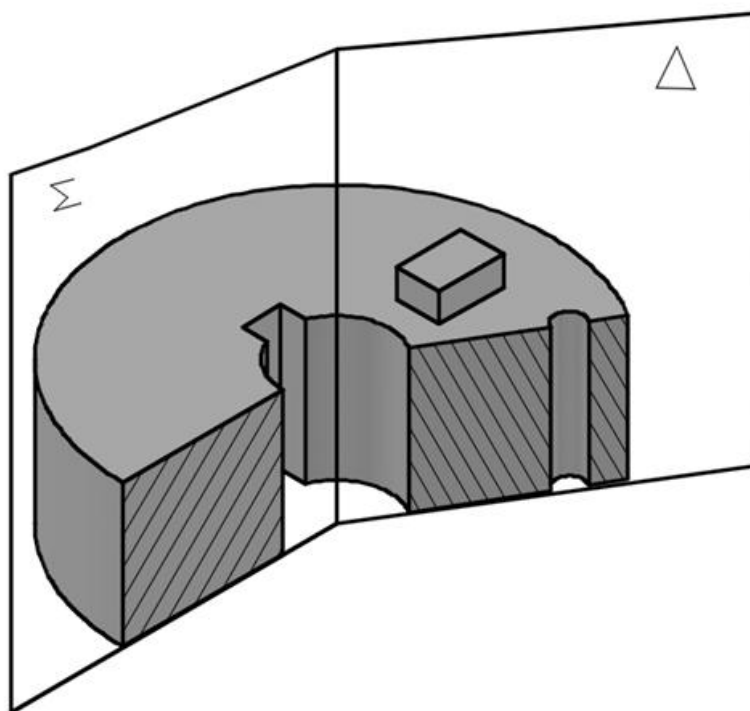


б

Рис. 9.14

9.2.3. Розрізи виконані двома і більше січними площинами, які перетинаються

Розріз у разі застосування суміжних січних площин, що перетинаються, показано на рис. 9.15, а на 3D моделі деталі. У випадку застосування декількох суміжних площин їх розташовують так, щоб хоча б одна з них залишалась паралельною до однієї з площин проекцій. Тоді площини не паралельні основним площинам проекцій повертають до співпадіння з положенням обраних основним способом проєкціювання площин проекцій. Стрілка в позначенні положення січної площини вказує на напрямок проєкціювання, а не на напрямок повороту нахиленої січної площини. Зображення, що отримують січними площинами не паралельними площині проєкцій, суміщають із зображенням отриманим від паралельної січної площини шляхом повороту нахиленої площини на відповідний кут. При цьому на зображенні розрізу не показують ніякими додатковими лініями зміну січних площин.



a

Рис. 9.15

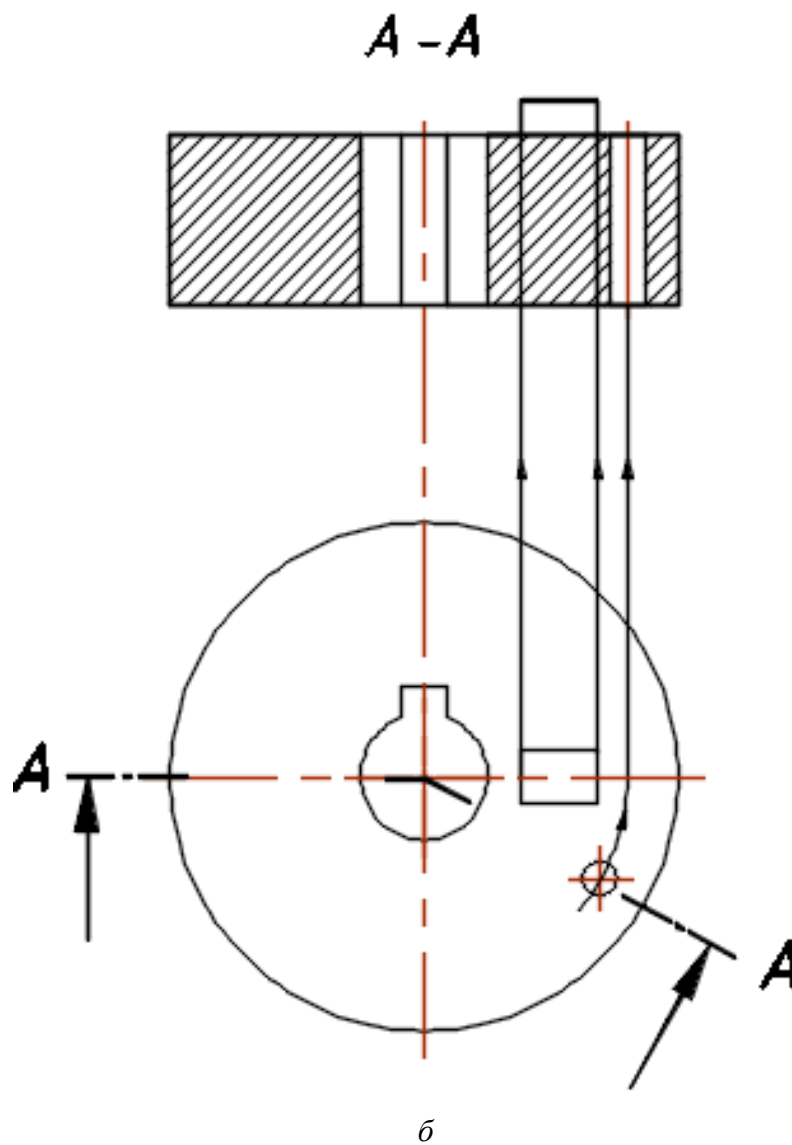


Рис. 9.15. Закінчення (див. також с. 210)

Елементи деталі, які розташовані за січною площиною, проєкціюються за правилами ортогонального проєкціювання (рис. 9.15, б).

9.2.4. Місцеві розрізи

Відповідно до ДСТУ ISO 128-40 *місцевий розріз/переріз (local cut/ local section)* – зображення, на якому у розрізі чи перерізі подають тільки частину предмета.

Місцеві розрізи/перерізи використовують коли у повному розрізі/перерізі немає потреби. Такий розріз/переріз обмежують суцільною тонкою лінією із зигзагами або хвилястою лінією проведеною від руки (тип лінії 01.1.19 чи 01.1.18 відповідно) (ДСТУ ISO 128-24) (рис. 9.16).

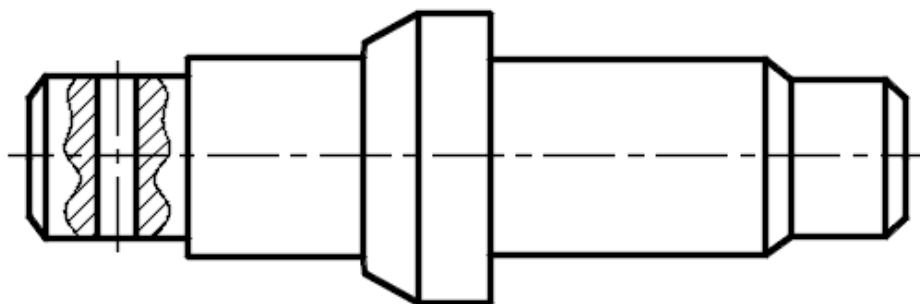


Рис. 9.16

9.3. Перерізи

Переріз (*section*) – зображення, яке показує тільки контури предмета, що лежать в одній або більше січних площинах (ДСТУ EN ISO 10209-1, ДСТУ ISO-40) (рис. 9.17).

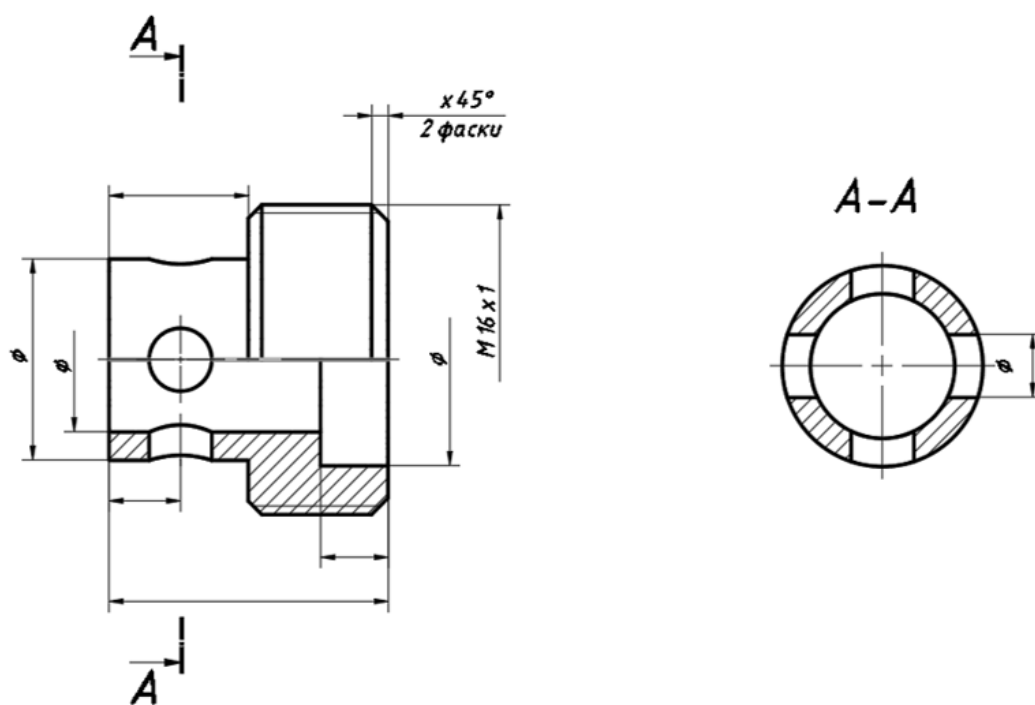


Рис. 9.17

Перерізи можуть бути *винесені (section removed)* і *накладені (section revolved in the relevant view)*. Якщо переріз винесений, до його позначення і зображення застосовують ті ж вимоги, що і при виконанні розрізу (рис. 9.18, рис. 9.19).

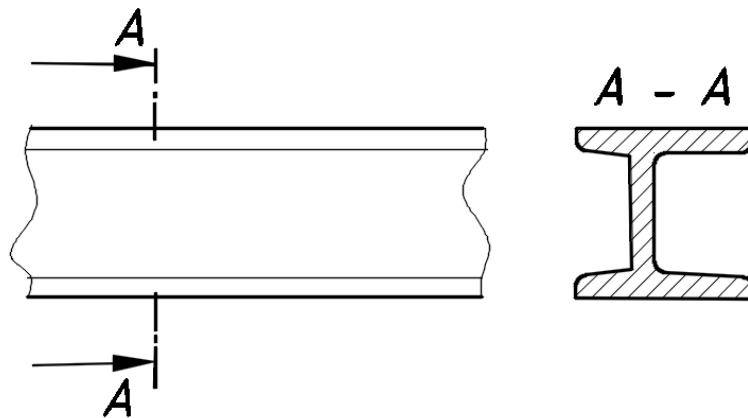


Рис. 9.18

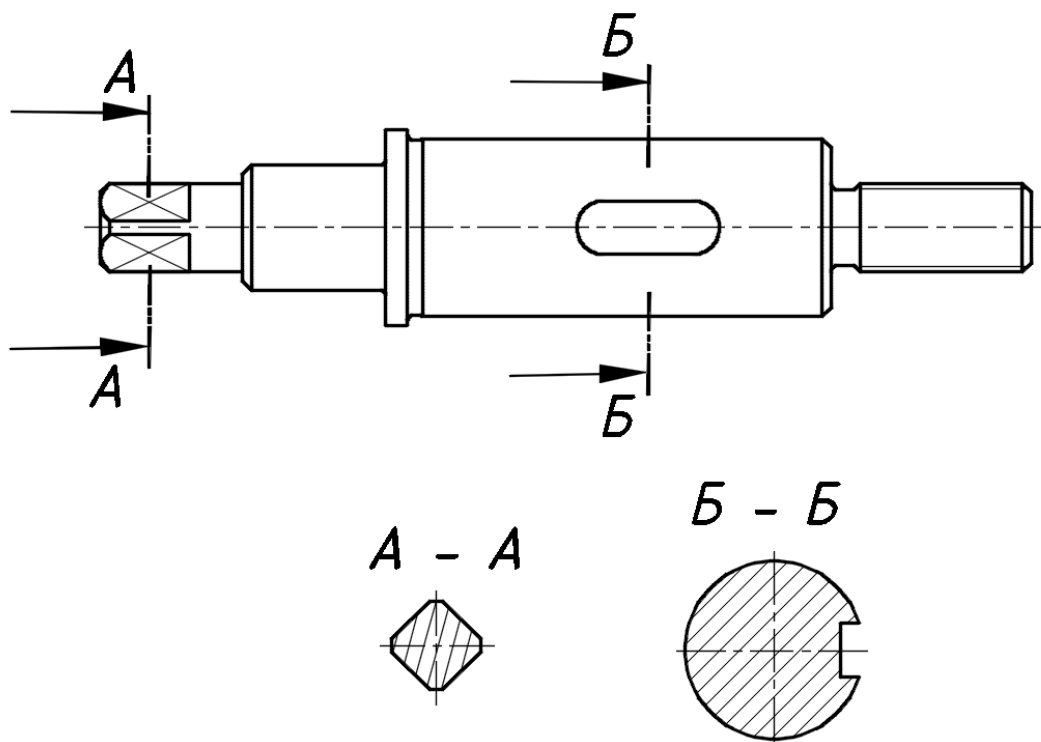


Рис. 9.19

Винесені перерізи розташовують на кресленку поза контуром виду деталі. Положення січної площини винесеного перерізу показують аналогічно розрізу, який позначається.

Винесені перерізи можуть бути розміщеними поряд із видом і сполучатись з ним довгоштриховою пунктирною тонкою лінією типу 04.1 (ДСТУ ISO 128-24) (рис. 9.20).

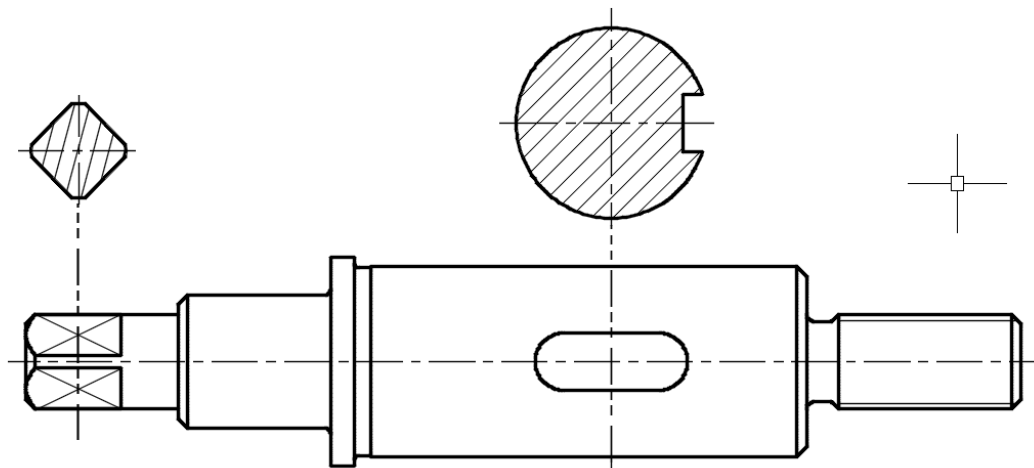


Рис. 9.20

У разі, коли переріз накладений на вид, його контур повинен бути накреслений суцільною тонкою лінією типу 01.1.16 (ДСТУ ISO 128-24) (рис. 9.21). Накладені перерізи додатково не позначають.

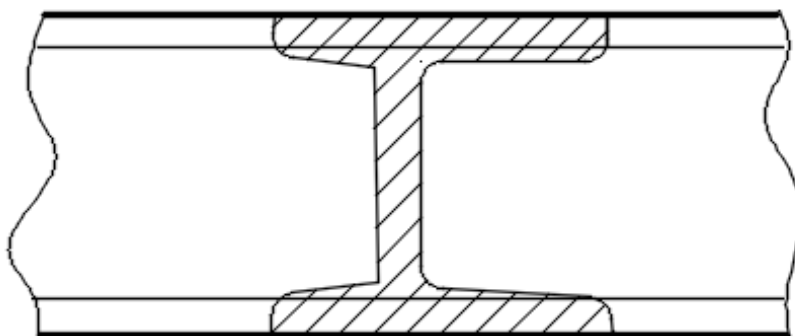


Рис. 9.21

9.4. Виносні елементи

Виносний елемент (enlarged feature) – окреме зображення збільшеної частини предмета виконане для з'ясування його форми, розмірів та інших даних (ДСТУ 3321).

На виносному елементі можуть бути показані деталі, які не показані на відповідному зображенні оскільки там може бути застосоване спрощення. Можна виносний елемент винесений з виду предмета зображати розрізом і навпаки. Як правило його розміщують поблизу відповідного зображення.

При оформленні виносного елемента на кресленику відповідне місце на виді, розрізі чи перерізі обводять замкненою суцільною тонкою лінією у вигляді кола чи овалу типу 01.1 (ДСТУ ISO 128-24). Над обведеною зоною надписують велику літеру латинської абетки. Цю ж літеру, поряд з якою у дужках записують масштаб збільшення, надписують над збільшеним зображенням виносного елемента (рис. 9.22).

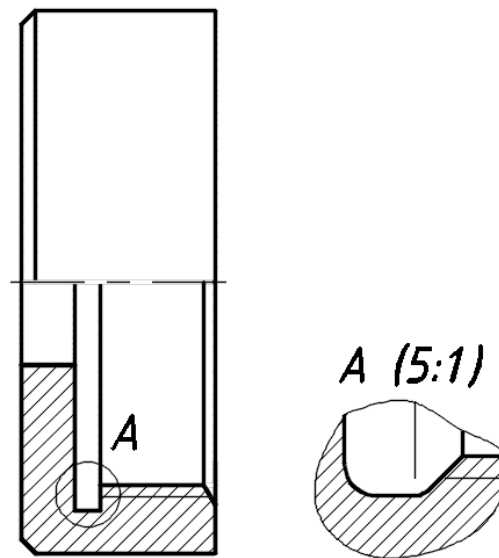


Рис. 9.22

9.5. Умовності і спрощення

При виконанні зображень на креслениках стандартами рекомендовано використовувати умовності і спрощення, при застосуванні яких суттєво зменшується трудомісткість виконання кресленика без втрати його інформативності. Такими умовностями і спрощеннями є наступні (ДСТУ ISO 128-44):

- якщо зображення виду і розрізу симетричні, то дозволяється суміщати половину виду і половину розрізу;

Відповідно стандарту ДСТУ ISO 128-44 це *неповні розрізи/перерізи (half section/half cut)* – зображення симетричного предмета, який, у разі розділення осью лінії, подають половиною на виді і половиною в розрізі чи перерізі.

Межею між ними встановлюється осьова лінія симетрії типу 04.1 (ДСТУ ISO 128-24).

Якщо з віссю симетрії співпадає значущий елемент деталі, наприклад, ребро, його слід показати. Тоді у якості межі між видом і розрізом використовується суцільна тонка хвиляста лінія типу 01.1 (ДСТУ ISO 128-24).

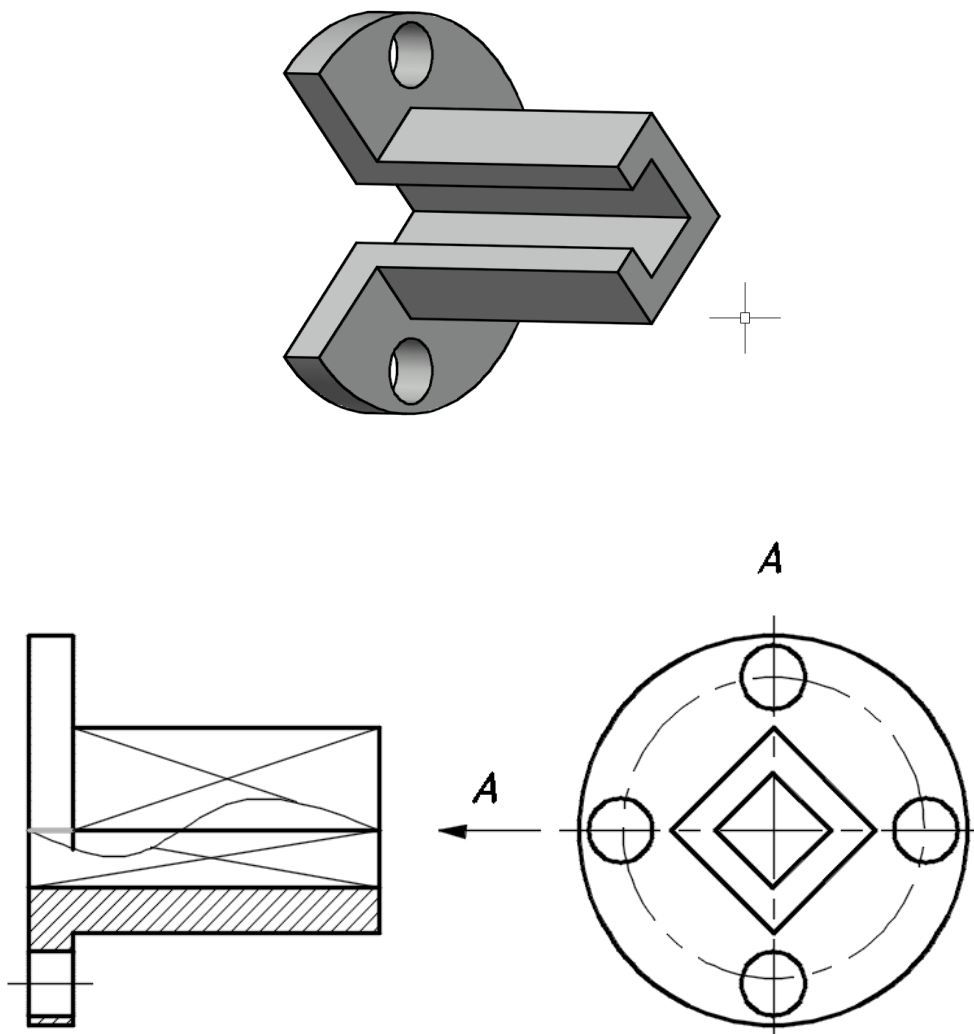


Рис. 9.23

На рис. 9.23 з віссю симетрії співпали два ребра – внутрішньої і зовнішньої призматичних поверхонь деталі. Хвиляста лінія у цьому випадку проводиться таким чином, щоб частково показати зовнішнє ребро і частково внутрішнє.

- якщо на деталі є кілька однакових рівномірно розташованих елементів, то дозволяється зображати лише один-два цих елементи, а решта показується спрощено або умовно (рис. 9.24);

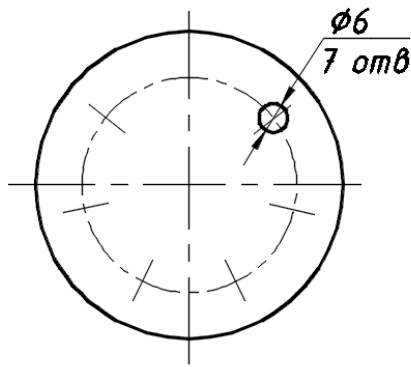
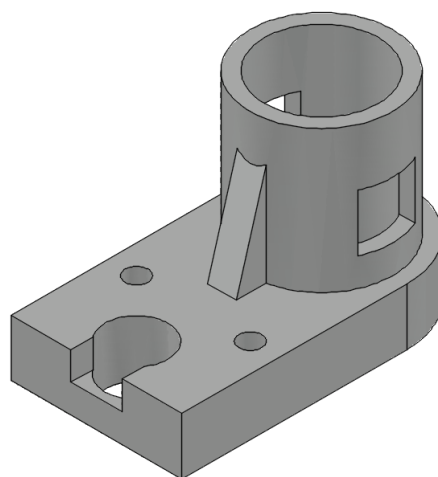


Рис. 9.24

- ребра жорсткості при розрізах уздовж показують не заштрихованими (на рис. 9.25, а показана 3D модель деталі з ребром жорсткості). В інших випадках виконання розрізу ці елементи деталі штрихуються;

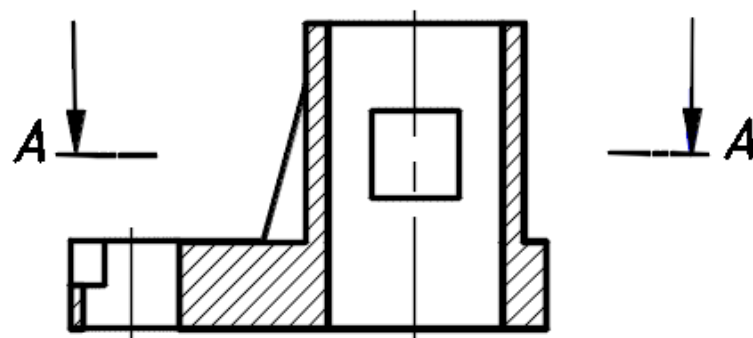
На рис. 9.25, б на фронтальному розрізі розташованому на місці головного виду показано ребро жорсткості, яке розрізане але не поштриховане. На зображенні розрізу цієї деталі розташованому на місці виду зверху ребро жорсткості поштриховане у тій частині, що співпала з січною площиною.

- плавний перехід від однієї поверхні до іншої показують умовно суцільною тонкою лінією типу 01.1 (ДСТУ ISO 128-24). Наприклад, перехід від циліндричної до конічної поверхні при зображенні проточок на виносному елементі (рис. 9.26);

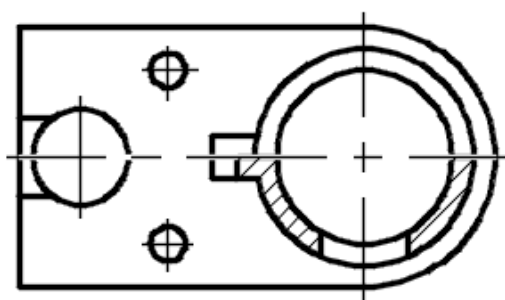


а

Рис. 9.25



A - A



б

Рис. 9.25. Закінчення (див. також с. 217)

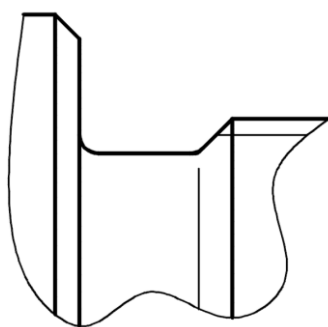


Рис. 9.26

- плоскі поверхні деталі на видах і розрізах виділяють перехрещеними діагоналями, які виконують суцільною тонкою лінією типу 01.1 (ДСТУ ISO 128-24) (рис. 9.27)

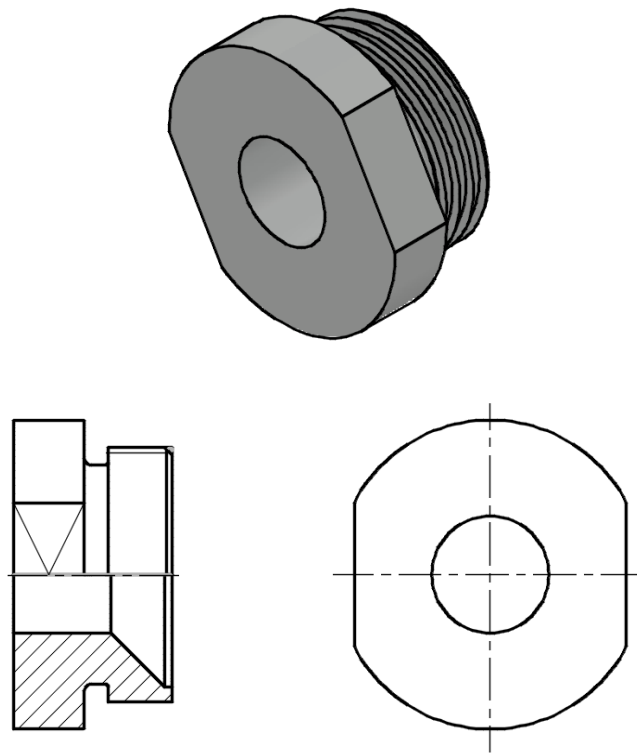


Рис. 9.27

• якщо на кресленику деталі є рифлення, його дозволяється показувати частково. Рифлення виконується суцільною товстою лінією типу 01.2 (ДСТУ ISO 128-24) (рис. 9.28).

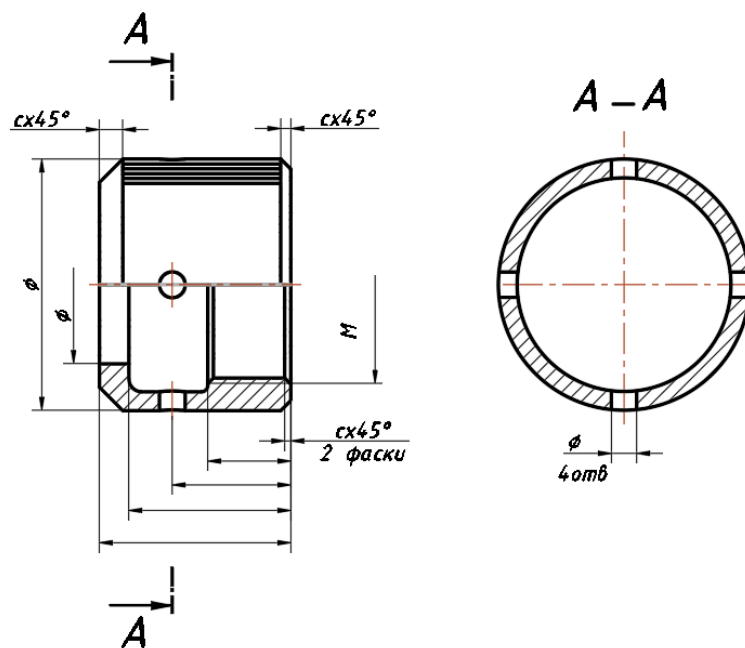


Рис. 9.28

- дозволяється показувати у розрізі отвори, що розташовані на круглому фланці, якщо вони не потрапляють у січну площину (рис. 9.29).

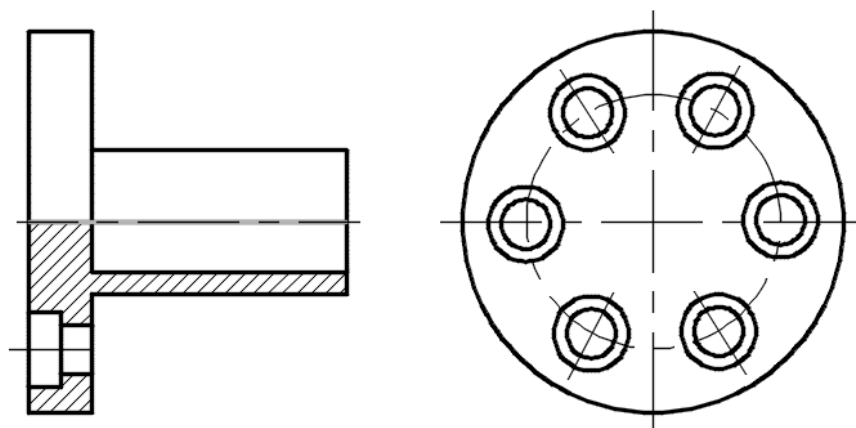


Рис. 9.29

9.6. Штрихування

Відповідно до ДСТУ ISO 128-50 на розрізі чи перерізі деталі наноситься штрихування суцільними тонкими лініями 01.1.15 згідно з ДСТУ ISO 128-24. Штрихування деталей виготовлених з металів виконується суцільними тонкими лініями під кутом 45° до лінії контуру зображення (рис. 9.30, а), до його осі симетрії (рис. 9.30, б) або до лінії рамки кресленика (рис. 9.30, в).

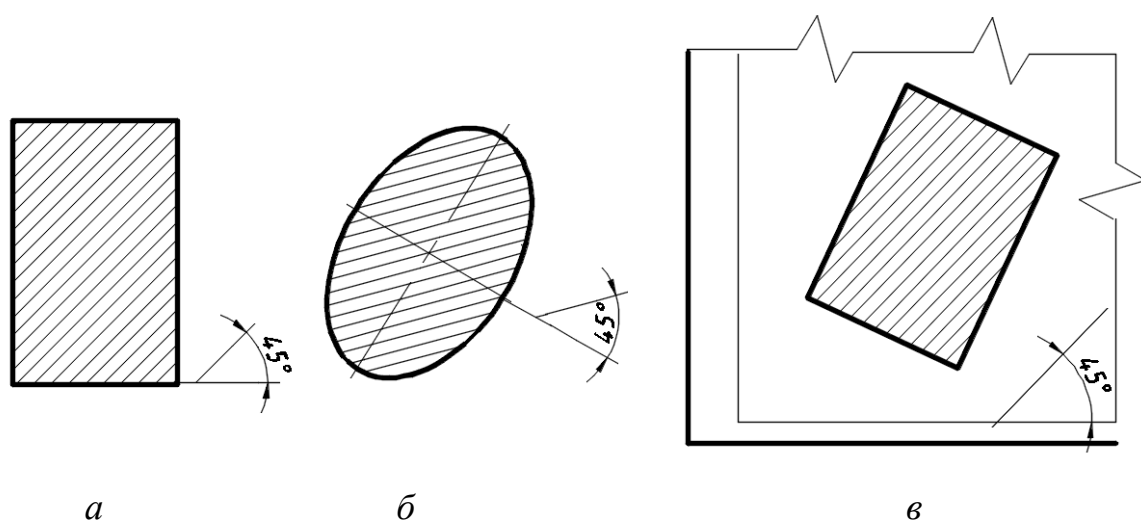


Рис. 9.30

Зображення розрізів (перерізів) однієї і тієї ж деталі на кресленнику штрихують однаково. При штрихуванні суміжних деталей слід змінити напрям або відстань між лініями, якими виконують штриховку окремих деталей. У разі, коли розріз (переріз) деталі виконано паралельними площинами, то штриховку отриманих зображень у цих площинах виконують однаковою. При необхідності лінії штриховки можуть бути зміщені уздовж лінії, що розділяє ці зображення. Якщо у зоні штрихування є написи, лінії штриховки слід переривати.

У разі коли лінії штриховки проведені під кутом 45° до лінії рамки кресленника є паралельними до лінії контуру зображення або осьових ліній, лінії штриховки проводять під кутом 30° або 60° (рис. 9.20).

Вузькі площі розрізів, ширина яких на кресленнику менше 2 мм, дозволяється показувати зачорненими, залишаючи між суміжними розрізами/перерізами проміжки, відстань між якими має бути 0.8 мм.

9.7. Лінії-виноски

Загальні правила зображення ліній-виносок (leader line) регламентуються ДСТУ ISO 128-22. Лінії-виноски розташовують на технічних кресленниках для розміщення вказівних елементів. Якщо лінія-виноска перетинає контур зображення і не відводиться від будь-якої його лінії, її закінчують крапкою. Якщо лінія-виноска відходить від лінії видимого чи невидимого контуру, її закінчують стрілкою. Лінію-виноску, що відводять від інших ліній, не закінчують ні стрілкою, ні крапкою. Лінії-виноски проводять так, щоб вони не перетинались і не були паралельними до ліній штриховки. Лінії-виноски можуть зображуватись зі зламами. Якщо необхідно вказати на декілька паралельних ліній, замість стрілок використовують засічки, які розташовують під кутом до паралельних ліній та ліній-виносок.

Лінія-виноска може бути доповнена поличкою зі вказівним написом, який може бути нанесеним наступним чином:

- над поличкою;
- посередині за поличкою;

- поличку лінії-виноски можна не застосовувати якщо її положення дозволяє виконати напис у зручному для читання напрямку;
- біля, посередині чи за умовними графічними доповненнями відповідно до інших стандартів, наприклад, розташування позначення шва виконаного зварюванням (ДСТУ EN ISO 2553) (графічна позначка «зварний шов, що виконується під час монтажу») (рис. 9.31).

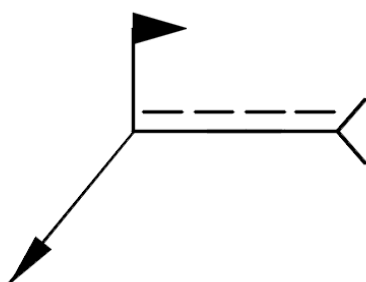


Рис. 9.31

Текст на поличках ліній-виносок дозволяється розташовувати не більше, ніж у два рядочки (над і під поличкою). Лінії-виноски і полички виконують суцільною тонкою лінією типу 01.1 відповідно до ДСТУ ISO 128-20.

9.8. Написи на полі кресленика

Текст на полі кресленика, таблиці, позначення зображень слід розташовувати паралельно основному напису кресленика. Технічні вимоги розташовують над основним написом шириною 185 мм (ДСТУ ГОСТ 2.104) або 180 мм (ДСТУ EN ISO 7200). Для форматів більших за А4 при нестачі місця над основним написом їх можна розташовувати ліворуч основного напису на полі у 185 мм (180 мм). Технічні вимоги рекомендується розташовувати у такій послідовності:

- вимоги щодо матеріалу заготовки, термічного оброблення і властивостей матеріалу готової деталі;
- розміри, допуски на розміри, форму взаємного розташування поверхонь, маси, ін.;
- вимоги до покриття поверхонь, ін.

Запитання для самоперевірки

1. Яке зображення називають видом?
2. Які види використовуються при виконанні креслеників деталей?
3. Які умови обрання головного виду предмета?
4. Яка різниця між основним і додатковим видом?
5. Як позначають види, що не знаходяться у проекційному зв'язку з основними?
6. Яке зображення називають розрізом?
7. Які розрізи використовують на креслениках?
8. У яких випадках розрізи виконані однією площиною позначають?
9. Яке зображення називають перерізом?
10. Яка різниця між розрізом і перерізом?
11. Назвіть види перерізів. У чому різниця їх зображення на кресленику?
12. Яке зображення називають виносним елементом і коли його застосовують ?
13. Як на креслениках зображають рифлення?
14. Під яким кутом проводять лінії штрихування у розрізах і перерізах?
15. Які особливості зображення у розрізах ребер, тонких стінок, спиць, стрижнів, якщо січна площина проходить уздовж їх осі і довгої сторони?

РОЗДІЛ 10. НАНЕСЕННЯ РОЗМІРІВ НА КРЕСЛЕНИКАХ ДЕТАЛЕЙ

10.1. Основні вимоги і визначення

Розміри (dimensions) – це вид геометричних вимог, що застосовуються на кресленику для чіткого і однозначного визначення елемента зображуваної деталі. До інших видів геометричних вимог належать геометричні допуски (форми, орієнтації, розташування та биття), вимоги до текстури поверхні та конусів (ДСТУ ISO 129-1). У даному курсі розглядається лише перша група вимог.

Нанесення розмірів (arrangement of dimensions) необхідно для здійснення операцій виготовлення деталі та її подальшого контролю у процесі експлуатації. Правила нанесення розмірів регламентуються ДСТУ ISO 129-1. Відповідно до вказаного стандарту при нанесенні розмірів деталі і її елементів слід скеровуватись наступними положеннями:

- величину виробу, що зображений на кресленику, визначають за розмірними числами вказаними на його зображенні;
- необхідну точність виробу при його виготовленні задають граничними відхилами розмірів, форми і розташування поверхонь;
- при зображенні електронної моделі виробу її розміри і граничні відхили необхідно наносити за вимогами ДСТУ EN ISO 10303.

Відповідно до ДСТУ ISO 129-1 розміри вважаються одним із окремих видів геометричних вимог, які застосовують з метою чіткого і однозначного визначення елемента або його складової частини. Кількість розмірів, що наносять на виріб, повинна бути мінімальною, але достатньою для забезпечення його виготовлення і контролю. Не дозволяється повторювати один і той же розмір на різних зображеннях на одному і тому ж кресленику. Стандарт встановлює відповідні правила нанесення розмірів на креслениках. Проставляти розміри рекомендується наступними способами:

- ланцюжком (chain dimensioning) – спосіб нанесення розмірів, коли окремі розміри розташовують у рядок;
- координатним (coordinate dimensioning) – спосіб нанесення розмірів від базового елемента у системі координат;
- паралельним (parallel dimensioning) – спосіб нанесення розмірів від базового елемента з паралельними чи дугоподібними розмірними лініями;
- послідовним – (running dimensioning) спосіб нанесення розмірів, коли розмір кожного елемента задають від базового (базовий елемент – це елемент, який використовують як початок для визначення положення іншого елемента);
- табличним (tabular dimensioning) – спосіб подавання розмірів, при якому елементи або розміри позначають заданими числами або літерами і вносять у таблиці.

10.2.Основні правила нанесення розмірів

Наносять розміри за допомогою розмірних чисел і розмірних ліній. Розмірні лінії у переважній більшості випадків обмежують стрілками, що впираються у виносні лінії. За рекомендаціями стандарту розмірні і виносні лінії слід креслити суцільною тонкою лінією типу 01.1 (ДСТУ ISO 128-20). Розмірні лінії мають закінчуватись (починатись) наступним чином:

- стрілкою замкненою, заповненою, з кутом 30° ;
- стрілкою замкненою з кутом 30° ;
- стрілкою незамкненою з кутом 30° ;
- стрілкою незамкненою з кутом 90° ;
- похилою рисою або точкою у разі відсутності місця для стрілки.

При нанесенні розмірних чисел рекомендується використовувати вертикальний шрифт В (ДСТУ EN ISO 3098-0). Висота розмірних чисел повинна бути такою, щоб було забезпечене чітке прочитування. Розмірні числа слід розміщувати паралельно розмірній лінії, ближче до її середини та трохи вище. Розміри слід проставляти використовуючи одиниці SI (лінійні розміри проставляють у міліметрах). Якщо на кресленику усі розміри проставлено у міліметрах, одиницю вимірювання поряд

з розмірним числом не зазначають. Розміри, що наносять на креслениках, бувають: лінійні, кутові, розміри діаметрів, радіусів, ін. Лінійні розміри вказують у міліметрах. Кутові розміри вказують у градусах, хвилинах і секундах, наприклад, $12^{\circ}34'45''$.

Розмірні лінії переважно наносять за межами контуру зображення. Виносні лінії повинні виходити за стрілки розмірної лінії ((виступні лінії) (ДСТУ ISO 129-1)) на величину у 8 товщин ліній. У практиці виконання креслеників рекомендується мінімальну відстань між паралельними розмірними лініями встановлювати 8 мм, а від контурної лінії розмірну лінію розташовувати на відстані 10 мм.

Способи розташування розмірної лінії можуть бути наступними:

- паралельно відрізку, лінійні розміри якого наносяться;
- дугою з центром у вершині кута або у центрі дуги;
- у вигляді радіуса від геометричного центра заокруглення;
- за допомогою лінії-виноски.

Якщо розмірні лінії розташовані паралельно (чи концентрично),

На рис. 10.1 показано варіанти орієнтації розмірних чисел на розмірних лініях при нанесенні лінійних розмірів.

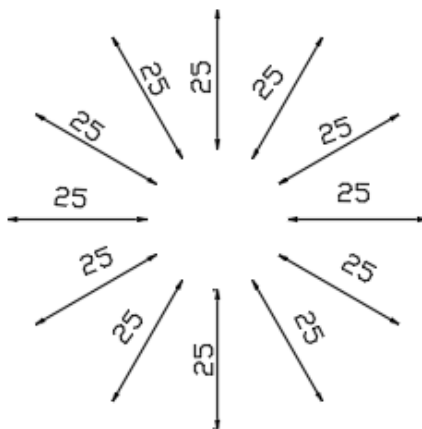


Рис. 10.1

На рис. 10.2 показано орієнтацію розмірних чисел при нанесенні кутових розмірів.

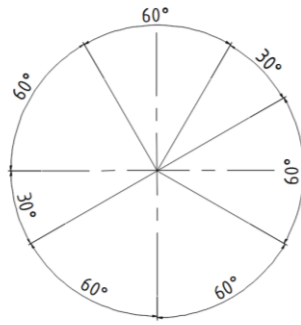


Рис. 10.2

Виносні лінії можна переривати, якщо зрозумілим є їх продовження. Необхідно уникати перетину розмірних і виносних ліній. Розмірні числа не можна перетинати будь-якою лінією.

Щоб ідентифікувати форму елемента, на якому наносять розміри, використовують спеціальні графічні знаки і символи:

- $\varnothing$ – діаметр (рис.);
- R – радіус (рис.);
- $\square$ – квадрат;
- S $\varnothing$ – діаметр сфери;
- SR – радіус сфери;
- $\cap$ – дуга;
- $t=$ – товщина.

При нанесенні лінійного розміру прямолінійного відрізка розмірну лінію проводять паралельно відрізку, а виносні перпендикулярно (рис. 10.3).

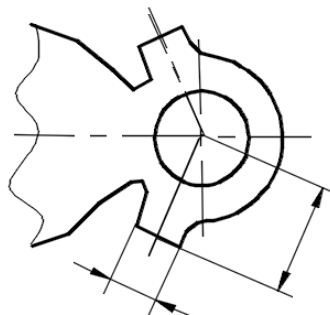


Рис. 10.3

При нанесенні кутового розміру розмірну лінію проводять у вигляді дуги, центр якої знаходиться у вершині кута. При цьому виносні лінії розташовують радіально співпадаючими зі сторонами кута (рис. 10.4).

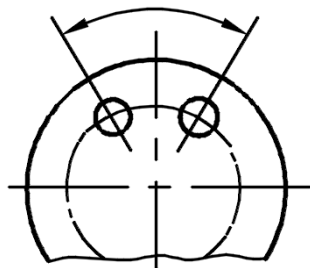


Рис. 10.4

При нанесенні розміру дуги кола розмірну лінію проводять концентричною до дуги, а виносні лінії паралельно бісектрисі кута. Над розмірним числом наносять знак $\cap$ (рис. 10.5).

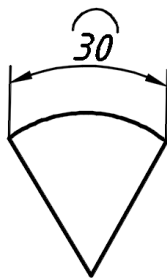


Рис. 10.5

Варіанти зручного розташування розмірної лінії при нанесенні розміру діаметра показано на рис. 10.6, рис. 10.7, а, б.

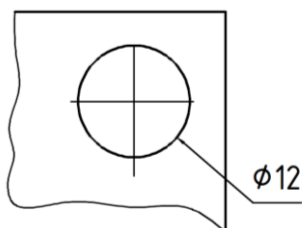


Рис. 10.6

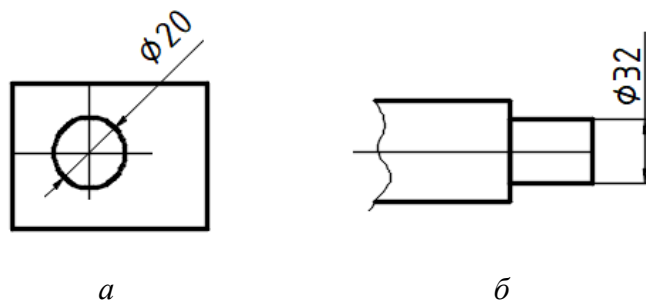


Рис. 10.7

Можна проводити розмірну лінію при нанесенні розміру діаметра з обривом. При цьому обрив розмірної лінії роблять за центром кола (рис. 10.8).



Рис. 10.8

На рис. 10.9 показано приклади нанесення розміру радіуса.

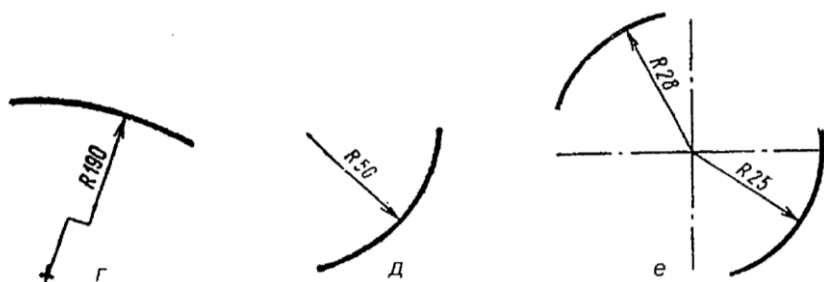


Рис. 10.9

Якщо радіуси заокруглень, згинів, ін. на усьому кресленику однакові, їх на зображеннях не наносять, а у технічних вимогах записують: «Не зазначені радіуси мм»; «Радіуси заокруглень мм», ін.

Приклад використання при нанесенні розміру символу «квадрат» показано на рис. 10.10 а, б.

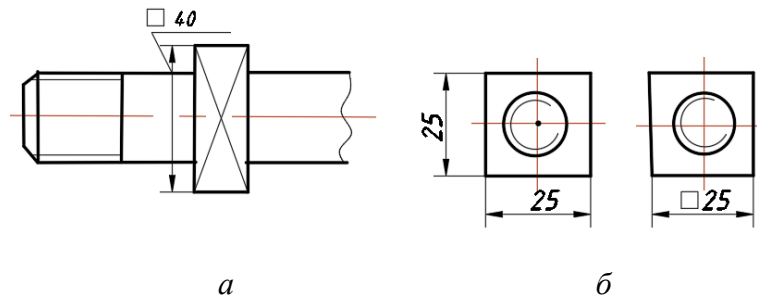


Рис. 10.10

На рис. 10.11 показано приклад нанесення розміру діаметра сфери.

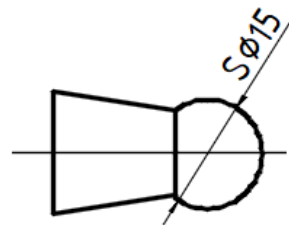


Рис. 10.11

Нанесення радіусу сфери показано на рис. 10.12.

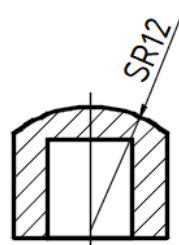


Рис. 10.12

Якщо деталь зображена в одній проекції, розмір її товщини показують як на рис. 10.13.

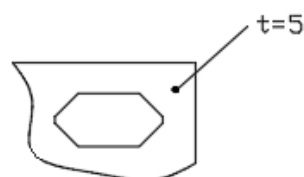


Рис. 10.13

10.3. Спрощене нанесення розмірів

Якщо зображення виду і розрізу симетричної деталі показані до осі симетрії або до лінії обриву, то розмірні лінії проводять з обривом. Обрив розмірної лінії виконують за віссю чи обривом деталі (рис. 10.14).

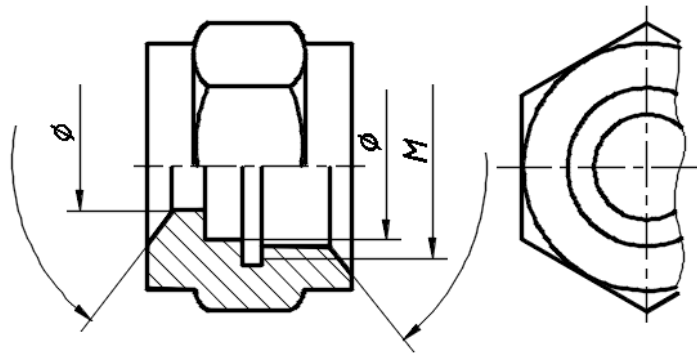


Рис. 10.14

Якщо елементи повторюються і мають однакові розміри, наносити розмір можна один раз на одному з елементів. При нанесенні розмірів елементів рівномірно розташованих по колу, вказують їх кількість. Розміри елементів, що мають однакову розмірну величину, наносять вказуючи розмірну величину та кількість елементів через знак «х» (рис. 10.15).

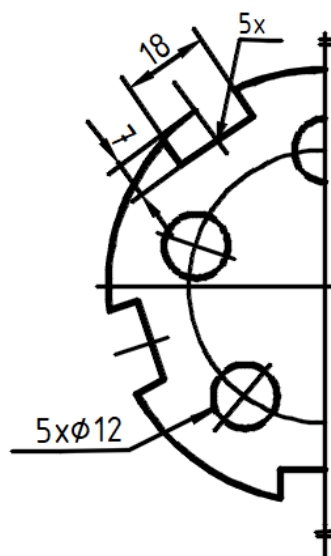


Рис. 10.15

У разі коли елементи розташовані рівномірно і з однаковими проміжками нанесення розмірів може бути спрощено. Лінійні або кутові розміри, що повторюються, можна позначати вказуючи кількість проміжків між ними і через знак «х» їх розмірну величину (рис. 10.16).

(Примітка. У дужках показано довідковий розмір. Знак = перед довідковим розміром не вживають).

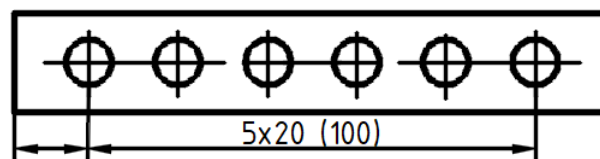


Рис. 10.16

Якщо елемент на кресленіку зображений не за вказаним масштабом, розмірне число підкреслюють. Довідкові розміри подають у круглих дужках і без допусків (довідковим вважається розмір, який одержаний від інших розмірів, і наведений лише для інформації).

10.4. Особливості нанесення розмірів

Відповідно до ДСТУ ISO 129-1 на технічних креслениках дозволяється робити відступ виносної лінії від елемента (рис. 10.17). Проміжок має становити приблизно 8 товщин ліній.

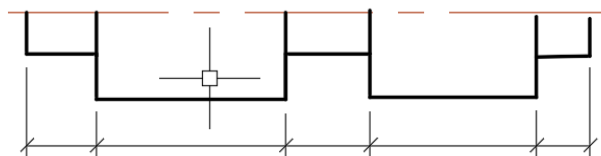


Рис. 10.17

Розміри на креслениках деталей наносять враховуючи наступні фактори:

- особливості форми деталі за її геометричною будовою;
- особливості виготовлення деталі;
- особливості взаємодії з іншими деталями складанної одиниці, ін.

Виходячи з цього нанесення розмірів виконують від баз. Базы бувають конструкторські, технологічні і вимірювальні (ДСТУ 2232).

Конструкторська база деталі – це поверхня, лінія або точка, відносно якої орієнтують положення деталі у пристрої.

Технологічна база деталі – це поверхня, лінія або точка, відносно якої орієнтують положення деталі при її виготовленні або ремонті.

Вимірювальна база визначає відносне положення заготовки і засобів вимірювання.

Запитання для самоперевірки

1. Як розташовують розмірні числа по відношенню до розмірної лінії?
2. Як позначають розмір радіуса елемента деталі?
3. Як позначають розмір діаметра елемента деталі?
4. Як наносять кутові розміри?
5. Як позначають розмір сферичної частини деталі?
6. Як позначають розмір квадратного елемента деталі?
7. Як показують і позначають однакові отвори?
8. Як наносять розмір товщини або довжини деталі при її зображенні в одній проєкції?

РОЗДІЛ 11. КРЕСЛЕНИКИ ДЕТАЛЕЙ

Відповідно до ДСТУ 3321 усі види виробів поділяють на чотири групи: деталі, складанні одиниці, комплекси і комплекти.

Основним конструкторським документом для складаних одиниць, комплексів і комплектів є специфікація. Для деталей – кресленик деталі. На основі робочих креслеників деталей розробляють інші документи необхідні для організації виробничого процесу.

До *деталей* відносять вироби, які виготовлені з однорідного матеріалу і без застосування складальних операцій. Деталі, що використовуються у практиці радіоконструювання, приладобудування та машинобудування поділяють на три групи:

- стандартні, які виготовляються відповідно до вимог державних, галузевих стандартів чи стандартів підприємств;
- уніфіковані, які запозичені з інших раніше спроектованих виробів;
- оригінальні, які виготовляють для виробу, що проектується, і, які раніше не виготовлялись. Робочі кресленики виконують на оригінальні деталі.

Серед названих є *типові деталі* – це деталі, які мають відмінності у елементах конструкції та розмірах, але мають однакове призначення при використанні у різних механізмах. Приклади таких деталей: гайки накидні, вали, зубчасті колеса, пружини, ін. До *стандартних* деталей відносять кріпильні вироби, наприклад, болти, гвинти, гайки, шайби, тощо. Тобто деталі, які використовують практично в усіх виробках. Такі деталі виготовляються за розмірами регламентованими стандартами. Ще є *спеціальні деталі* – це такі деталі, які використовуються лише в окремих видах виробів.

11.1. Загальні вимоги

Кресленик кожної деталі виконують на окремих аркушах стандартного формату (ДСТУ ISO 5457) у відповідності до загальних вимог стандартів щодо виконання креслеників. Кресленик деталі має містити дані, необхідні для її виготовлення, експлуатації і ремонту. До них належать:

Зображення. Усі зображення (види, розрізи та перерізи) повинні відповідати вимогам ДСТУ ISO 128-30; ДСТУ ISO 128-34; ДСТУ ISO 128-40; ДСТУ ISO 128-44; ДСТУ ISO 128-50, ін.;

Розміри. Для визначення геометрії деталі на її зображеннях наносять розміри. В окремих випадках наносять розміри для довідок;

Допуски розмірів наносять на розмірних числах, для забезпечення точності виготовлення деталі згідно з вимогами відповідних стандартів;

Допуски на взаємне розташування окремих поверхонь деталі та їх форму;

Шорсткість вказують на поверхнях деталі для забезпечення технологічного процесу оброблення окремих її поверхонь з певним значенням їх чистоти;

Технічні вимоги записують на кресленику якщо виготовлення деталі потребує додаткових операцій, наприклад, термічного оброблення, покриття, ін.

Додаткові дані, які необхідні для виготовлення і контролю деталі, наприклад, таблиці відповідних параметрів;

Матеріал деталі (найменування, марку, Державний стандарт на матеріал, у разі необхідності сортамент;

Основний напис на кресленику повинен відповідати вимогам ДСТУ ГОСТ 2.104 (форма 1).

11.2. Вимоги щодо зображень деталей

При створенні креслеників деталей використовують метод ортогонального проєкціювання.

Головний вид деталі повинен давати найбільш повне уявлення про форму і розміри деталі, тобто бути найбільш інформативним. При виконанні креслеників окремих деталей їх положення повинно відповідати розташуванню при виконанні основної завершальної операції технологічного процесу. При цьому розміщення деталі на головному виді може не відповідати її положенню у складаній одиниці. Кількість зображень деталі на кресленику повинна бути мінімальною але достатньою для забезпечення повного розкриття форми деталі та для нанесення усіх розмірів необхідних для її виготовлення і контролю. Для розкриття внутрішньої

будови деталі доцільно використовувати розрізи і перерізи. Частини деталі, що мають малі розміри, доцільно зображати за допомогою виносних елементів, збільшуючи їх зображення.

Рекомендації щодо обрання головного виду різних типів деталей наступні:

- деталі, які переважно мають форму поверхонь обертання (вали, осі, втулки і ін.) слід зображати так, щоб їх вісь обертання розташовувалась горизонтально, паралельно основному напису;
- корпуси і кришки, які виготовляють литтям з наступним механічним обробленням, розташовують так, щоб їх основна оброблена площина була паралельна основному напису;
- деталі, виготовлені з листового матеріалу, операціями штампування, вирубки, ін. розташовують так, як при технологічній операції.

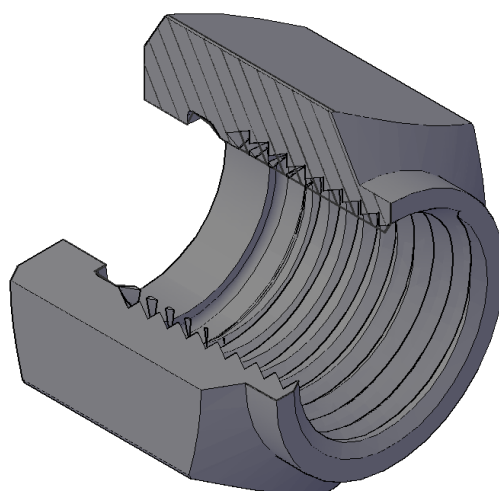
11.3. Приклади оформлення креслеників деталей

11.3.1. Гайка накидна шестигранна

Гайка – один з основних компонентів кріпильних систем. Деталь застосовується у нарізевих з'єднаннях. У парі з болтом або шпилькою гайки забезпечують надійне з'єднання деталей. Гайки прості в експлуатації, надійні та універсальні. Завдяки цим якостям вони знайшли широке застосування у різних галузях промисловості. Використовуються для з'єднання ніпелів, штуцерів, фіксації з'єднань трубопроводів та ін. У радіотехніці застосовуються у таких конструкціях радіоапаратури, які при монтажі потребують виконання операції швидкого і надійного з'єднання та демонтажу їх окремих частин. Зовнішні поверхні гайки можуть бути циліндричними, призматичними, мати лиски, виступи, ін. Їх форма залежить від застосування гайки у відповідному пристрої. Внутрішні поверхні гайки мають форму циліндрів. На внутрішній поверхні деталі виконують нарізь. Щоб запобігти утворенню збігу нарізі, виконують проточку для виходу різця. Проточки стандартизовані (ДСТУ ISO 4755), їх розміри визначаються кроком нарізі (див. 7.6.3). На початку нарізі виконується конічна вхідна фаска.

В машинобудуванні, приладобудуванні і інших галузях промисловості найбільше використовується шестигранна гайка. Її назва визначена кількістю граней на її зовнішній призматичній поверхні. Шестигранна гайка має зовнішню поверхню у вигляді шестигранної призми з внутрішнім циліндричним отвором, у якому нарізана метрична або дюймова нарізь (рис. 11.1, а). При виконанні з'єднань шестигранні гайки затягують гайковим ключом.

З огляду на призматичну зовнішню поверхню гайки накладної на кресленику виконують два зображення деталі. Головний вид орієнтують таким чином, щоб вісь поверхонь обертання деталі розташовувалась горизонтально, що обумовлено технологічною операцією нарізання нарізі. Щоб показати її внутрішню будову, виконують фронтальний розріз або, якщо має місце симетрія, на місці головного виду суміщають половину виду і половину фронтального розрізу. На головному виді розміщують максимально можливу кількість граней призматичної поверхні. Тобто, якщо зовнішня поверхня шестигранна призма, то три. Друге зображення – це вид зліва (справа), на якому розкривається форма призматичної поверхні деталі. Якщо при нарізуванні нарізі виконувалась проточка, вона зображається у вигляді виносного елемента у збільшеному відносно основних видів масштабі. На рис. 11.1, б наведено фрагмент кресленика деталі.



а

Рис. 11.1

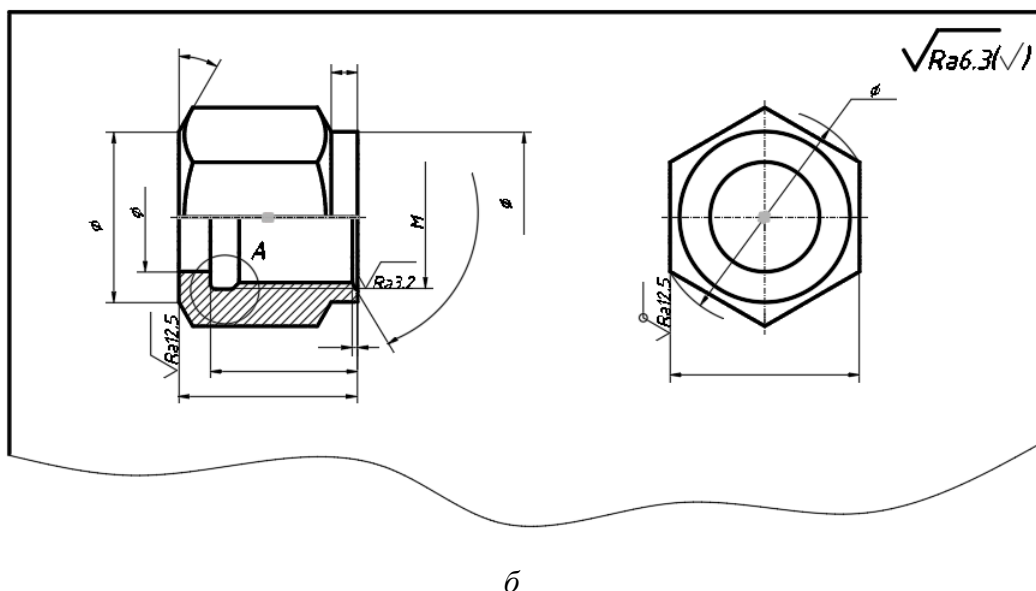


Рис. 11.1. Закінчення (див. також с. 237)

11.3.2. Вал

Вал деталь, яка передає крутний момент уздовж своєї осі суміщеним з нею частинам механізму. Вал забезпечує підтримку тих деталей конструкції, які на ньому розміщені. Переважна більшість поверхонь валу є поверхнями обертання. Тому головний вид деталі розташовують орієнтуючи вісь обертання паралельно основному напису. Так вал фіксують при його виготовленні на токарному верстаті. При цьому ту частину валу, на якій при виготовленні виконують більшу кількість операцій, орієнтують праворуч. За геометричною будовою близькі до валу такі деталі як штирі. У радіотехніці штирі використовуються у кріпленні антен, приєднанні підсилювачів, фільтрів та інших пристроїв. Штирі є основним елементом роз'ємів та переходів з коаксіальної лінії у прямокутний хвилевід. За допомогою циліндричних металевих штирів завдяки зміні їх висоти виконують регулювання характеристик пристрою.

При виконанні креслеників таких деталей достатньо одного головного виду. Конструктивні особливості окремих елементів валу зображають за допомогою місцевих розрізів, перерізів, виносних елементів. Якщо на валу є шпонкові пази їх зображають перерізами по місцю розташування пазу. Форму пазу під сегментну шпонку на головному виді додатково показують місцевим розрізом. Технологічні

елементи зображають виносними елементами у збільшеному відносно основного зображення масштабі. До технологічних елементів належать проточки для виходу шліфувального круга, нарізеві проточки, фаски. Розміри довжин на головному виді деталі наносять від основної і допоміжної технологічних баз (див. рис. 2.98: правий торець деталі – основна технологічна база, лівий – допоміжна). Проставляють розміри діаметрів.

Якщо на валу є призматичний шпонковий паз, то головний вид обирають переважно з видом на цей паз (рис. 11.2).

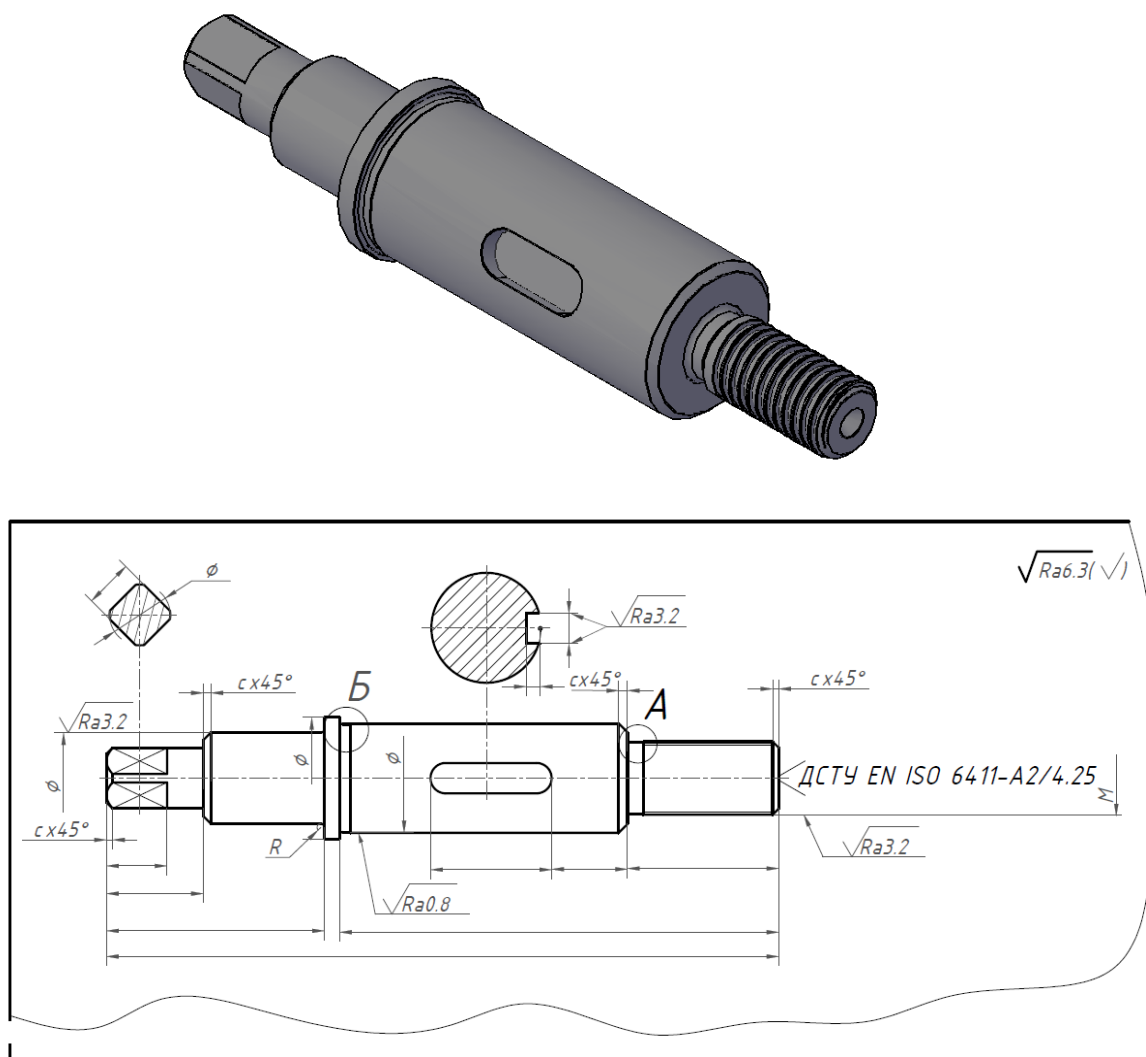


Рис. 11.2

Параметри шорсткості переважної більшості поверхонь таких деталей, включно з поверхнями шпонкових пазів $Ra3.2$, проточок – $Ra 6.3$, хвостовиків – $Ra 12.5$.

Шорсткість поверхонь штирів, що використовуються у радіотехнічних пристроях, рекомендована в інтервалі $Ra\ 0.4 - Ra1.6$.

11.3.3. Накривка

Деталі типу *накривки* можуть мати форму поверхонь обертання, призматичних чи поєднувати ті і інші. Накривка з'єднується з корпусом або іншим елементом конструкції за допомогою виконаних в ній отворів, пазів чи проточок. Найчастіше накривки виконують функцію захисту від пилу, вологи, механічних пошкоджень і тощо (рис. 11.3, а)

Головний вид деталей, що мають форму поверхонь обертання обирають так, щоб вісь обертання розташовувалась паралельно основному напису. Якщо деталь симетрична, на головному виді виконують суміщення половини виду і фронтального розрізу або повний фронтальний розріз, якщо конфігурація деталі не симетрична. Цього зображення може бути достатньо. Те, що деталь кругла, свідчать розміри діаметрів її поверхонь. Якщо на деталі є отвори або інші елементи, положення яких необхідно зафіксувати розмірами, виконують вид зліва (справа) (рис. 11.3, б).

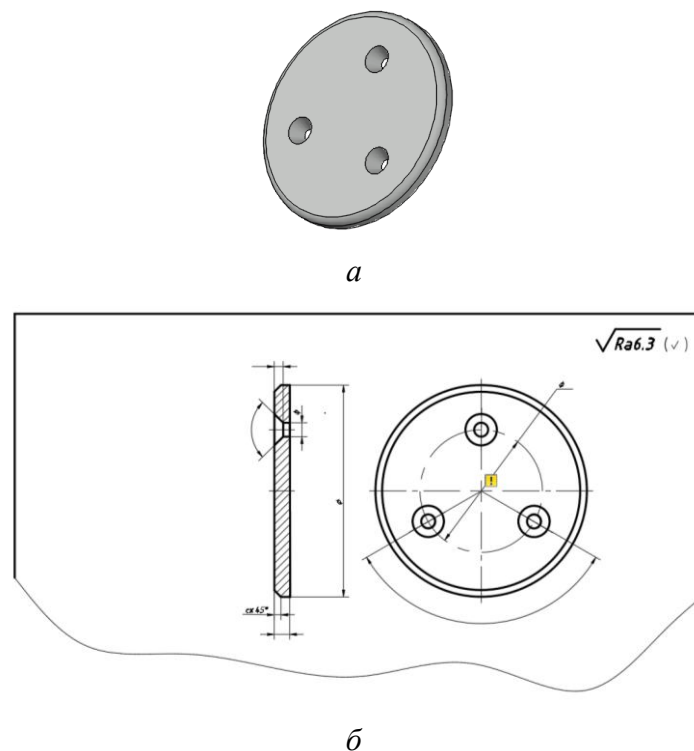


Рис.11.3

На вибір головного виду на креслениках таких деталей впливає їх розташування при виготовленні, положення при обробленні деяких їх поверхонь, можливе розміщення у пристрої, у якому вони використовуються.

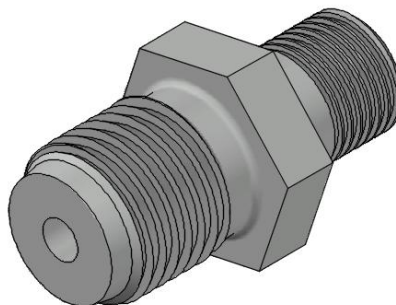
Шорсткість поверхонь таких деталей може бути такою ж як шорсткість поверхонь гайки накидної.

11.3.4. Корпус

Корпус – базова деталь складаної одиниці. Це деталь конструкції, яка об'єднує усі елементи виробу і захищає їх від зовнішнього впливу. В радіотехнічних виробках корпус може додатково виконувати функцію електромагнітного екранування. Ця деталь найбільш складна як за формою, так і за технологією виготовлення.

Основне призначення корпусної деталі забезпечення необхідного взаємного розташування з'єднаних деталей; захист деталей конструкції від зовнішніх впливів; зручність монтажу; безпечність експлуатації; при виконанні операції складання – швидке і зручне компонування деталей. До корпусів пред'являються вимоги механічної міцності, електромагнітного захисту, стійкості до корозії. Для кріплення накривки на корпусі передбачають фланці з отворами для кріпильних деталей. Корпуси з нарізми легко монтуються з різним обладнанням або використовуються для з'єднання роз'ємів кабелів радіоелектронної апаратури між собою.

На рис. 11.4, *a* показано 3D модель корпусу, переважна більшість поверхонь якого виготовлена операціями точіння.



a

Рис. 11.4

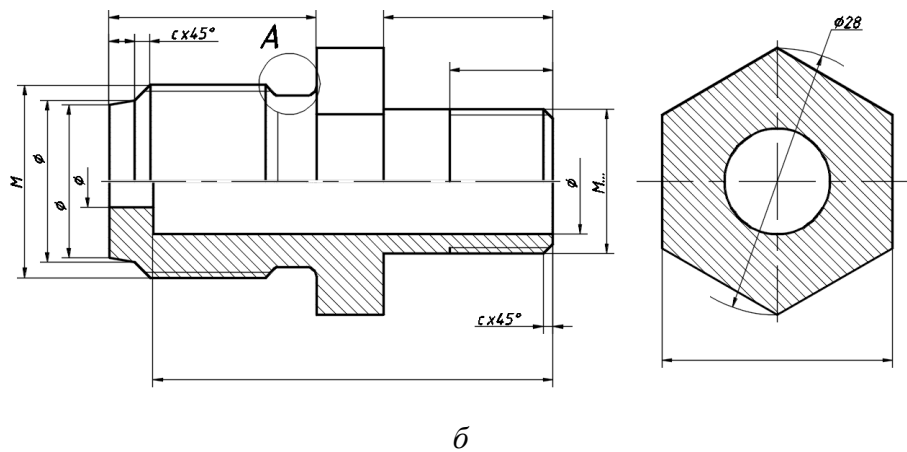


Рис. 11.4. Закінчення (див. також с. 241)

На головному виді деталь розташовано горизонтально, оскільки основні технологічні операції – точіння, нарізання нарізі. Відносно горизонтальної осі деталь симетрична тому виконано суміщення половини виду і половини фронтального розрізу. Переріз на місці виду зліва необхідний оскільки розкриває форму і розміри шестигранної призматичної поверхні (рис. 11.4, б).

Параметри шорсткості таких деталей можна обирати аналогічно параметрам шорсткості деталі гайки накидної.

11.4. Нарізь

Деталі з нарізю широко застосовуються у машинобудуванні, приладобудуванні та інших галузях техніки. З усіх елементів деталі нарізь є найбільш використовуваною при виконанні роз'ємних з'єднань деталей. Такі з'єднання відрізняються високою надійністю, універсальністю, їх складові досить легко виготовляються. З'єднання деталей може відбуватись за допомогою безпосереднього їх згвинчування або використання спеціальних кріпильних елементів (болтів, шпильок, гвинтів, ін.).

11.4.1. Основні параметри нарізі

Нарізь – це один або кілька рівномірно розміщених гвинтових виступів постійного перерізу, утворених на бічній поверхні прямого кругового циліндра чи прямого кругового конуса (ДСТУ 3321) (рис. 11.5).

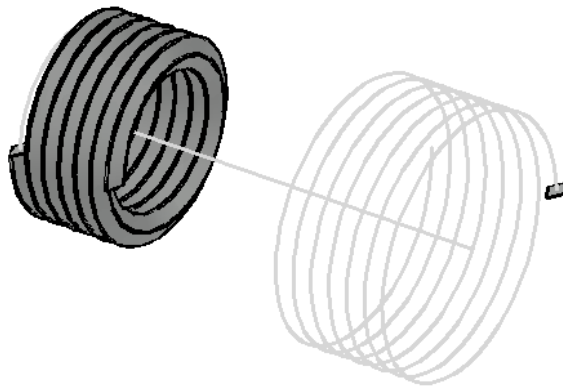


Рис. 11.5

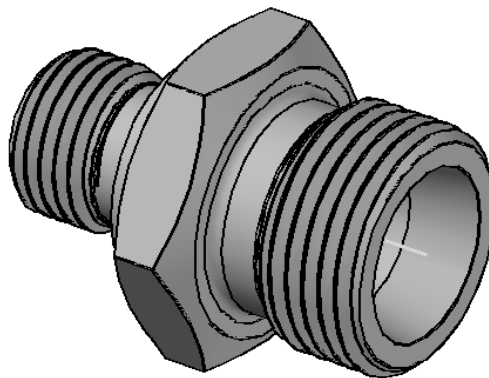


Рис. 11.6

На рис. 11.6 показано деталь, на якій виконано нарізь на її зовнішніх циліндричних поверхнях.

Нарізь може бути виконаною різними технологіями: нарізана різцем відповідного профілю, на стрижні – плашкою, в отворі – гайкорізом або ж накатаною на відповідному обладнанні. Для спрощення технологічної операції нарізання нарізі і полегшення згвинчування двох деталей на початку нарізі виконують фаску. У кінці нарізі може створюватись ділянка з неповним профілем (збіг нарізі). Щоб його уникнути виконують проточки.

Нарізі, що використовуються у виробництві, розрізняють наступним чином:

- за формою профілю (трикутні, трапецеїдальні, прямокутні, ін.);
- за розташуванням на поверхні деталі (зовнішні і внутрішні);

- за призначенням ((кріпильні (метрична, трубна тощо) і ходові (трапецеїдальна, упорна, прямокутна));
- за напрямком гвинтової поверхні (праві і ліві). Права нарізь утворюється контуром, який переміщається уздовж осі нарізі за годинниковою стрілкою. Ліва – проти годинникової стрілки;
- за формою поверхні, на якій виконано нарізь (циліндричні і конічні);
- за кількістю заходів (однозахідні і багатозахідні). Однозахідна нарізь утворюється однією гвинтовою лінією. Багатозахідна – декількома гвинтовими лініями.

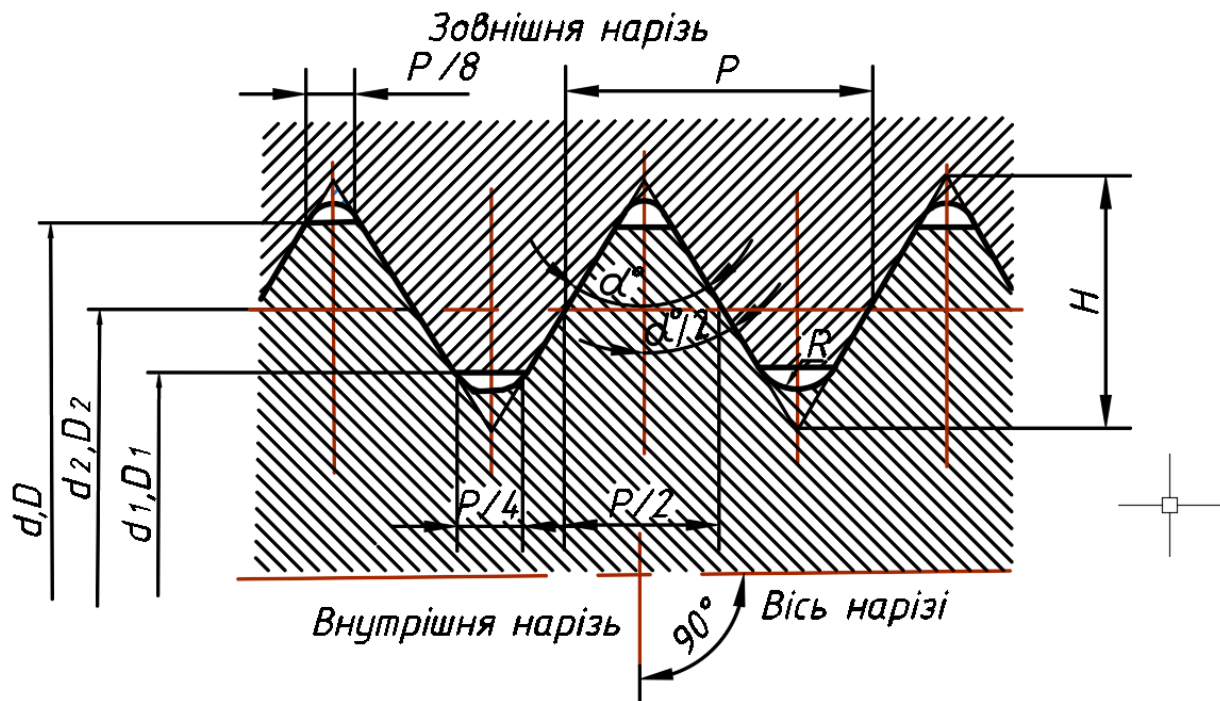


Рис. 11.7

Основні параметри нарізі, терміни та визначення встановлені відповідними стандартами (ДСТУ ISO 68-1, ДСТУ ISO 724, ДСТУ 2497, ін.) (рис. 11.7). Відповідно до ДСТУ 2497 основними параметрами нарізі вважають:

- вісь нарізі – пряма лінія у напрямку якої по гвинтовій лінії рухається плаский профіль, що утворює нарізь;

- профіль нарізі – контур перерізу нарізі площиною, яка проходить через вісь нарізі. Елементи профілю – вершину, западину, бічні поверхні і кути їх нахилу показано на рис. 11.7;

- крок нарізі (P) – відстань по лінії, паралельній до осі нарізі, між середніми точками найближчих однойменних бічних сторін профілю нарізі, які лежать в одній осьовій площині по один бік від осі нарізі;

- зовнішній діаметр нарізі – діаметр уявного прямого кругового циліндра описаного навколо вершин зовнішньої (d) або западин внутрішньої (D) циліндричної нарізі;

- внутрішній діаметр – діаметр уявного прямого кругового циліндра вписаного у западини зовнішньої (d_l) або у вершини внутрішньої (D_l) циліндричної нарізі;

- середній діаметр – діаметр (d_2 – зовнішньої, D_2 – внутрішньої) уявного співвісного з нарізю прямого кругового циліндра, твірنا якого перетинає профіль нарізі так, що її відрізки, утворені перетином з канавкою, дорівнюють половині номінального кроку нарізі;

- D , d – номінальний діаметр, діаметр, що умовно характеризує розміри нарізі і використовується при її позначенні;

- довжина нарізі з повним профілем (l) – довжина ділянки нарізі, на якій вершини та западини нарізі відповідають номінальному профілю;

- довжина нарізі (L) – довжина частини деталі, на якій виконано нарізь, включно з фаскою і збігом нарізі;

- хід нарізі (Ph) – відстань по лінії, паралельній до осі нарізі, між будь-якою вихідною середньою точкою на бічній поверхні нарізі та середньою точкою, отриманою внаслідок переміщення вихідної середньої точки по гвинтовій лінії нарізі на кут 360° . В однозахідній нарізі її хід дорівнює кроку ($P = Ph$), у багатозахідній нарізі хід Ph дорівнює добутку кількості заходів n на крок P ($Ph = P \times n$) (ДСТУ 2497).

- збіг нарізі – ділянка в зоні переходу нарізі до гладкої частини деталі, на якій нарізь має неповний профіль (рис. 11.8).

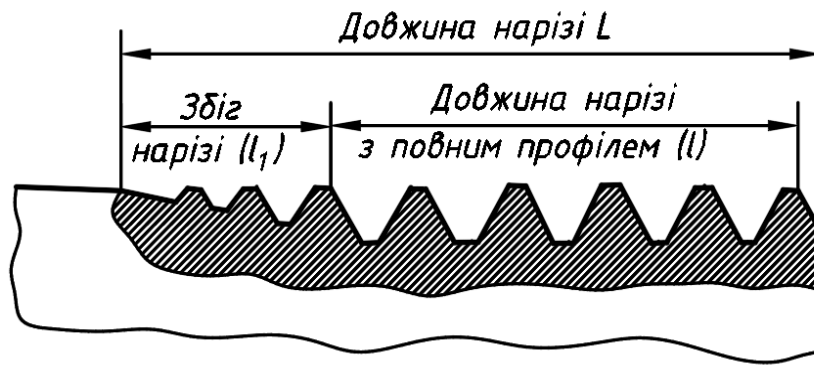


Рис. 11.8

11.4.2. Зображення нарізі

На креслениках нарізь показують умовно не залежно від її профілю. На стрижні її зображують суцільною товстою лінією по зовнішньому діаметру типу 01.2.3 (ДСТУ ISO 128-24), по внутрішньому – суцільною тонкою лінією типу 01.1.8 (ДСТУ ISO 128-24) (рис. 11.9).

P – крок нарізі.

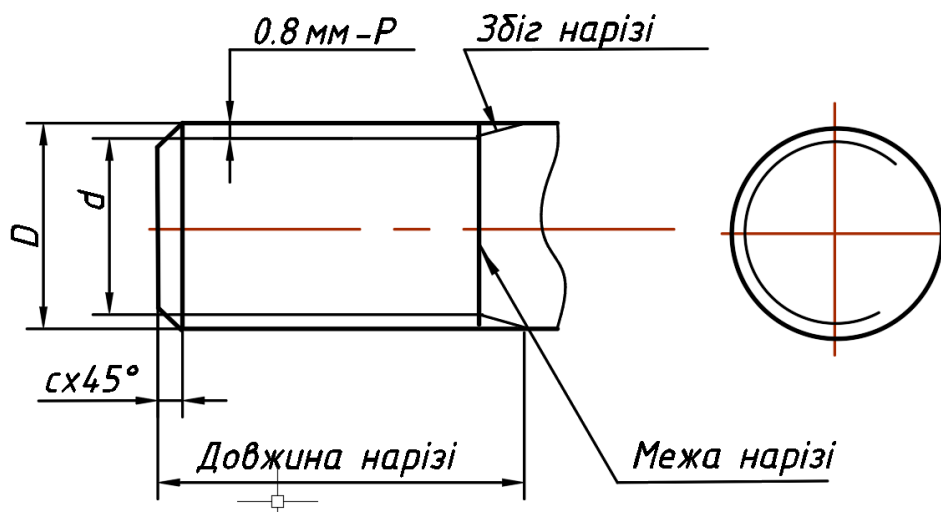


Рис. 11.9

У отворі суцільною товстою лінією типу 01.2.3 нарізь зображують по внутрішньому діаметру, а суцільною тонкою лінією типу 01.1.8 – по зовнішньому (рис. 11.10).

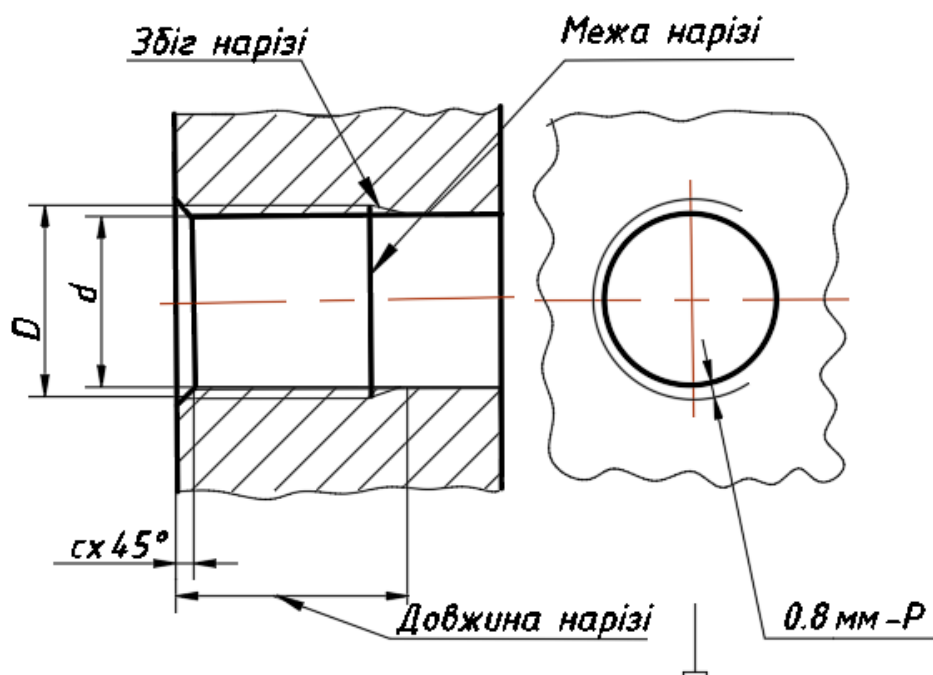


Рис. 11.10

Суцільну тонку лінію проводять по усій довжині нарізі, включаючи фаску. Відстань між тонкою і товстою лініями приймають $0.8 \text{ мм} - P$ (P – крок нарізі). Межу нарізі на стрижні і в отворі позначають суцільною товстою лінією типу 01.2.3 (ДСТУ ISO 128-24), яку проводять у кінці повного профілю нарізі. Збіг нарізі на креслениках деталей не показують. Штрихування в розрізах і перерізах виконують до суцільної товстої лінії (до лінії зовнішнього діаметра на стрижні і внутрішнього у отворі). Не видиму на зображенні нарізь показують штриховою лінією типу 02.1 (ДСТУ ISO 128-24). На виді з торця деталі тонку лінію нарізі показують колом розімкненим на $\frac{1}{4}$ діаметра у довільному місці. Початок і кінець дуги кола не повинні співпадати з осьовими лініями центра кола (рис. 11.9, рис. 11.10). На цьому ж вигляді фаску, яка немає конструктивного значення, не показують.

11.4.3. Види нарізі

У техніці використовують різні види нарізі: метричну, трубну, трапецеїдальну, упорну, прямокутну, ін. Вони мають різні форми профілю, виконуються на циліндричних і конічних поверхнях. Параметри нарізі для більшості її видів встановлені відповідними стандартами. Є нарізі, параметри яких не стандартизовані. Фрагменти

таких нарізей на креслениках деталей оформляють виносними елементами, на зображенні яких наносять усі розміри, що необхідні для виготовлення такої нарізі. Найбільш поширеним видом нарізі є метрична нарізь.

Нарізь метрична (ДСТУ ISO 68-1, ДСТУ ISO 724, ДСТУ ISO 261). Профіль метричної нарізі є рівнобедреним трикутником з кутом при вершині $\alpha = 60^\circ$ (рис. 11.11). Виступи і западини притуплені.

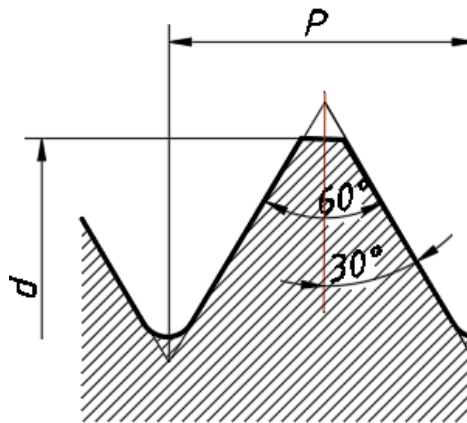


Рис. 11.11

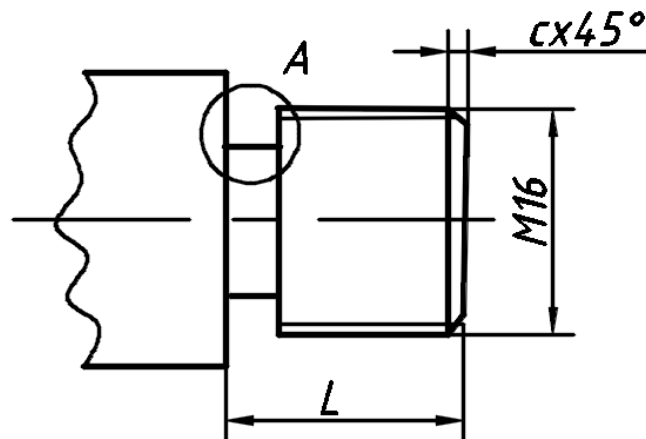


Рис. 11.12

У позначку метричної нарізі з великим кроком входить літера M і значення номінального діаметра (рис. 11.12). Якщо крок дрібний, його записують після значення номінального діаметра через знак «х» (рис. 11.13). Метричну нарізь з дрібним кроком використовують при потребі підвищення надійності з'єднання, у тонкостінних деталях тощо. У позначку лівої метричної нарізі у кінці додають літери LH .

Літери S або L можуть використовуватись, якщо вказують клас довжини згвинчування (коротка чи довга). Правила позначень нарізей регламентуються альтернативними стандартами ДСТУ ISO, що забезпечують взаємозамінність кріплень в Україні у відповідності до міжнародних норм.

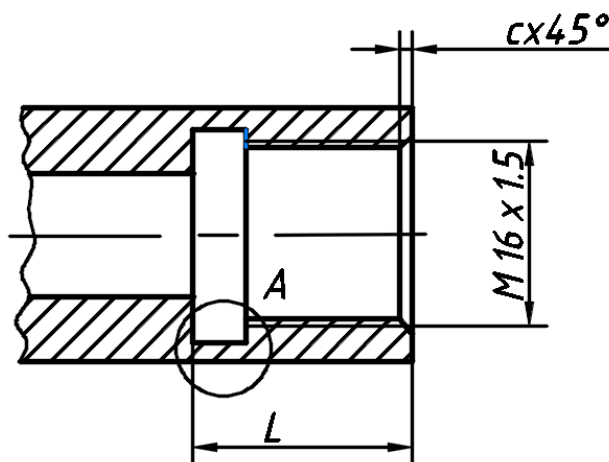


Рис. 11.13

У табл. 11.1 наведено номінальні діаметри і кроки метричної нарізі (ДСТУ ISO 261, ДСТУ ISO 724) у проміжку від номінального діаметра 3 мм до 50 мм. З більшим рядом номінальних діаметрів і кроків можна ознайомитись у зазначених стандартах.

Таблиця 11.1. Номінальний діаметр/крок нарізі

Номінальний діаметр, D , d			Кроки нарізі, P									
1-й вибір	2-й вибір	3-й вибір	Вели- кий	дрібний								
				4	3	2	1.5	1.25	1	0.75	0.5	0.35
3			0.5									0.35
	3.5		0.6									0.35
4			0.7								0.5	
	4.5		0.75								0.5	
5			0.8								0.5	
		5.5									0.5	
6			1							0.75		
	7		1							0.75		
8			1.25						1	0.75		
		9	1.25						1	0.75		
10			1.5					1.25	1	0.75		
		11	1.5						1	0.75		
12			1.75				1.5	1.25	1			

1-й вибір	2-й вибір	3-й вибір	Вели- кий	дрібний								
	14		2				1.5		1			
		15					1.5		1			
16			2				1.5		1			
		17					1.5		1			
	18		2.5			2	1.5		1			
20			2.5			2	1.5		1			
	22		3			2	1.5		1			
24						2	1.5		1			
		25				2	1.5		1			
		26					1.5					
	27		3			2	1.5		1			
		28				2	1.5		1			
30			3.5		(3)	2	1.5		1			
		32					1.5					
	33		3.5		(3)	2	1.5					
		35					1.5					
36			4		3	2	1.5					
		38					1.5					
	39		4		3	2	1.5					
		40			3	2	1.5					
42			4.5	4	3	2	1.5					
	45		4.5	4	3	2	1.5					
48			5	4	3	2	1.5					
		50			3	2	1.5					

Нарізь метрична конічна. Профіль метричної конічної нарізі аналогічний профілю метричної циліндричної нарізі. Нарізь, що виконана на зовнішній поверхні конічної деталі (конусність 1:16) показана на рис. 11.14.

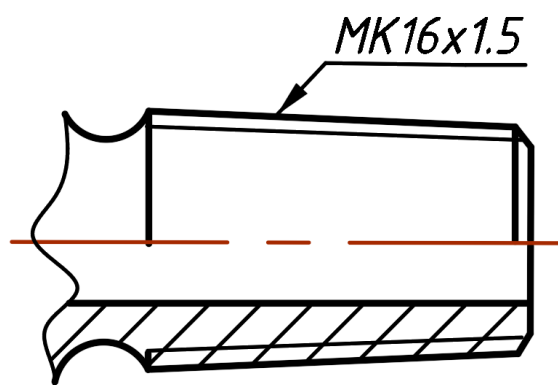


Рис. 11.14

Нарізь, що виконана на внутрішній поверхні конічної деталі показана на рис. 11.15.

Номінальні діаметри метричної конічної нарізі відповідають номінальним діаметрам метричної циліндричної нарізі (у межах від 6 до 60 мм) (Таблиця 11.1). Крок використовується лише дрібний. У позначку метричної конічної нарізі входять літери *МК*, номінальний діаметр і крок. Деталі з метричною конічною наріззю можуть застосовуватись при згвинчуванні з деталями з метричною конічною або циліндричною наріззю такого ж номінального діаметра і кроку. Переважно такі нарізі застосовуються при з'єднанні трубопроводів.

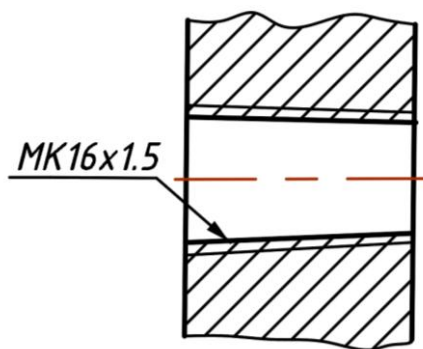


Рис. 11.15

11.4.4. Технологічні елементи нарізі

До технологічних елементів нарізі відносять фаски, проточки, збіги нарізі. Усі ці елементи стандартизовані. Форму (рис. 11.16) і розміри (Табл.11.2) проточок для зовнішньої метричної нарізі ISO виконаної згідно з ДСТУ ISO 261 та ДСТУ ISO 262, встановлює ДСТУ ISO 4755. Цим стандартом розміри проточок встановлені для кроків 0,25–6 мм. У табл. 11.2 подано розміри для кроків 0,5–3,5.

Таблиця 11.2. Розміри проточок зовнішньої метричної нарізі

Крок нарізі, P	d_g	g^1	g^2	r
0,5	$d-0,8$	0,8	1,5	0,2
0,6	$d-1$	0,9	1,8	0,4
0,7	$d-1,1$	1,1	2,1	0,4
0,75	$d-1,2$	1,2	2,25	0,4

Крок нарізі, P	d_g	g_1	g_2	r
0,8	$d-1,3$	1,3	2,4	0,4
1	$d-1,6$	1,6	3	0,6
1,25	$d-2$	2	3,75	0,6
1,5	$d-2,3$	2,5	4,5	0,8
1,75	$d-2,6$	3	5,25	1
2	$d-3$	3,4	6	1
2,5	$d-3,6$	4,4	7,5	1,2
3,5	$d-4,4$	5,2	9	1,6

Примітка: g_1 визначають мінімальним кутом переходу 30° .

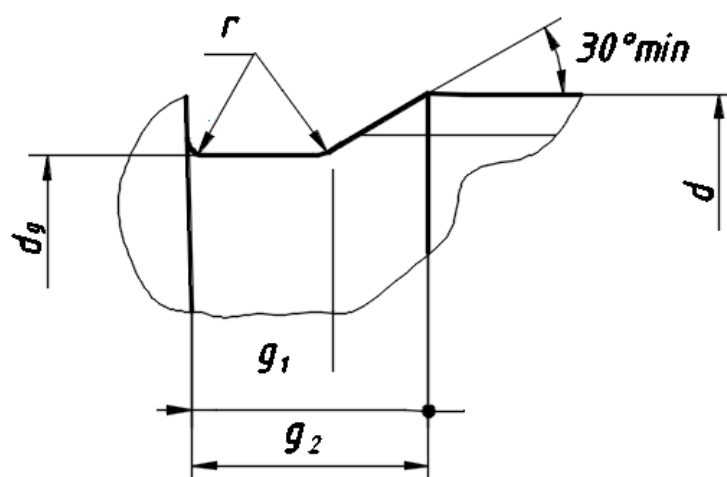


Рис. 11.16

Проточки для внутрішньої нарізі не стандартизовані і їх розміри зазвичай визначаються індивідуально, виходячи з конкретних виробничих умов, глибини нарізі та типу інструменту.

При виконанні графічних робіт розміри проточок для внутрішньої метричної нарізі ISO можна обирати з цієї ж таблиці обчислюючи значення параметру d_g зі знаком плюс.

Збіги нарізі кріпильних виробів з метричною нарізкою згідно з ДСТУ ISO 261 та ДСТУ ISO 262 встановлює ДСТУ ISO 3508.

11.5. Шорсткість

11.5.1. Загальні вимоги

При оформленні робочих креслеників деталей вказують шорсткість (чистоту) їх поверхонь. Від цього параметра залежать вимоги до технології виготовлення деталей та якості матеріалу, з якого їх виготовляють. Врахування шорсткості забезпечує необхідні властивості деталей (зносостійкість, міцність, герметичність, опір у хвилеводах, зовнішній вигляд, тощо). Шорсткість поверхні є важливим показником технічної характеристики виробу. Чистота поверхні (шорсткість) суттєво впливає також на електричні характеристики виробів. Зокрема при виготовленні радіоелектронної і радіотехнічної апаратури високі вимоги ставляться до чистоти внутрішніх поверхонь хвилеводів, елементів антен, контактних поверхонь, тощо.

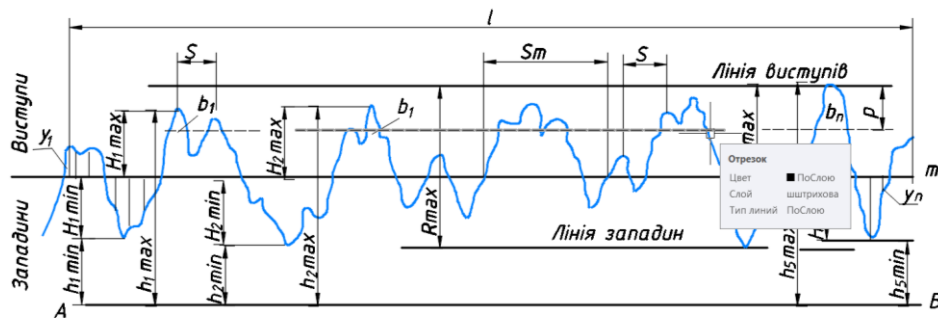


Рис. 11.17

Шорсткість поверхні це сукупність мікронерівностей поверхні, що з'являються у процесі її оброблення, з відносно малими кроками на базовій довжині (ДСТУ 2413). На рис. 11.17 показано профіль нерівностей поверхні, на якій незалежно від способу її оброблення утворюються макро- і мікронерівності у вигляді виступів і западин.

ДСТУ 2413 встановлено шість параметрів кількісної оцінки шорсткості:

Ra – середній арифметичний відхил профілю;

Rz – висота нерівностей профілю за десятьма точками;

$Rmax$ – найбільша висота профілю;

Sm – середній крок нерівностей;

S – середній крок місцевих виступів профілю;

tp – відносна опорна довжина профілю.

Серед вказаних показників, якщо немає додаткових вимог, надають перевагу параметру Ra , за яким візуально точніше оцінюється якість поверхні порівнянням з поверхнею стандартного зразка. Ra обчислюється як середнє арифметичне відхилення профілю в межах базової довжини, мкм:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx,$$

де l – базова довжина, мм; $y(x)$ – відхилення профілю, мкм (ДСТУ 2413). Базова довжина обирається залежно від необхідної точності оброблення деталей.

У більшості випадків використовують наступні значення параметру Ra : 100; 50; 12,5; 6,3; 3,2; 1,6; 0,8; 0,4; 0,2; 0,1; 0,05; 0,25; 0,012 мкм.

Параметр Rz використовують, коли потрібна більш точна оцінка шорсткості поверхні за допомогою спеціальних приладів. Іноді цих параметрів буває недостатньо, щоб оцінити повні експлуатаційні характеристики поверхні. Наприклад, опір у хвилеводах значною мірою залежить від параметрів S та Sm . Значення параметру Rz обирають з наступного ряду: 400; 200; 100; 50; 25; 12,5; 6,3; 3,2; 1,6; 0,8; 0,4; 0,2; 0,1; 0,05; 0,025.

При обранні параметрів шорсткості поверхні деталі слід орієнтуватись на її конструктивні особливості та функційне призначення.

11.5.2. Позначення шорсткості

Шорсткість поверхні на креслениках позначається спеціальним символом, за яким вказують параметрами шорсткості. У разі потреби вказують також спосіб оброблення та напрямки нерівностей (ДСТУ EN ISO 1302). Зазвичай, використовується знак шорсткості, який зображено на рис. 11.18.

У разі, коли при позначенні шорсткості використовують параметри Ra , Rz , $Rmax$, а базова довжина має значення регламентоване стандартом, її у позначенні шорсткості не вказують. Умовну позначку напрямку нерівностей вказують лише

за необхідності. Вид оброблення поверхні вказують тоді, коли для отримання відповідної якості поверхні, вимагається використання лише зазначеної технології. Параметр шорсткості вказують після відповідного символу.

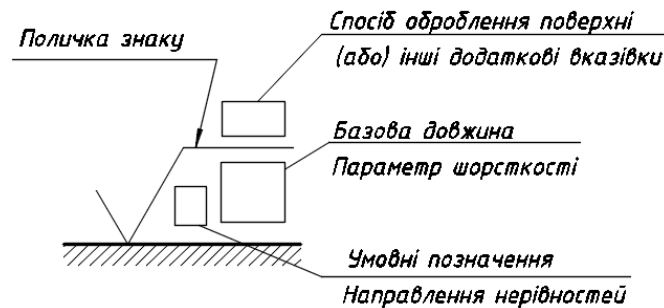
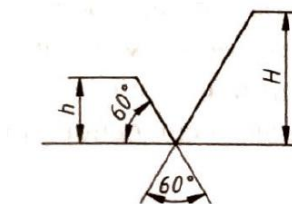
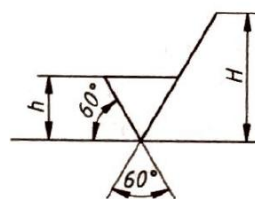


Рис. 11.18

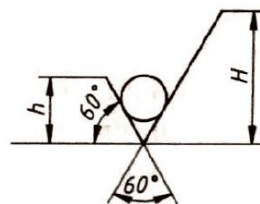
При позначенні шорсткості поверхні можуть бути використані наступні варіанти знаку шорсткості (рис. 11.19, а, б, в):



а



б



в

Рис. 11.19

Зміст познач на рис. 11.19 наступний: *а*- вид оброблення поверхні конструктором не встановлюється; *б*- поверхня утворюється видаленням шару металу (свердлінням, точінням, фрезеруванням тощо); *в*- поверхня утворюється без видалення шару металу (лиття, прокатування, штампування тощо або поверхня не обробляється за даним креслеником).

В усіх випадках де зазначають параметр шорсткості знаки зображають з поличками. Значення параметра шорсткості розташовують після відповідного символу, наприклад, $Ra\ 6,3$; $Rz\ 50$.

У наведених знаках висота h має дорівнювати обраній висоті цифр розмірних чисел на даному кресленіку. Висота $H = (1.5\ 5)h$. Товщина лінії, якою виконують знак має бути удвічі меншою за суцільну товсту лінію типу 01.2 (ДСТУ ISO 128-24).

Позначки шорсткості поверхонь деталі рекомендується розташовувати на її зображенні так, як показано на рис. 11.20.

Тобто:

- на лінії контуру поверхні деталі;
- на виносній лінії;
- на поличках ліній-виносок;
- на розмірній лінії або її продовженні (при нестачі місця).

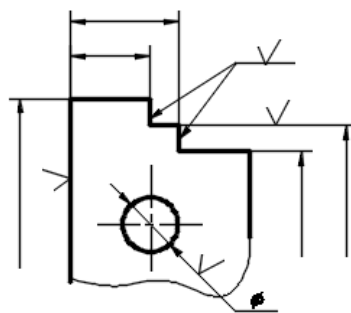


Рис. 11.20

Позначку шорсткості поверхні слід наносити з боку її оброблення.

Орієнтування знаків шорсткості поверхні відносно зображення виробу має бути таким як зображено на рис. 11.21.

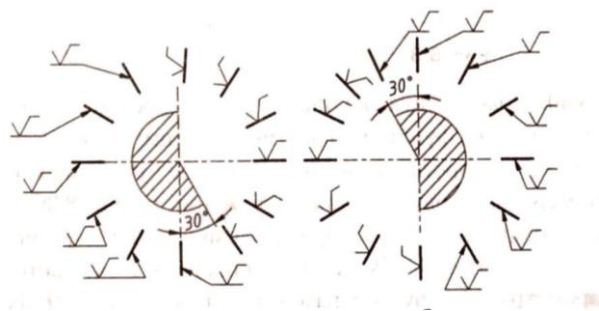


Рис. 11.21

У разі коли усі поверхні деталі мають однакову шорсткість, умовну позначку на зображенні деталі не наносять, а розміщують у правому верхньому куті кресленика (рис. 11.22). Розміри знаку мають бути збільшеними приблизно у 1.5 рази порівняно з позначкою на кресленику. Товщина лінії – типу 01.2 (ДСТУ ISO 128-24).

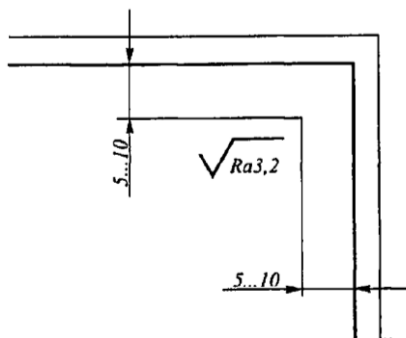


Рис. 11.22

У разі, коли частина поверхонь деталі мають однакову шорсткість, її не позначають на зображенні деталі, а позначку шорсткості поверхонь розміщують у правому верхньому куті кресленика (рис. 11.23). Розміри знаку у дужках («решта поверхонь») такі ж, як і на полі кресленика.

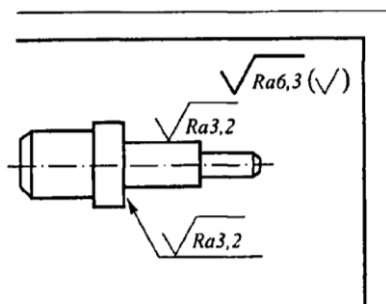


Рис. 11.23

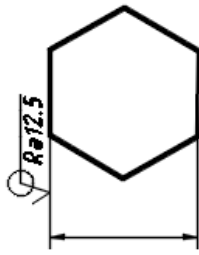


Рис. 11.24

Якщо поверхні утворюють контур і їх шорсткість однакова, позначку шорсткості наносять один раз, використовуючи відповідний знак (рис. 11.24). Розмір діаметра допоміжного знака («по контуру») дорівнює 4–5 мм, виконується суцільною тонкою лінією типу 01.1 (ДСТУ ISO 128-24).

Запитання для самоперевірки

1. Які дані повинен містити робочий кресленик деталі?
2. Як обирають головний вид деталі на робочому кресленику?
3. Що таке наріз?
4. Як зображають наріз на стрижні, вісь якого розташована паралельно площині проєкцій?
5. Як зображають наріз на стрижні, вісь якого розташована перпендикулярно до площини проєкцій?
6. Як зображають наріз на розрізі у отворі, вісь якого розташована паралельно площині проєкцій?
7. Як наносять розмір довжини нарізи на стрижні і у отворі при виконаній проточці?
8. Що таке шорсткість поверхні?
9. Які параметри використовуються для кількісної оцінки шорсткості поверхонь?
10. Які умовні знаки встановлені стандартом для позначення шорсткості поверхонь на кресленику?
11. На якій відстані від рамки розміщують позначення шорсткості у правому верхньому куті кресленика?

РОЗДІЛ 12. З'ЄДНАННЯ ДЕТАЛЕЙ

При виконанні складальних операцій окремі деталі складаної одиниці з'єднують між собою. Існує два види з'єднань рознімні і нерознімні. Розглянемо деякі з них.

12.1. Рознімні з'єднання

Рознімними з'єднаннями вважають з'єднання, якщо при демонтажі їх складові частини залишаються неушкодженими. До таких з'єднань належать нарізеві з'єднання, шпонкові з'єднання, ін.

12.1.1. Нарізеві з'єднання

Функціонування будь-якого механізму забезпечується взаємодією деталей, які входять до його складу. Ця взаємодія відбувається за допомогою з'єднань окремих деталей і передач. З'єднання, які використовуються у техніці, бувають рознімні і нерознімні. До *рознімних з'єднань* відносять з'єднання, складові частини яких можна роз'єднати без порушення їх цілісності. Найбільш поширеними у техніці з'єднаннями є нарізеві. *Нарізеві з'єднання* утворюються сполученням двох деталей за допомогою нарізи, яка виконана на зовнішній поверхні однієї деталі і внутрішній поверхні іншої деталі (ДСТУ 2497). Оскільки з'єднання є елементами складаних одиниць, то їх зображення рекомендується показувати спрощено (ДСТУ EN ISO 6410-1, ДСТУ EN ISO 6410-2, ДСТУ EN ISO 6410-3) (рис. 12.1).

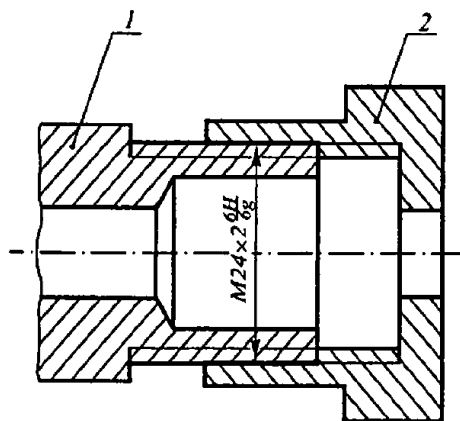


Рис. 12.1

Окрім того, при виконанні нарізових з'єднань використовуються кріпильні елементи. Це болти, гвинти, гайки, шпильки, шайби. Форма і розміри цих деталей встановлюються відповідними стандартами.

12.1.2. Кріпильні вироби

Загальні вимоги до болтів, гвинтів, шпильок і гайок встановлює ДСТУ ISO 8992. Символи та позначення їх розмірів регламентує ДСТУ EN ISO 225.

12.1.2.1. Механічні властивості кріпильних виробів

Механічні властивості кріпильних виробів визначають за класом міцності. Для болтів, гвинтів і шпильок виготовлених з вуглецевих сталей встановлено одинадцять класів міцності. Вони наступні: 3.6; 4.6; 4.8; 5.6; 5.8; 6.8; 8.8; 9.8; 10.9; 12.9 (ДСТУ ISO 898–1). Відповідно до параметрів класу міцності визначають здатність болтів, гвинтів, шпильок і гайок витримувати навантаження. Параметр міцності складається з двох чисел, що розділені крапкою, наприклад, 10.9. У цих числах закладена інформація про мінімальну межу міцності на розрив та межу текучості матеріалу. Помножене на 100 перше число характеризує мінімальний тимчасовий опір на розрив в МПа. Помножене на 10 друге число є відношенням межі текучості матеріалу до межі міцності на розрив у відсотках. Показники класу міцності є основними характеристиками, які забезпечують надійність та безпеку функціонування конструкцій.

Клас міцності гайок позначається одним числом (ДСТУ ISO 898-2). Це число відповідає найбільшому класу міцності болта, з яким вона буде застосовуватись. Наприклад, гайка з класом міцності 6 може бути використана з болтами, у яких клас міцності 5.6, 5.8, 6.6. Встановлено сім класів міцності для гайок: 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14.

Для характеристики матеріалів шайб найбільш поширеним вважається метод Вікерса. За шкалою Вікерса шайби можуть мати твердість від 100 до 400 одиниць. Відповідно твердість шайб позначають $HV = 100$, $HV = 200$ тощо.

З метою надійності роботи з'єднань залежно від того, де будуть використовуватись кріпильні елементи, їх виконують з різних матеріалів, а поверхні можуть покривати. Щоб запобігти корозії деталей і захистити їх в умовах роботи в агресивних

середовищах, використовують оцинковані сталі. Латунні кріпильні елементи використовують, коли конструкція працює в умовах динамічних і вібраційних навантажень. Якщо кріпильні елементи застосовуються в умовах агресивного і вологого середовища при значних перепадах температури, використовують нержавку сталь тощо.

12.1.2.2. Зображення нарізових з'єднань кріпильними елементами

Залежно від виду конструкторського документа нарізеві з'єднання можуть зображатись конструктивно, спрощено або умовно. На рис. 12.2, а показано приклад нарізевого з'єднання двох деталей болтом за допомогою гайки і шайби. Зображення з'єднання болтом конструктивне. У цьому випадку розміри кріпильних деталей обирають у відповідності до таблиць стандартів. Аналогічно виконуються конструктивні зображення шпильок, гвинтів, гайок, шайб тощо.

На складальних кресленнях рекомендується виконувати зображення кріпильних елементів спрощено. При цьому фаски, скруглення, щілини між стрижнем і отворами деталей, що з'єднуються, не відображають. Нарізь умовно показують по усій довжині стрижня. На рис. 12.2, б, в, г показано приклади спрощеного зображення кріпильних елементів у з'єднанні.

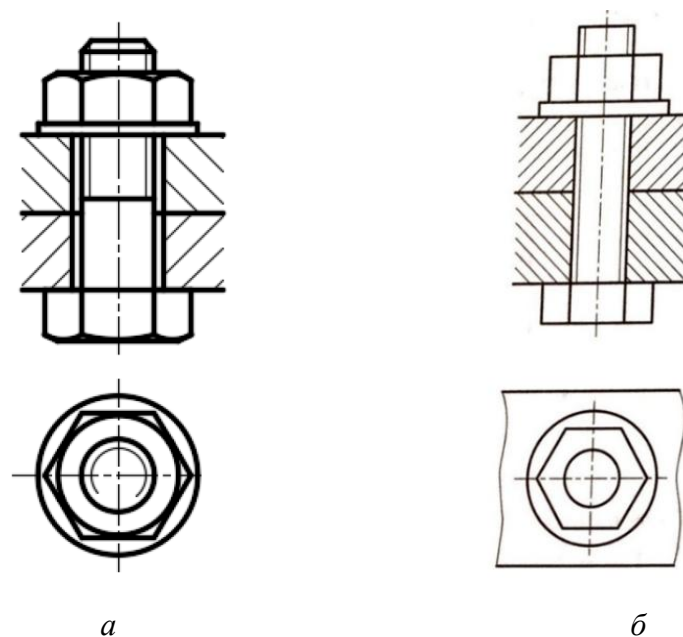
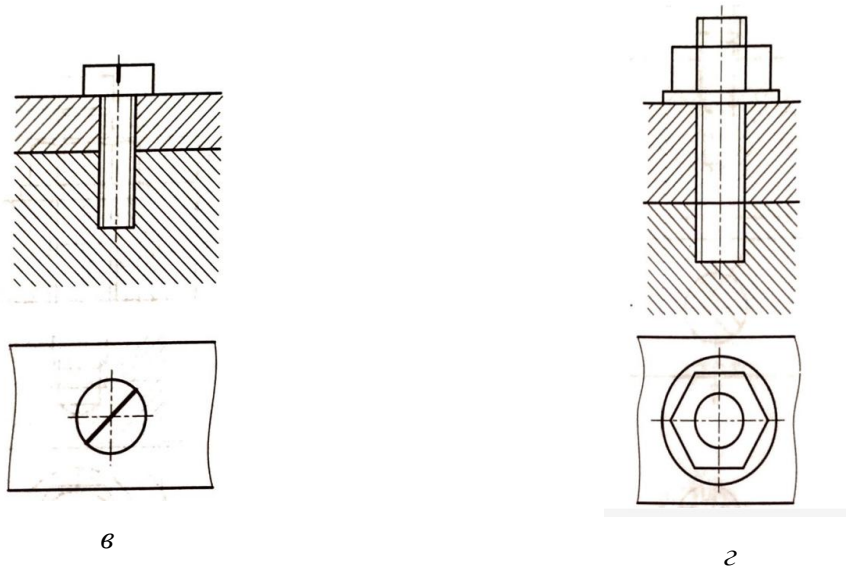


Рис. 12.2



Примітка: а – болт, б – гвинти, в- шпилька

Рис. 12.2. Закінчення (див. також с. 261)

12.1.2.3. Позначення кріпильних виробів

Позначення кріпильних виробів встановлює ДСТУ ISO 8991. Основні елементи позначення наступні:

- назва виробу;
- познака стандарту;
- номінальний діаметр нарізі;
- номінальна довжина (за потреби);
- довжина нарізі або довжини стрижня (за потреби);
- тип виробу (за потреби);
- клас міцності, твердість чи познака матеріалу;
- клас точності виробу (за потреби);
- тип нарізі (за потреби);
- захисний покриття (за потреби).

Нижче наведено приклад позначення:

Болт з шестигранною головкою, відповідно ДСТУ EN ISO 4014, з розміром нарізі $d = M16$, номінальною довжиною $l = 80$ та класом міцності 9.8:

Болт з шестигранною головкою ДСТУ EN ISO 4014–M16x80–9.8

У позначенні стандарту міститься інформація про конструкцію кріпильного виробу, його геометричну форму, точність виготовлення, марку матеріалу, або технічні умови на матеріал, міцність та інші параметри.

12.2. Нерознімні з'єднання

Нерознімне з'єднання – це скріплення деталей, розбирання яких неможливе без їх руйнування або пошкодження. До такого виду з'єднань належать зварювання, паяння, склеювання, клепаання та пресові з'єднання (з натягом). Ці з'єднання характеризуються високою міцністю, герметичністю та високою надійністю конструкцій.

12.2.1. З'єднання зварюванням

Зварювання – це процес створення нерознімного з'єднання матеріалів сплавленням при їх місцевому нагріванні або пластичній деформації.

При цьому в якості джерела нагрівання використовують газове полум'я, електричну дугу, лазер тощо. Процес зварювання відбувається нагріванням стику деталей до температури плавлення їх матеріалу. Для виконання певних умов при зварюванні можуть використовуватись присадки (електроди) – додатковий матеріал, що розплавляється разом з матеріалом деталей і заповнює щілину між ними. Після охолодження утворюється зварний шов. З'єднання зварюванням може бути як одноконковим, так і різних матеріалів. При пластичному деформуванні матеріали з'єднують під тиском. При цьому їх поверхні при з'єднанні деформуються.

Терміни та визначення основних понять, які стосуються зварювання, регламентують відповідні стандарти (ДСТУ ISO 2553, ДСТУ ISO 4063).

Основні види зварювання наступні: газове, ручне дугове, напівавтоматичне, аргоннодугове, плазмове, точкове тощо.

При з'єднанні двох заготовок зварюванням у місці їх нагрівання створюється шов. *Зварний шов* – це ділянка зварного з'єднання, яка утворюється внаслідок оплавлення та кристалізації металу з'єднуваних поверхонь або внаслідок їхньої пластичної деформації під час зварювання тисненням.

Вид зварного шва визначається видом зварювання. Залежно від цього шви бувають: стикові, кутові, Т – подібні тощо. Крім того, зварні шви можуть бути

безперервними (суцільними, виконаними по усій довжині з'єднаних крайок заготованок), переривчастими (виконаними зі встановленими проміжками нез'єданого металу по довжині з'єднаних крайок заготованок). Переривчасті шви у свою чергу бувають ланцюговими (двосторонніми переривчастими, у яких зварені ділянки та проміжки між ними розташовують з протилежних сторін з'єднання один напроти одного) та шаховими (двосторонніми переривчастими, у яких проміжки нез'єданого металу з однієї сторони з'єднання розташовані проти зварених ділянок шва з протилежної сторони).

Зварні шви можуть бути плоскими, випуклими чи увігнутими. Залежно від вимог опуклості можуть знімати механічним способом.

На кресленику зварні шви зображають умовно суцільною товстою лінією типу 01.2 (ДСТУ ISO 128-24). Видиму точку переривчастого шва зображають знаком «+» суцільною товстою лінією (тип 01.2), невидиму не зображають. Умовну позначку шва записують на поличці лінії-виноски (рис. 12.3).

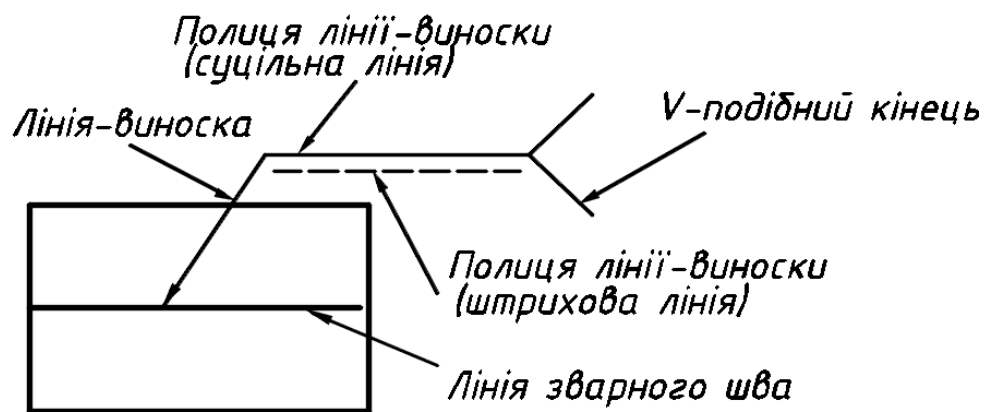


Рис. 12.3

Умовна позначка зварного шва складається з таких елементів:

- лінія зі стрілкою;
- лінія-виноска, що складається з двох паралельних ліній (суцільної і штрихової);
- закінчення лінії-виноски у вигляді латинської літери «V», за якою можуть бути вказані додаткові дані необхідні для виконання зварного шва.

Символ, що позначає зварний шов, може бути розташований на суцільній чи штриховій лінії-виносці. Це залежить від того, на який бік зварного шва вказує стрілка. Якщо символ розташований на суцільній лінії, то стрілка лінії-виноски вказує на видимий бік шва. Якщо символ розташований на штриховій лінії, то стрілка лінії-виноски вказує на зворотній бік шва.

Символьна позначка зварного шва включає основні і додаткові символи. Основні символи характеризують вид з'єднання і вид зварного шва (рис. 12.4). Додаткові символи характеризують форму поверхні шва або спосіб його оброблення (рис. 12.5).

На рис. 12.4 показано приклад застосування основного символу – «кутовий шов».

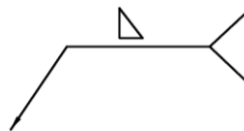


Рис.12.4

На рис.12.5 показано приклад застосування основного і додаткового символу – «кутовий шов увігнутий».

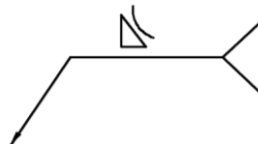


Рис. 12.5

Крім того, на згині лінії – виноски можуть наноситись такі знаки:

«По контуру» – креслять коло суцільною тонкою лінією типу 01.1 (ДСТУ ISO 128-24) в місці перетину лінії-виноски та полиці. Діаметр кола дорівнює близько 3 мм (рис. 12.6).

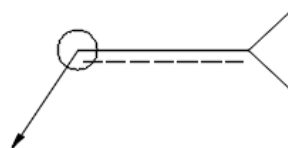


Рис. 12.6

«Шов виконується під час монтажу» (рис. 12.7).

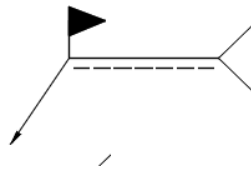


Рис. 12.7

Відповідно до ДСТУ ISO 2553, на поличці крім символів можуть вказуватись геометричні параметри зварного шва. Наприклад, зліва від символу шва можуть вказуватись параметри поперечного перерізу, висоту, катет кутового шва, ін. Праворуч символу – параметри довжини шва. Для переривчастих швів кількість елементів шва, крок, ін. У «хвості» вказується додаткова інформація щодо процесу зварювання з посиланням на відповідний стандарт, рівень якості або допоміжні вказівки.

Зварювання має широке застосування в машинобудуванні, приладобудуванні. У радіотехніці застосовується при виготовленні різних конструкцій, мікросхем тощо.

12.2.2. З'єднання пайкою

Паяння – це технологічний процес, при якому отримують нероз'ємне з'єднання двох заготованок, які нагрівають до температури плавлення металевого припою. Вимоги до паяних з'єднань, їх зображення і позначення встановлює ДСТУ EN ISO 2553.

При утворенні паяного з'єднання застосовують припій. Припій має температуру плавлення нижчу, ніж метали, що з'єднуються. Тобто деталі при з'єднанні не розплавляються, а лише нагріваються. Розплавлений припій змочує поверхні обох заготованок і заповнює щілини між ними. Після охолодження припій кристалізується утворюючи шов.

Припій – це металевий сплав найчастіше на основі олова і свинця або на основі срібних сплавів. Припої бувають легкоплавкі (олово-свинцеві) і тугоплавкі (на основі срібла, мідно-нікелеві, кадмієві, магнієві). При застосуванні припоїв варто враховувати, що використання свинцевих припоїв через екологічні вимоги суворо

обмежене у багатьох сферах. Через вказані обмеження сучасні стандарти, що гармонізовані з міжнародними, переважно стосуються безсвинцевих припоїв. Вимоги до м'яких припоїв, до яких належать і олов'яно-свинцеві припої регламентує ДСТУ EN ISO 9453 і стандарти, що стосуються паяння загалом. Назви марок олов'яно-свинцевих припоїв, що досі використовуються, зазвичай позначаються літерами «ПОС» (припій олов'яно-свинцевий) з цифрою, що вказує на відсоток олова. Приклади олов'яно-свинцевих припоїв: ПОС-61, ПОС-40, ПОС-30, ін.

Срібні припої відносяться до твердих припоїв. Приклади срібних припоїв: ПСр-70, ПСр-15, ін. (ДСТУ EN ISO 17672).

Стандартом ДСТУ EN ISO 3677 регламентуються вимоги до присадних матеріалів, ДСТУ EN ISO 18496 і ДСТУ EN ISO 9455-10- до флюсів.

Шви виконані паянням зображають суцільною товстою лінією типу 01.2 (ДСТУ ISO 128-24). Відповідно до ДСТУ ISO 2553, паяні шви позначаються за тими ж принципами, що і зварні, але з урахуванням специфіки процесу. На поличці лінії-виноски розміщують: графічний символ типу шва, розміри шва. Зліва від символу вказують номінальну ширину напуску або діаметр точки, праворуч – довжину шва або кількість точок (якщо це переривчастий шов). Згідно з ДСТУ ISO 2553, для паяних з'єднань використовують ті ж графічні символи, що і для зварювання, оскільки стандарт уніфікований. Але є специфічні символи, які зустрічаються саме в паянні. Це символ «//», який вказує, що деталі розташовані «внапусток»; символ «| |», якщо з'єднання деталей стикове; символ «| _ |» (у вигляді перевернутої літери П) при тавровому з'єднанні тощо. Записують умовні позначки шва на суцільній або штриховій лінії. Це залежить від того, на яку сторону шва (видиму чи не видиму) вказує стрілка. Якщо шов однаковий з обох сторін, пунктирну лінію полички, що використовується для позначення тильного боку шва, можна опустити.

У хвості лінії-виноски вказують наступні дані: стандарт на процес паяння; припій; клас якості тощо. Іншу інформацію зазначають у технічних вимогах, які розміщують над основним написом. Наприклад, вимоги до підготовки поверхонь, відомості про припій, тип флюсу, режими термічного оброблення після паяння тощо.

Якщо до параметрів шва не застосовується ніяких вимог, а лише вказується, що шов повинен бути паяним, використовується позначення як показано на рис. 12.8:

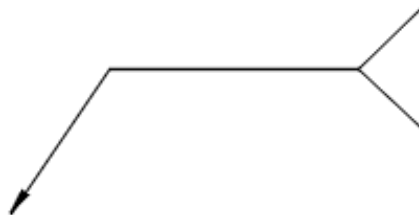


Рис. 12.8

У випадку, якщо паяне з'єднання є складовою частиною складаної одиниці, паяні шви показують суцільною товстою лінією (тип 01.2), а у розрізі усі деталі з'єднання штрихують однаково.

Пайка широко використовується у радіотехніці, електроніці, електротехніці, приладо – і машинобудуванні. З'єднання паянням є одним з основних способів отримання нерознімних з'єднань у радіотехніці. Паяння застосовують коли необхідно отримати надійний шов з низьким електричним опором у місці з'єднання. Також паяння широко використовується при виготовленні плат.

12.2.3. З'єднання склеюванням

Склеювання – це спосіб отримання нероз'ємного з'єднання кількох деталей за допомогою клею, який наносять на поверхні, що склеюються. Спосіб дозволяє склеювати різні матеріали.

Вимоги щодо зображення і позначення швів виконаних склеюванням регламентовані стандартом (ДСТУ EN ISO 15785).

Шви клеєних з'єднань зображають суцільною товстою лінією типу 01.2 (ДСТУ ISO 128-24). Позначення клеєних з'єднань може виконуватись у такий спосіб:

- позначення за допомогою лінії-виноски. На поличці лінії-виноски записують умовний знак (рис. 12.10), напис про з'єднання склеюванням, марку клею, тощо. У кінці лінії-виноски (у хвості) може бути посилання на відповідний нормативний документ, наприклад, на стандарт, який регламентує технологічний процес або метод випробовування (ДСТУ EN ISO 4587, ДСТУ EN ISO 9653 тощо);

- у технічних вимогах на кресленику, де може бути вказана марка клею, рекомендації щодо умов виконання з'єднання, методів випробувань та вимог щодо якості матеріалів тощо.

На рис. 12.9 показано символ – «з'єднання виконати по усій поверхні з'єднуваних деталей».

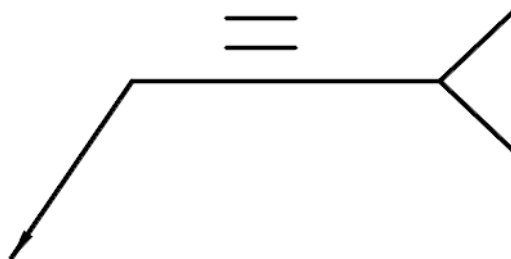


Рис.12.9

Для позначення склеювання на поличці лінії-виноски використовується такий самий символ, що й для паяння внапусток – «//», оскільки клейові з'єднання майже завжди виконуються внапусток. У хвості вказується код процесу склеювання (наприклад, для склеювання 921) і через косу лінію марка клею. Якщо з'єднання має бути виконане лише з одного боку деталі, використовується поличка лише суцільною лінією. Якщо ж клей має бути нанесений з обох сторін по контуру, додається пунктирна лінія.

Якщо шов наносять по замкненому контуру, то на згині лінії-виноски наносять умовний знак «шов виконати по замкненому контуру» (рис. 12.6).

Спосіб склеюванням застосовують у випадку нероз'ємного з'єднання деталей з листового матеріалу, гнутих профілів тощо. Такі з'єднання мають хорошу герметичність, опірність вібраційним навантаженням, але не витримують значних навантажень. Міцність з'єднання залежить від товщини шва. Клеєні з'єднання широко застосовуються у різних галузях промисловості і побуті. Клеї використовуються також для створення багат шарових матеріалів з різними властивостями.

Запитання для самоперевірки

1. Які є способи з'єднання деталей?
2. Які з'єднання відносять до рознімних?
3. Які деталі застосовують як кріпильні?
4. Як виконують з'єднання болтом?
5. Які особливості виконання з'єднання шпилькою?
6. Яка структура позначки кріпильних деталей?
7. Які є нерознімні з'єднання?
8. Як зображають та позначають зварний шов?
9. Коли використовують паяні з'єднання?
10. Як зображають та позначають паяні шви?
11. Коли застосовують з'єднання склеюванням?

РОЗДІЛ 13. СКЛАДАЛЬНИЙ КРЕСЛЕНИК

13.1. Специфікація

Основним конструкторським документом для складаних одиниць, комплексів і комплектів є специфікація. *Специфікація – текстовий конструкторський документ, у якому зазначають склад розспецифікованого виробу (складанної одиниці, комплексу або комплекту) та розробленої на нього конструкторської документації (ДСТУ 3321).*

Специфікація, як і складальний кресленик, належить до робочої конструкторської документації.

Специфікація складається на кожну складану одиницю, комплекс і комплект. У специфікації відображається їх склад. Вона використовується для виготовлення, комплектування конструкторських документів і запуску виробу у виробництво. У специфікації записують конструкторські документи, які складені на виріб, що специфікується, і його складові частини.

Специфікація виконується на окремих аркушах формату А4. Відповідно до ДСТУ ISO 7573 вона виконується на аркушах формату А4 (ДСТУ ISO 5457) у вигляді колонок, які креслять суцільними товстими чи суцільними тонкими лініями (згідно з ДСТУ ISO 128-24 – типу 01.2 і 01.1, відповідно). Контури специфікації креслять суцільною товстою лінією. Записи у колонках виконують горизонтально, відокремлюючи кожен запис суцільною товстою чи суцільною тонкою лініями (згідно з ДСТУ ISO 128-24 – типу 01.2 і 01.1, відповідно). Заголовки колонок мають бути наступними:

- позиція;
- познака;
- кількість;
- посилання;
- матеріал.

У колонці «Позиція» вказується номер позиції, що відповідає такому ж номеру на складальному кресленику.

У колонці «Познака» заносять позначки кожної складової частини. У разі використання стандартної деталі (болт, гвинт, гайка, ін.) слід наводити їх стандартні позначки.

У колонці «Кількість» відображають загальну кількість складових частин.

У колонку «Посилання» вносять інформацію для ідентифікації тих складових частин, які на складальний кресленик подані повністю. Наприклад, деталі зображені на інших креслениках, стандартизовані складові частини чи інші деталі, що були уже застосовані. У цьому випадку вказують позначку відповідного кресленика, стандарту тощо.

У колонці «Матеріал» вказують позначку відповідного стандарту, за яким регламентується даний матеріал, і кількість використаного матеріалу.

Послідовність колонок може бути зміненою. За необхідності кількість колонок може бути збільшеною (наприклад, додається інвентарний номер, маса виробу, примітка тощо). Записи у специфікації виконують у послідовності, що відповідає вказаним позиціям.

Специфікація може виконуватись окремим документом чи бути розташованою на полі кресленика. У разі розташування на кресленику її головка має бути єдиною з основним написом (ДСТУ ISO 7200). У цьому випадку записи виконують знизу вгору. Заголовки колонок розміщують під ними. У разі виконання специфікації окремим документом, послідовність записів має бути згори вниз. У цьому випадку заголовки колонок розташовують вгорі. При виконанні специфікації окремим документом її ідентифікують такою ж позначкою як і складальний кресленик. При цьому стандартом рекомендовано числову позначку специфікації розміщати попереду напису «Специфікація», щоб мати можливість розрізняти позначки специфікації і складального кресленика.

13.2. Складальний кресленик

До графічних конструкторських документів, які оформляють на складанню одиницю належать: кресленик складальний, кресленик загального виду, габаритний кресленик, монтажний (електромонтажний) кресленик.

Складальний кресленик – це графічний конструкторський документ, що містить зображення виробу та інші дані, які необхідні для його складання, виготовлення та контролю (ДСТУ 3321).

Складальний кресленик виконується на стадії розроблення робочої документації і виконується після кресленика загального виду і робочих креслеників окремих деталей.

13.2.1. Вміст складального кресленика

Складальний кресленик повинен містити:

- *зображення складаної одиниці*, на якому повинна бути надана уся інформація про розміщення і взаємозв'язок окремих складових частин виробу для здійснення операцій складання і подальшого контролю. На складальному кресленику можна додатково робити схематичні зображення з'єднань і розміщення окремих складових частин виробу;
- *відомості про характер сполучення* роз'ємних частин виробу, якщо точність забезпечується підбором, підганянням тощо, а також вказівки щодо виконання нерознімних з'єднань (пайки, зварювання, склеювання тощо);
- *номери позицій* складових частин, що входять у складанну одиницю;
- *розміри* (габаритні, установчі, приєднувальні та довідкові (за потреби)), граничні відхилення та вимоги, що виконуються чи контролюються при виготовленні виробу.

13.2.2. Вимоги до виконання зображень на складальному кресленику

Кількість зображень складаної одиниці залежить від її складності. Вона має бути мінімальною, але достатньою для розуміння будови виробу. Зображення виконуються і оформляються згідно з вимогами відповідних стандартів серії ДСТУ ISO 128. При виконанні розрізів і перерізів штрихування виконують у відповідності до вимог ДСТУ ISO 128-50 (див. 9.5.6). На складальному кресленику одна і та ж деталь на різних зображеннях її розрізу повинна виконуватись однаковим типом штрихування. Якщо на розрізі складаної одиниці суміщаються декілька деталей виконаних з однакового матеріалу, їх тип штрихування слід різноманітнити за рахунок напрямку

і відстані між лініями штриховки. Елементи деталей, які мають розмір на кресленику 2 мм і менше у розрізах і перерізах зачорнюються.

13.2.3. Нанесення розмірів на складальному кресленику

На складальному кресленику повинні бути нанесені габаритні, установчі, приєднувальні та інші довідкові розміри.

- *габаритні розміри* – це розміри висоти, довжини і ширини виробу (або його найбільший діаметр). У разі, коли один з цих розмірів змінюється внаслідок переміщення рухомих частин виробу, ці розміри вказують у крайніх положеннях.

- *установчі розміри* – це розміри, згідно з якими виріб встановлюють на іншому виробі або монтують.

- *приєднувальні розміри* – це розміри, за якими визначають розташування тих елементів виробу, за допомогою яких його приєднують до іншого виробу.

- *довідкові розміри* – це розміри, які не виконують за даним креслеником, вони даються для зручності користування. Це можуть бути розміри перенесені з кресленика окремої деталі виробу або отримані додаванням розмірів декількох деталей.

13.2.4. Позначення номерів позицій на складальному кресленику

Порядок нанесення номерів позицій складових частин виробу на складальному кресленику повинен відповідати вимогам ДСТУ EN ISO 6433, який регламентує правила їх ідентифікації. Номери позицій вказуються на поличках ліній-виносок, які закінчуються крапкою на деталі або стрілкою на її контурі. Зазвичай полички розміщують поза контуром зображення на кресленику. Рекомендується проводити лінії-виноски під кутом до контурів кресленика і не паралельно до ліній штриховки. Лінії-виноски не повинні перетинатись. Для позначення позицій рекомендовано використовувати арабські числа, які повинні бути більшими за розмірні числа на цьому ж кресленику. Для нанесення номерів позицій перевагу надають тим зображенням складаної одиниці, на яких позначувана складова частина виробу є видимою (основні види, розташовані на їх місці розрізи тощо). Номери позицій групують таким чином, щоб вони були розташовані одним горизонтальним рядком

або вертикальним стовбцем. Для групи кріпильних деталей (болт, гайка, шайба тощо) можна проводити одну лінію-виноску розташовуючи номери позицій вертикальним стовбцем. Номер позиції наноситься один раз для кожної складової частини. Порядок присвоєння номерів позицій не є жорстко регламентованим (на відміну від ЄСКД). У практиці створення документації користуються певною логікою зручності читання кресленика: спочатку наносять номери позицій на основні деталі, потім на основні робочі компоненти, допоміжні деталі, стандартні вироби тощо. Можна також наносити, наприклад, у порядку виконання операції складання або за функціональною ієрархією. Кожна позиція на складальному кресленику повинна мати відповідний запис у специфікації (ДСТУ ISO 7573). Можна резервувати номери позицій для внесення змін при доопрацюванні конструкції виробу.

На рис. 13.1 показано нанесення позицій для групи деталей з'єднаних за допомогою розвальцювання [3].

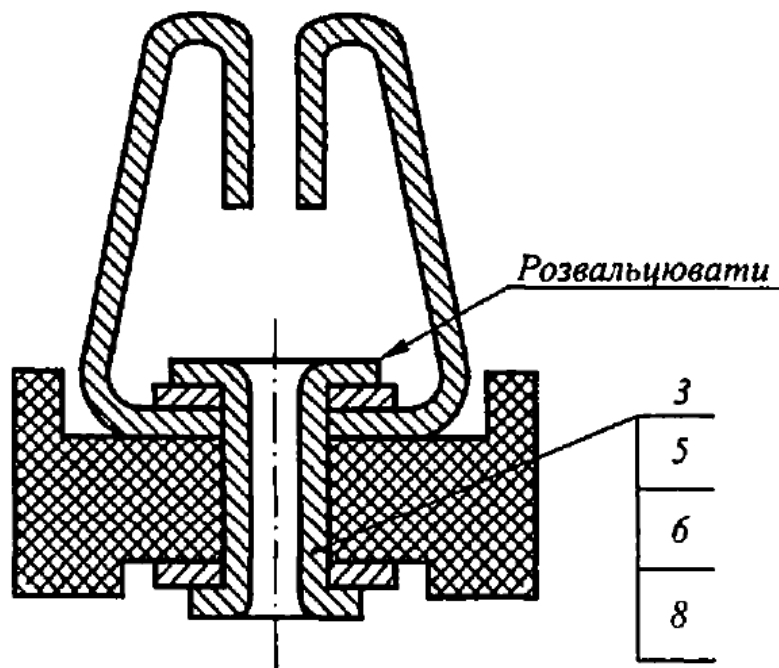


Рис. 13.1

Виконання зазначених вимог забезпечує єдиний підхід до ідентифікації деталей у конструкторській документації, що є важливим для автоматизації процесів та розуміння креслеників.

13.2.5. Умовності і спрощення при виконанні зображень на складальному кресленнику

На складальних креслениках дозволяється виконувати спрощені зображення з'єднань і передач (ДСТУ ISO/TS 128-71):

- у нарізевому з'єднанні у отворі слід показувати лише ту частину нарізі, яка не закрита деталлю, що має зовнішню нарізь;
- у шпонковому з'єднанні призматичною або сегментною шпонкою слід показувати щілину між шпонкою і шпонковим пазом у маточині зубчатого колеса. Шпонковий паз на валу показують місцевим розрізом. Шпонка показується умовно не розрізаною (рис. 13.2);

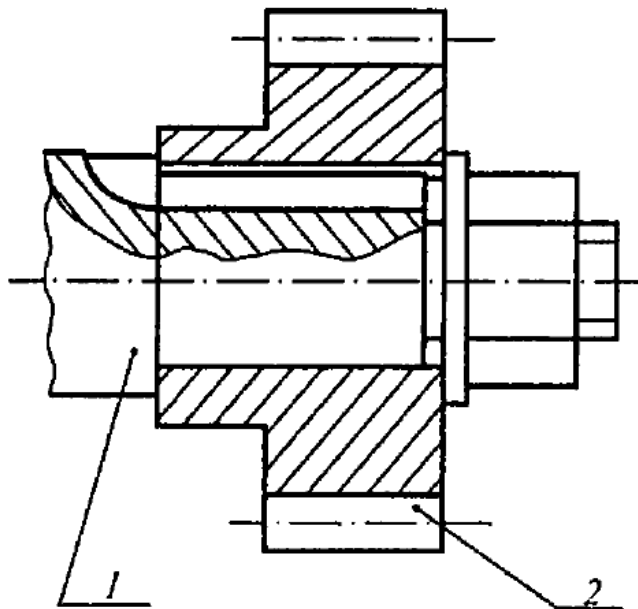


Рис. 13.2

- деталі виробу, що попередньо був виготовлений зварюванням, пайкою, склеюванням, ін., на даному складальному кресленнику у розрізах і перерізах виконують однаковим типом штрихування, а межі між окремими деталями цього виробу показують суцільною товстою лінією типу 01.2 (ДСТУ ISO 128-24);
- складанні одиниці, що входять у виріб, і, на які виготовлені окремі складальні кресленики, можна у розрізах показувати не розрізаними тощо.

На складальному кресленнику дозволяється спрощувати зображення окремих деталей та їх елементів:

- у розрізі пружини її витки зображають прямими лініями, які з'єднують перерізи витків. Можна у розрізах зображати лише перерізи витків. Якщо гвинтова пружина має кількість витків більшою за чотири, з кожного з кінців показують лише 1–2 витки не враховуючи опорних. На місці інших витків креслять осьову лінію, яка проходить через центри перерізів витків. Деталі, що розташовані на зображенні розрізу виробу за гвинтовою пружиною, зображеною перерізами витків, показують видимими лише до зони, що визначається осьовими лініями перерізів витків;

- кріпильні елементи у з'єднаннях можна показувати спрощено;
- вали, спиці, стрижні нарізових з'єднань і т.п. деталі у поздовжніх розрізах показують умовно не розрізаними.

Дозволяється не показувати на складальному кресленнику:

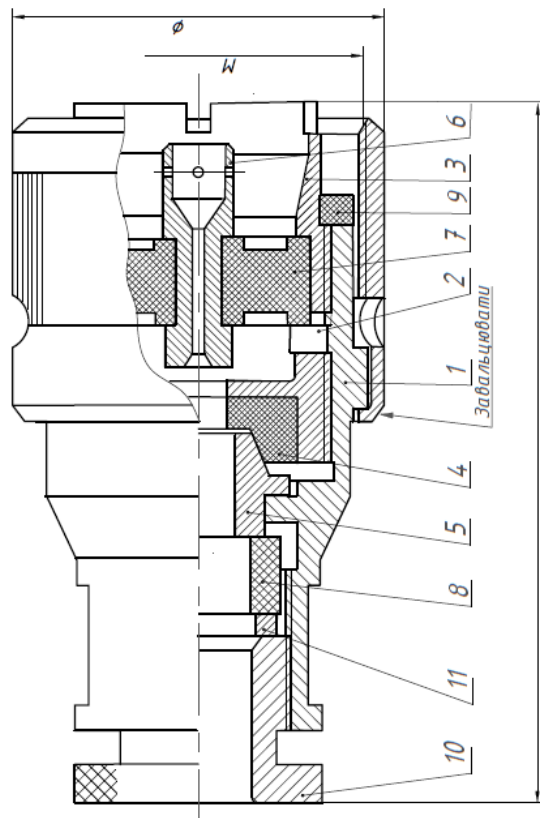
- кришки, кожухи тощо, якщо необхідно показати внутрішні частини виробу, які закриті зазначеними. При цьому над відповідним зображенням роблять напис: «Дет. поз. не показана»;

- вироби з прозорого матеріалу можна показувати як не прозорі. У цьому випадку елементи конструкції, що розташовані за прозорою деталлю чи сіткою не показують;

- написи, які можна зображати контуром;
- фаски, заокруглення, насічки, накатки і інші дрібні елементи деталей;
- щілини між стрижнем і отвором тощо.

На рис. 13.3 наведено специфікацію до виробу зображеного на рис. 13.4, а на рис. 13.4 складальний кресленник гнізда коаксіального роз'єму.

На цьому кресленнику вказано характер нерознімного з'єднання двох деталей, коли з'єднання способом завальцювання слід виконати під час операції складання.



Назва	Гніздо	№. номер
Тип документа	Складальний креслення	Число аркушів
		1/1
Юридичний власник або ОР	Актор (прізвище)	№ документа
НТЗУ "МП" ім. І.Скороцького	Затвердив (прізвище)	Дата
		2025-04-29

Рис. 13.4

13.3. Кресленик загального виду

Кресленики складаних одиниць розробляють на усіх стадіях проектування виробу. На стадіях розроблення проектної документації – це кресленик загального виду, на стадіях робочої документації – складальний кресленик (див табл. 13.1). Залежно від призначення цих креслеників змінюється їх зміст.

Таблиця 13.1. Комплектність конструкторської документації

Назва документа	Технічна пропозиція	Ескізний проект	Технічний проект	Робоча документація	
				Деталь	Складання одиниця
Електронна модель деталі	—	—	—	+	—
Кресленик деталі	—	—	—	+	—
Складальний кресленик	—	—	—	—	+
Специфікація	—	—	—	—	+
Кресленик загального виду	+	+	+	—	—

На кожному етапі проектування і виготовлення виробу розробляється комплект документації. Прослідкуємо на яких етапах проектування виробу виготовляється і доопрацьовується кресленик загального виду.

Технічна пропозиція:

- кресленик загального виду;
- відомість технічної пропозиції;
- пояснювальна записка.

Документи містять технічне та техніко-економічне обґрунтування доцільності розроблення виробу на підставі технічного завдання.

Ескізний проект:

- кресленик загального виду;
- відомість ескізного проекту;
- пояснювальна записка.

Документи містять принципові конструкторські рішення, що дають загальну уяву про принцип роботи виробу і його будову.

Технічний проект:

- кресленик загального виду;
- відомість технічного проекту;
- пояснювальна записка.

Документи містять остаточні технічні рішення, які дають повну уяву про конструкцію виробу і форму його складових частин, що необхідно для розроблення робочої конструкторської документації.

На стадії технічного проекту на кресленику загального виду можуть бути вказаними наступні дані:

- вказівки щодо обраних посадок;
- технічні вимоги, які необхідно враховувати про розробці конструкторської робочої документації;
- технічні характеристики виробу, які слід буде враховувати при виконанні креслеників.

Кресленик загального виду – це кресленик, що визначає конструкцію виробу, взаємодію його складових частин і пояснює принцип роботи виробу (ДСТУ3321).

Кресленик загального виду є основою для розроблення робочої документації: специфікації, робочих креслеників деталей і складальних креслеників. Загальні вимоги до подання креслеників загального виду і складальних креслеників подані у відповідних стандартах (ДСТУ EN ISO 7519). У електронній документації виконується електронна модель складанної одиниці.

Кресленик загального виду повинен містити:

- зображення (види, розрізи, перерізи), текстову частину і написи, необхідні для розуміння конструкції виробу, взаємодії його складових частин і принципу роботи;
- найменування, опис принципу роботи виробу, вказівки про склад тощо;
- габаритні і приєднувальні розміри та інші необхідні дані;

Зображення на кресленнику загального виду виконують спрощено. Компоненти виробу, які запозичені і покупні, зображають максимально спрощеними. Якщо склад конструкції виробу зрозумілий, ці компоненти можуть зображатись лише контурно.

Найменування та позначення складових частин виробу на кресленнику загального виду вказують одним із наступних способів:

- на полицях ліній – виносом;
- у таблиці, яка розміщується на тому ж аркуші, що і зображення виробу;
- у таблиці, що виконується на окремих аркушах формату А4, які вважаються наступними аркушами кресленника загального виду.

Таблиця у загальному випадку складається з наступних граф: «Поз.», «Познака», «Кільк.», «Додаткові вказівки». Запис складових частин виробу може виконуватись у такому порядку: запозичені вироби, закуплені вироби, вироби, які заново розробляються. Запозичені вироби і вироби, що заново розробляються, записують за зростанням чисел у їх позначках. Закуплені вироби записують як у розділі «Стандартні вироби» у «Специфікації». У електронній документації найменування і позначення складових частин виробу виконують першим і третім способами.

13.3.1. Деталювання кресленника загального виду

Деталювання є однією з завершальних операцій проектування виробу.

Деталювання – це процес виконання робочих креслеників деталей, які входять у виріб, по кресленнику його загального виду (ДСТУ 3321).

Послідовність деталювання креслеників загального виду наступна:

- ознайомитись з основним написом, масштабом зображення, таблицею переліку елементів, описом складанної одиниці;
- зрозуміти призначення, принцип дії виробу, взаємодію його окремих частин;
- розібратись у способах з'єднання окремих деталей;
- за номером позиції знайти потрібну деталь, визначити її форму. Для цього ознайомитись з її назвою у таблиці переліку елементів та проаналізувати усі її зображення, що є на кресленнику загального виду. Якщо деталь показана у розрізі, проаналізувати усі розрізи. Одна і та ж деталь повинна мати однакову штриховку;

- виходячи з форми деталі, обрати головний вид та необхідну мінімальну кількість її зображень для виконання робочого кресленника. Головний вид деталі обирають виходячи зі способу її виготовлення. Тобто зображення деталі на робочому кресленику може не відповідати її положенню на кресленику загального виду;

- робочий кресленик деталі виконують, враховуючи умовності і спрощення, які рекомендовані на складальному та кресленику загального виду (можуть бути не показані фаски, заокруглення, проточки, галтелі, щілини між стрижнем і отвором тощо). На кресленику деталі усі ці елементи необхідно показати;

- на робочому кресленику наносять розміри. Для цього виконують вимірювання на кресленику загального виду і враховують масштаб його зображень. Виходячи з параметрів нарізі оформляють фаску і виносний елемент проточки, наносячи на них розміри з відповідних таблиць стандартів;

- проставляють шорсткість;

- в графі основного напису записують матеріал. Його обирають з таблиці переліку елементів для відповідної деталі. Дооформлюють графі основного напису.

13.3.2. Перелік елементів складанної одиниці

На рис. 13.5 показана таблиця з найменуванням і позначенням складових частин гнізда коаксіального кабелю, на рис. 13.6 – приклад його кресленника загального виду.

[illegible]

Рис. 13.5

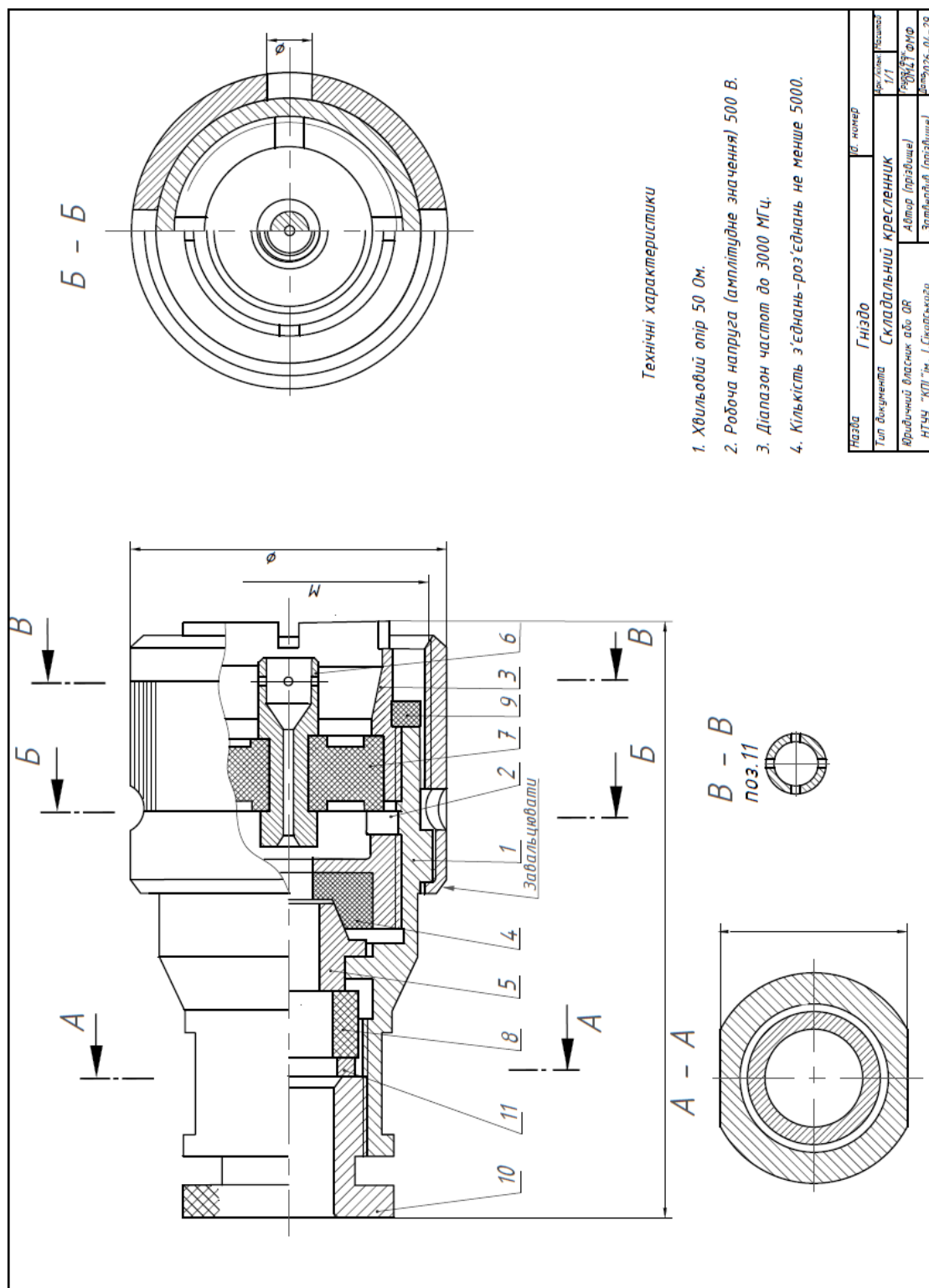


Рис. 13.6

13.3.3. Опис кресленика загального виду гнізда коаксіального роз'єму

Роз'єми для коаксіального кабеля (конектори) – це компоненти з'єднань, які застосовуються для комутації коаксіальних кабелів з пристроями. Коаксіальні роз'єми використовуються у радіочастотних, мікрохвильових пристроях, відеообладнанні, а також у комп'ютерних мережах попередніх поколінь. На рис. 13.6 зображено гніздо коаксіального роз'єму. При комутації коаксіальних кабелів воно з'єднується з іншою частиною роз'єма – штекером. Для цього у його корпусі виконано внутрішню нарізь. Гніздо коаксіального роз'єму складається з латунного корпусу, центрального контакту (для центральної жили проводу), діелектричної втулки та різьбового з'єднання для фіксації з кабелем. Корпус (поз.1) забезпечує екранування і з'єднується із зовнішнім провідником коаксіального кабелю. В середині корпусу є отвір, у якому розташовано центральний контакт (поз. 11). Для запобігання коротким замиканням контакт розміщено у діелектричній втулці виконаній з ізоляційного матеріалу (поз. 7). Ізоляційний шар розділяє центральний контакт і корпус, забезпечуючи точні геометричні характеристики (концентричність). Центральний контакт призначений для з'єднання з центральним штифтом вилки роз'єму. Кільце ущільнювача (поз. 8) використовується для забезпечення герметичності з'єднання. Важливо, щоб розміри внутрішніх елементів гнізда точно відповідали вимогам, аби забезпечити стабільний електричний контакт. Точна геометрія елементів гнізда необхідна для узгодження імпедансу (хвильового опору) з кабелем, що запобігає відбиттю сигналу і мінімізує його втрати.

На кресленику загального виду гнізда коаксіального роз'єму зображено головний вид пристрою у суміщенні зі фронтальним розрізом. На розрізі показано його основні компоненти: корпус, центральний контакт (отвір), діелектрик та екран та характер їх з'єднання. Кожен тип роз'єму має свою специфічну конструкцію, яка визначає спосіб монтажу (пайка, завальцювання, накручування). На полічці лінії-виноски на кресленику загального виду зазначено, що гайка накидна має бути завальцьованою на корпусі при операції складання. Для розуміння форми окремих деталей при виконанні деталювання виконано винесені розрізи і перерізи.

На кресленику нанесені необхідні для виконання робочих креслеників деталей розміри – габаритні, розміри нарізі для з'єднання зі штекером, діаметр внутрішнього отвору центральної жили. За вказаним масштабом можна визначити розміри окремих елементів деталей з'єднання.

Запитання для самоперевірки

1. Який основний документ виконують на складанну одиницю?
2. З яких розділів складається «Специфікація»?
3. Який порядок запису деталей у розділі «Деталі»?
4. Який порядок запису компонентів у розділі «Стандартні вироби»?
5. Як позначають номери позицій у специфікації?
6. Яке основне призначення складального кресленика?
7. Яку інформацію має містити складальний кресленик?
8. Які умовності і спрощення застосовують на складальному кресленику?
9. Які розміри наносять на складальному кресленику?
10. Які кресленики називаються креслениками загального виду і яку інформацію вони мають містити?
11. У чому відмінність складального кресленика і кресленика загального виду?
12. Яке основне призначення кресленика загального виду?
13. З яких розділів складається таблиця «Переліку елементів» і який порядок їх заповнення?
14. Які спрощення використовують на кресленику загального виду?
15. Як на складальному кресленику і кресленику загального виду у розрізах слід зображати кріпильні елементи?
16. Яка послідовність дій при деталюванні кресленика загального виду?
17. Як визначають розміри деталей при виготовленні їх робочих креслеників за креслеником загального виду?

РОЗДІЛ 14. СХЕМИ

У зв'язку з відміною значної частини стандартів ДСТУ ГОСТ виконання і оформлення креслеників електричних схем регламентується новими національними стандартами, які адаптовані до вимог міжнародних та Європейських стандартів. Так ДСТУ EN IEC 81346-1 встановлює загальні принципи структурування та правила формування кодів посилань. ДСТУ EN ISO 81346-2 є основним чинним стандартом для класифікації елементів електричних схем та кодів їх класів. Він визначає літерні коди для різних типів компонентів схем. ДСТУ EN 81346-2 є ідентичним перекладом Європейського стандарту EN 81346-2 і замінив ГОСТ 2.710-81. Стандарт ДСТУ ISO 14617-1 встановлює загальні правила щодо використання графічних символів та надає основну інформацію про створення і використання реєстраційних номерів для них. Стандарт ДСТУ IEC 60617 містить базу даних графічних символів (умовних графічних позначень), які використовуються для зображення елементів електричних схем. Він забезпечує універсальність та єдиний підхід до позначень компонентів схем.

14.1. Загальні положення

Схема електрична – це графічний конструкторський документ, на якому за допомогою умовних познач і зображень показано складові частини виробу і зв'язки між ними (ДСТУ 3321).

Відповідно до ДСТУ 3321 визначення основних понять складових частин схем наступне:

- *функційна частина схеми* – складова частина схеми певної функційної призначеності: елемент схеми, пристрій схеми, функційна група, функційний ланцюг;
- *елемент схеми* – функційна складова частина схеми, що означає частину виробу, яку не можна поділити на частини самостійної функційної призначеності (резистор, діод, транзистор, трансформатор, тощо);
- *пристрій схеми* – складова частина схеми, що означає сукупність елементів, яка відповідає складовим частинам виробу з'єднаним у єдину конструкцію (плата, блок, тощо);

- *функційна група схеми* – складова частина схеми, що означає сукупність елементів, яка відповідає складовим частинам виробу, що виконують певну функцію, але не становлять єдиної конструкції;

- *функційний ланцюг схеми* – складова частина схеми, яка позначає лінію, канал чи тракт певної призначеності (тракт надвисоких частот, канал звуку, відеосигналу, тощо);

- *лінія взаємозв'язку (зв'язку)* – відрізок лінії, що означає зв'язки між функційними частинами схеми.

Складові частини виробу та лінії їх зв'язку розташовують на схемі у послідовності, яка забезпечує найкраще уявлення про структуру виробу та взаємозв'язки між його компонентами.

Крім складових частин виробу і зв'язків між ними на схемах можна розміщувати діаграми, таблиці, параметри в характерних точках (величина струму, напруги, форма і величина імпульсу і т.п.), пояснюючі написи. Правила виконання схем регламентуються відповідними стандартами. Цими правилами забезпечується єдиний підхід до оформлення схем. Виконання схем у відповідності до стандартів спрощує документообіг і забезпечує безперешкодне спілкування між фахівцями різних галузей і країн.

Формати аркушів, на яких виконують схеми обирають відповідно ДСТУ ISO 5457, основні написи відповідно ДСТУ ГОСТ 2.104 або ДСТУ EN ISO 7200.

Для зображення на схемах складових частин виробу використовують графічні позначки.

Рекомендовано наступні види графічних позначок:

- умовні графічні позначки;
- прямокутники;
- спрощені зовнішні обриси (зокрема аксонометричні).

14.2. Схема електрична принципова

Схема електрична принципова – це схема, на якій показано повний склад елементів і зв'язків між ними і яка дає детальну уяву про принцип роботи виробу

(ДСТУ 3321). Правила виконання схем електричних принципів регламентуються відповідними стандартами (ДСТУ EN ISO 81346-2, ДСТУ ISO 14617-1, ДСТУ ІЕС 60617, ін.). На схемі електричній принципів слід показувати усі електричні елементи або пристрої, що необхідні для забезпечення та контролю електричних процесів у виробі, взаємозв'язки між ними, ін. Схема виконується для пристроїв, що перебувають у стані відключення. В окремих випадках можна окремі компоненти схеми показувати у робочому стані. При цьому на полі схеми вказують режим, у якому знаходяться ці компоненти.

Елементи схем електричних принципів (резистори, конденсатори, діоди, транзистори, тощо) зображають у вигляді умовних графічних познач (УГП). Використання графічних символів дозволяє уніфікувати інформацію, що подається у схемах, та подавати її доступно і зрозуміло.

14.2.1. Умовні графічні позначки

Умовна графічна позначка на електричних схемах— це позначка функційної частини схеми, крім функційних ланцюгів, подана рисунком чи знаком (ДСТУ 3321). Форма і розміри умовних графічних познач регламентуються національними стандартами (серія ІЕС 60617). ДСТУ ІЕС 60617-1 регламентує графічні символи електричних схем, ДСТУ ISO 14617-1 встановлює загальні відомості й індекси для графічних умовних познач на схемах. Стандарти серії ISO 14617 регулюють використання графічних символів у схемах і встановлюють правила для їх побудови та застосування. Ці стандарти також встановлюють правила створення та застосування реєстраційних номерів для графічних символів, що використовуються на схемах.

У цих стандартах встановлюються загальні правила щодо умовних графічних познач елементів схем та їх пропорцій. Розміри окремих компонентів електричних схем залежать від масштабу, у якому виконується схема. Системи автоматизованого проектування, які використовуються для виконання креслеників схем, як правило, мають бібліотеки умовних графічних позначень, що відповідають умовам стандартів. Наприклад, AutoCAD Electrical має усі необхідні бібліотеки УГП, які можна використовувати при проектуванні електричних схем. Це дозволяє масштабувати

зображення компонентів схеми зберігаючи їх пропорції. На одній схемі умовні графічні позначки виконують з дотриманням однакових пропорцій і однією товщиною лінії. У разі потреби розмір УГП вказують у технічній документації на виріб. Компоненти електричних схем можуть зображуватись на схемі у спрощеному вигляді (прямокутниками).

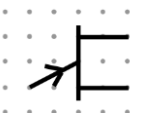
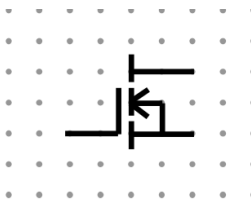
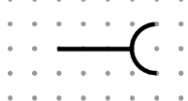
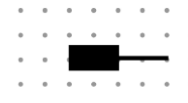
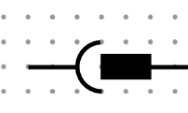
Умовні графічні позначки зображають у положенні наведеному у відповідних стандартах, а також повернутими на кут кратний до 90° . Можна умовні графічні позначки повертати на кут кратний до 45° або зображати дзеркально повернутими. Умовні графічні позначки з'єднуються між собою у відповідній послідовності за допомогою ліній зв'язку, відображаючи шлях проходження сигналу. Лінії зв'язку розташовують горизонтально або вертикально з найменшою кількістю зламів або взаємних перетинів. Умовні графічні позначки та лінії їх зв'язку виконують однією товщиною лінії.

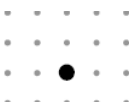
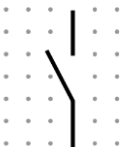
Відповідно до стандарту ДСТУ ІЕС 60617 усі графічні символи будуються на модульній сітці. Розмір модуля сітки $M = 2,5$ мм. У таблиці стандарту модульна сітка відображена крапочками (див. Табл. 14.1).

Розмір символів може бути збільшений або зменшений. В обох випадках початкова ширина лінії має бути збережена. Графічні символи однакової форми але різного призначення мають різні реєстраційні номери. Це дозволяє розрізняти графічні символи однакової форми в системі САПР. Для фахівця, який читає схему, передбачуване значення зазвичай може бути розпізнане за контекстом схеми.

Таблиця 14.1. Умовні графічні позначки елементів електричних схем

Умовні графічні позначення	Number, Name	Назва, коментар
1	2	3
	RESISTORS, CAPASITORS, INDUCTORS	РЕЗИСТОРИ, КОНДЕНСАТОРИ, ІНДУКТОРИ
	S00555 Resistor, general symbol	Резистор, загальний символ
	S00567 Capacitor, general symbol	Конденсатор, загальний символ

1	2	3
	S00583 Coil, general symbol; Winding, general symbol	Котушка, загальний символ; Обмотка загальний символ
	TRANSFORMERS	ТРАНСФОРМАТОРИ
	S00842 Transformer with two windings, general symbol	Трансформатор з двома обмотками, загальний символ
	SEMICONDUCTORS	НАПІВПРОВІДНИКОВІ ПРИЛАДИ
	S00641 Semiconductor diode, general symbol	Напівпровідниковий діод, загальний символ
	S00663 PNP transistor	PNP транзистор
	S00664 NPN transistor with collector connected to the envelope	NPN транзистор з колектором, приєднаним до (металевої) оболонки
	S00667 Unijunction transistor with N-type base	Одноперехідний транзистор з базою N-типу
	S00676 Insulated gate field effect transistor IGFET enhancement type, single gate, N-type channel with substrate internally connected to source	Польовий транзистор з ізолюваним затвором, підсилювального типу, з одним затвором, каналом N-типу з підкладкою приєднаною зсередини до джерела
	NECTIOCONNS	З'ЄДНАННЯ
	S00031 Contact, female (of a socket or plug)	Гніздовий контакт (розетки або вилки)
	S00032 Contact, female (of a socket or plug)	Штирьовий контакт (розетки або вилки)
	S00032 Socket or plug	Розетка та вилка

1	2	3
	S00016 Connection point	Точка з'єднання
	CONTACTS, SWITCHING DEVICES	КОНТАКТИ, КОМУТАЦІЙНІ АПАРАТИ
	S00227 Make contact, general symbol; Switch, general symbol	Замикальний контакт, загальний символ; Вимикач, загальний символ
	PROTECTION	ЗАХИСТ
	S00200 Earth, general symbol	Заземлення, загальний символ

14.2.2. Літерно-цифрові позначки

Функційним групам, пристроям та елементам схем присвоюють *умовні літерно-цифрові позначки*. Умовну літерно-цифрову позначку записують у вигляді послідовності літер, цифр та знаків у один рядок без пробілів. У загальному випадку позиційне позначення елемента складається з трьох частин, що вказують вид елемента, його номер і функцію. Позначення виду і номеру елемента є обов'язковим при виконанні схеми електричної принципової оскільки за допомогою них ідентифікується елемент схеми. Позначення функції елемента не є обов'язковим оскільки не призначене для ідентифікації елемента у схемі. Для літерно-цифрового позиційного позначення елемента схеми використовують переважно літери латинського алфавіту та арабські цифри. Літера вказує на тип елемента, цифра – на його порядковий номер. Наприклад, R7, C43 тощо. Порядковий номер записують згори вниз у послідовності зліва направо. У разі необхідності можна змінювати послідовність розташування порядкових номерів залежно від розміщення елементів у виробі, напрямку проходження сигналів або послідовності процесів у залежності від їх функції. Також послідовність порядкових номерів може бути змінена при внесенні змін у схему. Позначка записується праворуч зображення умовної графічної позначки

елемента або над нею (рис. 14.1). Можна позиційну познаку розміщувати у середині прямокутника, яким зображено умовну графічну познаку.

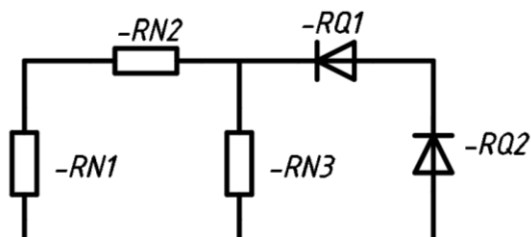


Рис. 14.1

За стандартом ДСТУ EN 81346-1 рекомендується використання дефіса та інших префіксів перед позначкою. Згідно із зазначеним стандартом, референційне позначення об'єкта за значенням «виріб» завжди починається з префікса «-» (дефіс). Згідно з цим стандартом, перед літерно-цифровим кодом обов'язково ставиться спеціальний кваліфікувальний символ (префікс), який вказує на те, за яким аспектом розглядається об'єкт. Це дозволяє системі автоматизованого проектування розрізняти назву конкретного компонента від його місця розташування або функціональної групи. Професійні програми (EPLAN, AutoCAD Electrical, ін.) додають дефіс автоматично.

Стандарт ДСТУ EN ISO 81346-2 встановлює функціональний підхід до використання літерних позначень. Тобто познака літери характеризує не назву елемента, а функцію, яку він виконує. Приклади використання літерних позначень відповідно до вказаного стандарту наведено у табл. 14.2.

Таблиця 14.2. Основні класи літерних позначень

Клас (Літера)	Функція об'єкта	Приклади пристроїв
С	Накопичення енергії або інформації	Конденсатори, акумулятори, модулі пам'яті, відеореєстратори, магнітофони
F	Захист (обмеження потоку енергії або сигналів)	Запобіжники, розрядники, автоматичні вимикачі
К	Оброблення (релейне) сигналів або енергії	Реле, контактори, центральні процесори, мікропроцесори, транзистори, лінії затримки

Q	Керування потоком енергії або сигналів (силове перемикання)	Вимикачі, роз'єднувачі, запобіжники
L, R	Обмеження потоку R або накопичення L	Котушки індуктивності
R	Обмеження або стабілізація потоку енергії/сигналів	Резистори, потенціометри, діоди, індуктори
X	З'єднання об'єктів	Клеми, штепсельні роз'єми, гнізда, клемні колодки

У відповідності до зазначеного вище стандарту можливе застосування дволітерного коду. Наприклад, RN для літерно-цифрової позначки резистора, RQ – для літерно-цифрової позначки діода, ін.

14.2.3. Кваліфікувальні символи

Нові стандарти вимагають обов'язкове використання кваліфікувальних символів (префіксів). Використання префіксів дозволяє системам автоматизованого проектування розрізняти тип елемента схеми, його функцію та місце розташування. Згідно зі стандартом ДСТУ EN 81346-1, об'єкт можна розглядати з різних аспектів. Кожен аспект має свій символ-префікс. Префікс «-» вказує на фізичне втілення елемента схеми (аспект «Виріб»). Префікс «=» вказує на функцію елемента у схемі електричній принциповій (аспект «Функція»). Префікс «+» вказує на місце знаходження елемента схеми, наприклад, на платі пристрою. Повна назва елемента схеми може мати вигляд: =XX+XX-XX (X-умовна позначка елемента).

Префікси ставляться з наступних міркувань:

- з метою автоматизації, при наявності префікса система автоматизованого проектування вносить елемент схеми у перелік елементів;
- з метою заповнення специфікації, при наявності префікса система автоматизованого проектування збирає елементи схеми у групи і заповнює відповідні розділи специфікації;
- з метою уніфікації, префікс у міжнародних проектах є універсальним ідентифікатором конкретного елемента схеми.

Повна формула позначення елемента: =*Функція*+*Місце розташування*-*Виріб*.

Використання таких формул при позначенні елементів схеми називають структуруванням проектів.

Оскільки така позначка елемента досить громіздка, на схемі літерно-цифрову позначку елемента записують лише з префіксом «-», наприклад, -R17. Повну форму записують у додатковій графі основного напису (ДСТУ ISO 7200), або вгорі чи збоку формату.

14.2.4. Оформлення виводів схеми електричної принципової

Оскільки ГОСТ 2.702 не є чинним таблиця виводів на кресленику схеми електричної принципової не виконується. Натомість за стандартом ДСТУ EN 61082-1 у кінці лінії зв'язку креслиться стрілка напрямку, поруч з якою записують ім'я сигналу і, якщо потрібно, потенціал. Якщо стрілка розвернута у бік схеми, це «Вхід», якщо назовні – «Вихід». Для «Входу» лінію зв'язку спрямовують у лівий бік формату кресленика, для «Виходу» – праворуч. Назви сигналів розміщують над лінією зв'язку за 5–10 мм до її закінчення. Якщо схема має продовження на інших аркушах, над вихідною стрілкою у дужках або поруч записують функцію сигналу, а знизу – адресу (аркуш/зона). Якщо виводи йдуть через роз'єм, то креслиться символ роз'єму (див. Табл. 14.1).

Таблиця виводів часто виконувала роль переліку зовнішніх зв'язків. У новій системі стандартизації, при необхідності, її замінюють символами клем. Кожна лінія зв'язку, що виходить зі схеми, закінчується символом кола або квадрата, у якому вказується номер клем, наприклад, -X5. Уся інформація про те, куди іде цей вивід, заноситься в окремий документ «Таблицю підключень», яка генерується автоматично в САПР.

14.2.5. Текстова інформація на креслениках електричних схем

При оформленні креслеників електричних схем передбачається наступна текстова інформація:

- перелік елементів, у якому записують усі компоненти, їх характеристики, умовні позначення, інші дані;

- позиційні позначення (літерно-цифрові позиційні позначення: R2, C7, K5 тощо);
- пояснювальні написи (текстова інформація щодо принципу роботи, функції тощо);
- інформація про зв'язки (документування зв'язків між компонентами схеми, позначення дротів, з'єднань тощо).

14.2.6. Перелік елементів

Таблиця переліку елементів складається з наступних граф (ДСТУ EN ISO 81346): «Познака (Reference)», «Найменування» (Description), «Кіл-ть», «Примітка». У графі «Познака» елементи записуються у алфавітному порядку літерних кодів (C, K, Q, R...). Якщо на схемі є кілька однакових елементів, наприклад, три резистори по 10 кОм, їх записують в один рядок: R1...R3 або R1, R2, R3. У графі «Найменування» записують найменування елемента і його основні характеристики. У графі «Примітка» записують відповідний стандарт, що стосується елемента, або його код відповідно до ДСТУ ІЕС 60617. Перелік елементів може бути розташованим на кресленику над основним написом або бути окремим документом формату А4. У переліках елементів, що виконувались на папері, було прийнято залишати порожні рядки між групами елементів. У цифрових переліках елементів, що генеруються автоматично, це вже не є обов'язковим. Якщо, наприклад, буде змінено номінал резистора на схемі, таблиця переліку має оновитися автоматично. Це і є основою сучасної комп'ютерної інженерної графіки.

Базовим стандартом при створенні цифрових бібліотек умовних графічних позначень (УГП) для сучасних САПР є ДСТУ EN 60617. У цьому стандарті є перелік кодів (S- номерів), які є унікальними ідентифікаторами для кожного конкретного графічного символу. Більшість професійних систем (AutoCAD Electrical, EPLAN, Altium Designer) мають внутрішню індексацію символів саме за цими номерами. Якщо відомо код графічного символу, його можна знайти у будь-якій локалізованій версії програми. У системах керування даними виробу (PDM/PLM) ці коди використовуються для автоматичного формування переліків елементів.

Така уніфікація позначень забезпечує безперешкодну передачу технічної документації не лише на території України але й між різними країнами. Тобто гармонізація національних стандартів з міжнародними та Європейськими щодо вимог до оформлення електричних схем забезпечує легкий обмін технічною документацією з фахівцями різних країн. Документація стає уніфікованою та зрозумілою.

Запитання для самоперевірки

1. Який конструкторський документ називається схемою?
2. Які особливості оформлення схеми електричної принципової?
3. У якому порядку виконують літерно-цифрове позиційне позначення елементів на схемі електричній принциповій?
4. Який порядок розміщення літерно-цифрового позиційного позначення елементів відносно їх умовних графічних познач?
5. Якою лінією виконують схему електричну принципову?
6. Де рекомендується розміщувати перелік елементів до схеми електричної принципової?
7. У якому порядку записують елементи схеми електричної принципової в таблиці переліку елементів?

ЧАСТИНА 3

ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО

ПРОЕКТУВАННЯ AUTOCAD ПРИ РОЗРОБЛЕННІ

ТА ОФОРМЛЕННІ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ

ДОКУМЕНТАЦІЇ

В частині 3 розглядається використання системи автоматизованого проектування фірми Autodesk AutoCAD на конкретних прикладних задачах. Надана інформація не є вичерпною, але достатньою для виконання поставлених завдань. Команди AutoCAD розглядаються у послідовності виконання побудов. Для більш повного ознайомлення з можливостями програми слід звернутися до довідкової інформації AutoCAD або додаткової літератури.

РОЗДІЛ 15. ПОБУДОВА ТА РЕДАГУВАННЯ ГРАФІЧНИХ ПРИМІТИВІВ. СТВОРЕННЯ ШАБЛОНІВ. РОБОТА З БЛОКАМИ

15.1. Налаштування інтерфейсу програми

Розширення файлів в AutoCAD для креслеників – dwg за замовчуванням. Роботу правильно починати зі створення файлу – шаблону «Template», який має розширення dwt. У такому файлі можна зробити налаштування, які відповідають чинним стандартам, один раз при його створенні. До них відносяться налаштування форматів аркушів, шарів, типів ліній, стилів тексту, розмірних стилів тощо. Тоді робота з кожним новим креслеником буде починатись з обрання шаблону, виконанні на ньому завдання та збереження його у форматі dwg. Розглянемо створення шаблону та його збереження у форматі dwt. В AutoCAD є перелік стандартних шаблонів, які можна використовувати як основу для побудови власних шаблонів. Створюємо новий файл на базі існуючого в AutoCAD шаблону acadiso.dwt. Його можна створювати одним із варіантів:

- за допомогою піктограми «чистий лист» у верхній частині екрана (рис. 15.1);

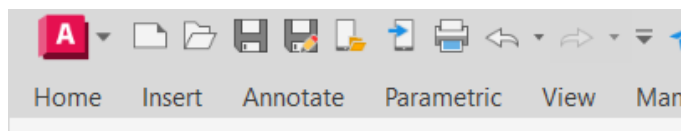
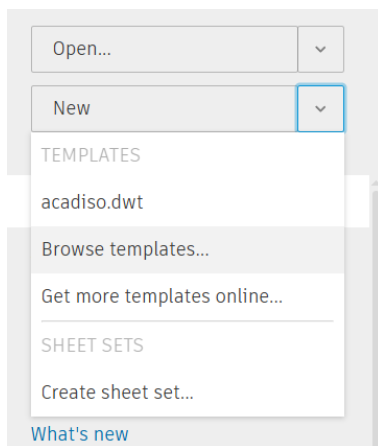


Рис. 15.1



- клікнути на піктограмі  (рис. 15.1) і з випадаючого меню обрати пункт «New»;
- на стартовій сторінці клікнути на стрілочці «вниз» біля пункту «New» (рис. 15.2). Далі необхідно обрати шаблон, на основі якого буде створено власний. У вікні (рис. 15.3) з переліку існуючих шаблонів обираємо в якості базового шаблон acadiso.

Рис. 15.2

Якщо обираємо створення файлу як на рис. 15.2, то acadiso.dwt може бути шаблоном за замовчуванням. Його можна обирати одразу або пунктом меню «Browse templates...». Відкриється вікно з рис. 15.3.

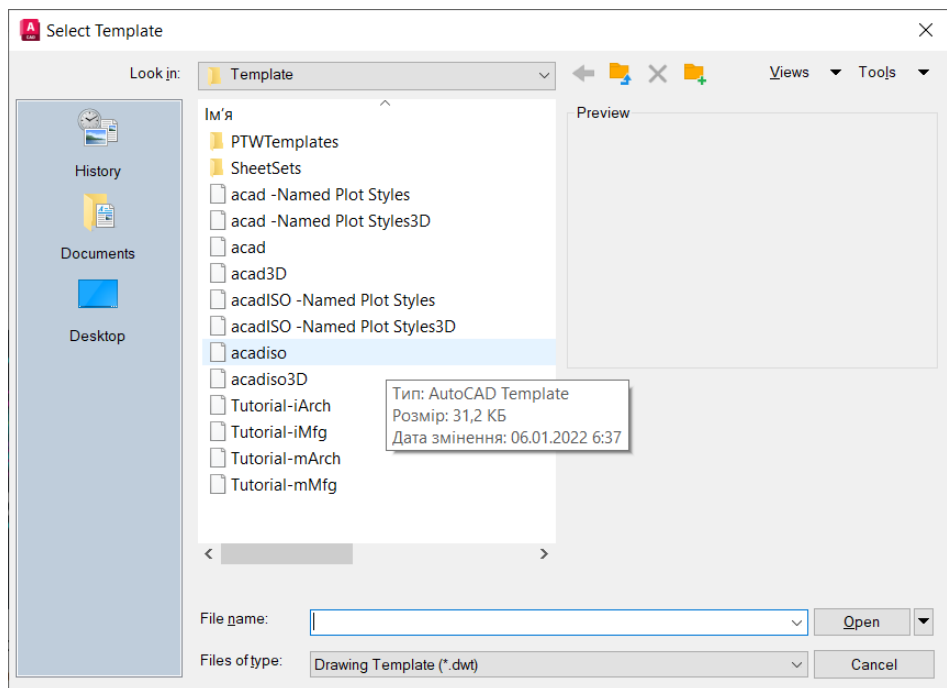


Рис. 15.3

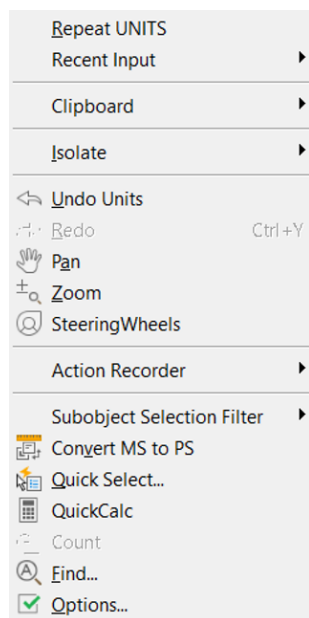


Рис. 15.4

У результаті буде відкрито новий файл, у якому слід додати усі необхідні налаштування відповідно до вітчизняних стандартів. Такий файл зберігається з розширенням dwt у каталог з шаблонами. Тоді при створенні наступних нових файлів можна буде обирати власний шаблон як базовий.

Для зручності роботи з програмою можна зробити певні налаштування, які не зберігаються у шаблоні, але залишаються при наступному відкритті програми AutoCAD. До таких налаштувань можна віднести колір вікон та панелей, розмір елементів обрання тощо.

Для цього кліком правої кнопки миші на вільному місці екрана відкриваємо меню, з якого обираємо команду «Options...» (рис. 15.4). На вкладці «Display» вікна

«Options» рис. 15.5 у підрозділі «Window Elements» налаштовується «Color theme» (світла або темна) тема панелей та меню. При натисканні на кнопку «Colors» відкривається вікно (рис. 15.6), у якому можна обирати кольори та фони для роботи в різних режимах (Context) та різні елементи інтерфейсу (Interface element).

На сторінці «Drafting» (Побудови) вікна «Options» можна налаштувати розмір та колір маркерів автоприв'язки «Auto Snap Marker Size» та розмір «прицілів» при відстежуванні – «Aperture size» (рис. 15.1.7). Розмір «прицілів» обрання «гріпсів» можна налаштувати на сторінці «Selection» (Обрання) в пунктах «Grips Pickbox Size» та «Grip Size».

Не будемо більш детально зупинятися на цих налаштуваннях, оскільки, як правило, у цьому вікні можна залишити усе по замовчуванню і користатися потрібними налаштуваннями ситуативно.

Переходимо до налаштувань шаблону у відповідності до вітчизняних стандартів.

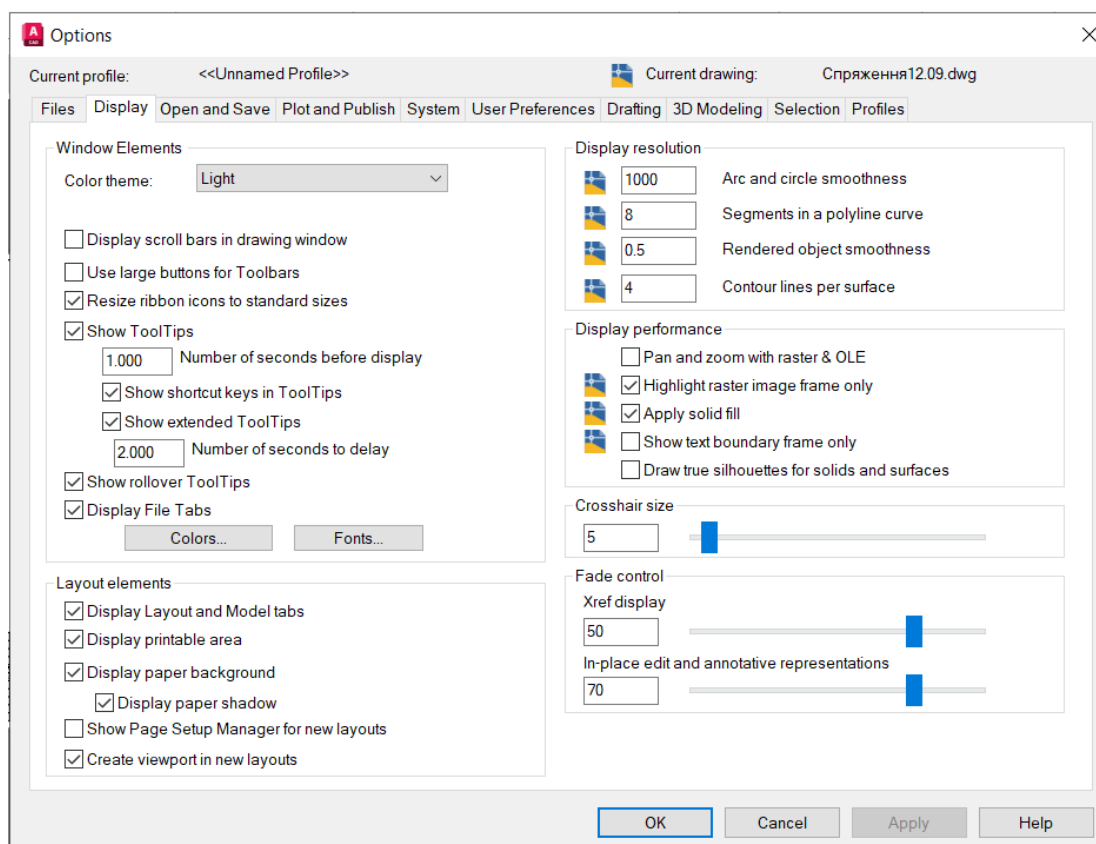


Рис. 15.5

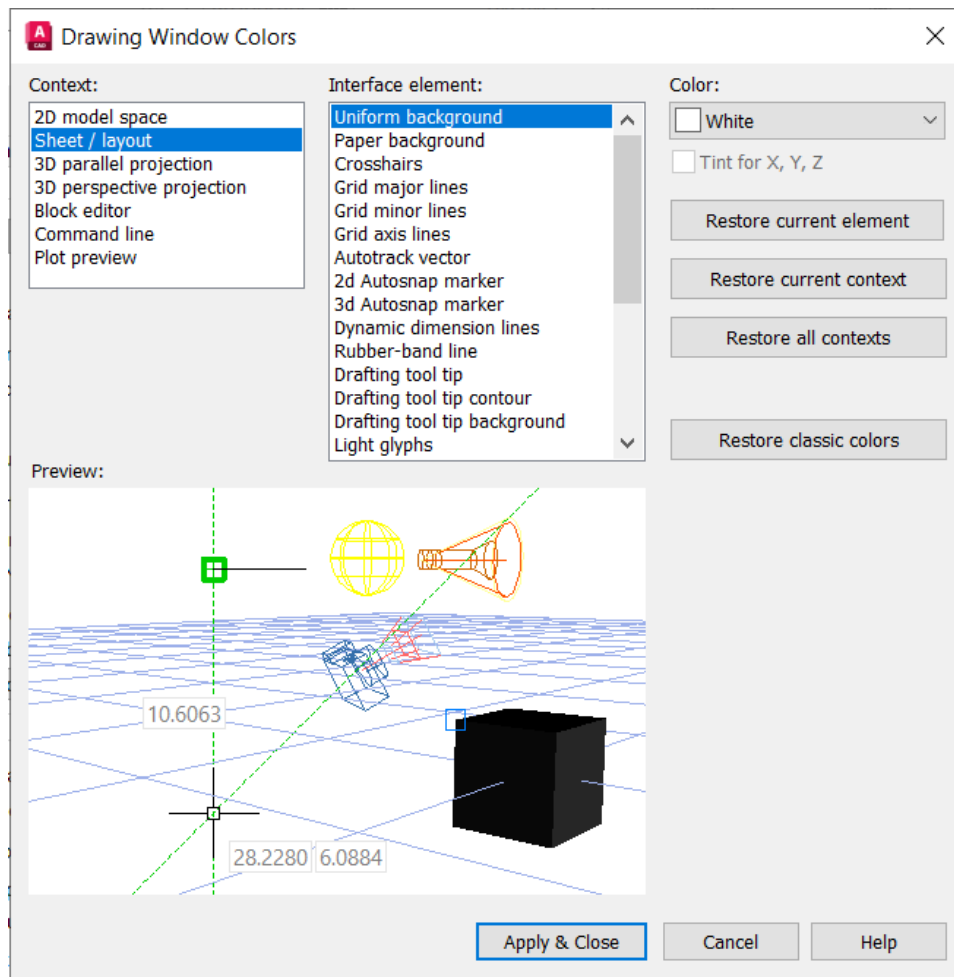


Рис. 15.6

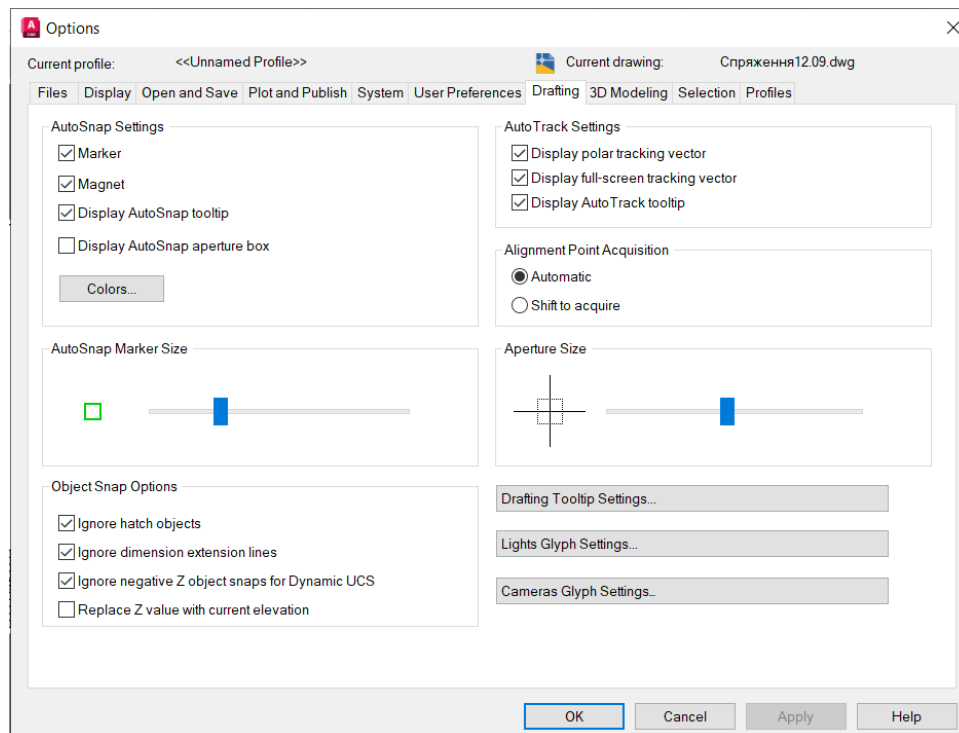


Рис. 15.7

15.2. Налаштування одиниць вимірювання

Встановлюємо одиниці вимірювання у метричній системі координат.

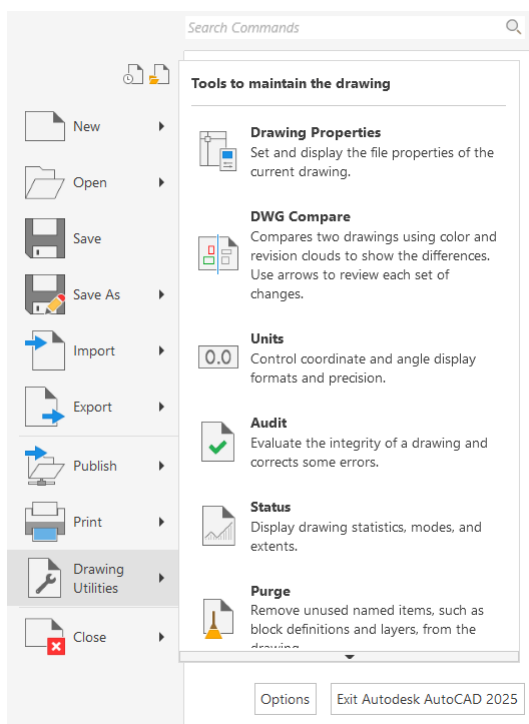


Рис. 15.8

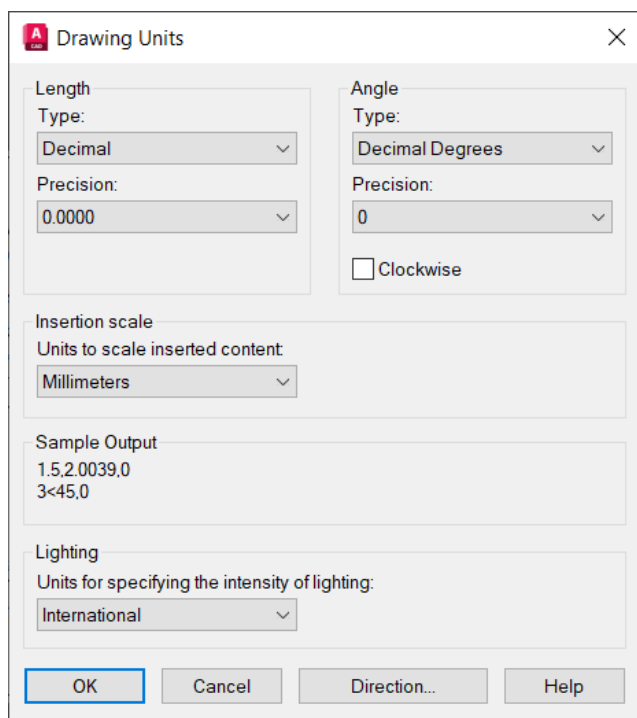


Рис. 15.9

З випадаючого меню, яке відкривається при натисканні піктограми  у лівому верхньому куті екрана програми, обираємо «Drawing Utilities/Units» (рис. 15.8). У вікні, що відкривається, задаємо одиниці вимірювання так, як на рис. 15.9.

15.3. Обрання режиму креслення

У середовищі програми можна створювати тривимірні моделі або виконувати пласкі зображення. В залежності від поставленої задачі задається режим, який можна обрати натиснувши піктограму  у правому нижньому куті екрана на панелі зображень на рис. 15.10.



Рис. 15.10

На даному етапі обираємо режим «Малювання та анотації» «Drafting & Annotation» (рис. 15.11).

В залежності від обраного режиму змінюється вигляд та кількість вкладок у верхній частині екрана.

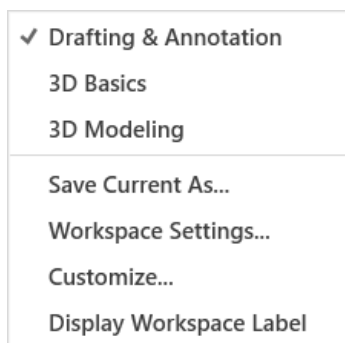


Рис. 15.11

Для режиму «Drafting&Annotation» вкладка «Home» матиме вигляд, як на рис. 15.12.

Ця вкладка має кілька панелей, які містять основні команди побудови графічних примітивів («Draw»), редагування («Modify»), анотацій («Annotation»), роботи з шарами («Layers»), створення блоків («Block») тощо.

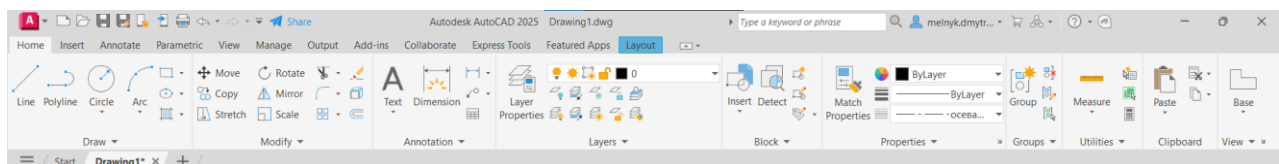


Рис. 15.12

Крім вкладки «Home» присутні також вкладки «Insert», «Annotation», «Parametric» тощо. За допомогою них забезпечується більш широкий доступ до певних команд. Вони будуть розглядатись ситуативно в процесі подальшої роботи. Для виконання поточного завдання можна обмежитись роботою тільки з вкладкою «Home».

В нижній панелі екрана присутні різні простори моделювання. А саме:

- ✓ простір моделі «MODEL». Простір не обмежений у розмірах, має піктограмку «початок координат». За замовчуванням встановлена світова система координат. Може використовуватись для створення плоских та 3D зображень. Дозволяє перевстановлювати ортогональні та аксонометричні види зображень. На друк виводиться вказана частина простору моделі. В одному файлі може бути тільки один простір моделі.

- ✓ простір листа (листів) «PAPER». Має обмежені визначені за замовчуванням або користувачем розміри. Використовується для оформлення креслеників, тому може містити задані розміри форматів та штампи. Використовується для виконання

пласких зображень. Може містити зображення не залежні від простору моделі або пов'язані з простором моделі певними командами створення зображень за побудованими 3D моделями. Може містити окремі видові екрани, які використовуються як вікна у простір моделі. Вкладок з листами може бути стільки, скільки необхідно користувачу. Простір листа зручний для використання в якості шаблону з наперед заданим форматом та основним написом.

15.4. Налаштування шарів

При роботі з кресленням зручно елементи зображення (контурні лінії, осьові, розмірні лінії, текст тощо) розміщувати у окремих шарах. Тому слід створити окремі шари для контурної лінії (суцільна товста лінія), для осьових ліній (штрихово-пунктирна тонка лінія), для тонких ліній (суцільна тонка лінія), для нанесення розмірів (суцільна тонка лінія) та окремий шар для текстової інформації.

Панель вкладки «Home» для роботи з шарами називається «Layers» (рис. 15.13). У цій панелі можна швидко переходити між існуючими шарами, керувати їх відображенням. Так, наприклад, «Лампочка» дозволяє відключити/включити обраний шар (на друк такий шар не виводиться). «Сонечко»/«Сніжинка» виконує розмороження/замороження шару. Заморожений шар не відображається на екрані, не регенерується і не виводиться на друк. Рекомендується для складних креслень, щоб прискорити регенерацію інших шарів. «Замок» (відкритий/закритий) блокує шар. При цьому шар відображається на екрані та виводиться на друк, але в ньому не можна вносити зміни.

Кліком на піктограмі «Layer Properties» відкривається вікно представлене на рис. 15.13. Шари системи AutoCAD створені за замовчуванням не використовуються та залишаються без змін. Створюємо нові шари з назвами «Основна», «Тонка», «Осьова», «Розміри», «Текст».

Побудови можна виконувати лише в активному шарі. Його назва відображається у верхній частині панелі зображень на рис. 15.13 та панелі зображень на рис. 15.14 як «Current layer» *«Назва шару»*.

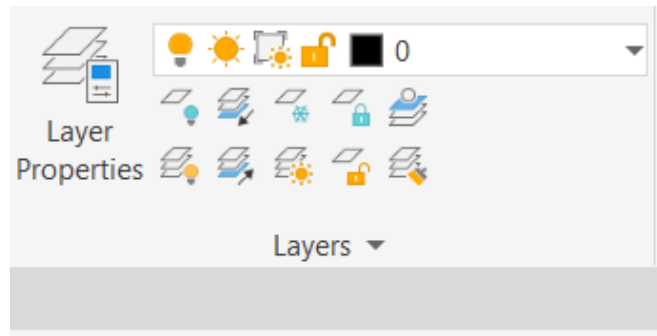


Рис. 15.13

Змінити поточний шар можна подвійним кліком на його назві у вікні зображеному на рис. 15.14 або обравши цей шар з випадаючого списку переліку шарів у вікні зображеному на рис. 15.13.

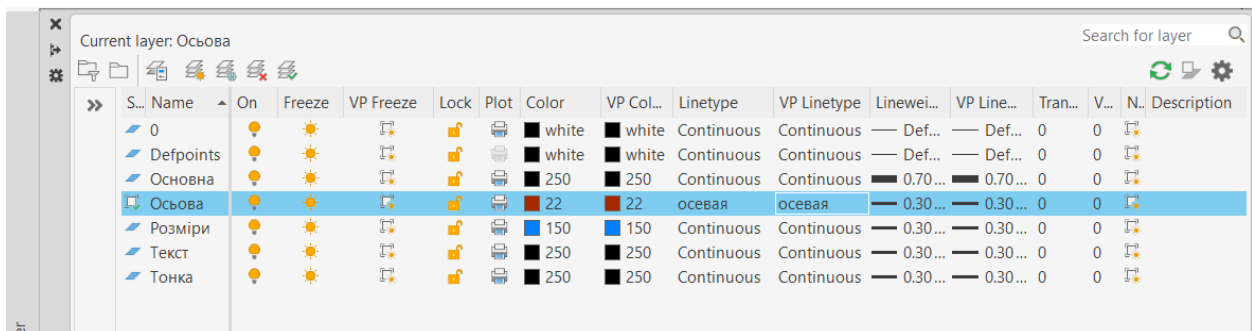


Рис. 15.14

Для кожного з цих шарів необхідно налаштувати товщину лінії, її тип, за бажанням, обрати колір. Поетапно виконуємо налаштування шару. Переходимо в розділ налаштування типу лінії «LineType» та товщини лінії – «LineWeight». У відповідності до ДСТУ ISO 128-20 для оформлення креслення використовуємо наступні типи ліній:

- суцільна товста типу 01.2. Для контуру деталі, товщину обираємо 0.7 мм;
- суцільна тонка лінія типу 01.1 для нанесення розмірів, штрихування тощо.

Товщину обираємо 0.35 мм (рис. 15.15);

- осьова лінія (довгоштрихова пунктирна або долгоштрихова короткоштрихова тонка лінія типу 04.1) для нанесення осей. Товщину задаємо як для тонкої лінії. Інші типи лінії мало використовуються, тому у шаблон їх не вносимо.

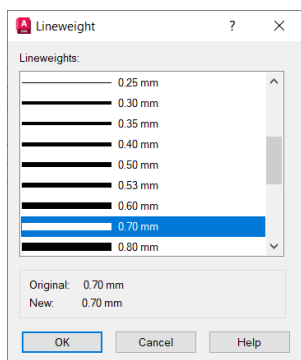


Рис. 15.15

Тип лінії «Continuous» відповідає суцільній лінії. Якщо суцільна лінія «Continuous» встановлена в AutoCAD по замовчуванню, то для створення осової лінії необхідно з бібліотеки типів ліній завантажити відповідний файл, якщо необхідної лінії не завантажено. Для цього клікаємо у вікні роботи з шарами на назві типу лінії у графі «Linetype».

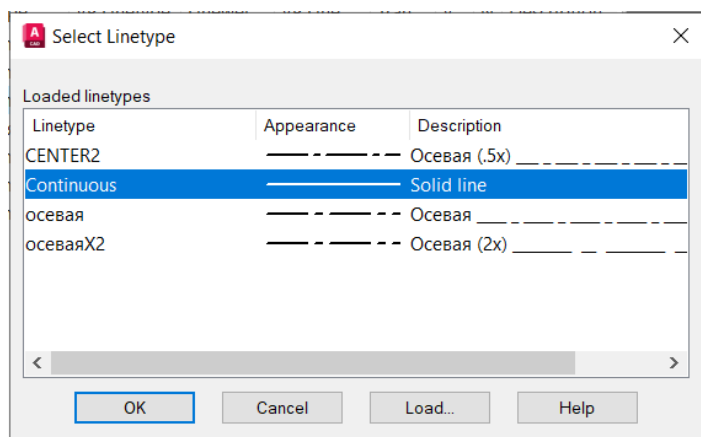


Рис. 15.16

У вікні «Select Linetype», що відкривається (рис. 15.16), натискаємо кнопку «Load» та обираємо необхідний тип лінії для завантаження. На рис. 15.17 зображено вікно «Load or Reload Linetypes» з файлом-бібліотекою для обрання необхідної для завантаження лінії.

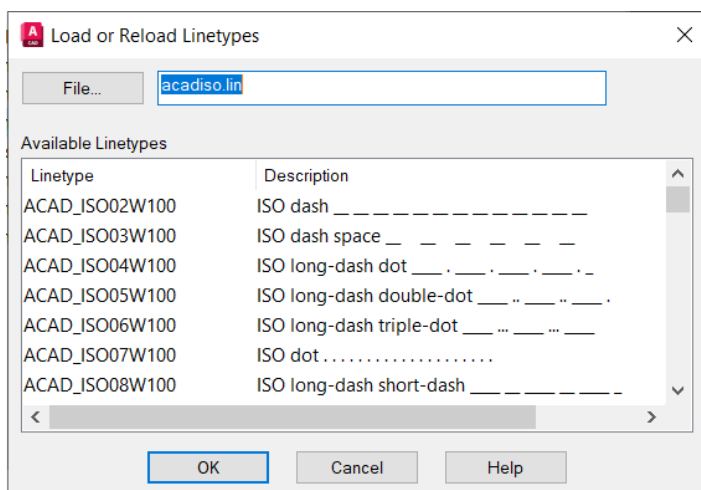


Рис. 15.17

Як видно на рис. 15.17, типів ліній для обрання осьової лінії у бібліотеці може бути кілька варіантів. Обираємо один з них, наприклад, «CENTER2». Інколи можуть не візуалізуватись довгі та короткі елементи осьової лінії. Цього можна уникнути підібравши масштаб елементів осьової лінії за допомогою системної змінної AutoCAD LTSCALE, що задається у командному рядку. При заданні значення змінної менше 1 елементи лінії зменшуються, більше 1 – збільшуються.

15.5. Налаштування текстових стилів

На панелі «Annotation» вкладки «Home» (рис. 15.18) клікаємо на стрілочці, що спрямована вниз біля назви підпанелі. У випадаючому меню, що зображене на рис.15.18, обираємо піктограму .

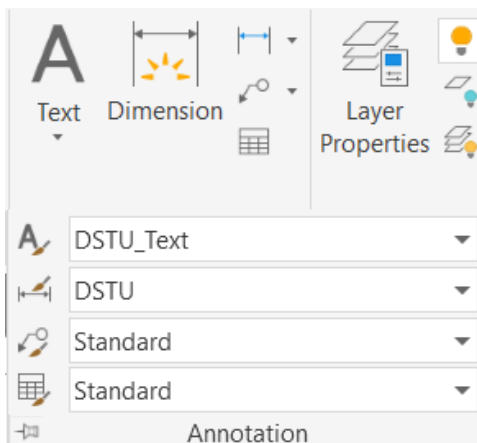


Рис. 15.18

Відкривається вікно (рис. 15.19), у якому створюємо новий текстовий стиль (використовуємо кнопку «New»). Даємо йому назву, наприклад, «DSTU_Text» та робимо налаштування відповідно до ДСТУ ISO 3098-0.

Використовуємо шрифт з назвою ISOCPEUR.

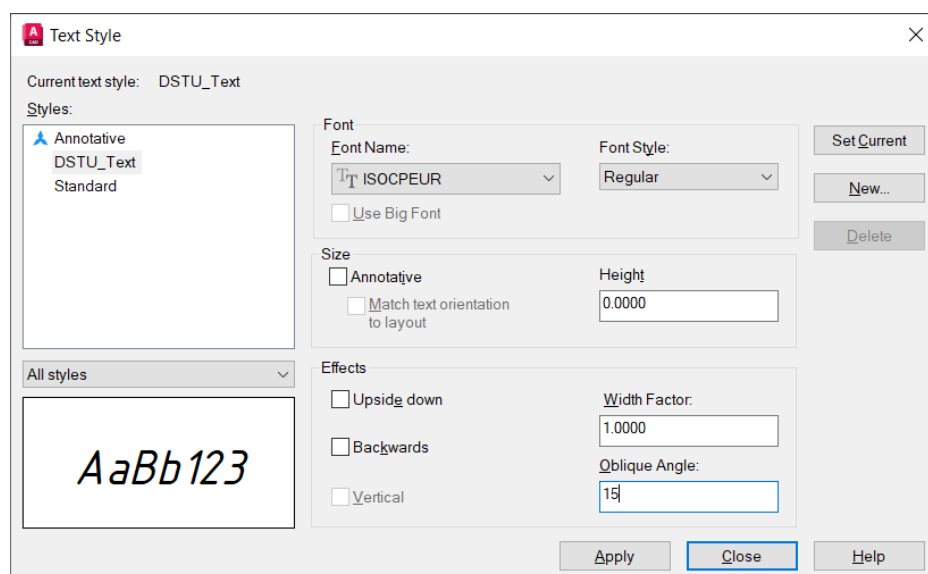


Рис. 15.19

Висота тексту не встановлюється, вона буде задаватись ситуативно в залежності від потреб.

15.6. Налаштування розмірних стилів

Для створення власного розмірного стилю на підпанелі відображень на рис. 15.18 обираємо наступний за налаштуванням тексту пункт .

Відкривається вікно (рис. 15.20), в якому за допомогою кнопки «New..» відкривається наступне вікно (рис. 15.21) для створення нового розмірного стилю. Дозволяється створювати необхідну кількість стилів.

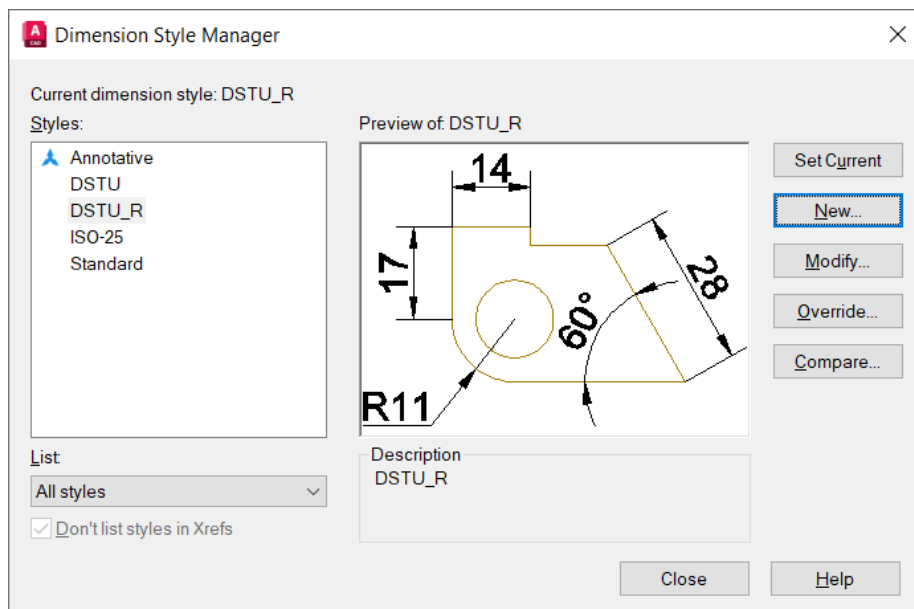


Рис. 15.20

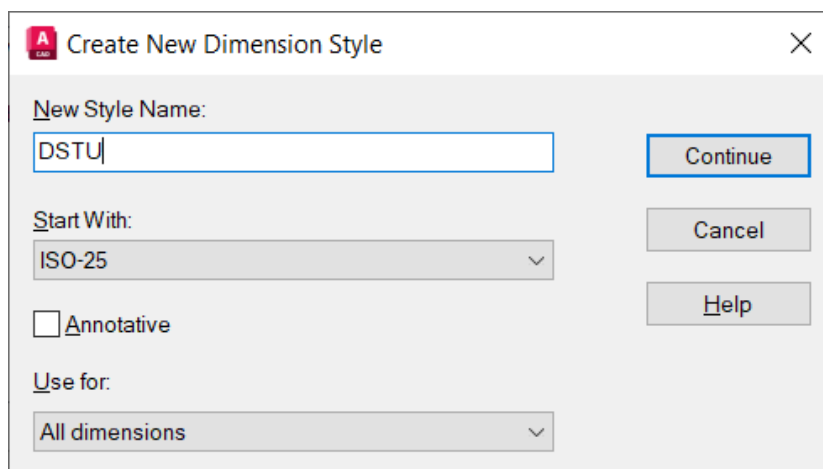


Рис. 15.21

У цьому ж вікні можна вказати на основі якого з існуючих стилів створюється новий стиль. Назву стилю, що створюється, даємо в полі «New Style Name».

За допомогою кнопки «Continue» відкривається вікно налаштування розмірного стилю «Modify Dimension Style». Стиль розмірів налаштовуємо відповідно до ДСТУ ISO 129-1. Розглянемо вкладки цього вікна.

У вкладці «Lines» налаштовуються параметри виносних та розмірних ліній. Більшість значень залишаємо за замовчуванням. Зупинимось на тих полях, у яких будуть вноситись зміни. Так в полі «Extend beyond dim lines» задаємо значення «3», що відповідно до стандарту задає подовження виносної лінії за стрілку розмірної лінії. Значенням «Offset from origin» задається зміщення початку виносної лінії відносно контуру деталі. Встановлюємо значення «0». (Відповідно до ДСТУ ISO 129-1 на технічних креслениках дозволяється робити відступ виносної лінії від контуру елемента. Проміжок має становити приблизно 8 товщин ліній). Результат налаштувань зображено на рис. 15.22.

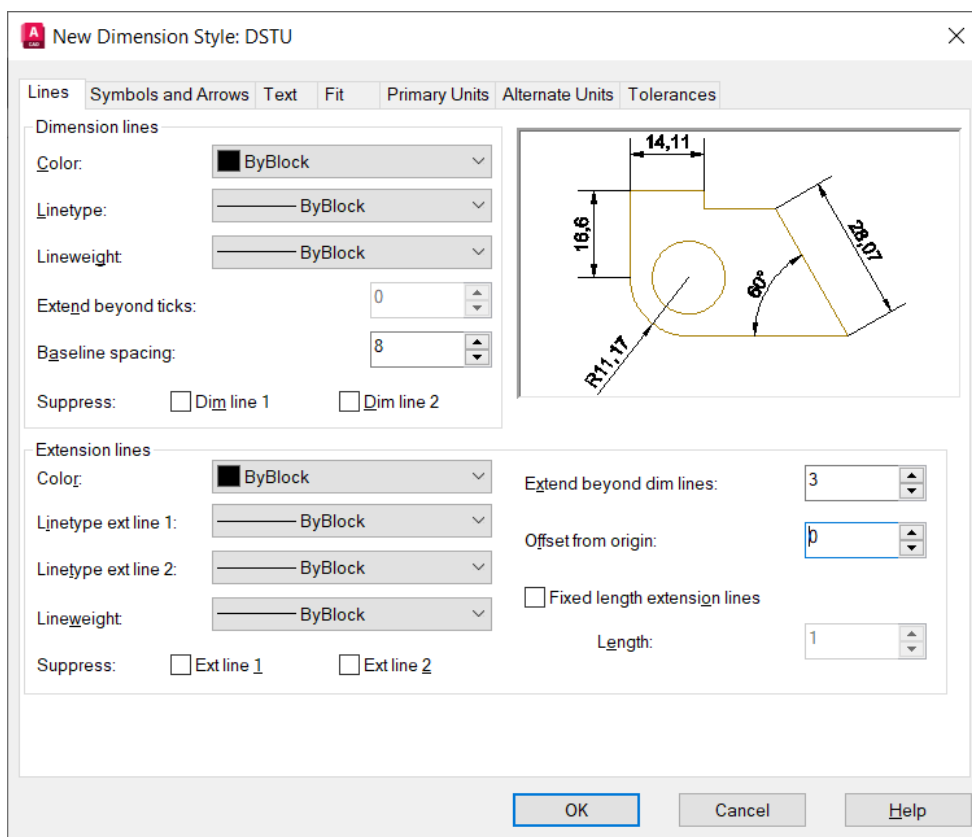


Рис. 15.22

У наступній вкладці «Symbols and Arrows» налаштовуємо розмірні стрілочки. У відповідності до стандарту обираємо стрілку «Closed filled». Значення розміру стрілочки «Arrow size» задаємо «4». Усі інші налаштування залишаємо як на рис. 15.23.

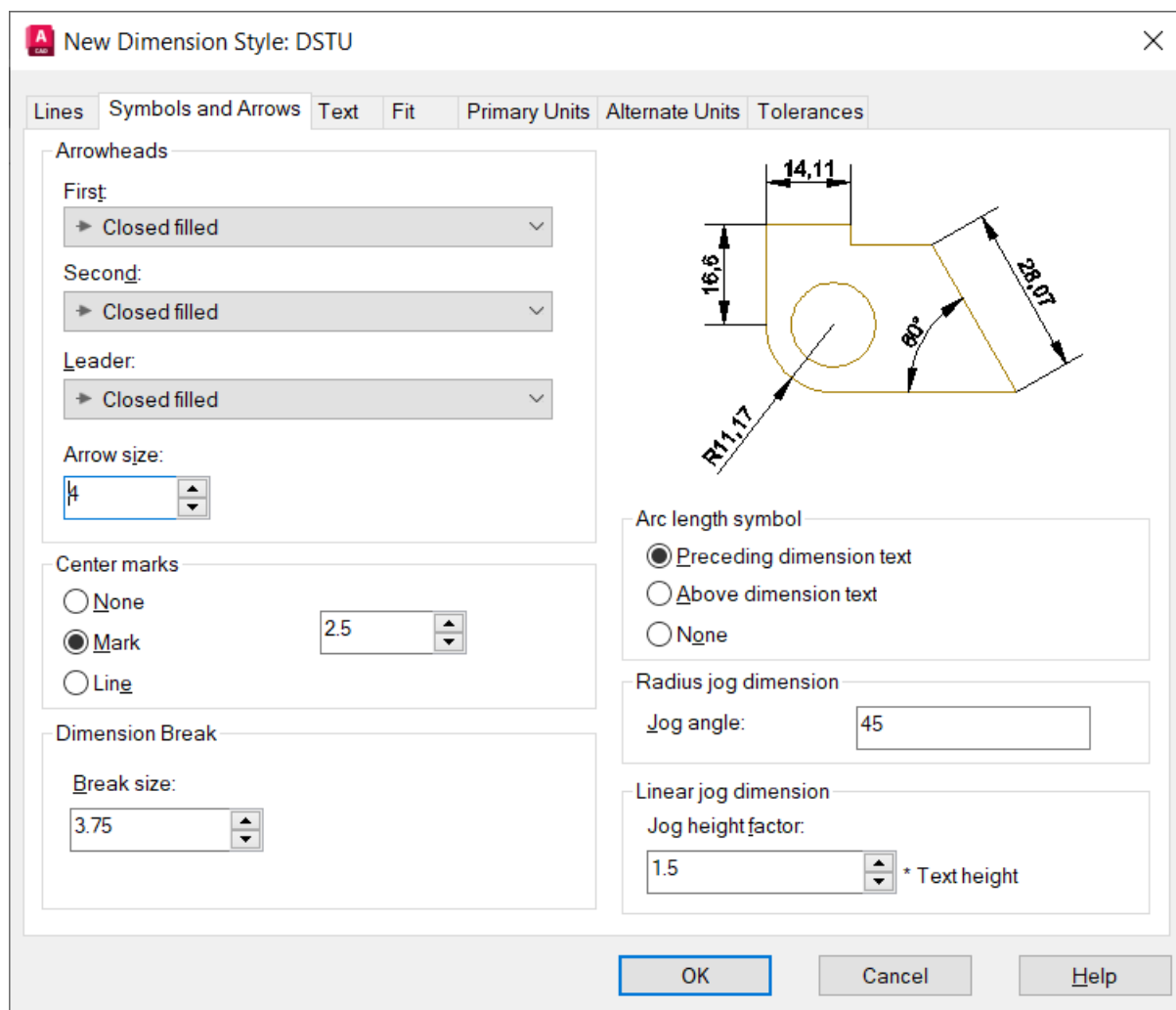


Рис. 15.23

У наступній вкладці «Text» (рис. 15.24) налаштовуємо розмірні числа.

У полі «Text Style» обираємо попередньо створений текстовий стиль. Якщо на цьому етапі текстовий стиль ще не встановлено, створюємо його за допомогою піктограми «...» у цьому ж вікні.

В полі «Text Height» встановлюємо значення висоти тексту – 5.

Розташування тексту налаштовуємо в розділі «Text placement»:

- ✓ «Vertical» – в значення Above;
- ✓ «Horizontal» – в значення Centered;

✓ «View Direction» – в значення Left-to-Right;

✓ «Offset from dim line» – в значення 1, що означає відступ розмірного числа над розмірною лінією на 1 мм.

У розділі «Text alignment» встановлюємо «ISO standard», якщо необхідно, щоб розмірне число діаметрів і радіусів виносилось на поличку, або «Align with dimension line», що дозволяє вирівняти розмірне число паралельно до розмірної лінії.

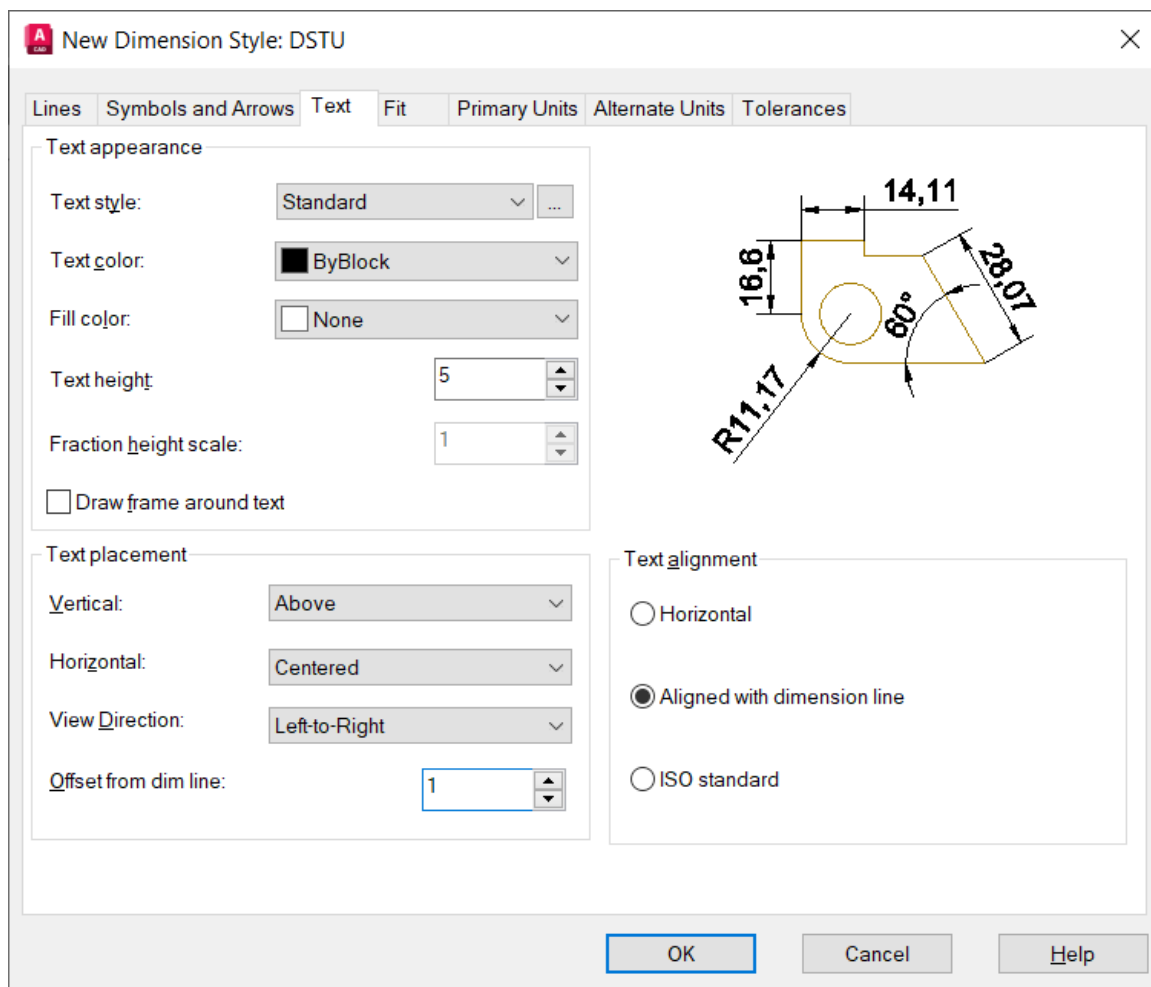


Рис. 15.24

На вкладці «Fit» можна керувати розташуванням тексту. Так в підрозділі «Fit Option» встановлюємо значення «Either text or arrows (best fit)» (вписати як краще).

В підрозділі «Text placement» (розміщення тексту) обираємо значення Beside the dimension line (між розмірними лініями).

В підрозділі «Fine tuning» встановлюємо прапорці навпроти «Place text manually», що дозволить вручну корегувати положення розмірного числа уздовж розмірної лінії. Прапорець встановлений напроти «Draw dim line between text lines» значить, що розмірна лінія буде розташована між виносними. Результат налаштувань зображено на рис. 15.25.

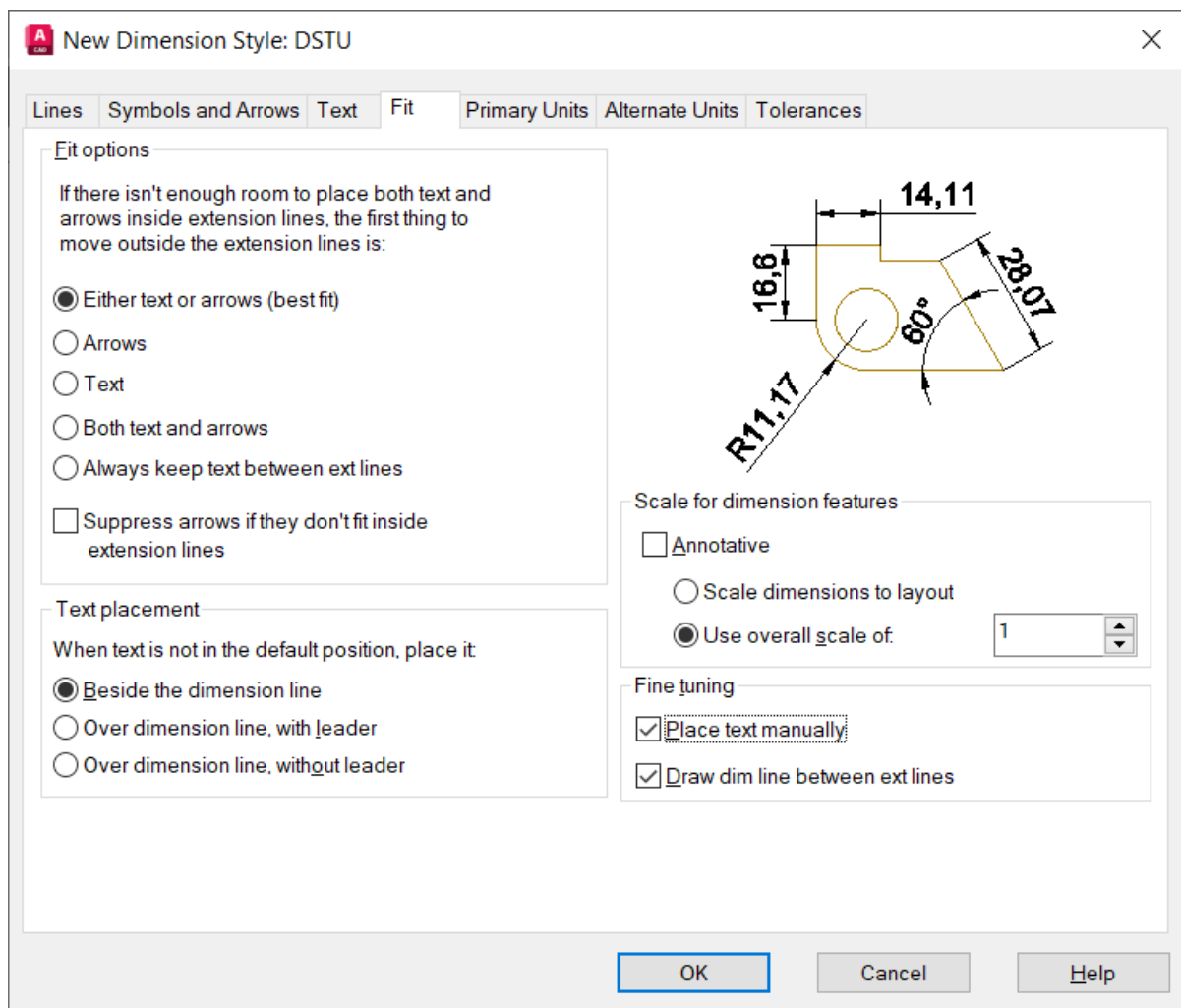


Рис. 15.25

Налаштовуємо розмірний стиль у вкладці «Primary Units» (рис. 15.26). В підрозділі «Linear dimensions» встановлюємо «Unit format» в значення «Decimal» (метрична система вимірювання), а «Precision» (точність) в значення «0». На цій вкладці можна задати коефіцієнт для перерахунку значення розмірного числа у відповідності до масштабу зображень у виконаній роботі, оскільки розміри, що наносяться на кресленику, повинні відповідати натуральній величині об'єкта.

Це можна зробити за допомогою «Scale factor». У цьому полі задається коефіцієнт, на який буде помножено фактично виміряний системою розмір. При налаштуванні шаблону залишаємо значення цього поля в значенні 1, оскільки при компоновці кресленика масштаб враховується системою автоматично.

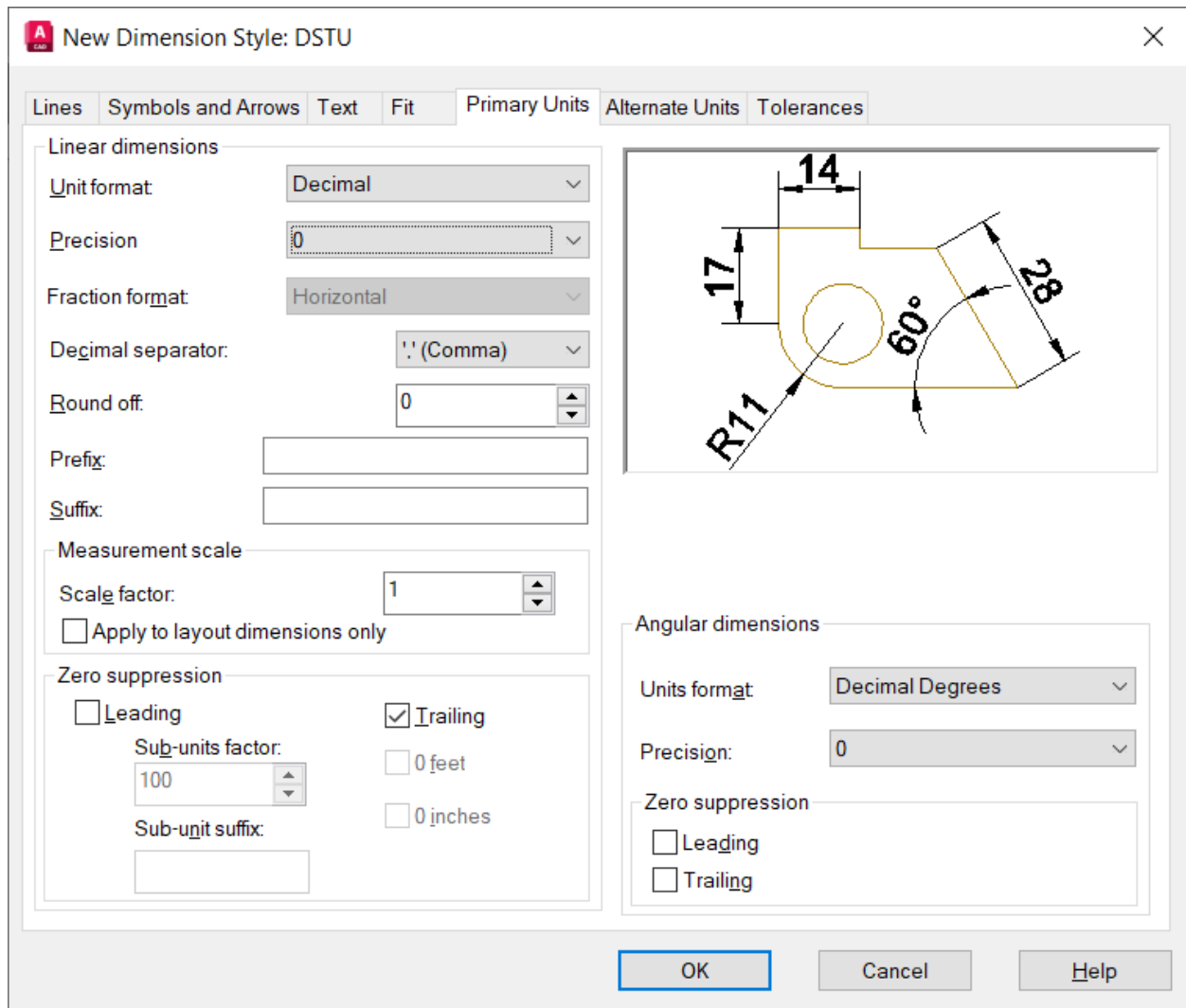


Рис. 15.26

15.7. Створення листів

Налаштовуємо простори листів. Завдання будуть виконуватися на форматах A3 та A4. Тому пропонується в шаблоні створити два листа, які відповідають цим форматам. Новий лист можна створити, клікнувши «+» — Model A3 A4 + в лівій нижній частині екрана. Слід клікнути на уже створеному листі правою кнопкою миші і обрати підкоманду «Page Setup Manager». Відкриється вікно (рис. 15.27),

у якому виконуються основні налаштування. Можна створити новий набір налаштувань або відредагувати існуючий. Якщо обрати один із існуючих наборів налаштувань, у нижній частині вікна відобразяться його основні параметри. Подвійним кліком на імені листа можна змінити його назву.

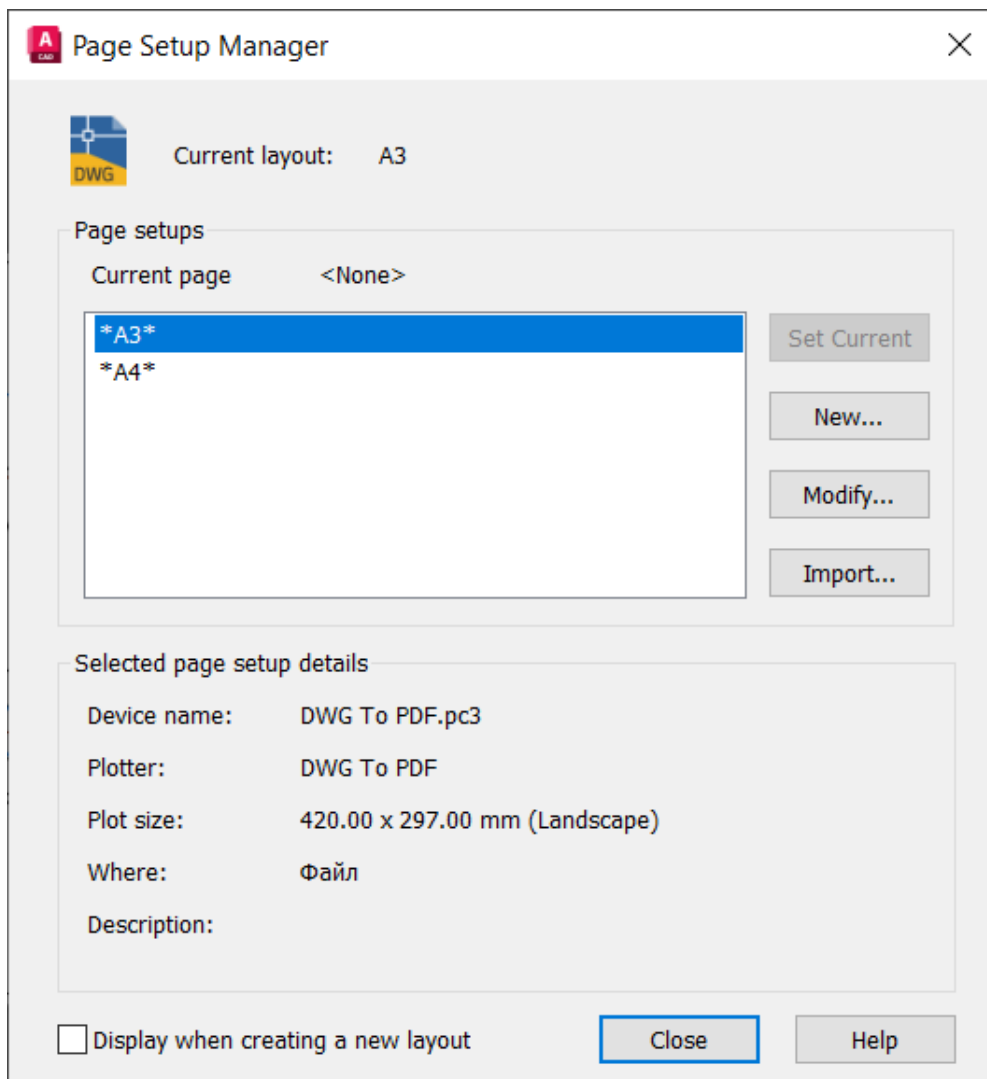


Рис. 15.27

Обираємо створений лист A3. Редагуємо його властивості. Скористаємось кнопкою «Modify...». Відкриється вікно, зображене на рис. 15.28, у якому виконуємо основні налаштування.

В розділі «Printer/plotter» задаємо значення «Name» «DWG To PDF.pc3». Це налаштування дозволить користуватися великим набором форматів, виконувати конвертацію в DWG та переносити створений файл на друк.

У розділі «Paper size» обираємо необхідний формат A3 або A4 з приписом *full bleed*, що дозволить зайняти усе поле формату без врахування берегів формату при друці.

Усі інші налаштування на цьому етапі можна залишити без змін.

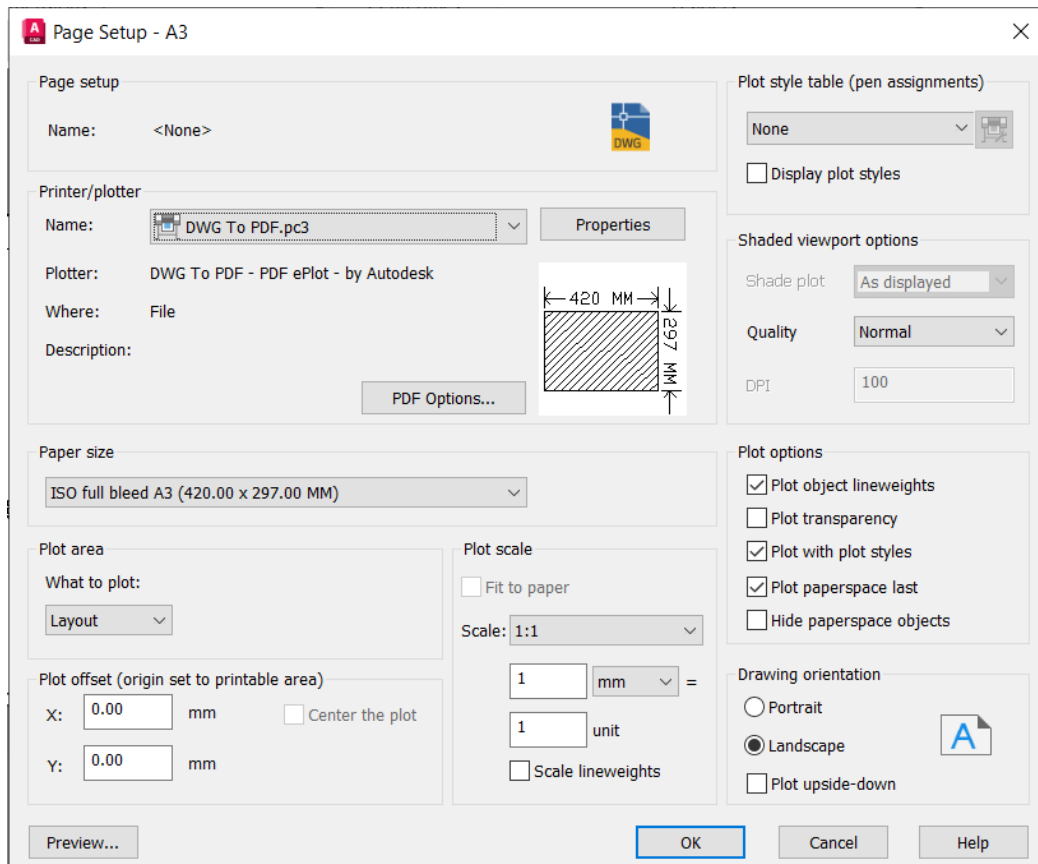


Рис. 15.28

15.8. Створення рамки та основного напису

У відповідності до ДСТУ ISO 5457 формат креслення повинен мати рамку і основний напис. Створимо формат A3 з основним написом відповідно до ДСТУ ГОСТ 2.104, A4 виконується по аналогії. Рамка формату повинна мати береги по лівому кордону 20 мм, з трьох інших сторін по 10 мм. У процесі створення формату будемо паралельно знайомитися з режимами побудови. Нагадуємо, що працюємо в режимі «Drawing and Annotation». Застосовуємо вкладку «Home». На цій вкладці скористаємось панелями, які зображені на рис. 15.29. Пам'ятаємо, що налаштування шарів, текстового та розмірних стилів уже виконано.

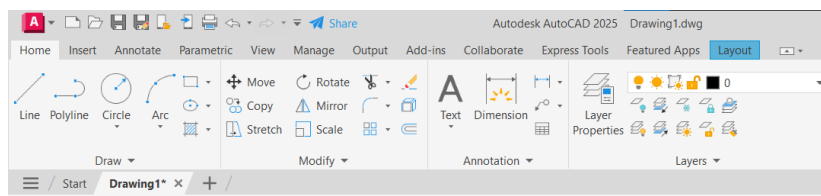


Рис. 15.29

Виконуємо наступні кресленики на вже створеному форматі А3 у просторі листа «Paper» з встановленими розмірами 420 на 297.

Якщо нижня панель екрана дещо відрізняється від зображеної на рис. 15.30, то вивести потрібну піктограму для активації того чи іншого режиму можна обравши останню в ряду панелі піктограму  (рис. 15.30).



Рис. 15.30

Coordinates
✓ Paper Space
Infer Constraints
Dynamic Input
✓ Ortho Mode
✓ Polar Tracking
✓ Isometric Drafting
✓ Object Snap Tracking
✓ 2D Object Snap
✓ LineWeight
Transparency
Selection Cycling
✓ Maximize Viewport
✓ Annotation Visibility
✓ AutoScale
✓ Workspace Switching
✓ Annotation Monitor
✓ Quick Properties
Lock UI
✓ Isolate Objects
Graphics Performance
✓ Clean Screen

Відкриється показана на рис. 15.31 панель, на якій можна обрати необхідні режими. Після чого їх піктограми будуть додані в нижню панель. Зображення піктограм будуть відповідати показаним на рис. 15.30.

Починати креслення слід з обрання у панелі «Draw» вкладки «Home» відповідної команди (піктограми). Після чого відстежувати запити системи у командному рядку, який розташований у нижній частині екрана. На запити слід відповідати обираючи необхідні опції. В залежності від обраного алгоритму побудови зображення послідовність запитів може змінюватися. Виконання елементів креслеників за допомогою примітивів побудови графічних зображень відбувається після їх обрання та фіксації відповідних точок на екрані за запитом системи у командному рядку. У панелі «Draw» є примітиви побудови відрізків, дуг, кіл, поліліній, сплайнів, багатокутників, еліпсів тощо.

Рис. 15.31

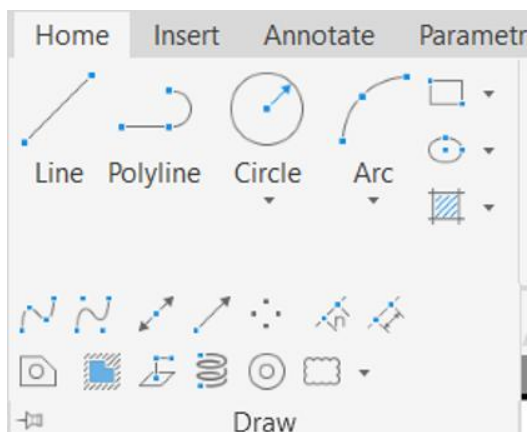


Рис. 15.32

Практикою роботи з примітивами оволодівають у процесі виконання навчальних завдань. Розглянемо застосування деяких примітивів. Для побудови відрізка на панелі «Draw» обирають команду «Line» (рис. 15.32). Після чого у командному рядку з'являться запити про фіксацію початкової і кінцевої точок відрізка.

Вказати положення точки на екрані можна одним із способів задання координат.

Розглянемо варіанти задання координат на екрані:

- абсолютні координати. За замовчуванням за точку з координатами 0,0 приймається початок світової системи координат, який у просторі моделі позначається координатними осями. Вводяться координати у порядку спочатку значення x потім y , які відділяються комою. Десятичні значення відділяються крапкою;
- відносні координати. При цьому можна використовувати режим динамічного введення –  Dynamic Input (рис. 15.31) або вводити приращення координат відносно існуючої точки через командний рядок;
- за допомогою об'єктних прив'язок до характерних точок на елементах уже існуючих об'єктів;
- використанням трекінга (відстеження відносного положення елементів уже побудованих зображень);
- комбінацією трекінга та об'єктних прив'язок, скориставшись Ctrl + права кнопка мишки і прив'язкою «From» (рис. 15.33);
- використанням фільтрів координат тощо.

Розглянемо кілька варіантів застосування відносних координат через використання командного рядка. Задання відносних координат означає, що вводять приращення координати по осі Ox та по осі Oy відносно координат попередньо введеної точки. Також відносні координати можуть задаватись введенням приращення

відстані від попередньої точки та фіксацією кута. Так при активації режиму динамічного вводу спочатку задають з клавіатури значення прирощення лінійної відстані, наступним кроком за допомогою кнопки Tab задають кут переміщення. Кінцеве положення точки фіксується клавішою Enter.

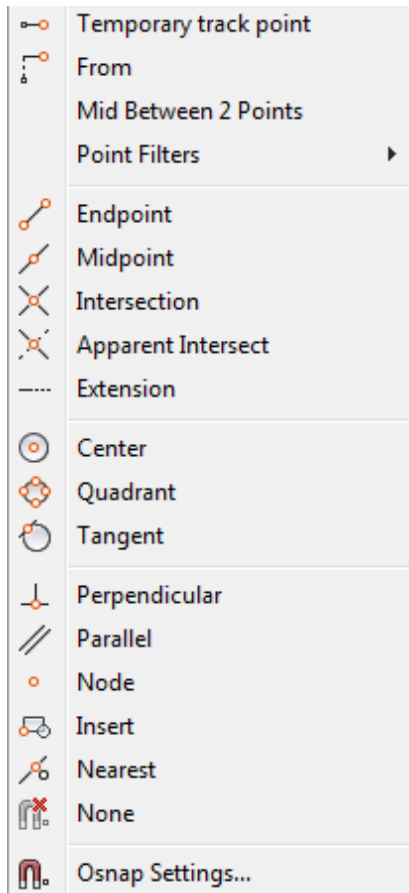


Рис. 15.33

При заданні відносних координат через командний рядок слід спочатку ввести символ @, наступним кроком задати прирощення координат, відділяючи їх комою. Наприклад, @10,20. Це означає, що відносно координат попередньо заданої точки по осі Ox буде додано 10 мм, а по осі Oy 20 мм.

Варіант задання @20<40 означає, що відносно попередньо заданої точки буде зафіксована нова на відстані 20 мм під кутом 40°. Слід зазначити, що за замовчуванням кути будуються проти годинникової стрілки. Якщо мишку перемістити у певному напрямку відносно уже заданої точки, то кут вважається заданим, прирощення відстані можна задавати одним значенням без задання символу @.

Оскільки пласке зображення виконується у площині xOy, значення координати z вважається нульовим за замовчуванням.

Завершення побудови фіксується клавішою «Enter» з клавіатури або правою кнопкою миші з обранням з меню команди «Enter» або «Cancel». Інакше у командному рядку буде повторюватись запит на введення координат наступної точки. Якщо в момент побудови відрізка скористатися комбінацією Ctrl + права кнопка мишки та у прив'язках обрати пункт «From», то можна перевизначити точку, від якої будуть відраховуватися відносні координати. Така можливість може бути зручною.

Фільтри координат задаються введенням крапки перед найменуванням координати з клавіатури. Наприклад, на запит координати точки в режимі побудови примітиву вводиться .x. Це дозволяє одним із способів (трекінг, прив'язка тощо) окремо визначити значення лише координати x, використовуючи існуючі зображення. Після чого вводяться доступними способами інші координати.

Для активації прив'язок клікаємо піктограму  на панелі в нижній частині екрана. Активні прив'язки обираємо ситуативно. Так при побудові відрізка достатньо лише прив'язки до кінцевої точки відрізка.

Для фіксації значення певного кута на тій же панелі обираємо піктограму  Клікаємо на зображенні стрілочки, що показує донизу і обираємо необхідне значення кута, при якому буде з'являтися підказка-трекінг, якщо напрямок переміщення курсора співпадає з заданим значенням кута (рис. 15.34).

Для побудови горизонтальних та вертикальних відрізків слід увімкнути режим  «Ortho Mode». Використовуємо його для побудови рамки формату.

Для активації режиму трекінгу клікаємо на піктограмі  Цей режим дозволяє скористатися інформацією про значення координат точок, що належать іншим уже побудованим об'єктам для визначення положення нової точки (рис. 12.34). Як правило, режим трекінгу використовується разом з режимом прив'язок.

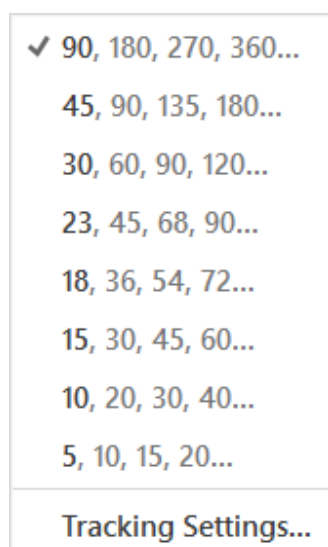


Рис. 12.34

На рис. 15.35 показано, що потрібна точка обирається за допомогою вказаних режимів прив'язкою до кінцевих точок різних відрізків.

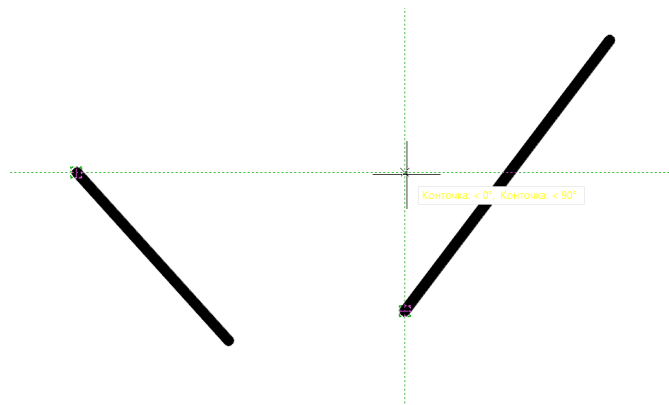


Рис. 12.35

15.9. Побудова контуру рамки

Переходимо в шар з суцільною товстою лінією. Вмикаємо режим «Ortho Mode», обираємо команду побудови відрізка. Використовуємо будь-які варіанти введення координат.

Першу точку задаємо в абсолютних координатах – 20, 10. Наступна точка має абсолютні координати 20,277. Третя точка – 277, 400. Активуємо режими трекінгу та прив'язок і знаходимо наступну точку рамки (праву нижню). Будуємо останню точку, яка співпадає з першою будь-яким способом або обираємо опцію Close в командному рядку, щоб замкнути контур.

Для відображення товщини лінії активуємо режим  (товщина лінії) з переліку режимів у правому нижньому куті екрана.

Створюємо основний напис відповідно до ДСТУ ГОСТ 2.104. Оскільки штамп містить лінії різної товщини, скористаємось при його виконанні двома шарами (суцільна товста, суцільна тонка). Якщо помилково об'єкт побудовано не у тому шарі, обираємо його і переносимо в потрібний шар, клікнувши на підпанелі роботи з шарами на назві цього шару.

При побудові таблиці основного напису зручно застосовувати режим «Ortho Mode», задавати відносні координати, використовувати прив'язки та трекінг.

Познайомимось з командою «Offset» (Зсув)  , що знаходиться у панелі «Modify» вкладки «Номе». У таблиці основного напису ширина рядка 5 мм. Обираємо з командного рядка команди Offset опцію «Through» (Через), задаємо значення 5, та вказуємо у який бік з якого елемента слід зробити копію. Повторюємо останній крок необхідну кількість разів.

Для редагування об'єкта зручно використовувати «гріпси» (ручки). Це бла-
китні прямокутники, які з'являються на об'єкті, якщо на ньому виконати клік та
утримувати мишкою. За середній «гріпс» об'єкт можна переміщати, за допомогою
крайніх – змінювати розмір.

Наступним кроком заповнюємо штамп текстом. Роботу з текстом можна
виконувати на панелі «Annotations» вкладки «Номе», або на окремій вкладці
«Annotate» панель «Text», що зображена на рис. 15.36.

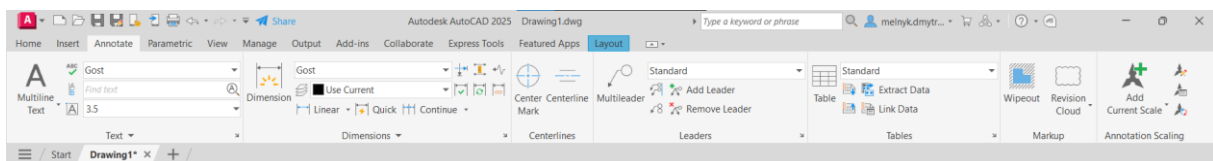


Рис. 15.36

Текст можна вводити у двох режимах – однорядковий (Single line) та бага-
торядковий (Multiline text (рис. 15.37)). Нагадуємо, що необхідний текстовий стиль
уже створено у шаблоні. Тому обираємо його у відповідному рядку панелі роботи
з текстом.

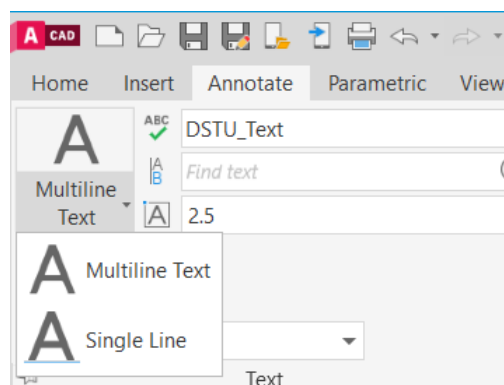


Рис. 15.37

Для багаторядкового тексту мишкою вказується габаритний прямокутник, в межах якого вводиться текст. На панелі текстового редактора, що відкриється, налаштовуємо багаторядковий текст. Обираємо стиль, висоту, додаємо символи діаметрів, градусів тощо. За потреби подвійним кліком на багаторядковому тексті знову відкривається текстовий редактор (рис. 15.38) і зміст тексту можна змінити. Після завершення роботи з текстовим редактором його необхідно закрити відповідною піктограмою в кінці панелі або натиснувши клавішу Esc.

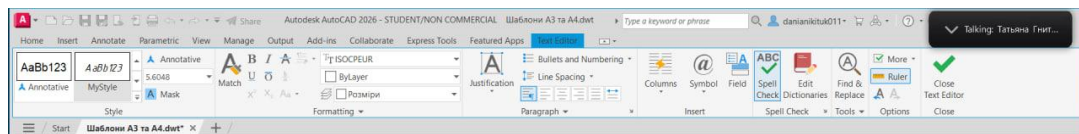


Рис. 15.38

Оскільки в основному написі текст необхідно поміщати у окрему комірку рамки, то слід використовувати варіант побудови однорядкового тексту. У цьому випадку у командному рядку слід уточнити точку початку тексту, його висоту, кут нахилу (в нашому випадку 0^0) та почати вводити текст. Якщо, не виходячи з команди, клікнути в іншій точці екрана, то можна почати вводити наступний текст з такими ж параметрами. Усі введені фрагменти тексту будуть сприйматися, як самостійні об'єкти. Налаштування властивостей тексту зручно робити через вікно швидких властивостей, яке відкривається в нижній панелі піктограмою . В цьому вікні можна змінити зміст тексту, обрати стиль, шар, висоту та параметри вирівнювання (рис. 15.39). Наприклад, щоб вписати текст «по ширині» у комірку, обирається варіант вирівнювання «Fit».

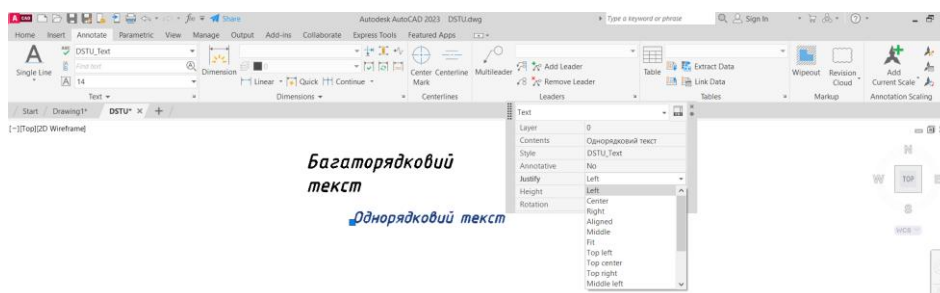


Рис. 15.39



Рис. 15.40

15.10. Створення блоків з атрибутами

Шаблони, що надаються в AutoCAD, оформлені у вигляді блоків з атрибутами.

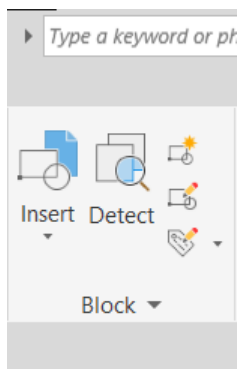


Рис. 15.41

Для створення шаблону можна користуватись однорядковим текстом, як це було показано вище. Проте розглянемо варіант як це можна зробити за допомогою блоків.

Для роботи з блоками скористаємось панеллю «Block» вкладки «Home» (рис. 15.41) або панеллю «Block definition» вкладки «Insert» (рис. 15.42).

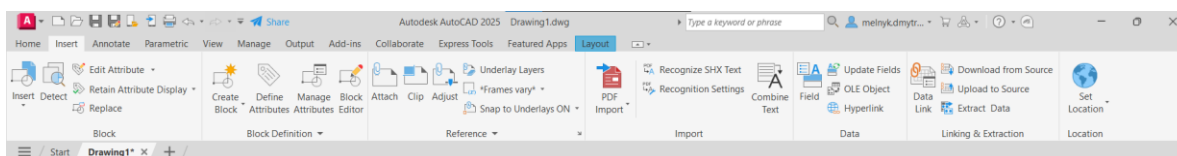


Рис. 15.42

Обираємо піктограму команди створення атрибуту блока «Define Attributes» . Відкриється вікно, у якому необхідно вказати параметри атрибута. Розглянемо режими «Mode». «Invisible» – атрибут може бути невидимим, може бути не змінним – «Constant» Ці варіанти не влаштовують, оскільки його значення необхідно

контролювати. Контрольованим є атрибут «Verify». За допомогою режиму «Preset» створюється атрибут зі значенням по замовчуванню. Пункт «Lock position» задає фіксоване положення атрибуту. Якщо його прапорець не активний, то атрибут можна пересувати. Також атрибут може містити кілька рядків, якщо встановити «Multiply lines». Обираємо лише «Verify». У цьому ж вікні задаємо назву атрибуту «Tag», підказку «Prompt», значення за замовчуванням «Default», висоту тексту та стиль тексту (рис. 15.43). Клік на екрані створить заданий атрибут. Створюємо усі текстові рядочки, які можуть змінюватися, а саме, назва роботи, масштаб, прізвище автора тощо, як атрибути. Не забуваємо обирати стиль та висоту тексту відповідно до стандарту.

Після створення усіх атрибутів основного напису переходимо до створення блоку з назвою «А3», який буде містити контур рамки, таблицю основного напису, текстову інформацію в основному написі, яка не буде змінюватися, та усі створені атрибути.

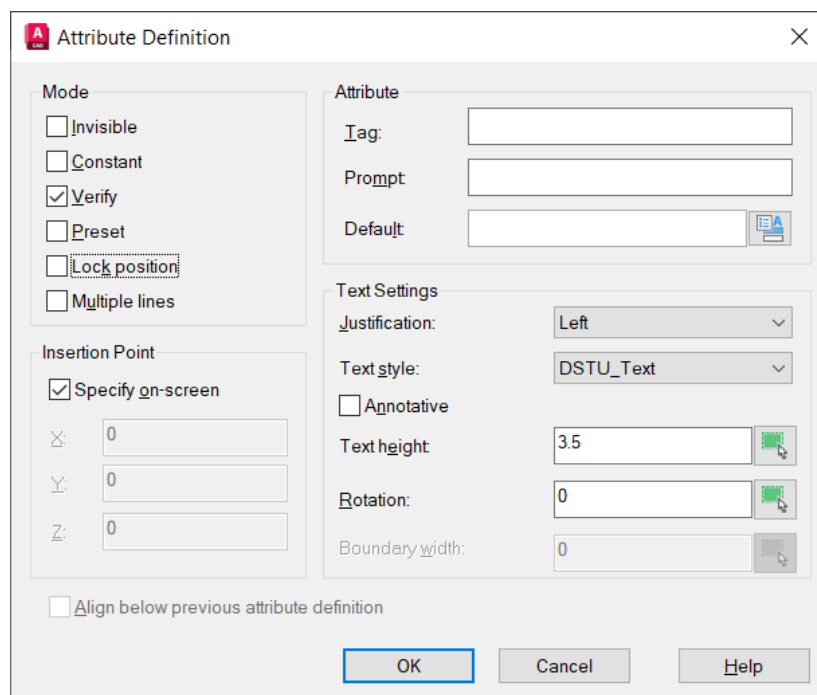


Рис. 15.43

Обираємо піктограму створення блока . У вікні, що відкрилося, (рис. 15.44) задаємо назву блока, наприклад, «А3», обираємо усі перераховані елементи блока

та задаємо точку вставки кліком на зображенні. Її зручно сумістити з початком координат 0,0 або з кутом рамки.

Наступним кроком є вставка створеного блока. Скористаємось піктограмою . Обираємо блок для вставки, вказуємо точку вставки. В момент вставки блоку з'явиться вікно для заповнення параметрів атрибутів. У разі потреби атрибути можна скоректувати у вікні, що відкривається подвійним кліком на блоці.

При необхідності блок можна відредагувати за допомогою редактора блоків (рис. 15.45), що відкривається піктограмою .

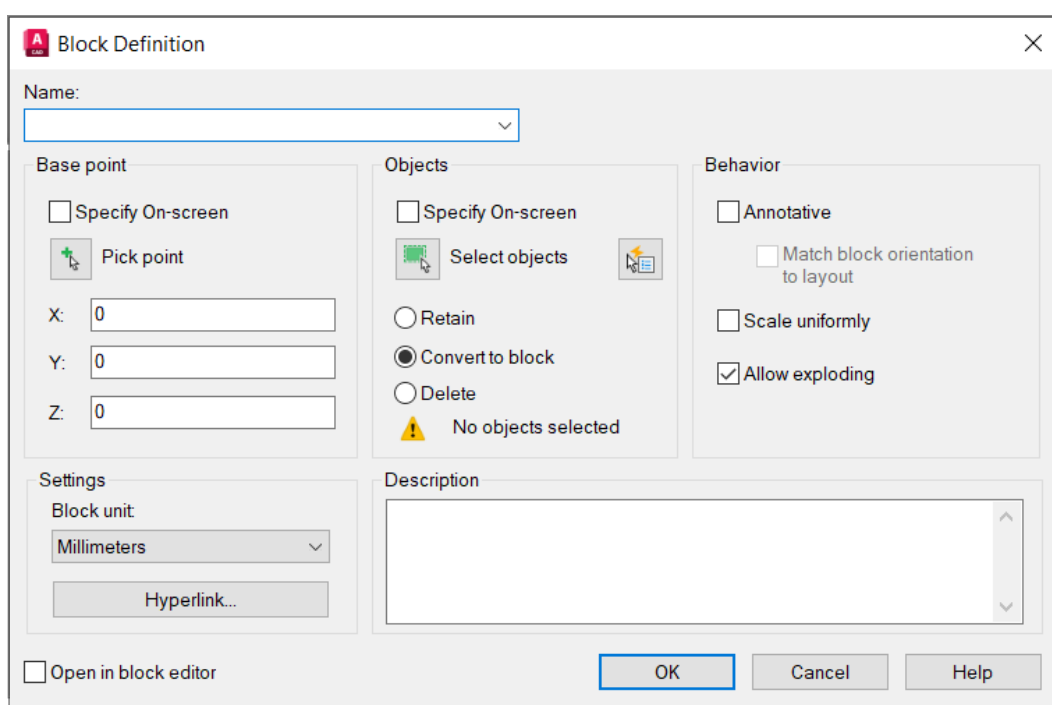


Рис. 15.44

Для створення формату A4 можна скористатись редактором блоків та зберегти відредагований блок під новим іменем «A4». Закривається панель роботи з блоками відповідною піктограмою в кінці панелі.

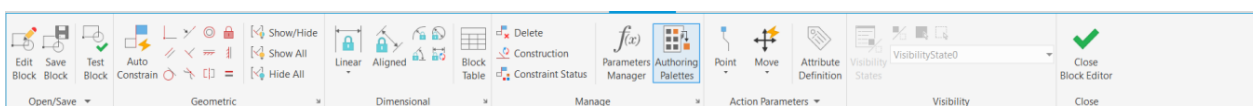


Рис. 15.45

Останнім кроком є збереження файлу з розширенням dwt в папці з уже існуючими шаблонами. Після чого його можна буде обирати при створенні нових файлів. Шаблон створено. Усі інші роботи будуть виконуватись при попередньому завантаженні шаблону.

Запитання для самоперевірки:

1. Які розміри формату А3?
2. Яке розширення файлу для шаблонів в AutoCAD?
3. Яка висота розмірних чисел на форматі А3?
4. Де починається виносна розмірна лінія?
5. Які налаштування виконують при створенні шаблону?

РОЗДІЛ 16. ВИКОНАННЯ ПЛАСКОГО КОНТУРУ ДЕТАЛІ

Розглянемо побудову плаского контуру в AutoCAD. Завантажуємо попередньо створений шаблон. Виконуємо побудови в просторі листа на завантаженому шаблоні. Плаский контур можна також виконати і у просторі моделі та перенести на формат листа через буфер. Працюємо в режимі  «Drafting & Annotation» (Малювання та анотації). Паралельно з побудовою плаского контуру знайомимось з основними примітивами, що при цьому застосовуються.

Проаналізуємо завдання рис. 16.1 (варіант завдання – [4]). У запропонованому пласкому контурі присутні спряження, масиви, розміри.

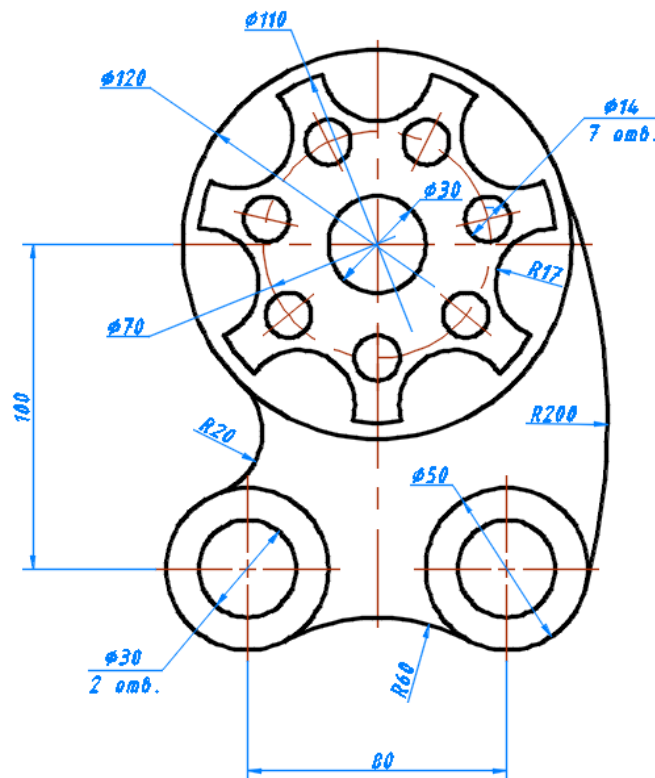


Рис. 16.1

16.1. Робота з об'єктними прив'язками

Побудови слід виконувати з використанням трекінга та прив'язок відносно уже створених об'єктів. Розглянемо більш детально роботу з об'єктними прив'язками. Активувати роботу прив'язок можна за допомогою піктограми  в правій нижній

частині екрана. Обрання необхідних прив'язок можна зробити відкривши список біля піктограми активації. Прив'язки (рис. 16.2) бажано обирати тільки ті, які необхідні для виконання завдання, інакше можуть спрацьовувати найближчі встановлені прив'язки, а це не завжди зручно. Активно будемо використовувати наступні прив'язки:

-  Дозволяє обрати кінцеву точку відрізка
-  Обирає середину відрізка
-  Фіксується на центрі кола
-  Фіксується за опорні точки на колі, як

зображено на піктограмі

-  Фіксується на перетині ліній
-  Допомагає побудувати пряму з заданої точки паралельну до вказаної. При побудові на пряму, до якої необхідно провести паралельну наводиться курсор без кліка. В процесі побудови з'явиться підказка, коли обраний напрямок стане паралельним до раніше обраного.

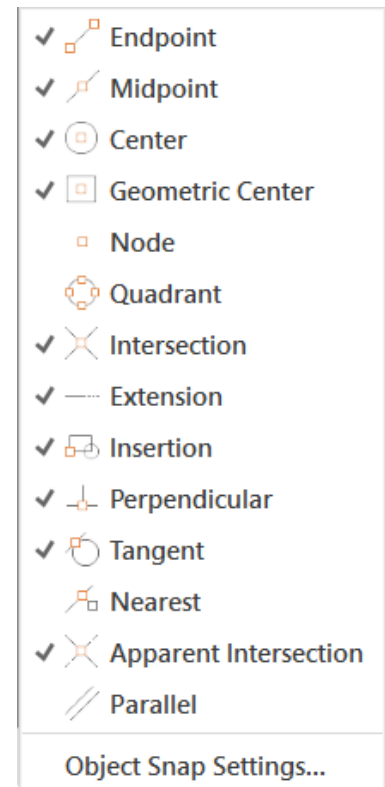


Рис. 16.2

-  Допомагає опустити перпендикуляр із заданої

точки на пряму. Як і у попередньому випадку, на пряму, до якої будується перпендикуляр, необхідно навести курсор. Після чого з'явиться підказка, коли пряма, що будується, займе перпендикулярне положення.

-  Дотичність. Допомагає побудувати з вказаної точки пряму, дотичну до існуючого об'єкта (кола, дуги тощо).

Якщо в процесі побудови зображення необхідно, щоб спрацьовувала лише одна конкретна прив'язка, то застосовуємо панель (рис. 15.33), що відкривається комбінацією Ctrl + права кнопка миші. Наприклад, необхідно побудувати пряму, дотичну одразу до двох кіл. Обираємо команду побудови відрізка, натискаємо Ctrl + права кнопка миші та обираємо «Tangent» (Дотичність). Після чого вказуємо

на перше коло, знову натискаємо Ctrl + права кнопка миші, обираємо «Tangent» та вказуємо на друге коло.

16.2. Команди обрання, побудови та редагування об'єктів

Обрання об'єктів виконується кліком миші на об'єкті. Якщо необхідно обрати кілька об'єктів, послідовно клікаємо на всіх необхідних об'єктах. Для зняття обрання з одного з обраних об'єктів затискаємо Shift та клікаємо на ньому.

Крім того, зручно обирати об'єкти габаритними прямокутниками. Існує два варіанти обрання:

1. Кліки для фіксації габаритного прямокутника задаються в такому порядку: перший клік зліва від об'єктів обрання, а другий праворуч. Обираються тільки ті об'єкти, які повністю потрапили у прямокутник.

2. Кліки для фіксації габаритного прямокутника задаються в такому порядку: перший клік обирається праворуч, а другий ліворуч від групи обрання об'єктів. Будуть обрані усі об'єкти, що повністю потрапили у габаритний прямокутник, а також і ті, що перетнули його периметр.

Видалення можна виконати клавішею Del, або відповідною піктограмою  панелі «Home».

При виконанні завдання активно будемо використовувати наступні команди редагування з меню панелі «Modify» вкладки «Home»:

-  Move Перемістити. Обирається об'єкт (об'єкти), який буде переноситись. Обрання завершуємо командою Enter. Вказуємо базову точку на об'єкті, за якою переміщаємо об'єкт, та точку, у яку його переміщаємо.

-  Copy Копіювати. Обирається об'єкт (об'єкти), який буде копіюватись. Обрання завершуємо командою Enter. Вказуємо базову точку на об'єкті, за якою копіюємо об'єкт, та точку, у яку переносимо копію.

-  Rotate Обернути. Необхідно обрати об'єкт (об'єкти), який буде обертатись. Обрання завершуємо командою Enter. Вказуємо базову точку на об'єкті, навколо якої виконується обертання. Мишкою або з клавіатури задаємо кут обертання.

-  Lengthen (збільшити). Ця команда знаходиться у меню панелі, що відкривається при натисканні стрілочки біля назви панелі «Modify» вкладки «Home» (рис. 16.3).

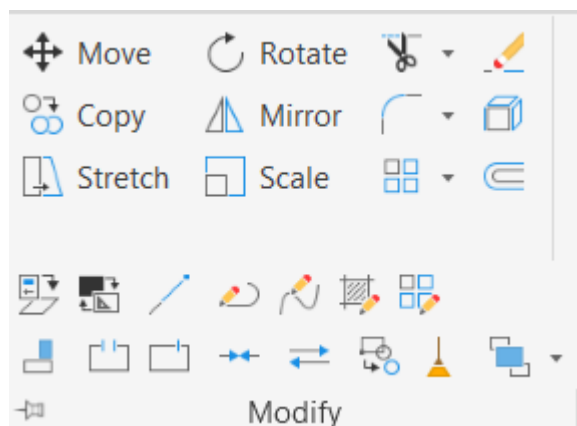


Рис. 16.3

В командному рядку обираємо опцію «DElta» та задаємо з клавіатури значення прирощення, на яке буде виконано подовження. Вказуємо точку ближче до кінця відрізка, де необхідно виконати подовження. Відрізок подовжиться на вказане значення.

Останній крок можна повторювати необхідну кількість разів.

Завершуємо виконання команди – Enter.

-  Cut. Обрізати. Якщо при обранні цієї команди натиснути клавішу Enter, обираються усі об'єкти. Тоді будь який фрагмент між точками їх перетину можна буде видалити. Якщо при обранні команди вказувати на окремі об'єкти, вони сприймаються як ріжуча кромка. Завершується обрання таких кромок натисканням на клавішу Enter. Після чого вказують на фрагменти між точками перетину кромок з об'єктами, які необхідно видалити. Фіксація фрагментів, які необхідно видалити, відбувається кліком мишки.

Розглянемо етапи побудови плоского контуру деталі.

Проводимо допоміжні побудови. Будуємо в шарі з осьовою лінією вертикальну пряму, застосовуючи режим «Ortho Mode». Довжину прямої обираємо приблизно 200 мм так, щоб вона була більшого розміру, ніж вертикальна вісь плоского контуру. Якщо працюємо в просторі листа, позиціонуємо вісь на форматі так, щоб помістилось усе зображення. Відступаємо приблизно на третину довжини від верхнього кінця прямої і у тому ж шарі  проводимо горизонтальну лінію, розміром більшим, ніж горизонтальний габаритний розмір деталі. В перетині побудованих осей отримуємо точку, яка буде центром масиву і групи верхніх кіл.

Відповідно до завдання нижні кола розташовані на відстані 100 мм вниз від зафіксованої точки. За допомогою команди «Offset» копіюємо побудовану горизонтальну вісь зі зміщенням вниз на 100 мм.

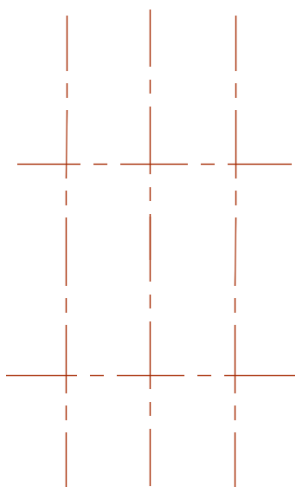


Рис. 16.4

Деталь не симетрична відносно вертикальної осі симетрії, але окремі її елементи розташовані симетрично. Так центри нижніх кіл розташовані на відстані 40 мм від вертикальної допоміжної осьової лінії. Тому тією ж командою «Offset» зміщуємо вертикальну лінію симетрично праворуч і ліворуч на відстань 40 мм. Положення центрів нижніх кіл зафіксовано. Виконані допоміжні побудови зображені на рис. 16.4.

У зафіксованих центрах кіл будуємо кола за розмірами зазначеними у завданні, використовуючи піктограму  з панелі «Draw» вкладки «Home» (рис. 16.5). Побудови виконуємо у шарі з суцільною товстою лінією, використовуючи прив'язки.

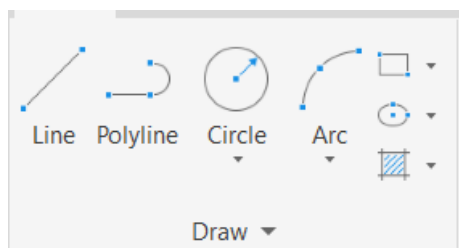


Рис. 16.5

У верхній частині кола мають розмір діаметром 70 мм, 110 мм, 120 мм. У нижній частині кола діаметрами 30 мм і 50 мм. Побудови дублюємо або копіюємо.

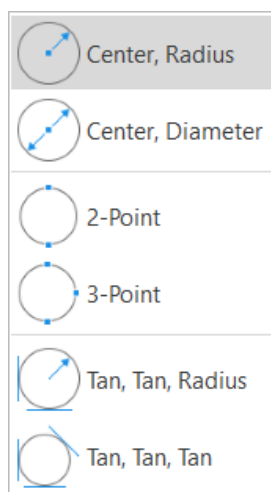
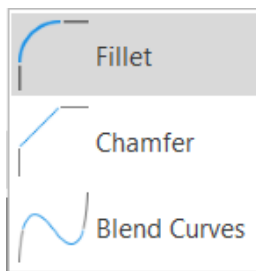


Рис. 16.6

Піктограми команд побудов кола панелі «Draw» вкладки «Home» зображено на рис. 16.6. Оскільки у завданні розміри задані діаметрами, то обираємо побудову кіл вказуючи центр та діаметр. Режим видимості суцільної товстої лінії можна тимчасово вимкнути за допомогою піктограми  в нижній частині екрана.



Для побудови спряжень використовуємо команду «Fillet» (рис. 16.7). Обираємо опцію «Radius» та вказуємо з клавіатури радіус спряження. Після чого вказуються об'єкти, між якими виконується спряження.

Рис. 16.7

Якщо спряження не будується в потрібному напрямку, застосовуємо комбінацію двох команд: будуємо коло необхідного радіуса дотичного до обох об'єктів («Tan, Tan, Radius») та підкоректуємо зображення командою Cut (рис. 16.8).

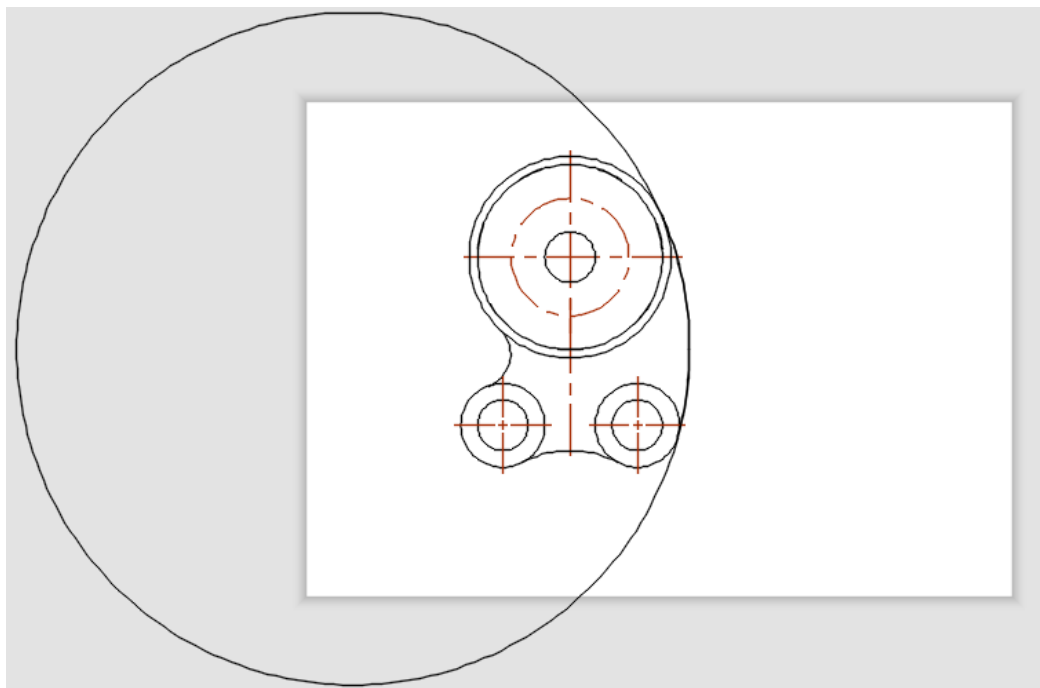
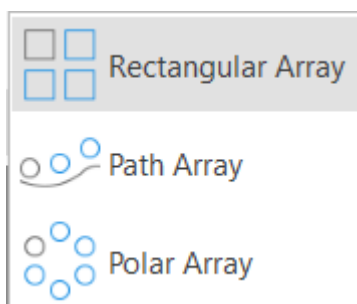


Рис. 16.8



Будуємо круговий масив кіл. Піктограмі створення масивів обираємо на панелі «Modify» вкладки «Home». Обираємо опцію створення кругового масиву «Polar Array» (рис.16.9). Попередньо центри малих кіл слід зафіксувати вертикальною осью лінії.

Рис. 16.9

На рис. 16.10 зображено етап підготовки для виконання двох кругових масивів. Один масив створюється з малого кола з його вертикальною віссю. Кількість елементів масиву – 7. Другий круговий масив створюється з верхнього більшого кола. Кількість елементів масиву також 7. Центи масивів співпадають з центром концентричних кіл.

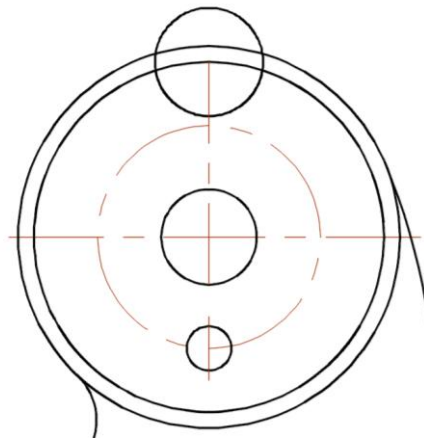


Рис. 16.10

Створюємо масиви. Застосовуємо опцію створення кругового масиву і обираємо два об'єкти – мале коло та його вісь. Завершуємо обрання об'єктів – Enter. Кількість елементів масиву вказуємо через відповідну опцію командного рядка або на панелі, яка відкривається при роботі з масивом рис. 16.11.

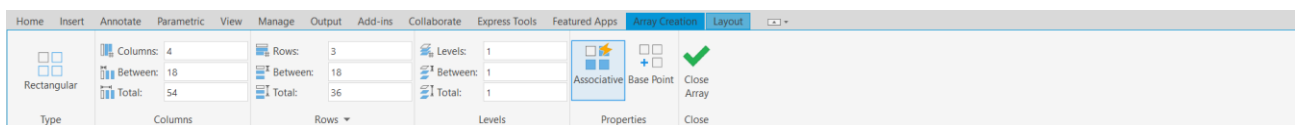


Рис. 16.11

Зверніть увагу, що при роботі з командою створення масиву може бути активним режим створення асоціативного масиву. У цьому випадку увесь масив сприймається як один об'єкт. Це може завадити виконанню деяких команд, наприклад, команди Cut. Тому вимикаємо асоціативність. Якщо асоціативний масив все ж створено, застосовуємо команду «Explode»  з меню «Modify». Побудова першого масиву завершена. Створюємо наступний – з кіл радіуса 17 мм. В результаті

побудови отримаємо круговий масив зображень на рис. 16.12. У відповідності до завдання коректуємо зображення підрізанням .

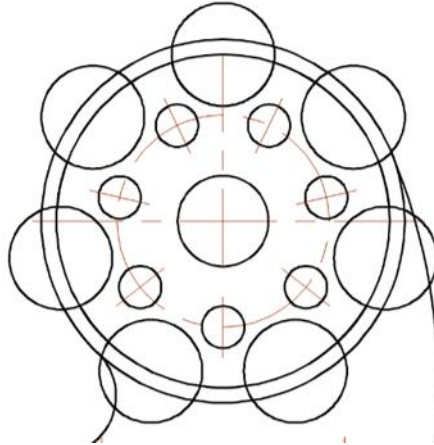


Рис. 16.12

Проставляємо маркери центрів, скориставшись відповідною командою  на панелі «Annotate»(рис. 16.13). Якщо замість маркерів використовується осьова лінія підкоректовуємо її командами Cut та Lengthen (Збільшення) на Delta «3» (виступ 3 мм за контур кола).

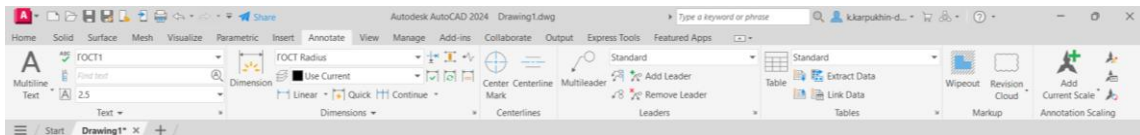
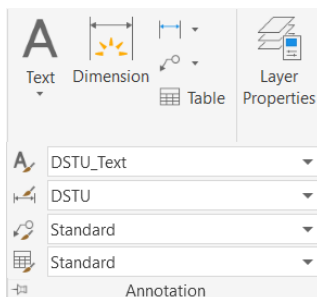


Рис. 16.13

16.3. Нанесення розмірів



Проставляємо розміри. Розміри наносяться із застосуванням прив'язок. Стили проставлення розмірів попередньо налаштовані в шаблоні (рис. 16.14). Обираємо потрібний стиль.

Рис. 16.14

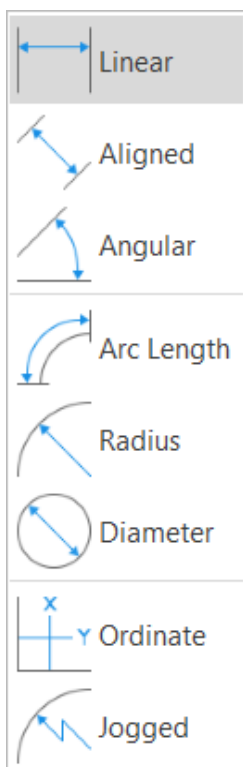


Рис. 16.15

Встановлюємо необхідний тип розміру з вкладки зображеної на рис. 16.15, яка відкривається стрілочкою біля піктограми . При нанесенні розмірів слід використовувати прив'язки. Відстань між центрами кіл проставляється від кінців осей центрових маркерів. При нанесенні лінійних розмірів спочатку вказують початкову і кінцеву точки розмірної лінії, наступним кліком задається її розташування і фіксується положення розмірного числа. При нанесенні розмірів діаметрів кіл зміною параметра системної змінної DIMATFIT (значення 2/3) можна змінювати орієнтацію стрілок розмірної лінії відносно контуру кола.

Знак діаметра і кількість отворів вказується наступним чином: на етапі проставлення розмірного числа обираємо опцію «Mtext».

У командному рядку вказуємо %%c та значення діаметра, наприклад %%c30 (комбінація %%c перетвориться на знак діаметра). У цьому ж рядку в англійській розкладці набираємо \X (після чого курсор переміститься під розмірну лінію), дописуємо, наприклад, 2 отв.

Заповнюємо основний напис. Використовуємо атрибуту шаблону.

Експортуємо файл у формат pdf. Використовуємо команду Export  вкладки «Output» з обранням pdf формату (рис. 16.16). Результат роботи зображено на рис. 16.17.

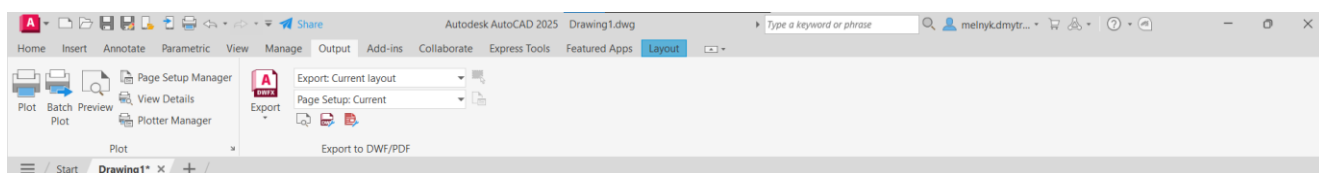


Рис. 16.16

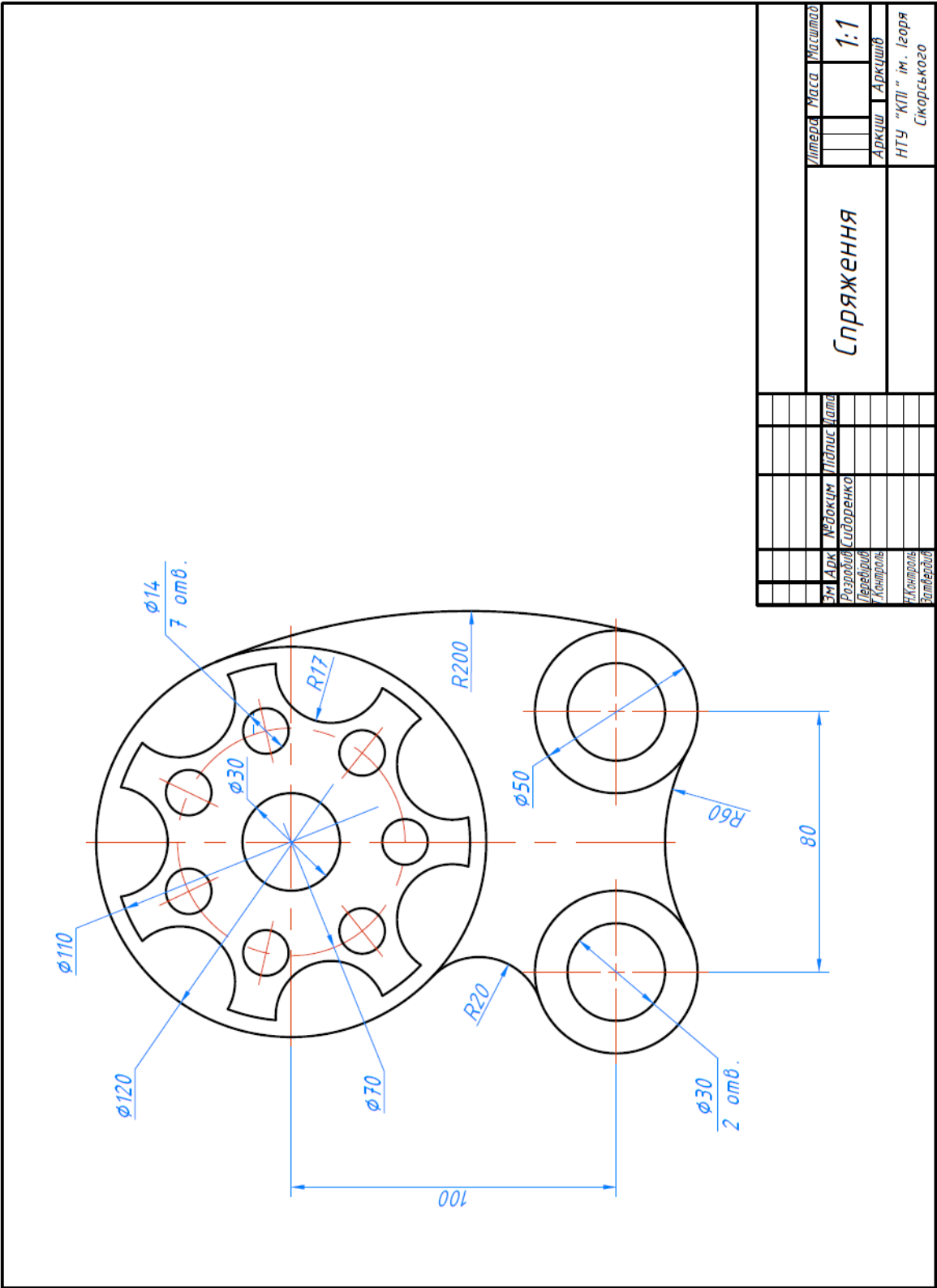


Рис. 16.17

Запитання для самоперевірки:

1. Чим відрізняються асоціативний і не асоціативний масиви?
2. Як зручніше задавати координати точок в абсолютній чи відносній системі координат?
3. Якою системною змінною задається положення стрілок при нанесенні діаметрів?
4. На скільки міліметрів осьові лінії повинні виступати за контур деталі?
5. Як близько від контура деталі можна наносити розміри?

РОЗДІЛ 17. ОСНОВИ 3D МОДЕЛЮВАННЯ. ПОБУДОВА ПРОЄКЦІЙНОГО КРЕСЛЕНИКА ДЕТАЛІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ РОЗРІЗІВ ОДНІЄЮ ПЛОЩИНОЮ.

17.1. Команди створення твердотільних 3D об'єктів

Для виконання роботи «Розрізи однією січною площиною» скористаємось побудовою 3D моделі заданої деталі. Розглянемо як виконуються 3D моделі засобами AutoCAD. Використовуємо попередньо створений шаблон.

Переходимо в режим 3D моделювання. Для цього у правому нижньому куті екрана піктограмою  змінюємо простір моделювання на «3D Modeling».

Вкладка «Home» в режимі «3D Modelling» має вигляд, як на рис. 17.1.

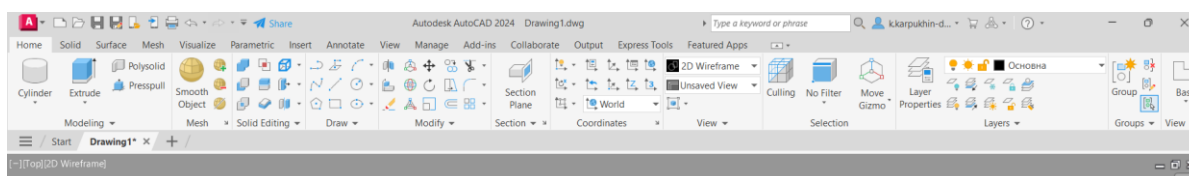


Рис. 17.1

Бачимо, що додалися команди створення та редагування 3D об'єктів, але залишились і панелі «Draw» та «Modify», які використовувались при побудові плоских зображень. В панелі «Modify» додалися піктограми переміщення, обертання та масштабування в 3D просторі моделі.

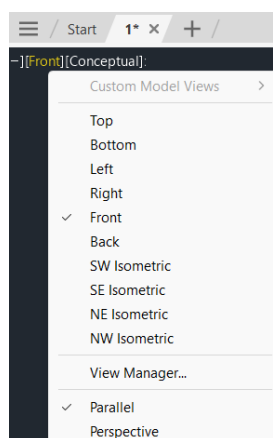


Рис. 17.2

В екранному меню в просторі моделі під назвою файлу (у квадратних дужках) обирається точка зору застосуванням одного з видів аксонометрії, щоб зображення стало більш наочним, та тип відображення моделі (каркасна модель, тонована тощо). На рис. 17.2 положення вигляду встановлено у [Front] (вигляд спереду). Тип відображення моделі встановлено у значення [Conceptual] (концептуальний).

При побудові моделі будемо користуватися стандартними примітивами для побудови твердотільних моделей та примітивами, які утворені за певним алгоритмом (переміщення, обертання тощо). Вони розташовані в панелі «Modelling» вкладки «Home» (рис. 17.3).

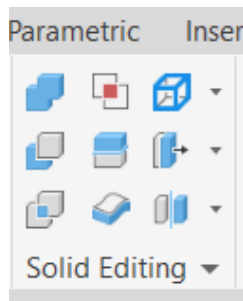


Рис. 17.3

Ще будемо використовувати булеві операції з панелі Solid Editing. Детальніше розглянемо їх трохи нижче.

Після виконання 3D моделі деталі в просторі моделі виконаємо її компоновку з видами та розрізами в просторі листа.

Необхідний примітив обирається при розкритті списку біля поточного примітиву (рис. 17.4). Переходимо до детальнішого розгляду побудови твердотільних об'єктів. Побудови 3D об'єктів відбуваються у діалозі у командному рядку при виконанні відповідної команди. При цьому першою пропонується опція у квадратних дужках, яка приймається за замовчуванням.

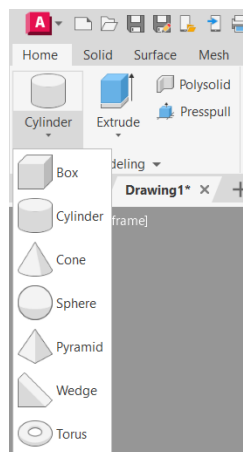


Рис. 17.4

Звертаємо увагу, що при побудові усіх 3D об'єктів їх основа розміщується в площині xOy, або в паралельних до неї площинах. Зміна розміру зображення на екрані відбувається за допомогою колесика мишки.

Для зміни точки зору на об'єкт обертанням можна скористатись командою «3DORBIT» з панелі навігації (рис. 17.5), яка активується на вкладці «View» (Вид).



Рис. 17.5

Піктограма «рука» «Pan» з панелі рис. 17.5 дозволяє переміщати зображення по екрану без зміни масштабу. Необхідно завершувати виконання команди переміщення «Pan» за допомогою Enter чи Esc, інакше блокується доступ до інших команд.

За допомогою піктограми «лупа» з цієї ж панелі можна регулювати відображення відповідних зон екрану.

Розглянемо базові примітиви для побудови твердотільних об'єктів.

- **Box**

(Ящик). Будується куб або паралелепіпед. Першим запитом пропонується ввести координати точки (або вказати її кліком на екрані), якою фіксується перший кут основи ящика. Це варіант за замовчуванням. Вказуємо другу точку прямокутника по напрямку його діагоналі відносно першої вказаної точки (команда за замовчуванням). Останній запит стосується фіксації висоти паралелепіпеда. Послідовність запитів може змінюватись в залежності від обраного алгоритму побудови.

- Примітив **Cilinder**

(Циліндр). Будується циліндр, основою якого є коло або еліпс. У відповідь на перший запит в командному рядку необхідно вказати радіус основи циліндра (за замовчуванням). Для цього вказується центр кола, що лежить в основі циліндра. Другим кліком фіксуємо величину радіуса. Ці ж значення можна вводити з клавіатури. Наступним запитом є визначення висоти циліндра. Послідовність запитів може змінюватись, якщо обираються інші запропоновані варіанти побудови, наприклад, за діаметром основи, або основа є дотичною до існуючих об'єктів, або основа еліптична тощо.

- Примітив **Conus**

(Конус). Будується конус, в основі якого може бути коло або еліпс. Запити у командному рядку щодо розмірів основи аналогічні до запитів при моделюванні циліндра. Другим запитом є висота (вказується кліком мишки або вводиться значення з клавіатури). Якщо конус зрізаний, задається радіус верхньої основи. Після чого вказується висота. Послідовність запитів може змінюватись в залежності від обрання опцій.

- Примітив **Sphera**

(Сфера). За умовчанням задається центр сфери та її радіус. Можливі інші варіанти побудови, наприклад, за діаметром, дотичністю до двох об'єктів та радіусу сфери, тощо. В залежності від обраного алгоритму побудови запити в командному рядку можуть змінюватись.

- Примітив **Piramida**

(Піраміда). Будується піраміда. В запитах за замовчуванням вказується центр основи, радіус кола, навколо якого буде описаний чотирикутник основи (можна змінити на вписаний). Останнім запитом задається висоти. Можна побудувати зрізану піраміду. Тоді послідовність запитів змінюється.

- Примітив  **Tor** (Тор). В запитах за замовчуванням вказується центр тора, радіус тора та радіус отвору всередині, якщо тор відкритий. Можна замість радіусів вказувати діаметри або задавати дотичність до двох інших об'єктів і радіус. Тоді, відповідно, послідовність запитів командного рядка буде змінена.

- Примітив  **Wedg** (Клин). Потребує дещо більшої уваги, оскільки він часто використовується у якості конструктивного елемента, який називається «ребро жорсткості». Положення клина залежить від орієнтування його елементів уздовж осей x , y , z . Послідовність побудови клина за замовчуванням наступна: основа клина задається двома точками на кінцях діагоналі прямокутника основи клина, що лежить в площині xOy (або в паралельній площині). Друга грань клина знаходиться в площині yOz (або в паралельній площині). Вказуємо її висоту. В процесі побудови можна вказувати центр, довжини ребер тощо. Можна обирати варіант побудови, коли клин будується на основі куба. Тоді його сторони зарівнюються і т.ін. У цьому випадку послідовність запитів в командному рядку змінюється.

Якщо побудова примітивів 3D моделювання виконується без прив'язок до існуючих об'єктів або без прямого вказання координати z , основи усіх таких примітивів будуть лежати в площині xOy , де $z = 0$. У сфери і тора цій площині будуть належати їх центри. При необхідності, для зміни висоти z можна використовувати прив'язки до інших об'єктів. Змінити z усіх об'єктів можна скориставшись командою «ELEVATION». Для цього у командному рядку слід задати значення висоти, наприклад, 150 мм. Тоді усі побудовані після виконання цієї команди примітиви будуть підняті на висоту $z = 150$ зі зберіганням паралельності основи площині xOy .

Рекомендується активно використовувати при побудові 3D моделей прив'язки, трекінг, фільтри для координат тощо.

Для розташування примітивів в іншому положенні використовується їх обертання або зміна системи координат користувача (див. нижче), де нова система координат визначає нове положення основи об'єкта, що моделюється.

17.2. Редагування 3D примітивів

Одним із зручних варіантів редагування 3D моделей є використання панелі швидких властивостей. Вона відкривається піктограмою  в правій нижній частині екрана (рис. 17.6).

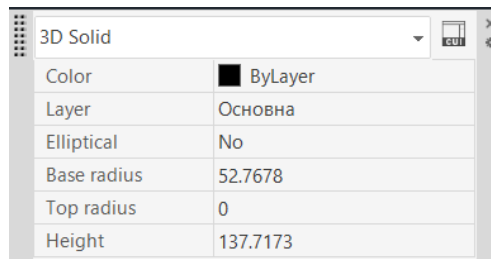


Рис. 17.6

В цій панелі відображаються габарити об'єкта, якщо він побудований на основі базових форм, шар та яким типом лінії створений. У цьому ж вікні можна виконувати зміну параметрів.

Більш детальна інформація про об'єкт включно з абсолютними координатами його положення відображається при використанні комбінації клавіш «Ctrl + 1» (рис. 17.7). При обранні об'єкта мишкою з'являються ручки («гріпси»).

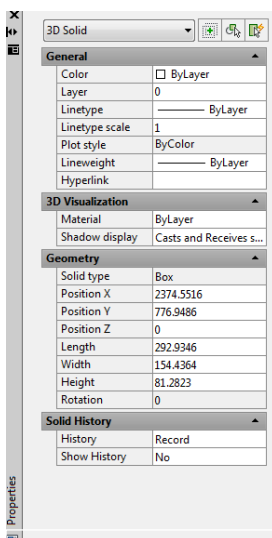


Рис. 17.7

Якщо кліком активувати таку ручку (рис. 17.8), вона змінює колір на червоний, а її переміщення в цей момент змінює розміри об'єкта. За допомогою центральної ручки в основі об'єкта переміщається увесь об'єкт. При обранні об'єкта мишкою на ньому з'являються координатні осі («гізмо переміщення»), що проходять через його геометричний центр. При обранні кількох об'єктів «гізмо переміщення» буде знаходитись в спільному геометричному центрі. При пересуванні мишки по цій системі координат осі змінюють колір. Пересування об'єкта можливе по тій осі, або в тій площині, яка в даний момент підсвічується жовтим.

Як тільки кліком мишки обрано напрямок, активується команда переміщення. Нове положення можна вказати мишкою, або з клавіатури, задаючи значення приращення.

В режимі «3D Modeling» залишаються доступними команди переміщення, обертання та масштабування, які використовувались при редагуванні плоских об'єктів, та з'являються команди 3D переміщення, 3D обертання та 3D масштабування (рис. 17.9).

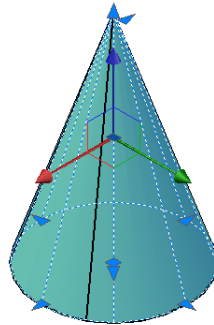


Рис. 17.8

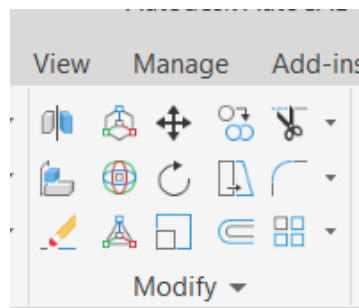


Рис. 17.8

Розглянемо можливості усіх цих команд в режимі «3D Modeling».

- **Переміщення.** Піктограма переміщення має вигляд . У відповідь на запити активованої команди слід обрати об'єкти, які будуть переміщені. Процес обрання завершують Enter. Після чого вказують базову точку переміщення на об'єкті та точку його нового положення. Переміщення відбувається в 3D просторі по висоті та в площинах паралельних до xOy . В процесі фіксації нової точки положення слід активно використовувати трекінг та прив'язки. Тоді зручно вказувати зміну положення об'єкта вводом значення прирощення з клавіатури або за допомогою прив'язки до існуючих об'єктів. Положення точки переміщення можна вказувати в абсолютних чи у відносних координатах уздовж осей Ox , Oy , Oz .

• **Обертання** При використанні команди  обертання відбувається навколо осі Oz. У відповідь на запити команди обираються об'єкти, задається базова точка, навколо якої буде відбуватися обертання, та фіксується кут, на який необхідно повернути.

• **Масштабування.**  При виконанні команди масштабування обирається об'єкт, задається базова точка та коефіцієнт масштабування. Значення коефіцієнта масштабування 1 – без зміни масштабу, більше 1 – масштаб збільшення, менше одиниці – масштаб зменшення. Тобто, якщо об'єкт необхідно зменшити, наприклад, вдвічі задаємо значення 0.5.

В залежності від обраних опцій запити можуть змінюватися. Так, наприклад, в процесі зміни положення можна створювати копії об'єкта тощо.

Загальним правилом при використанні команд **3D переміщення** , **3D обертання**  та **3D масштабування**  є те, що спочатку обираються об'єкти. Після обрання об'єктів з'являються відповідно до застосованої команди 3D осі (гізмо) для переміщення, обертання чи масштабування. Зафіксувати обрання напрямку зміни положення об'єкта слід кліком миші. Для масштабування зміна відбувається одразу по усім осям, достатньо обрати один напрямок. Для 3D переміщення можна пересуватися лише в одній площині або по одній з осей, які підсвічуються жовтим. Для 3D обертання поворот можна здійснити лише по одній з осей. При цьому слід з клавіатури або мишкою вказати значення переміщення, масштабування або кута. Якщо не завершити введення значення зміни положення, а в цей момент натиснути клавішу Enter, відбувається циклічна зміна наступної з команд 3D переміщення, 3D обертання чи 3D масштабування з переключенням на відповідне гізмо. Якщо обрання значення не завершено і натиснуто клавішу Esc, залишаємося в режимі поточної команди, але при цьому можна змінити напрямок переміщення на інший, підсвітивши його жовтим і зафіксувавши новий напрямок кліком мишки на відповідній осі чи у відповідній площині.

В залежності від обраних підкоманд запити можуть змінюватись, як і в режимі переміщення, обертання та масштабування у площині.

Вказавши відповідне гізмо  на панелі, яка показана рис. 17.10, можна встановити, який варіант буде першим з'являтися при обранні об'єктів або взагалі відмовитись від виведення відповідних осей. «Move Gizmo» означає що першим активується гізмо переносів. Крім роботи з об'єктом в цілому, можна працювати з його окремими складовими частинами. Крім режиму «No Filter» (Без фільтра), що якраз відповідає роботі з цілим об'єктом, можна обирати, наприклад, окремі вершини, грані, ребра для роботи з цими елементами моделі.

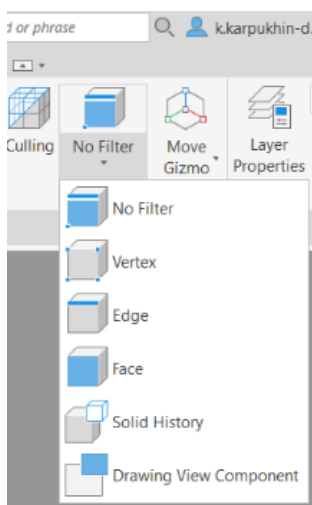


Рис. 17.10

При цьому слід обрати відповідну підкоманду (див. рис. 17.10). При такому обранні всі вказані вище команди будуть працювати з обраним елементом об'єкта. Якщо при переміщенні окремого елемента, наприклад, точки, не завершено введення значення переміщення і натиснута клавіша Enter, відбувається перехід з режиму розтягування, де зміщується окрема точка, в режим переносу, де в нову точку буде переміщено увесь об'єкт.

Для повноцінного відпрацювання команд призначених для роботи з об'єктом в цілому не забуваємо повернутися в режим «No Filter» (без фільтра).

В розділі моделювання крім базових примітивів твердотільних об'єктів є алгоритми, за якими можна створювати об'єкти більш складної форми. Розглянемо ці алгоритми (рис. 17.11).

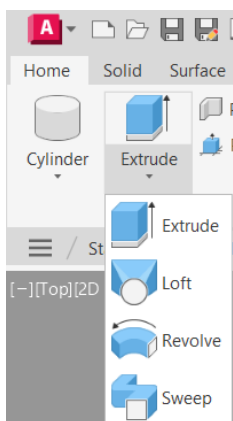


Рис. 17.11

- **Extrude**  (**Виштовхування**). Дозволяє створювати поверхню або 3D тіло. Виштовхується замкнений або розімкнений плоский або просторовий контур. Виштовхування може відбуватися за наперед створеною 3D (2D) траєкторією або у вказаному двома точками напрямку. Крім того, можливе звуження (розширення) на певний кут заданого контуру при виштовхуванні. Виштовхування відбувається на задану мишкою або з клавіатури висоту.

Якщо крива, що виштовхується, розімкнена, створюється поверхня. Якщо при побудові об'єкта виникають самоперетини, видається повідомлення про помилку. Якщо замкнений плоский контур було створено послідовністю відрізків, дуг тощо, слід перед виштовхуванням перетворити його в полілінію командою PEDIT або в регіон. В командному рядку підкомандою MObj змінюється тип об'єкта, що створюється (поверхня або тіло). За замовчуванням буде створено тіло.

- **Loft**  (**Лофт**). Дозволяє створювати поверхню або тіло з характерних перетинів, вказаних в почерговій послідовності. Якщо перетини не замкнені, буде створено поверхню. Якщо перетини замкнені, необхідно вказати спосіб побудови підкомандою MObj (поверхня або тіло). В якості перетинів не можна задавати області. Плоскі контури, створені окремими відрізками прямих та дугами слід перетворювати в полілінію командою PEDIT. Перетини можуть бути просторовими кривими. При неможливості створити тіло або поверхню за заданими перетинами (наприклад, при самоперетинах поверхні при побудові) видається відповідне попередження.

- **Revolve**  (**Обертання**). Створює об'єкти обертання шляхом обертання просторової або плоскої кривої навколо заданої осі. Якщо крива розімкнена, створюється поверхня. Якщо крива замкнена, в залежності від обраного режиму може бути створена поверхня або тіло. Можна обертати області. Обертання може виконуватись на заданий кут.

- **Sweep**  (**Зсув**). Дозволяє створювати поверхню або тіло шляхом переміщення просторової або плоскої кривої у просторі за наперед заданою траєкторією. Якщо крива розімкнена, створюється поверхня. Якщо крива замкнена, в залежності від обраного режиму створюється поверхня або тіло. Об'єкт зсуву автоматично вирівнюється по відношенню до траєкторії. Можна зсувати область. Поверхню або тіло не буде створено, якщо виникають самоперетини на об'єкті.

Вкладки «Solids (Тіло)», «Surface (Поверхня)», «Mesh» (Сітка) дозволяють більш детально працювати з відповідними об'єктами. Наприклад, можна керувати типом поверхні, можна створювати процедурні або NURBS поверхні.

Побудова моделей

Розглянемо послідовності побудов при виконанні завдань теми «Виконання розрізів однією площиною». Побудова проєкційного кресленика (компоновка) буде виконуватись з використанням 3D моделі. Для більш ґрунтовного ознайомлення з темою розглянемо два варіанти завдань. В процесі побудови будемо застосовувати систему координат користувача та булеві операції. Послідовність побудов при виконанні завдання обирається користувачем. При створенні 3D моделі можуть використовуватись як базові форми об'єктів, так і різні алгоритми побудов. Розглянуті нижче алгоритми є лише одним із можливих варіантів побудови.

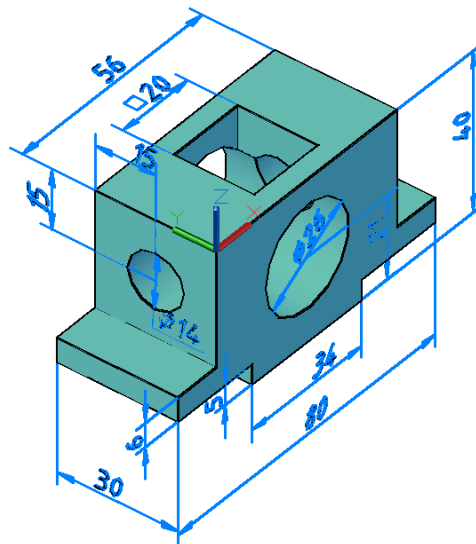


Рис. 17.12

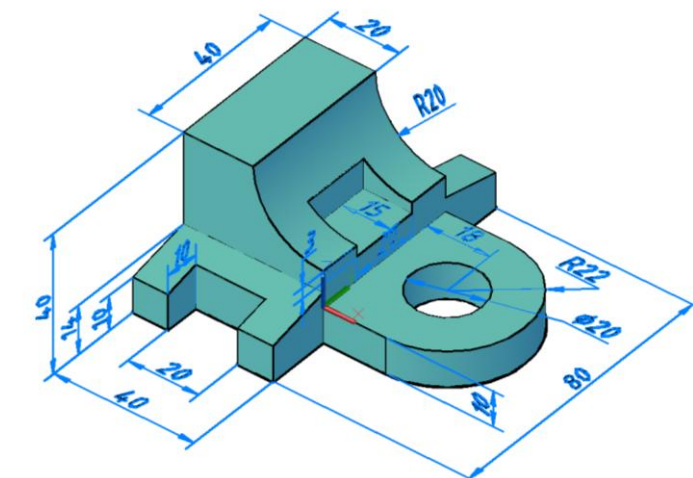


Рис. 17.13

Аналізуємо завдання (рис. 17.12 та рис. 17.13, варіанти завдань – [5]). Оптимальний варіант побудови 3D моделей застосування способу виштовхування. Створюємо плоский контур. Його положення може не співпадати з головним виглядом. Контур обирається за визначеним алгоритмом моделювання.

Розглянемо першу модель. В просторі моделі обираємо вигляд спереду і створюємо плоский контур (рис. 17.14) за розмірами вказаними на рис. 17.12. Прибираємо допоміжні побудови.

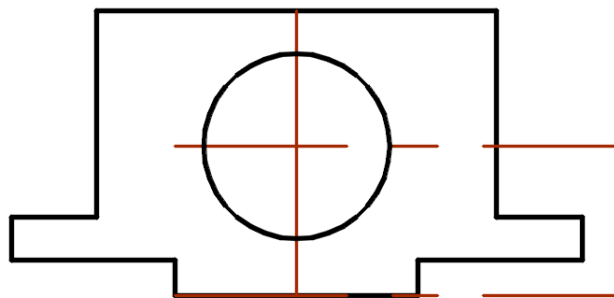


Рис. 17.14

На рис. 17.14 видно, що при виштовхуванні контуру всередині повинен залишатись циліндричний отвір. Контури виконані полілінією або такими базовими примітивами як, наприклад, коло, прямокутник тощо при виштовхуванні створюють твердотільну модель. Тобто з кола в середині плоского контуру при виштовхуванні утвориться циліндр. Плaskий контур моделі утворено відрізками ліній і дуг. Тому створюємо області.

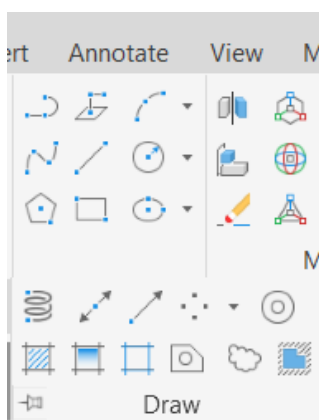


Рис. 17.15

За допомогою команди  підпанелі «Draw» панелі «Home» (рис. 17.15) відкриваємо вікно (рис. 17.16). Обираємо варіант створення контуру Region. Після чого вказуємо точку всередині контуру. В результаті чого будуть утворені кілька областей Region (окремо регіон по зовнішньому контуру та окремо регіон по колу).

Регіон кола накладається на регіон зовнішнього контуру.

Для їх відображення на екрані обираємо режим «Conceptual» (концептуальний) у лівій верхній частині екрана в просторі моделі (рис. 17.2).

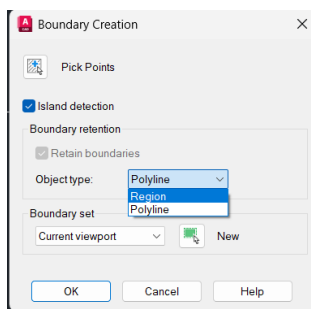


Рис. 17.16

Застосовуємо булеві операції. Використовуємо панель «Solid Editing» вкладки «Home». Булеві операції дозволяють працювати як з тілами, так і з областями. Віднімаємо з області створеної зовнішнім контуром область кола. Попередньо розглянемо послідовність виконання булевих операцій (рис. 17.17)

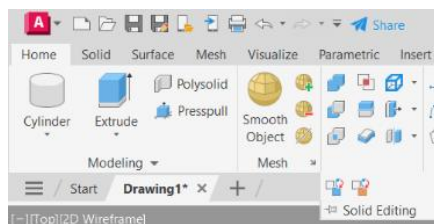


Рис. 17.17

17.3. Робота з булевими операціями

- 
Булева операція «об'єднати». На запити команди про обрання об'єктів слід обрати усі тіла (області), які будуть об'єднані в одне спільне тіло (область). Підтвердити завершення обрання (Enter) та виконати команду.
- 
Булева операція «відняти». На запит команди про обрання об'єктів слід вказати об'єкт (об'єкти) від якого буде виконуватись віднімання. Процес обрання необхідно завершити Enter. Після чого вказуються один або кілька об'єктів, які необхідно відняти. Завершуємо команду.
- 
Булева операція «перетин». На запит команди про обрання об'єктів послідовно вказуються об'єкти, що підлягають перетину. Процес обрання слід завершити Enter. Результатом виконання команди буде спільна частина усіх обраних об'єктів.

Виконуємо булеву операцію віднімання на створених областях.

Результат повинен бути таким як показано на рис. 17.18. Якщо є проблеми в обранні областей можна скористатися режимом  «Циклічне обрання», який активується в правій нижній частині екрана.

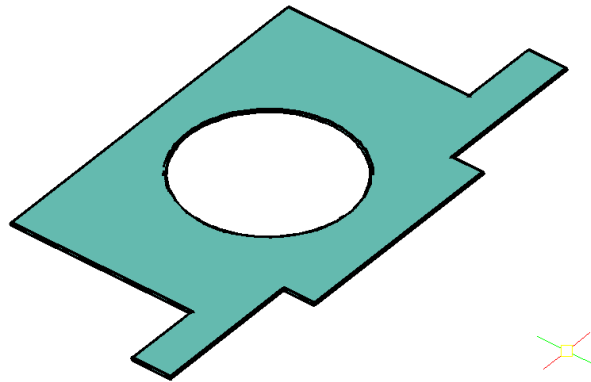


Рис. 17.18

Виконуємо операцію виштовхування. Обраємо один із видів аксонометрії для більшої наочності сприйняття моделі, яка створюється. Встановлюємо вид відображення моделі, наприклад, концептуальний. Висоту виштовхування задаємо «40», як вказано на рис. 17.19.

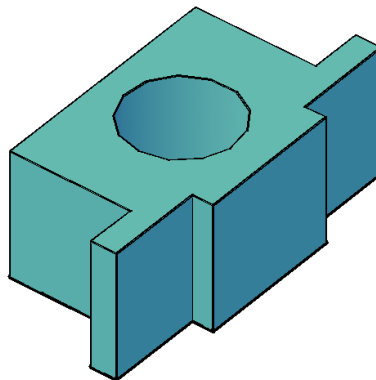
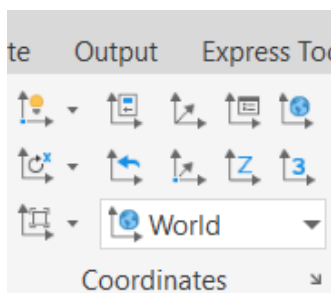


Рис. 17.19

Продовжуємо моделювання. На рисунку деталі завдання видно, що необхідно виконати ще два циліндричних наскрізних отвори та один призматичний.



Для вирішення цієї задачі скористуємось системою координат користувача, за допомогою якої можна задавати нові поточні системи координат (підпанель «Coordinates» панелі «Home»). Розглянемо послідовність застосування системи координат користувача.

Рис. 17.20

17.4. Система координат користувача

Встановлені в процесі роботи користувачем системи координат можна змінювати необхідну кількість разів. «Світова система» координат, яка використовувалась на початку роботи, залишається незмінною і до неї можна повернутись у будь-який момент. Ортогональні проекції (види спереду, зверху, зліва тощо) також сприймаються у локальній системі координат. При їх обранні система координат автоматично переставляється таким чином, що площина xOy співпадає з площиною екрана.

На рис. 17.20 показано частину піктографічного меню для встановлення системи координат користувача.

Є різні варіанти встановлення нової системи осей координат. У будь-якому випадку слід користуватися прив'язками та трекінгом для точного виконання побудов. Розглянемо кілька основних варіантів.

- Встановлення системи координат користувача **за допомогою трьох точок** . У відповідь на запити команди вказуємо точку початку нової системи координат. Другим кліком фіксуємо напрямок осі Ox . Третій клік фіксує напрямок осі Oy . Вісь Oz позиціонується автоматично.

- Встановлення системи координат користувача **за напрямком осі Oz** . Перший клік фіксує нове положення точки початку системи координат, другий клік задає новий напрямок осі Oz .

- Встановлення системи координат користувача **«Початок»** . Фіксується кліком нове положення точки початку системи координат. Напрямки осей залишаються без змін (паралельно переміщуються у нову точку).

- Повернення до попередньої системи координат користувача .
- Встановлення нової системи координат користувача шляхом обертання на заданий кут навколо однієї з обраних поточних осей (окремо Ox , Oy або Oz) .
- Суміщення нової площини xOy з площиною екрана (за встановленою користувачем точкою зору) . Крім того, у випадаючому піктографічному меню за допомогою пікторами можна  встановити нову систему координат по об'єкту.

За допомогою піктограми орієнтувати  систему координат користувача за однією з граней 3D об'єкта, завершуючи переміщення Enter.

- Повернення у світову систему координат або до системи координат ортогонального вигляду відбувається за допомогою піктограми .

Обираємо один із варіантів встановлення системи координат користувача, наприклад, за трьома точками. Для створення на бічній стороні 3D моделі циліндричного отвору спочатку встановлюємо нову систему координат користувача (рис. 17.21). Будуємо циліндр діаметром «14». Користуючись трекінгом, вказуємо положення центра кола радіусом «7». Висоту циліндра можна задати розміром більшим за габарит деталі, щоб циліндр пройшов наскрізь.

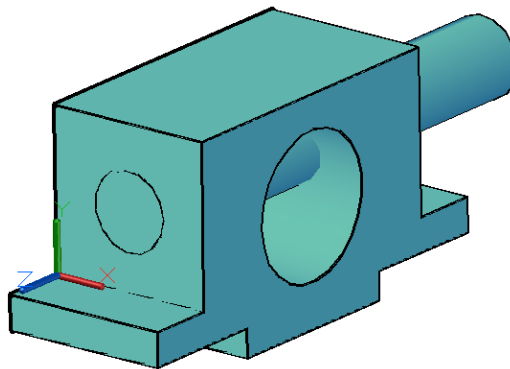


Рис. 17.21

Виконуємо булеву операцію віднімання. Встановлюємо систему координат користувача у нове положення та виконуємо призматичний отвір (рис. 17.22).

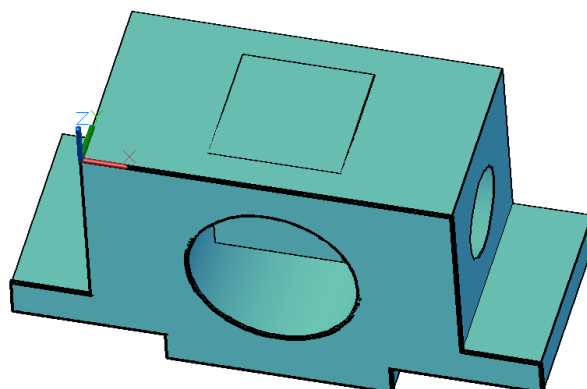


Рис. 17.22

Для фіксації положення призматичного отвору на верхній грані 3D моделі, як варіант, можна виконати додаткові побудови. Висота призми задається трекінгом до осової лінії більшого циліндричного отвору. Виконуємо булеву операцію віднімання (рис. 17.23).

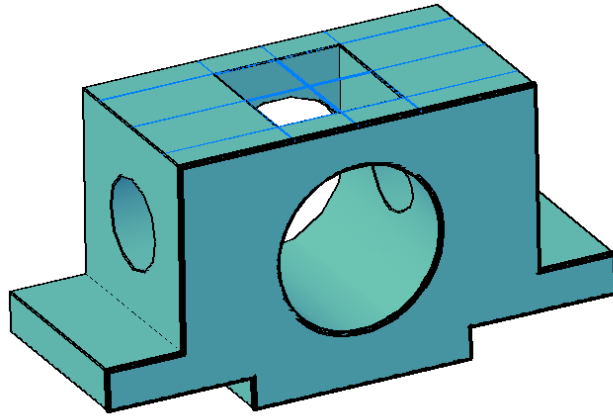


Рис. 17.23

Побудову моделі виконано.

Обираємо вигляд зверху при встановленій світовій системі координат. Він має вигляд, як на рис. 17.24.

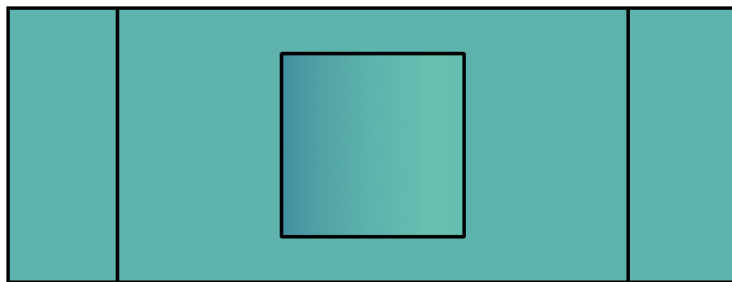


Рис. 17.24

Якщо при побудові моделі положення плаского контуру, що виштовхувався, не співпадало з її головним видом, отриманий вид не буде очікуваним видом зверху. Модель повернута. Можна скоректувати положення моделі в просторі листа. Для початківців рекомендується повернути модель у просторі моделі. Обертання слід виконувати навколо локальної осі Oz за допомогою команди «Обертання»

при включеному режимі «Ortho Mode», обираючи потрібний ортогональний вигляд. Режим «Ortho Mode» слід увімкнути при кратності кута повороту 90^0 . Якщо кут обертання вказано довільним, то модель досить складно повернути у початкове положення.

Розглянемо побудову **другої моделі**. Після аналізу завдання обираємо для побудови плоского контуру вигляд зверху як найбільш зручний варіант для виштовхування.

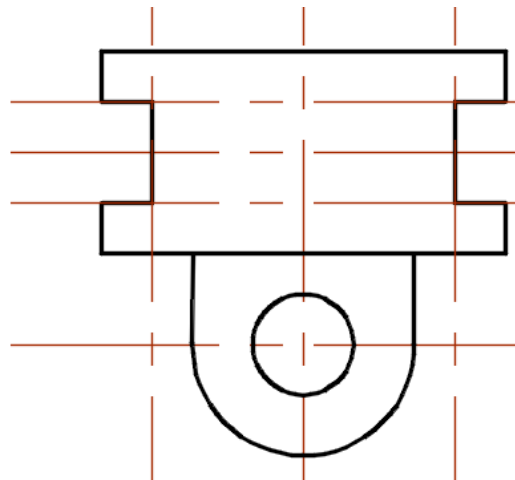


Рис. 17.25

Створюємо плоский контур за розмірами вказаними у завданні (рис. 17.25). Прибираємо додаткові побудови, створюємо області, виконуємо булеві операції. В результаті утворилося дві області різної форми, одна з отвором, одна без (рис. 17.26).

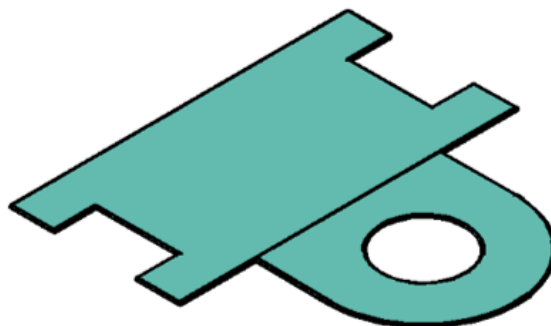


Рис. 17.26

Проводимо виштовхування обох областей на висоту «10». У відповідності до завдання висота середньої частини одного з утворених об'єктів повинна бути «14».

Використовуємо команду  «Imprint» (Клеймити), яка знаходиться в панелі «Solid Editing» вкладки «Home». У результаті чого на поверхні тіла будуть створені додаткові ребра, які можна буде змістити вгору на відносну висоту «4». Використовуємо трекінг та прив'язки і будуємо на поверхні об'єкта прямокутник, сторони якого повинні утворити нові ребра. Наступним кроком використовуємо команду  «Клеймити». У відповідь на запити команди вказуємо на 3D модель і обираємо прямокутник, який використовується в якості клейма. Відповідь на запит залишати чи видаляти вихідний прямокутник у даному випадку може бути будь-якою.

Наступним кроком обираємо підоб'єкт. Змінюємо «No Filter» (Без фільтра) на «Edge» (Краївку) з панелі «Selection» вкладки «Home». Обираємо обидві краївки за допомогою «гізмо переміщення». Вказуємо напрямок зміщення уздовж осі Oz. Виконуємо переміщення вгору та задаємо прирощення «4» з клавіатури (рис. 17.27).

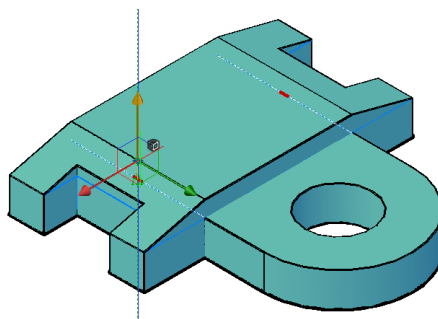


Рис. 17.27

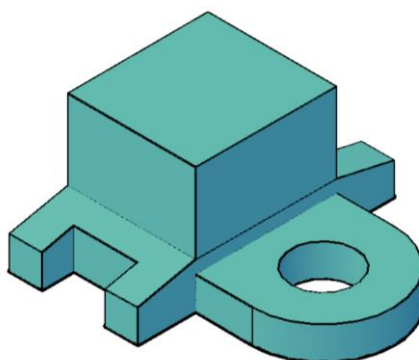


Рис. 17.28

Будуємо верхню частину деталі. Обираємо на панелі «Selection» варіант «Face» (грань) та використовуємо команду виштовхування грані «Extrude Faces»  (Виштовхнути грань) панелі «Solid Editing» вкладки «Home». На запит команди вказуємо висоту «26» (рис. 17.28). Траєкторію переміщення не вказуємо, кут звужування не задаємо. Завершуємо побудови застосуванням команди Enter. Повертаємось в панелі «Selection» в значення «No Filter» (Без фільтра).

Змінюємо систему координат користувача так, щоб основа циліндра була розташована як на рис. 17.29. Виконуємо побудови. Вказуємо прив'язками центр циліндра, радіус, досить велику висоту та виконуємо булеву операцію віднімання.

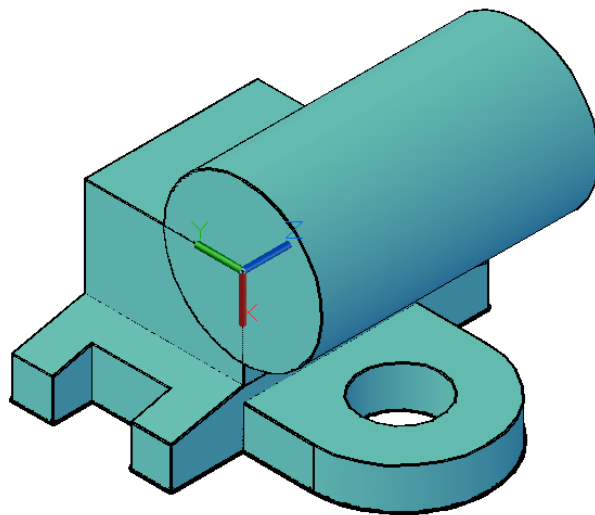


Рис. 17.29

Змінюємо систему координат користувача на світову. Використовуємо трекінг або виконуємо допоміжні побудови для фіксації положення паралелепіпеда (Box) для виконання призматичного паза. Будуємо паралелепіпед за розмірами вказаними у завданні. Виконуємо булеву операцію віднімання. Отримуємо паз.

Завершуємо побудову булевою операцією «Об'єднати» для об'єднання двох окремих частин моделі. Побудова 3D моделі деталі завершена (рис. 17.30).

Обираємо вигляд зверху. Зображення повинно виглядати як на рис. 17.31. При необхідності повертаємо деталь у просторі моделі з урахуванням рекомендацій даних для побудови вигляду зверху першої моделі.

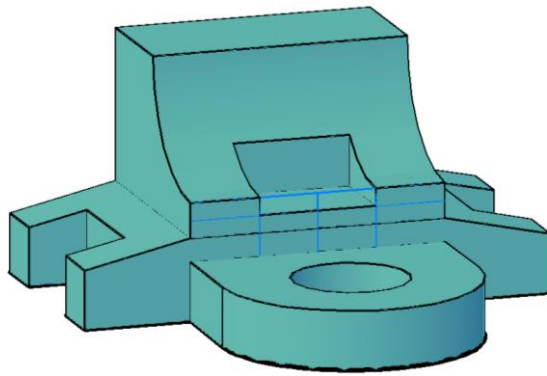


Рис. 17.30

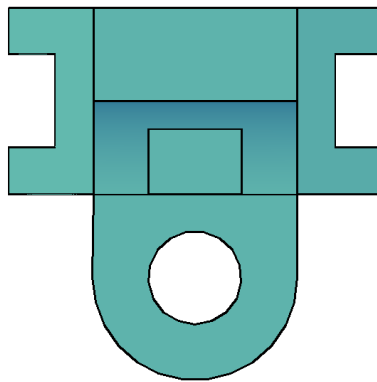


Рис. 17.31

17.5. Компонівка кресленика

Виконання роботи «Розрізи однією площиною» можна виконувати і без 3D моделі одразу у просторі листа. У цьому випадку усі побудови необхідно буде виконувати за допомогою простих примітивів. Враховуючи те, що у сучасному виробництві та електронній документації, що його супроводить, перевага віддається застосуванню 3D моделей, у цьому курсі пропонується автоматизоване виконання компоновки кресленика деталі засобами відповідних команд AutoCAD.

Розглянемо етапи компоновки.

1. Обираємо головний вид (спереду) для конкретної деталі. Цей вид повинен містити найбільш повну інформації про об'єкт. Головний вид може не співпадати з контуром обраним для виштовхування при моделюванні. З цих міркувань для попередньо побудованих 3D моделей головний вид обираємо як на рис. 17.32. За обраним видом спереду автоматично визначаються інші види (зліва, зверху тощо).

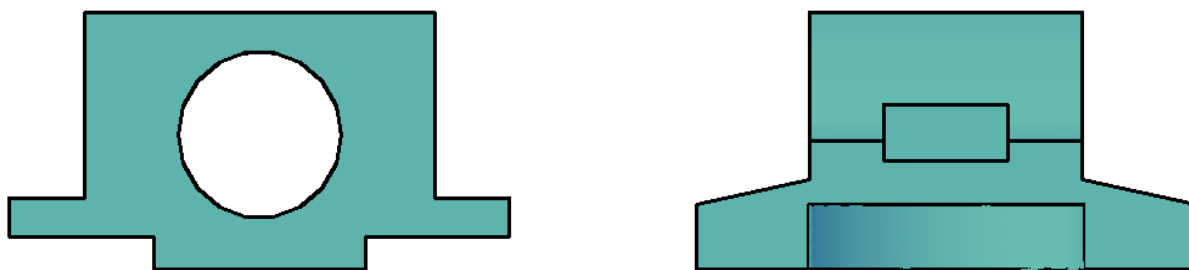


Рис. 17.32

2. Аналізуємо як повинні проходити січні площини для виконання розрізів. Пам'ятаємо, що розрізи виконують для розкриття внутрішньої будови деталі. Тобто січні площини повинні проходити по внутрішнім порожнинам.

- Деталь 1. Має фронтальну і горизонтальну площини симетрії (рис. 17.33). Закритих отворів, що не розкривалися б при виконанні розрізу січними площинами, що співпадають зі вказаними площинами симетрії немає. Тому виконуємо два розрізи, що суміщені з фронтальною і профільною площинами проекцій. Січні площини цих розрізів співпадають з відповідними площинами симетрії деталі. На горизонтальній площині проекцій розріз виконуємо січною площиною, що співпадає з горизонтальною віссю симетрії циліндричного отвору. На усіх трьох проекціях зображення видів і розрізів симетричні. Тому використовуємо рекомендації стандарту про застосування спрощень на кресленнику і суміщаємо зображення вигляду з розрізом (рис. 17.53). На горизонтальній площині проекцій при суміщенні розріз може бути розміщений як праворуч вигляду, так і знизу (рис. 17.53, рис. 17.56).

Ті розрізи, що виконувались січними площинами, які співпадали з площиною симетрії деталі, за рекомендаціями стандарту не позначають. Це розрізи виконані на фронтальній і профільній площинах проекцій. Розріз на горизонтальній площині проекцій виконаний січною площиною, що не співпадає з площиною симетрії деталі, тому позначається (рис. 17.57).

- Деталь 2. Має два глухих вертикальних циліндричних отвори і один наскрізний. Наскрізний отвір може бути розкритий при виконанні розрізу січною площиною, що співпадає з площиною симетрії деталі паралельною до профільної площини проекцій. . Оскільки зображення цього розрізу не симетричне виконуємо

повний розріз (рис. 17.34). Два глухих отвори однакові і на головному виді розташовані симетрично відносно вертикальної осі симетрії. Тому досить показати форму одного з них місцевим розрізом на головному виді. На виді зверху виконувати розріз немає потреби оскільки у цій деталі немає пазів чи циліндричних отворів ребра чи осі яких розташовані паралельно до горизонтальної площини проекцій. Розріз розміщений на профільній площині проекцій виконаний січною площиною, що співпала з площиною симетрії деталі, тому не позначається.

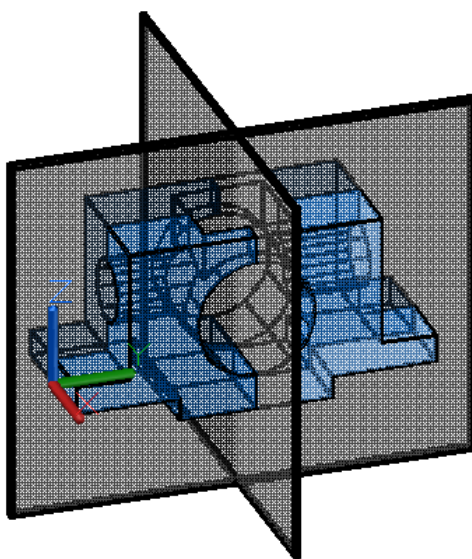


Рис. 17.33

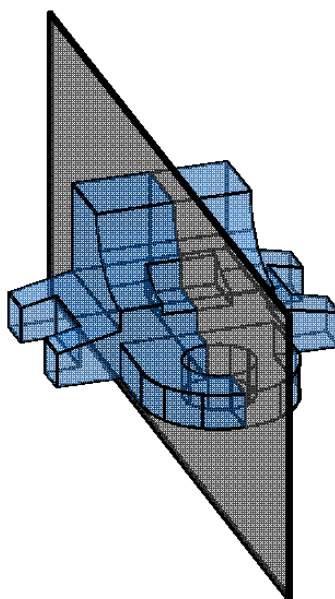


Рис. 17.34

3. Переходимо до виконання компоновки засобами AutoCAD:

- Активуємо лист (A3), на якому буде виконуватись компоновка. Повертаємось в простір моделі.
- Обираємо команду Base>From Model Space (Вид-Базовий- з простору моделі) (рис. 17.35) з панелі «Home». На запит команди обираємо 3D модель і завершуємо обрання командою Enter (рис. 17.36).

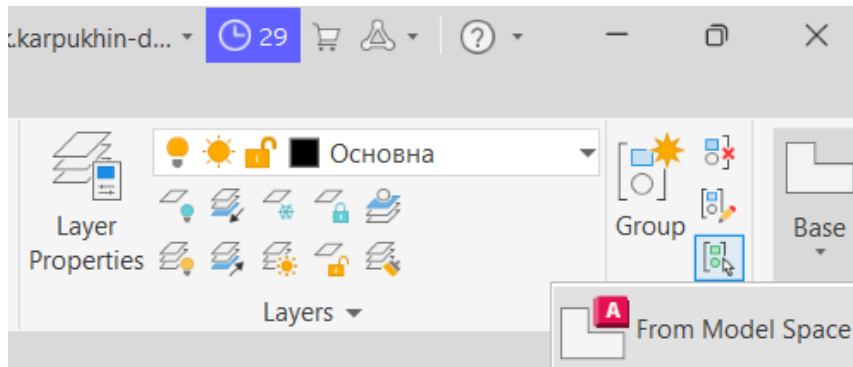


Рис. 17.35

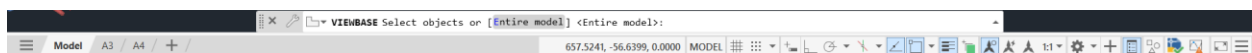


Рис. 17.36

На запит про обрання формату для компоновки натискаємо Enter, як підтвердження уже обраного по замовчуванню формату (A3) в просторі листа (рис. 17.37).

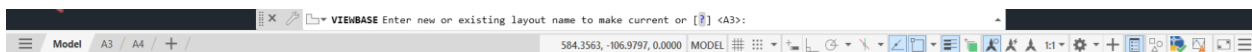


Рис. 17.37

Потрапляємо на вкладку «Drawing View Creation» (Створення виду креслення) (рис. 17.38).

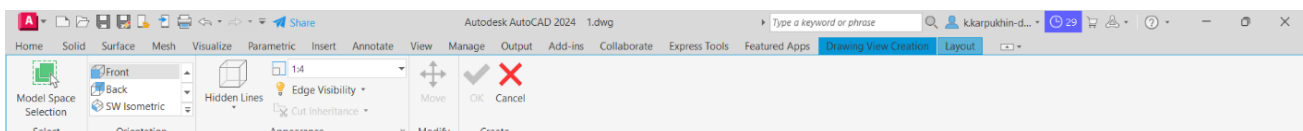


Рис. 17.38

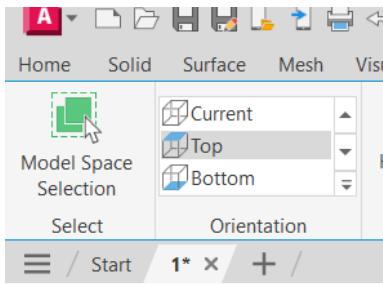


Рис. 17.39

У полі «Orientation» (орієнтація) цієї панелі необхідно обрати потрібний вид. Обираємо вид зверху, оскільки подальшу компоновку зручніше виконувати починаючи з виду зверху. Тому обираємо «Top» (вид зверху) (рис. 17.39).

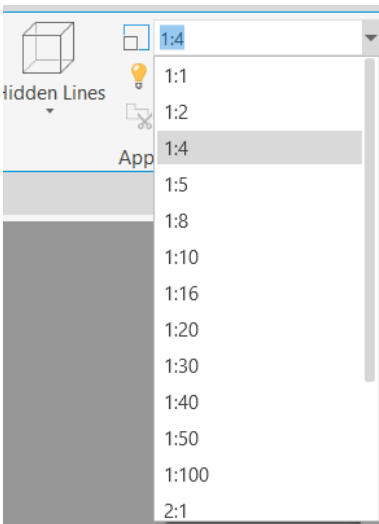


Рис. 17.40

На панелі «Appearance» обираємо масштаб (рис. 17.40). Незалежно від обраного масштабу розміри, що будуть наноситись на зображеннях, повинні відповідати натуральній величині. Тобто вносити зміни в розмірні стилі необхідності немає.

Встановлюємо відображення лише видимих ліній (рис. 17.41).

- Позиціонуємо положення виду зверху на форматі та завершуємо виконання команди (без продовження побудови наступних видів, оскільки потрібно буде виконувати розрізи).

- Переходимо на вкладку «Layout» (рис. 17.42).

Розглянемо на цій вкладці варіанти побудови різних варіантів розрізів, які будуть використані у даній роботі.

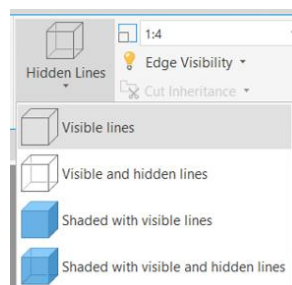


Рис. 17.41

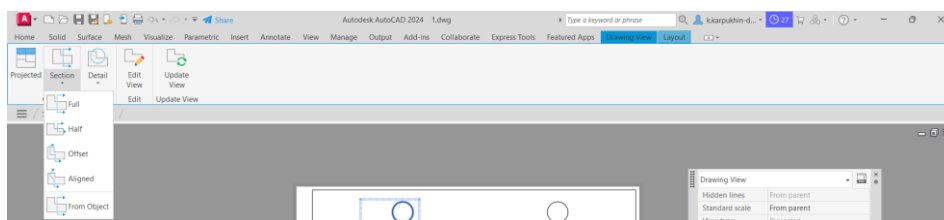


Рис. 17.42



✓ **Повний розріз.** На запити команди першим кліком вказуємо вид, за допомогою якого буде будуватися розріз. Наступними двома кліками з використанням прив'язок вказуємо положення січної площини. Останнім кліком вказуємо сторону та місце положення розрізу, який буде побудовано в проєкційному зв'язку з обраним видом.



✓ **Половинний розріз.** Такий тип розрізу використовується, коли необхідно сумістити вид з розрізом. Першим кліком вказуємо вид, за допомогою якого будуть відбуватися побудови. Наступні три кліки фіксують точки положення січної площини у тій частині виду, де буде виконано половину симетричного зображення розрізу, який буде суміщено з видом (технічно умовно вирізається четвертина деталі). Точки обираються з використанням прив'язок та трекінга. Наступним кліком вказується напрямок та місце положення розрізу, який буде побудовано у проєкційному зв'язку. Тому точки, що задають положення січної площини, обирають таким чином, щоб частини деталі розташовані за січною площиною у напрямку проєкціювання розрізу були відображені на його зображенні. Лінію ребра кута вирізу, яка відображається на зображенні розрізу, слід прибрати (затонувати) і замінити осьовою лінією.

- Штриховка на розрізах виконується автоматично. Її напрямок та стиль можна змінити у відповідності до вимог стандарту за допомогою вікна швидких властивостей (рис. 17.43) або виконати подвійний клік на полі штриховки, що відкриє панель її редагування (рис. 17.44).

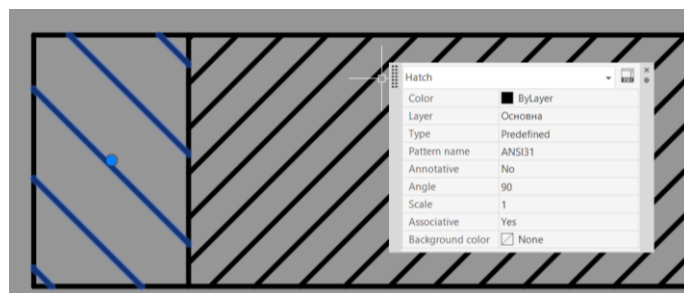


Рис. 17.43

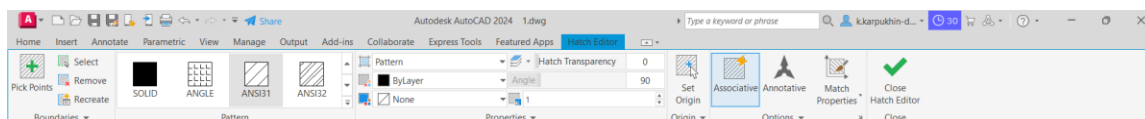


Рис. 17.44

Нагадуємо, що в межах одного кресленика штриховка деталі у розрізах повинна бути однаковою. У разі потреби штрихування можна вимкнути (рис. 17.45).

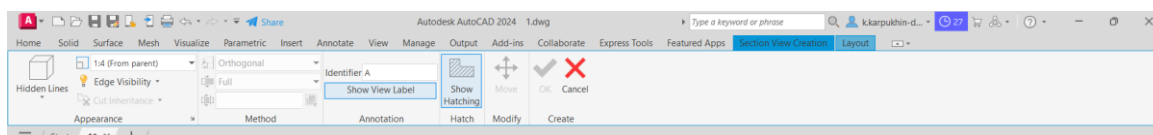


Рис. 17.45

Іноколи виникає потреба створений розріз перемістити. Наприклад, коли розріз на виді зліва виконується за допомогою виду зверху. Тоді отримане зображення слід повернути на 90^0 і перенести на місце виду зліва у проєкційному зв'язку з головним видом. У цьому випадку зручно скористатися панеллю швидких властивостей. Слід зауважити, що дочірні зображення залишаються пов'язаними з батьківським видом, за допомогою якого вони були створені. Тому видалення батьківського виду приведе до зникнення усіх похідних видів. При необхідності «батьківський вид» краще змістити за межі формату кресленика. При конвертації файлу в pdf формат це зображення на друк не виводиться.

Оскільки виконання розрізу є умовністю і 3D модель залишається цілою, то у якості «батьківського виду» можна обирати вже побудований розріз.

Позначення розрізів виконані AutoCAD не відповідають чинним стандартам, тому їх можна прибрати вимкнувши шар з назвою MD_Annotation, на якому вони розташовані. Цей шар та шари з видимими лініями, лініями невидимих контурів та штриховкою створюються автоматично при побудові видів та розрізів.

- Місцеві розрізи виконуються вручну з використанням графічних примітивів.

4. Останній етап – оформлення кресленика (нанесення позначень, розмірів тощо).

Скористаємось розглянутим алгоритмом створення проєкційного кресленика деталі для попередньо побудованих 3D моделей двох заданих деталей.

Деталь1.

- Застосовуємо команду Base>From Model Space (Вид – Базовий – З простору моделі). Будуємо в просторі листа вигляд зверху. Обираємо масштаб 1:2. Вмикаємо видимі лінії (рис. 17.46).

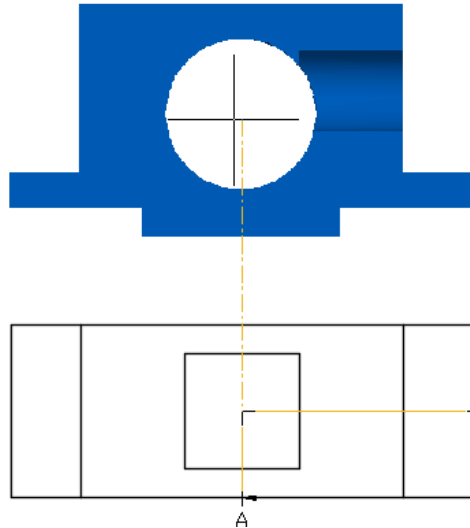


Рис. 17.46

- Використовуємо вид зверху і будуємо головний вид, суміщаючи вид з розрізом (рис. 17.47).

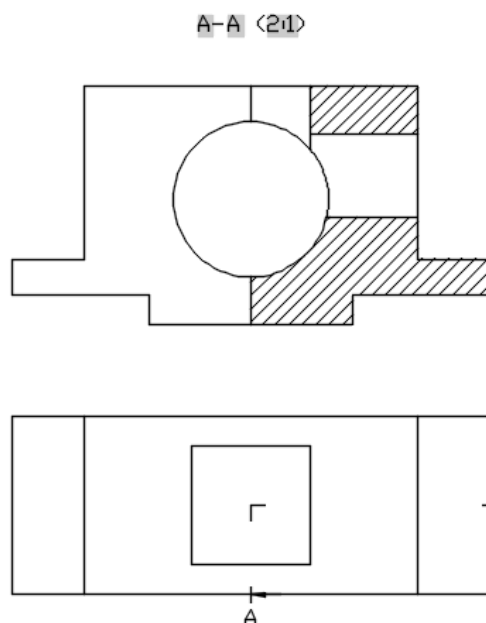


Рис. 17.47

- Використовуємо вид зверху і будуємо вид зліва, суміщаючи вид з розрізом (рис. 17.48). За допомогою команд вікна швидких властивостей обертаємо отримане зображення та поміщаємо його у проєкційному зв'язку з головним видом (рис. 17.49, рис. 17.50).

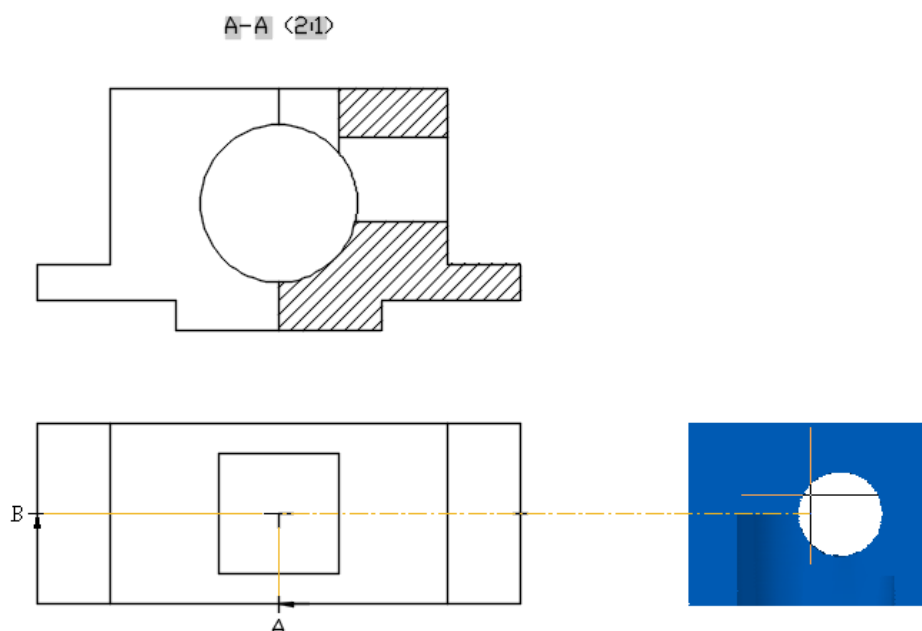


Рис. 17.48

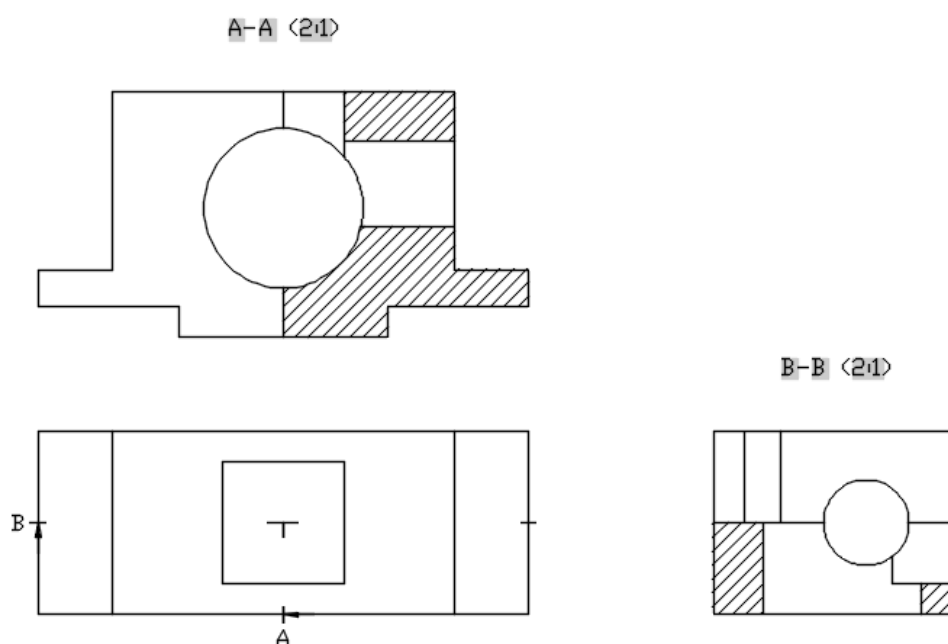


Рис. 17.49

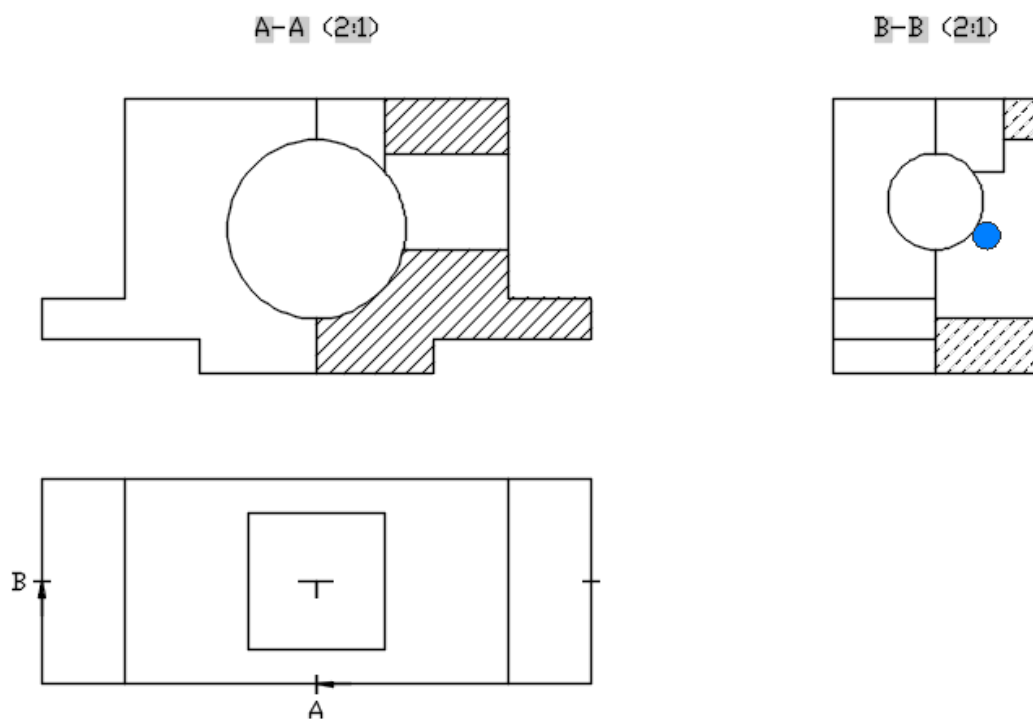


Рис. 17.50

- Переносимо вид зверху за межі листа (рис. 17.51).

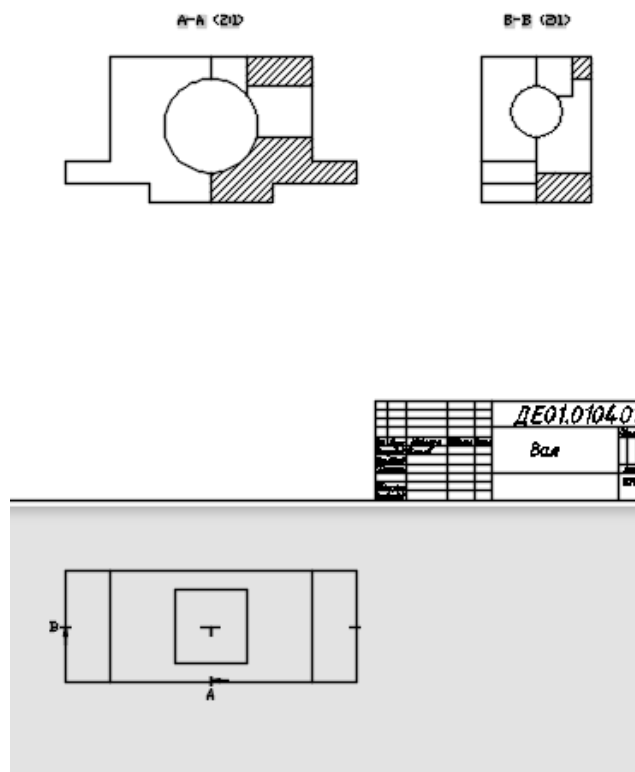


Рис. 17.51

- Використовуємо головний вид і виконуємо вид зверху у суміщенні з розрізом (рис. 17.52, рис. 17.53). Січну площину суміщаємо з положенням горизонтальної осі більшого циліндричного отвору.

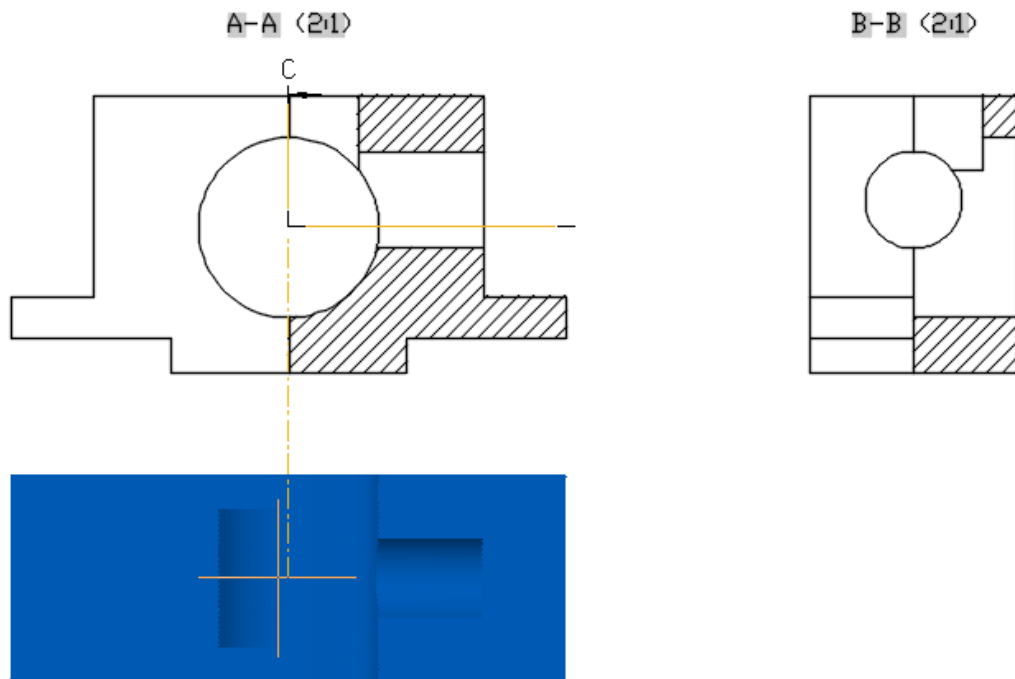


Рис. 17.52

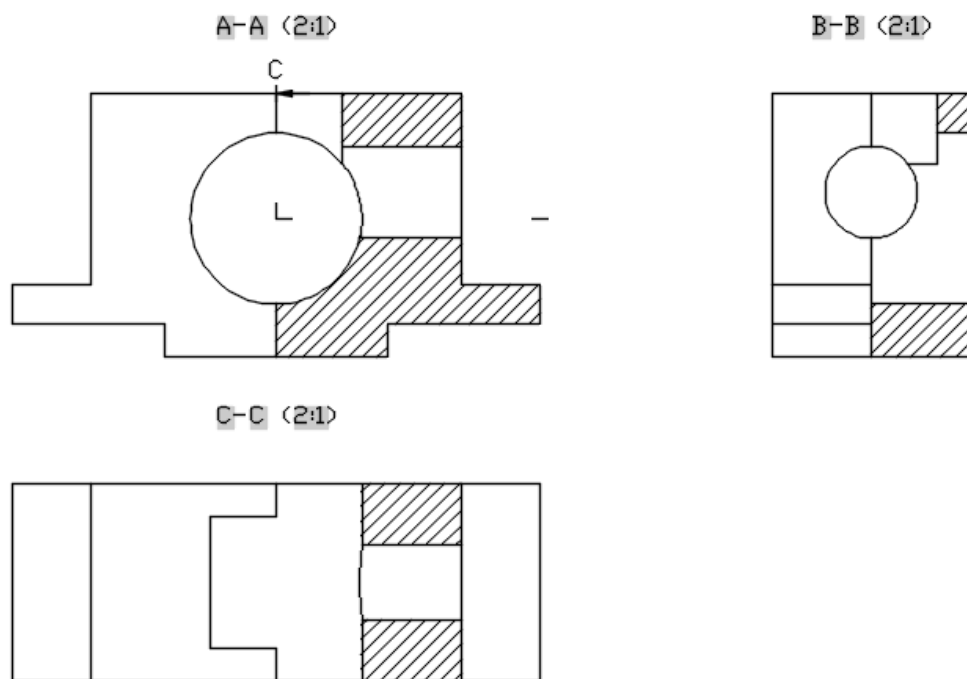


Рис. 17.53

371

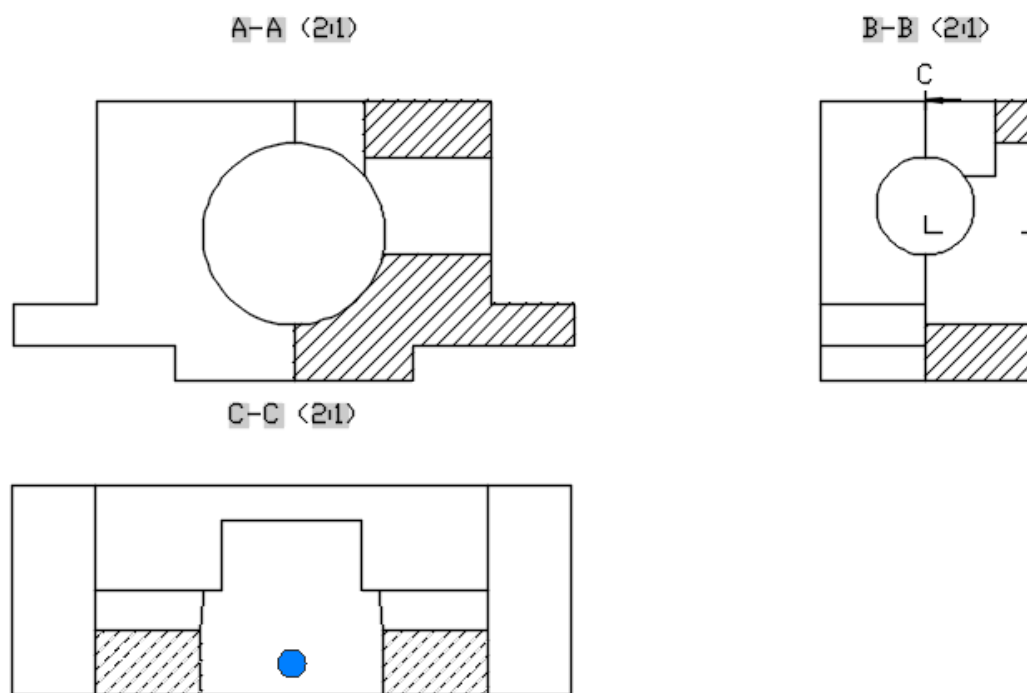


Рис. 17.56

- Оформлюємо кресленик (вимикаємо шар з анотаціями, позначаємо розріз на горизонтальній площині проєкцій, креслимо осі, наносимо розміри (рис. 17.57).

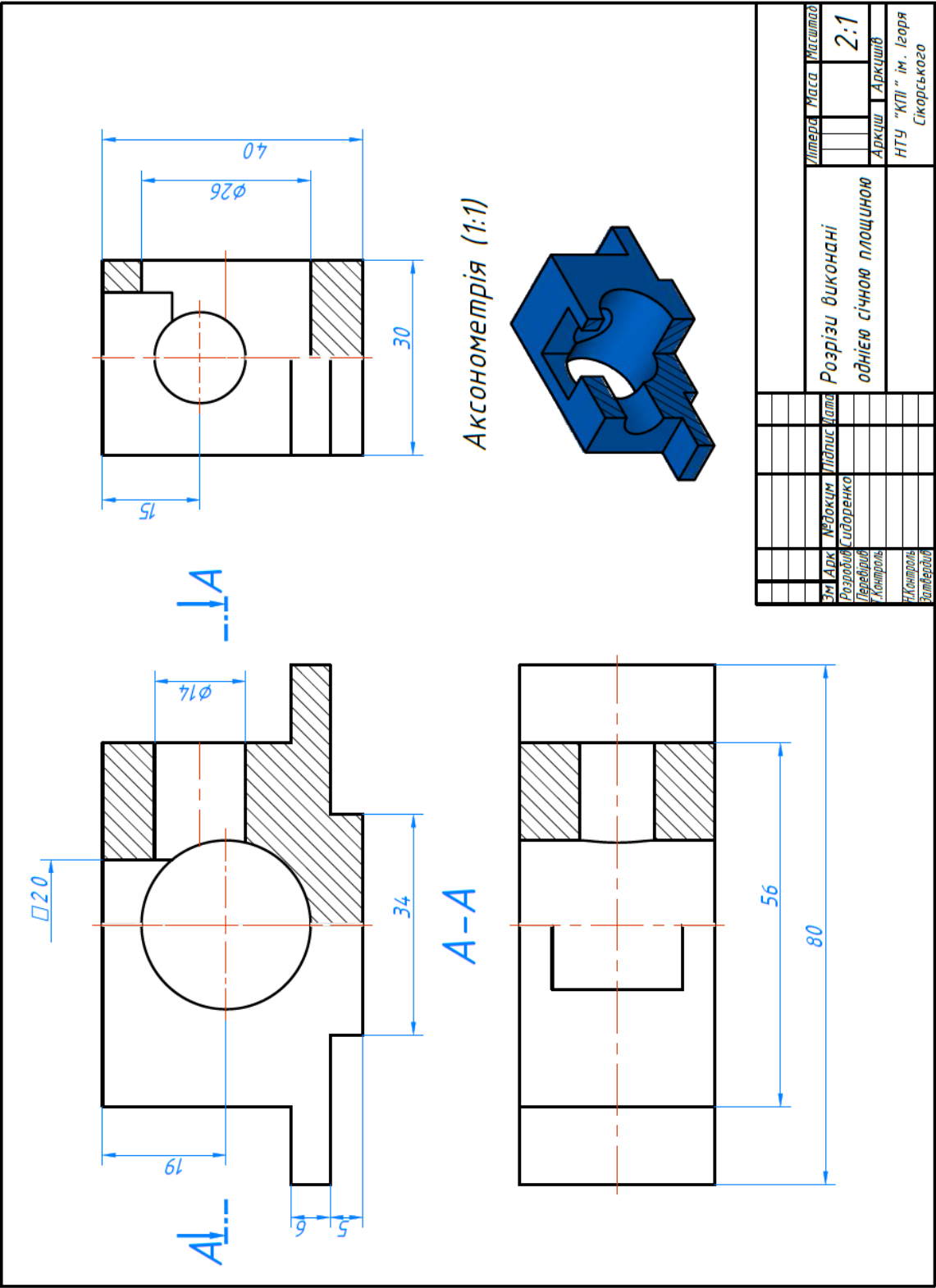


Рис. 17.57

Деталь2.

- Застосовуємо команду Base>From Model Space (Вид – Базовий – 3 простору моделі). Будуємо в просторі листа вид зверху. Обираємо масштаб 1:2. Вмикаємо видимі лінії.

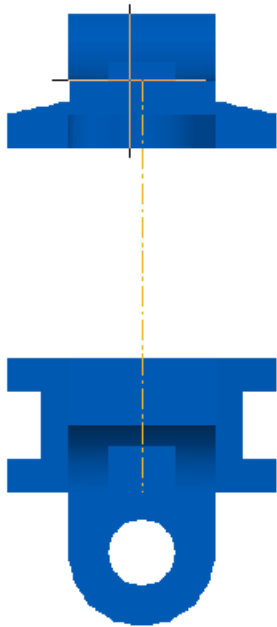


Рис. 17.58

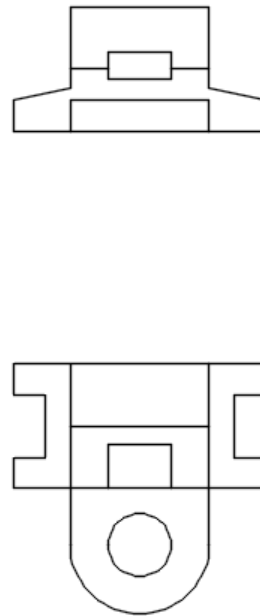


Рис. 17.59

- Використовуємо вид зверху і будуємо головний вид (рис. 17.58, рис. 17.59).

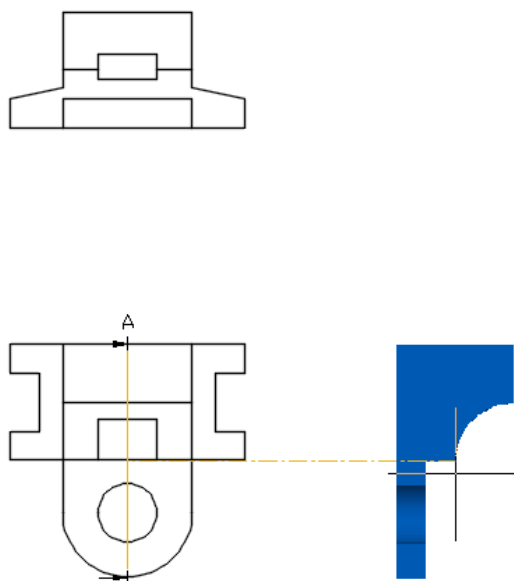


Рис. 17.60

- Використовуємо вид зверху і будуємо на виді зліва повний розріз. За допомогою вкладки швидких властивостей повертаємо його і позиціонуємо у проекційних зв'язках з головним видом (рис. 17.60, рис. 17.61.).

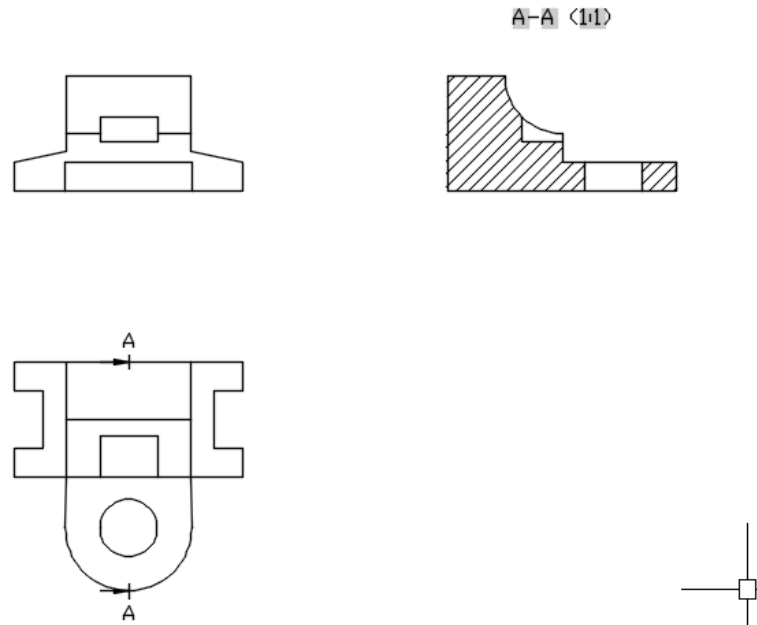


Рис. 17.61

Внесенні зміни в 3D модель в процесі роботи автоматично переносяться на кресленик деталі в просторі листа. Так на деталі було додано два симетричні циліндричні глухі отвори (рис. 17.62.) Тоді на головному виді по такому отвору виконуємо місцевий розріз.

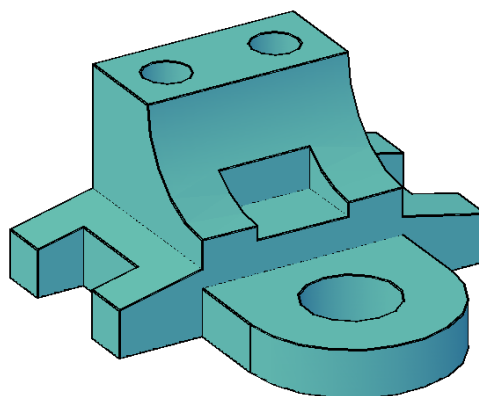


Рис. 17.62

- Оформляємо кресленик (рис. 17.63).

Запитання для самоперевірки:

1. Навіщо виконуються розрізи?
2. Коли виконуються місцеві розрізи?
3. При суміщенні половини виду і половини розрізу, яке їх взаємне положення допускається?
4. Місцеві розрізи при суміщенні виду і розрізу розміщуються на виді чи на розрізі?
5. Чи завжди розрізи виконані однією площиною позначаються?
6. Під яким кутом виконується штрихування розрізів металевих деталей на креслениках?
7. Як визначити кут штрихування при виконанні розрізу на аксонометричному зображенні моделі?

РОЗДІЛ 18. ПОБУДОВА ПРОЄКЦІЙНОГО КРЕСЛЕНИКА ДЕТАЛІ З ВИКОНАННЯМ РОЗРІЗІВ ДЕКІЛЬКОМА ПАРАЛЕЛЬНИМИ ПЛОЩИНАМИ

Завдання полягає у тому, що спочатку необхідно «прочитати» заданий кресленик деталі, уявити її форму, побудувати 3D модель і проєкційний кресленик, застосовуючи розрізи зазначені у завданні.

Як і у попередній темі створюємо 3D модель деталі (варіант завдання – [5]) (рис. 18.1). Кресленик виконуємо на попередньо створеному шаблоні.

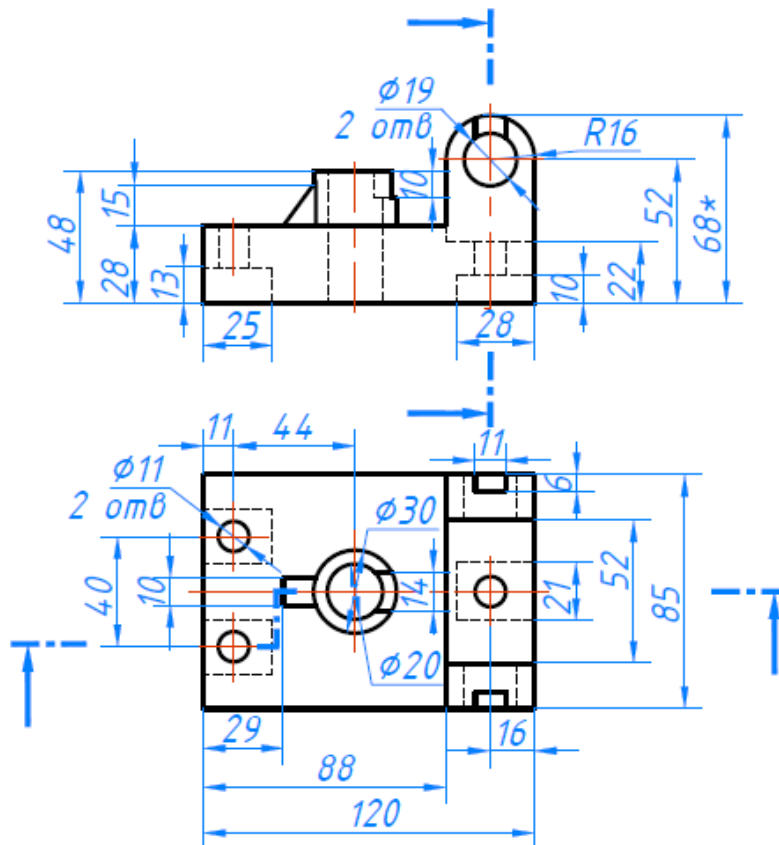


Рис. 18.1

При виконанні 3D моделі рекомендується застосовувати комбінації базових форм, виштовхування, булеві операції. Деталь містить ребро жорсткості. Для його побудови на 3D моделі використовуємо «клин», а на головному вигляді проєкційного кресленика у розрізі його за вимогою стандарту не штрихуємо.

18.1. Етапи виконання 3D моделі

- У світовій системі координат при активному режимі «Ortho Mode» створюємо Box за розмірами зазначеними на нижньому паралелепіпеді (платформі) деталі. Для цього робимо активним режим «Ortho Mode». У відповідь на запити командного рядка команди Box вказуємо початкову точку основи, обираємо підкоманду «Length» (довжина) та вводимо значення «88». У відповідь на запит «Width» (ширина) вводимо «85», «Height» (висота) – «28».

- Для побудови «вушок» деталі, переставляємо систему координат користувача, як показано на рис. 18.2., будуємо плоский контур за вказаними розмірами, утворюємо області, виконуємо булеві операції для утворених областей та застосовуємо виштовхування (рис. 18.3).

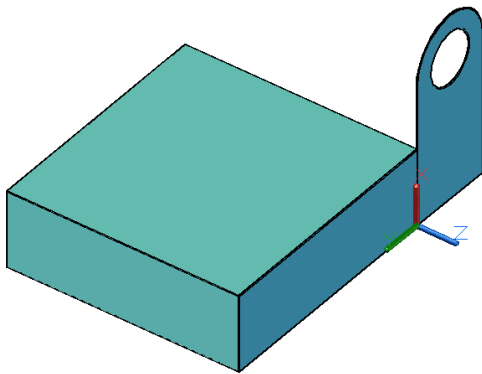


Рис. 18.2

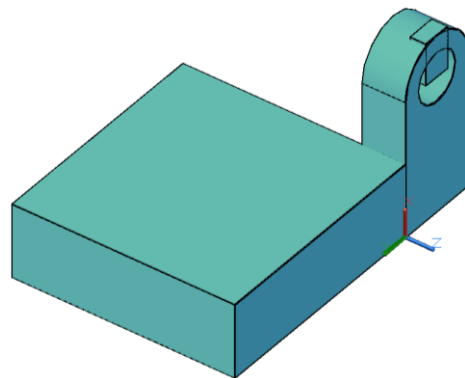


Рис. 18.3

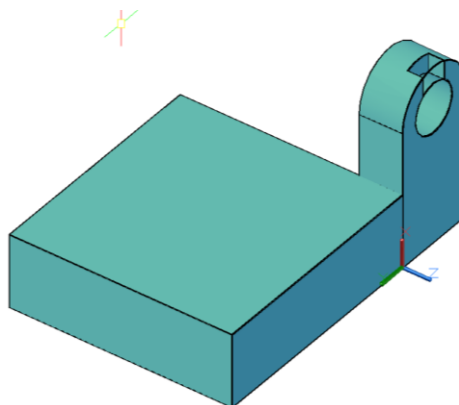


Рис. 18.4

- Виконуємо паз. Для цього створюємо збоку від платформи Box зазначених у завданні розмірів, використовуючи прив'язки переносимо його у відповідну точку на «вушці» моделі та виконуємо булеву операцію (рис. 18.4).

- Виконуємо дзеркальне відображення «вушка» за допомогою команди 3D Mirror  з панелі «Solid editing» вкладки «Home». На запити команди вказуємо об'єкт, який буде дзеркально відображатися, після чого трьома точками задаємо площину, відносно якої буде проводитися відображення. В якості таких точок зручно обирати середини ребер платформи. Завершуємо команду. Результат побудови показано на рис. 18.5.

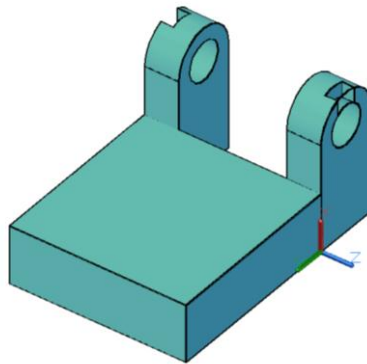


Рис. 18.5

- Повертаємось у світову систему координат і будуємо між «вушками» Box висотою «22». (рис. 18.6).

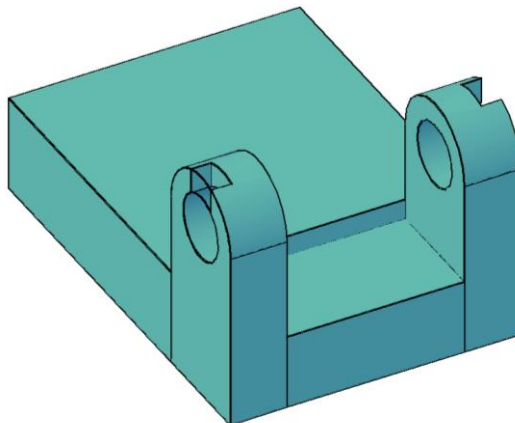


Рис. 18.6

- Робимо додаткові побудови на поверхні (платформі) для зручності побудови ребра жорсткості. Ребро жорсткості будуємо застосовуючи примітив **Wedge** (Клин). Використовуючи об'єктні прив'язки та відстеження на верхній грані платформи на відстані «55» від переднього краю на осі симетрії будуємо коло діаметром «30». Це відповідає розміру та положенню циліндра, який буде розташований на платформі. Звертаємо увагу, що висота клину «15» вказана до нижньої точки еліпса, який утворюється в результаті перетину циліндра з площиною клину. Тому будуємо за вказаними у завданні розмірами ребра жорсткості допоміжні прямі, що фіксують положення клину на платформі деталі, та трикутник, висота якого фіксується найнижчою точкою перетину циліндра з гранню клина («15») (рис. 18.7). Побудований трикутник дозволяє визначити додаткові точки для побудови клину.

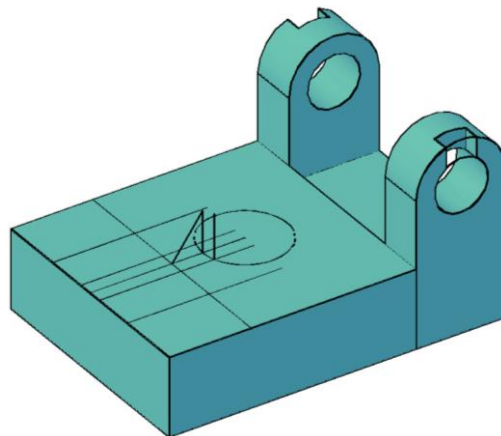


Рис. 18.7

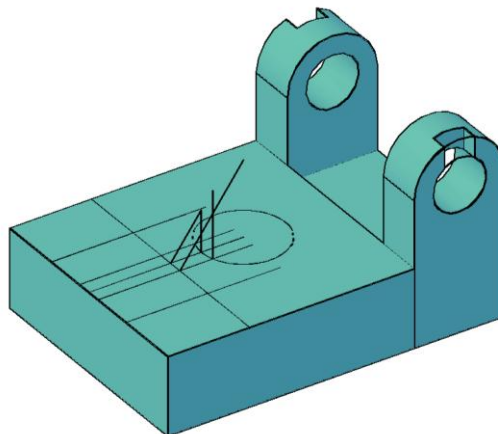


Рис. 18.8

Будуємо допоміжну вертикальну пряму в з точки перетині кола основи циліндра з прямою, що побудована для фіксації ширини ребра жорсткості. Копіюємо гіпотенузу отриманого раніше трикутника в точку, у якій буде починатися нахилене ребро клину. Продовжуємо гіпотенузу до перетину з вертикальною прямою побудованою на попередньому кроці. Знайдена точка перетину визначає висоту «спинки» клину (рис. 18.8).

Маємо усі необхідні дані для побудови клину. Переставляємо систему координат користувача як на рис. 18.9 та будуємо клин з використанням прив'язок до знайдених допоміжних точок. Спочатку задаємо дві точки по діагоналі основи клину, третьою точкою фіксуємо висоту клину.

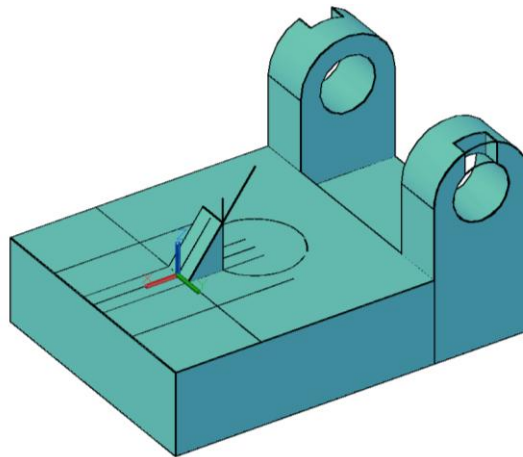


Рис. 18.9

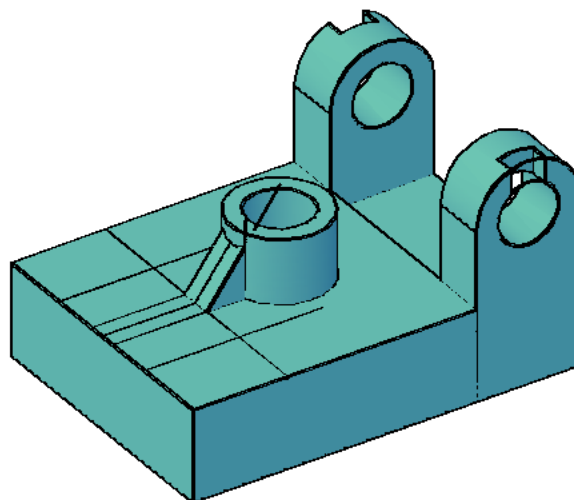


Рис. 18.10

- Повертаємось у світову систему координат та будуємо зовнішній циліндр. Виконуємо булеві операції з об'єднання усіх побудованих форм. Будуємо внутрішній циліндр та булевими операціями виконуємо наскрізний отвір (рис. 18.10).

- Для створення пазів та циліндричних отворів на вільному місці модельного простору створюємо відповідні базові форми за розмірами зазначеними у завданні. Використовуючи трекінг, відстеження та прив'язки переносимо їх на відповідне місце 3D моделі. та Виконуємо булеві операції (рис. 18.11).

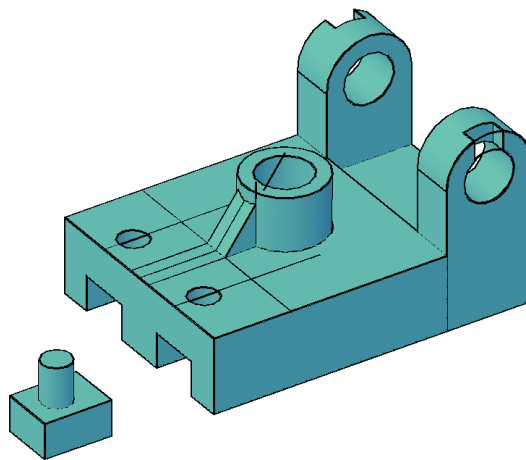


Рис. 18.11

- Отримуємо результат як показано на рис. 18.12. Робота над моделлю завершена.

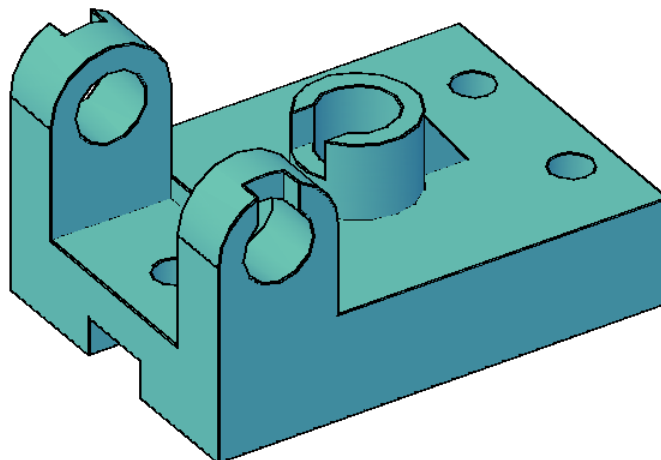


Рис. 18.12

Перед виконанням проєкційного креслення бажано на додатковому форматі у просторі листа побудувати головний вигляд та вигляд зверху не вимикаючи лінії невидимого контуру та порівняти їх із завданням. На цьому етапі проводиться перевірка відповідності побудованої моделі завданню (рис. 18.13).

18.2. Виконання проєкційного креслення

Переходимо до виконання проєкційного креслення.

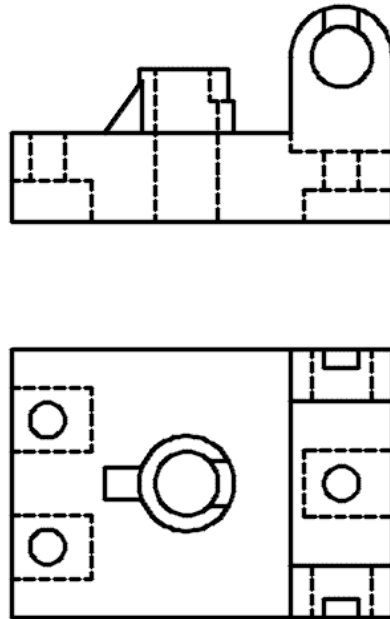


Рис. 18.13

- Будуємо у просторі листа вигляд зверху (команда Base>From Model Space (Вид-Базовий-3 простору моделі)). Обираємо масштаб. Вмикаємо лише видимі лінії (рис. 18.14).

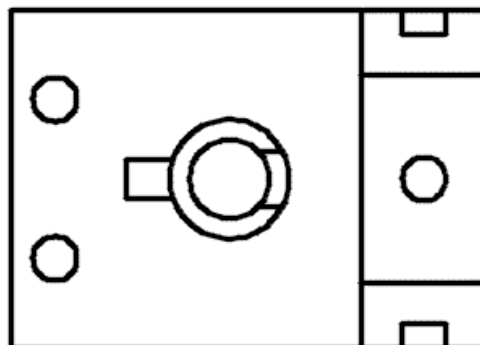


Рис. 18.14

- За допомогою вигляду зверху за завданням будуємо складний розріз двома паралельними січними площинами командою «Перетин зі зміщенням»  Offset і розміщаємо його на головному вигляді (рис. 18.15).

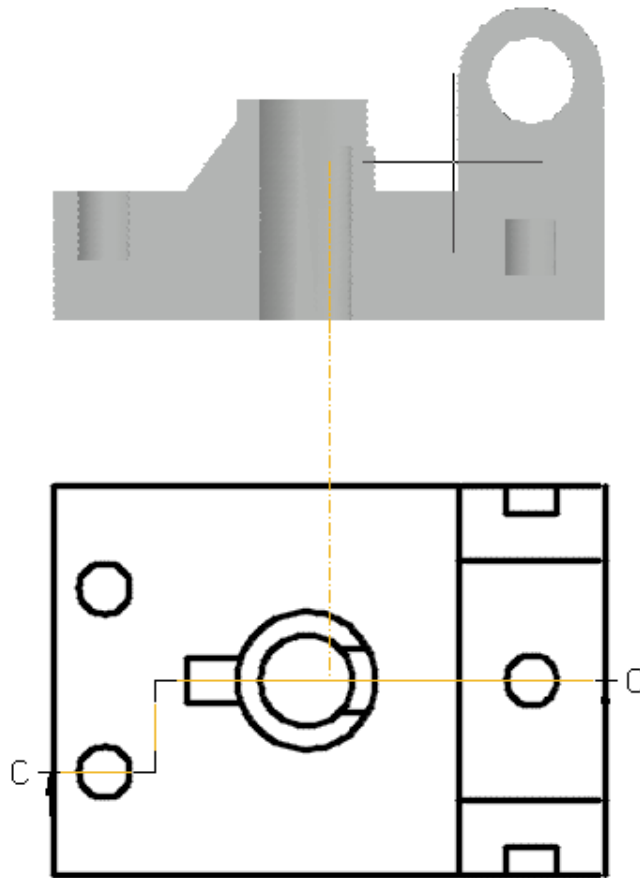


Рис. 18.15

Одразу вимикаємо штриховку (піктограма —  панелі Section View Creation (рис. 17.45)). Оскільки конструктивний елемент «ребро жорсткості» у вертикальному розрізі не штрихується. Якщо в момент створення розрізу штриховку не вимкнули, у вікні розрізу виконуємо подвійний клік. Відкривається панель редагування штриховки «Section View Creation». Вимикаємо штриховку піктограмою. Після чого  за допомогою графічних примітивів обводимо контури моделі для штрихування та виконуємо штриховку (рис. 18.17). Використовується стандарт ДСТУ ISO 128-50.

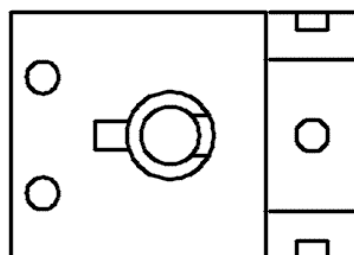
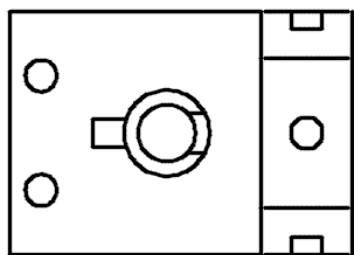
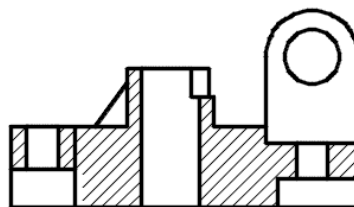
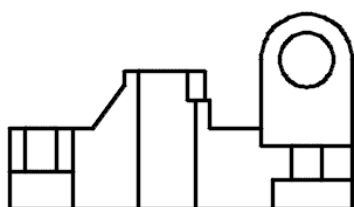


Рис. 18.16

Рис. 18.17

• Відповідно до завдання виконуємо розріз однією площиною на вигляді зліва за допомогою вигляду зверху (рис. 18.18). Оскільки зображення вигляду і розрізу симетричні, виконуємо суміщення (рис. 18.19). Простий розріз виконувався площиною, яка не є площиною симетрії деталі, тому такий розріз позначається. Розрізи виконані кількома площинами позначаються завжди.

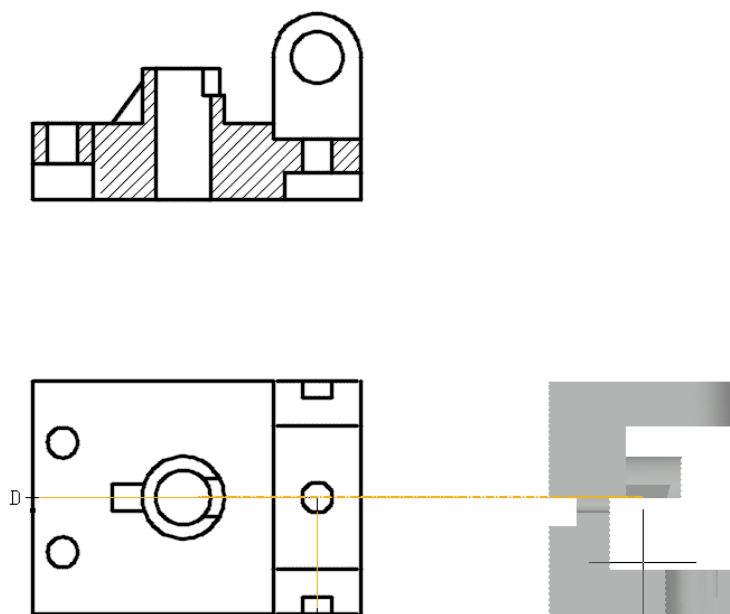


Рис. 18.18

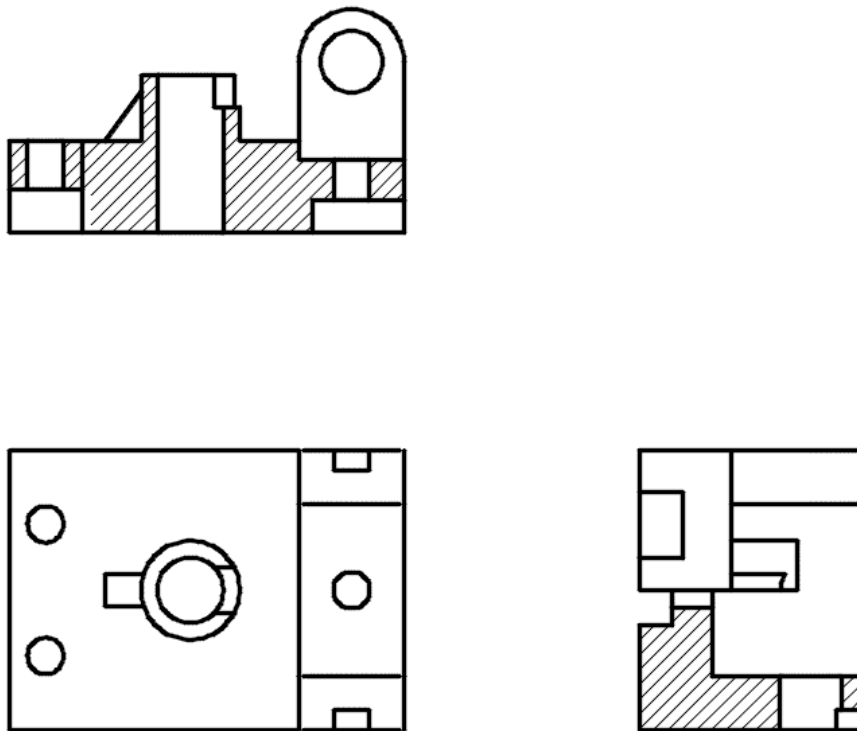


Рис. 18.19

- Оформляємо кресленик. Результат показано на рис. 18.20. Робота виконана.

Запитання для самоперевірки:

1. Чим відрізняються розрізи однією площиною від розрізів кількома площинами?
2. Які бувають розрізи кількома площинами?
3. Як позначаються розрізи кількома площинами на кресленні?
4. Які елементи деталі, що потрапили в січну площину, не штрихуються?
5. Як задається масштаб зображення на кресленнику відмінний від вказаного в основному написі?

РОЗДІЛ 19. ОСНОВИ ПАРАМЕТРИЗАЦІЇ. ПАРАМЕТРИЗАЦІЯ ПЛАСКОГО КОНТУРУ

На виробництві може виникнути необхідність створення серії однотипних деталей з різними розмірами. Щоб не виконувати нову документацію на кожен виріб, можна застосувати параметризацію до існуючого виробу. Розглянемо завдання зображене на рис. 19.1. Бачимо зображення пласкої деталі (ліворуч) і її змінене зображення (праворуч) за допомогою накладеної параметризації.

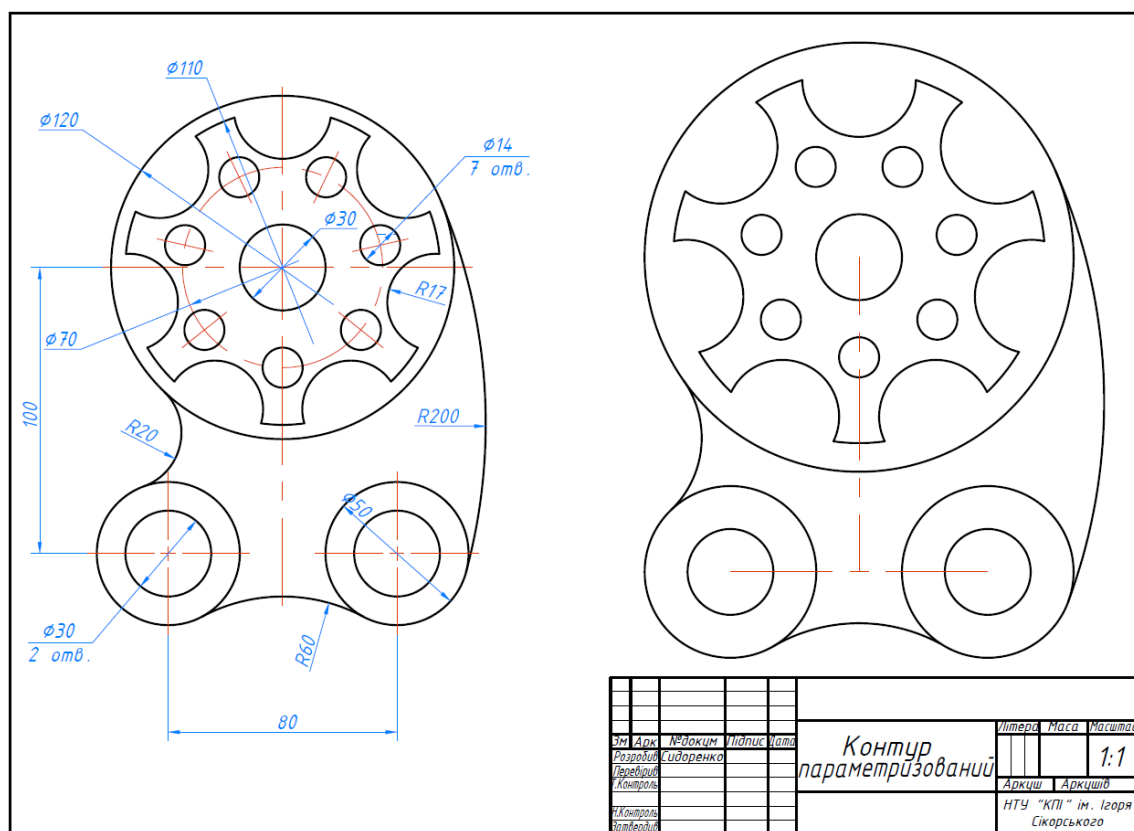


Рис. 19.1

На рисунку видно, що алгоритм побудови обох деталей однаковий, але розміри окремих елементів в процесі роботи можуть змінюватися. Для полегшення роботи конструктора та з метою автоматизації процесу зміни розмірів окремих елементів деталі використовують зручний інструмент параметризації. В AutoCAD розроблена методика параметризації плоских об'єктів, але вона може бути застосована як допоміжний інструмент і при роботі з 3D об'єктами, на що ми звернемо увагу дещо згодом.

Параметризацію можна використовувати і як додатковий контроль правильного та якісного виконання креслеників. Наприклад, збереження паралельності, співпадіння крайніх точок елементів тощо. виконується за допомогою параметризації досить просто без накладання складних залежностей.

Якщо у першому не параметризованому зображенні на рис. 19.1 спробувати змінити, наприклад, радіус верхнього кола, то зображення втрачає свою цілісність. Тобто, втрачається виконане спряження, співпадіння частин контуру тощо. При параметризації контуру, зміна геометричних розмірів не призводить до втрати цілісності. Наприклад, при тому ж збільшенні радіуса верхнього кола для збереження дотичності елементів і цілісності контуру буде автоматично підібраний новий радіус спряження. Збереження накладених геометричних залежностей буде виконуватись зміною геометричних розмірів фрагментів контуру, на які накладена залежність. Тобто, здійснюється корекція розмірів для виконання накладеної геометричної параметризації. Це необхідно враховувати. Тому крім накладання геометричних залежностей вводиться контроль за розмірами елементів контуру за допомогою накладання розмірних параметричних залежностей. Розмірні параметричні залежності можуть включати як просте значення розміру, так і його обчислення за допомогою формульних виразів.

З командами параметризації в AutoCAD можна працювати двома способами: на вкладці зображений рис. 19.2. та при створенні динамічних блоків безпосередньо в момент створення блоку в середині редактора блоків (рис. 19.3.).

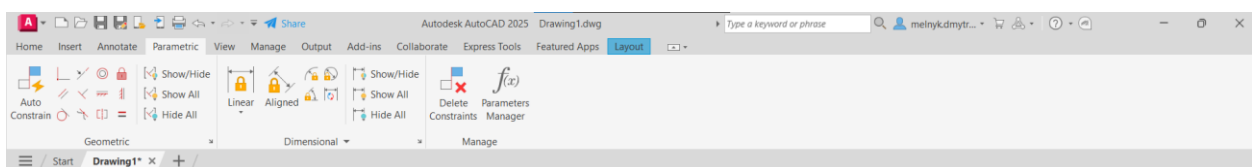


Рис. 19.2

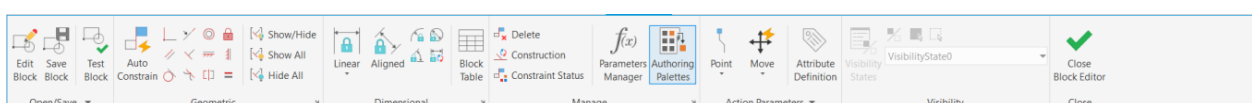


Рис. 19.3

Розглянемо спочатку вкладку на рис. 19.2. Роботу зі створення динамічних блоків розглянемо дещо згодом. Процес параметризації можна умовно поділити на 2 етапи.

19.1. Геометричні залежності

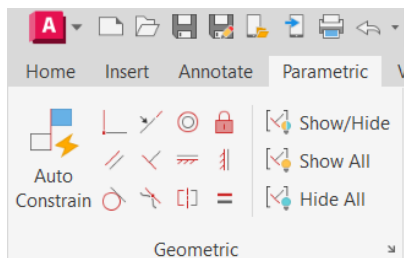


Рис. 19.4

На першому етапі виконується накладення геометричних залежностей. При цьому застосовуються команди розташовані на вкладці зображеній на рис. 19.4. Перший етап є підготовчим перед накладанням розмірних залежностей.

Наступним етапом накладають розмірні залежності на фрагменти зображення у відповідності до умов завдання. При накладенні спочатку розмірних залежностей зображення втратить цілісність.

Розглянемо накладання геометричних залежностей. Необхідні команди знаходяться на панелі «Geometric» вкладки «Parametric» (рис. 19.4.).

Значення має послідовність накладення залежностей. Перший обраний при накладанні залежностей об'єкт фіксується, а другий орієнтується таким чином, щоб забезпечити виконання накладеної залежності. Розглянемо команди накладення геометричних залежностей.

-  **Colinear (Колінеарність).** Це залежність, коли два окремих відрізки стають належними одній прямій. Для цього потрібно обрати команду **Colinear**, на запити якої спочатку обираємо перший об'єкт, потім другий, який змінить своє положення для виконання накладеної залежності. Після чого при зміні положення одного з об'єктів другий буде переміщатись за ним. При цьому відрізки не будуть поєднані кінцями, а будуть перебувати на певній відстані один від одного. Для того, щоб з'єднати їх крайні точки, виконується накладання іншої геометричної залежності «співпадіння». На рис. 19.5. зображено фрагменти геометричних фігур з накладеними на них геометричними залежностями. Накладена залежність позначається прозорою піктограмкою біля об'єкта. При необхідності їх зображення можна вимкнути. При виводі на друк вони не відображаються.

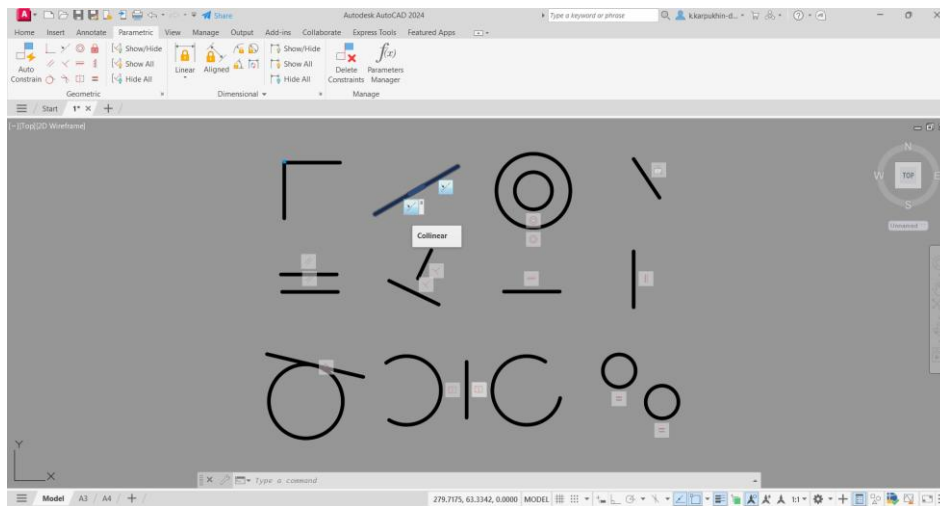


Рис. 19.5

- 
Coincident (Співпадіння). В процесі застосування залежності «співпадіння» починають відпрацьовувати характерні точки об'єкта (схоже на застосування прив'язок). Наприклад, у відрізка характерними точками є його кінці та середина, для кола його центр, для дуги – крайні точки та середина дуги тощо. При накладенні залежності «співпадіння» вказуємо характерну точку першого об'єкта, після чого вказуємо характерну точку другого об'єкта, який змінюється так, щоб виконати накладену залежність, наприклад, видовжується. В момент спрацювання залежності з'являється блакитна точка, що ідентифікує накладену залежність. «Співпадіння» можна накладати декількома способами, на що буде звернено увагу при накладанні залежності «дотичність».

- 
Perpendicular (Перпендикулярність). При накладанні цієї геометричної залежності необхідно послідовно обрати два об'єкта. Після накладання залежності при переміщенні та обертанні одного з об'єктів, другий буде змінювати положення з дотриманням умов накладеної параметризації («перпендикулярності»).

- 
Parallel (Паралельність). Вказані відрізки, на які накладена залежність, будуть залишатися паралельними.

- 
Tangent (Дотичність). Накладена залежність дозволяє орієнтувати один з об'єктів дотичним до іншого. Якщо на об'єкти не накладено «співпадіння», то «дотичність» буде виконуватись в продовженні об'єкта, наприклад, прямої.

Між самими об'єктами в цьому випадку може залишатись щілина. Це важливо, якщо, наприклад, одним із об'єктів є коло. Для того, щоб уникнути цієї проблеми, накладають залежність «співпадіння» спочатку обравши, наприклад, кінцеву точку відрізка, а потім на запит «Select second point or [Object] <Object>» обирають Object та вказують коло, до якого відрізок повинен бути дотичним. У цьому випадку відрізок видовжиться до точки дотику з колом;

-  **Vertical (Вертикальність).** Вид геометричної залежності, який позиціонує відрізок вертикально. При цьому вказується лише один об'єкт, а не пара, як це було у попередніх випадках.
-  **Horizontal (Горизонтальність).** Вид геометричної залежності, який позиціонує відрізок горизонтально. При цьому вказується лише один об'єкт.
-  **Concentric (Концентричність).** Залежність накладається на кола та дуги таким чином, що центри кіл та дуг співпадають. Вимагає вказання пари об'єктів.
-  **Fix (Фіксація).** Виконує фіксацію положення контрольної точки об'єкта. При будь-яких змінах вказана точка залишається фіксованою. Для кола цією точкою вважається його центр.
-  **Equal (Рівність).** Зарівнює два вказаних об'єкта за певним параметром. Наприклад, відрізки зарівнюються по довжині, а кола та дуги за значенням радіуса.
-  **Symmetric (Симетрія).** Виконує симетричне позиціонування двох об'єктів відносно вказаної осі симетрії. Зверніть увагу, що крім положення об'єктів відносно осі буде зарівненим ще один з параметрів. Для відрізків це довжина, а для дуг та кіл радіус. Для дуг може виникнути різниця по довжині дуги. Тобто центри двох дуг будуть дзеркально симетричними відносно осі симетрії, радіуси однакові, а довжини дуг можуть виявитися різними. Для накладення залежності у командному рядку послідовно вказуються два об'єкти, у відповідь на третій запит команди вказують вісь симетрії.
-  **Smooth (Згладжуванням).** З'єднує дві криві сплайна таким чином, щоб у точці з'єднання виконувалось згладжуванням.

При накладанні параметризації слід знати певні особливості стандартних об'єктів в AutoCAD. Наприклад, при побудові таких графічних примітивів як прямокутник, багатокутник, полілінія або сплайн у точках з'єднання відрізків чи дуг, якими побудовані ці об'єкти, автоматично спрацьовує геометрична залежність «співпадіння». Якщо ж об'єкт було створено окремими відрізками та дугами, необхідно в усіх точках з'єднання накласти геометричну залежність «співпадіння», інакше контур втратить цілісність при накладанні інших параметричних залежностей.

Для вирішення певної задачі можна застосувати різну послідовність накладення залежностей. При цьому перевагу слід віддати тому алгоритму, у якому цих залежностей буде менше. У іншому випадку може виникнути конфлікт при накладанні залежностей, про що AutoCAD видасть повідомлення.

На вкладці параметризації є можливість автоматичного накладання залежностей . При цьому достатньо обрати усі об'єкти та виконати відповідну команду. Але AutoCAD обирає залежності ситуативно, що не завжди може відповідати критеріям оптимальності побудови завдання. Тому рекомендуємо самостійно будувати алгоритми накладення залежностей. Розглянемо приклад створення параметризованого прямокутника. Маємо два чотирикутники (рис. 19.6). Сторони одного створені відрізками. Другий було створено графічним примітивом «прямокутник» та деформовано перетягуванням вершин за допомогою «гізмо». Необхідно виконати задачу накладання параметризації таким чином, щоб чотирикутник перетворився у прямокутник.

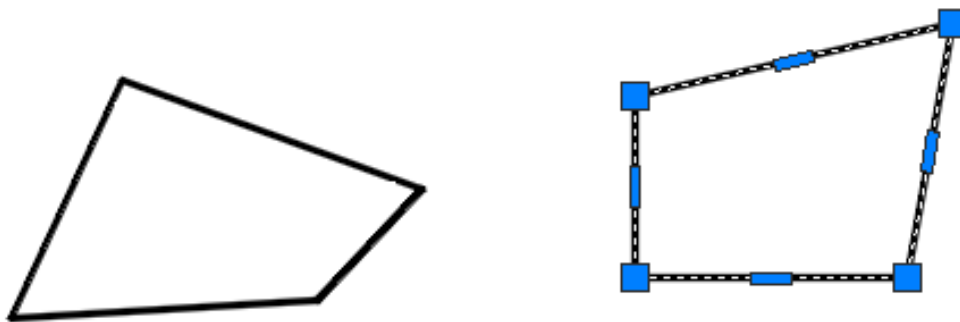


Рис. 19.6

Перша відмінність: на чотирикутник, створений графічним примітивом  немає необхідності накладати співпадіння вершин. Тоді як для чотирикутника створеного окремими відрізками слід накласти залежність «суміщення» для вершин, щоб чотирикутник сприймався як цілісний об'єкт.

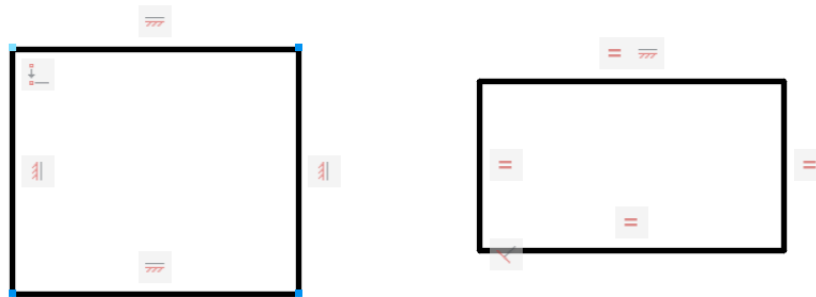
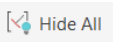
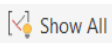


Рис. 19.7

На рис. 19.7 показано накладені геометричні залежності на обидві фігури. Як видно, їх вид та кількість різна при вирішенні одного і того ж завдання. Перевагу, віддаємо варіанту з меншою кількістю залежностей.

Нагадаємо, що піктограми, які вказують біля об'єкта тип накладеної залежності, на друк не виводяться. При необхідності їх можна приховати, використавши команду  Hide All, або командою знову зробити  Show All видимими. У випадку, коли залежність виконана не вірно і її потрібно видалити, клікаємо на піктограмі, яка ідентифікує залежність, правою кнопкою миші та обираємо в меню команду видалення.

Другим етапом роботи з параметризацією є накладання розмірних залежностей (рис. 19.8).

19.2. Розмірні залежності

Піктограми панелі Dimensional вкладки Parametric схожі на піктограми нанесення розмірів, але це інші команди, тому використовувати відповідні стилі шаблону немає необхідності. Їх графічне зображення може знаходитись у зручному для користувача положенні або перетинатись. Як і у випадку геометричних залежностей ці зображення на друк не виводяться.

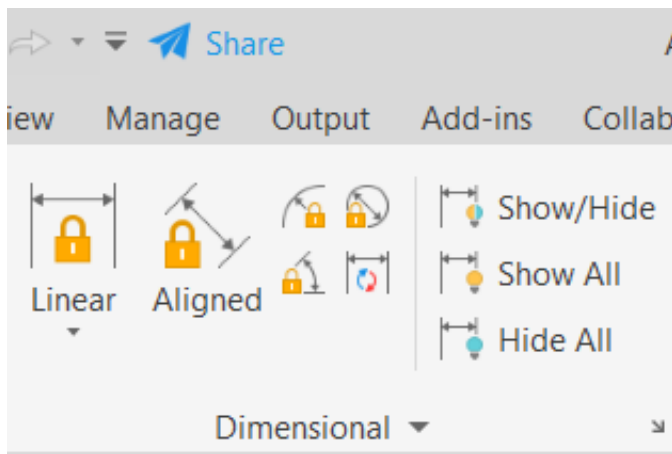


Рис. 19.8

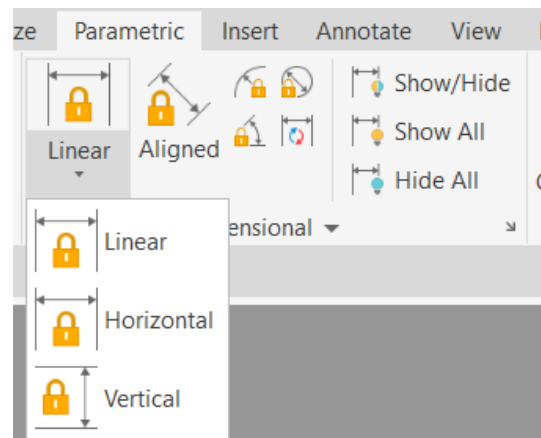


Рис.19.9

З переліком розмірних лінійних залежностей можна ознайомитись на рис. 19.9. Є можливість конвертації існуючих розмірів в параметр за допомогою команди, що відкривається піктограмою . Тоді нанесені раніше розміри можуть бути перетворені в розмірні параметри.

Для нанесення розмірної залежності вказуємо точки (об'єкти) для вимірювання залежності, її місце на екрані та фіксуємо значення створеної змінної командою Enter (рис. 19.10). В момент нанесення розмірної залежності створюється змінна, у яку потрапляє число або вираз, який визначає роботу цієї залежності.

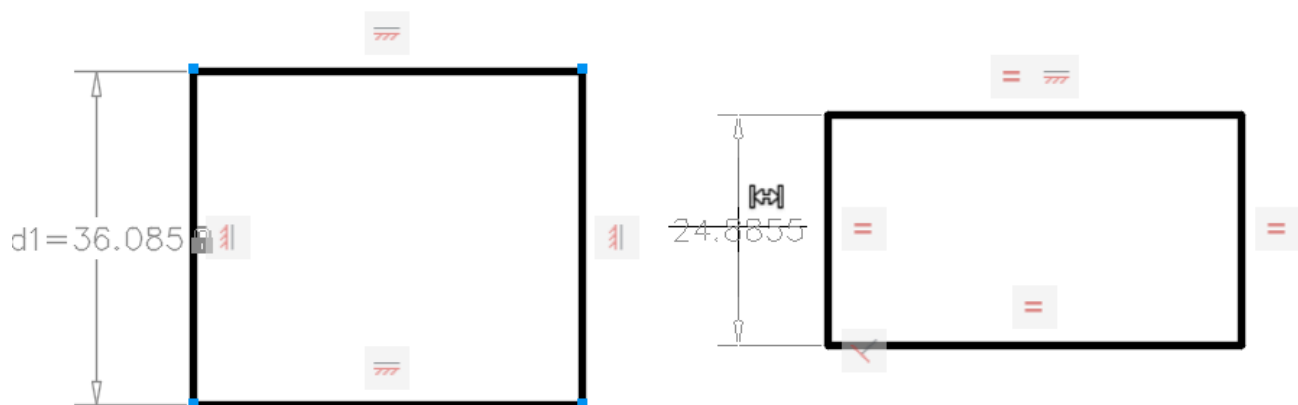


Рис. 19.10

Змінити значення змінної можна виконавши подвійний клік на екрані в області змінної та внести потрібне.

19.3. Диспетчер параметрів

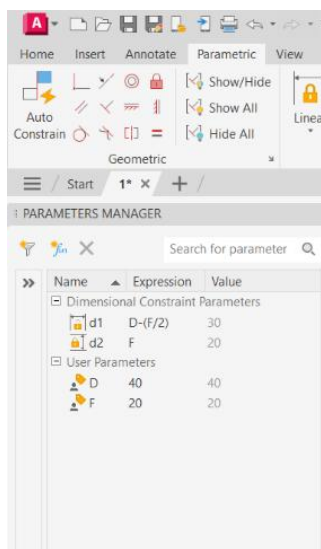


Рис. 19.11

Зручним інструментом керування розмірними змінними є панель диспетчера параметрів, яка відкривається при активації піктограми $f(x)$. Усі розмірні параметри, що відображаються безпосередньо у цій панелі, можуть бути зміненими як за значенням, так і за назвою. Крім того, в панелі параметрів можна створювати власні змінні. Для цього слід виконати подвійний клік в нижній частині вільного поля панелі параметрів або кліком на піктограми $f(x)$ і записати потрібне значення.

У цьому ж вікні можна змінній дати ім'я та присвоїти значення. Така змінна може бути використана у формульних виразах для роботи з уже існуючими розмірними параметрами. Так на рис. 19.11 показано, що було створено два параметри користувача (D та F), а розмірні параметри d1 та d2 було обчислено за цими параметрами у відповідності до формульної залежності. В цій же панелі можна видаляти розмірні залежності. Їх також можна видалити, вказавши їх на екрані та натиснувши Del.

Панель параметрів можна відкривати та закривати за допомогою піктограми $f(x)$ у будь-який момент роботи. Всі уведені параметри зберігаються.

Розглянемо на практиці накладення параметризації на контур пласкої деталі. Як було сказано вище, перевагу слід віддати тому алгоритму накладення залежностей, який використовує меншу кількість параметрів. В результаті роботи над параметризацією контурів нами було запропоновано метод, який дещо спрощує накладення параметризації, а саме метод скелетних конструкцій [6]. Основа методу полягає в тому, що після аналізу завдання створюється скелетна конструкція, яка перебирає на себе частину параметризації, а елементи контуру прив'язуються параметризацією співпадіння з крайніми точками такої конструкції. Це дозволяє частину розмірних залежностей перенести на скелетну конструкцію. Такий варіант виконання завдання спрощує управління на керування параметризованою моделлю.

19.4. Приклад параметризації плоского контуру

Проаналізуємо завдання показане на рис. 19.1. Бачимо, що деякі елементи деталі розташовані симетрично, відносно допоміжної прямої, що проходить вертикально через вісь верхнього кола. Тому пропонується створити скелетну конструкцію, як на рис. 19.12, у вигляді перевернутої літери Т. Можна проводити параметризацію і без введення скелетної конструкції, але так спрощується процес створення параметризованого контуру та управління ним.

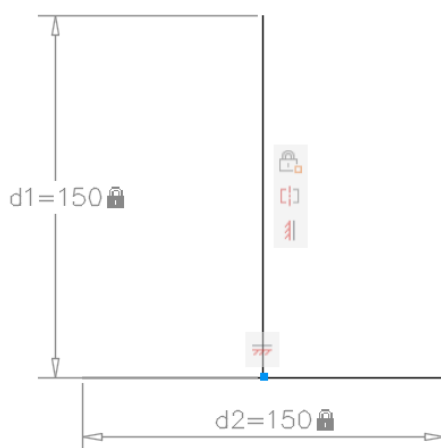


Рис. 19.12

Виконаємо параметризацію у декілька етапів:

1. Створення скелетної конструкції;
2. Суміщення елементів контуру зі скелетною конструкцією та накладення необхідних геометричних залежностей;
3. Створення масиву та його параметризація;
4. Накладення необхідних розмірних залежностей.

Етап 1. Для створення скелетної конструкції виконуємо наступні дії:

- аналізуємо завдання і обираємо вигляд скелетної конструкції. Для завдання показаного на рис. 19.12 скелетна конструкція обрана у вигляді перевернутої літери Т. Якщо контур уже накреслений, скелетну конструкцію розташовуємо прямо на ньому;
- накладаємо на вертикальний відрізок скелетної конструкції геометричну залежність «вертикальність»;

- накладаємо на горизонтальний відрізок скелетної конструкції геометричну залежність «горизонтальність»;
- виконуємо суміщення нижньої точки вертикального відрізка з середньою точкою горизонтального відрізка;
- ставимо геометричну залежність «замок» на верхню точку вертикального відрізка, що дозволить зафіксувати зображення на полі листа при зміні параметрів;
- накладаємо розмірні залежності на скелетну конструкцію, як показано на рис. 19.12. Автоматично створюються дві змінні, які потрапляють в менеджер параметрів. Змінна «d1» це вертикальний розмір зі значенням «150», а «d2» горизонтальний розмір зі значенням «150».

Етап 2. Оскільки контур уже виконано, продовжуємо роботу з його елементами. Якщо контур не виконано, необхідні елементи створюємо.

При параметризації контуру виконуємо наступні дії:

- Оскільки контур було створено не полілінією, а геометричними примітивами «відрізок», «дуга» тощо, в усіх точках «склейки» фрагментів виконуємо геометричну залежність «співпадіння». В точках, де виконано спряження з колом, «співпадіння» слід виконувати через командний рядок як співпадіння з об'єктом;
- В усіх точках, де будувались спряження, вводимо геометричну залежність «дотичність»;
- Виконуємо геометричну залежність «співпадіння» центрів усіх кіл з відповідними кінцями відрізків скелетної конструкції. Таких пар кіл у завданні три: вгорі з діаметрами «30» і «120» та на нижніх точках з діаметрами «30» і «50»;
- Виконуємо геометричну залежність «рівність» або «дзеркальність» між відповідними колами нижніх пар кіл;
- На нижні кола однієї з пар накладаємо розмірну залежність за значенням радіуса або діаметра. Розмір відповідного кола з другої пари кіл при зміні цього параметра повинен змінюватись автоматично, оскільки в попередньому пункті вони були зарівнені;

- На цьому етапі можна спробувати змінити параметри «d1» і «d2» та перевірити накладену на них параметризацію щодо співпадіння з кінцями відрізків скелетної конструкції. Повертаємо значення «d1» та «d2» у початкове положення. Накладена на контур геометрична параметризація на цьому етапі виглядає так, як показано на рис. 19.13.

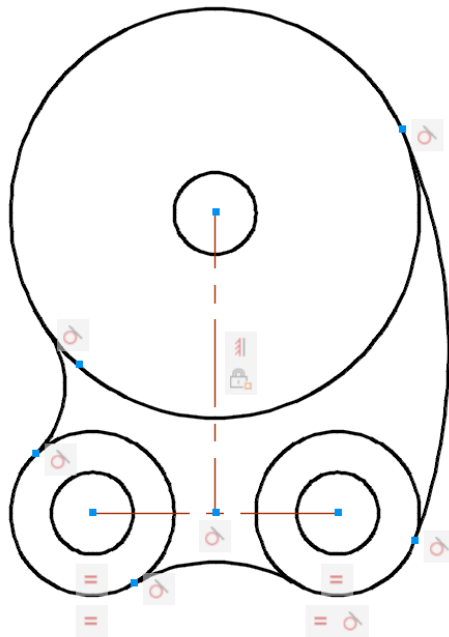


Рис. 19.13

Етап 3. Розглянемо роботу з елементами масиву.

Коло, центр якого співпадає з верхнім кінцем вертикального відрізка скелетної конструкції, є центром масиву менших кіл. Виконуємо параметризацію масиву:

1. Встановлюємо, що він не є асоціативним. У протилежному випадку такий масив сприймається як єдиний об'єкт і накладення параметризації відбувається не правильно. Якщо масив все ж таки був створений як асоціативний, його слід розділити на окремі елементи за допомогою команди, що  відкривається піктограмою з підпанелі «Modify» панелі «Home». Тоді кожне коло масиву буде сприйматись як окремий об'єкт.

2. Фіксуємо центр кола, який є центром масиву, геометричною залежністю «Fix» (Замок/Фіксація).

3. Зарівнюємо до одного з елементів масиву всі інші, наприклад, геометричною залежністю «рівність». Накладаємо на діаметр кола, до якого зарівнювали інші елементи масиву, розмірну залежність. Перевіряємо у диспетчері параметрів чи при зміні значення діаметра синхронно змінюється розмір усіх кіл, чи відпрацьовують усі кола.

4. У диспетчері параметрів створюємо власну змінну з іменем r .

5. Вводимо розмірну параметризацію для кіл масиву, за допомогою  (Aligned).

6. У диспетчері параметрів для усіх змінних, від яких залежить вирівнювання, а саме «d3», «d4», «d5», встановлюємо в якості значення змінну користувача « r ».

7. Змінюємо значення « r » та перевіряємо відпрацювання зміни положення кіл відносно центру масиву.

Можна також зарівняти діаметри кіл масиву. Для спрощення сприйняття на рис. 19.14 показано виконання зазначеного алгоритму для трьох кіл масиву.

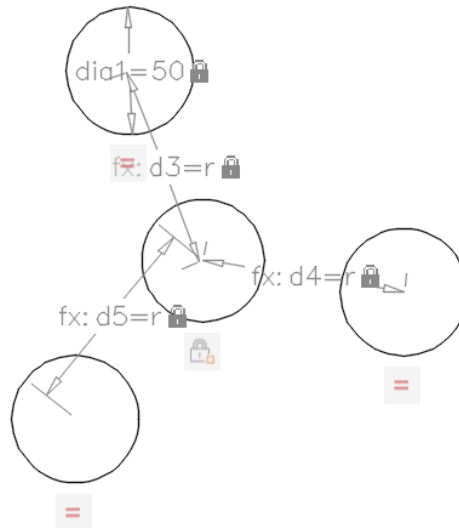


Рис. 19.14

Для контуру складної форми можна виконати автоматичну параметризацію автонакладення залежностей (піктограма ). Автоматичну параметризацію використовуємо з певним доопрацюванням, оскільки не всі автоматично накладені залежності можуть задовольняти потрібний алгоритм параметризації. Якщо залежності

накладені не вірно, їх можна відмінити (піктограма ). Також можна відмінити окремі геометричні залежності, клікнувши правою кнопкою миші на відповідній залежності в місці її накладення та обравши команду видалення. Розмірні залежності можна видаляти Del. Продовжуємо і обираємо усі елементи контуру та накладаємо автоматичну параметризацію. У цьому випадку автоматично виконується залежність «співпадіння» в усіх точках. Крім того, автоматично виконується геометрична параметризація концентричності. Якщо накласти розмірну параметризацію радіусу на одну з дуг, то буде змінюватись тільки її розмір. Тому виконуємо додатково геометричну залежність «рівність» для усіх фрагментів дуг. «Зарівнювання» зручно виконувати до того ж елемента, до якого виконувалась концентричність. Тепер зміна розмірного параметра викликає зміну усіх фрагментів контуру (рис. 19.15).

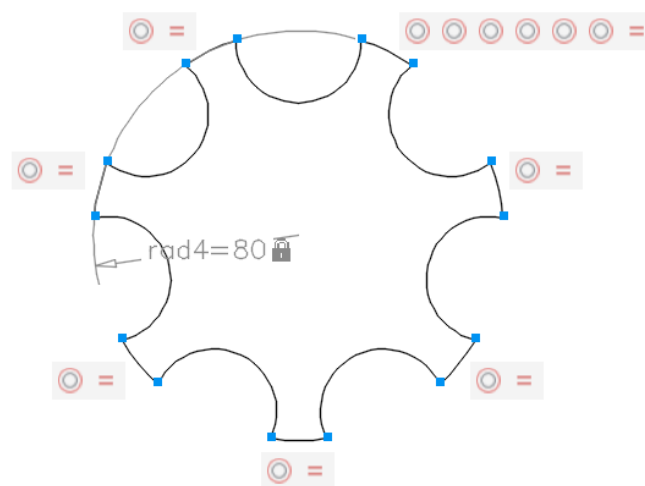


Рис. 19.15

Етап 4. Вводимо усі необхідні розмірні залежності у відповідності до завдання. Так, наприклад, можна вказувати розміри радіусів спряжень, діаметри кіл, міжцентрові відстані тощо.

У процесі накладення розмірних залежностей можна використовувати формульні вирази та створені користувачем параметри (рис. 19.16). В процесі накладання геометричних та розмірних залежностей може з'явитись повідомлення, що накладені залежності надлишкові. Тоді розмірна залежність може бути зазначена як довідкова або слід відмінити її накладення.

	d1	110	110
	d2	90	90
	d3	r	35
	d4	r	35
	d5	r	35
	d6	r	35
	d7	r	35
	d8	r	35
	d9	r	35
	rad1	65	65
	rad2	30	30
	rad3	rad2*2.5	75
	rad4	rad2*0.5	15
	spr1	35	35

Рис. 19.16

У цьому випадку слід переглянути алгоритм накладених залежностей та, по можливості, зменшити їх кількість. На рис. 19.17 зображено створений параметризований контур.

У даному випадку розглянуто один з алгоритмів параметризації. Кількість та вид накладених залежностей може бути ситуативно змінені в залежності від поставленої задачі.

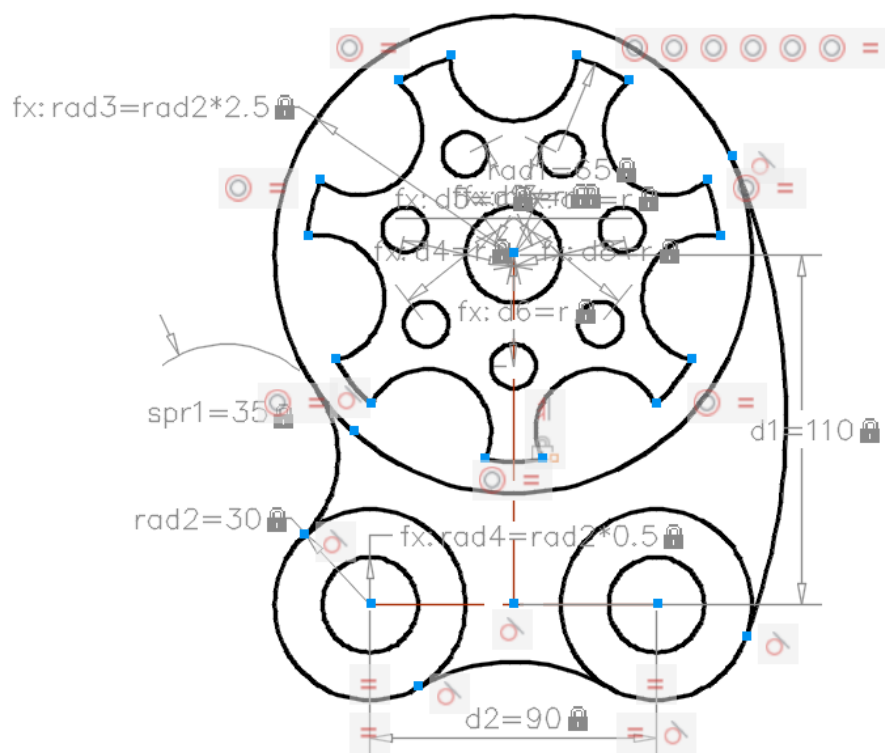


Рис. 19.17

Запитання для самоперевірки:

1. Для чого виконується геометрична параметризація «співпадіння»?
2. Чи можна використовувати вже нанесені розміри для виконання розмірної параметризації?
3. Як слід задати масив для виконання параметризації його елементів?
4. Чи можна використовувати формульні вирази при виконанні параметризації?
5. Для чого використовують диспетчер параметрів?

РОЗДІЛ 20. СТВОРЕННЯ 3D МОДЕЛІ ГАЙКИ НАКИДНОЇ З ЕЛЕМЕНТАМИ ПАРАМЕТРИЗАЦІЇ

У цьому завданні розглянемо побудову 3D моделі гайки накладної зі створенням кресленика деталі. Деталь виконується за варіантом.

Гайка це деталь з внутрішньою нарізкою, яка використовується для скріплення інших деталей. Вона накручується на деталь із зовнішньою нарізкою з такими ж параметрами. При цьому відбувається з'єднання двох або більше деталей.

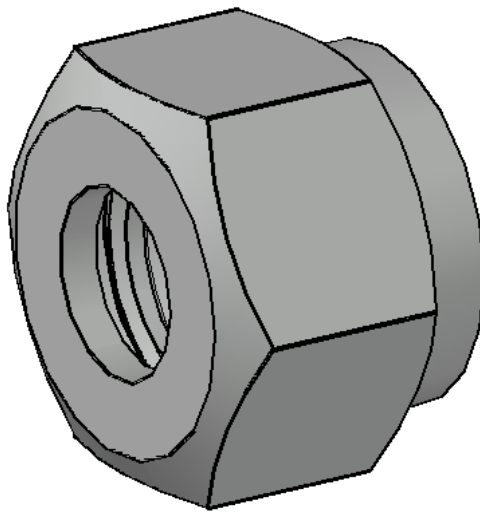


Рис. 20.1

Гайки накладні бувають різних конструкцій. Гайка накладна зображена на рис. 20.1 має шестигранну призматичну частину виконану на зовнішній поверхні. Шестигранник дозволяє щільно закручувати гайку за допомогою гайкового ключа. Відстань між паралельними площинами шестигранної призми називається розміром «під ключ» і нормується відповідним стандартом. Для закручування ключем можна виконувати лиски, а не повну шестигранну призму. Якщо з'єднання виконують вручну, зовнішня поверхня гайки може бути циліндричною з нанесенням рифлення або виступів. При цьому з метою безпеки згладжують гострі кути виконуючи фаски. У відповідності до вимог стандарту фаски виконують 30° і 45° . У даному завданні фаска на зовнішній шестигранній поверхні виконана під кутом 30° . Гайка накладна крім

зовнішньої шестигранної поверхні має її циліндричне подовження, яке не нормується стандартами і, незалежно від варіанта завдання, прийнято фіксованої довжини.

Завдання роботи полягає у виконанні кресленика гайки накидної із заданими параметрами за допомогою створення її 3D моделі. До параметрів відносяться діаметр метричної нарізі « d », крок нарізі « p », тип проточки «вузька (нормальна)», довжина нарізі « L_1 », довжина гайки « L », розмір «під ключ» « S », параметри « D » та « D_2 », які обчислюються за розміром «під ключ» та параметр « D_3 » – діаметр циліндричного отвору.

Для виконання цього завдання необхідно скористатись таблицями стандартів, які нормують параметри нарізі: її номінальний діаметр, крок та форму і розміри проточки.

Переходимо до виконання 3D моделі. Розглянемо та проаналізуємо форму поверхонь гайки накидної зображеної на рис. 20.2. Переважна більшість зовнішніх і внутрішніх поверхонь гайки накидної мають циліндричну форму. Тому в процесі виконання її 3D моделі може бути використана команда «обертання» для створення базової форми з подальшим доопрацюванням. Для побудови базової форми у якості об'єкта обертання слід використати перетин гайки площиною, яка проходить через ребро шестикутної призми і вісь циліндричних поверхонь.

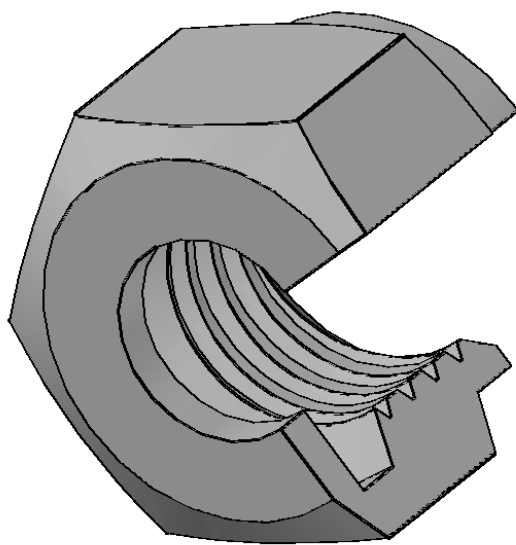


Рис. 20.2

Нарізь на кресленику зображається умовно, тому 3D модель виконується без врахування форми профілю нарізі. Тобто внутрішня циліндрична поверхня (отвір) має діаметр, що дорівнює внутрішньому діаметру нарізі. На кресленику деталі нарізь зобразимо за допомогою графічного примітиву Line.

Плаский контур, який використовується для застосування команди «обертання», виконуємо з елементами параметризації [7, 8].

Робота виконується у кілька етапів:

- створення пласкої заготовки для виконання операції обертання і її параметризації;
- побудова 3D моделі обертанням та її доопрацювання у відповідності до завдання;
- оформлення кресленика гайки накидної за допомогою її 3D моделі.

20.1. Створення пласкої заготовки для її параметризації і виконання операції обертання

Створюємо плаский контур застосовуючи параметризацію. Побудови виконуються у просторі моделі. Обираємо вигляд спереду. Масштаб зображення близький до 1:1. Нехай довжина гайки приблизно 30–50 мм. Тому креслимо горизонтальний відрізок довжиною 50 мм. Усі побудови виконуються, наприклад, суцільною тонкою лінією і в одному шарі. Проведена горизонтальна лінія буде використана згодом як елемент скелетної конструкції та як вісь обертання пласкої заготовки. Накладаємо на цю пряму геометричну залежність «Horizontal» та фіксуємо її положення на полі формату геометричним параметром «Fix». Над нею на деякій відстані креслимо перетин гайки так, як це було зазначено вище, за розмірами близькими до розмірів заданих у завданні. На цьому етапі можна не дотримуватись чіткого дотримання розмірів. Слід правильно відобразити геометричну форму перетину. Для спрощення параметризації бажано дотримуватись горизонтального та вертикального положення відповідних відрізків (режим «Ortho mode»).

Виконувати фаски під кутом 30^0 та нахил в проточці під кутом 45^0 зручно використовуючи прив'язку до кутів  (рис. 20.3). Усі побудови виконуються

окремими відрізками. Спряження в зображенні проточки на підготовчому етапі можна виконати довільним радіусом близьким до вказаного у стандарті. Точні значення радіусів будуть вказані трохи згодом при накладені розмірної параметризації з урахуванням вимог стандартів щодо виконання внутрішніх проточок метричної нарізі.

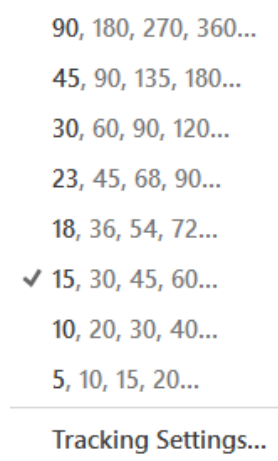


Рис. 20.3

У результаті отримуємо зображення показане на рис.20.4. Воно не є точним, але завдяки наступній параметризації буде отримано перетин, який повністю відповідає поставленому завданню.

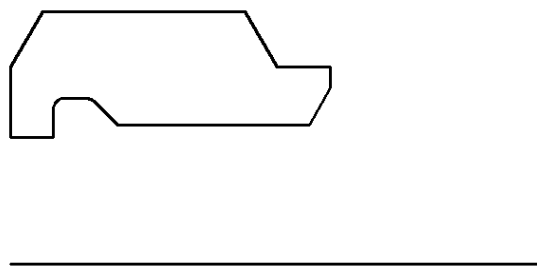


Рис. 20.4

Виконуємо параметризацію. Заповнюємо значення параметрів користувача в диспетчері параметрів, які відповідають завданню. У результаті створюються параметри, які будуть використані при накладені розмірних залежностей при параметризації плоского контуру як зображено на рис. 20.5.

 D	47.3	47.3
 L	30	30
 L1	26	26
 M	30	30
 R1	1	1
 S	41	41
 df	31	31
 p	2	2
 protL	6	6
 z	2	2

Рис. 20.5

Виконуємо геометричну залежність «співпадіння» для усіх точок контуру. Усі розташовані горизонтально відрізки закріплюємо геометричною залежністю «Horizontal». Усі відрізки розташовані вертикально закріплюємо геометричною залежністю «Vertical». За допомогою розмірної залежності фіксуємо кути фасок 30^0 та 45^0 . У проточці у місцях виконання спряжень додаємо геометричну залежність «спряження» (рис. 20.6).

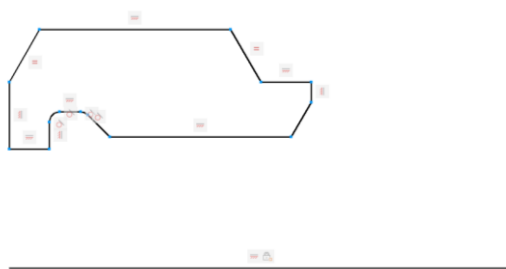


Рис. 20.6

Оскільки контур буде використовуватись як елемент обертання, усі розміри відстаней його елементів від осі обертання слід задати радіусами. При накладанні розмірної залежності слід враховувати можливість виникнення «перекручування» контуру, якщо послідовність накладання залежностей обрана не коректно. У цьому випадку слід зробити відступити на крок і виконати розмірну параметризацію в іншому порядку. Наприклад, можна спочатку накласти залежність на більші розміри, потім виконати параметризацію дрібних фрагментів контуру і уже на завершення позиціонувати їх по місцю розташування. В результаті отримуємо параметризовану модель контуру, яка показана на рис. 20.7.

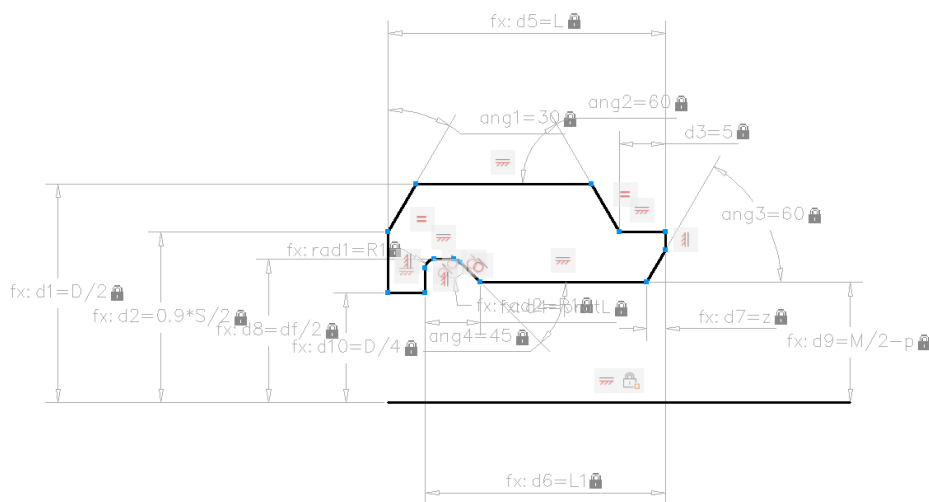


Рис. 20.7

	ang1	30	30
	ang2	60	60
	ang3	60	60
	ang4	45	45
	d1	D/2	23.65
	d10	D/4	11.825
	d2	0.9*S/2	18.45
	d3	5	5
	d4	protL	6
	d5	L	30
	d6	L1	26
	d7	z	2
	d8	df/2	15.5
	d9	M/2-p	13
	rad1	R1	1
	rad2	R1	1

Рис. 20.8

Звертаємо увагу, що для зображення нарізі радіус задаємо $d9=M/2-p$. Усі розмірні параметри вводимо в залежність від параметрів користувача у відповідності до завдання (рис. 20.8).

Після виконання параметризації перевіряємо параметри на відповідність завданню. Для того, щоб параметризовану модель контуру можна було використовувати згодом, виконуємо її копію в стороні в просторі моделі.

При виконанні копіювання кількість параметрів у диспетчері параметрів подвоюється. Тобто копія отримає власну групу параметрів. Оскільки копія виконана за розмірами варіанту завдання, то ці параметри можна скасувати

за допомогою команди, що відкривається піктограмкою . Якщо деталь не має внутрішнього отвору, вісь обертання слід перенести впритул до плаского контуру.

20.2. Побудова 3D моделі

Будуємо 3D модель. Змінюємо режим моделювання на «3D Modelling» (піктограмка в правій нижній частині екрану). Перетворюємо плаский контур в «область» для створення при обертанні твердотільної моделі (рис. 20.9).



Рис. 20.9

Виконуємо операцію обертання. Обираємо  команду «обертання». На запити команди за допомогою прив'язок слід вказати об'єкт, який буде обертатись, дві точки осі обертання та задати кут обертання – 360° . Змінюємо точку зору так, щоб модель було видно трохи збоку, як показано на рис. 20.10.

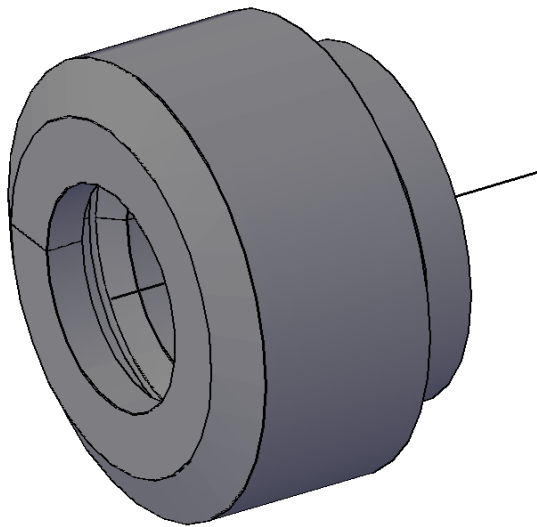


Рис. 20.10

Будуємо шестигранну призму. Для зручності відключаємо видимість 3D зображення за допомогою команди  в правій нижній частині екрана. Виконуємо додаткові побудови на плоскому зображенні, що дозволить зробити побудови вписаного в коло діаметра заготовки шестикутника. Змінюємо систему координат користувача таким чином, щоб вісь Oz співпала з віссю обертання. Використовуючи трекінг та прив'язки будуємо шестикутник, як показано на рис. 20.11.

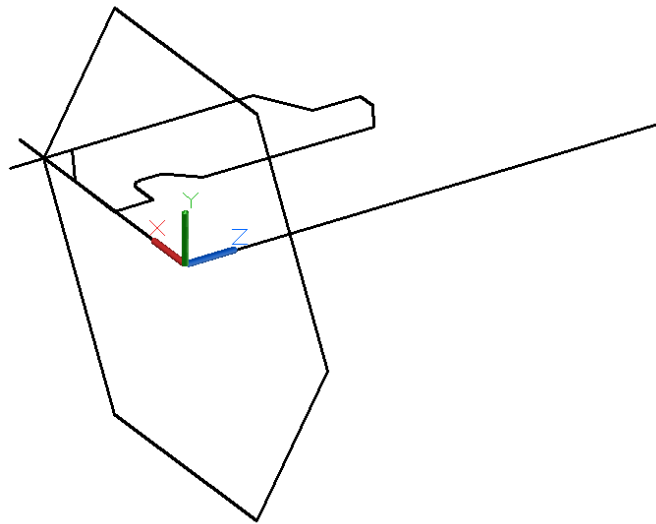


Рис. 20.11

Використовуючи прив'язки, на стороні шестикутника будуємо «Вох» з ребром, що дорівнює стороні шестикутника. Інші розміри довільні, але досить великі. Довжина паралелепіпеда повинна бути більшою за розмір заготовки для коректного виконання булевої операції.

Створюємо круговий масив із 6 елементів Вох (рис. 20.12). Сворений масив не повинен бути асоціативним інакше булева операція буде виконуватись не коректно.

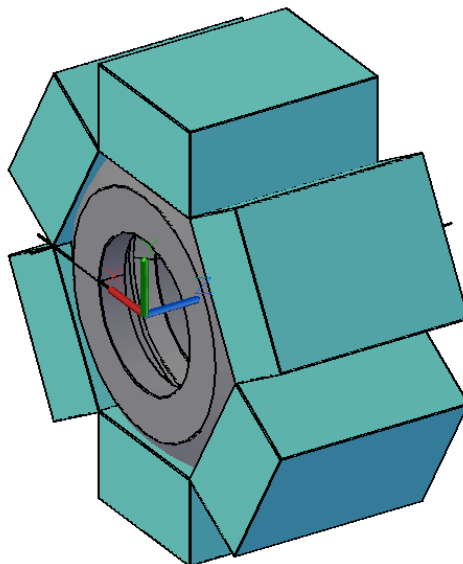


Рис. 20.12

Повертаємо видимість 3D моделі та виконуємо булеву операцію віднімання.

Модель гайки накидної виконана (рис. 20.13).

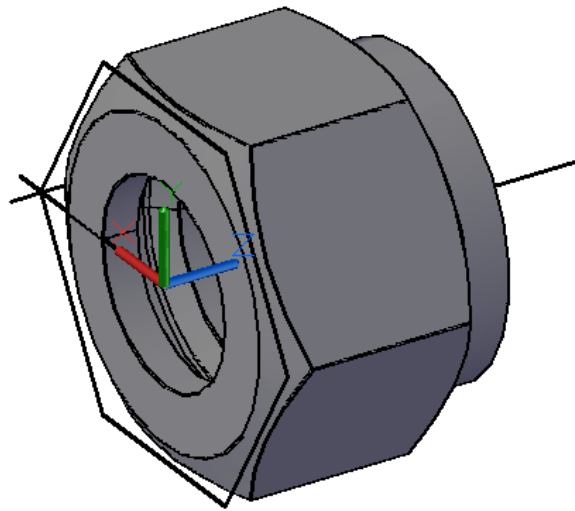


Рис. 20.13

20.3. Компоновка кресленика гайки накидної

Виконуємо компоновку за створеною 3D моделлю гайки накидної у просторі листа. Послідовність виконання команд як у розділі 17.

Компоновку починаємо з побудови виду зліва, за допомогою якого створюємо головний вид деталі у суміщенні з фронтальним розрізом. Вид зліва повинен відповідати зображенню як показано на рис. 20.14. У цьому випадку на головному виді буде зображено максимальну кількість граней шестигранника – три.

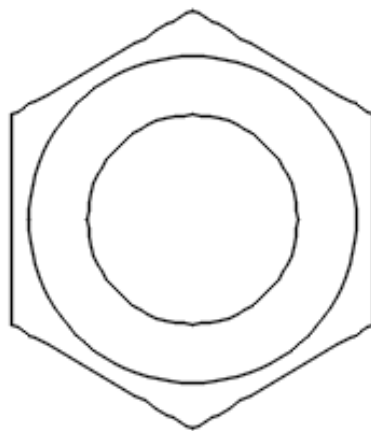


Рис. 20.14

Якщо отримане зображення не відповідає вказаному, слід повернути модель в просторі моделі. Якщо в просторі листа вже створено вид зліва, він буде скоректований автоматично.

Будуємо головний вид у суміщенні з фронтальним розрізом (рис. 20.15, рис. 20.16).

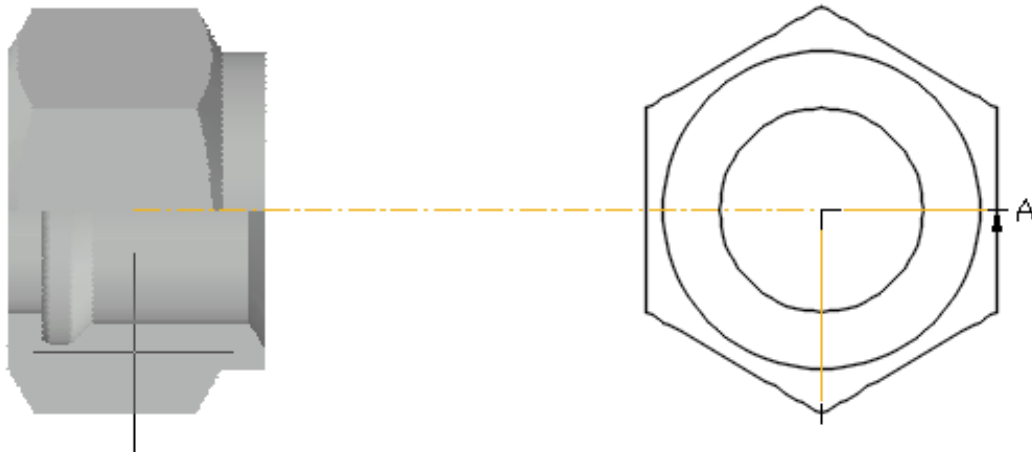


Рис. 20.15

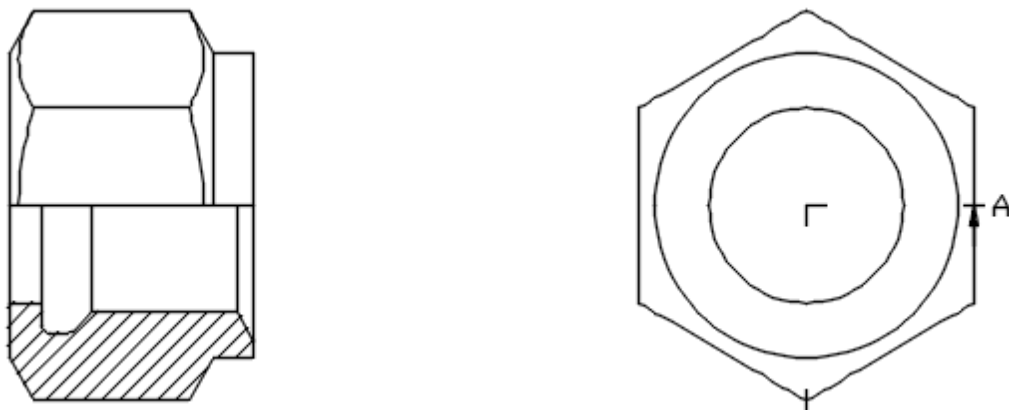


Рис. 20.16

Виконуємо виносний елемент за допомогою команди «Detail»  панелі «Drawing View». Обираємо круговий виносний елемент та встановлюємо для нього масштаб 5:1 (рис. 20.17).

Розміщуємо зображення виносного елемента на вільному місці формату листа (рис. 20.18).

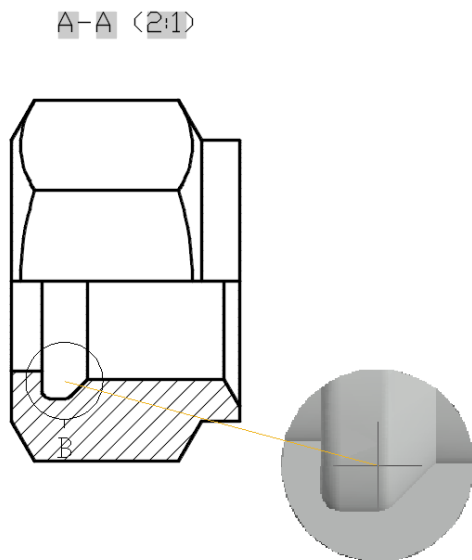


Рис. 20.17

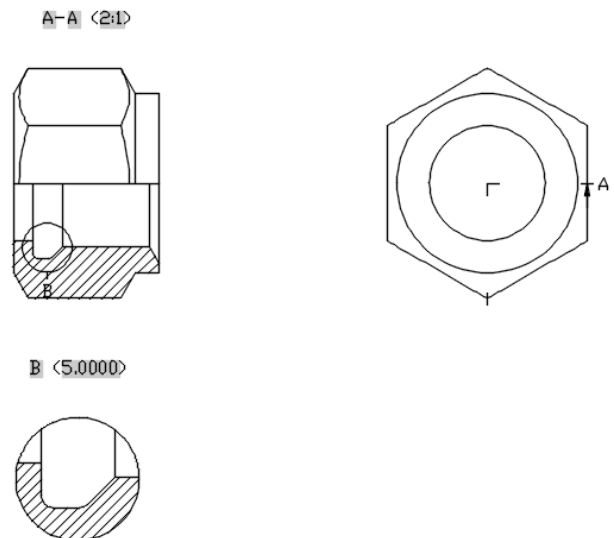


Рис. 20.18

Оформляємо край зображення виносного елемента тонкою хвилястою лінією. Для цього виконуємо подвійний клік на його вікні та обираємо варіант зображення  «Рівне з рамкою». При вимкненні автоматично створеного шару з анотаціями коло зникне разом із колом на головному виді. Зображення буде таким, як показано на рис. 20.19.

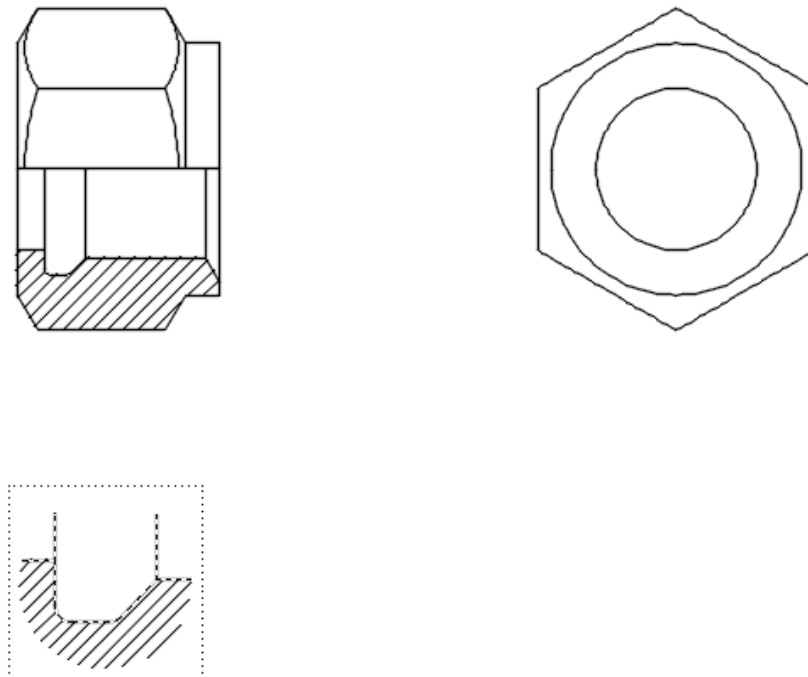


Рис. 20.19

Оформлюємо кресленик. Наносимо необхідні розміри та шорсткість. У основному написі вказуємо матеріал. Робота виконана (рис. 20.20).

Запитання для самоперевірки:

1. Який крок нарізі (великий чи малий), якщо вказаний розмір М30?
2. Як позначається нарізь на кресленнику?
3. Що таке «розмір під ключ»?
4. У відповідності до якого параметра нарізі обираються розміри проточки?
5. Як позначається шорсткість?
6. У якій графі основного напису записують матеріал, з якого виготовлена деталь?

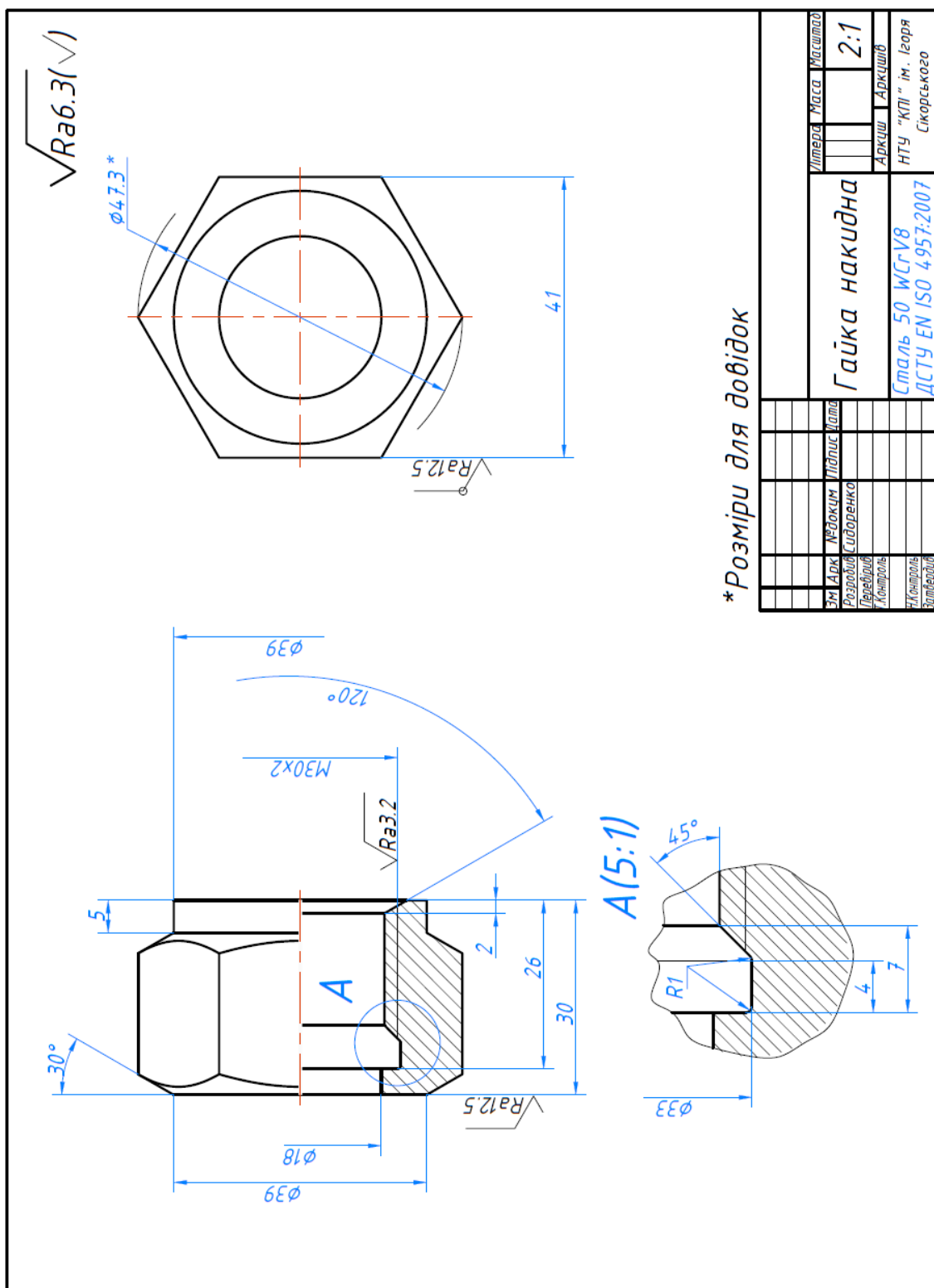


Рис. 20.20

РОЗДІЛ 21. СТВОРЕННЯ 3D МОДЕЛІ ВАЛА З ЕЛЕМЕНТАМИ ПАРАМЕТРИЗАЦІЇ. ОФОРМЛЕННЯ КРЕСЛЕНИКА ДЕТАЛІ

Розглянемо деталь «Вал», кресленик якої необхідно виконати в наступному завданні (рис. 21.1). Це рухома деталь пристрою, яка обертається в процесі роботи та передає обертальний рух іншим деталям, які на неї кріпляться, наприклад, зубчасті колеса. Кріплення цих деталей на валу виконується за допомогою шпонкових з'єднань, а в самому валу для цього виконуються шпонкові пази.



Рис. 21.1

Характерні елементи вала, що показаний на рис. 21.1, це два шпонкових паза (сегментний та призматичний), нарізь, хвостовик, буртик, галтель, центрові отвори, проточка нарізі, канавки для виходу шліфувального круга, фаски. Усі розміри цих елементів, включно з розмірами їх положення та розмірами самого вала, можуть змінюватись залежно від завдання.

Проаналізувавши форму деталі приходимо до висновку, що основну частину її 3D моделі можна виконати обертанням, з подальшим доопрацюванням форми окремих елементів (хвостовик, шпонкові пази). Плaskий контур половини осьового перерізу вала, з використанням якого буде виконуватись обертання, може бути параметризованим. Будь-які значення параметрів елементів вала можуть бути змінені у процесі побудови його моделі.

Для побудови кресленика деталі будемо використовувати уже розглянуті інструменти AutoCAD для компоновки кресленика за допомогою створеної її 3D моделі.

21.1. Виконання параметризації контуру перетину вала

Виконуємо параметризацію контуру перетину вала. Для побудови перетину використовуємо графічний примітив «полілінія». Це дозволить значно зменшити кількість точок, на яких необхідно виконати «співпадіння» при геометричній параметризації. У якості елемента скелетної конструкції використаємо вісь обертання вала. Усі розміри діаметрів елементів вала при параметризації будемо задавати відносно цієї осі значеннями радіусів. На моделі профіль нарізі не показуємо. На її місці моделюємо звичайний циліндр.

Робота виконується в наступній послідовності.

	D1	20	20
	D2	28	28
	D3	42	42
	D4	36	36
	D5	28	28
	L2	32	32
	L3	34	34
	L4	46	46
	L5	48	48
	L6	45	45
	M	20	20
	R	1	1
	R1k	0.5	0.5
	Rg	1.25	1.25
	Rk	1	1
	b	3	3
	c	2	2
	c1	2.5	2.5
	delk	0.5	0.5
	dg	3	3
	do	4	4
	fg	6	6
	lo	5	5
	z	2	2

Рис. 21.2

- За завданням габаритний розмір вала біля 200 мм. Тому створюється горизонтальна полілінія (лінію) розміром 200 мм, для якої накладається геометрична параметризація «горизонтальність» та виконується її фіксацію геометричною параметризацією Lock. Таким чином, створено елемент скелетної конструкції для 3D моделі валу.
- В «Parameters Manager» (Диспетчері параметрів) вводяться усі розміри відповідно до завдання як параметри користувача (діаметри (радіуси), довжини, параметри нарізі тощо) (рис. 21.2). Форма і розміри нарізевої проточки, канавки для виходу шліфувального круга, фаски обираються з довідкових таблиць у відповідності до завдання.
- Створюється плоский контур приблизно повторюючи форму половини осьового перетину валу. Точні розміри будуть зафіксовані в процесі параметризації. На рис. 21.3 показано плоский контур з виконанням центрального отвору. Цей технологічний елемент можна не показувати при створенні контуру, оскільки на кресленику він позначається умовно. При побудові контуру можна використовувати полілінію. Якщо в процесі креслення утворюються кілька окремих фрагментів полілінії, у точках розриву необхідно додати геометричну залежність «співпадіння». Для спрощення геометричної параметризації при побудові

контуру слід використовувати режими трекінга, режим «Ortho Mode» та дотримання значень кутів для виконання фасок.

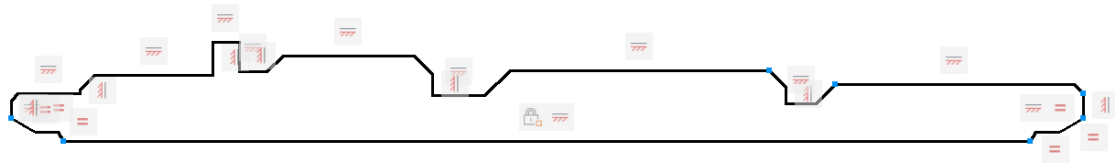


Рис. 21.3

- Перевіряється наявність точок співпадіння на усіх фрагментах контуру. Виконується геометрична параметризація. Накладаються залежності «горизонтальність» та «вертикальність» на положення усіх необхідних фрагментів (рис. 21.3). Розміри будуть уточнятись після накладання розмірної параметризації.

- Вводиться розмірна параметризація усіх кутів.
- Виконується скруглення для галтелі, в проточках та в канавках для виходу шліфувального круга. Параметризація для цих елементів застосовується, як це виконувалось для нарізевої проточки гайки накидної (задаємо співпадіння кінцевих точок дуг спряжень, вводимо геометричну параметризацію дотичності дуги спряження до сусіднього елемента контуру, виконуємо розмірну параметризацію радіусів спряжень). На рис. 21.4 показано фрагмент параметризованого контуру проточки з накладеними геометричними та розмірними залежностями.

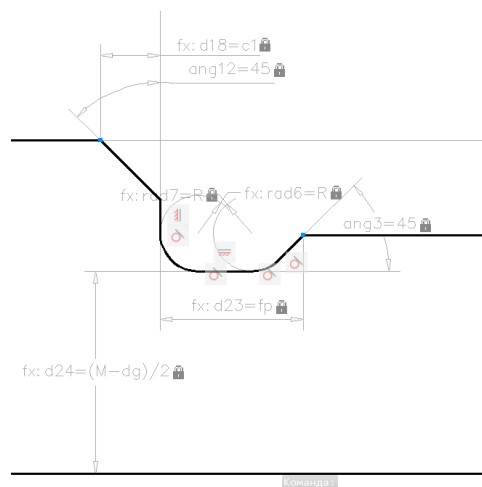
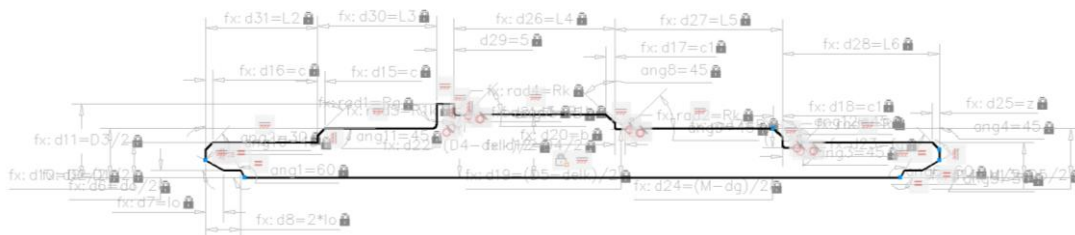


Рис. 21.4

- Розмірну параметризацію слід вводити в залежності від параметрів тувача (рис. 21.5). Тоді, щоб змінити параметри вала, достатньо вносити зміни в параметри користувача. При цьому синхронно буде змінюватись параметризований контур деталі.

 ang1	60	60	 d20	b	3
 ang10	45	45	 d21	b	3
 ang11	45	45	 d22	(D4-delk)/2	17.7
 ang12	45	45	 d23	fg	6
 ang2	30	30	 d24	(M-dg)/2	8.5
 ang3	45	45	 d25	z	2
 ang4	45	45	 d26	L4	46
 ang5	30	30	 d27	L5	48
 ang6	60	60	 d28	L6	45
 ang7	45	45	 d29	5	5
 ang8	45	45	 d30	L3	34
 ang9	45	45	 d31	L2	32
 d10	D2/2	14	 d6	do/2	2
 d11	D3/2	21	 d7	lo	5
 d12	D4/2	18	 d8	2*lo	10
 d13	D5/2	14	 d9	D1/2	10
 d14	M/2	10	 rad1	Rg	1.25
 d15	c	2	 rad2	Rk	1
 d16	c	2	 rad3	R1k	0.5
 d17	c1	2.5	 rad4	Rk	1
 d18	c1	2.5	 rad5	R1k	0.5
 d19	(D5-delk)/2	13.75	 rad6	R	1
			 rad7	R	1

Приклад параметризованого плаского контуру зображено на рис. 21.6.



421

21.2. Побудова 3D моделі вала

Будуємо 3D модель вала використовуючи створений плоский контур його перетину:

- перевіряються усі параметри для конкретного завдання вала;
- створюється копія плоского параметризованого контуру його перетину та знімається з копії уся накладена параметризація за допомогою команди  «Видалити залежності»;
- створюється область на випадок, якщо контур має розриви (рис. 21.7);



Рис. 21.7

- виконується операція «обертання». Вісь обертання співпадає з попередньо заданим горизонтальним елементом скелетної конструкції.

Після цього 3D модель вала опрацьовується. Для цього обирається зручний вид аксонометрії та перевіряється якість виконання (рис. 21.8).

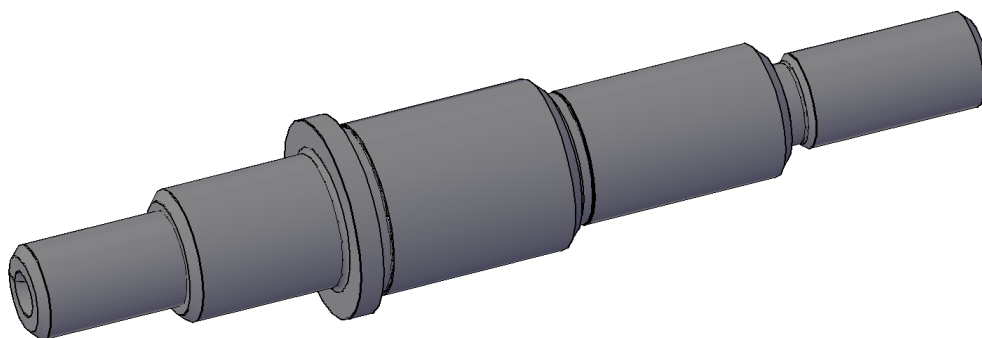


Рис. 21.8

- для створення сегментної шпонки краще вимкнути видимість 3D об'єкта обертання за допомогою команди  Isolate Objects «Приховати об'єкти» в правій нижній частині екрана та обрати вигляд зверху в екранному меню. На екрані залишається видимим плоский контур вала. Відповідно до вимог стандарту у довідковій таблиці обираються розміри паза під сегментну шпонку (діаметр фрези,

ширина та глибина паза). На цьому контурі за допомогою допоміжних побудов фіксується положення сегментної шпонки відповідно до розміру вказаному у завданні. Створюється циліндр, який імітує колесо фрези за обраними розмірами. Наприклад, розмір діаметра циліндричної частини вала, на якому розташовано сегментний паз, обирається «36», розмір діаметра фрези відповідно дорівнює «32», ширина та глибина паза – «10». Тобто, центр циліндра фіксується таким чином, щоб у вал він заглибився на максимальну відстань «10». Змінюється точка зору. Фіксується положення циліндра, як на рис. 21.9.

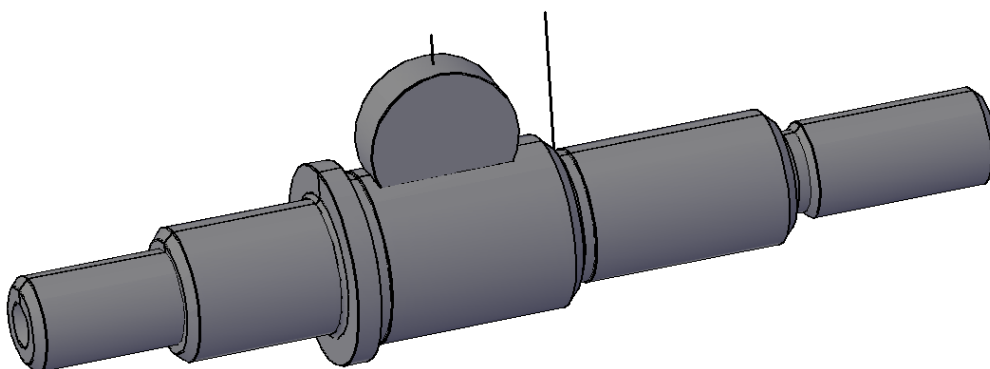


Рис. 21.9

Вмикається видимість 3D моделі вала та виконується булева операція «віднімання». Результат показано на рис. 21.10.

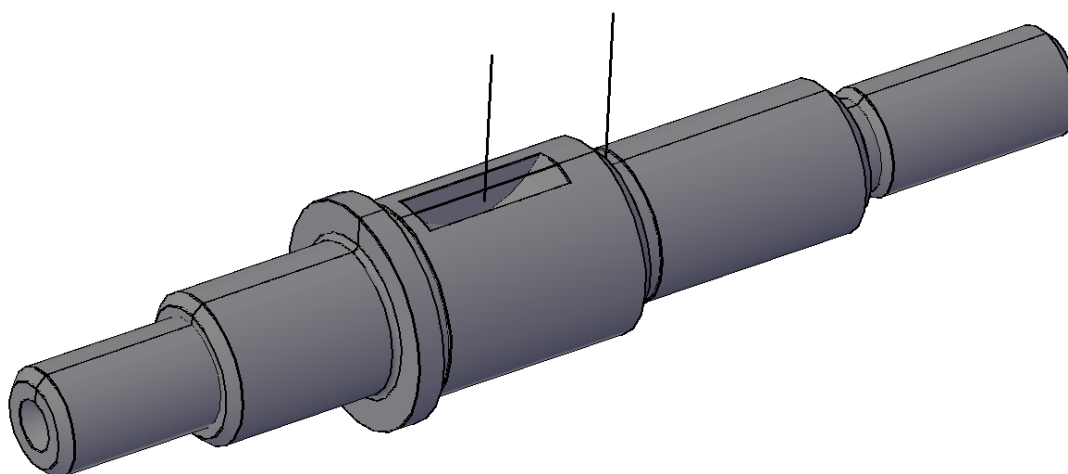


Рис. 21.10

- для виконання призматичного шпонкового пазу слід обрати його розміри відповідно до вимог стандарту. Наприклад, він виконується на циліндричній частині вала, розмір діаметра якої «28», відповідно ширина призматичної шпонки дорівнює «8», глибина «4». З ряду довжин призматичних шпонок обираємо довжину, наприклад, «32». Вмикається видимість 3D моделі та обирається вигляд зверху. Допоміжними побудовами фіксується положення призматичної шпонки на валу у відповідності до розміру вказаному у завданні. Моделюється призматична шпонка за допомогою двох циліндрів радіусом «4», відстань між центрами циліндрів «24», висота «4». Між центрами циліндрів будується «Вох», ширина якого дорівнює діаметру циліндрів, висота «4», довжина «24» та виконується булева операція «об'єднання». Змодельована шпонка позиціонується на валу. Для зручності виконання допоміжних побудов створюється обернена на 90^0 навколо осі обертання вала копія плаского контуру. Для цього переставляється система координат користувача таким чином, щоб вісь Oz сумістилась з віссю обертання вала. Виконується поворот контуру на 90^0 . Обирається вид спереду та позиціонується створена 3D модель шпонки як на показано рис. 21.11.

- вмикається видимість та виконується булева операція «віднімання». Результат показано на рис. 21.12.

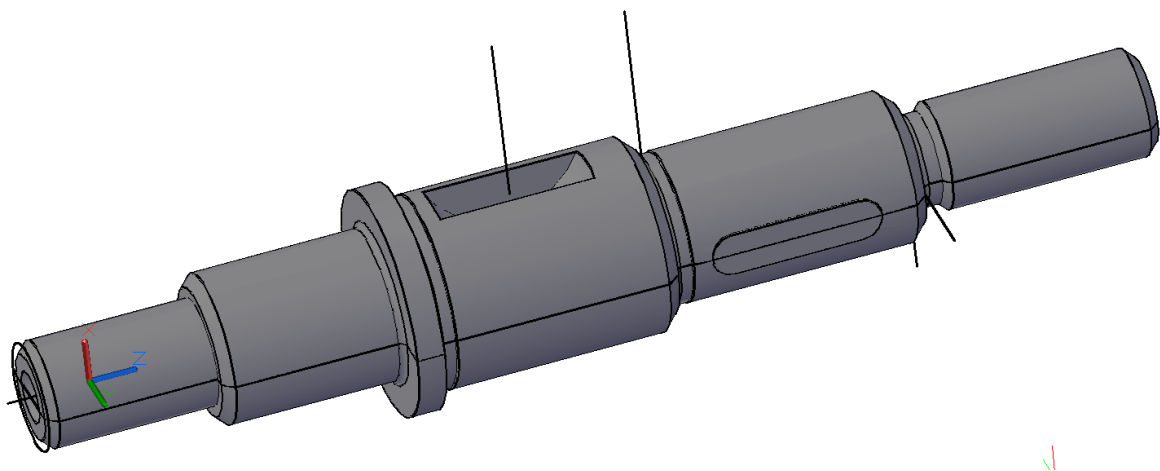


Рис. 21.11

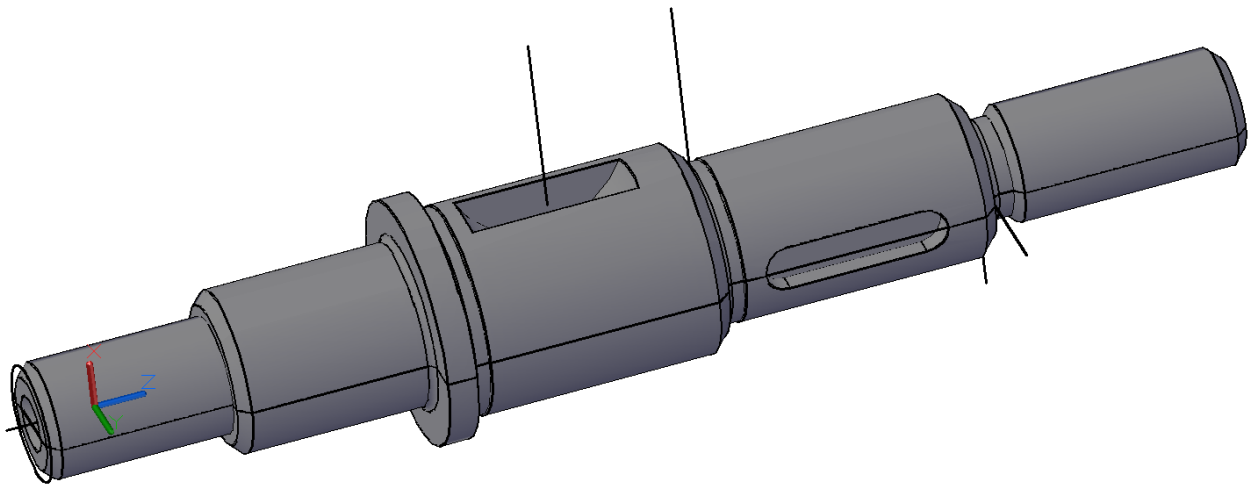


Рис. 21.12

- виконується хвостовик. Діаметр частини вала, на якому виконується хвостовик, дорівнює, наприклад, «20». Усі розміри хвостовика за цим розміром діаметра обираються відповідно до вимог стандарту. Сторона квадрата $a = 16$ мм, довжина лиски $h = 20$ мм. Вимикається видимість 3D моделі вала та виконуються допоміжні побудови для створення лисок. Переставляється система координат користувача так, щоб вісь Oz сумістилась з віссю обертання вала. В початковій точці осі вала будується коло діаметром «20», що відповідає діаметру вала, де виконуються лиски. Знаходиться радіус описаного кола навколо квадрата зі стороною «а», для цього «а» необхідно поділити на корінь з «2». Отримане значення – «11.3». Будується правильний чотирикутник вписаний в коло радіусом «11.3». При необхідності, чотирикутник повертається як показано на рис. 21.13. За допомогою отриманих додаткових точок будується паралелепіпед (Box) висотою 20. Створюється масив із чотирьох паралелепіпедів (Box).

- перевіряється, щоб створеним масив не був асоціативним та виконується булева операція «віднімання». Отриманий результат показано на рис. 21.14.

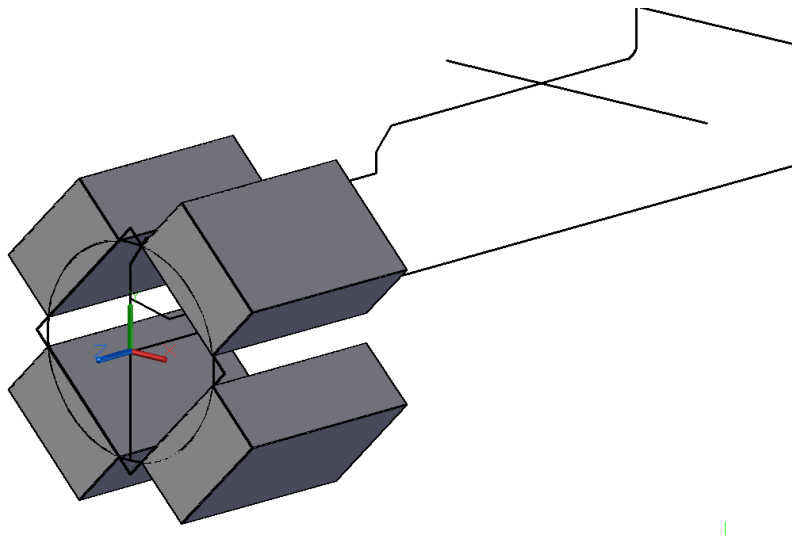


Рис. 21.13

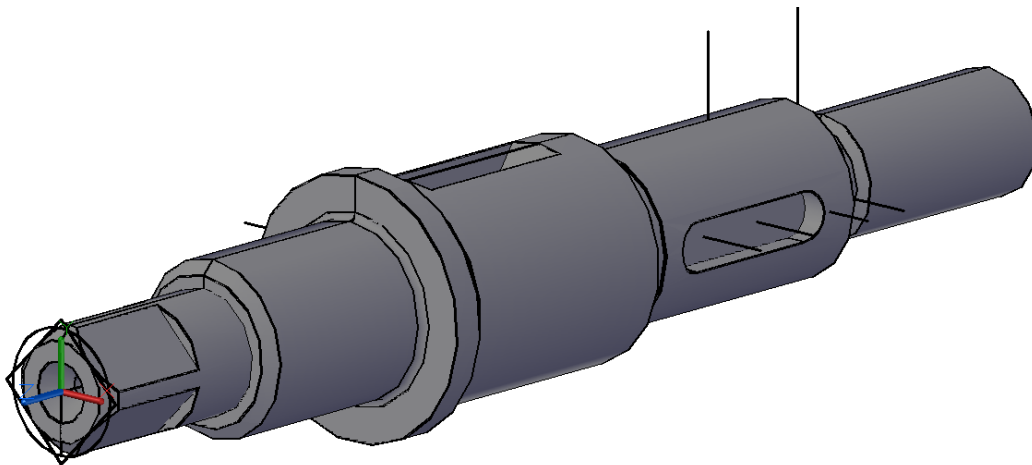


Рис. 21.14

21.3. Побудова кресленика вала

Компонується кресленик:

- вид спереду необхідно обрати так, щоб призматичний шпонковий паз був розвернутий на користувача, а сегментний – вгорі. При необхідності повертаємо модель вала у просторі моделі.
- активується лист, на якому буде виконуватись кресленик за допомогою команди «Base>From Model Space» (Вид-Базовий- З простору моделі);
- обирається вид спереду (головний вид), масштаб, встановлюємо режим «Лише видимі лінії»;

Деталь типу вал зображається на кресленнику лише одним головним виглядом. Форма елементів валу розкривається за допомогою місцевих розрізів, перерізів та виносних елементів.

- будуються перерізи. Для цього можна зробити допоміжні побудови для зручного задання положення січних площин. На вкладці «Layout» і обирається «Section» (рис. 21.15). У відповідь на запити вказується батьківський вид, за яким будується розріз, точки, що задають січну площину, та напрямок погляду. Розріз будується у проєкційному зв'язку з деталлю. Для перетворення розрізу у переріз виконується подвійний клік на вікні утвореного розрізу і в панелі роботи з розрізами змінюється команда «Full» на «Section» (рис. 21.16).

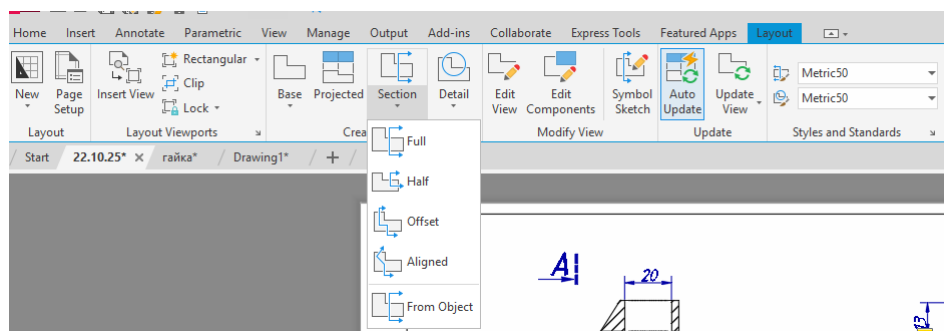


Рис. 21.15

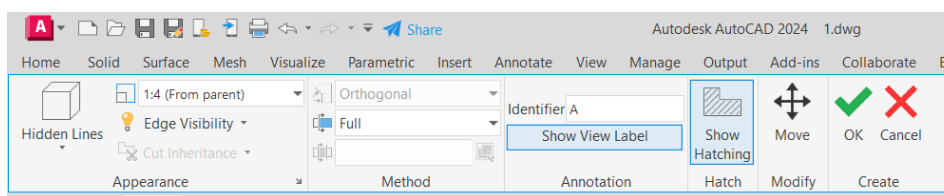


Рис. 21.16

- за допомогою вікна швидких властивостей змінюється тип вирівнювання на «Broken» (без вирівнювання) (рис. 21.16), що дозволяє розірвати проєкційні зв'язки та помістити переріз у необхідне місце формату. Переріз хвостовика розміщується у проєкційній залежності. Відповідно він не позначається. Ще два перерізи, що виконані січними площинами, що проходять через середини сегментного та призматичного шпонкових пазів, виносяться на вільне місце формату та позначаються відповідно до вимог до стандарту.

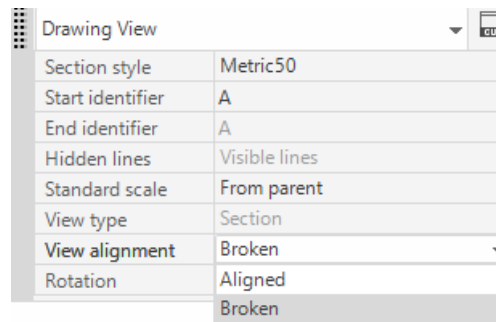


Рис. 21.17

Оформляємо кресленик. Результати роботи показано на рис. 21.18.

Запитання для самоперевірки

1. Що таке шпонковий паз і для чого він використовується? Які є види шпонкових пазів?
2. Як обирають розміри шпонкового пазу?
3. Для чого використовуються центрові отвори? Як вони позначаються на кресленнику?
4. Як виконуються лиски на хвостовику 3D моделі валу засобами AutoCAD?
5. Як обираються розміри канавки для виходу шліфувального круга?
6. Чим відрізняється розріз від перерізу?

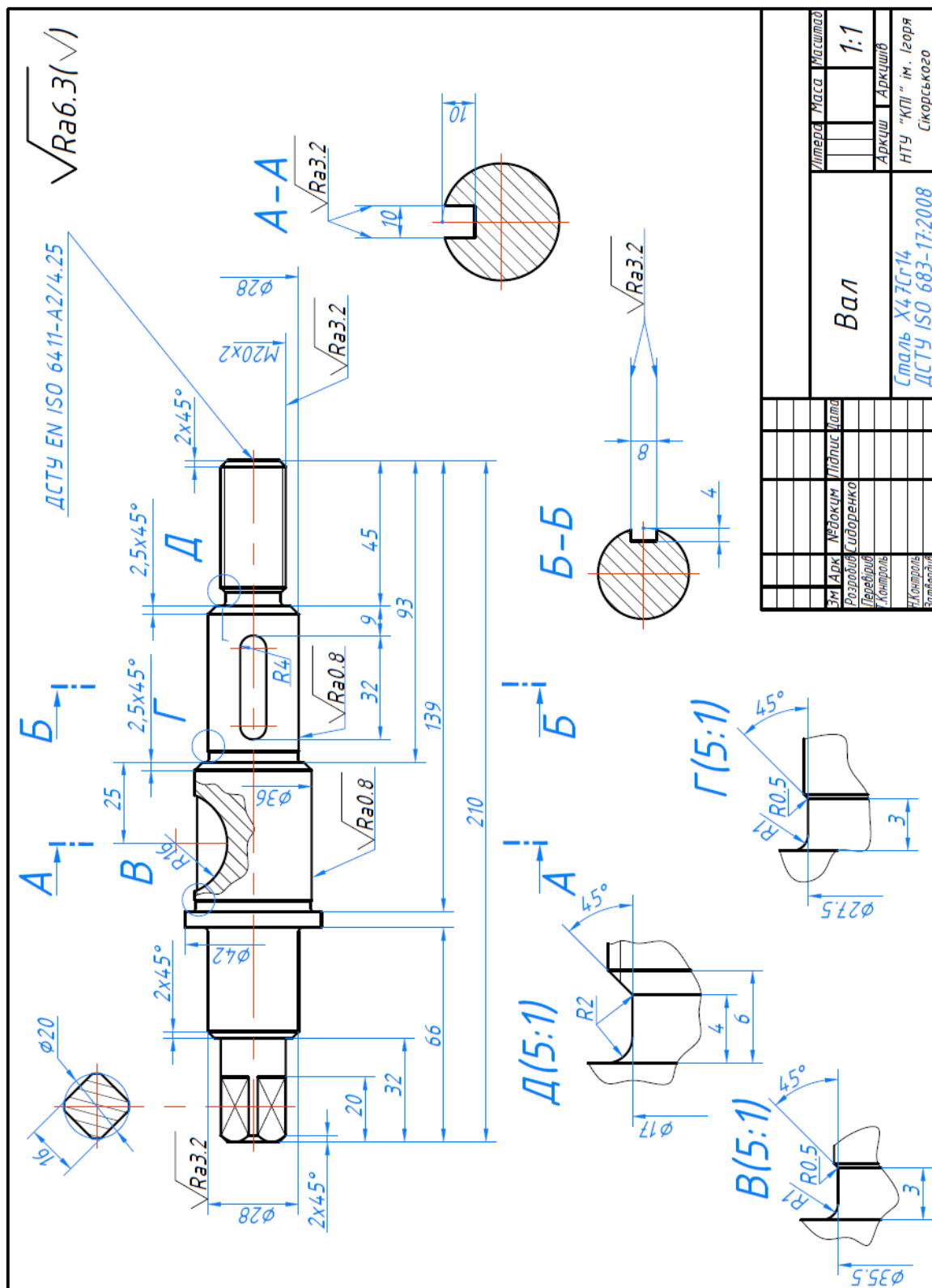


Рис. 21.18

РОЗДІЛ 22. СКЛАДАЛЬНИЙ КРЕСЛЕНИК

22.1. Складальний кресленик пристрою з нарізевими з'єднаннями

На складальному кресленнику відображається пристрій у зібраному вигляді. Правила оформлення складального кресленика нормуються відповідними стандартами. Компоненти пристрою повинні бути певним чином скріплені між собою. Одним із варіантів є з'єднання за допомогою кріпильних елементів.

Розглянемо 3D модель складаної одиниці, складальний кресленик якої необхідно виконати. На рис. 22.1 зображено пристрій у зібраному вигляді.

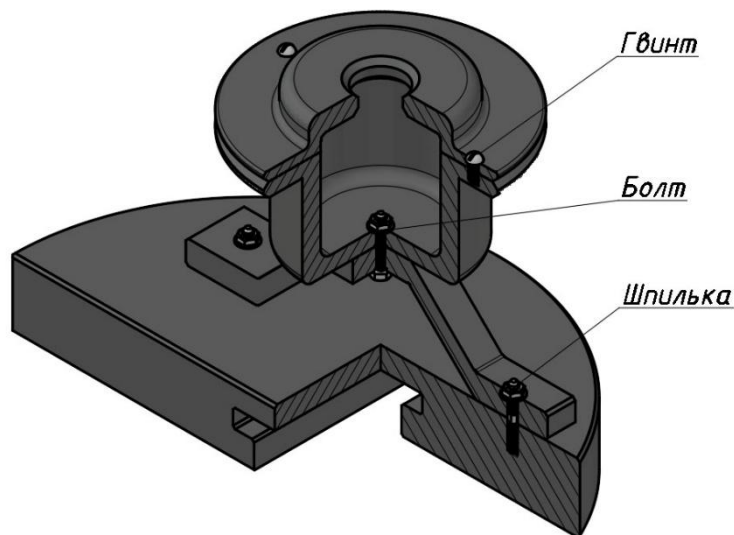


Рис. 22.1

Для візуалізації усіх внутрішніх з'єднань на рис. 22.1 складанну одиницю показано з вирізаною четвертиною. Бачимо, що використано три варіанти з'єднань кріпильними елементами: гвинтом, болтом та шпилькою. За рекомендацією стандарту ДСТУ ISO 6410-2 зображення деталей з наріззю на складальному кресленнику виконуються у спрощеному вигляді. Це дозволяє спростити побудову складального кресленика та його сприйняття при виконанні операції складання.

Для виконання завдання надається параметризоване зображення пристрою, яке змінюється відповідно до введених параметрів. Складанна одиниця містить такі деталі. Основу, на якій закріплено опору за допомогою двох з'єднань шпилькою.

В основі є асиметричний паз для переміщення пристрою у процесі його застосування. На опорі кріпиться контейнер за допомогою з'єднання болтом. Накривка контейнера закріплена двома гвинтами. Вид гвинта вказується у завданні. За допомогою диспетчера параметрів можна змінювати такі параметри зображення складаної одиниці: номінальний діаметр нарізі кріпильного елемента – M1 (для болта і шпильки), M2 (для гвинта), а також висоти основ компонентів складаної одиниці H1, H2, H3, що автоматично призводить до динамічної зміни зображення (рис. 22.2).

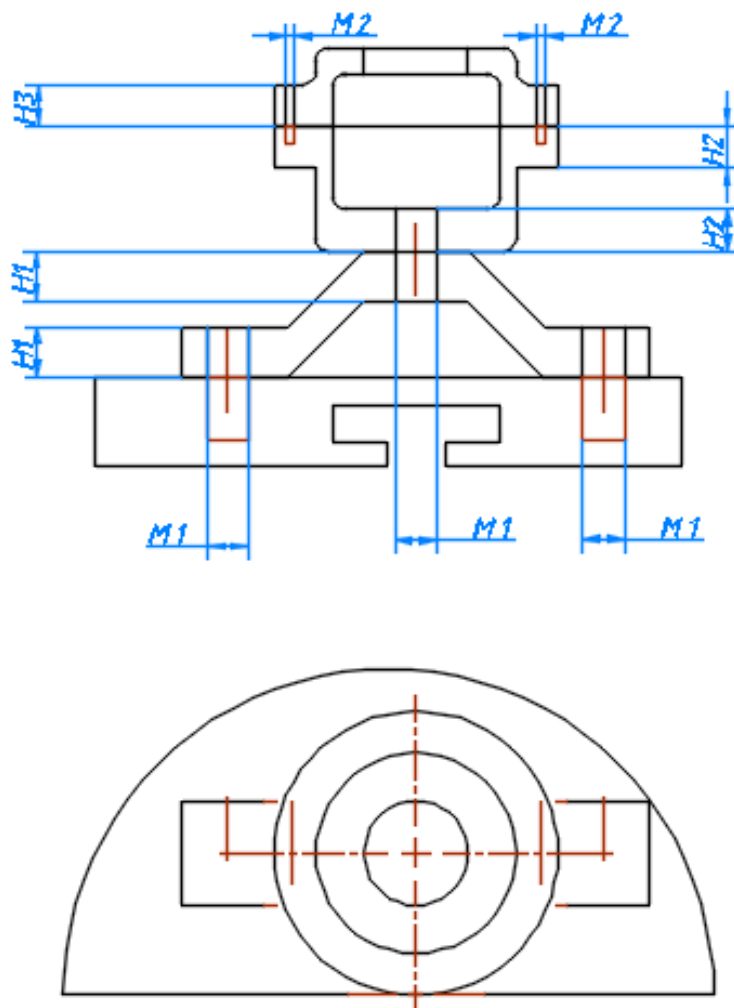


Рис. 22.2

Також задаються кріпильні елементи, їх номінальні діаметри нарізі, кроки нарізі, параметри класу міцності, матеріал, з якого виготовлена платформа, для розрахунку розмірів шпильки.

Завдання виконується за наступним алгоритмом:

- завантажується файл умови завдання (посилання);
- відповідно до заданих параметрів коректується умова;
- створюються динамічні блоки для болта, шпильки, гвинта, гайки і шайби,

зображення яких виконуються спрощено;

- створені динамічні блоки вставляються у відповідні отвори складанної одиниці;

- виконується специфікація;

- оформлюється складальний кресленик (будується зображення пристрою на виді зліва, виконуються доцільні розрізи, наносяться розміри, номери позицій, заповнюється основний напис тощо).

22.1.1. Застосування динамічних блоків для створення спрощених зображень кріпильних елементів

Розглянемо створення динамічного блоку шпильки [9]. Для створення динамічного блоку спочатку формуємо звичайний блок. Для цього у шарі з суцільною товстою лінією креслиться прямокутник розміром 20 x 10, що приблизно відповідає реальному розміру елемента шпильки. На основі цього прямокутника створюється новий блок з назвою «Шпилька» за допомогою команд (піктограма ) на панелі «Block» вкладки «Home» або панелі «Block definition» вкладки «Insert».

У редакторі блоків, який відкривається за допомогою піктограми , у вікні (рис. 22.3) обирається ім'я уже створеного блоку «Шпилька», який необхідно відредагувати.

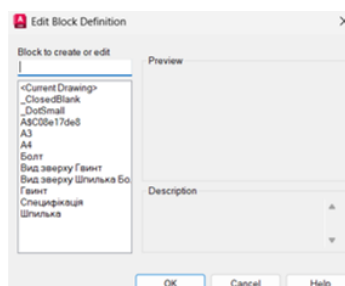


Рис. 22.3

Виконується параметризація елементів блоку накладанням геометричних та розмірних залежностей з панелей «Geometric» та «Dimensional» панелі редактора блоків (рис. 22.4). Слід зауважити, що для створення динамічних блоків застосовують саме цю панель параметризації, а не вкладку «Parametric».

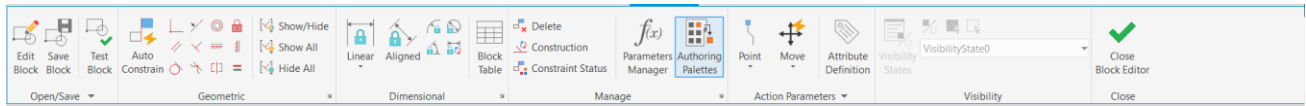


Рис. 22.4

За допомогою вкладки редактора блоків застосовується геометрична параметризація: накладаються геометричні залежності горизонтального та вертикального положення сторін прямокутника (рис. 22.5).



Рис. 22.5

З параметризованих прямокутників з використанням залежності «суміщення» збирають спрощене зображення з'єднання кріпильним елементом (шпилькою). На кожному етапі додаються необхідні геометричні та розмірні залежності. При цьому слід врахувати, що внутрішній діаметр нарізі на стрижні зображається тонкою лінією.

Спрощене зображення шпильки розраховується за заданим номінальним діаметром нарізі на її стрижні. При побудові спрощеного параметризованого зображення шпильки застосовують параметри користувача, за якими обраховуються розмірні залежності її елементів:

- d – номінальний діаметр нарізі стрижня шпильки;
- p – крок нарізі стрижня шпильки;

- k_{Mat} – коефіцієнт матеріалу основи (для обчислення довжини кінця шпильки зануреного в основу);
- $H1$ – висота елемента опори, який закріплюється шпилькою;
- $pravka$ – значення параметра обирається так, щоб при розрахунку довжини шпильки l розмір відповідав ряду нормальних довжин;
- довжина стрижня без тієї частини, що занурюється в матеріал основи,
 $-l = H1 + 1.3*d + pravka$;
- довжина тієї частини стрижня шпильки, що занурюється в матеріал основи
 $-l_1 = k_{Mat}*d$;

Розмірні параметри наступні:

- діаметр шайби – $2.2*d$, висота шайби – $0.15*d$;
- діаметр кола, описаного навколо гайки – $2*d$, висота гайки – $0.8*d$.

Усі інші розмірні параметрами є похідними від вказаних.

Параметри користувача заповнюють у диспетчері параметрів (рис. 22.6).

 H1	15	15
 d	10	10
 kmat	1.25	1.25
 l	$H1+1.3*d+pravka$	28
 l1	$kMat*d$	12.5
 p	1	1
 pravka	0	0

Рис. 22.6

За допомогою попередньо параметризованого прямокутника виконують зображення шайби. Доповнюють його параметри розмірними залежностями. Застосовують геометричну параметризацію «Fix» для фіксації середини нижньої сторони прямокутника. За допомогою цієї точки блок закріплюється при подальшій параметризації. Цю ж точку зручно використати як точку вставки блоку. При цьому застосовують команду «Basepoint» панелі показаної на рис. 22.7, що відкривається піктограмою.

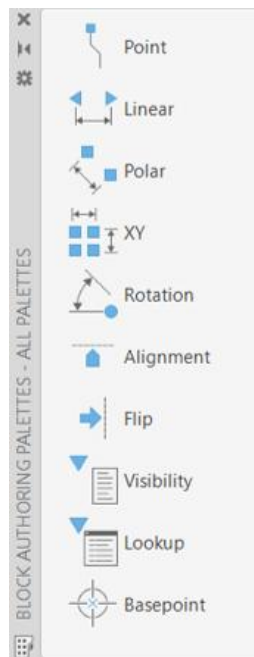


Рис. 22.7

У результаті параметризоване зображення шайби має вигляд як показано на рис. 22.8.

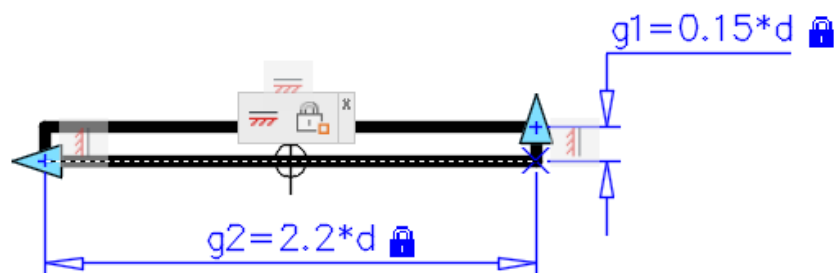


Рис. 22.8

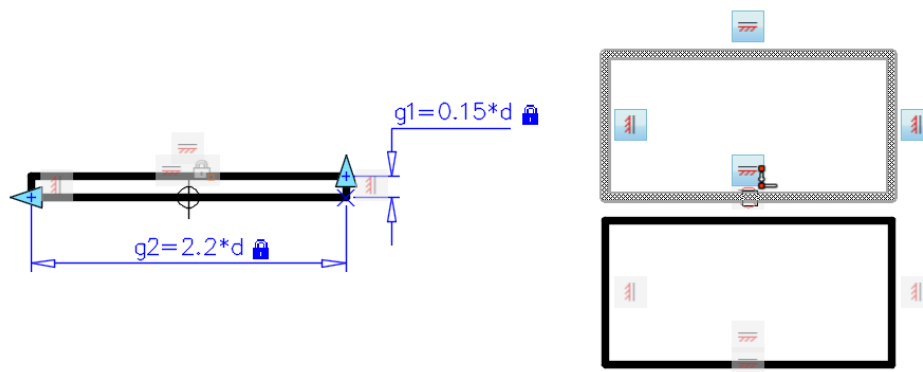


Рис. 22.9

За допомогою геометричної параметризації «суміщення» з'єднують інші прямокутники, моделюючи окремі елементи з'єднань. Спочатку вказують точку приєднання. Наприклад, для параметризованого зображення гайки – це середина верхньої сторони прямокутника шайби. Другою точкою вказують середину нижньої сторони одного з параметризованих прямокутників (рис. 22.9). Це дозволяє будувати зв'язану геометричними залежностями модель спрощеного зображення з'єднання одразу.

Вводять розмірну залежність для наступного прямокутника, що під'єднується.

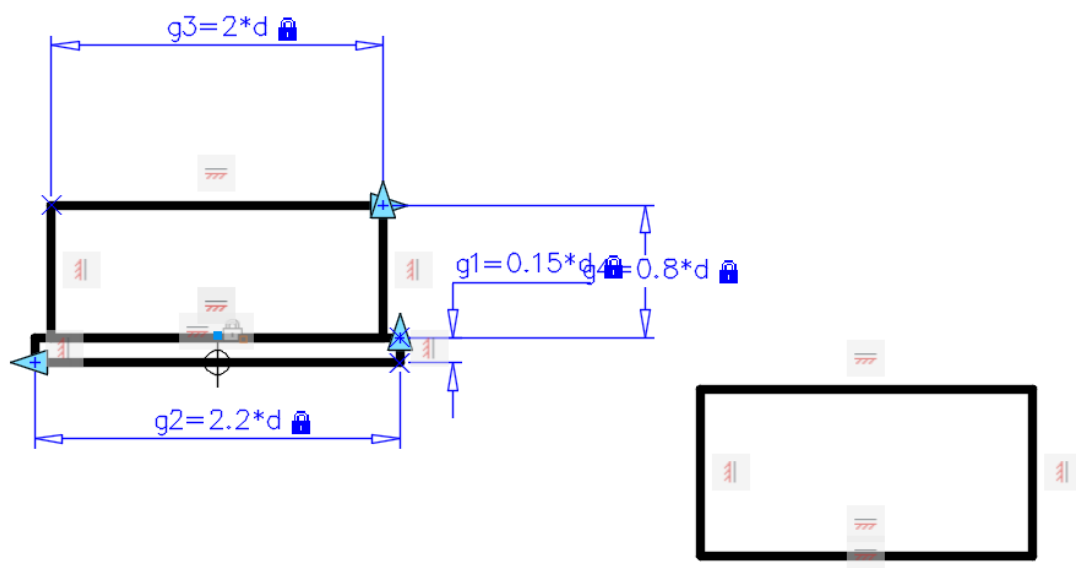


Рис. 22.10

Застосовуючи «суміщення», продовжують додавати параметризовані прямокутники. Для кожного прямокутника накладають розмірну залежність, що забезпечує дотримання розмірів відповідних елементів з'єднання. Замість деяких розмірних залежностей можна використовувати геометричні залежності. Наприклад, можна застосовувати залежність «рівність», якщо такий розмір уже присутній (рис. 22.11 – рис. 22.13).

Нарізь зображається тонкою лінією, тому відповідний прямокутник переносять у шар суцільної тонкої лінії (рис. 22.14).

Завершене параметризоване зображення шпильки показано на рис. 22.15.

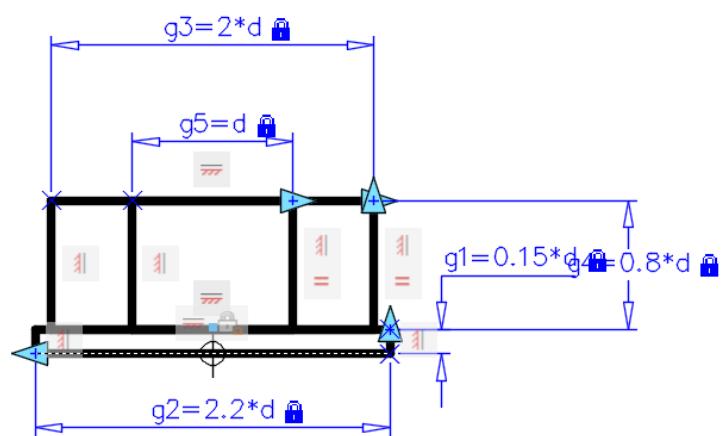


Рис. 22.11

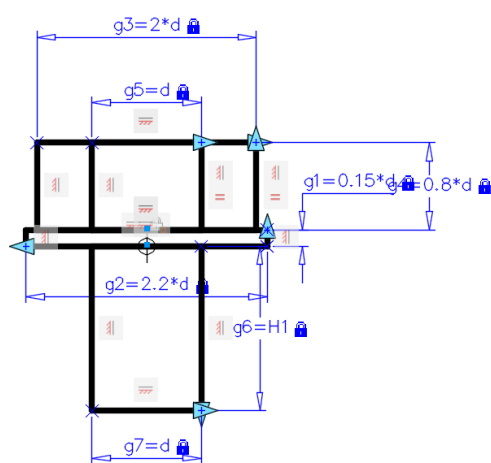


Рис. 22.12

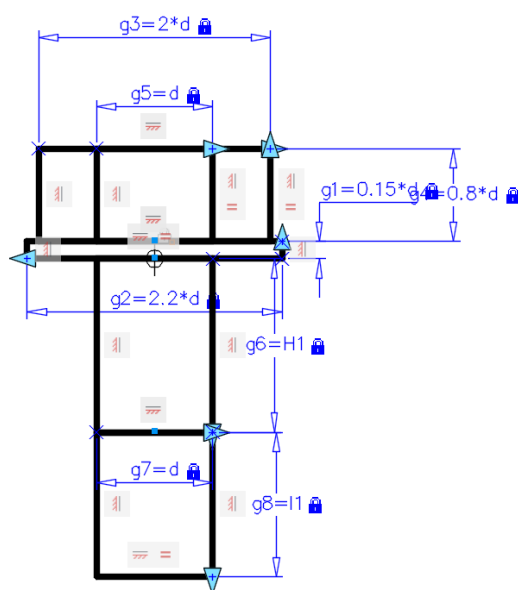


Рис. 22.13

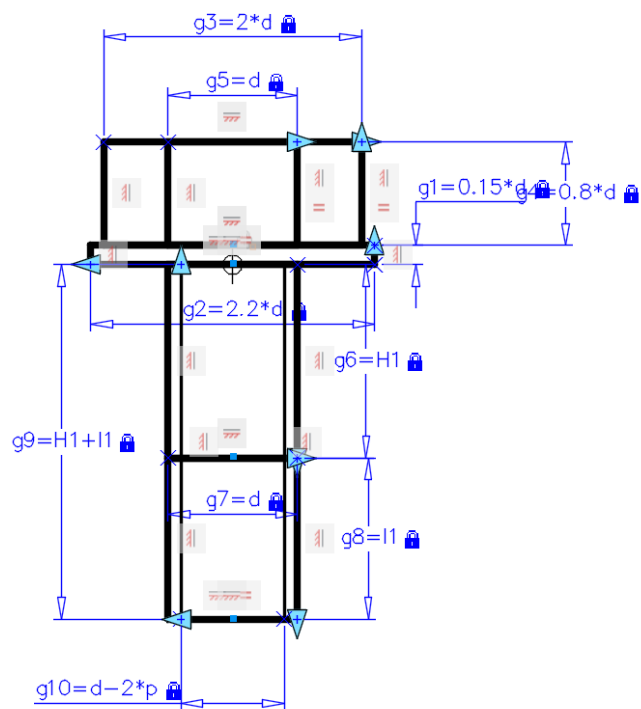


Рис. 22.14

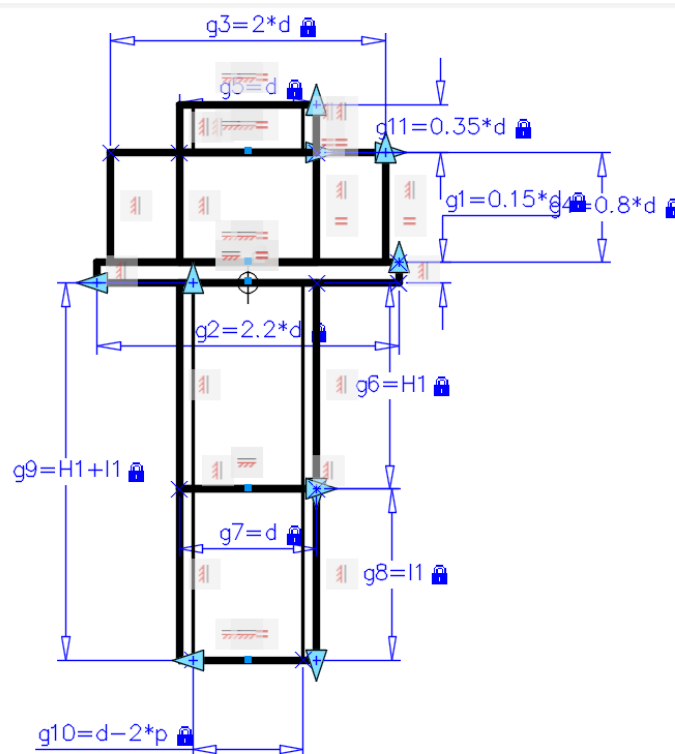


Рис. 22.15

Тестується блок у редакторі блоків (піктограма  на панелі редактора блоків).
За допомогою вікна швидких властивостей можна спробувати змінити деякі

параметри і подивитись чи коректно змінюється динамічний блок. На рис. 22.16 у вікні швидких властивостей відображено усі параметри параметризованого блоку.

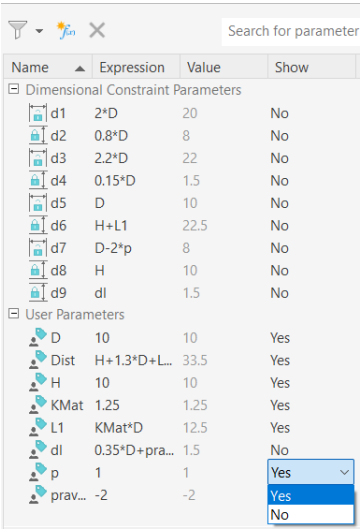


Рис. 22.16

Для того, щоб залишити лише потрібні параметри, у диспетчері параметрів перемикають «Show» в значення «No» (рис. 22.16). Залишаються видимими тільки параметри d, p, H1, kMat, pravka, оскільки усі інші значення розмірів уведені у формульну залежність від них. Також можна залишити довжину виробу «l», для уточнення відповідності цього значення ряду нормальних довжин. Сторінка тестування блока закривається аналогічно закриттю окремого файла.

При необхідності, створюють таблицю параметрів блоку та заповнюють в ній необхідні значення. За цією таблицею зручно обирати потрібні значення розмірів кріпильного елемента.

Додати таку таблицю можна за допомогою відповідної команди (піктограма  панелі редактора блоків). Вказуємо на блоці точку прив'язки до блоку та кількість ручок (1 приймаємо за замовчуванням). Для зручності роботи точку прив'язки таблиці краще не суміщати з точкою вставки блоку.

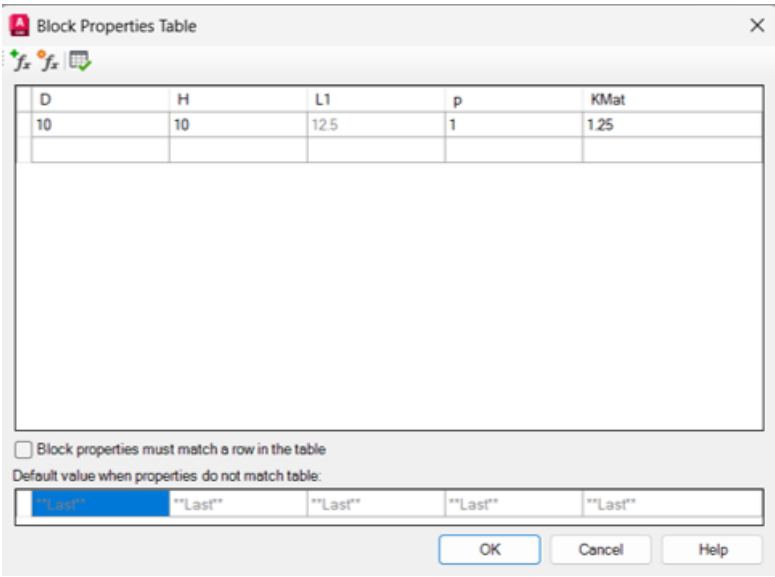
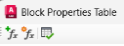


Рис. 22.17

За допомогою піктограм  у вікні таблиці можна заносити у таблицю уже існуючі параметри або вказувати нові. Якщо уведено не правильний параметр, його можна видалити з таблиці та задати потрібний.

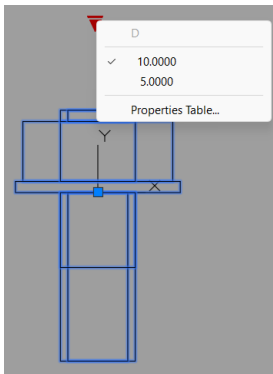


Рис. 22.18

Переносимо у таблицю необхідні параметри та заповнюємо їх значення. Тоді при вставці блоку за стрілкою, що показує наявність таблиці параметрів, можна обрати необхідне значення, що відображається у першому стовбчику (рис. 22.18.), або розкрити таблицю повністю для перегляду за допомогою пункту меню Properties Table (рис. 22.19).

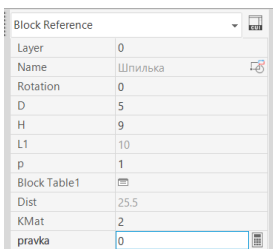


Рис. 22.19

Альтернативою є використання вікна швидких властивостей, але усі значення там змінюються у ручному режимі.

Після усіх налаштувань блок зберігають та закривають редактор блоків.

Створений параметризований блок вставляють і відповідний отвір на зображенні складанної одиниці.

Інші блоки виконуються аналогічно за вище вказаним алгоритмом. Для виконання спрощеного зображення з'єднання болтом можна використати параметризований блок шпильки з наступним його редагуванням.

В результаті отримуємо такі блоки: з'єднання шпилькою, гвинтом, болтом та зображення виду зверху для відповідних елементів цих з'єднань (рис. 22.20).

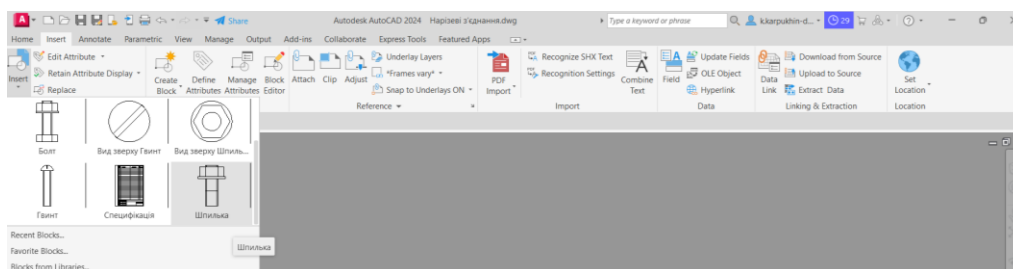


Рис. 22.20

За допомогою піктограми «Tool Properties»  панелі «View» (рис. 22.21) можна ознайомитись із зображеннями кріпильних елементів також виконаних у вигляді динамічних блоків у бібліотеці AutoCAD.

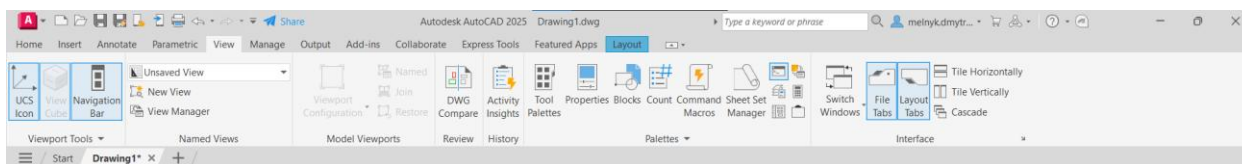


Рис. 22.21

Видалити непотрібні блоки з поточного кресленика можна за допомогою команди  («очистити») з меню «Drawing Utilites» (рис. 22.22), що відкривається за піктограмою  в лівій верхній частині екрана.

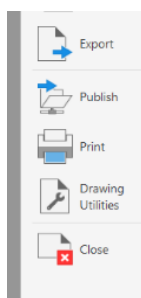


Рис. 22.22

22.1.2. Оформлення складального кресленика

Спочатку будують вигляд зліва, на якому виконують повний розріз.

Для цього зручно застосовувати трекінг з використанням переходу через сталу креслення. Розглянемо алгоритм такої побудови. Для фіксації точок за допомогою сталої креслення необхідно активувати прив'язки, трекінг, зручно також увімкнута обмеження кутів або орто – режим (рис. 22.23). Прив'язки слід залишати лише ті, які необхідні ситуативно. Проводять сталу креслення під кутом 45^0 , як зображено на рис. 22.24.



Рис. 22.23

Для проведення осі симетрії контейнера на вигляді зліва за допомогою сталої креслення використовують трекінг з прив'язкою до центра контейнера на вигляді зверху. В режимі креслення прямої (Line) при наближенні до сталої креслення

натискають Ctrl + права кнопка миші та обирають з меню «Temporary track point» (точка відстежування). Фіксують цю точку кліком на сталій кресленика, що дозволяє «перейти» через нею під кутом 90⁰ (рис. 22.24, рис. 22.25). Вказують кліком на екрані точки осі симетрії.

Контейнер деталь утворена поверхнями обертання. Тому на вид зліва можна скопіювати його зображення з головного виду. При цьому у розріз не повинні потрапити з'єднання гвинтами, тому їх слід прибрати.

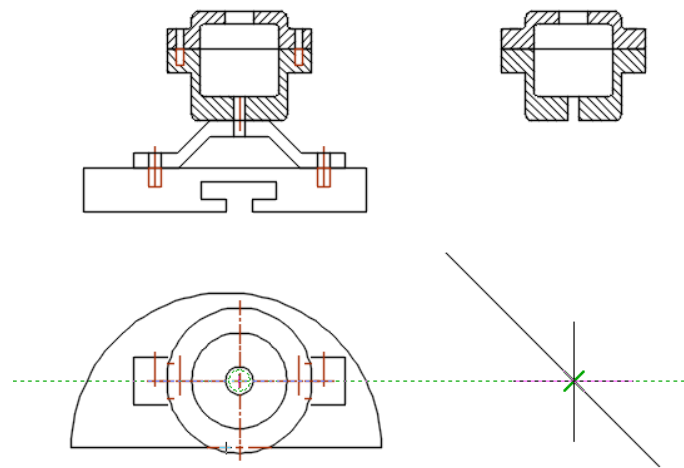


Рис. 22.24

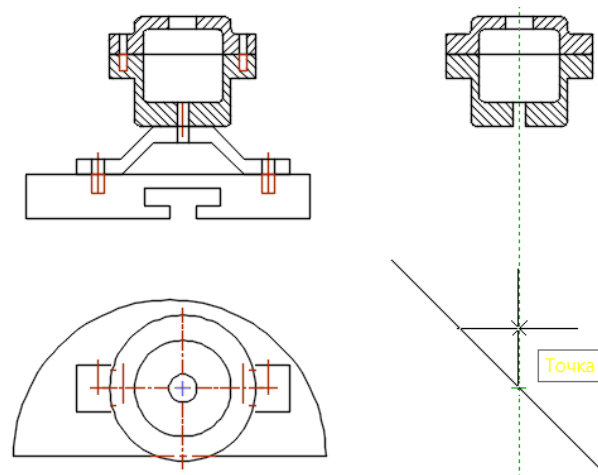
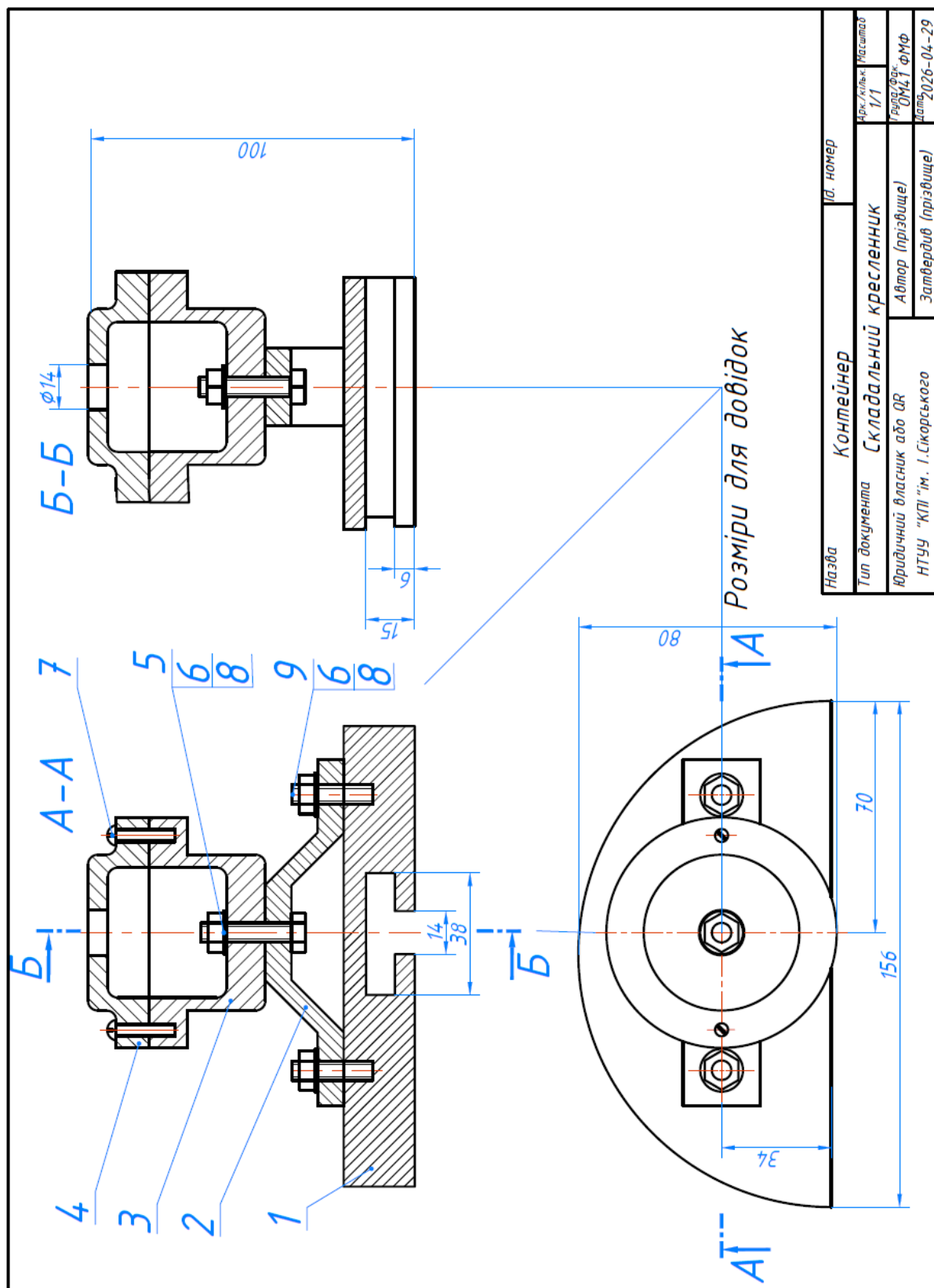


Рис. 22.25

Аналогічно будують усі інші елементи зображення розрізу.

Додають у зображення складанної одиниці динамічні блоки гвинтів, шпильки та болта. Наносять необхідні розміри (рис. 22.26) тощо. Оформлюють кресленик.



Назва	Контейнер	Ід. номер	Арх. кресл.	Масштаб
Тип документа	Складальний креслення		1/1	
Юридичний власник або ОР	Автор (прізвище)		Група ФСК	ММТ
НТУУ "КПІ" ім. І.Сікорського	Затвердив (прізвище)		Дата	2026-04-29

Рис. 22.26

Виконують специфікацію (рис. 22.27).

[illegible]

Рис. 22.27

Переносять номери позицій на складальний кресленик. Заповнюють основний напис. Робота виконана.

22.2. Виконання складального кресленника пристрою з нерознімними з'єднаннями

До нерознімних з'єднань відносяться з'єднання паянням, склеюванням, зварюванням тощо.

Вимоги до зварювання та паяння регламентуються відповідними стандартами (ДСТУ ISO 2553, ДСТУ ISO 4063, ін.).

Як було зазначено в розділі 12, символ, що позначає зварний шов, розташовується на суцільній чи штриховій лінії-виносці залежно від того на який бік шва вказує стрілка. При виконанні даного завдання використовується позначка зварювання і кутовий вид зварного шва. Тобто вигляд позначки буде таким як показано на рис. 12.5.

Оскільки до параметрів шва виконаного пайкою не буде застосовуватись ніяких додаткових вимог, його символічна позначка буде спрощеною і такою як показано на рис. 12.9.

Позначка шва виконаного склеюванням регламентована стандартом ДСТУ EN ISO 15785. Оскільки з'єднання виконується по усій поверхні з'єднаних деталей, то використовуємо символ для позначки шва як показано на рис. 12.10.

Для виконання даної роботи використовується пласка деталь, що виконувалась у темі «Спряження». На її основі буде створено тривимірну модель (рис. 22.28), яка буде використана як складання одиниця для демонстрації різних типів нерознімних з'єднань зварюванням, пайкою і склеюванням. У процесі роботи необхідно буде виконати специфікацію та кресленик складальної одиниці.

Складання одиниця має складатись з наступних деталей:

- основа, з отворами під гільзи;
- дві гільзи;
- фіксатор;
- гумова прокладка;
- чотири напрямні пальці.

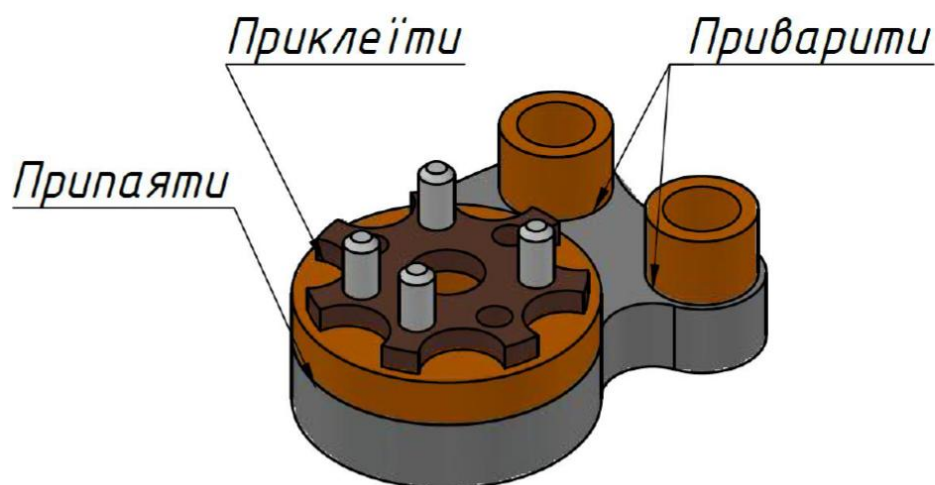


Рис. 22.28

Розміри деталей та умови виконання швів нероз'ємних з'єднань задано у таблиці варіантів (<https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=3362>). Додаткова інформація:

1. основа, висота деталі 30 мм;
2. фіксатор, висота деталі 20 мм;
3. гільза, висота деталі 30 мм;
4. палець, висота деталі 80 мм. Палець заглиблюється в основу на 25 мм;
5. прокладка, висота деталі 10 мм.

Гільзи з'єднуються з основою зварюванням. Шов по замкненому контуру, катет шва 3.

Фіксатор приєднується до основи пайкою.

Гумова прокладка приклеюється до фіксатора.

Для з'єднання з іншими елементами пристрою використані 4 напрямні пальці, які проходять частково або повністю через гумову прокладку, фіксатор та основу.

Будується 3D модель складанної одиниці. Для цього виконується певна підготовча робота. Плоска деталь роз'єднується на окремі геометричні елементи, за допомогою яких будуть утворені окремі деталі складанної одиниці. На цих геометричних елементах створюються області (рис. 22.29) та виконується операція виштовхування. Отримуються компоненти складанної одиниці. Основа містить три наскрізні отвори та шість менших глухих отворів для встановлення напрямних пальців. Для створення наскрізних отворів на геометричних елементах основи

виконуються області та застосовується булева операція «віднімання». Наступним кроком створюється модель основи виштовхуванням на висоту 30 мм. Глухі отвори можна виконати за допомогою застосування базових форм та використання булевих операцій «віднімання». Можна також застосувати команду «витягування»  «Press\Pull», що знаходиться на вкладці «Home» панелі «Modeling» в режимі «3D modeling». Для цього використовують контури отворів, які можна скопіювати на верхню поверхню основи як показано на рис. 22.29. Наступним кроком обирають команду  та вказують точку в середині одного з контурів отвору. У командному рядку погоджуються продовжити обрання і обирають точки в середині усіх контурів отворів. На останньому етапі задається висота виштовхування або значення вдавлення в об'єкт – «-25 мм». Точку обрання слід вказувати у середині контуру, а не на контурі, інакше будуть створені 3D об'єкти як при виштовхуванні.

Фіксатор та гумова прокладка мають 6 наскрізних отворів. Вони виконуються виштовхуванням з використанням підготовлених областей. Фіксатор виштовхується на висоту 20 мм, гільза – на висоту 30 мм, гумова прокладка – на висоту 10 мм.

За допомогою малих кіл створюються напрямні пальці висотою 80 мм. На верхній і нижній частині напрямного пальця виконуються фаски розміром 3x45°.

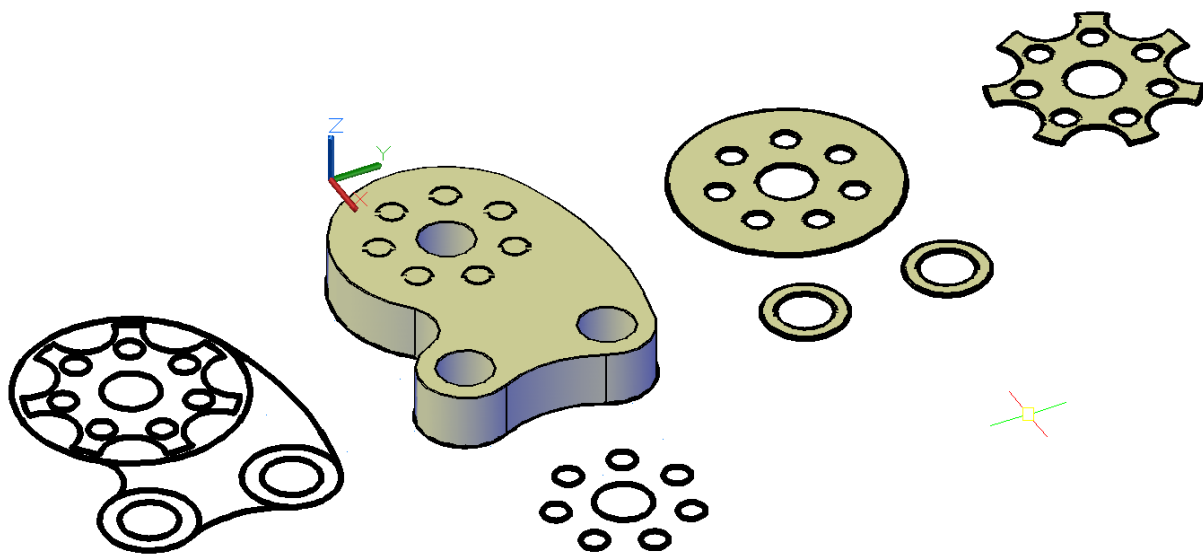


Рис. 22.29

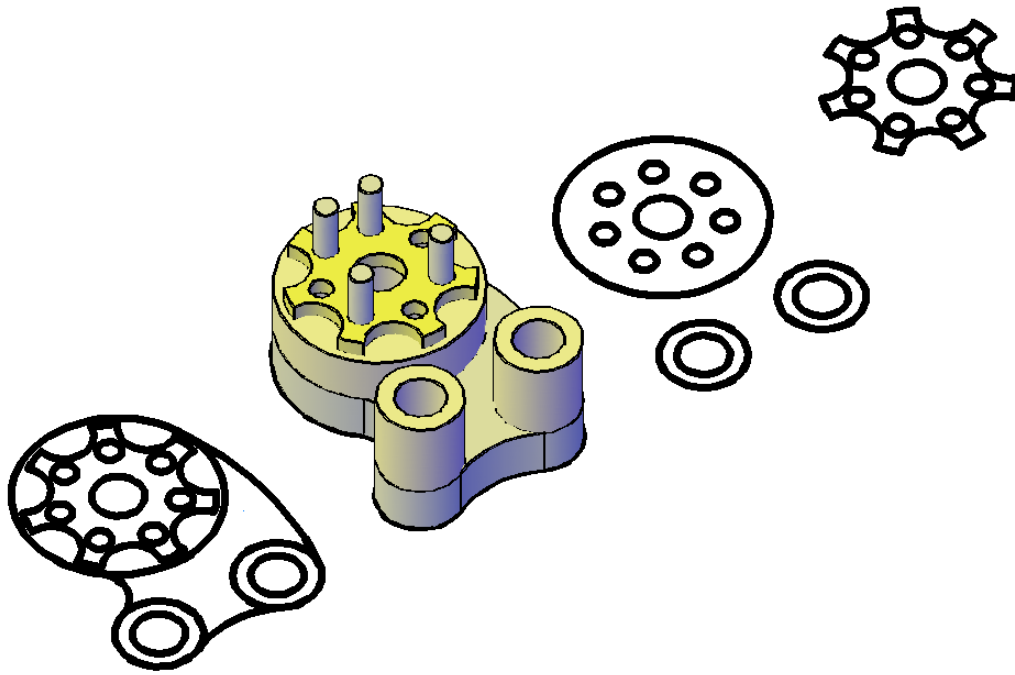
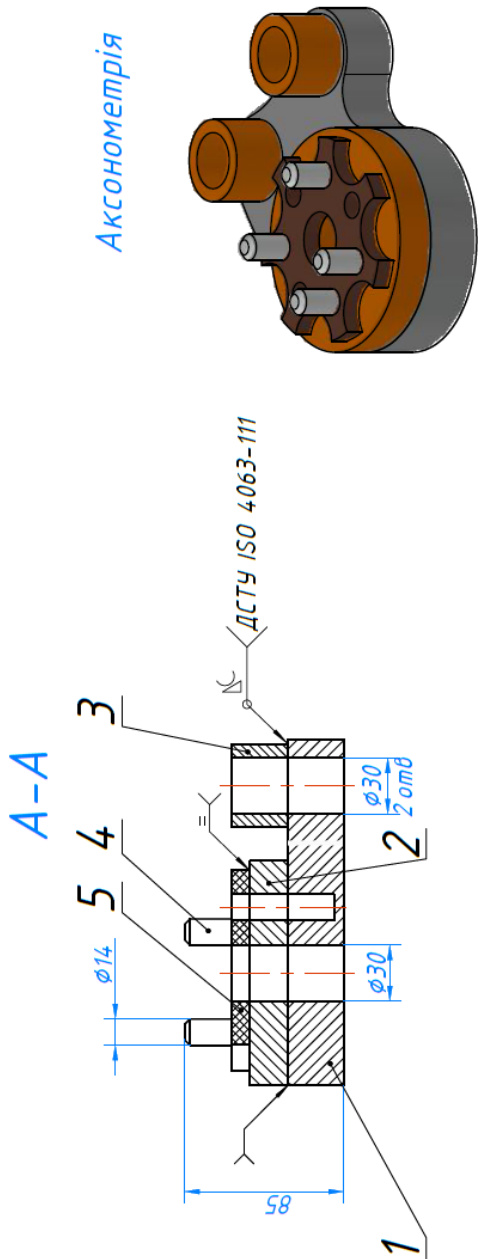


Рис. 22.30

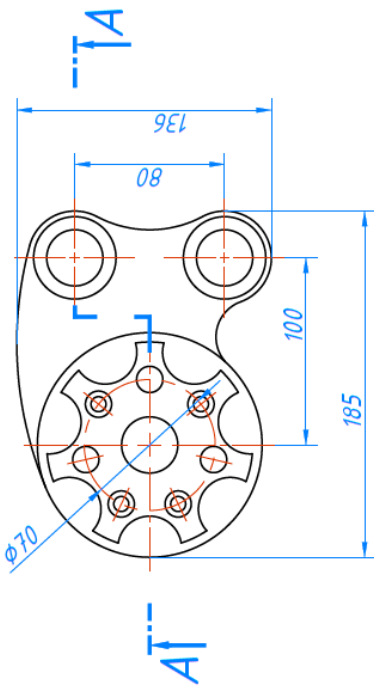
Модель складанної одиниці збирається як показано на рис. 22.30.

Використовується модель складанної одиниці та виконується компоновка складального кресленика як показано на рис. 22.31. Компоновку починають виконувати використовуючи вид зверху. Наступним кроком виконується розріз двома фронтальними паралельними площинами і розташовується на місці головного виду. Нагадуємо, що напрямні пальці, які потрапляють у січну площину, не ріжуть.

Наносять позначки нерознімних з'єднань. Записують технічні умови. Оформляють кресленик. Виконують специфікацію.



Аксенометр



1. Зварювання виконувати відповідно до ДСТУ ISO 4063:2014.
2. Хімічний склад припою відповідно до ДСТУ EN ISO 9453:2022.
3. Вимоги до клейового з'єднання відповідно до ДСТУ EN ISO 9653:2022.

Назва	Роз'єм	Ід. номер	КП.05.000 ПЕ
Тип документа	Складальний креслення	Арх. кількість	1/1
Юридичний власник або ОР	Автор (прізвище)	Розробка	ОМБ, 1 ФМФ
НТУУ "КП "Ім. І.Скорогоса	Затвердив (прізвище)	Дата	2026-04-16

Рис. 22.31

[illegible]

Рис. 22.32

Запитання для самоперевірки:

1. Як обчислюється довжина з'єднання болтом? Чи може вона бути довільною?
2. Як штрихуються окремі деталі на складальному кресленнику?
3. Які розміри наносять на складальному кресленнику?
4. Як позначається нерознімне з'єднання склеювання?
5. Як позначається нерознімне з'єднання пайкою?
6. Як позначається нерознімне з'єднання зварюванням?

РОЗДІЛ 23. СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНІ ПРИНЦИПОВІ

Схема це графічний конструкторський документ, на якому за допомогою умовних познач і зображень показано складові частини виробу і зв'язки між ними.

Конструкторську документацію схем електричних принципів виконують відповідно до вимог стандартів ДСТУ ІЕС 60617 та ДСТУ TN ISO 81346-2. За вимогами стандарту ДСТУ ІЕС 60617 побудову умовних графічних познач виконують на модульній сітці з кроком 2.5 мм. Кожен елемент схеми повинен відповідно до вимог стандарту ДСТУ EN ISO 81346-2 мати літерно-цифрову позначку, що відповідає його функційному призначенню і розташовується вгорі або праворуч його умовно-графічної позначки у порядку зліва направо згори вниз.

Схему електричну принципову виконують відповідно до завдання. В Autodesk AutoCAD для виконання цієї роботи можна створити власну електронну бібліотеку застосовуючи блоки з атрибутами. У відповідності до зазначеного вище стандарту будують умовно-графічні позначки елементів схеми електричної принципової. На основі умовно-графічної позначки, наприклад, резистора створюють блок з атрибутом. Повторюють виконання блоків з атрибутами для інших елементів схеми електричної принципової. В результаті отримують електронну бібліотеку умовно-графічних познач елементів схем електричних принципів.

Розглянемо алгоритм створення електронної бібліотеки елементів схем і побудови схеми електричної принципової та переліку елементів.

23.1. Умовні графічні позначки елементів схеми електричної принципової

Розглянемо режим AutCAD, у якому побудови зручно виконувати за допомогою прив'язок до вузлів модульної сітки з наперед заданою величиною комірки. Працюємо в просторі моделі режим «Drafting&Annotation». Для зручності роботи можна зробити дещо світлішим фон. Для цього необхідно на екрані клікнути правою кнопкою миші та обрати «параметри». На вкладці «Display» клікнути на кнопки «Colors...» і виконати необхідні налаштування (див. розділ 23.1).

Для налаштування режиму відображення сітки слід скористатися  піктограмою в нижньому рядку екрана. Кліком на цій піктограмі правою кнопкою миші відкриваються параметри налаштування. Обираємо крок сітки 2.5 мм. Налаштування показані на рис. 23.1.

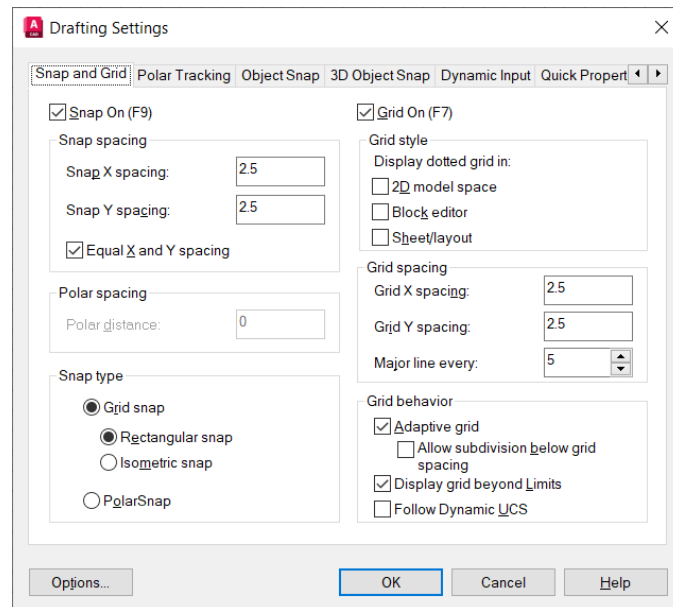


Рис. 23.1

У цьому ж вікні вмикаємо відображення сітки «Grid On» та прив’язку до вузлів сітки «Snap On». Для зручності слід підібрати актуальний масштаб відображення.

Форма та розмір елементів обирається з таблиці 14.1, що відповідає стандарту ДСТУ ІЕС 60617.

Літерно-цифрові позначки наносяться відповідно до стандарту ДСТУ EN ISO 81346-2 і відповідають вказаним у таблиці 14.2.

Згідно зі стандартом ДСТУ EN 81346-1 до літерно-цифрової позначки додається префікс «-», що вказує на фізичне втілення елемента схеми – «Виріб».

На рис. 15.9.3 показано накреслені на модульній сітці діод, транзистор та резистор. Побудови виконані наступним чином.

Ативується шар з основними лініями. Використовуючи режими прив’язки до вузлів сітки будується зображення транзистора, діода, резистора. Після створення графічного зображення додаються атрибути.

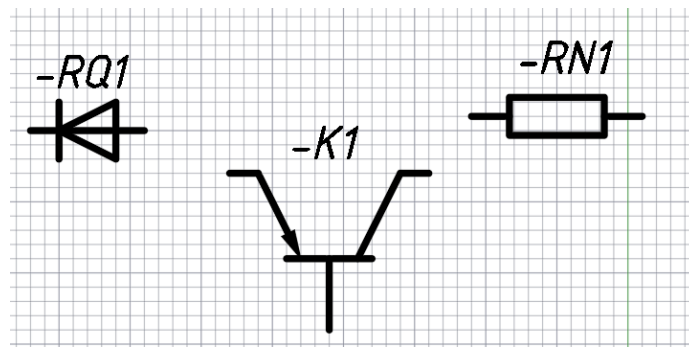


Рис. 23.3

Виконані за стандартними розмірами графічні елементи зберігаються у вигляді блоків з атрибутами, в які вноситься літерно-цифрова позначка елемента. Роботу з блоками було розглянуто в розділі 15.10. Атрибути дозволять відповідно до стандарту виконувати нумерацію графічних елементів при їх розташуванні на схемі електричній принциповій. Точку вставки обирають так, щоб зручно було вставляти блок у схему.

Схему електричну принципову виконують в просторі листа на форматі А3 (А4) шаблону. Оформлюють кресленик (рис. 23.4).

23.2. Виконання переліку елементів.

Перелік елементів можна розташувати на тому ж форматі, що і схема електрична принципова, або оформити окремим форматом А4. Форма переліку елементів та правила його заповнення розглядались у розділі 14.2.6. На рис. 23.5 показано виконання переліку елементів окремим документом.

Запитання для самоперевірки:

1. Чи можна виконувати умовні графічні позначки елементів схеми довільних розмірів?
2. Як записують літерно-цифрові позначки елементів схеми?
3. Який порядок заповнення переліку елементів?
4. Де розміщують перелік елементів якщо він розташований на кресленнику схеми електричної принципової?
5. Який порядок заповнення переліку елементів?

[illegible]

Рис. 23.5

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Т. В. Гнітецька, Г. О. Гнітецька «Інтерактивний курс «Нарисна геометрія і інженерна графіка» для дистанційного навчання», *Прикладна геометрія та інженерна графіка*, No99, с. 79–89, 2020.
2. Гнітецька Т. В., Гнітецька Г. О. Курс «Інженерна та комп'ютерна графіка» для студентів технічних університетів. “*Information Technologies and Learning Tools*” Vol. 90 No. 4 (2022) pp. 89–101, 2022-09-29
<https://doi.org/10.33407/itlt.v90i4.4738>
3. В. В. Ванін, А. В. Блюк, Г. О. Гнітецька, Оформлення конструкторської документації. Навч. посібник, 4-те вид., випр. і доп. Київ, Україна: Каравела, 2012.
4. Ванін В. В., Перевертун В. В., Надкернична Т. М. Комп'ютерна інженерна графіка в середовищі AutoCAD: навч. посіб. Київ: Каравела, 2013. 336 с.
5. Методичні вказівки з геометричного та проєкційного креслення / Укладач Г.М. Коваль.-К.: НТУУ «КПІ», 2014- 36 с.
6. Гнітецька Т. В., Гнітецька Г. О. Метод «Скелетних конструкцій» для спрощення процесу параметризації в AutoCAD. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*, No101, 2022.С. 45 – 54.
DOI: <https://doi.org/10.32347/0131-579X.2021.101.45-54>
7. Т. В. Гнітецька, Г. О. Гнітецька, Д. С. Мотильов, «Застосування параметризації характерних перетинів об'єктів для опосередкованої параметризації їх 3D моделей в САПР AutoCAD», *Прикладна геометрія та інженерна графіка*, No100, с. 90–100, 2021.
8. Gnitetska Galina, Procel Chicaiza Roberth Anthony Parametrization of electronic drawing details “Cup nut” //Збірник доповідей X міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Прикладна геометрія, дизайн та об'єкти інтелектуальної власності». НТУУ КПІ 29.04.2021. С 8–11.
9. Гнітецька, Г. О. Гнітецька, Є. О. Пустовіт, «Використання динамічних блоків для створення електронних бібліотек зображень типових кріпильних елементів ресурсами AutoCAD», *Прикладна геометрія та інженерна графіка*, No100, с. 100–109, 2021.

ПЕРЕЛІК НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ

ДСТУ ГОСТ 2.104:2006

Єдина система конструкторської документації. Основні написи

ДСТУ 2232-93

Базування та бази в машинобудуванні. Терміни та визначення

ДСТУ 2409-94

Вимірювання параметрів шорсткості. Терміни та визначення

ДСТУ 2413-94

Основні норми взаємозамінності. Шорсткість поверхні. Терміни та визначення

ДСТУ 2497-94

ЄСКД. Основні норми взаємозамінності. Різьба і різьбові з'єднання. Терміни та визначення

ДСТУ 3321:2003

Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять

ДСТУ 3761.3-98

Зварювання та споріднені процеси. Частина 3. Зварювання металів: з'єднання та шви, технологія, матеріали та устаткування. Терміни та визначення

ДСТУ 3761.4-98

Зварювання та споріднені процеси. Частина 4. Паяння та лудіння. Терміни та визначення

ДСТУ EN ISO 7-1:2021

Національний стандарт України. Трубні різьби, що забезпечують герметичність з'єднання. Частина 1. Позначення, розміри та допуски

ДСТУ EN ISO 225:2022

Кріпильні вироби. Болти, гвинти, шпильки та гайки. Символи та позначення розмірів

ДСТУ EN ISO 228-1:2022

Національний стандарт України. Трубна різьба без герметичних з'єднань. Частина 1. Розміри, допуски та позначення.

ДСТУ EN ISO 228-2:2022

Національний стандарт України. Трубна різьба без герметичних з'єднань. Частина 2. Перевірка за допомогою граничних калібрів.

ДСТУ EN ISO 887:2022

Плоскі шайби для болтів, гвинтів і гайок з метричною різьбою загального призначення. Загальні положення

ДСТУ EN ISO 888:2022

Кріпильні вироби. Болти, гвинти та шпильки. Номінальна довжина та довжина різьби

ДСТУ EN ISO 1234:2022

Шпильки

ДСТУ EN ISO 1302:2018

Національний стандарт України. Технічні вимоги до геометричних характеристик продукції (GPS). Познака зовнішньої текстури в технічній документації на продукцію

ДСТУ EN ISO 2009:2022

Гвинти з потайною головкою та шліцом. Клас виробу А

ДСТУ EN ISO 3040:2018

Технічні вимоги до геометричних характеристик продукції (GPS). Конуси. Розміри та допуски

ДСТУ EN ISO 3677:2019

Матеріали присадні для паяння м'яким і твердим припоєм. Позначення

ДСТУ EN ISO 4014:2022

Болти з шестигранною головкою. Класи виробу А і В

ДСТУ EN ISO 4017:2022

Кріпильні вироби. Гвинти з шестигранною головкою. Класи виробу А та В

ДСТУ EN ISO 4032:2022

Гайки шестигранні стандартні (тип 1). Класи виробу А і В

ДСТУ EN ISO 5845-1:2018

Кресленики технічні. Спрощене подання кріпильних деталей у складальних вузлах. Частина 1. Загальні принципи

ДСТУ EN ISO 6410-1:2018

Кресленики технічні. Нарізі та нарізні деталі. Частина 1. Загальні положення

ДСТУ EN ISO 6410-2:2018

Кресленики технічні. Нарізі та нарізні деталі. Частина 2. Вкладиші гвинтових нарізей

ДСТУ EN ISO 6410-3:2018

Національний стандарт України. Кресленики технічні. Нарізі та нарізні деталі. Частина 3. Спрощене подання

ДСТУ EN ISO 6411:2018

Національний стандарт України. Кресленики технічні. Спрощене подання центральних отворів

ДСТУ EN ISO 6413:2018

Кресленики технічні. Подання виступів і пазів

ДСТУ EN ISO 6433:2018

Кресленики технічні. Позначення деталей

ДСТУ EN ISO 7089:2022

Шайби плоскі. Нормальна серія. Клас виробу А

ДСТУ EN ISO 7090:2022

Плоскі шайби з фаскою. Нормальна серія. Клас виробу А

ДСТУ EN ISO 7200:2005

Національний стандарт України. Розроблення технічної документації. Графи у штампах та основних написах

ДСТУ EN ISO 7519:2018

Кресленики технічні. Кресленики будівельні. Загальні принципи подання креслеників загального виду та складальних креслеників

ДСТУ EN ISO 7719:2022

Гайки шестигранні стандартні суцільнометалеві. Класи якості 5, 8 та 10

ДСТУ EN ISO 8673:2022

Гайки шестигранні стандартні (тип 1) із метричною різьбою з дрібним кроком. Класи виробу А та В

ДСТУ EN ISO 8765:2022

Болти із шестигранною головкою із дрібним кроком різьби. Класи точності А та В

ДСТУ EN ISO 9453:2022

М'які припої. Хімічні склади та форми

ДСТУ EN ISO 9455-10:2022

Флюси для м'якого паяння. Методи випробувань. Частина 10. Випробування ефективності флюсу, метод розподілу припою

ДСТУ EN ISO 9653:2022

Клеї. Метод випробування на міцність клейових з'єднань на зсув

ДСТУ EN ISO 15785:2018

Кресленики технічні. Символи та позначки для склеєних, складених і пресованих з'єднань

ДСТУ EN ISO 17672:2019

Паяння. Присадні матеріали

ДСТУ EN ISO 17672:2022

Пайка твердим припоєм. Припоювальні метали

ДСТУ EN ISO 18496:2022

Пайка. Флюси для пайки. Класифікація та технічні умови постачання

ДСТУ IEC 60617:2018

Графічні символи для схем

ДСТУ ISO 68-1:2005

Національний стандарт України. Нарізі ISO загального призначення. Основний профіль. Частина 1. Нарізі метричні

ДСТУ ISO 128-1:2005

Національний стандарт України. Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 1. Передмова та покажчик понять стандартів ISO серії 128

ДСТУ ISO 128-20:2003

Національний стандарт України. Кресленики технічні. Загальні принципи подавання. Частина 20. Основні положення про лінії

ДСТУ ISO 128-21:2005

Національний стандарт України. Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення Частина 21. Лінії, виконані автоматизованим проектуванням

ДСТУ ISO 128-22:2005

Національний стандарт України. Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 22. Основні положення та правила застосування ліній-виносок і полиць ліній-виносок.

ДСТУ ISO 128-24:2005

Національний стандарт України. Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 24. Лінії на машинобудівних креслениках.

ДСТУ ISO 128-30:2005

Національний стандарт України. Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення Частина 30. Основні положення про види

ДСТУ ISO 128-34:2005

Національний стандарт України. Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 34. Види на машинобудівних креслениках

ДСТУ ISO 128-40:2005

Національний стандарт України. Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Загальні принципи оформлення. Частина 40. Основні положення про розрізи та перерізи

ДСТУ ISO 128-44:2005

Національний стандарт України. Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 44. Розрізи та перерізи на машинобудівних креслениках

ДСТУ ISO 128-50:2005

Національний стандарт України. Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 50. Основні положення про зображення розрізів і перерізів

ДСТУ ISO/TS 128-71:2018

Технічна документація на продукцію (TPD). Загальні принципи подання. Частина 71. Спрощене подання машинобудівельних креслеників

ДСТУ ISO 129-1:2007

Національний стандарт України. Кресленики технічні. Проставлення розмірів і допусків. Частина 1. Загальні принципи

ДСТУ ISO 261:2005

Національний стандарт України. Нарізі метричні ISO загальної призначеності. Загальні положення

ДСТУ ISO 262:2005

Нарізі метричні ISO загальної призначеності. Вибірання розмірів для гвинтів, болтів та гайок

ДСТУ ISO 272:2005

Вироби кріпильні шестигранні. Розміри «під ключ»

ДСТУ ISO 273:2005

Вироби кріпильні. Отвори з зазором для болтів і гвинтів

ДСТУ ISO 724:2005

Національний стандарт України. Нарізі метричні ISO загального призначення. Основні розміри

ДСТУ ISO 885:2005

Болти і гвинти загального призначення. Метрична серія. Радіуси під головкою

ДСТУ ISO 898-1:2015

Механічні властивості кріпильних виробів з вуглецевої сталі і легированої сталі. Частина 1. Болти, гвинти і шпильки. Механічні властивості і методи випробувань

ДСТУ ISO 898-2:2015

Механічні властивості кріпильних виробів з вуглецевої сталі і легированої сталі. Частина 2. Гайки установленного класу міцності. Механічні властивості і методи випробувань

ДСТУ ISO 965-1:2005

Нарізі метричні ISO загального призначення. Допуски. Частина 1. Основні характеристики

ДСТУ ISO 965-2:2005

Нарізі метричні ISO загального призначення. Допуски. Частина 2. Граничні розміри зовнішніх і внутрішніх нарізей. Середній клас точності

ДСТУ ISO 965-3:2005

Нарізі метричні ISO загальної призначеності. Допуски. Частина 3. Відхили

ДСТУ ISO 2553:2019

Зварювання та споріднені процеси. Умовні позначки на креслениках. Зварні з'єднання

ДСТУ ISO 2901:2016

Національний стандарт України. Різьби трапецеїдальні метричні. Основні та конструктивні профілі

ДСТУ ISO 2904:2020

Національний стандарт України. Різьби метричні трапецеїдальні. Основні розміри

ДСТУ ISO 3040:2006

Національний стандарт України. Кресленики технічні Конуси. Розміри та допуски

ДСТУ ISO 3098-0:2006

Національний стандарт України. Документація на технічні вироби. Шрифти. Частина 0. Загальні вимоги.

ДСТУ ISO 3098-2:2007

Національний стандарт України. Документація на технічні вироби. Шрифти. Частина 2. Латинська абетка, цифри і знаки

ДСТУ ISO 3098-3:2007

Національний стандарт України. Документація на технічні вироби. Шрифти. Частина 3. Грецька абетка

ДСТУ ISO 3098-4:2007

Національний стандарт України. Документація на технічні вироби. Шрифти. Частина 4. Діакритичні і окремі знаки латинської абетки

ДСТУ ISO 3098-5:2007

Національний стандарт України. Документація на технічні вироби. Шрифти. Частина 5. Написання латинської абетки, цифр і знаків засобами автоматизованого проектування

ДСТУ ISO 3098-6:2007

Національний стандарт України. Документація на технічні вироби. Шрифти. Частина 6. Кирилична абетка

ДСТУ ISO 3508:2005

Національний стандарт України. Збіги нарізі кріпильних виробів згідно з ISO 261 та ISO 262

ДСТУ ISO 4063:2014

Зварювання та споріднені процеси. Перелік і умовні позначки процесів

ДСТУ ISO 4755:2007

Національний стандарт України. Кріпильні вироби. Проточки нарізеві для зовнішньої метричної нарізі ISO. Розміри

ДСТУ ISO 5408:2006

Національний стандарт України. Нарізі циліндричні. Словник термінів

ДСТУ ISO 5455:2005

Національний стандарт України. Кресленики технічні. Масштаби

ДСТУ ISO 5456-1:2006

Національний стандарт України. Кресленики технічні. Методи проєціювання. Частина 1. Загальні положення

ДСТУ ISO 5456-2:2005

Національний стандарт України. Кресленики технічні. Методи проєціювання. Частина 2. Ортогональні зображення

ДСТУ ISO 5456-3:2006

Національний стандарт України. Кресленики технічні. Методи проєціювання. Частина 3. Аксонометричні зображення

ДСТУ ISO 5456-4:2006

Національний стандарт України. Кресленики технічні. Методи проєціювання. Частина 4. Центральне проєціювання

ДСТУ ISO 5457:2006

Національний стандарт України. Документація технічна на вироби. Кресленики. Розміри та формати

ДСТУ ISO 7573:2008

Технічна документація на продукцію. Специфікація на запасні частини

ДСТУ ISO 7721:2006

Гвинти з потайною головкою. Конфігурація головки і контролювання розмірів

ДСТУ ISO 8991:2005

Система позначення кріпильних виробів

ДСТУ ISO 8992:2006

Кріпильні вироби. Загальні вимоги до болтів, гвинтів, шпильок і гайок

ДСТУ ISO 14617-1:2018

Графічні умовні позначки для схем. Частина 1. Загальні відомості та індекси

Навчальне видання

Гнітецька Тетяна Віталіївна

Гнітецька Галина Омелянівна

Інженерна та комп'ютерна графіка.

САПР AutoCAD

Підручник

(Українською мовою)

Технічне редагування *Марія Скрінік*

Подано в авторській редакції

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Свідоцтво про державну реєстрацію: серія ДК № 5354 від 25.05.2017 р.
просп. Берестейський, 37, м. Київ, Україна, 03056
<https://kpi.ua>

Поз. 26-1-1-016. Формат 60×84^{1/8}. Гарнітура Times.
Реєстрац. № 25/26-050. 1 файл (19,5 Мб) Обл.-вид. арк. 30,37.

Видавництво «Політехніка» КПІ ім. Ігоря Сікорського
вул. Політехнічна, 14, корп. 15,
м. Київ, Україна, 03056
тел. (044) 204-81-78