



ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ

Ю.М. КОВАЛЬОВ, В.М. ВЕРЕЩАГА

Ю.М. КОВАЛЬОВ, В.М. ВЕРЕЩАГА

ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ

НАРИСНА ГЕОМЕТРІЯ

◈

ІНЖЕНЕРНА ТА КОМП'ЮТЕРНА ГРАФІКА

◈

СУЧАСНІ НАПРЯМИ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

Ю.М. КОВАЛЬОВ, В.М. ВЕРЕЩАГА

ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ

НАРИСНА ГЕОМЕТРІЯ

ІНЖЕНЕРНА ТА КОМП'ЮТЕРНА ГРАФІКА

СУЧАСНІ НАПРЯМИ

ПІДРУЧНИК

Затверджено
Міністерством освіти і науки,
молоді та спорту України
як підручник для студентів
вищих навчальних закладів

КИЇВ ● 2012

ББК
УДК 514.18

Підручник містить рекомендації щодо організації праці, історичні відомості, розділи нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки, Окрема частина присвячена характеристиці сучасних напрямів розвитку прикладної геометрії. Наведено питання для самоконтролю; певна частина з них має проблемний характер. Акцент зроблено на зв'язку з майбутньою фаховою діяльністю.

Підручник може бути використаний студентами всіх форм навчання.

Розділи 1–11, 13, 14, 18–28 написані Ковальовим Ю. М., розділи 12, 15–17 – Верещагою В. М.

Табл. 26. Іл. 745. Бібліогр.: 37 назв.

Учебник содержит рекомендации по организации труда, исторические сведения, разделы начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графики. Отдельная часть посвящена характеристике современных направлений развития прикладной геометрии. Приведены вопросы для самоконтроля; некоторая их часть имеет проблемный характер. Акцент сделан на связи с будущей профессиональной деятельностью.

Учебник может быть использовано студентами всех форм обучения.

Разделы 1–11, 13, 14, 18–28 написаны Ковалевым Ю. М., разделы 12, 15–17 – Верещагой В. М.

Табл. 26. Ил. 745. Библиогр.: 37 назв.

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. *В. Е. Михайленко*
д-р техн. наук, проф. *К. А. Сазонов*
д-р техн. наук, доц. *В. М. Несвідомін*

Автори щиро вдячні
Почесному президенту корпорації «Познякижилбуд» Мхитаряну Н. М.
за спонсорську підтримку при виданні підручника.

ISBN

© Ковальов Ю. М. Верещага В.М.
Прикладна геометрія: підручник. –
К.:, 2012.– 472 с.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА 6
ВСТУП 7
УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ ТА СКОРОЧЕННЯ 9

0. Організація праці 10
0.1. Що слід знати про кредитно-модульну систему? . . . 10
0.2. Комплект інструментів . . . 10
0.3. Ведення конспекту . . . 11
0.4. Самостійна робота . . . 12

ЧАСТИНА ПЕРША. НАРИСНА ГЕОМЕТРІЯ 13

1. Історичний нарис 14
1.1. Первісний лад . . . 14
1.2. Перші цивілізації і античність . . . 18
1.3. Середньовіччя . . . 29
1.4. Від Ренесансу до третього тисячоліття . . . 32
2. Сучасний погляд 42
2.1. Визначення нарисної геометрії та її задач . . . 42
2.2. Побудова абстрактного простору $П^3$ . . . 42
2.3. Визначення проекційних систем . . . 45
3. Позиційні та метричні задачі. Точки, прямі, площини на епюрі Монжа 51
3.1. Поняття про позиційні та метричні задачі . . . 51
3.2. Точки . . . 51
3.3. Прямі . . . 54
3.4. Площини . . . 54
4. Перетворення проекцій 63
4.1. Загальна характеристика методів перетворення . . . 63
4.2. Заміна площин проекцій . . . 63
4.3. Обертання навколо перпендикулярних осей . . . 65
4.4. Плоскопаралельне переміщення (ППП) . . . 67
4.5. Обертання навколо паралельних осей . . . 68
4.6. Суміщення . . . 69
4.7. Допоміжне косокутне проекціювання . . . 70
4.8. Допоміжне прямокутне проекціювання . . . 71
5. Гранні поверхні і багатогранники 72
5.1. Визначення, класифікація, властивості . . . 72
5.2. Позиційні та метричні задачі . . . 75
5.3. Конструктивні задачі – проектування скатних дахів за заданими умовами . . . 83
6. Криві лінії 86
6.1. Визначення, класифікація, властивості . . . 86
6.2. Плоскі криві . . . 87
6.3. Просторові криві . . . 93
6.4. Приклади кривих ліній у природі, науці, будівництві . . . 94
7. Криві поверхні 96
7.1. Визначення, класифікація, властивості . . . 96
7.2. Позиційні задачі . . . 99
7.3. Метричні задачі . . . 106
8. Аксонометрія 110
8.1. Теорія . . . 110
8.2. Приклади побудови геометричних фігур . . . 112
8.3. Розв'язання задач . . . 114
9. Перспектива 116
9.1. Приклади . . . 116
9.2. Класифікація . . . 121
9.3. Перспектива на вертикальній площині . . . 121
9.4. Перспектива на похилій площині . . . 135
9.5. Інші види перспективи . . . 137

10. Проекції з числовими позначками 144
10.1. Зображення простих фігур . . . 144
10.2. Позиційні задачі . . . 145
10.3. Задачі вертикального планування . . . 147
11. Побудова тіней та відбиттів 149
11.1. Основні теоретичні положення . . . 149
11.2. Побудова тіней на епюрі Монжа . . . 150
11.3. Побудова тіней у аксонометрії . . . 158
11.4. Побудова тіней та відбиттів у перспективі . . . 159
11.5. Побудова тіней у проекціях з числовими позначками . . . 164

ЧАСТИНА ДРУГА. ІНЖЕНЕРНА ТА КОМП'ЮТЕРНА ГРАФІКА 167

12. Правила виконання машинобудівних креслень 168
12.1. Стандарти і конструкторська документація . . . 168
12.2. Формати креслень. Основний напис . . . 170
12.3. Масштаби . . . 171
12.4. Типи ліній . . . 172
12.5. Шрифти креслярські . . . 173
12.6. Позначення матеріалів . . . 175
12.7. Нанесення розмірів . . . 175
12.8. Зображення . . . 179
12.9. Робочі креслення та ескізи деталей . . . 186
13. Правила виконання архітектурно-будівельних креслень 195
13.1. Загальні положення . . . 195
13.2. Архітектурні робочі креслення . . . 198
13.3. Основний комплект робочих креслень будівельних конструкцій . . . 212
13.4. Робоча документація на будівельні вироби . . . 216
13.5. Креслення генеральних планів . . . 219
13.6. Креслення інженерних споруд . . . 223
14. Комп'ютерна графіка 225
14.1. Історія . . . 225
14.2. Технічні засоби . . . 227
14.3. Математичні моделі . . . 233
14.4. Графічні мови . . . 238
14.5. Середовища візуального програмування (на прикладі Delphi) . . . 240
15. Обчислювальна геометрія 242
15.1. Загальні положення . . . 242
15.2. Конструювання кривих ліній . . . 243
15.3. Конструювання кривих поверхонь . . . 257
15.4. Поняття про твердотільне моделювання . . . 260
16. Графічний редактор AutoCAD 261
16.1. Загальні відомості . . . 261
16.2. Пункти головного меню та їх закладки . . . 266
16.3. Захист креслень. Збереження даних, обмін з іншими програмами, вивід на друк 269
17. Виконання машинобудівних креслень у графічному редакторі AutoCAD 273
17.1. Виконання креслень деталей . . . 273
17.2. Створення та вставка блоків . . . 284
17.3. 3D моделювання . . . 285
18. Креслення вузла будівельної конструкції у графічному редакторі AutoCAD 289
18.1. Креслення окремих елементів . . . 289
18.2. Складання перекриття і підлоги . . . 290
18.3. Складання стіни . . . 291
18.4. З'єднання компонентів вузла, нанесення розмірів і написів . . . 292
18.5. Експорт креслення . . . 294
19. Графічний редактор ArhiCAD 295
19.1. Загальні відомості . . . 295
19.2. Основні інструменти . . . 299
19.3. Збереження даних, обмін з іншими програмами, вивід на друк . . . 321

20. Віртуальне проектування у графічному середовищі ArhiCAD 327
20.1. Настроювання робочого середовища . . . 327
20.2. Установлення рівнів та їх висотних позначок . . . 328
20.3. Визначення шарів . . . 329
20.4. Проектування багатошарових конструкцій стін, підлог, крівель . . . 330
20.5. Нанесення координаційних осей . . . 331
20.6. Побудова планів рівнів, перекриттів, підлог. Розміщення сходів, обладнання, меблів . . . 333
20.7. Нанесення розмірів, написів та інші доопрацювання планів . . . 343
20.8. Побудова даху . . . 343
21. Документування проекту 345
21.1. Побудова архітектурно-будівельних креслень . . . 345
21.2. Визначення показників проекту . . . 347
21.3. Розміщення документів на аркушах . . . 354
22. Проектування інтер'єрів 357
22.1. Моделювання покриттів . . . 357
22.2. Використання покриттів для оздоблення інтер'єру . . . 362
22.3. Створення текстур плитки (Archi Tiles) . . . 364
22.4. Автоматизація розміщення покриттів (Accessories та Interior Wizard) . . . 365
22.5. Моделювання предметів інтер'єру (3D Studio Max) . . . 367
23. Освітлення та візуалізація 382
23.1. Організація освітлення . . . 382
23.2. Візуалізація . . . 387
24. Автоматизація інших проектних робіт 391
24.1. Інформаційно-довідникові системи (ІДС «Зодчий») . . . 391
24.2. Електронні карти (Yar Map Киев та Google Maps) . . . 392
24.3. Задачі вертикального планування (Archi Terra) . . . 397
24.4. Підготовка проекту до презентації (Artlantis та Adobe Photoshop) . . . 402
24.5. Взаємодія з програмами розрахунку (САПР САПФІР та ЛІРА) . . . 411

ЧАСТИНА ТРЕТЯ. СУЧАСНІ НАПРЯМИ 421

25. Багатовимірна геометрія 422
25.1. Приклади і узагальнення . . . 422
25.2. Аксіоми і властивості . . . 423
25.3. Епюри і зображення . . . 425
26. Моделювання та оптимізація складних систем 427
26.1. Приклади і узагальнення . . . 427
26.2. Аксіоматична хвильова модель С-простору . . . 428
26.3. Самоорганізація С-простору . . . 429
26.4. С-відображення і графічні моделі С-простору . . . 432
26.5. Дослідження «людського фактору» . . . 433
26.6. Моделювання та оптимізація ергатичних систем . . . 437
26.7. Проектування комфортного житла . . . 441
27. Моделювання динамічних систем 450
27.1. Загальні положення та поняття . . . 450
27.2. Маятникові коливальні системи . . . 452
27.3. Роторно-планетарні механізми . . . 453
28. Розпізнавання образів 455
28.1. Загальні положення та поняття . . . 455
28.2. Методи розпізнавання образів . . . 456
28.3. Розпізнавання образів у прикладній геометрії . . . 457

ЛІТЕРАТУРА 467

СЛОВНИК ТЕРМІНІВ 468

ПЕРЕДМОВА

У вступі до книги «Geometrie descriptive» (1799 р.), яка дала назву новій навчальній дисципліні – нарисній геометрії – Гаспар Монж характеризує французьку промисловість як відсталу і залежну від іноземних країн, а також закликає до реформи народної освіти, як засобу виправлення такого становища. Для цього потрібно викладати точні науки, знання машин, прищеплювати навички привнесення точності у будь-яку роботу. Сама ж книга заклала принципи, слідування яким з тих пір визначає успішність будь-якої навчальної літератури з графічних дисциплін. До них відносяться:

- викладення найпередовіших геометричних здобутків;
- поєднання наочності зображень та точності математичного аналізу;
- практична направленість;
- наголос на самостійному виконанні вправ, за складністю наближених до реальних задач.

Час показав корисність таких заходів для розвитку Франції, яка зараз займає чільне місце серед передових країн світу.

Не можна не погодитись, що така ж характеристика є актуальною для сучасного стану України, а відповідно, і запропоновані принципи побудови навчального курсу не втратили свого значення. Слідувати ним, вносячи зміни згідно з умовами часу, намагалися й автори.

У чому ж полягають умови, яким має відповідати сучасний підручник?

Наслідком розвитку науки і техніки стала диференціація вимог до геометричного моделювання, яке перестало бути переважно графічним. Відтак, класичні курси нарисної геометрії та інженерної графіки вже не є достатніми для сучасних інженерів або архітекторів і мають бути доповнені ідеями та методами обчислювальної геометрії, багатовимірної геометрії, теорії систем. Саме тому класичну назву ми змінюємо на «Прикладну геометрію». Усі ці напрями мають спільну теоретичну основу – аксіоматичні моделі простору, теорію перетворень, засоби забезпечення наочності – і мають викладатися у рамках однієї дисципліни, що призводить до позитивного синергетичного ефекту, оскільки розуміння єдності основи не тільки полегшує навчання, вказуючи на подібність різних, на перший погляд, напрямів, але й розвиває мислення, схиляючи його до загальних і абстрактних форм.

Іншим наслідком технічного прогресу стала поява нових засобів геометричного моделювання, набагато потужніших та інтелектуальніших за попередні. Це, передусім, засоби комп'ютерної графіки, що включають технічні, математичні, лінгвістичні та програмні складові. Без розуміння основ комп'ютерної графіки, обчислювальної геометрії та знання найпоширеніших програмних засобів неможливо уявити сучасного кваліфікованого фахівця. І навчитись використовувати їх як у теоретичних, так і прикладних цілях є важливим завданням.

В останні роки відбулися кардинальні зміни у технології навчання, пов'язані із приєднанням України до Болонського процесу. Метою цих змін є стимулювання студентів (і викладачів) до самостійної і творчої роботи, вміння ставити проблеми і знаходити нестандартні способи їх вирішення. Організаційно це виразилося у скороченні часу аудиторних занять та збільшенні частки самостійної та індивідуальної роботи. Якщо за часів Г. Монжа курс нарисної геометрії і креслення у Політехнічній школі складав 328 лекцій, тобто приблизно половину навчального часу, то тепер навіть для архітекторів, лише 38 лекційних і загалом 76 аудиторних години. У таких умовах підтримувати належний рівень освіти за рахунок класичних засобів стає неможливим. Урахування цих обставин спонукало авторів приділити значну увагу методологічним питанням, викладенню основ раціональної організації праці, а також стимулюванню ініціативного та творчого відношення до навчання.

Нарешті, змінилася психологія молоді, яка стає дедалі більш нетерпимою до менторського тону і директивних вказівок, а натомість потребує діалогу і додаткового стимулювання цікавості до здобуття знань. Відтак, ми прагнули відійти від сухої, «академічної» манери викладення матеріалу, характерної для класичних підручників, змінивши її на більш живу і особистісну.

Автори сподіваються, що їм вдалося створити підручник, який задовольняє викладеним принципам та умовам, що дозволить викладачам будувати на його основі сучасні навчальні курси для різних напрямів підготовки, розробляти спеціалізовані навчально-методичні комплекси, проводити індивідуальну та науково-дослідну роботу зі студентами, а студентам – здобути важливий щабель у формуванні творчої особистості, здатної вирішувати будь-які перспективні завдання.

При написанні підручника автори враховували досвід викладання у вищих навчальних закладах України, зокрема, у Національному авіаційному університеті та у Таврійському державному агротехнологічному університеті.

З повагою,
д-р технічних наук, професор Ю. М. КОВАЛЬОВ,
д-р технічних наук, професор В. М. ВЕРЕЩАГА

ВСТУП

Для того, щоб підручник із графічним дисциплін відповідав сучасним вимогам, потрібні, на думку авторів, три суттєві модернізації.

Модернізація структури означає дотримання принципів системності та модульності.

Принцип системності полягає у тому, що у підручнику розміщено не лише обумовлений робочими навчальними програмами матеріал, але й суміжні дані, необхідні для успішного проходження навчального процесу. До них відносяться:

- інформація з раціональної організації самостійної роботи;
- історичний нарис;
- розділи другої частини, що містять опис тих засобів і програм комп'ютерної графіки, які традиційно не освітлюються у навчальному процесі;
- третя частина, яка повністю присвячена актуальним питанням прикладної геометрії, як наукової дисципліни.

Принцип модульності полягає у самодостатності як частин підручника, так і окремих розділів, що дозволяє комбінувати при складанні робочих навчальних програм ті з них, які найкращим чином відповідають конкретному напряму підготовки.

Модернізація тезаурусу. Без знання витоків неможливо зрозуміти стан і перспективи будь-якої науки. Предметом геометрії є аналіз просторових уявлень, отже її витоки слід шукати у просторових уявленнях первісних людей. У наступні епохи ці уявлення зазнавали суттєвих змін, що можна реконструювати по творам живопису, кресленням і т.д. Зрозуміло, що зміни відбувалися не тільки з внутрішніх, геометричних, причин, а й за законами становлення людської свідомості, а також під впливом загальнокультурного контексту. Становлення геометричного моделювання ще потребує своїх дослідників, а автори розпочинають першу частину підручнику із досить об'ємного історичного нарису (розділ 1), що дає можливість підготовити читача до викладення сучасної парадигми (розділ 2), попутно навівши маловідомі і цікаві факти, здатні підігріти цікавість читача до геометрії взагалі.

Поняття проективного простору як основи просторових уявлень нарисної геометрії, а методу двох зображень як основи ортогонального проекціювання, аксонометрії та перспективи, викладені у розділі 2, підводять читача до розуміння нарисної геометрії – визначного, але не останнього етапу розвитку геометричного моделювання. Цей класичний період представлено розділами 3–11 першої частини, у яких описані методи зображення та властивості точок, прямих, площин, гранних поверхонь та багатогранників, кривих ліній та кривих поверхонь, перетворення проекцій та способи розв'язання позиційних, метричних і конструктивних задач.

На наших очах майже відбувся перехід від класичної діади «нарисна геометрія – інженерна графіка» до сучасної тріади «обчислювальна геометрія – комп'ютерна графіка – комп'ютерні технології проектування», і автори, визначаючи зміст другої частини, прагнули йти у ногу з часом. Надаючи коротку інформацію про машинобудівні та архітектурно-будівельні креслення (розділи 12, 13), автори виходили з того, що технічні прийоми креслення вже не так актуальні, оскільки існуючі комп'ютерні програми забезпечують графічну досконалість документів. Відтак, після надання необхідних відомостей про складові частини комп'ютерної графіки (розділ 14) та обчислювальної геометрії (розділ 15), переходимо до досить детального опису програм, які застосовуються на різних етапах проектування, починаючи від збору даних до підготовки проекту до презентації (розділи 16–24). Особливості цієї частини – компактність і наочність, а також акцентування уваги на технології проектування, коли для розв'язання окремих задач використовуються спеціалізовані програмні продукти і виникає необхідність передачі даних із одного пакету до іншого. При виборі програм ми керувалися їх поширеністю та простотою використання, через що, нажаль, було залишено поза увагою деякі достойні продукти.

Розділи третьої частини є ключовими для розуміння сучасного стану прикладної геометрії, яка вже суттєво відрізняється від нарисної геометрії. Для того, щоб підкреслити цей факт, використовують нові назви – «прикладна геометрія», «інженерна геометрія», «комп'ютерна геометрія» тощо. Як бачимо із різнохарактерності цих назв, геометричне моделювання є одним із основних методів дослідження для різних дисциплін, від класично інженерних, до, наприклад, технічної естетики.

Автори обрали чотири актуальних напрями. Це:

- багатовимірна геометрія – основа розв'язання оптимізаційних задач (розділ 25);
- моделювання та оптимізація складних систем – більшість об'єктів Всесвіту, включаючи людей, є складними системами (розділ 26);
- моделювання динамічних систем, на що спираються різноманітні інженерні розрахунки та методи прогнозування (розділ 27);

● розпізнавання образів – основа різноманітних експертних, діагностичних та геоінформаційних систем (розділ 28);

Для кожного з них стисло описані основні поняття, ідеї та методи – мінімум, необхідний для подальшого ґрунтовного вивчення. Автори намагалися показати динамічність розвитку напрямів, посилаючись на автореферати дисертаційних робіт та найсвіжіші публікації, а також подаючи власні результати. Сподіваємось, що це спонукає читачів до роздумів, а комусь підкаже напрям наукової діяльності.

Знання іноземних мов значно підвищує комунікативні можливості фахівця, що не могло не спонукати авторів до наведення невеликого словника найбільш розповсюджених графічних термінів.

Модернізація навчального процесу. Сучасним підходом до організації навчального процесу є запровадження кредитно-модульної системи.У зв'язку з цим, підручник структуровано так, щоб на його основі було зручно обирати матеріал для окремих модулів залежно від напряму підготовки. Наприклад, для будівельних спеціальностей до робочих навчальних програм першого семестру включають модулі, яким відповідають розділи 1–8; до програм другого семестру – розділи 9–11, 16–21, 24. Для архітекторів доцільнішим буде інший вибір: для першого семестру – розділи 1–8, для другого – розділи 9–11, далі, у рамках дисципліни «Комп'ютерні технології архітектурного проектування», розділи 19–24. Аналогічно можна будувати робочі навчальні програми для інших напрямів. Розділи, які не є основними для конкретних спеціальностей, можна використовувати для проведення факультативних занять, у рамках науково-дослідної роботи студентів, при підготовці до конкурсів студентських робіт та олімпіад, для самостійного вивчення.

Читач має знати, що нарисна геометрія – складна для розуміння дисципліна (хоча б тому, що є неевклідовою геометрією), і поставитись до її вивчення серйозно. Автори ж прагнули полегшити це завдання, використовуючи різноманітні засоби.

По-перше, ми намагалися зробити викладення якомога компактнішим, орієнтуючись на невеликі обсяги сучасних навчальних курсів.

По-друге, в сучасній літературі помітна тенденція до подання матеріалу в алгоритмічній формі. Це веде до відходу від наочності і стримує формування просторового мислення, відповідального за цілісне сприйняття світу, і пов'язаного з діяльністю правої півкулі мозку, тоді як алгоритмічний виклад апелює до аналітичних здібностей лівої півкулі. Це неприпустимо ані для інженерів, які мають уявляти процес проектування у цілому, ані для представників творчих професій. Максимум графіки при необхідному мінімумі пояснень має виправити цю диспропорцію.

По-третє, автори доклали зусиль для найбільш зручного, «ергономічного» розташування матеріалу. Це структуризація тексту, розміщення на одній сторінці малюнку і пояснень, акцентування найбільш важливих частин, наведення джерел не з основного списку поруч із відповідним матеріалом – подібні далеко не дрібниці значно скорочують час пошуку і роботи, сприяючи кращому засвоєнню.

По-четверте, ми прагнули підвищити теоретичний рівень: там, де теорія дозволяє узагальнити матеріал і спростити засвоєння, викладаються результати, які виходять за межі усталеної для підручників традиції. Наприклад, розуміння принципу двоїстості значно скорочує кількість фактів, які треба запам'ятовувати, а розуміння спільності походження методів проекціювання надає можливості розглядати способи розв'язання задач як варіації, а не як окремі методи.

По-п'яте, як тільки з'являлася можливість, ми підкреслювали практичні застосування прикладної геометрії, обираючи їх передусім із предметних фахових областей.

Практика показала доцільність побудови на основі підручника єдиних з точки зору тезаурусу та методології навчально-методичних комплексів за відповідними напрямами підготовки.

Підручник розраховано на активну самостійну роботу студента. Але робота буде продуктивною лише за умов наукової організації праці, доцільність чого перевірена багатьма поколіннями студентів. Зважаючи на недосвідченість першокурсників, автори розпочинають із розділу 0, де даються відповідні рекомендації.

Для стимуляції творчого підходу до складу підручника включено розділи, які характеризують сучасний стан геометричного моделювання, питання самоконтролю, задачі підвищеної складності, а також проблемні питання, на яких немає загальноприйнятої відповіді. У таких випадках у тексті розділів наводяться додаткові джерела.

На завершення зазначимо, що наведені вище особливості запроваджені при написанні виданих авторами навчальних посібників (деякі з них мають гриф МОНМС), і апробація, проведена у ході навчального процесу, показала їх слушність.

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ ТА СКОРОЧЕННЯ

Позначення чи скорочення	**Значення**
A, B, C, ... (прописні латинські літери), або 1, 2, 3, ... (арабські цифри)	Точки в просторі
a, b, c, … (малі латинські літери крім f, h), або (1234)	Лінії в просторі (прямі, криві, ламані)
(AB)	Відрізок
AB	Відстань
f	Фронталь
h	Горизонталь
P, Q, S, … (прописні латинські літери), або α, β, γ, ... (малі грецькі літери)	Площини
$П_1$, $П_2$, $П_3$	Площини проекцій (горизонтальна, фронтальна, профільна)
(ABC)	Відсік площини
Δ, Г, ϑ, ... (прописні грецькі літери)	Поверхні
A_1 , c_2 , $Δ_3$, …	Проекції геометричних фігур на $П_1$, $П_2$, $П_3$
A_T , c_{12} , $Δ_S$, …	Проекції фігур на довільні площини
∠γ, або ∠ABC,	Кути, прямий кут
∪, ∧	Об'єднання
∩, ∨	Перетин
⊃, ⊂, ∈, ∋	Належність
⊄, ∉	Не належить
≡	Тотожність
∥	Паралельність
⊥	Перпендикулярність
⩛	Мимобіжність
∞	Нескінченність
т.	Точка
ДСП	Допоміжна січна площина
ДПП	Додаткова площина проекцій
ЗПП	Заміна площин проекцій
КСС	Концентричні січні сфери
ППП	Плоско-паралельне переміщення
ЕСС	Ексцентричні січні сфери

0. ОРГАНІЗАЦІЯ ПРАЦІ

Навчальний курс включає лекції, практичні заняття, модульний контроль у формі робіт, заліків та екзаменів, в ході яких викладаються теоретичні основи, відпрацьовуються способи розв'язання задач, перевіряється засвоєння матеріалу. Обов'язковою є самостійна підготовка, зокрема, виконання графічних робіт. Дотримання наведених нижче правил допомагає робити це ефективніше.

0.1. Що слід знати про кредитно-модульну систему?

Кредитно-модульна організація навчального процесу – один із елементів удосконалення, глобалізації та підвищення мобільності навчання через впровадження уніфікованих одиниць трудомісткості (кредити), які характеризують складність тих чи інших дисциплін, змістовних одиниць дисциплін (модулі), а також стандартної процедури оцінювання знань за міжнародною шкалою.

Про цілі її впровадження можна прочитати у так званій Болонській декларації, прийнятій у 1999 р. (http://iic.dgtu.donetsk.ua/russian/ovs/bologna.html), до якої приєдналася і Україна.

Кредитно-модульна система має на меті стимулювати людину до постійного і творчого удосконалення. Стимулом є можливість не складати іспит чи залік, а засобом контролю – регулярне оцінювання окремих видів навчальної роботи на протязі всього семестру.

Система працює наступним чином.

Семестрова програма розбивається на певну кількість модулів, кожен із яких складається із обов'язкових видів навчальної роботи і модульної контрольної роботи. Види навчальної роботи і модульна контрольна робота оцінюється балами, сумарна кількість яких визначає модульну оцінку. Семестрова модульна оцінка складається із суми оцінок модулів. Отримана сума балів дає підстави поставити студенту підсумкову оцінку без складання екзамену (заліку); направити на таке складання (це відбувається, як правило, унаслідок несвоєчасного виконання окремих видів робіт); направити на повторне складання або відрахувати. Сума балів перераховується у оцінки за національною шкалою («відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно») та міжнародною шкалою (A – відповідає оцінці «відмінно», B та C – «добре», D та E – «задовільно», F – необхідний повторний курс, FX – відрахування) і у такому вигляді проставляється у відомості та залікові книжки. Зміст усіх видів роботи, їх оцінювання, модульні і семестрові оцінки, їх перерахунки за національною і міжнародною шкалами, а також процедури оцінювання, описуються у робочих навчальних програмах. Це – офіційні документи, які затверджуються проректором з навчальної роботи вищого навчального закладу. Саме вони є підставою для визначення остаточних оцінок знань. Студенту слід обов'язково переглянути ці програми на сайті вищого навчального закладу, або у викладачів, оскільки слід знати «правила гри».

0.2. Комплект інструментів

Слід приносити на заняття та використовувати:
чорний і 2–3 кольорові олівці;
циркуль;
лінійку та трикутники із кутами 30° і 45°;
транспортир;
лекало;
гумку.

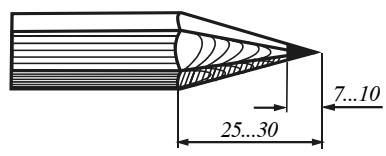


Рис. 0.1. Правильне загострювання олівця

При виконанні графічних робіт слід застосовувати грифелі М чи 2М (В і 2В) для проведення суцільних основних товстих ліній і Т (Н) для тонких ліній. Загострювання робиться згідно рис. 0.1.

0.3. Ведення конспекту

Конспект лекцій є найбільш пристосованим до конкретної людини викладанням курсу, першим помічником при підготовці до занять та модульного контролю, ефективним засобом запам'ятовування і засвоєння матеріалу – але лише за умови його належної якості. Психологи і ергономісти радять наступне.

А. Структурування

Необхідно нумерувати назви тем і питань, виділяти визначення і теореми, відтіняти значимі фрагменти лекцій. Способи можуть бути різні, наприклад:

ЛЕКЦІЯ 1;
Питання 1.1.;
| Визначення;
||Теорема;
Можна використовувати різні шрифти, різні кольори тощо.

Б. Надання візуально прийнятної форми

Наприклад, перелік на попередній сторінці сприймається і запам'ятовується краще, ніж якби він виглядав так: чорний і 2–3 кольорові олівці; циркуль; лінійку та трикутники із кутами 30° і 45°; транспортир; лекало; гумку.

Внутрішні зв'язки у тексті краще видно при наданні йому виду, показаного на рис. 0.2.

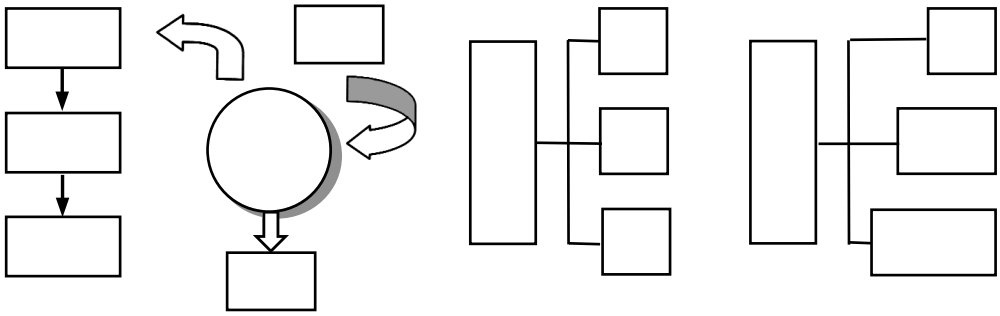


Рис. 0.2. Візуалізація тексту

Самоконтроль. Спробуйте знайти власні, найбільш зручні саме для вас способи візуалізації.

В. «Переказ», а не «диктант»

Звичайно, слід точно записувати назви, визначення і теореми. Але матеріал запам'ятовується краще, якщо речення «пропускаються через себе», засвоюються і записуються власними словами. Так і треба робити. Необхідно піклуватись про надання тексту компактного вигляду за рахунок застосування мнемонічних скорочень, умовних позначень, таблиць, тощо. Наприклад, фраза «У зв'язку із розвитком комп'ютерної графіки спостерігається зростання ролі обчислювальної геометрії» може бути записана приблизно так: Комп. гр.↑⇒↑ обчисл. геом.

Г. Рисунки

Слід привчатись малювати від руки (для креслення існують спеціальні вправи), зберігаючи пропорції фігур, даних в підручнику або накреслених на дошці. Розміри зображень мають бути настільки великі, щоб можна було розрізнити всі подробиці побудов. Для виділення послідовності етапів розв'язання задачі доцільно застосовувати олівці різних кольорів чи проводити тонування різної інтенсивності. Конче необхідними є хоча б коротенькі пояснення кожного з кроків, які доцільно розміщувати на тих же сторінках, що й рисунки.

0.4. Самостійна робота

Слід знати, що необхідною умовою формування просторового мислення є регулярність занять. Тож:

1) вдома, в день, коли відбулася лекція, треба уважно прочитати конспект;

2) те ж саме слід зробити перед практичними заняттями, зафіксувати незрозумілі місця, незакінчені рисунки чи помилки, спробувати з'ясувати їх за допомогою підручника або самостійно. При використанні практикуму або робочого зошиту для практичних занять і самостійної роботи слід відповісти на контрольні питання за темою практичного заняття. Якщо якісь матеріали лишилися незрозумілими, не бійтеся задавати питання викладачам;

3) рекомендується виконувати домашні завдання і графічні роботи безпосередньо після видачі, поки в пам'яті ще свіжі всі пояснення викладача. Інакше доведеться все заново пригадувати, шукати інформацію в підручниках, що приведе до зайвих витрат часу;

4) слід використовувати всю рекомендовану методичну літературу, але починати все-таки з конспекту;

5) зручніше використовувати різні зошити для лекцій і практичних занять;

6) у практикумі або робочому зошиті слід прагнути самостійно розв'язати якомога більше задач. Особливо корисно поміркувати над найскладнішими з них;

7) серйозне колективне обговорення і взаємодопомога є конче необхідними, проте порадами товаришів слід користуватися свідомо, відкидаючи ті, що здаються поверховими або помилковими;

8) ні в якому разі не слід застосовувати в якості «зразків» графічні роботи товаришів – досить вірогідно, що вони переобтяжені помилками. Така практика позбавляє самостійності і критичності, веде до зайвих витрат часу на виправлення помилок і ніяк не виправдовує себе.

ЧАСТИНА ПЕРША

НАРИСНА ГЕОМЕТРІЯ

Метод Монжа є основою інженерної графіки; він використовується при побудові основних і додаткових видів, перерізів, розрізів.
Прийоми розв'язання позиційних, метричних та конструктивних задач застосовуються у проектній практиці.
Аксонометрія найчастіше застосовується в машинобудуванні для підвищення наочності креслень; перспектива – в тих самих цілях в архітектурі.
Побудова тіней робить зображення ще природнішими.
Нарешті, проекції з числовими позначками є зручними для розв'язання задач вертикального планування.
Але є й менш прагматичний бік справи.
Вміння уявляти об'єкт в цілому за його частинами і правильно проводити поділ об'єкту – основа будь-якого творчого процесу. Вишуканість будівлі обумовлена гармонійністю її елементів, що виражається через форми, розміри, пропорції, масштаб, метр, ритм, нюанс, колір; якість поетичного твору – відповідністю основній ідеї ритму, рим, окремих звуків.
Можна наводити безліч подібних прикладів.
О.К. Антонов любив повторювати, що красиві літаки літають добре, некрасиві – погано, підкреслюючи, що вдале технічне рішення має неабиякий естетичний вплив.
Отже, уявлення фігур за їх проекціями, перетворення зображення, об'єднання і перетин поверхонь, розбивка складних задач на більш прості, розв'язання через об'єднання окремих етапів розвивають творчий потенціал і закладають основу подальшої долі – чи бути виконавцями та ремісниками, чи керівниками та творцями.

1. ІСТОРИЧНИЙ НАРИС

Нарисна геометрія – наука, що досліджує властивості простору за допомогою графічних зображень. Розвиток уявлень про простір і способи його зображення є її історією. Ця історія цікава сама по собі, але ще привабливішим є виявлення співвідношень із змінами свідомості і соціокультурними здобутками людства.

1.1. Первісний лад

Свого часу була поширена думка, що винайдення зображень є межею, яка відділяє людину сучасного типу від її найближчих предків. Потім виявилося, що все значно складніше – анатомічно сучасні люди існували десятки тисяч років, не виявляючи жодних ознак графічної культури. Так чи інакше, малюнки супроводжують людину на протязі чималого часу, і це не є випадковим.

Які ж причини спонукали людей винайти живопис – у певному сенсі, почати творити власні світи? Яку реальність відображають малюнки первісних людей – дійсну, символічну, фантазійну? У якому стані свідомості зроблені ці малюнки? Чи є цей стан окремим етапом еволюції свідомості людини? Відповіді на подібні питання вимагають застосування найсучасніших наукових досягнень, зокрема, теорії самоорганізації складних систем. Які композиційні, колористичні та інші особливості малюнків? Чи не можна використати їх, наприклад, у системах відображення інформації, дизайні, рекламі для створення прогнозованого впливу та відповідної реакції – що є теоретично і практично значимим для кібернетики та ергономіки. Нарешті, чим обумовлена їх певна схожість з дитячими малюнками? Тут є кореляції з проблематикою дитячої психології та практичної педагогіки.

Наведемо невелику вибірку (рис. 1.1 – 1.4), підібрану так, щоб відобразити найбільш суттєві закономірності первісного живопису.

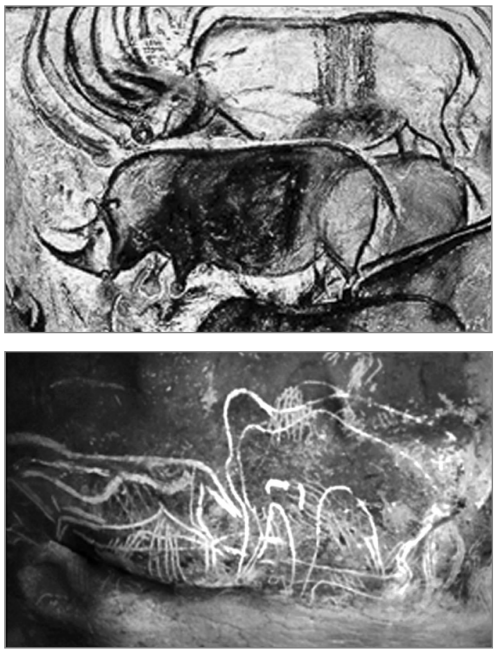


Рис. 1.1. Носороги та мамути. Печера Шове, Франція. Ориньяк, 35 – 20 тис. до н. е.



Рис. 1.2. Полювання. Печера Альтаміра, Іспанія. Мадлен



Рис. 1.3.
«Трафарет» – зображення руки, 28 тис. до н. е.

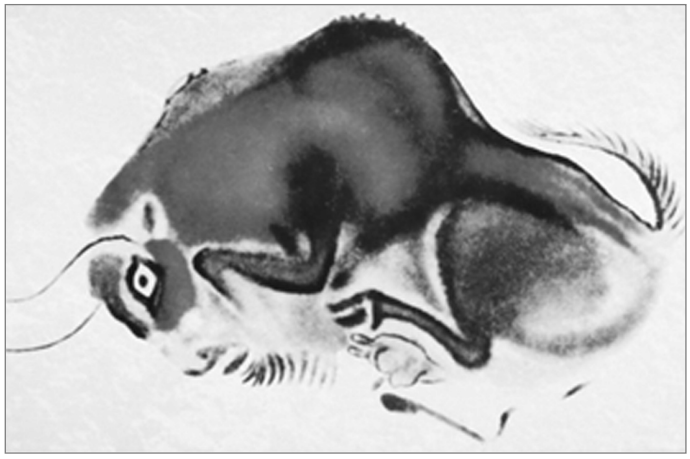


Рис. 1.4. Поранений бізон.
Печера Альтаміра, Іспанія. Мадлен

Подібні зображення розповсюджені і на теренах України (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Петрогліфи. Кам'яна Могила, м. Мелітополь, Україна

Давайте просто поглянемо на них…

Ці образи, що виникли раптово,
В усій своїй красі, і не щезають
Ніколи...
Цей вічний біг, нікуди і нізвідки,
Без жодних просторових орієнтирів,
Без горизонту...
Це відчуття миттєвого прозріння
Картин і настроїв тодішнього буття
Крізь всі віки...

Тепер перелічимо найбільш суттєві особливості зображень:
1. Відсутність глибини простору.

2. Наївний реалізм, а, краще сказати, імпресіонізм зображень. Малюнки справляють сильне, «живе» враження. Азарт полювання охоплює глядача, він нібито сам приймає у ньому участь! Зображуються точно передані деталі, впізнаванні тварини, застосовуються вишукані, природні (зважаючи на обмежений вибір фарб) кольори. Разом з тим, порушуються пропорції, а фігури як би виростають із стін печер, вписуючись у їх рельєф та тріщини. Композиції мають яскраво виражений динамічний характер, відсутня будь-яка симетрія чи «точки відліку», які б дали можливість зафіксувати землю чи небо.

3. Фантастичний характер деяких зображень характерний, здебільшого, для пізньої доби Мадлен. Людина нібито перетворюється у звіра, «конденсується» з повітря, тримає у руках невідомі знаряддя тощо.

Виходячи з цих особливостей, можна констатувати, що первісні художники зображали не фізичний, а суб'єктивний, магічний простір. Але чому суб'єктивний простір має особливості (1–3), а не якісь інші? Спробуємо відповісти на це питання виходячи із теорії самоорганізації С-простору, до якої ми ще повернемося у розділі 26. Її застосування до проблем визначення структури людської свідомості, процесів сприйняття і розпізнавання, привело до таких висновків.

Структури людської психіки мають певну ієрархію і виникають під впливом зовнішніх факторів. Процес структуризації описується як один із сценаріїв самоорганізації – реалізацію числового ряду Фібоначчі: 1–1–2–3–5–8…. Він призводить до утворення психічних структур із відповідними каналами сприйняття навколишнього світу та специфічними для них об'єктами сприйняття:

1) спочатку інтуїтивно відчувається єдність із об'єктом сприйняття (абсолютно відчужені структури не можуть взаємодіяти);

2) далі формується відчуття власної самодостатності («его» на психічному і «гомеостаз» на фізіологічному рівнях), оскільки без суб'єкту сприйняття неможливе;

3) виникнення самодостатності викликає відчуття відокремленості від світу і волю до експансії, а також розсудливості, що оцінює реакцію зовнішнього світу на таке вторгнення за принципом бінарної опозиції – «гарно/погано», «щастя/нещастя» тощо;

4) зовнішні об'єкти структуруються за тернарним принципом, виникає розум із властивою йому концепцією простору-часу як форми існування об'єктів і ноуменів.

5) формуються три групи відчуттів: внутрішні (голод, спрага і т.д.), граничні (рівновага), зовнішні. Останні представлені п'ятьма відчуттями кольору, звуку і т.д.;

6) окремі відчуття диференціюються на основні кольори, тони тощо, яких, як правило 7–9 (числа Мілера), потім на більш дрібні відтінки.

Таким чином, структура сприйняттів формується починаючи від загальних, «абстрактних» до конкретних, «чуттєвих» вражень так само, як і процес розпізнавання починається від загального «контексту», який і визначає конкретний «зміст», а не навпаки. Усі ці канали і структури притаманні як окремій людині, так і людським спільнотам. На протязі існування людини як виду з різних причин домінуючими ставали одні з них, а інші відходили у затінок. Ці зміни, пов'язані з тією чи іншою історичною добою, і є змістом еволюції свідомості.

Антропологи стверджують, що первісне життя було важким, а людина часто знаходилася на межі вмирання. Перебуваючи у такому стані, вона відчувала єдність з Всесвітом (активізація інтуїтивного сприйняття), а відтак і можливість направляти події у бажаному напрямі. Таке відчуття є витоком магічних практик, для яких вже потрібні активізація его, волі і розсудливості.

З часом були відкриті техніки стимуляції інтуїції, що так чи інакше зводилися до імітації навколосмертних станів. Зберігання і інтерпретація набутого досвіду, монополізовані шаманами і чаклунами, знайшли втілення у різноманітних культах. І якщо для оточуючих шаман у трансі здавався вмираючим, то сам він переживав стан, подібний до описаного у одному з гімнів «Рігведи»:

Ми випили соми,
Ми стали безсмертними,
Ми вийшли до світла,
Ми знайшли богів!

Відтак, знаючи закономірності самоорганізації і зіставляючи їх з даними антропології, можна реконструювати, який саме простір зображали первісні художники. Це – третя стадія самоорганізації, де відсутній тривимірний гештальт простору-часу із притаманним йому чітко визначеним станом, розмірами, формою об'єктів, але присутні підняті з неочищеної пам'яті образи та враження, що сяють яскравими фарбами, виникають з нізвідки, набувають найхимернішого поліморфного вигляду, підкоряючись волі і бажанням людини, і зникають в нікуди, демонструючи всі ознаки (1–3).

Отже, малюнок первісної людини, попри зовнішню реалістичність, не є картиною в сучасному розумінні, це знаряддя впливу на природні процеси. Його простір знаходиться поза логікою і часом, наділяється якостями напруження і азарту і відкликається вдачею і радістю життя. І цю його особливість яскраво відчувають і сучасні люди.

Результати цих спостережень занесемо до таблиці 1.1.

Таблиця. 1.1

Характеристики здобутків первісного періоду

Типи пам'яток	**Просторові уявлення**	**Визначні риси і прийоми**
Малюнки на стінах печер і побутових предметах, кераміка, різьба по каменю і кістці	Магічна єдність психокосмосу	Відсутність глибини простору і точки зору, імпресіонізм, поліморфність, абстрактність зображень

Для тих, хто зацікавився цією темою, наведемо невеликий список літератури.

1. *Абрамова З. А.* Первобытное искусство / З. А. Абрамова. – Новосибирск: НГУ, 1971. – 524 с.
2. *Померанцева Н. А.* Первобытное искусство. От древнейших культур к ранним цивилизациям: [альбом] / Н. А. Померанцева. – М. : Белый город, 2006. – 144 с. – (Эпохи. Стили. Направления).
3. *Тайлор А. Б.* Первобытная культура / А. Б. Тайлор. – М. : Наука, 1989. – 286 с.
4. *Столяр А. Д.* Происхождение изобразительного искусства / А. Д. Столяр. – М. : Искусство, 1985. – 435 с.
5. Первобытное искусство. Проблема происхождения /[Бледнова Н. С. и др.]; под ред. Я.А. Шера. – Кемерово : КПИ, 1998. – 209 с.
6. *Lewis-William D.* The Mind in the Cave /D. Lewis-William. – London: Thames and Hudson, 2002. – 722 p.
7. *Пиаже Ж.*Психология интеллекта / Ж. Пиаже. – Спб : Питер, 2003. – 398 с.
8. *Ковальов Ю. М.* Зображення простору у первісну добу / Ю. М. Ковальов, О. Ю. Ніцин // Технічна естетика і дизайн. – 2009. – Вип. 6. – С. 27 – 33.

1.2. Перші цивілізації і античність

Стародавні часи позначено найяскравішим злетом людського духу. Це доба, коли відбувалося формування релігій, складалися грандіозні натурфілософські і міфопоетичні системи, з'являлися держави і науки, доба, що залишила у спадок вічні винаходи – такі, як колесо, і вічні споруди – такі, як піраміди. Багато правди є у твердженні, що в подальшому людство лише просувалося у напрямку, визначеному саме тоді.

В цей час стався величезний стрибок від первісної цілісності світу і свідомості до їх сучасної розшарованості, найяскравішою ознакою чого було винайдення письма. Звичайно, зміни, що відбувалися крок за кроком, позначилися і на уявленнях про простір. Спробуємо їх простежити.

А. Межа історії

...Минали тисячоліття, і людина потроху відчувала свою відчуженість від природи – маєток, землеробство і тваринництво зробили її набагато більш незалежною. Це – межа історії, доба працивілізацій. Погляньмо, як змінився характер малюнків – де й поділася безпосередність вражень. Натомість бачимо складні композиції і абстракції (рис. 1.6, 1.7).

Першою концепцією, яка прийшла на зміну первісним уявленням, стала міфологема структурованого Всесвіту-дерева, що виникає і зникає чи то сам по собі, чи то за волею богів, в якому людина вже є окремим елементом.



Рис. 1.6. Печатка (Гіндустан, не пізніше 2-го тисячоліття до н. е.)



Рис. 1.7. Шрі-янтра (Гіндустан)

Печатка (рис. 1.6) відтворює один з варіантів цієї міфологеми, притаманний цивілізації Хараппи – Мохенджо-Даро. Основою композиції є дерево – вісь цілісного Всесвіту. Три світи (мертвих – коріння, живих – стовбур, і богів – крона), позиційно, структурно і емоційно відмінні, є його складовими частками. Простежуються різноякісні зв'язки між ними, центром яких є композиція з дев'яти кіл, вписаних у велике коло.

Більш абстрактними, хронологічно пізнішими, є так звані янтри (в перекладі з санскриту – знаряддя), що також походять з Гіндустану (рис. 1.7). Композиція підкреслює динамічну насиченість всесвіту, циклічність змін в ньому, спокій поза ним. Такі янтри були знаряддями для медитацій, а пізніше використовувалися у якості планів для побудови культових споруд.



Рис. 1.8. Сучасна реконструкція календаря за розписом на кераміці. Україна, перші сторіччя н. е.

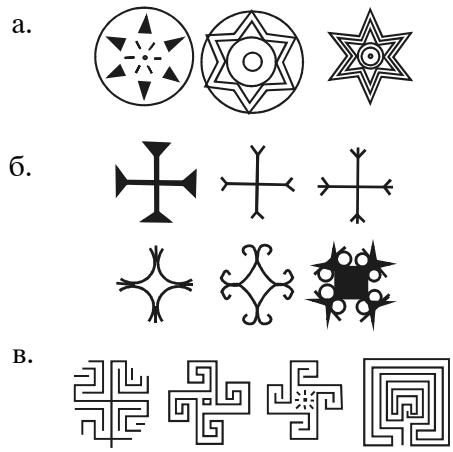


Рис. 1.9. Елементарні символи: а. Зірки; б. Хрести; в. Меандри і лабіринти

На рис. 1.8, 1.9 простежується розвиток символів, які потроху втрачають якості інтуїтивного зв'язку з означуваним і поступово перетворюються на писемність.

Цікаво, що елементи – хрести, зірки, хвилі, меандри, свастики, тощо – є спільним надбанням людства; вони зустрічаються в культурах, розділених часом в усіх частинах світу, більше того, мають однакові співвіднесення із певними станами свідомості і досить близькі значення.

Подібні символи знаходять застосування і сьогодні, наприклад, як релігійна чи політична атрибутика, елементи орнаментів, оздоблення інтер'єрів.

Отже, зв'язки людини з Всесвітом, вже більш тонкі і абстраговані ніж у попередній період, віднині підтримувалися за допомогою символів, своєрідної знакової системи стихійної магії, мови чаклунів і жерців – дуже впливових постатей тогочасного суспільства.

Передача складної структури простору, його цілісності, динаміки, циклічності потребувала деяких геометричних знань і досить розвинутої графічної культури. Так, вже побудова простих шестипроменевих зірок (рис. 1.9а) могла бути здійснена лише при усвідомленні, що сторона правильного шестикутника, вписаного в коло, дорівнює радіусу кола. Ще складніше вписати в коло сукупність співрозмірних трикутників на рис. 1.7 – забезпечення розташування вершин і точок перетинів сторін на прямих лініях вимагає не тільки ретельності та наявності інструментів, а й знань геометрії.

1. *Голан А.* Миф и символ /А. Голан. – М.: Русслит, 1993. – 375 с.
2. *Рыбаков Б. А.* Язычество древних славян / А. Б. Рыбаков.– М.: Наука, 1981.– 608 с.

Самоконтроль. Спробуйте відтворити рис. 1.7, користуючись переліченими у розділі 0 інструментами та знаннями шкільної геометрії. Оцініть витрати часу. Ця вправа вчить поважати здобутки минулих часів, чи не так?

Б. Рабовласницькі держави Близького Сходу

Виникнення держав, без сумніву, докорінно змінило світогляд стародавніх людей. І графічні пам'ятки наочно відобразили це.

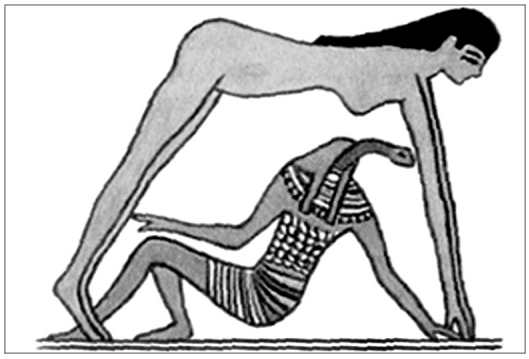
Зображення месопотамського і давньоєгипетського походження демонструють порушення цілісності і розшарування просторових уявлень, початок відокремлення магічних і сакральних світів від тривимірного буденного простору. Дослідимо це детальніше, в основному на прикладах давньоєгипетського живопису, час від часу зіставляючи його із синхронними та попередніми культурами.

У стародавньому Єгипті існувало кілька типів зображень, які являють собою розписи, рельєфи та відтиски:

- моделі Всесвіту;
- зображення богів;
- сцени «офіційних хронік»;
- ієрогліфи;
- зображення природи.
- «світські хроніки», господарські та побутові сцени.

Моделі Всесвіту. Порівняємо зображення Всесвіту давніх єгиптян (рис. 1.10а) з ассирійським рельєфом (рис. 1.10б).

а.



б.

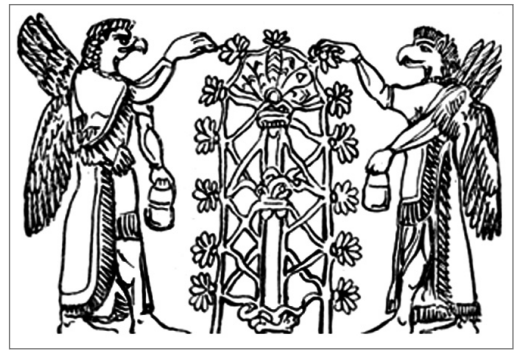


Рис. 1.10. Структура Всесвіту: а. У єгиптян; б. У ассирійців

Ассирійці дотримуються уявлень про єдиний Всесвіт-дерево, яке насаджують і доглядають боги. Сама людина також ототожнюється із деревом, що символізує її єдність із Всесвітом. Таким чином, цей символ передає «істину» інтуїтивного сприйняття.

В домінуючому міфі єгиптян бачимо новацію – Всесвіт стає бінарним, що представлено фігурами подружжя змієголового бога Геба і богині Нут. І ці символи виражають бінарність сприйняття. Спробуємо розібратись, чому відбулося таке переналаштовування свідомості. А разом з тим з'ясуємо, чому бог Геб має зміїну голову.

Первісна людина, прагнучи вплинути на природу, йшла до світу мертвих. Його символом здавна були змії та риби. Звідси шумерський міф про людину-рибу Оаннеса, що навчила людство землеробству, ремісництву, будівництву міст. Звідси і зміїна голова у фігурі Геба. І це дає підстави не погодитись із його загальноприйнятою інтерпретацією як бога землі – ні, Геб був богом підземного світу!

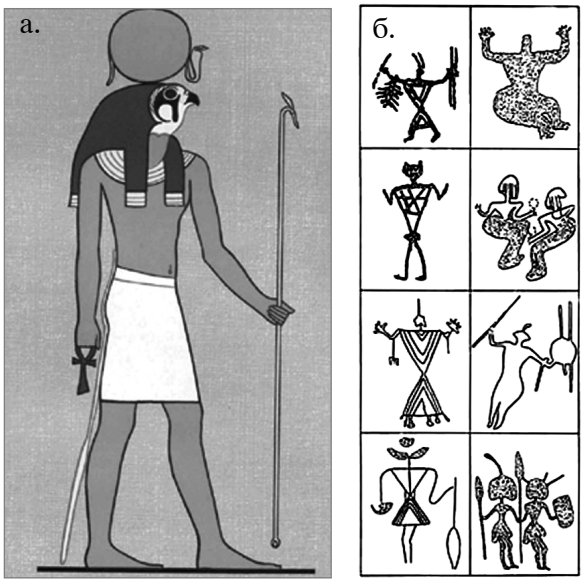


Рис. 1.11. Зображення поліморфних фігур:
а. Амон-Ра; б. Наскальні малюнки
первісних племен Сахари

Ці міфи показують, що на час виникнення цивілізації людина вже ґрунтовно відділила себе від природи (активізація его) та прагнула підкорити її, отримуючи із зовнішнього світу різного роду блага (активізація волі та розсудливості із притаманною бінарністю інтерпретацій), але тим самим послабила власну інтуїцію. Повертаючись до буденного стану, шаман описував свої відчуття у бінарних поняттях, а жрець, можливо, вже й не мав інтуїтивного досвіду.

Так підземний світ став певним чином тотожнім до небесного, що відбилося і у інших «цивілізаційних» міфах – про пернатого змія Кецалькоатля (птиця – символ небес) або Триптолема, що пересувався на колісниці, запряженою крилатими зміями.

Світ став бінарним, і світове дерево перестало відповідати новій реальності.

Рис.1.10а свідчить, що подібним шляхом змінювалася свідомість давніх єгиптян. Зображення цього типу, наслідуючи стародавню традицію, передають відношення не фізичного, а магічного, сакрального світу. І, як показує порівняння із рис. 1.1–1.5, багато в чому наслідує і техніку такої передачі.

Зображення богів представлені у вигляді людських або поліморфних фігур, досить часто із головами тварин, (рис. 1.10а, 1.11а). Ця характерна особливість, добре відома з часів первісного живопису (рис. 1.11б), обумовлена знову таки тим, що зображувалися відношення сакрального світу.

Сцени «офіційних хронік» – перемог над ворогами, а також ритуалів. Їх головним героєм був фараон (рис. 1.12).

Оскільки фараон вважався нащадком богів та живим богом, для підкреслення його величі використовувався нехитрий прийом збільшення розмірів у порівнянні із підданими та бранцями – тут ми бачимо ще одну зміну у світогляді – появу соціального виміру. Зображену на плиті сцену можна трактувати ще й як маніфестацію влади фараона над світами живих, мертвих і богів. Тобто і тут відношення реального простору поступалися релігійним чи соціальним.



Рис. 1.12. Плита Нермера

Ієрогліфи, що передавали окремі поняття, або звуки, використовувалися, в основному, для запису ритуальних текстів, що дає підставу шукати у їх формах відношення сакрального світу. Таке припущення зовсім не є очевидним, більш того, для багатьох ієрогліфів на рис. 1.13а, легко знайти цілком «земні» відповідності, так само, як і, наприклад, для клинописних знаків (рис. 1.13б).

а.



б.

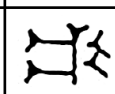
Кінець IV – початок III тис. до н. е.	Середина III тис. до н. е.	Ассірійський клинопис (I тис. до н. е.)	Що зображувалося
			Птах
			Голова бика
			Голова людини
			нога

Рис. 1.13. Походження писемності:
а) Єгипетські ієрогліфи; б) Шумерський клинопис

Але не будемо забувати, що тільки у інтуїтивному, магічному просторі існує єдність між суб'єктом, символом та об'єктом, звідки і походить сама ідея позначення – спочатку через конкретний образ, а потім абстрактний знак.

Зображення природи. Давньоєгипетські художники залишили чимало прекрасних зображень природи (рис. 1.14). Але, порівнюючи їх з кращими зразками неолітичного мистецтва (рис. 1.1–1.4), ми бачимо не так уже й багато змін. І це закономірно, оскільки і там, і там передаються, головним чином, емоційні відношення, засоби для чого були відомі ще в доісторичну добу, а відношення реального простору мають другорядний характер.

Зображення «світських хронік», господарські та побутові сцени демонструють все зростаюче прагнення до натуралізму, що досягає вершини у амарнський період – явно дегенеративне обличчя фараона-реформатора Ехнатона передано без будь-якого «лакіювання» (рис. 1.14а). Для інших зразків зображень цього типу відзначимо три новації:

- свідомий набір прийомів передачі *форм та відношень реального простору* (рис.1.14б);
- передачу динаміки (рис.1.14в);
- передачу внутрішньої будови об'єктів (рис. 1.14г);

При цьому має місце збереження канонів та прийомів передачі сакрального простору.



Рис. 1.14. Птахи на акації

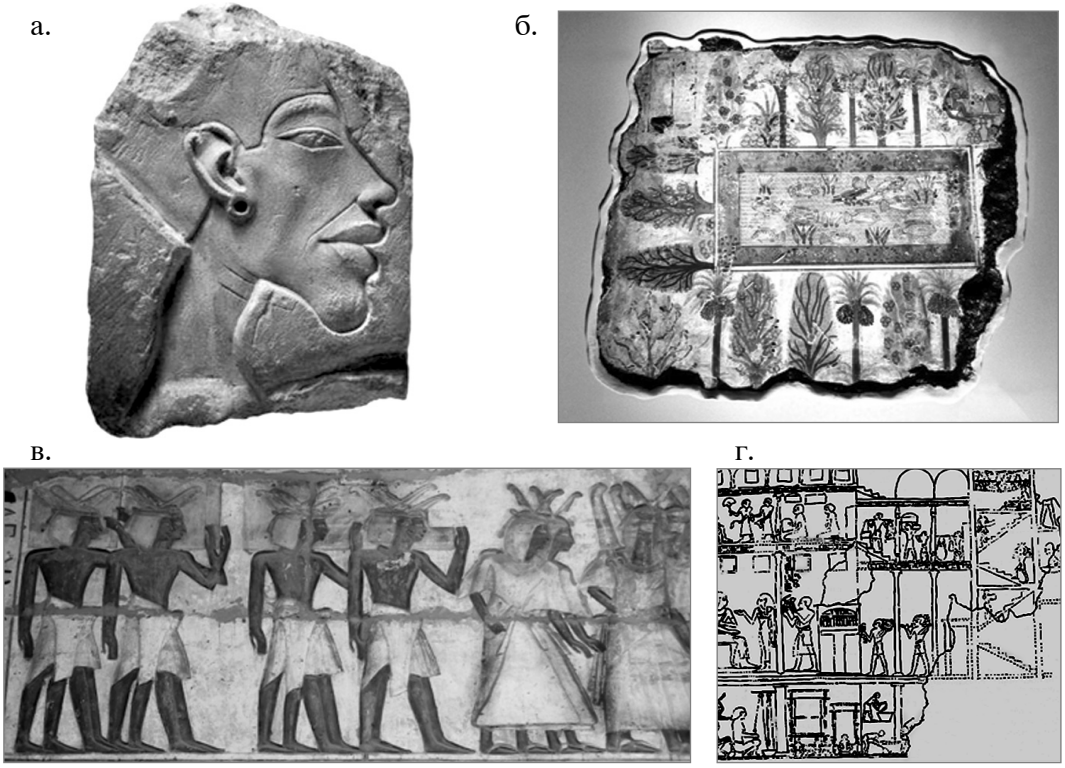


Рис. 1.14. Зображення відношень реального простору:
А. Фараон Ехнатон; б) Сад Небамона; в) Процесія носіїв; г) Майстерня

Тепер визначимо особливості техніки реалізації визначених вище новацій.

1. Площинність: кожна фігура обводиться неперервною лінією незмінної товщини, що рівномірно заповнюється фарбою одного кольору;

2. Відсутність ракурсу: зображення об'єкту сполучає зображення окремих частин, отримані з таких точок зору і при таких напрямах погляду, при яких відсутні перспективні спотворення їх форм та скорочення розмірів внаслідок їх різного віддалення від глядача;

3. Показ краси форм за допомогою спеціальних прийомів. Так, при зображенні людської фігури, ноги показуються з точки зору, що дає найкраще уявлення про форму ступні, тоді як верхню частину тулуба художник малює у напрямі погляду, при якому вона сприймається без перспективних скорочень. Як наслідок, площина плечового пояса розгортається відносно площини, що ділить тулуб навпіл, на кут в одну чверть круга, – особливість, по якій безпомилково пізнається твір давньоєгипетського живопису. Далі, ступні ніг зображуються зі сторони великого пальцю, тому, що вид ступні, що розкриває внутрішню лінію її підйому є більш виразним. Тому на давньоєгипетських розписах та рельєфах у людини є дві праві або дві ліві ноги та руки;

4. Суміщення з площиною картини декількох зображень, що найкращим чином розкривають форму різних предметів. Щоб показати сад (рис. 1.14б), художник обирає точку зору, розташовану на висоті пташиного польоту, і оглядає землю зверху. Однак дерева вздовж берегів озера, показуються у напрямі, що дає найкраще уявлення про кожне з них. При цьому рисунки дерев розміщуються під прямим кутом до берегів – і це відповідає тому, як вони ростуть у дійсності;

а. б.

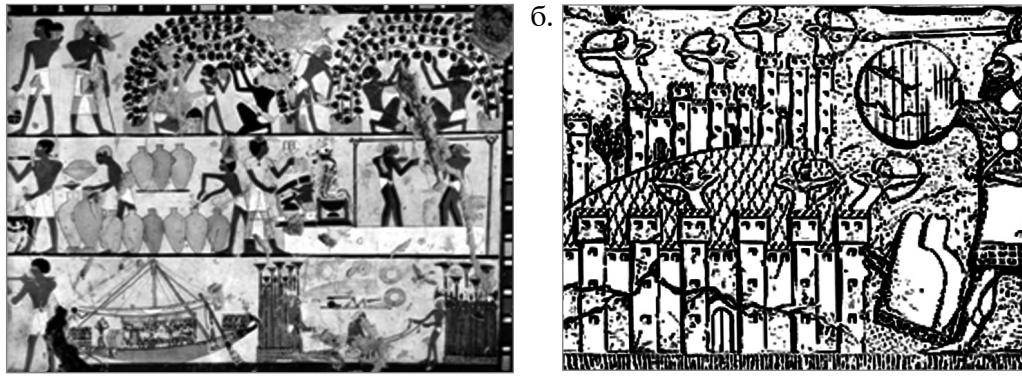


Рис. 1.16. Передача глибини у єгипетському та ассірійському мистецтві:
а. Роботи у маєтку Нахта; б. Штурм фортеці військом Тиглатпаласара III

5. Застосовується й інший спосіб зображення глибини простору (рис. 1.16а). Поставимо картинну площину під прямим кутом до поверхні землі, а напрям погляду розташуємо перпендикулярно до картини. Зображення землі перетвориться на пряму лінію, якої торкаються зображення фігур. Звичайно на давньоєгипетських розписах можна побачити кілька таких ліній, що ділять площину зображення на окремі просторові шари, які, по мірі віддалення від глядача, розташовуються вище і вище. Подібними прийомами користувалися і ассірійські та вавилонські майстри (рис. 1.16б);

6. Зсув зображень об'єктів, що відносяться до одного просторового шару, якщо один із них загороджує інший (рис. 1.17).

Незважаючи на те, що ця особливість може створити враження про зачатки лінійної перспективи, зображення насправді не має глибини, що видно хоча б із того, що зображення воїнів на різній відстані від глядача мають однакові розміри;

7. Суміщення на одній картинній площині послідовності зв'язаний подій, що відбуваються у різний час (рис. 1.18а), чим досягалося зображення розвитку сюжету у часі. Аналогічний прийом використовували ассірійські художники (рис. 1.18б).

а. б.

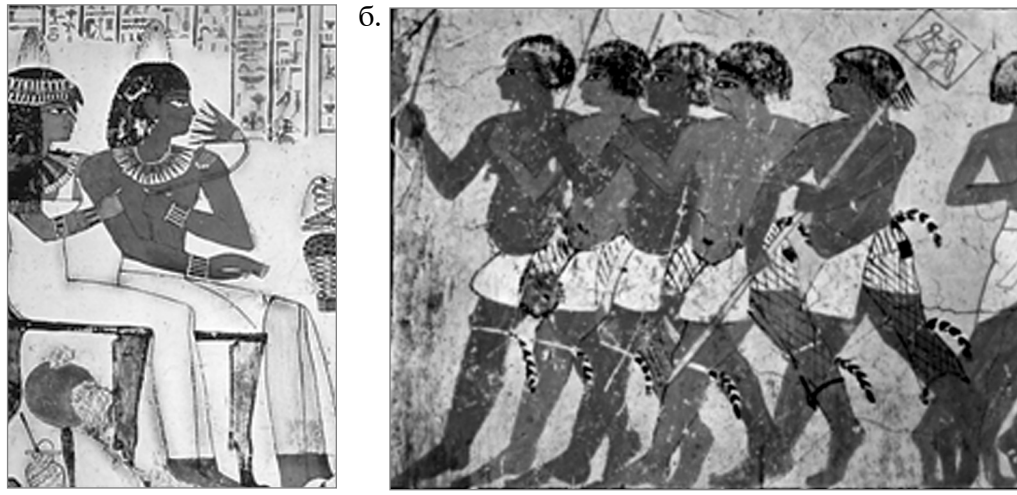


Рис. 1.17. Зсув зображень:
а. Сановник Паїрі та його дружина; б. Парад нубійських воїнів

а. б.

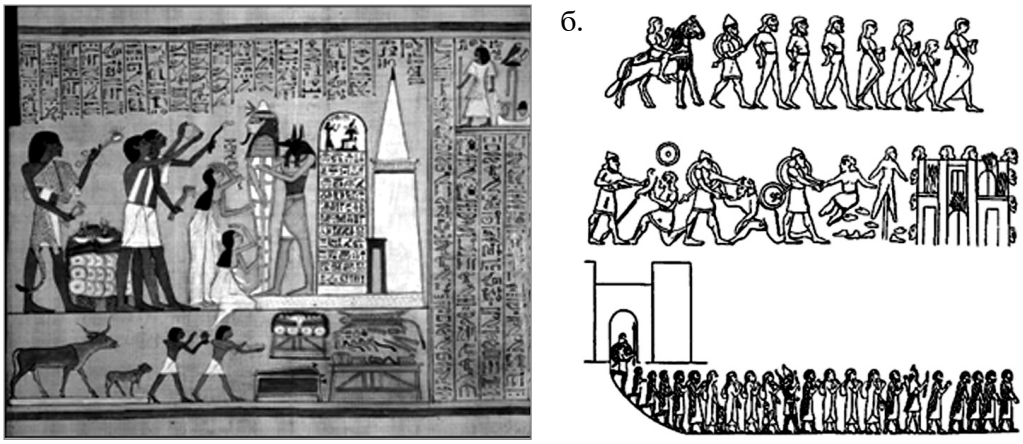


Рис. 1.18. Відображення плину часу у єгиптян та ассірійців:
а. Церемонії Книги мертвих Хунефера;
б. Захоплення та страти полонених ассірійцями

Виходячи з зіставлень давньоєгипетського, ассірійського та вавилонського живопису з первісним, приходимо до висновку, що саме тоді почалося графічне освоєння реального тривимірного простору із його специфічними формами та відношеннями. Це обумовлено активізацією розуму, який функціонує у рамках гештальту простору-часу і належить до четвертої стадії самоорганізації. Але наявність архаїчних рис і прийомів показує, що рівень розвитку розуму давніх єгиптян не далеко відійшов від рівню первісної людини. Вони тільки створили передумови, але ще не стали на шлях наукового пізнання відношень простору-часу. Що ж до легендарної мудрості єгиптян, вираженої у релігійних доктринах, досягненнях у магії, астрології і т. д., то вона мала місце і була обумовлена набагато більшою, ніж у сучасної людини, активністю інтуїції, его, волі/розсудливості. Це був майже забутий сучасною людиною спосіб сприйняття навколишнього світу.

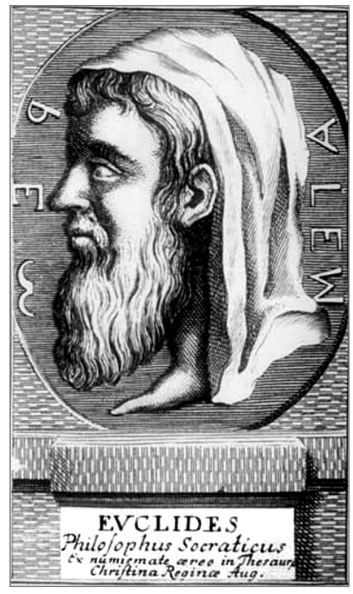
Відтак спроби дати наукову інтерпретацію давньоєгипетського живопису, побачивши там елементи перспективи, ортогональних креслень або перетворень проекцій, є нічим іншим, як некоректним застосуванням сучасного наукового апарату до явища, специфіка якого обумовлена зовсім іншими передумовами і категоріями. Шлях до сучасної свідомості і сучасного розуміння простору тривав ще не одне тисячоліття.

1. *Schäfer H.* Von ägyptischer Kunst. Eine Grundlage / H. Schäfer. – Wiesbaden: Springer-Verlag, 1963. – 334 s.
2. *Матье М. Э.* Древнеегипетские мифы / М. Э. Матье. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1956. – 144 с.
3. *Раушенбах Б. В.* Пространственные построения в живописи. Очерк основных методов / Б. В. Раушенбах. – М.: Наука, 1980. – 228 с.
4. *Колотов С. М.* К истории методов изображения / С. М. Колотов // Прикладная геометрия и инженерная графика. – 1998. – Вып. 63, 64.
5. *Матье М. Э.* Искусство Древнего Египта / М. Э. Матье. – М.: Искусство, 1966. – 231 с.
6. *Рагозина З. А.* История Халдеи. С отдаленнейших времен до возвышения Ассирии / З. А. Рагозина. – СПб : Издание А.Ф. Маркса, 1902. – 423 с.
7. *Ковалев Ю. Н.* Пространство в живописи Древнего Египта / Ю. Н. Ковалев, А. Ю. Ницын // Технічна естетика і дизайн. – 2010. – Вип. 7. – С. 23 – 35.

В. Еллада і Рим

Поступовий перехід до четвертої стадії самоорганізації свідомості – це всесвітній процес, який захопив не тільки Єгипет, але й інші центри давніх цивілізацій – Гіндустан та Китай. Як і у державах Близького Сходу, процес не був однозначним – поруч із скептичним буддизмом у Індії існувала містична йога та чуттєва тантра, а поруч із раціонально-моральним конфуціанством у Китаї – асоціально-магічний даосизм.

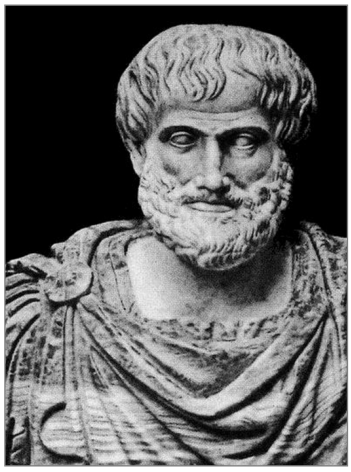
Ті ж самі тенденції спостерігалися і у греко-римському світі.



Евклід
(приблизно 365 – після 300 рр. до н. е.)

Класична Греція – доба виникнення геометрії як науки. Її батьком вважається Евклід, який біля 300 р. до н. е. розробив аксіоматику простору, що згодом дістав його ім'я. Але не слід забувати й Аристотеля, який створив логіку. Чи всі пам'ятають, що Аристотель був вчителем Олександра Македонського?

Адже аксіоми Евкліда фіксують лише ті інтуїтивні просторові уявлення, які можуть бути об'єктами логічних маніпуляцій. Звідси однорідність, адитивність, дискретність, незмінність елементів простору, тенденція до логічної досконалості доказів. Ці діяння були новаторськими, адже від попередніх епох було успадковане розуміння чисел і фігур як предметних (феноменальних) виразів ідеального (ноуменального) світу, символів, а не самостійних об'єктів. Останнє ясно з того, що нам відомо про школу Піфагора і про дослідження Платоном правильних багатогранників.



Аристотель
(384 – 322 рр. до н. е.)

Дві парадигми, дві геометрії – Евкліда і Піфагора – довгий час розвивалися паралельно; вони виражали різні усвідомлення простору і орієнтувалися на різні потреби; обидві приводили до цікавих результатів. Вершиною першої є дослідження конічних перерізів Аполлонієм близько 200 р. до н. е.; другої – теологія Прокла (410 – 485), в якій властивості богів розглядалися як похідні від теоретико-множинних відносин – думка занадто сміливa навіть для часів занепаду поганства і релігійного синкретизму. Тож не дивно, що друга, так звана сакральна геометрія, згодом локалізувалася в герметичних общинах, які претендували на таємні знання, тоді як перша стала домінуючою для наукового суспільства, і залишається такою і до сьогоднішнього дня.

Вищим синтезом античної свідомості, естетичної і філософської водночас, став погляд на людину, як на «міру всіх речей» (Протагор), використання пропорцій людського тіла, зокрема, «золотої пропорції», для гармонізації і надання цілісності храмам і скульптурним композиціям. Храм – символ всесвіту; тож чи не тоді народився так званий антропний принцип космології?

Римський період небагато додав до цих здобутків. Систематизація, повільне удосконалення, прагматизм, раціональність – ось його девіз. Прикладом є трактат Вітрувія (I ст.) «10 книг про архітектуру», в якому описується проектування будівель, площ і споруд із використанням іхнографії (плану на поверхні ґрунту), ортографії (фронтального плану) і сценографії (перспективного плану

в фронтальній постановці споруди). Це і за змістом, і за багатьма технічними особливостями, відповідає сучасній практиці – окрім однієї красномовної деталі: у оригінальному тексті досить об'ємного трактату немає жодного малюнку!

Художники тих часів (як, втім, і наші сучасники) не надто переймалися геометричними або філософськими проблемами. Проте їх твори наочно засвідчили перехід до четвертої стадії самоорганізації свідомості – поступово з'явилися нові прийоми передачі форм і відносин тривимірного простору, краси природи, краси людського тіла навіть тоді, коли сюжетною основою залишався міф (рис. 1.19 – 1.22).



Рис. 1.19. Розписи на вазах і амфорах (5 – 4 ст. до н. е.)

Спочатку ми бачимо не так вже й багато технічних відмінностей у порівнянні з тими ж єгипетськими зображеннями – та ж відсутність глибини простору, гри світла і тіні, відображення міфічних подій тощо (рис. 1.19).

Поступово простір набуває глибини, а обличчя – портретної схожості. І відбувається це завдяки грі світла і тіні – чого зовсім не було у єгиптян. З тих пір світ набув справжньої реалістичності: він став зображуватися так, як його бачили (рис. 1.20).

а. б. в.

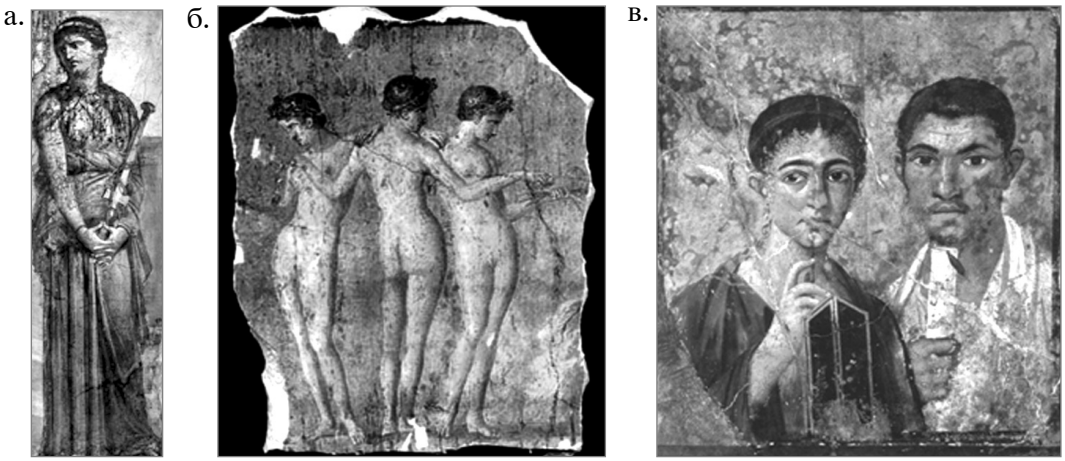


Рис. 1.20. Фрески пізньореспубліканського та ранньоімперського періодів:
а. Медея. Рим, I ст. до н. е.; б. Три грації. Помпеї, I ст.; в. Портрет подружжя. Помпеї, I ст.



Рис. 1.21. Іфігенія. Помпеї, I ст.

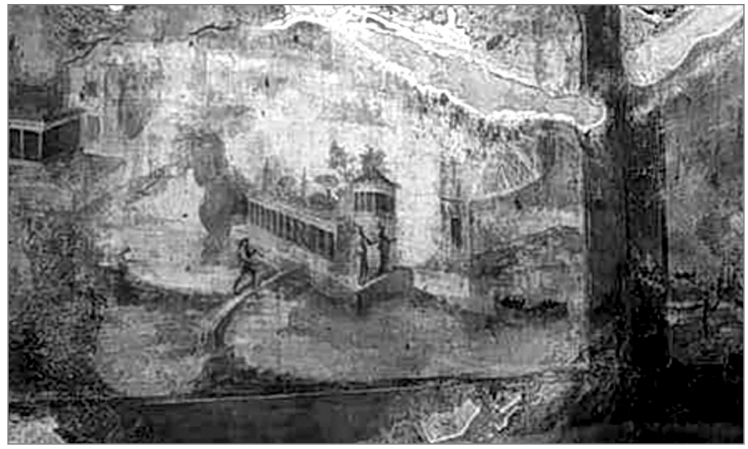


Рис. 1.22. Пейзаж. Помпеї, I ст.

І нарешті розміри однакових об'єктів (клітини на стелі, рис. 2.21, колони, рис. 1.22) стають меншими по мірі віддалення від глядача. Отже, винайдено перспективу? Так, але погляньмо на рис. 1.22 уважніше. Спробуємо продовжити паралельні лінії стін, колонад та основ будинків, а також берегів. Ми побачимо, що немає ніякої лінії горизонту, а окремі пари прямих збігаються у різних точках, або не збігаються узагалі. Тобто простір не є цілісним, він розірваний на окремі ділянки, кожен об'єкт нібито існує сам по собі і має власну перспективу, не підкоряючись загальним законам.

Відтак, художникам варто усе-таки прислухатися до геометрів, які знали про єдність простору вже щонайменше три з половиною століття – бо інколи абстрактні побудови бувають реалістичнішими за безпосередні враження!

Отже, час підбити підсумки.

Таблиця. 1.2

Характеристики здобутків Давнього Світу

Типи пам'яток	**Просторові уявлення**	**Визначні риси і прийоми**	**Значення для науки**
Фрески, мозаїки, малюнки, трактати, карти, плани, різьба по каменю та кістці	Структурованість і інтуїтивно-емоційний зв'язок макро- і мікрокосму; мікрокосм як об'єкт впливу соціуму в часі; логічно обумовлений простір; чуттєво сприйнятий простір	Складні цілісні композиції як опори медитації та міфотворчості; маніпуляція розмірами і планами; схеми; світлотіньова пластика; наївна перспектива	Формування парадигм основних наук

1. *Витрувий.* Десять книг об архитектуре. /Витрувий. Пер. с лат. *Ф. А. Петровского.* – М.: Изд-во Академии архитектуры, 1936.
2. *Чубова А. П.* Античная живопись /А. П. Чубова, А. П. Иванова. – М., 1966.
3. *Соколов Г. И.* Искусство Древнего Рима. / Г. И. Соколов. – М., 1971.
4. *«Древнеримская живопись».* Альбом репродукций. / Сост. А. П. Чубова, Л. – М., 1966.
5. *Кобылина М.М.* Искусство Древнего Рима. / М. М. Кобылина М. – Л., 1939.

1.3. Середньовіччя

З цього місця історія стає європоцентричною – бо саме в Європі сформувалася сучасна нарисна геометрія. Не будемо розглядати своєрідні символьні системи Африки і Америки, геометричну аскезу мечетей, повноту життя храмів Індії, вишукані, немов, поезія, напівпрозорі, немов тумани, альбоми китайських і японських митців... Але будемо пам'ятати про них (рис. 1.23).

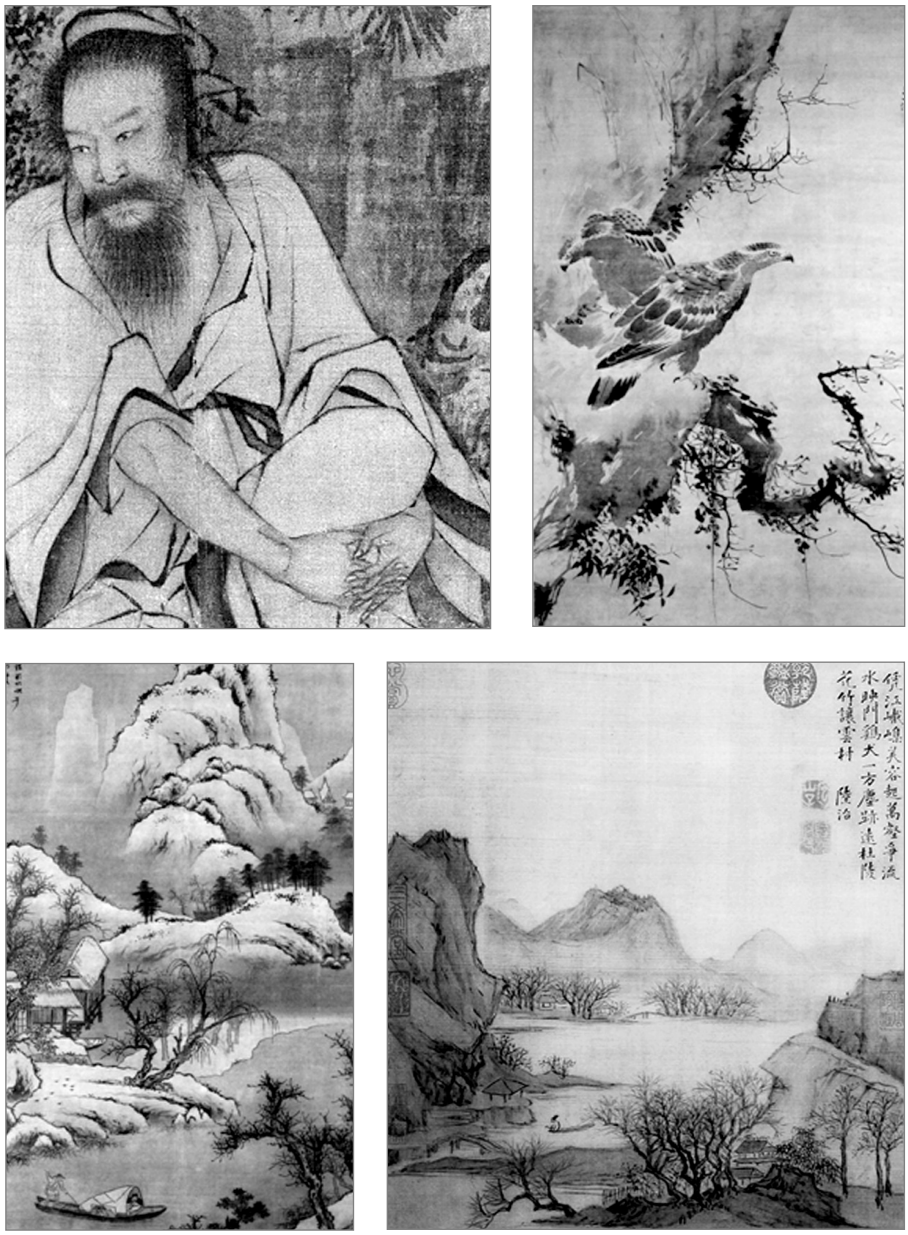


Рис. 1.23. Шедеври середньовічного китайського живопису

Самоконтроль. Визначить прийоми зображення простору на рис. 1.23. Порівняйте їх з античними і середньовічними європейськими зразками.

Середньовіччя інколи називають Темними Віками, натякаючи на культурний і технологічний регрес в порівнянні з античністю.

Чи так це насправді? Візантійська історія донесла до нас відомості про базарні сутички, що виникали виключно через богословські розбіжності; про собори і збори, які обговорювали догмати в той час, коли ворожі тарани розвалювали мури їх міст, і – інколи – про чудесні спасіння від ворогів. Центр інтересів суспільства змістився в бік християнської містики – і свідомість ніби обернулась назад, на перший і другий рівні, і там набула нової єдності – з Богом... І це дійсно привело до занедбання мирських справ. Та ж Візантія, що в недоторканості успадкувала здобутки Риму, вже наприкінці XII століття втратила свої технологічні переваги.

Але нас перш за все цікавлять графічні ознаки таких змін. Погляньмо на візантійські та руські ікони (рис. 1.24) – хіба вони не мають схожості з малюнками первісних часів або єгипетськими?

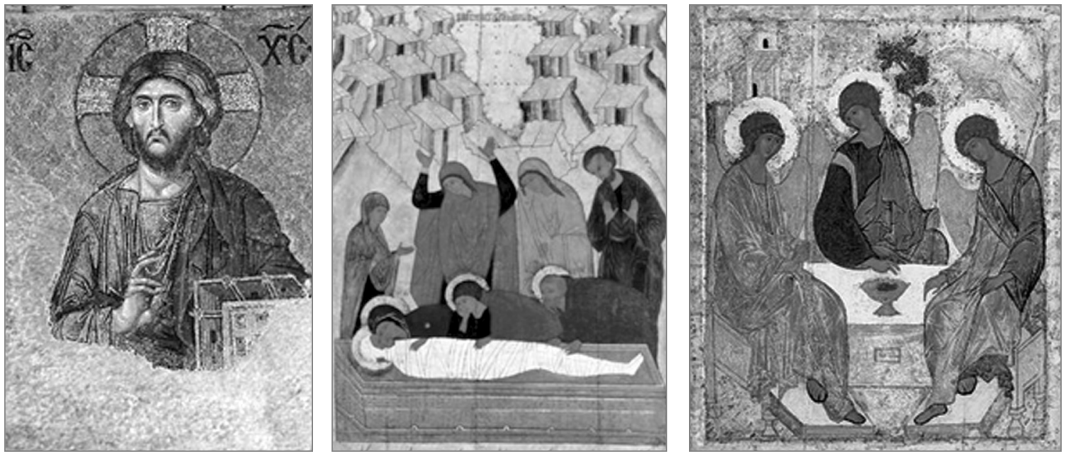


Рис. 1.24. Православні ікони. Візантія. Русь

І дійсно, ікона розумілася як символ, канал зв'язку з потойбічним світом, куди спрямовувалися молитви і звідки маніфестувалася дія Святого Духа – згадаймо про численні чудеса та зцілення. Але не можна двічі вступити в одну ріку – і ознакою цього є нові техніки передачі простору – зворотна перспектива для наближених і аксонометрія для віддалених об'єктів, характерна риса як іконографії, так і світського живопису тих часів (рис. 1.25).

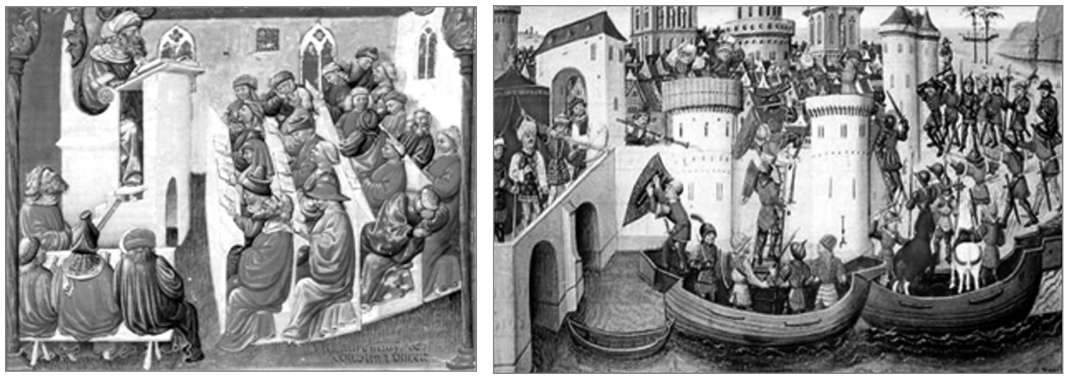


Рис. 1.25. Зразки світського середньовічного живопису



Рис. 1.26. Ян Ван Ейк. Мадонна канцлера Ролена

Дослідники нарахували тут 11 точок збігу паралельних ліній. Спробуйте перевірити!

Пізніше, за часів «осені Середньовіччя», лінійна перспектива знову набуває поширення – особливо в світському, або алегоричному живописі. І знову можна констатувати, що за своїми особливостями, зокрема, відсутності фіксованих точок збігу, така перспектива більш схожа на античну, аніж на ранньосередньовічну (рис. 1.26). Наявність таких розбіжностей складає певну інтригу – чому люди Середніх віків, епохи, значно коротшої, ніж, наприклад, єгипетська, настільки по-різному передавали простір? Відповідь на це питання дали сучасні дослідження, які показали, що людина дійсно сприймає світ не за законами лінійної, а перцептивної (криволінійної) перспективи: паралельні лінії, наближені до неї, здаються такими, що розходяться, ті, що знаходяться на середній дистанції, сприймаються як паралельні, а віддалені – як такі, що сходяться на лінії горизонту.

Завершуючи тему Середньовіччя, відмітимо також існування особливих технік серед будівельників і картографів, а також сакральної геометрії усередині герметичних громад та рицарських орденів.

1. *Раушенбах Б. В.* Системы перспективы в изобразительном искусстве. Общая теория перспективы. / Б. В. Раушенбах. – М.: Наука, 1986. – 256 с.
2. *Нессельштраус Ц. Г.* Искусство раннего Средневековья. / Ц. Г. Нессельштраус. – СПб : Азбука-классика, 2000. – 384 с.
3. *Филипп де Коммин.* Мемуары. / Филипп де Коммин. – М.: Наука, – 1987.
4. *Никколо Макиавелли.* История Флоренции. / *Никколо Макиавелли.* – М.: Наука, 1973.

Самоконтроль. Охарактеризуйте просторові уявлення періоду Середньовіччя.

1.4. Від Ренесансу до Третього Тисячоліття

Для різних типів свідомості одне й те ж явище може означати щось зовсім відмінне. Відродження і науково-технічна революція у ліберально-гуманістичній свідомості сприймаються як прогрес, безумовне благо, переддень небувалого розквіту; у релігійній – як апостасія, нове поганство, люциферіанський бунт, переддень Апокаліпсису. Конфлікт між ними, витоки якого простежуються ще в суперечках номіналістів з реалістами в глибокому Середньовіччі, засвідчив спіральність історичного розвитку – тепер як ідеал сприймалося античне обожнення людини. Треба пам'ятати про це, щоб вірно розуміти інтереси і вчинки не тільки революціонерів, але й вчених.

Відродження (Quattrocento), розпочавшись в Італії, десь п'ятсот п'ятдесят років тому, швидко стало всеєвропейським явищем. Пояснити це економічними або історичними причинами важко: зі сторінок літописів, мемуарів, творів художників і скульпторів постають картини життя, яке мало у чому відрізнялося від середньовічного (рис. 1.27) – ті ж війни, страти, жадібність, інтриги можновладців, віра у відьом і магію. Танок мерців – dance macabre – як нагадування про плинність життя…

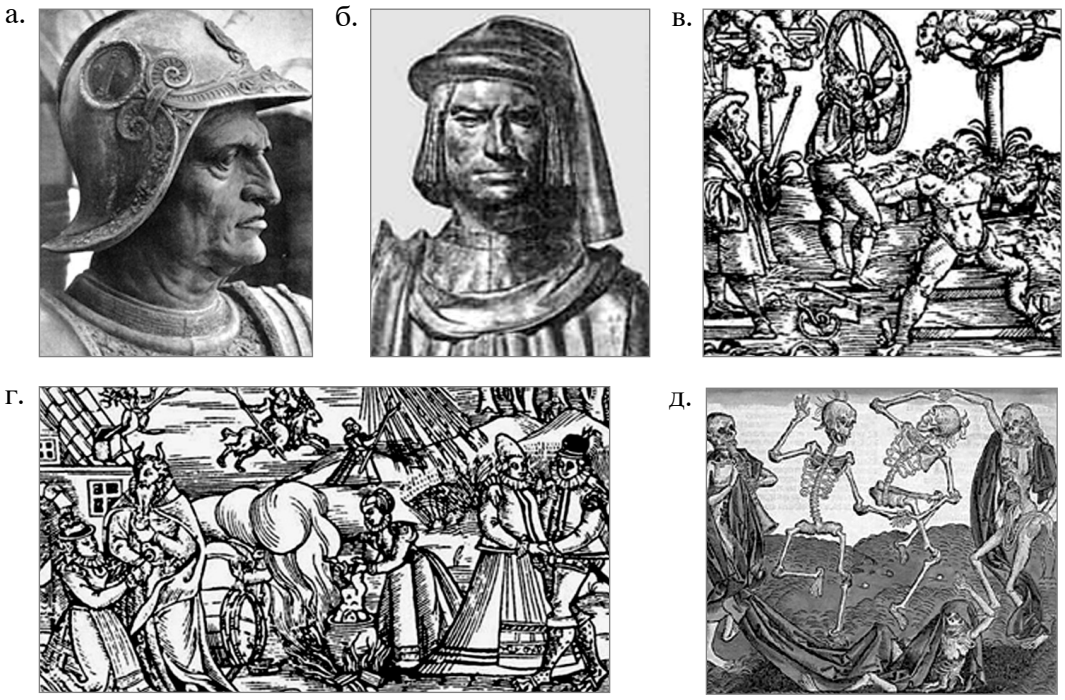


Рис. 1.27. Штрихи до епохи Відродження:
а. Кондотьєр Бартоломео Коллеоне; б. Правитель Флоренції Лоренцо Медичі;
в. Страти колесуванням; г. Шабаш відьом; д. Танок мерців

Ось як описував цю добу відомий філософ О. Ф. Лосєв:

В эпоху Ренессанса гадали на трупах, заклинали публичных женщин, составляли любовные напитки, вызывали демонов, совершали магические операции при закладке зданий, занимались физиогномикой и хиромантией, бросали в море распятия с ужаснейшими богохульствами и зарывали в землю ослов для вызывания дождя во время засухи. В массовом порядке верили в привидения, в дурной глаз и вообще во всякого рода порчу, верили в черных всадников, якобы намеревавшихся уничтожить Флоренцию за ее грехи,

но отстраненных заклинаниями праведника; околдовывали детей, животных и полевые плоды. Верили, что женщины совокуплялись с бесами и были колдуньями, хотя иной раз и добрыми. Публичные женщины для привлечения мужчин пользовались разными снадобьями, в состав которых входили волосы, черепа, ребра, зубы и глаза мертвых, человеческая кожа, детский пупок, подошвы башмаков и куски одежды, добытые из могил, и даже трупное мясо с кладбища, которое они незаметно давали съесть своим любовникам. Протыкали фигурки из воска и золы с известными припевами для воздействия на тех, кого изображали эти фигурки, мстили пророкам за их предсказания. …Когда умирал какой-нибудь известный человек, сразу же распространялись слухи, что он отравлен, причем очень часто эти слухи были вполне оправданны. …Казни, убийства, изгнания, погромы, пытки, заговоры, поджоги, грабежи непрерывно следуют друг за другом. …Священнослужители содержат мясные лавки, кабаки, игорные и публичные дома, так что приходится неоднократно издавать декреты, запрещающие священнослужителям «ради денег делаться сводниками проституток», но все напрасно. Монахи читают «Декамерон» и предаются оргиям, а в грязных стоках находят детские скелеты как последствия этих оргий. Тогдашние писатели сравнивают монастыри то с разбойничьими вертепами, то с непотребными домами. Тысячи монахов и монахинь живут вне монастырских стен. В Комо вследствие раздоров происходят настоящие битвы между францисканскими монахами и монахинями, причем последние храбро сопротивляются нападениям вооруженных монахов. В церквах пьянствуют и пируют, перед чудотворными иконами развешены по обету изображения половых органов, исцеленных этими иконами.

Саме тоді вперше католицька церква визнала існування відьом. Була Інокентія VIII Summis de siolerantes (1484) освятила нові часи вогнем інквізиторських багать, бо страта відьом стала обов'язком церковних керівників. Підраховано, що відтоді за 150 років в Іспанії, Італії та Германії було спалено 30 тисяч відьом.

Ось так – втрата містичної глибини і гостроти інтуїції, зниження мотивацій, повернули свідомість людей до специфічних для четвертого і п'ятого рівня самоорганізації способів сприйняття світу – але й вивільнили енергію для інтелектуального осмислення, чуттєвого сприйняття, художньої творчості, героїчних заокеанських авантюр та технічного прогресу.

П'ять з половиною століть – майже ніщо в порівнянні з минулими тисячоліттями; крім того, це найбільш однорідний з точки зору просторових уявлень період. Отже, нарисна геометрія мала б виникнути і мати майже такий вигляд, як і зараз? Ні, і щоб проілюструвати це, з'ясуємо, наскільки була б зрозумілою тоді сучасна постановка її основної проблеми.

Нехай є точка простору з координатами (x, y, z). Треба знайти відображення, які б однозначно переводили цю точку в її образ на площині.

Непорозуміння виникли б по таких пунктах.

1. Було б неясно, який простір мається на увазі. Чи досить аксіом Евкліда для його визначення?

2. Вираз «координати (*x, y, z*)» сприймався б як якась магічна абракадабра – до розробки координатного методу залишалось ще приблизно сто сімдесят років.

3. Цілковита неясність була б із однозначністю відображень – якщо будувати план, то як показати висоту? Якщо використати перспективу, то як зробити колесо, якщо коло виглядає то як еліпс, то як парабола, то як гіпербола?

4. Як довести коректність побудов, якщо методи доказу самі ще не є точними?

Отже, все це треба було з'ясувати якнайшвидше, бо практичні потреби, пов'язані з картографією, будівництвом, розвитком техніки, підпирали дедалі гостріше.

А. Утвердження раціоналізму

Показовою ознакою свідомості людей Відродження, яка зразу впадає у вічі, є поява десятків трактатів з питань побудови зображень. Ці трактати дуже несхожі на сучасні книги з нарисної геометрії. Для прикладу наведемо цитату з книги Леона-Батиста Альберті (1404 – 1472) «Про зодчество», де описується побудова перспективи:

Спочатку там, де я повинен зробити малюнок, я креслю чотирьохкутник з прямими кутами і приймаю його за відкрите вікно. Всередині цього чотирьохкутника, де мені приглянеться, я встановлюю точку, яка займала б те місце, куди вдаряє центральний промінь, і тому я називаю цю точку центральною. І т. д.

Такі пояснення, викладені на багатьох сторінках, не мають графічних ілюстрацій – ще одна риса, яка ріднить цей твір з трактатом Вітрувія і античним світоглядом взагалі.



Філіппо Брунеллескі (1377 – 1446)



Пьєтро-делла-Франческо дель Борго (1406 – 1492)



Гвідо Убальді-дель-Монте (1545 – 1607)

Ця епоха дала багато видатних особистостей, твори і ідеї яких увійшли до золотого фонду як мистецтва, так і нарисної геометрії. Назвемо лише деяких:

- Філіппо Брунеллескі, архітектор і скульптор, відкрив лінійну перспективу;
- Пьєтро-делла-Франческо дель Борго, художник, визначив апарат і спосіб побудови перспективи;
- Леонардо да Вінчі, художник і вчений, досліджував прийоми малювання, колористику, композицію, світлотіньові ефекти, зображення на циліндричних поверхнях;
- Альбрехт Дюрер, художник, описав перспективні зображення з використанням плану і фасаду, використав метод «перспективної сітки»;
- Данієле Барбаро, математик і меценат, зробив компендіум методів перспективного зображення об'ємних тіл і тіней від них;
- Гвідо Убальді-дель-Монте, аристократ і математик, описав «спосіб архітекторів», перспективу на криволінійних поверхнях, реконструкцію фігур за перспективними зображеннями.



Леонардо да Вінчі
(1452 – 1519)



АльбрехтДюрер
(1472 – 1528)



Данієле Барбаро
(1513 – 1570)



Рис. 1.28. Рафаель. Афінська школа, фреска

Тогочасні митці показали блискуче володіння прийомами побудови складних зображень (рис. 1.28 – 1.31).

Звернемо увагу ще на дві особливості – появу повітряної перспективи (більш віддалені об'єкти передаються блакитними тонами), а також умовність, фантастичність пейзажу, який відігравав роль фону для відображення людських почуттів, які й були предметом зацікавленості тогочасного художника.



Рис. 1.29. Леонардо да Вінчі.
Мадонна



Рис. 1.30. Перуджино.
Видіння св. Бернара



Рис. 1.31. Ганс Мемлінг. Страждання Христові

Самоконтроль. Порівняйте повітряну перспективу на рис. 1.29 – 1.32 із аналогічним прийомом на рис. 1.23 та 1.26. Зробіть висновки про особливості техніки.

Уважний огляд показує, що північні майстри використовували криволінійну перспективу (рис. 1.33), суміщаючи криві лінії простору із розгорткою сюжету, а точки їх збігу – з кульмінаційними подіями або постатями.



Рис. 1.32. Брейгель старший.
Сорока на шибениці



Рис. 1.33. Ієронім Босх.
Страшний Суд,
фрагмент середньої створи

1. *Панофский Э.* Ренессанс и «ренессансы» в искусстве Запада. / А. Панофский. – СПб: Азбука-классика, 2006. – 544 с.
2. *Раушенбах Б. В.* Системы перспективы в изобразительном искусстве. Общая теория перспективы. / Б. В. Раушенбах. – М.: Наука, 1986. – 256 с.
3. *Ротенберг Е. И.* Искусство Италии. Средняя Италия в период Высокого Возрождения. / Е. Ротенберг – М. : Искусство, 1966. – 231 с.
4. *Никулин Н. Н.* Золотой век нидерландской живописи. XV век. / Н. Н. Никулин. – М. : Изобразительное искусство, 1981. – 398 с.
5. *Ковальов Ю. М.* Связь зрительного восприятия пространства с духовными течениями эпохи Возрождения на Юге и Севере Европы. / Ю. Н. Ковалев, А. Ю. Ницын .// Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Харків, 2009. – Вип. 24. С. 81 – 91.

В XVI–XVII століттях почали використовуватись аксонометричні проекції та проекції з числовими позначками. Швидко розвивалися картографічні проекції (рис. 1.34) – а що поробиш, епоха Великих географічних відкриттів!

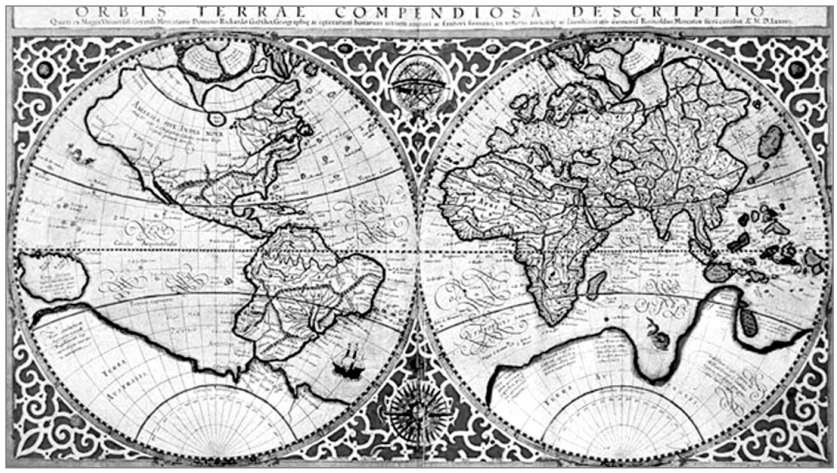


Рис. 1.34. Карта світу, складена Меркатором (Герхардом Кремером), XVI ст.

З цим пов'язана одна загадка – зображення на картах Пірі Рейса, Оронтеуса Фініуса, Меркатора, пізніше й Буше, контурів узбережжя і внутрішніх частин Антарктиди, причому вільної від льодовиків! Але ж кораблі Беллінсгаузена і Лазарева доплили до неї лише в 1820 році! На які джерела спиралися картографи?

Ці два століття характеризувалися зростанням теоретичної складової досліджень. Це цілком відповідало пануючому з часів Декарта (1596 – 1650), Ньютона (1643 – 1727) та Лейбніца (1646 – 1716) науковому гаслу Cogito ergo sum – мислю, отже, існую. Для нас цікавими є координатний метод Декарта (поєднання геометрії з алгеброю), теорія доказів Лейбніца (започаткування формального методу), концепція абсолютного простору Ньютона (екстраполяція уявлень Евкліда на фізичний простір).

Як і інші генії, названі вчені аж ніяк не вписуються в тісні рамки раціоналізму. Наприклад, Декарт розробив вихрову модель простору, Лейбніц – монадологію, Ньютон залишив чимало богословських праць. Тим не менш – і це також є типовим – у науковому обороті залишились, передусім, ті їх здобутки, які відповідали духові часу.

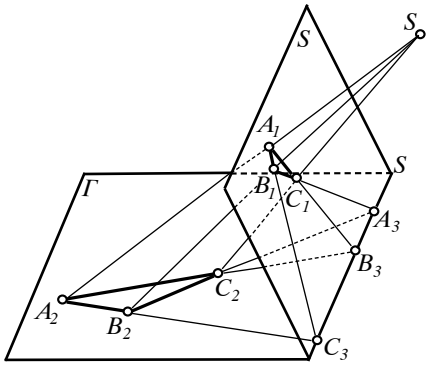


Рис. 1.35. Теорема Дезарга

Людиною, яка надала раціональної форми теорії зображень предметів у перспективі, став Жерар Дезарг. Як буде показано нижче, він є батьком проективної геометрії. Наведемо для прикладу формулювання його відомої теореми, яка описує гомологічну відповідність і є однією з основ нарисної геометрії.

Якщо три прямі, які з'єднують відповідні вершини двох трикутників, перетинаються в одній точці, то три точки перетину відповідних сторін цих трикутників належать одній прямій (рис. 1.35).

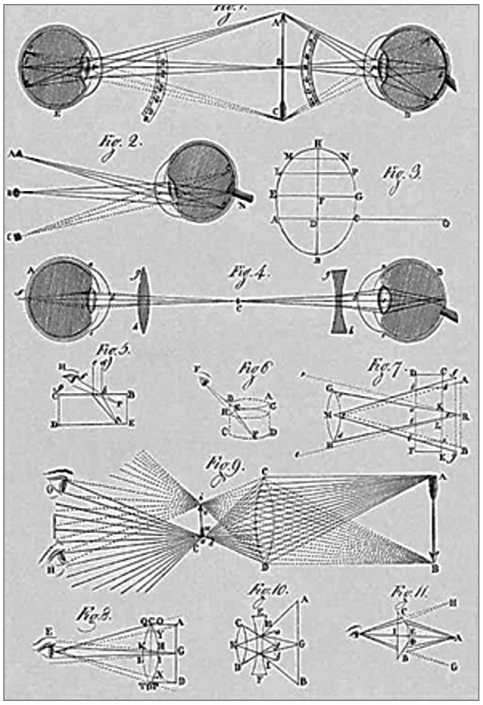
Цікавий факт: Дезарг товаришував із Декартом, і познайомилися вони під час небезвідомої облоги Ла Рошелі. І, мабуть, були вони свідками героїчних діянь Атоса, Портоса, Араміса і д'Артаньяна…

Дезарг мав багато талановитих послідовників, серед яких виділяється Блез Паскаль (1623 – 1662), відомий як філософ, але побудова кривих ліній другого порядку, описана в розділі 6, основана на його теоремі. З того часу центр геометричних досліджень переміщується з Італії до Франції.

Але розвивався і практичний напрямок, який був пов'язаний, передусім, з ортогональними проекціями. Слід згадати інженера Фрезьє, який узагальнив практичні прийоми використання ортогональних проекцій, але найколоритнішим представником цього напряму став Гаспар Монж.


Гаспар Монж (1746 – 1818)

Гаспар Монж аж ніяк не може вважатися кабінетним вченим. Син дрібного торгівця, з великим труднощами улаштований до Військово-інженерної школи в Мезьєрі, він спрямував свої перші самостійні дослідження на військові потреби – теоретично показав, як слід розміщувати артилерійські позиції для руйнування фортець. До нього така задача розв'язувалась тільки на місцевості. Отже, нарисна геометрія, як і багато що в науці, своїм розвитком завдячує військовій справі! Під знаком Марса проходило і подальше



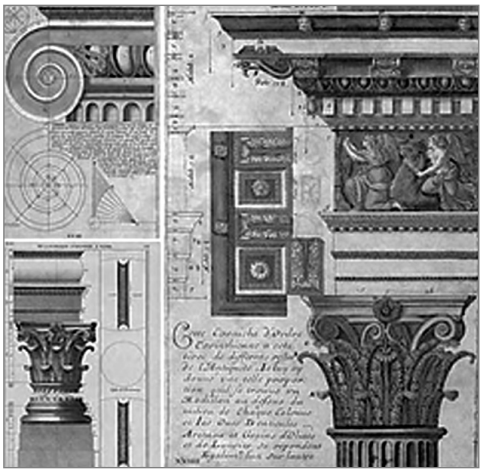


Рис. 1.36. Використання епюру Монжа у оптиці та архітектурі

життя одного з провідних професорів Політехнічної школи – Монж палко сприйняв ідеї революції і брав в ній активну участь: був морським міністром, членом Тимчасового виконавчого комітету Конвенту. На документі про страту Людовика XVI стоїть його підпис. Він одним з перших помітив і підтримав Наполеона. Монж супроводжував майбутнього імператора в Італійському і Єгипетському походах (до речі, був головним організатором вивозу культурних цінностей з Італії), згодом став графом. В роки Реставрації був ув'язнений. Отже, недарма одна з його біографій називається «Геометрія і Марсельєза».

Головною працею Гаспара Монжа є «Geometrie descriptive», видана в Парижі в 1799 р. (ювілей нарисної геометрії був широко відзначений не тільки у Франції). Розуміння її задач звучить дуже сучасно і, сказати б, вагомо:

Ця наука має дві головні цілі.
Перша – точне подання на кресленні, що має тільки два виміри, об'єктів тривимірних, які можуть бути точно задані.
З цієї точки зору – це мова, що необхідна інженеру, який створює якийсь проект, а також всім тим, хто повинен керувати його здійсненням...
Друга ціль нарисної геометрії – виводити із точного опису тіл усе, що неминуче випливає з їх форми і взаємного розташування.
В цьому сенсі – це засіб пошуку істини; вона дає незчисленні приклади переходу від відомого до невідомого...

В роботі розглянуто питання зображення точок, прямих, площин, поверхонь, кривих ліній в просторі, задачі їх взаємного перетину, дослідження властивостей, побудови дотичних і нормальних площин до кривих поверхонь, порівняння з алгебраїчним методом – все це є основним змістом і сучасних курсів. Задачі розглядаються на спеціальному кресленні. Отже основна проблема нарисної геометрії з 1799 року може вважатись не тільки зрозумілою, але й вирішеною.

А тепер погляньмо на старовинні креслення, виконання яких стало можливим завдяки Гаспару Монжу (рис. 1.36).

Характеризуючи цей період, можна відзначити, що практичні і теоретичні стимули розвитку існували водночас і чергувалися за своїм пріоритетом, що й визначило природу нарисної геометрії як синтетичної науки. Подальший розвиток дисципліни також підживлювався з обох джерел; отже, настала пора розглянути їх окремо.

Самоконтроль. Які зміни в теорії зображень відбулися до початку XIX століття? Яким був внесок Г. Монжа?

Б. Нарисна геометрія і геометрія

Є дві тенденції розвитку теоретичних досліджень: поява нових напрямів і прагнення до їх об'єднання. Наприклад, у фізиці гравітаційні, електричні, магнітні, слабкі і сильні взаємодії певний час розглядалися окремо, потім були побудовані теорії електромагнітних і електрослабких взаємодій, зараз розробляється теорія «Великого об'єднання». Так було і у нарисній геометрії: «геометрична революція» XIX – початку XX століть експортувала свої ідеї – *неевклідового і багатовимірного простору, диференціальної геометрії, формального методу* – але вони були сприйняті не відразу. Більше того, навіть окремі розділи нарисної геометрії розвивалися самі по собі.

Так, труди послідовників Дезарга стали вагомим внеском у *проективну геометрію* (поняття інваріантів перетворень, елементів проективного простору, принципу двоїстості – Понселе, колінеації, кореляції, проективітет, взаємно-однозначне перетворення – Мебіус, конструювання і дослідження вищих проективних відповідностей – Штайнер, Шаль, Штаудт, Кремона, а також і *алгебраїчну геометрію* – Кремона, Клейн, Жонкьєр, Севері). Метод Монжа не зазнав суттєвих змін; він використовувався для розв'язання все нових задач, в основному, на *взаємний перетин кривих та поверхонь.* Приємно, що його успіхи були підкріплені працями вітчизняних вчених – Севастьянова, Макарова, Курдюмова, Риніна, Федорова. Розвивалися *проекції з числовими позначками* (Нуазьє), *аксонометрія* (Польке, Шварц). Є. С. Федоров розробив нову проективну систему – *векторіальні проекції.*

Наприкінці XIX століття стає можливим об'єднання окремих розділів. Роботи Келі і Клейна дозволили інтерпретувати з проективних позицій метричну геометрію – перетворення евклідового простору виявилися окремими випадками проективних перетворень, що дозволило зрозуміти взаємні зв'язки проективної, афінної, метричної та евклідової геометрій і згодом побудувати схему, яка узагальнює метод Монжа, аксонометрію і перспективу. В практику викладання ці ідеї були введені Федоровим, Риніним; пізніше – Глаголєвим і Четверухіним.

В той же час апогею досягла тенденція до точного (розумілось як логічного) обґрунтування геометрії. Підвалинами цього стали повна система аксіом евклідового простору Гілберта, створений ним же і Фреге формальний метод, а також теорія множин Кантора. Здавалося, ще кілька зусиль, і геометрія набуде остаточно завершеного і логічно досконалого вигляду.

Ця ілюзія є типовою для певних стадій розвитку науки. Наприклад, в той же час вважалося, що і класична фізика здатна пояснити все на світі, і для цього залишилось зробити зовсім небагато. Поява теорії відносності і квантової фізики швидко спростувала такі надії.

И был наш мир глубокой тьмой окутан.
Да будет свет! И вот явился Ньютон.
Но сатана недолго ждал реванша,
Пришел Эйнштейн, и стало все как раньше.

(С. Я. Маршак)

Так само, вже в перші десятиріччя XX-го століття, було спростоване вчення Гілберта про повноту і несуперечність аксіом евклідового простору (Гьодель), визначені обмеження формального методу (Тарський), знайдені теоретико-множинні парадокси (Рассел). І це добре, бо відкрилися двері для нових досліджень, в яких знайшлося місце інтуїтивним і синтетичним методам. Що ж до об'єднання – можливо, воно буде досягнуто на основі теорії систем.

В. Нарисна геометрія і практика

Орієнтація на практичні потреби аж ніяк не означає другорядності результатів. Навпаки, саме практика інколи вимагає оригінальних теоретичних побудов, що не вкладаються в пануючі уявлення. Наприклад, векторіальні проекції – фундаментальний результат, який згодом знайшов застосування у багатовимірній геометрії – було здобуто в ході розв'язання вузькоспеціальної задачі кристалографії. XX століття взагалі демонструвало продуктивність прикладних досліджень, змушуючи змінювати погляд на нарисну геометрію. Вона почала розглядатись не тільки як теорія зображень ліній і поверхонь, а передусім *інструмент їх конструювання* з метою забезпечення необхідних властивостей. Відтак, були створені *теорії параметризації і формоутворення,* значно розвинуті *теорія перетворень і диференціальна геометрія.* Необхідність розрахунку конструкцій, у значній кількості випадків можливого тільки за допомогою числових методів, сформувала цілий напрям *дискретної, або обчислювальної геометрії.* Проектування за допомогою комп'ютерів обумовило розквіт *комп'ютерної графіки.* Задачі багатокритеріальної оптимізації дали поштовх розвитку *багатовимірної геометрії.* Моделювання складних систем, які включають людський фактор, що взаємодіє з машинами і середовищем, примусило по-новому подивитись на геометричне моделювання взагалі і привело до розробки фундаментальних моделей, починаючи від аксіоматичного базису. *Розпізнавання образів, дослідження закономірностей художньої творчості, аналіз динамічних систем та оптимізаційні задачі* (особливо моделювання прийняття рішень і створення експертних систем) також знаходяться на передньому краї геометричних досліджень.

Отже, сучасне розуміння нарисної геометрії таке – *це прикладна геометрія і теорія геометричного моделювання.*

Г. Українська школа

Вона виникла не на порожньому місці. В Києво-Печерській лаврі був музей, де було представлено зразки креслень, починаючи з XVIII-го століття. За часів, коли Україна входила до складу Російської Імперії та Австро-Угорщини, нарисна геометрія викладалася у навчальних закладах Києва, Харкова і Львова. Але школа може вважатись сформованою лише тоді, коли має вагомі наукові здобутки, організаційну структуру, чисельних учнів. Така трансформація відбулася вже в радянські часи і в значній мірі пов'язана з діяльністю професора С. М. Колотова, який по праву вважається засновником школи, та професора В.Є. Михайленка, який підготував левову частину працюючих зараз докторів наук. Можна з гордістю констатувати, що в Україні представлені всі сучасні напрями прикладної геометрії, і що наша школа займає достойне місце у світі.

Підсумки останнього періоду також представимо у табличній формі.

Таблиця. 1.3

Характеристики здобутків новітнього періоду

Типи пам'яток	**Просторові уявлення**	**Визначні риси і прийоми**	**Значення для науки**
Ті ж, що й в попередні епохи, плюс технічні і будівельні креслення і зображення в електронній формі	Аксіоматичні моделі абстрактних просторів залежно від задач, що мають бути розв'язані	Використання різноманітних добре обґрунтованих проекційних систем і методів побудови зображень	Перетворення нарисної геометрії у прикладну геометрію – інструмент вирішення інженерних задач і проведення наукових досліджень

Самоконтроль. Охарактеризуйте розвиток нарисної геометрії в XIX – XX століттях.

2. СУЧАСНИЙ ПОГЛЯД

Труднощі у засвоєнні основ геометричного моделювання пов'язані з нерозумінням неевклідового характеру простору і відображень. Отже, слід з самого початку усвідомити, що звичні із «шкільної» геометрії властивості, за виключенням окремих випадків, не мають місця. Щоб чітко уявити відмінності, слід ретельно опрацювати матеріал розділу, попри всі труднощі, що виникають через його абстрактний характер. Зрештою, хіба не цікаво познайомитись з однією з неевклідових геометрій?

2.1. Визначення нарисної геометрії і її задач

Спочатку – сучасне визначення. Враховуючи описані в розділі 1 тенденції розвитку нарисної геометрії, маємо записати так.

Визначення 2.1. *Нехай є експериментально встановлена сукупність характеристик предмету, явища, або процесу* $\{X_i\}$.

Тоді ***нарисна геометрія*** – це наука, яка:

- *визначає абстрактний простір* $П^{\alpha}$, *аксіоми якого відповідають* $\{X_i\}$;
- *конструює взаємно-однозначні відображення* $F: П^{\alpha} \rightarrow \{П^2_1, \ldots, П^2_n\}$;
- *досліджує властивості форм і відносин* $П^{\alpha}$ *за допомогою зображень на* $\{П^2_1, \ldots, П^2_n\}$.

В залежності від характеристик предмету дослідження, розмірність α простору П може бути не тільки натуральним, але й нецілим, ірраціональним чи від'ємним числом. В такому разі побудова зображень – задача десь на рівні докторської дисертації...

Але курс орієнтовано на потреби машинобудівного і будівельного креслення, що спрощує завдання і дозволяє обмежитися відображенням, дослідженням, моделюванням і конструюванням форм, розмірів і взаємного розташування тіл фізичного простору і, в спеціальних розділах, деяких ефектів, що підвищують реалістичність зображень. Виходячи з цього, конкретизуємо задачі. Це:

- побудова абстрактного простору $П^3$, за властивості близького до фізичного;
- визначення схем найбільш вдалих (за певними критеріями) відображень F;
- проведення досліджень з використанням зображень на $\{П^2_1, \ldots, П^2_n\}$.

Перші дві задачі розглянемо зараз; третя є змістом наступних розділів підручника.

2.2. Побудова абстрактного простору $П^3$

В «шкільній» геометрії фізичному просторові прийнято ставити у відповідність евклідовий простір E^3. Ми ж поставимо у відповідність фізичному простору більш загальний *проективний простір*. Він і стане нашим абстрактним простором і надасть можливість з єдиних позицій визначити основні системи проекціювання (2.3).

Почнемо з того, що доповнимо E^3 деякими додатковими елементами.

А. Невласні елементи і проективний простір

Задамо відображення т. А на площину П так, як показано на рис. 2.1а: візьмемо в просторі довільну т. S і проведемо через неї промінь SA до перетину з П.

Визначення 2.2. ***Проекцією*** *точки А на площину П називається точка перетину променю SA з П.*

Позначати проекцію точки (і фігури) будемо за позначенням або номером площини проекцій – A_1, A_n, тощо.

Визначення 2.3. ***Проекціюванням*** *називається відображення точки на площину.*

Проекцію можна побудувати в усіх випадках, за виключенням показаного на рис. 2.1б, де (SA) || П. Для того, щоб задача завжди мала розв'язання, будемо вважати, що SA перетинається з паралельною йому прямою площини а в нескінченно віддаленій точці $A_П^{\infty}$. Таку точку будемо називати ***невласною точкою*** *а та SA* (рис. 2.1в).

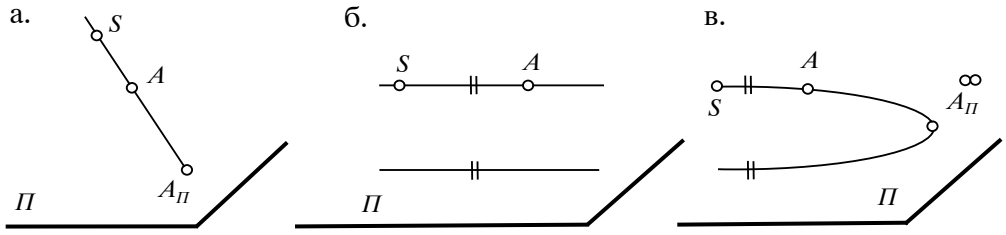


Рис. 2.1. Визначення невласних точок

Введемо також ***невласну пряму***, як лінію перетину паралельних площин, і ***невласну площину***, як сукупність всіх невласних прямих простору.

Визначення 2.4. ***Проективним простором П³*** *називається простір, елементами якого є точки, прямі і площини, доповнені невласними точками і прямими, а також невласною площиною.*

Наведемо приклади, які покажуть, наскільки введення невласних елементів змінює властивості простору.

Б. Зміна властивостей форм (фігур)

В проективному просторі пряма лінія є замкненою. Щоб пересвідчитись у цьому, достатньо визначити взаємно-однозначну відповідність між точками замкненої кривої та прямої лінії (рис. 2.2а).

В. Зміна властивостей перетворень

Перетворення зберігають незмінними ті чи інші характеристики, які звуться інваріантами. Інваріантами перетворень E^3 – паралельного переносу та повороту – є метричні характеристики: довжини відрізків, величини кутів, площі та об'єми. Для проекціювання – перетворення $П^3$ (рис. 2.2б) – інваріантом є складне відношення чотирьох точок:

$(ABCD)=(A^1B^1C^1D^1)=AC/BC:AD/BD=A^1C^1/B^1C^1:A^1D^1/B^1D^1$ (рис. 2.2в).

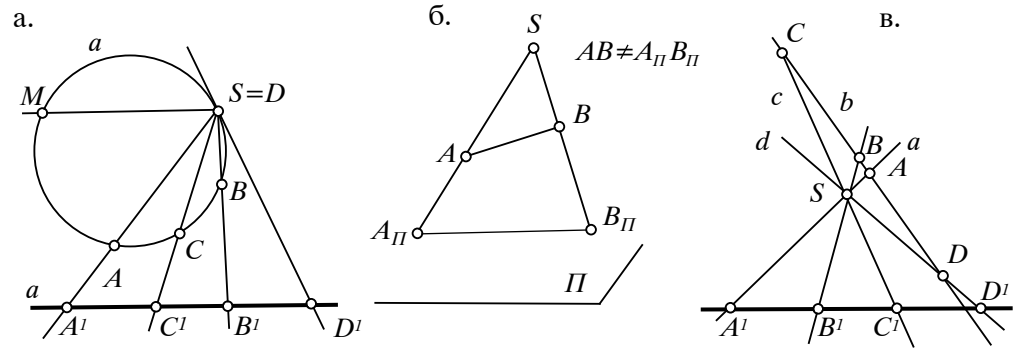


Рис. 2.2. Відмінності властивостей проективного і евклідового просторів

Для визначення метричних характеристик необхідні спеціальні операції.

Перетворення проективного простору є асоціативним; існують одиничні і оборотні перетворення. Отже, вони утворюють ***групи***. Наявність власної групи перетворень, є, за Клейном, ознакою окремої геометрії.

Г. Зміна аксіом

Втрачає сенс аксіома паралельності – будь-які прямі матимуть точку перетину. Мають бути перевизначені і деякі інші постулати. Так, аксіоми Евкліда вказують, що дві точки визначають пряму, а три – площину. Зворотне твердження є невірним, оскільки паралельні прямі чи площини не перетинаються. Для проективного простору перетин двох прямих або трьох площин завжди визначить точку. Отже, маємо змінити формулювання:

- *дві різні точки належать одній прямій;*
- *дві різні прямі належать одній точці;*
- *три різні точки, що не належать одній прямій, належать одній площині;*
- *три різні площини, що не належать одній прямій, належать одній точці.*

І т. д.

Геометри помітили двоїстість, тобто певну взаємозамінність точок, прямих і площин в цих аксіомах, і поширили її на інші твердження. Були сформульовані:

Малий принцип двоїстості. Будь-яке твердження відносно точок і прямих проективної площини залишається вірним при заміні слова «точка» словом «пряма» і слова «пряма» словом «точка».

Великий принцип двоїстості. Будь-яке твердження відносно точок і площин проективного простору залишається вірним при заміні слова «точка» словом «площина» і навпаки.

Ці принципи узагальнюються і на проективні простори з більшою, ніж три, цілочисловою розмірністю.

> Далі ми будемо неодноразово звертатися до принципу двоїстості. Поки ж вкажемо на важливий для студентів наслідок – кількість тверджень відносно точок, прямих і площин, які треба запам'ятати, скорочується вдвічі! І ще. Погляньте на рис. 1.35 (теорема Дезарга). Вона є одним із прикладів принципу двоїстості, чи не так?

Принцип двоїстості дозволяє спрощувати підрахунки кількості фігур на площині і в просторі. Обчислимо, наприклад, скільки прямих належить площині. Зафіксуємо довільну точку на осі y і будемо переміщувати ще одну довільну точку вздовж осі x (рис. 2.3а). На осі x є ∞^1 точок (ця розмірність називається ***параметричним числом;*** кажуть, що множина точок прямої є ***однопараметричною***). Тоді кількість можливих прямих, що проходять через обидві точки, буде ∞^1. Тепер переміщуватимемо точку вздовж осі y і для кожного з її положень будемо фіксувати всі можливі прямі; загальна їх кількість становитиме $\infty^1 * \infty^1 = \infty^2$. Згідно малого принципу двоїстості, такою ж буде кількість точок площини. Для простору маємо ∞^3 точок і ∞^3 площин. Рис. 2.3б показує, що в тривимірному просторі можна провести $\infty^2 * \infty^2 = \infty^4$ прямих.

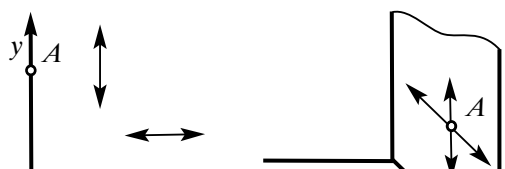


Рис. 2.3. Визначення кількості прямих на площині і в просторі

Для більш складних фігур розрізняють ***параметри положення і форми***; параметричне число дорівнює їх сумарній кількості. Так, множина відрізків на площині буде чотирипараметричною (точка – 2 параметри – і кут нахилу до координатної осі є параметрами положення; довжина є параметром форми). Для інших фігур в просторі маємо такі параметричні числа: коло – 6, циліндр – 5, конус – 6, сфера – 4. Отже, проективний простір істотно відрізняється від евклідового.

Параметри положення і форми, окрім теоретичного значення, активно використовуються при розв'язанні задач конструювання поверхонь або кривих ліній у проектуванні оболонок чи форм робочих органів машин. Відповідні приклади будуть наведені у розділі 7.

Самоконтроль. Викладіть розуміння предмету і задач нарисної геометрії.
Що таке невласні елементи? Для чого вони вводяться? Які це надає переваги?
Сформулюйте визначення проективного простору. Що таке малий і великий принципи двоїстості?
Назвіть і проілюструйте прикладами відмінності проективного простору від евклідового.
Перевірте, чи правильно підраховано параметричні числа кола, циліндру, конусу, сфери. Скільки параметрів форми має кожна з цих фігур?

2.3. Визначення проекційних систем

Для виконання креслень або виготовлення виробу за кресленнями необхідна точна передача метричних характеристик. Забезпечення цього називається ***оборотністю креслення***. Оборотність формалізується як вимога взаємної однозначності проекційних перетворень. Неважко помітити, що проста схема на рис. 2.1а не є взаємно однозначною, оскільки всім точкам променю SA відповідає лише одна проекція, що пояснюється нерівністю розмірностей площини (2) і простору (3). Отже, апарат проекціювання слід удосконалити. Взаємна однозначність проекційних перетворень може бути досягнута різними способами.

А. Приклади проекційних систем

Введемо в просторі координатну систему *Oxyz* і сумістимо площину проекцій з площиною *Oxy*, а центр проекціювання S – з невласною точкою осі *z* (рис. 2.4а). Тоді координати (*x, y*) т. А визначаються проекцією $A_П$, а координату *z* можемо просто написати, домовившись, що при розташуванні точки над площиною проекцій вона матиме знак «+» і знак «–» в противному випадку. Така проекційна система називається ***проекціями з числовими позначками*** (розділ 10). Вона широко застосовується в будівництві і картографії.

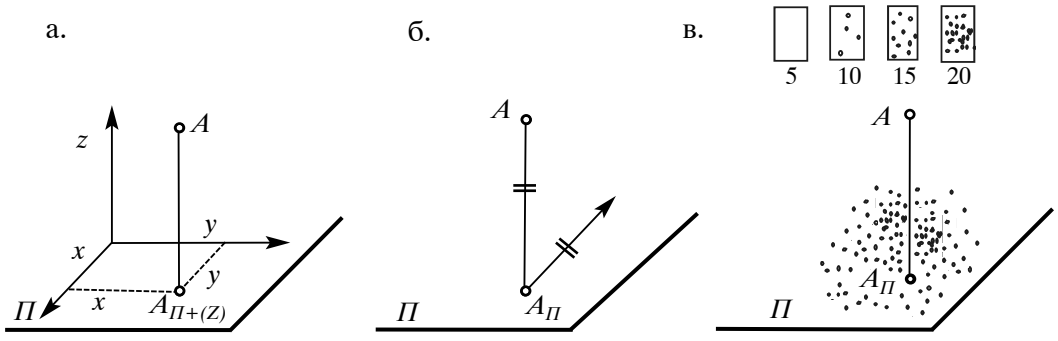


Рис. 2.4. Деякі способи забезпечення оборотності креслень

Далі, можна не записувати координату *z*, а домовитись, що вона буде позначатись вектором певного напряму, довжина якого дорівнює величині *z*; від'ємне ж значення – вектором протилежного напряму (рис. 2.4б). Така система називається ***векторіальними (федоровськими) проекціями***. Вона легко узагальнюється на багатовимірний простір (розділ 25): образом точки такого простору будуть точка і два, три чи більше векторів. Можна вчинити і так, як роблять картографи, і позначати *z* кольором за домовленістю (рис. 2.4в).

Перевагою вказаних систем є простота побудови. Однак вони не є наочними. Оці дві вимоги, хоча й є додатковими, також повинні враховуватись при вдосконаленні апарата проекціювання.

Б. Метод двох зображень

З названих причин, найбільш широко застосовуються в інженерній практиці варіанти методу двох зображень.

Розглянемо спочатку загальну схему.

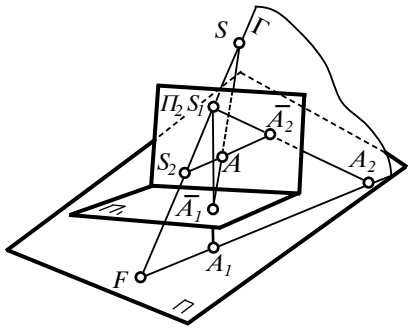


Рис. 2.5. Схема проекціювання за методом двох зображень

Апарат складається з основного центру проекціювання S, двох додаткових центрів S_1 та S_2, площини П і двох додаткових площин проекцій $П_1$ і $П_2$ які мають розміщуватись так, як показано на рис. 2.5. З центру S_1 проекціюємо т. А на $П_1$, а з центру S_2 – на $П_2$. Отримані проекції A_1 і A_2 знову, тепер вже з центру S, проекціюємо на площину П. Пара точок (A_1, A_2) і є зображенням точки А. Це зображення є взаємно однозначним, оскільки ∞^3 точок простору на площині П відповідає ∞^3 пар точок (за умови належності т. A_1, A_2 та F одній прямій випливає, що параметричне число пари точок дорівнює $\infty^2 * \infty^1 = \infty^3$).

Схема є досить складною, тому на практиці частіше застосовують її різновиди – метод Монжа, аксонометрію і перспективу – пов'язані з окремими розташуваннями елементів апарату. Саме ж існування загальної схеми показує, що всі ці проекційні системи є спорідненими.

Із цього випливає, що прийоми побудови зображень і розв'язання задач в усіх трьох проекційних системах є, по суті, варіаціями одного методу, отже, кількість прийомів, які треба знати, скорочується втричі!

В. Перспектива або центральне проекціювання

Визначення 2.5. Перспективою *називається різновид методу двох зображень, який має такі особливості:*

- *площина зображення П та* ***картинна площина*** *$П_2$ збігаються;* ***предметна площина*** *$П_1$ розташована перпендикулярно до $П_2$;*
- *основний центр S та* ***точка зору*** *S_2 збігаються; центр S_1 є невласною точкою і знаходиться в напрямі, перпендикулярному до $П_1$;*
- *довільна точка А простору зображається парою точок: A_2 –* ***перспективою*** *т. А, та A_1 –* ***вторинною проекцією*** *т. А* (рис. 2.6а).

Для зручності побудов вводяться також (рис. 2.6а):

- ***площина горизонту*** Г, що проходить через точку зору паралельно до $П_1$;

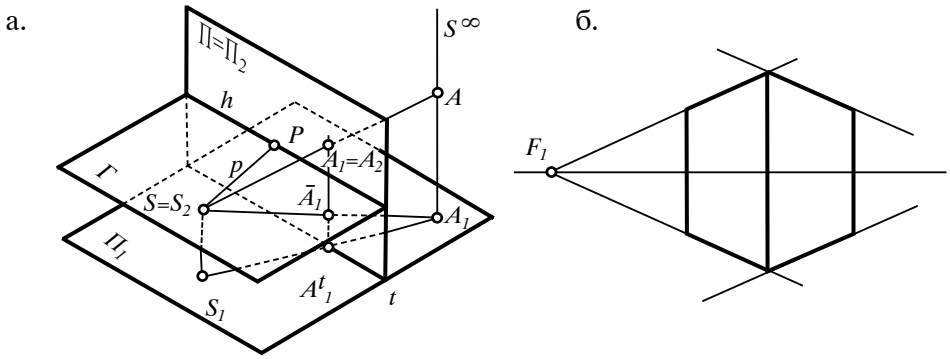


Рис. 2.6. Перспектива

- ***лінія горизонту*** $h=\Gamma\cap\Pi_2$;
- ***основа картини*** $\| h$, $t=\Pi\cap\Pi_1$;
- ***головний промінь*** p – перпендикуляр з т. S до П;
- ***головна точка картини*** $P=p\cap\Pi$.

Відзначимо «практичні» особливості перспективи:

- це найбільш наочний спосіб зображень. Порівняйте куб на рис. 2.6б з його ж зображеннями в аксонометрії (рис. 2.7б) і на епюрі Монжа (рис. 2.8б);
- це найскладніший спосіб побудови зображень;
- встановлення метричних характеристик є непростою задачею.

Тому перспектива використовується переважно архітекторами і дизайнерами, для яких важливо оцінити зовнішній вигляд. Властивості перспективи розглядатимуться в розділі 9.

Г. Аксонометрія, або паралельне проекціювання

Визначення 2.7. ***Аксонометрією*** *називається різновид методу двох зображень, який має такі особливості:*

- *площина зображення П та* ***аксонометрична площина проекцій*** $П_2$ *збігаються;* ***вторинна площина проекцій*** $П_1$ *суміщається з площиною Oxy натуральної системи координат Oxyz;*
- *основний центр S та центр* S_2 *збігаються і є невласними точками; невласною точкою є також центр* S_1*, щознаходиться в напрямі, паралельному осі z;*
- *довільна точка A простору зображається парою точок:* A_2 *–* ***аксонометрією*** *т. A, та* A_1 *–* ***вторинною проекцією*** *т. A* (рис. 2.7а).

В залежності від розташування *Oxyz*, напряму S і S_2, можна отримати різні аксонометрії, для яких коефіцієнти спотворення довжин координатних відрізків не будуть однаковими. Вони розглядатимуться в розділі 8; поки що зробимо резюме відносно «практичних» особливостей:

- аксонометрія передає особливості форми, хоча менш наочно, ніж перспектива (рис. 2.7б);
- це досить простий спосіб побудови зображень;
- встановлення метричних характеристик є відносно складним.

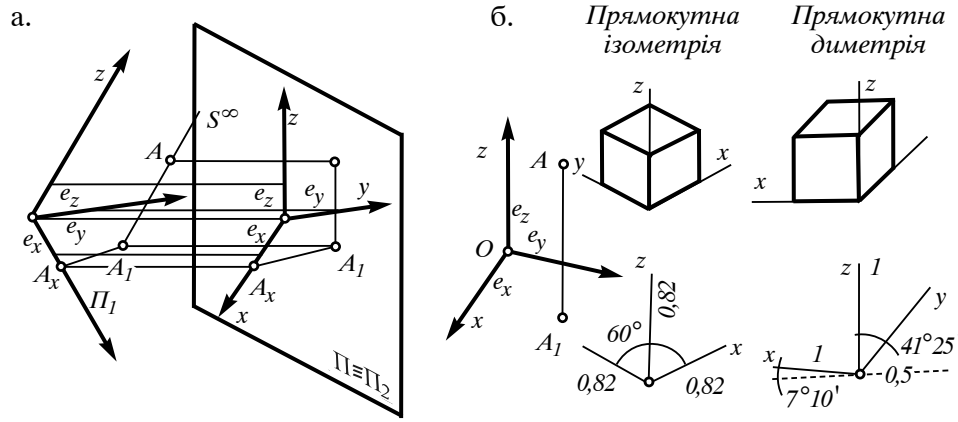


Рис. 2.7. Аксонометрія

Д. Метод Монжа, або ортогональні проекції

Метод Монжа застосовується найбільш широко.

Визначення 3.8. ***Методом Монжа*** *є різновид методу двох зображень, який має наступні особливості:*

- *площина зображення П та* ***фронтальна площина проекцій*** *$П_2$ збігаються і розташовуються вертикально;* ***горизонтальна площина проекцій*** *$П_1$ розташована перпендикулярно до $П_2$;*
- *всі центри проекціювання є невласними точками перпендикулярів: S – до лінії перетину $П_1$ та $П_2$, що складає з $П_2$ кут 45°; S_1 – до $П_1$; S_2 – до $П_2$;*
- *довільна точка А простору зображається парою точок: A_2 –* ***фронтальною проекцією*** *т. А, та A_1 –* ***горизонтальною проекцією*** *т. А; т. A_1 одержується після повороту площини $П_1$ до суміщення з П* (рис. 2.8а).

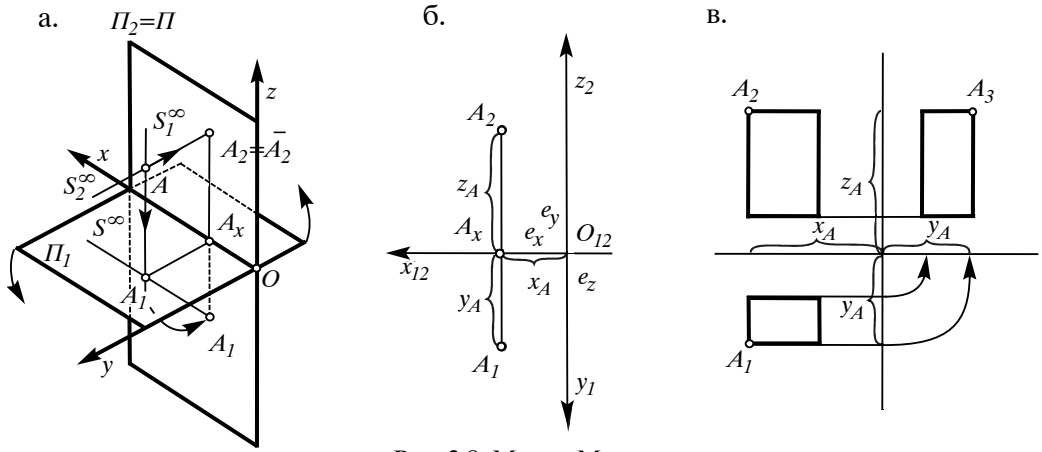


Рис. 2.8. Метод Монжа

Введемо кілька позначень і назв.

Фронтальна і горизонтальна площини (або ***поля***) проекцій позначаються як $П_2$ і $П_1$ відповідно; перпендикулярна до них обох площина називається ***профільною площиною проекцій*** і позначається $П_3$.

Площина, що проходить під кутом 45° до $П_2$ і $П_1$, називається ***бісекторною площиною***.

З лінією перетину площин $П_1$ і $П_2$ суміщається ось *Ox* натуральної системи координат; відтак, осі *z* і *y* належать відповідно площинам $П_2$ і $П_1$. За рис. 2.8 легко впевнитись, що без спотворень (кажуть – ***в натуральну величину***) відображаються координати т. А:

- на фронтальній площині проекцій – (*x, z*);
- на горизонтальній площині проекцій – (*x, y*).

Оскільки обидві проекції точки мають однакову координату *x*, вони лежать на лінії, перпендикулярній осі *Ox*, яка називається ***лінією зв'язку***. Система зв'язаних проекцій точки на фронтальній і горизонтальній площинах проекцій називається ***зображенням точки на епюрі Монжа*** (інакше – ***на комплексному кресленні***).

Отже, якщо зобразити куб, грані якого паралельні координатним площинам, то в натуральну величину відобразяться дві видимі спереду і зверху грані, тобто їх відрізки і кути, а також площини (рис. 2.8б). Непаралельні площинам проекцій фігури будуть зображатись із спотвореннями. Це вимагає пояснень, оскільки в 2.2В стверджувалося, що інваріантом проективних перетворень є відношення чотирьох точок, а не метричні характеристики.

Справа в тому, що і для перспективи, і для аксонометрії, і для методу Монжа використовувались окремі випадки проективних відображень (це підкреслювалось і в альтернативних назвах – центральне проекціювання, оскільки основний центр є власною точкою; паралельне проекціювання, оскільки проектуючи промені паралельні ($S\infty_П$); ортогональні проекції, бо напрям проекціювання є перпендикулярним до площин проекцій). Ці відображення, поряд із загальними, мають специфічні інваріанти. Для ортогонального проекціювання це ***відношення трьох точок*** (рис. 2.8в): *якщо відрізок AB поділено точкою C в певному відношенні, то й проекції відрізку діляться проекціями точок в тому ж відношенні:* $AC/CB=A_1C_1/C_1B_1=A_2C_2/C_2B_2$. Таке відображення зветься ***афінним*** (***спорідненим***); отже поля проекцій знаходяться в афінному відношенні.

Перелічимо деякі інваріанти ортогонального проекціювання (частина з них, що мають місце і для інших різновидів методу двох зображень, вже згадувалася):

Властивість 2.1. *Проекцією точки є точка.*

Властивість 2.2. *Проекцією прямої є пряма.*

Властивість 2.3. *Якщо точка належить до прямої, її проекція належить до проекції прямої.*

Властивість 2.4. *Точка перетину проекцій прямих є проекцією точки перетину цих прямих.*

Властивість 2.5. *Проекції відрізків паралельних прямих паралельні, а їх довжини знаходяться в тому ж відношенні, що й довжини відрізків, що проекціюються.*

Отже, паралельні і непаралельні прямі при ортогональному проекціюванні розрізнюються.

Резюмуємо «практичні» особливості методу Монжа:

- ортогональні проекції найменш наочні, встановлення форми вимагає певного тренування (рис. 2.8б);
- це найпростіший спосіб побудови зображень;
- встановлення метричних характеристик є простою операцією; в окремих випадках вони відображаються в натуральну величину.

Самоконтроль. Розглянуті проекційні системи хоч й споріднені, але й відмінні. Ще більше протиріч знайдеться, якщо проаналізувати згадані у розділі 1 способи передачі глибини простору. І цими протиріччями вмів майстерно користуватись Мориц Корнеліус Ешер для створення карколомних композицій (рис. 2.9), які майстри дзен могли б, мабуть, назвати графічними коанами!

Погляньте на ці малюнки уважно. Які прийоми передачі простору використані? За рахунок яких протиріч створюються просторові парадокси?



Рис. 2.9. М. К. Ешер. Бельведер. Водоспад. Галерея

3. ПОЗИЦІЙНІ ТА МЕТРИЧНІ ЗАДАЧІ. ТОЧКИ, ПРЯМІ, ПЛОЩИНИ НА ЕПЮРІ МОНЖА

Матеріал розділу, в порівнянні з попереднім, може здатися занадто простим. Тим не менш, це основа розв'язання складних задач, які будуть розглядатися далі. Відтак, його слід засвоїти не просто на рівні запам'ятовування чи практичних навичок, а автоматичного використання за будь-яких умов.

3.1. Поняття про позиційні та метричні задачі

Узагальнюючи наведені в розділі 2 приклади, дамо точні визначення:

Визначення 3.1. ***Позиційними*** *називаються задачі, в яких знаходяться розташування точок, прямих, площин, ліній, гранних і кривих поверхонь відносно одне одного чи частин простору, площин проекцій, координатних осей.*

Визначення 3.2. ***Метричними*** *називаються задачі, в яких знаходяться натуральні величини відрізків, кутів, площ чи об'ємів.*

Як позиційні, так і метричні задачі можуть бути двох типів:

- прямі – визначення характеристик за вихідними умовами;
- зворотні – побудова фігур за заданими метричними і позиційними характеристиками.

3.2. Точки

А. Зображення

Нехай площини проекцій і осі координат розміщено в просторі так, як показано на рис. 3.1а. Тоді координати т. А (x_A, y_A, z_A) визначаться за довжинами перпендикулярів, проведених з точки до площин $П_3$, $П_2$ і $П_1$. Зображення будується шляхом відкладання координат вздовж відповідних осей (рис. 3.1б). Зверніть увагу на розташування осей після суміщення полів проекцій з площиною зображення.

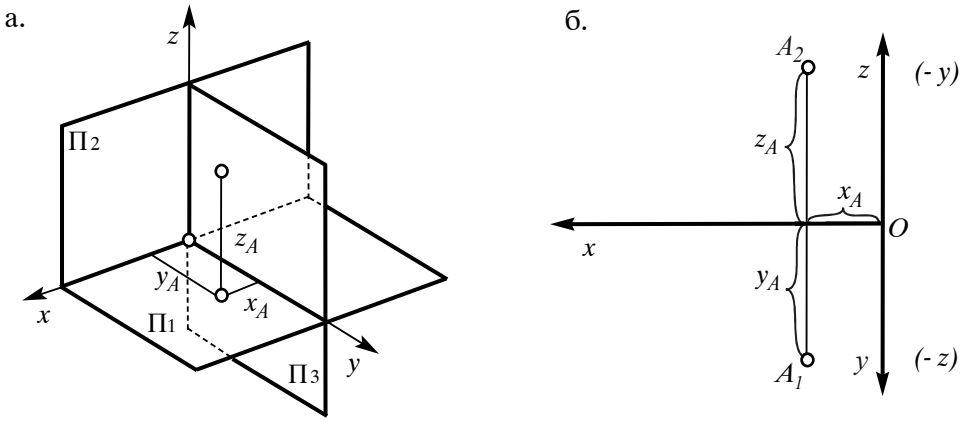


Рис. 3.1. Зображення точки на епюрі Монжа

Просто розв'язується також зворотна задача. Нехай на епюрі задано т. В. Правило визначення знаків координат наступне:

z – за фронтальною проекцією (індекс 2): якщо точка вище осі *x*, то «+», якщо нижче, то «–»;

y – за горизонтальною проекцією (індекс 1): якщо точка вище осі *x*, то «–», якщо нижче, то «+».

Далі, за вимірами, маємо $x_B=x_A$, $y_B=-y_A$, $z_B=-z_A$ (рис. 3.2а). Будуємо в просторі горизонтальну проекцію т. В, а потім, відкладаючи вздовж перпендикуляру до $П_1$ координату z_B, отримуємо і саму точку В (рис. 3.2б).

Тепер розглянемо побудову профільної проекції т. В. На $П_3$ положення точки визначається двома координатами – y і z, отже, необхідно визначити їх на $П_1$ і $П_2$ і передати на $П_3$. Для цього через B_2 проводимо пряму, паралельну до осі x (рис. 3.2в). Оскільки всі точки прямої мають координату $z=z_B$, то B_3 буде знаходитись на цій прямій (тобто зафіксовано один параметр положення т. B_3). Так само передаємо на $П_3$ координату y_B з $П_1$, фіксуючи другий параметр положення. Це можна зробити за допомогою циркуля (I), або використовуючи бісекторну пряму (II).

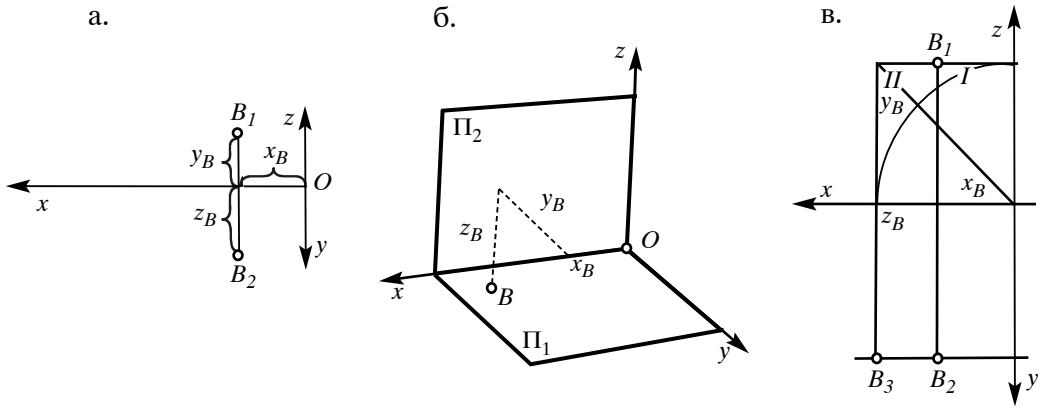


Рис. 3.1. Зображення точки на епюрі Монжа

Б. Позиційні задачі

Як видно з рис. 3.1, 3.2, точки, що мають різні за знаком координати, по-різному розташовані відносно площин проекцій та координатних осей. Площини $П_2$ і $П_1$ ділять простір на чотири частини, які називають ***чвертями***. Чверті нумерують згідно рис. 3.3а. В залежності від розташування точок в чвертях, знаки їх координат x та z змінюються так, як показано в табл. 3.1. Такі комбінації знаків називають ***сигнатурами***.

Таблиця 3.1.

Чверті і сигнатури

Чверті / Координати	**1**	**2**	**3**	**4**
z	+	+	–	–
y	+	–	–	+

Точки A, B, C, D знаходяться відповідно в 1, 2, 3, 4 чвертях. Їх розташування на епюрі показані на рис. 3.3б. Розташування точок на $П_1$, $П_2$, $П_3$, координатних осях, бісекторній площині мають ознаки, показані на рис. 3.3в. Запам'ятайте їх.

Самоконтроль. Розберіть самостійно ці випадки. Вкажіть, де саме розташовані точки E, G, I, K, L, M, N.

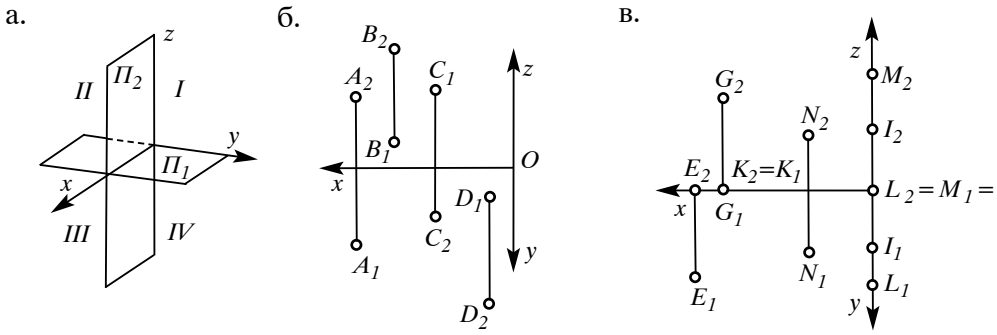


Рис. 3.5. Взаємне розташування пари точок

Доповнимо систему ортогональних площин проекцій $П_1$ і $П_2$ профільною площиною $П_3$. Ці три площини поділять простір на вісім частин, які називаються ***октантами***. Розташування точок та їх сигнатури визначатимуться знаками трьох координат. Октанти нумеруються згідно рис. 3.4а. Наприклад, точки А і В, розташовані в 1 і 5 октантах, будуть мати сигнатури (+++) та (–++) відповідно, а на епюрі розміщуватимуться так, як показано на рис. 3.2б.

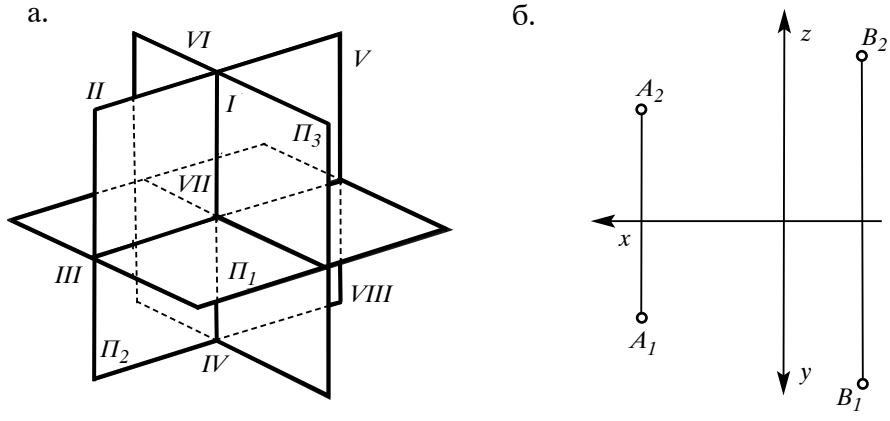


Рис. 3.4. Розташування точок в октантах простору

Самоконтроль. Не роблячи рисунку, а просто уявляючи розташування точок, заповніть табл. 3.2.

Таблиця 3.2.

Октанти і сигнатури

Октанти / Координати	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
x	+				–			
y	+				+			
z	+				+			

В. Метричні задачі

Набір метричних задач поки що є обмеженим: розглянутий матеріал надає можливості лише встановлювати відстані від точок до площин проекцій та координатних осей. Побудови, розглянуті в 3.2а і 3.2б, узагальнює

Властивість 3.1. *Відстань між фронтальною і горизонтальною проекціями точки дорівнює сумі відстаней від точки до $П_2$ і $П_1$.*

Відстань від т. А до $П_2$ дорівнює y_A, до $П_1$ – z_A, до осі x – кореню квадратному з $y_A^2+z_A^2$, тощо.

Г. Пара точок

Існує лише одна *позиційна задача* – з'ясування, чи збігаються точки пари. Відповідь дає

Властивість 3.2. *Точки збігаються, коли збігаються обидві проекції, і не збігаються в усіх інших випадках.*

На рис. 3.5а-в показані ознаки різних випадків взаємного розташування точок A, B, C.

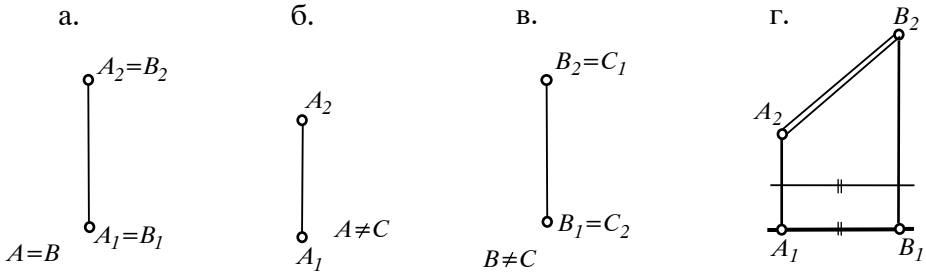


Рис. 3.5. Взаємне розташування пари точок

Як бачимо, для з'ясування взаємного розташування точок не були потрібні значення координат, тому на епюрі не показані координатні осі. Такий варіант називається ***епюром без осі***.

Щодо *метричної задачі* – визначення відстані між парою точок – можемо знайти її відразу лише в окремих випадках, а саме, коли відрізок, заданий точками, буде паралельним до координатних площин (рис. 3.5г). Натуральні величини будемо в подальшому позначати *тонкою подвійною лінією*.

Самоконтроль. Нехай задана точка А (10,10,10). Подивиться на неї з боку невласної точки осі *x.* Уявіть і обґрунтуйте, в яких чвертях і октантах будуть знаходитися точки, розташовані відносно т. А: вище на 20; нижче на 20; перед на 20; ззаду на 20; зліва на 20; справа на 20.

Зробіть рисунок і перевірте ваші відповіді.

3.3 Прямі

А. Зображення

В нарисній геометрії здебільшого використовуються два способи завдання прямої – відрізком і парою точок. Пряма простору, щозаймає ***загальне положення*** відносно $П_1$ і $П_2$, зображається парою проекцій (рис. 3.6а,б).

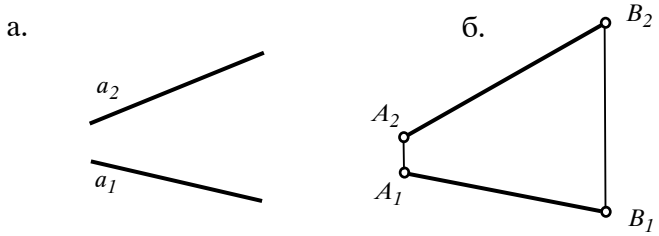


Рис. 3.6. Зображення прямої загального положення

Б. Розташування в чвертях і октантах

Пряма переходить з чверті в чверть (з октанта в октант), перетинаючи площини проекцій. Точки перетину називаються ***слідами***; вони визначають розташування прямої. Розрізняють горизонтальний H, фронтальний F і профільний W сліди. Отже, для визначення положення прямої *a* в чвертях необхідно:

1. Знайти фронтальний слід прямої. Ознакою $F_1 = a_1 \cap \Pi_2$ є нульова величина координати *y*, а саме такою є вона для осі *x*. Отже, проводимо a_1 до перетину з *x* і отримуємо F_1. Фронтальну проекцію F_2 отримаємо за відповідністю (рис. 3.7).

2. Знайти горизонтальний слід прямої (H_1, H_2). Робиться аналогічно; використовуються a_2, координатою *z* і площиною Π_1 (рис. 3.7).

Сліди ділять пряму загального положення на три частини, кожна з яких знаходиться в окремій чверті. Номер чверті визначиться, якщо проаналізувати сигнатури будь-яких точок цих частин, керуючись табл. 3.1 (рис. 3.8).

Для визначення положення прямої в октантах слід знайти точки перетину з усіма площинами проекцій, і для кожної з ділянок прямої між ними, врахувати знаки координат, керуючись табл. 3.2. Знаходження проекцій точки перетину прямої а з профільною площиноюпоказано на рис. 3.9.

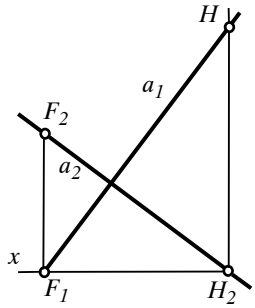


Рис.3.7. Знаходження слідів прямої

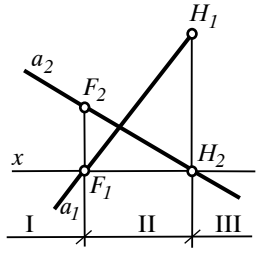


Рис. 3.8. Пряма в чвертях простору

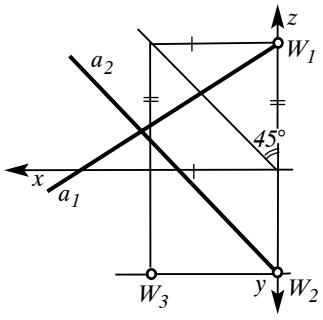


Рис. 3.9. Визначення профільного сліду прямої

Самоконтроль. Визначить проходження прямої а (рис. 3.7 – 3.9) через октанти.

В. Окремі випадки розташування прямих відносно площин проекцій

Визначення 3.3. ***Фронтальними, горизонтальними, профільними*** *прямими називаються прямі, паралельні відповідно до фронтальної, горизонтальної, профільної площин проекцій.*

Оскільки відстань від прямої до паралельної площини проекцій однакова для будь-якої точки, ознакою паралельності буде незмінність відстані від однієї з проекцій прямої до осі *x* (для фронтальної і горизонтальної прямих) і *z* (для профільної прямої). В натуральну величину будуть зображатись *довжини відрізків і кути нахилу прямих до площин проекцій.* Зображення горизонтальних, фронтальних і профільних прямих наведено на рис. 3.10. В подальшому будемо використовувати такі ж позначення кутів.

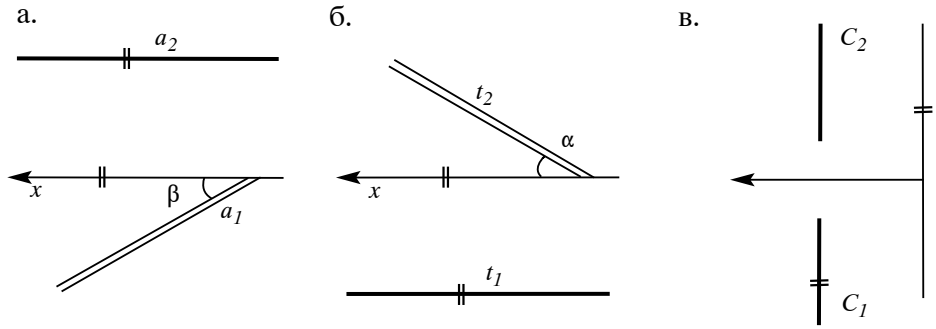


Рис. 3.10. Прямі, паралельні площинам проекцій:
а) горизонтальна; б) фронтальна; в) профільна

Визначення 3.3. ***Фронтально-проекціюючими, горизонтально-проекціюючими, профільно-проекціюючими*** *прямими називаються прямі, перпендикулярні до відповідно до фронтальної, горизонтальної, профільної площин проекцій.*

Приклади зображення прямих наведені на рис. 3.11.

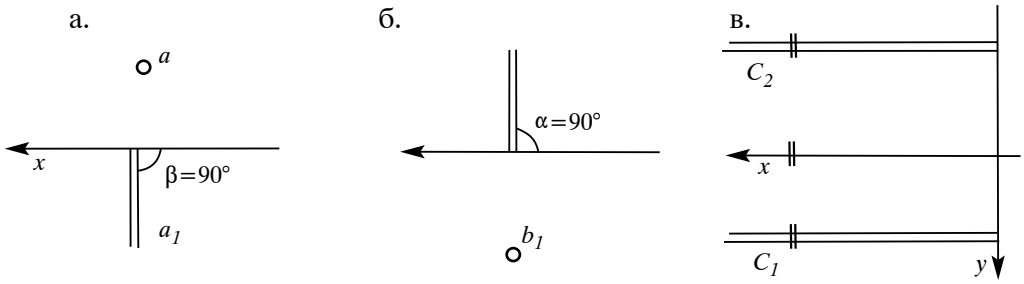


Рис. 3.11. Прямі, перпендикулярні до площин проекцій:
а) фронтально-проекціююча; б) горизонтально-проекціююча; в) профільно-проекціююча

Виникає питання, чому, наприклад, профільно-проекціюючі прямі, які водночас є фронтальними і горизонтальними, називаються за ознакою перпендикулярності? Визначення повинно фіксувати більш специфічну ознаку. Покажемо, що перпендикулярність є саме такою ознакою. Зафіксуємо довільну точку і підрахуємо, скільки через неї проходить паралельних і перпендикулярних прямих. Горизонтальна проекція фронтальної прямої має бути паралельна до осі x, відтак, другі проекції можуть бути отримані шляхом обертання прямої навколо фронтальної проекції обраної точки. Їх – ∞^1. Аналогічно, є ∞^1 горизонтальних прямих, що проходять через цю ж точку; всього паралельних прямих $2 * \infty^1$. І лише одна з них – обидві проекції якої паралельні до осі x – є профільно-проекціюючою.

Самоконтроль. Зробіть рисунок, який ілюструє ці міркування.

Г. Точка і пряма

Позиційні характеристики пари вичерпуються властивістю 3.3.

Поки що можемо розв'язати лише дві *метричні задачі*: визначення відстані від точки до прямої (тільки в окремих випадках, подібних до показаного на рис. 3.12а) та знаходження відстані між точками прямої. В останньому випадку застосовується ***спосіб прямокутного трикутника*** (рис. 3.12б,в). В т. A_2 проводимо перпендикуляр до відрізка та відкладаємо вздовж нього $\Delta y = y_A - y_B$.

Отриману точку з'єднуємо з т. В. Довжина цього відрізку є натуральною величиною (АВ). Кут між натуральною величиною і фронтальною проекцією відрізка дорівнює куту нахилу прямої до $П_2$. Аналогічно знаходиться кут нахилу до $П_1$.

Розглянемо ще одну типову задачу.

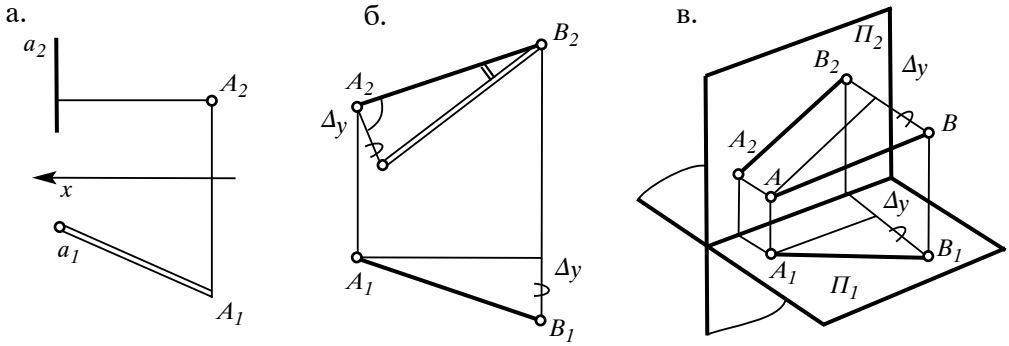


Рис. 3.12. Визначення відстаней і кутів нахилу (а) – окремий випадок)

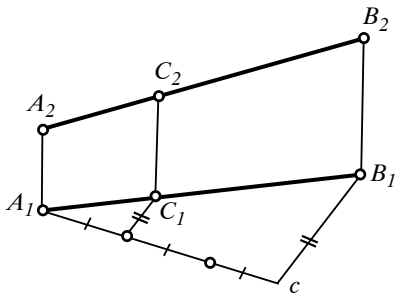


Рис. 3.13.
Пропорційний поділ відрізку

Задача 3.1. *Поділ відрізку у заданому відношенні, наприклад,* 1/2 (рис. 3.13).

Задача є прикладом використання інваріанта афінного перетворення – відношення трьох точок, «шкільним» аналогом якого є *теорема Фалеса*. Хід розв'язання такий:

1. Проведемо з т. A_1 пряму *c* під довільним кутом до відрізку (A_1B_1).

2. Відкладемо вздовж *c* три однакові відрізки.

3. З'єднаємо кінець останнього з т. B_1.

4. Через кінець першого проведемо пряму, паралельну до отриманої в пункті 3.

Точка C_1 перетину цієї прямої з (A_1B_1) і знайдена за відповідністю т. C_2 ділитимуть (A_1B_1) та (A_2B_2) в заданому відношенні, що справедливо і для т. С і (АВ).

Д. Дві прямі

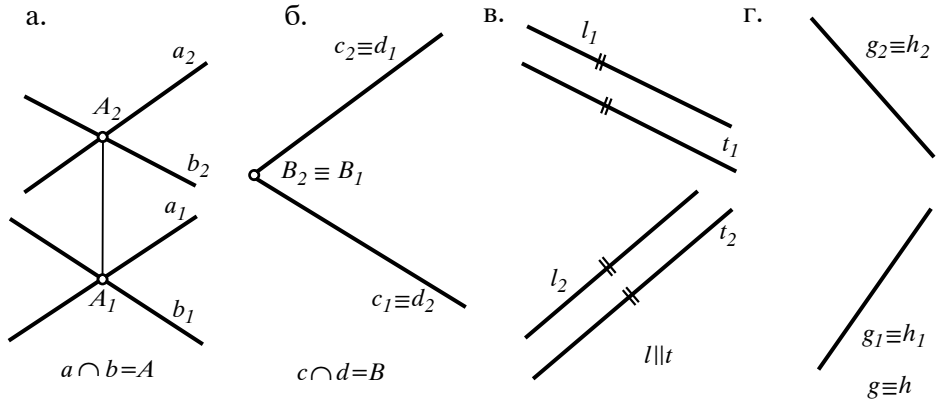


Рис. 3.14. Взаємні розташування пар прямих

До *позиційних задач* відноситься визначення взаємного розташування прямих. Можливі варіанти, які є наслідками властивості 3.2, наведені на рис. 3.14.

Існує ще одне розташування пари – мимобіжні прямі. Вони частково перекриваються, і виникає типова

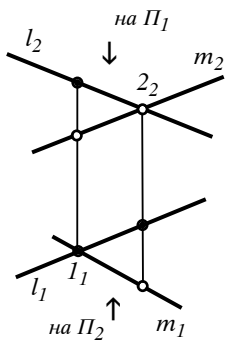


Рис. 3.15. Визначення видимості способом конкуруючих точок

Задача 3.2. *Визначення видимості* ***способом конкуруючих точок*** (рис. 3.15).

Проведемо лінії зв'язку для конкуруючих точок 1_1 і 2_2, де спостерігається перекриття. Бачимо, що кожній відповідають по дві точки (на l і на m). Позначимо їх чорим і білим колами. Напрям зору для фронтальної проекції знизу вгору, а для горизонтальної – зверху вниз. Оскільки точка на l_2 ближче до глядача, ніж точка на m_2, будемо бачити її, і т. 1_1 буде чорною, а т. 2_2 – білою, оскільки точка на m_1 ближче до глядача, ніж точка на l_1.

Розглянемо кілька важливих прикладів метричних задач. Кут відображається в натуральну величину, якщо обидві його сторони паралельні до площини проекції (рис. 3.16а). Частіше бачитимемо прямий кут (рис. 3.16б).

Властивість 3.3. *Прямий кут проекціюється в натуральну величину, якщо одна з його сторін паралельна до площини проекції, а друга не є перпендикулярною до неї.*

Самоконтроль. Чи буде прямим кут, зображений на рис. 3.16в?

З властивості 3.3 випливає, що відстань між мимобіжними прямими не матиме спотворень у випадках, подібних до рис. 3.17а, а відстані між паралельними прямими є натуральними для розташувань на рис. 3.17б,в.

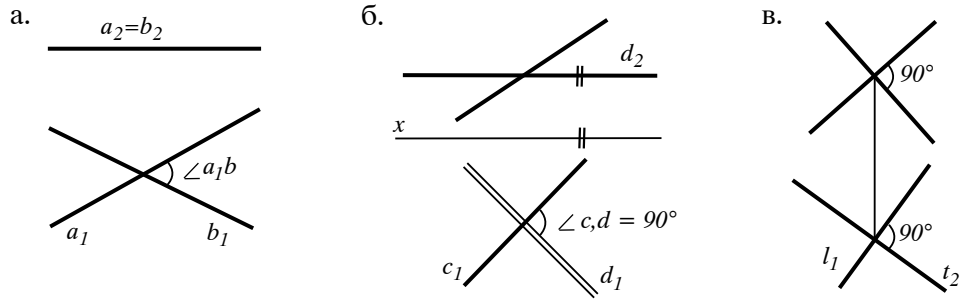


Рис. 3.16. Зображення натуральних величин кутів (окремі випадки)

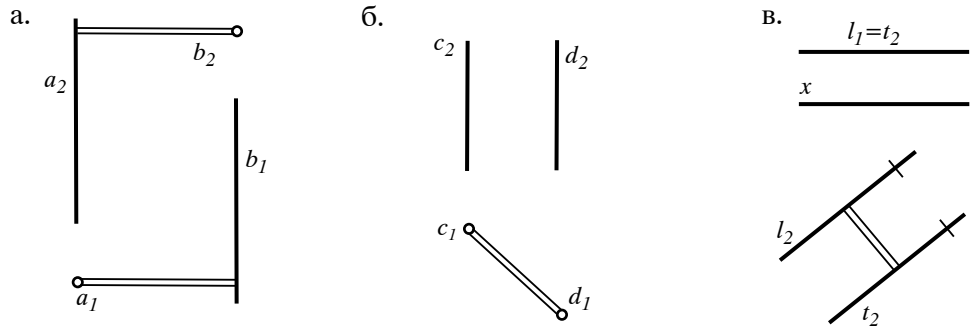


Рис. 3.17. Відстані між парами прямих (окремі випадки)

3.4. Площини

А. Зображення

Частіше за все, площини задаються відсіком, парою прямих, лініями рівня, слідами (рис. 3.18а-г відповідно).

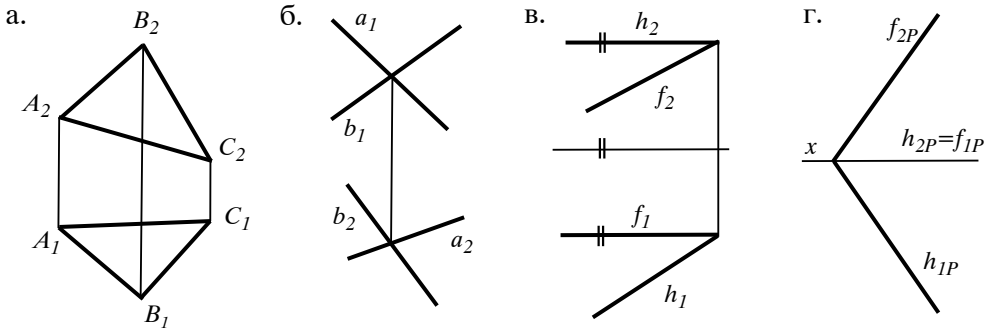


Рис. 3.18. Зображення площин, заданих різними способами

Докладніше зупинимось на варіантах в і г. В площині Р можна провести прямі, які будуть паралельними до Π_2 і Π_1; вони називаються ***фронталлю і горизонталлю*** і позначаються f і h. Кожна фронталь на всьому протязі має однакову координату у, а горизонталь – координату z. Звідси й друга назва – ***лінії рівня.*** Спосіб побудови є зрозумілим із рис. 3.19а. Ще дві головні лінії площини – ***найбільшого нахилу*** до Π_1 і Π_2 (рис. 3.19б) – перпендикулярні до ліній рівня.

Сліди площини Р на Π_2 і Π_1 (позначаються f_P і h_P) паралельні довільним фронталі і горизонталі. Можна назвати їх «нульовими» лініями, оскільки з умови належності площинам проекцій, випливає, що f_1 і h_2 збігаються з віссю x. Відтак перехід від завдання площини лініями рівня до завдання слідами (рис. 3.19в) є, по суті, переносом f_1 і h_2 до суміщення з віссю x.

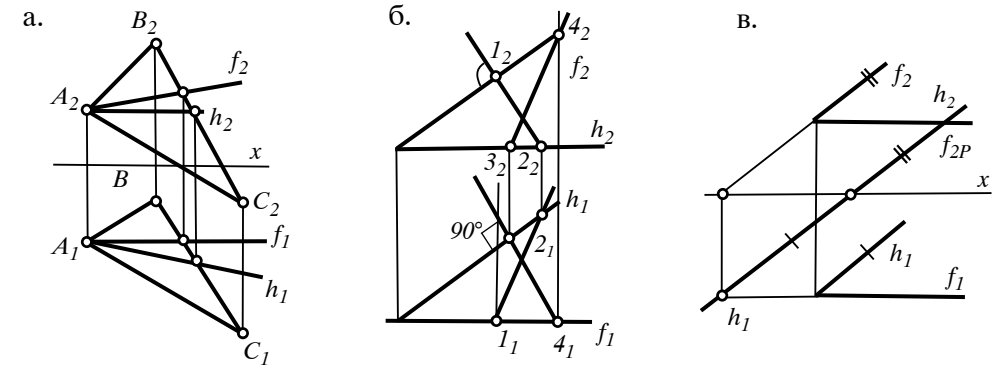


Рис. 3.19. Спеціальні лінії площини

Б. Розташування відносно площин проекцій

Задача 3.3. *Визначення величини кута нахилу площини Р до площин проекцій.*

Проводимо лінію найбільшого нахилу – перпендикуляр до горизонталі, якщо шукається кут нахилу до Π_1 (рис. 3.20), і до фронталі, якщо до Π_2 (властивість 3.3). Знаходимо натуральну величину відрізка перпендикуляра. Кут між натуральною величиною і проекцією відрізка дорівнює шуканому.

У випадках, коли *площини перпендикулярні площинам проекцій (рис. 3.21а) та паралельні до них (рис. 3.21б), в натуральну величину будуть відображатись відрізки, кути, площі відсіків.*

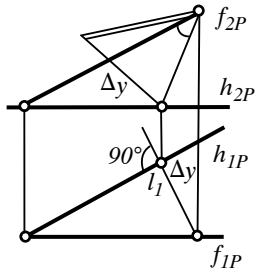


Рис. 3.20.
Визначення кута нахилу площини Р до $П_1$

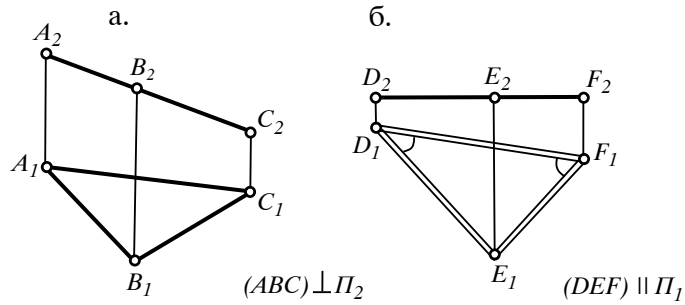


Рис. 3.21.
Площини окремого розташування

Площина, яка водночас паралельна і перпендикулярна до площин проекцій називається *за ознакою паралельності.*

Самоконтроль. Поясніть, чому назва дається саме так.

В. Точка і площина

Маємо *позиційну задачу* визначення належності точки до площини (якщо належить, то належить і якійсь прямій площини, що перевіряється за другою проекцією, рис. 3.22а) та *метричну задачу* визначення відстані від точки до площини (рис. 3. 22б).

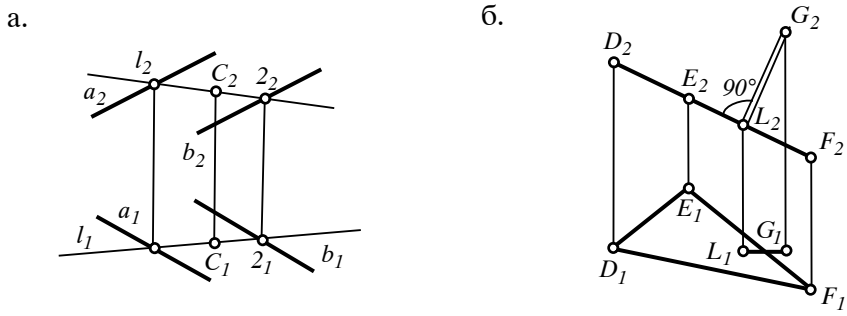


Рис. 3.22. Точка і площина: а. належність; б. відстань (окремий випадок)

Г. Пряма і площина

Розглянемо *основну позиційну задачу.*

Задача 3.3. *Визначення перетину прямої а і площини, заданої відсіком (АВС)* (рис. 3.23).

1. Через будь-яку з проекцій прямої проводимо *допоміжну проекціюючу січну площину* Δ. Нехай вона проходитиме через a_1 і буде перпендикулярна $П_1$ (рис. 3.23а).

2. Ця площина перетинає (АВС) по прямій, положення якої визначатиметься точками 1 і 2 перетину Δ з АВ і ВС. Фронтальні проекції точок 1 і 2 знаходяться за відповідністю (рис. 3.23б).

3. Оскільки a_2 і $1_2 2_2$ належать Δ, вони не є мимобіжними і мають точку перетину – $К_2$. Оскільки пряма $1_2 2_2$ належить (АВС), точка К і є точкою перетину *а* і АВС. $К_1$ знайдеться за відповідністю (рис. 3.23в).

4. Видимість *а* відносно (АВС) визначається, виходячи з того, що відсік є непрозорим, а місця конкуруючих точок ясні з рис. 3.23г. Поза межами відсіку пряма завжди видима. Видимість змінюється в точці перетину.

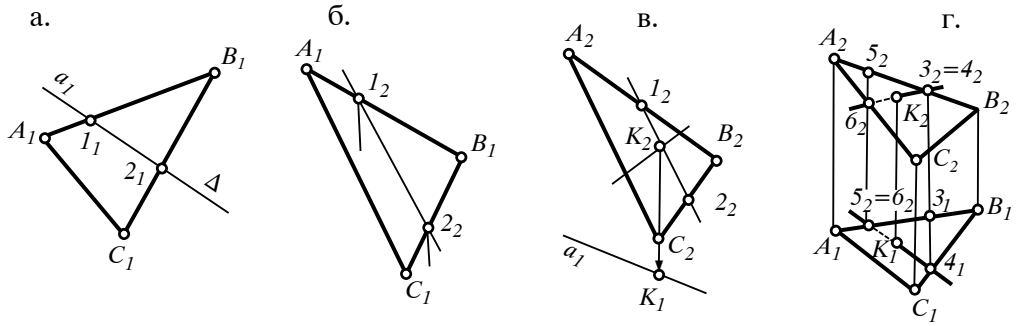


Рис. 3.23. Основна позиційна задача – перетин прямої і площини

Тепер – типові метричні задачі.

Задача 3.5. *Проведення площини Р, перпендикулярної до заданої прямої а, через задану точку В (рис. 3.24).*

Пригадаємо, що *пряма перпендикулярна до площини, якщо вона перпендикулярна двом непаралельним прямим цієї площини.* Оскільки для побудов потрібно, щоб прямий кут проекціювався без спотворень, в якості цих прямих беремо фронталь і горизонталь, що відповідає умовам властивості 3.3.

1. Проводимо через точку В фронталь і горизонталь.

2. Тепер переходимо до завдання площини Р слідами, орієнтуючись на рис. 3.19в. Кінцевий результат показано на рис. 3.24.

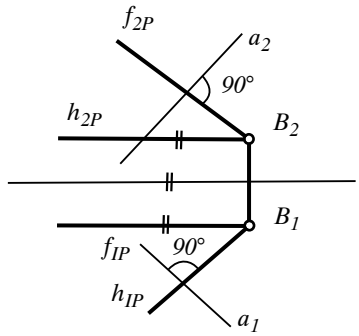


Рис. 3.24. Побудова площини за заданими умовами

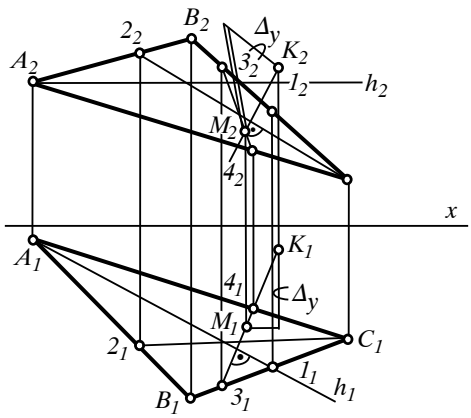


Рис. 3.25. Визначення відстані від точки до площини (загальний випадок)

Задача 3.6. *Визначення відстані від точки до площини в загальному випадку* (рис. 3.25).

1. Проводимо з т. К перпендикуляр до (АВС). При цьому керуємося рис. 3.24 і відповідними поясненнями.

2. Знаходимо точку М його перетину з площиною. Пригадуємо рис. 3.23 та пояснення до нього.

3. Знаходимо натуральну величину відрізку (КМ) способом прямокутного трикутника. Керуємося поясненнями до рис. 3.12б. Це і є відстань від т. К до (АВС).

Д. Дві площини

Розташування паралельних і перпендикулярних площин показані на рис. 3.26а,б.

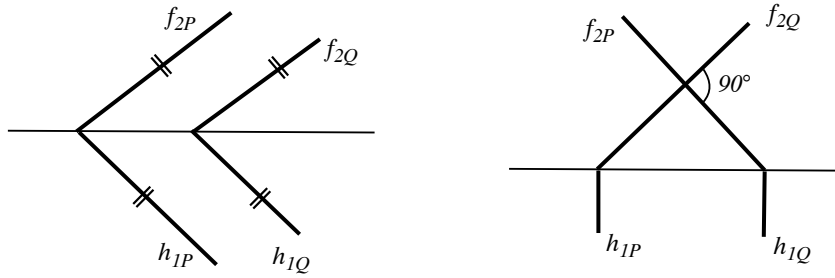


Рис. 3.26. Паралельні і перпендикулярні площини

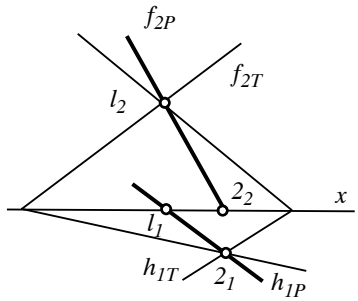


Рис. 3.27. Перетин площин, заданих слідами

Задача 3.7. *Визначення лінії перетину площин P і T.*

Ця пряма визначається точками перетину двох довільних прямих, що належать P і T. Легше за все знайти точки, коли площини задані слідами (рис. 3.27): перетин f_P і f_T визначить проекції точки 1, а h_P і h_T – проекції точки 2.

При інших умовах доцільно перейти до розглянутого способу, або використати допоміжні січні площини. Видимість визначається способом конкуруючих точок.

Розглянемо *метричні задачі.* На рис. 3.28а показано натуральну величину кута між площинами, а на рис. 3.28б – відстань між паралельними площинами. Для зображення проекціюючих площин досить одного сліду (рис. 3.28б).

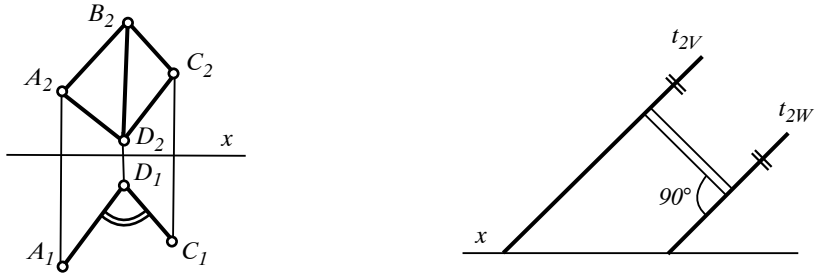


Рис. 3.28. Кути і відстані між площинами (окремі випадки)

Самоконтроль. Перерисуйте всі окремі випадки розташування точок, прямих і площин на окремий аркуш і запам'ятайте їх.

4. ПЕРЕТВОРЕННЯ ПРОЕКЦІЙ

В розділі 3 розглядалися здебільшого окремі випадки позиційних і метричних задач (пригадайте їх). Щоб перейти до складніших і практично більш значимих питань, необхідно розширити арсенал методів розв'язання.

4.1. Загальна характеристика методів перетворення

Розглянуті досі задачі діляться на дві групи: для одних все потрібне визначалося безпосередньо на епюрі; для інших застосовувались досить неочевидні побудови. З цього випливає, що: 1) простота розв'язання суттєво залежить від розташування фігур відносно площин проекцій; 2) можливим шляхом розв'язання є зміна невдалого зображення на більш зручне. Ця ідея лежить в основі методів перетворення проекцій. Як змінити зображення? Є три можливості: змінити площини проекцій, розташування фігур, напрям проекціювання.

Таблиця 4.1

Порівняльна характеристика перетворень проекцій

Ідея	Варіанти	Особливості	Застосування
заміна $П_1$, $П_2$,	одно- чи двократна	в залежності від умов задачі	універсальне
зміна положення фігур	обертання навколо ⊥ осей	осі ⊥ $П_1$ чи $П_2$	універсальне
	плоскопаралельне переміщення	обертання і паралельне перенесення	універсальне
	обертання навколо ∥ осей	обертання навколо лінії рівня	визначення натуральної величини відсіку
	суміщення	слід площини суміщується з $П_1$ чи $П_2$	побудова фігур за заданими умовами
зміна напряму проекціювання	косокутне проекціювання	кут проекціювання $\neq 90^\circ$	позиційні задачі
	прямокутне проекціювання	будується діаграма	метричні задачі

Технічна частина методів різна, проте ціль одна – перейти до такого окремого розташування, коли необхідну характеристику можна визначити безпосередньо. Відзначимо, що для цього інколи слід застосовувати той чи інший метод більше одного разу, або сполучати його з іншими способами.

Розглянемо особливості використання методів.

4.2. Заміна площин проекцій (ЗПП)

А. Схема (рис. 4.1)

Нехай задані проекції точки – A_1 і A_2. Побудуємо зображення т. А на додатковій вертикальній площині $П_4$:

1. Задамо додаткову площину $П_4$ горизонтальним слідом h_{14}. Оскільки вона є горизонтально-проекціюючою, цього досить для однозначного визначення.

2. Лінії зв'язку між проекціями A_1 і A_4 будуть перпендикулярними h_{14}.

3. Координата z_A визначиться за фронтальною проекцією; відкладаючи її вздовж лінії зв'язку, одержуємо A_4.

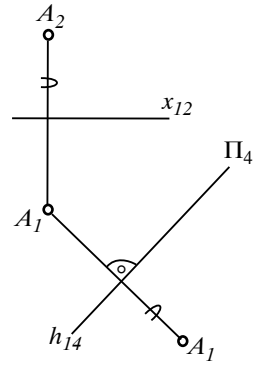


Рис. 4.1. Схема заміни площин проекцій

Б. Застосування

Задача 4.1. *Визначення довжини відрізку* (рис. 4.2).

Нехай відрізок знаходиться в загальному положенні (рис.4.2а). В натуральну величину він буде відображатись, коли займе положення, показане на рис. 4.2б. Отже, слід підібрати таку вертикальну площину проекцій, до якої відрізок буде паралельним. Ця констатація і лежить в основі перетворення (рис. 4.2б).

Задамо вертикальну площину $П_4$ горизонтальним слідом h_{14}, паралельним (A_1B_1) – за цієї умови він може розташовуватись в будь-якому місці. (Цей слід є лінією перетину $П_1$ і $П_4$, тому доцільно позначати його саме цими індексами). Будуємо проекції точок А і В на $П_4$, виходячи з того, що лінії зв'язку будуть перпендикулярними до h_{14}, а координати z_A і z_B будуть такими ж, як і на $П_2$. Отримане зображення відрізку без спотворень покаже його довжину.

Отже, тут знадобилася лише одна заміна.

Самоконтроль. Порівняйте застосування заміни площин проекцій для розв'язання цієї задачі з способом прямокутного трикутника. Які ви вбачаєте аналогії?

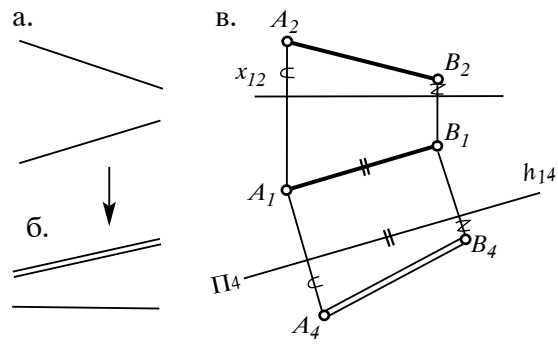


Рис. 4.2.
Визначення довжини відрізку (ЗПП)

Одна заміна площин проекцій є достатньою для розв'язання тих задач, де потрібно перевести:

- в проекціюючe положення довільну площину (допоміжна площина обирається перпендикулярною фронталі чи горизонталі цієї площини);
- довільну пряму – в положення, паралельне до допоміжної площини проекцій.

Покажемо, як використовувати подвійну заміну.

Задача 4.2. Визначення відстані між мимобіжними прямими (рис. 4.3).

Вихідне положення прямих показано на рис. 4.3а. Для розв'язання задачі одну з них слід перевести в проекціююче положення (рис. 4.3б). Але зробити це шляхом однієї заміни неможливо: якщо, наприклад, взяти додаткову площину перпендикулярною до a_2, то пряма зобразиться не як точка, а як відрізок – різні її точки матимуть різні координати *y*. Тому спочатку переведемо одну з прямих в паралельне до додаткової площини проекцій положення, а потім – в проекціююче (рис. 4.3в). Відстань між *a* і *c* дорівнює натуральній величині відрізка (АС) на площині $П_5$.

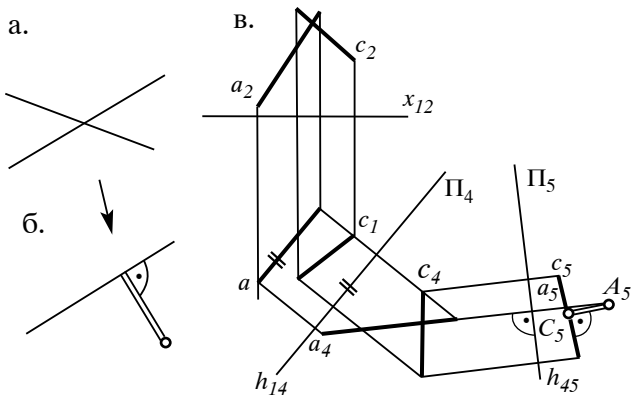


Рис. 4.3. Визначення відстані між мимобіжними прямими (ЗПП)

Подвійна заміна використовується, якщо в ході розв'язання задачі необхідно зробити:

- *пряму загального положення – проекціюючою*;
- *довільну площину – паралельною до площини проекцій*.

Самоконтроль. Задайте площину відсіком (АВС) і знайдіть натуральні величини відрізків (АВ), (ВС), (СА), кутів між ними, а також площини відсіку.

Заміна площин проекцій може бути успішно використана і при розв'язанні позиційних задач.

Наступний приклад слід розібрати до повної ясності, оскільки він буде декілька раз використовуватись в розділах 5 і 7.

Задача 4.3. *Перетин площин* (рис. 4.4).

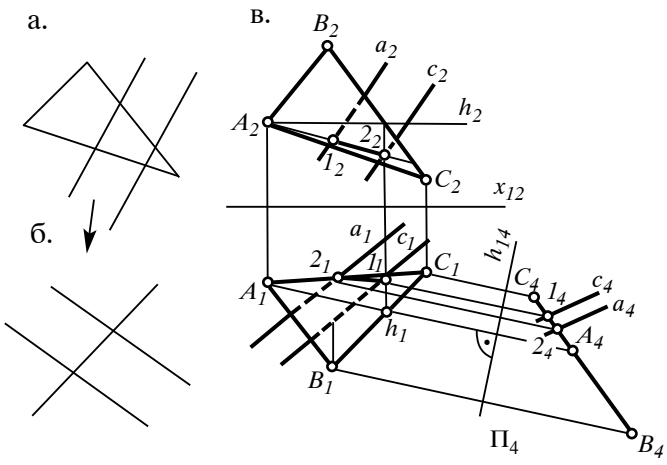


Рис. 4.4. Перетин площин (ЗПП)

Вихідне розташування площин, показане на рис. 4.4а, є загальним. Для розв'язання задачі слід одну з них зробити проекціюючою (рис. 4.4б), знайти лінію перетину, повернутися до вихідних проекцій і визначити видимість.

1. Проводимо в (АВС) горизонталь.

2. Обираємо положення додаткової площини проекцій Π_4 перпендикулярним до h_1. Позначаємо її слід h_{14}.

3. Будуємо на площині Π_4 зображення (АВС) і (a, c).

4. Фіксуємо лінію перетину ($1_4 2_4$) за точками перетину сліду (АВС) на Π_4 з (a_4, c_4).

4. Повертаємось до вихідних зображень, переносячи точки 1 і 2 в напрямі ліній зв'язку спочатку на горизонтальну, а потім на фронтальну площини проекцій.

6. Визначаємо видимість площин за допомогою конкуруючих точок. Оскільки поза межами відсіку (a,c) площина (АВС) буде видимою і видимість зміниться на лінії перетину, достатньо проаналізувати тільки дві такі точки, (рис. 4.4в).

4.3. Обертання навколо перпендикулярних осей

А. Схема (рис. 4.5)

Нехай задана вісь обертання a, $a \perp \Pi_1$, а також т. А, яку слід повернути навколо a на кут γ.

Оскільки площина, в якій відбивається обертання, перпендикулярна а, вона паралельна Π_1. Тоді траєкторія – дуга кола з радіусом, рівним відстані від А до a, – зобразиться на Π_1 без спотворення.

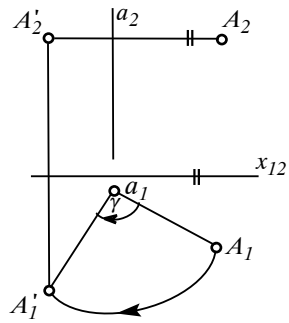


Рис. 4.5.
Схема обертання навколо перпендикулярних осей

Ця ж площина перпендикулярна $П_2$, отже, на фронтальній площині проекцій траєкторія виглядатиме як відрізок прямої, паралельної осі *x*. З'ясувавши це, будуємо нові зображення точки А – A^1_1, A^1_2.

Б. Застосування

Обертання навколо перпендикулярних осей є універсальним методом, що використовується для розв'язання позиційних і метричних задач однократно чи кілька разів послідовно. Зауваження відносно кількості замін площин проекцій для задач певних типів, зроблені вище, справедливі і для підрахунку кількості обертань.

Задача 4.4. *Визначення відстані від точки до площини* (рис. 4.6)

Для розв'язання задачі слід від загального розташування площини, зображеного на рис. 4.6а, перейти до показаного на рис. 4.6б проекціюючого її положення, і відстань до точки визначиться згідно рис. 4.22б. Обернемо площину навколо горизонтально-проекціюючої осі. Доцільно провести вісь через вершину відсіку, наприклад, А – т. А не змінюватиме положення, і доведеться будувати зображення не чотирьох, а лише трьох точок. Далі визначимо радіуси і кут повороту. Перші дорівнюватимуть відстаням від точок до осі, а другий – куту повороту горизонталі до положення, перпендикулярного $П_2$. Після обертання площина (АВС) стане фронтально-проекціюючою. Отже:

1. Будуємо горизонталь (АВС). Проводимо вісь обертання і через т. А і обертаємо горизонталь до проекціюючого положення.

2. Маємо нові положення точок А (збігається з вихідним) і *i*. Положення точок В, С, Е визначаться з умов: 1) вони обертаються по колах фіксованих радіусів на визначений кут у визначеному напрямі, або 2) вони обертаються по колах фіксованих радіусів і зберігають відстані від т. 1.

3. Нові положення точок на фронтальній площині проекцій визначаться з умов: 1) траєкторії їх переміщення паралельні до осі *x*; 2) лінії зв'язку між новими горизонтальними і фронтальними зображеннями точок перпендикулярні до осі *x*. Проводимо перпендикуляр ($E_2^1T_2$) з точки E_2^1 до ($A_2^1B_2^1C_2^1$). Відстань $E_2^1T_2$ і є шуканою відстанню від точки до площини (рис. 4.6в).

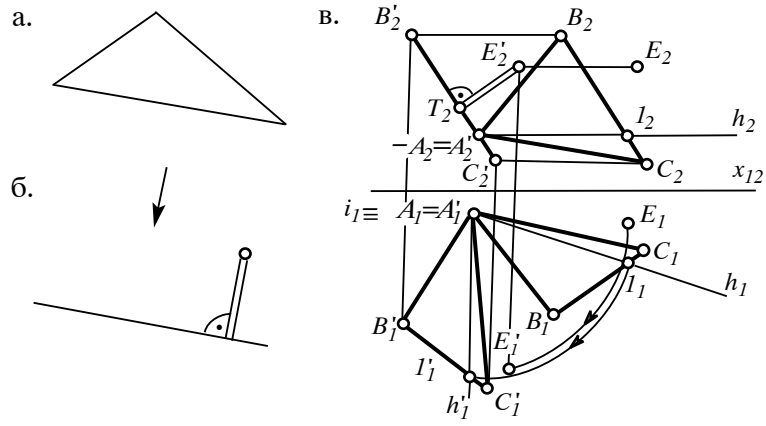


Рис. 4.6. Визначення відстані від точки до площини (обертання навколо перпендикулярних осей)

Самоконтроль. Площина є проекціюючою, коли будь-яка її пряма перпендикулярна до площини проекцій. Чому ж кут повороту визначається за обертанням горизонталі або фронталі?

4.4. Плоскопаралельне переміщення (ППП)

А. Схема (рис.4.7)

Плоскопаралельне переміщення є суміщенням обертань і паралельних перенесень; воно базується на трьох очевидних властивостях.

Властивість 4.1. *При плоскопаралельному переміщенні відносно горизонтальної площини проекцій траєкторія руху на фронтальній площині зобразиться у вигляді прямої, паралельної осі x.*

Властивість 4.2. *При плоскопаралельному переміщенні відносно фронтальної площини проекцій траєкторія руху на горизонтальній площині зобразиться у вигляді прямої, паралельної осі y.*

Властивість 4.3. *При плоскопаралельному переміщенні позиційні і метричні властивості фігур не змінюються.*

Отже, при русі т. А (рис. 4.7а) спочатку паралельно $П_1$, а потім $П_2$, проекційні зв'язки матимуть вигляд, показаний на рис. 4.7б і в.

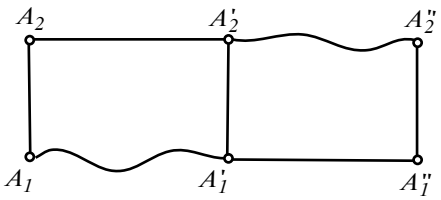


Рис. 4.7. Схема плоскопаралельного переміщення

Б. Застосування

Область застосування ППП аналогічні обертанню навколо перпендикулярних осей.

Задача 4.4. Визначення величини двогранного кута.

Кут між площинами (рис. 4.8а) не спотворюватиметься, коли лінія їх перетину займе проекціююче положення (рис. 4.8б). Отже, слід загальне положення прямої (АВ) змінити на проекціююче. Для цього спочатку робимо її паралельною до фронтальної площини проекцій, а потім перпендикулярною до горизонтальної площини проекцій. Хід побудов і результат – кут γ – показані на рис. 4.8в.

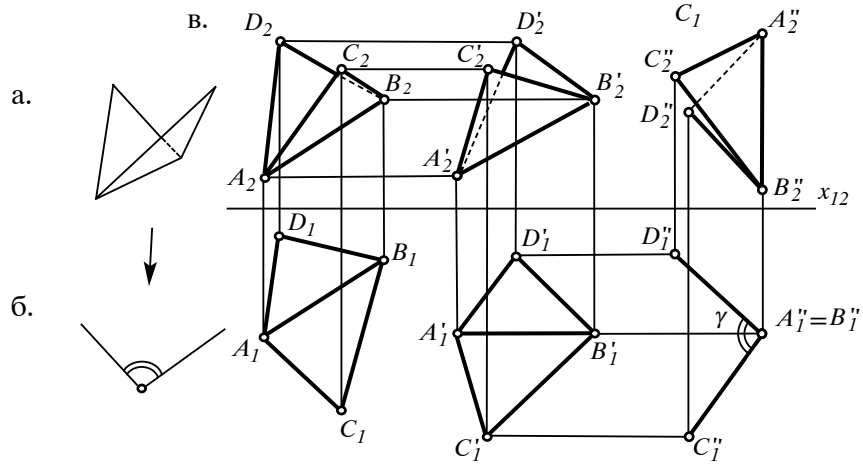


Рис. 4.8. Визначення величини двогранного кута (ППП)

Самоконтроль. Двогранний кут визначається за величиною кута між перпендикулярами, проведеними в площинах, що перетинаються, до лінії перетину. Доведіть, що при розв'язання задачі була використана рівнозначна властивість. Використайте плоскопаралельне переміщення для визначення натуральної величини плоского відсіку (АВС).

4.5. Обертання навколо паралельних осей

А. Схема (рис. 4.9)

Плоска фігура переводиться у положення, паралельне одній з площин проекцій – тоді вона зображується в натуральну величину. В якості осі обертання обирається фронталь або горизонталь; центри, радіуси і кут визначаються з умови досягнення мети перетворення.

Переведемо т. А шляхом обертання навколо горизонталі в положення, коли радіус (ОА) стане паралельним $П_1$ (рис. 4.9а). Траєкторія обертання на горизонтальній площині зобразиться як перпендикуляр до *h*, на фронтальній – у вигляді еліпса. Отже, точка О перетину перпендикуляру з *h* і є центром обертання. Знаходимо натуральну величину (ОА) способом прямокутного трикутника. Щоб мінімізувати кількість побудов, відкладаємо Δz вздовж *h*. Тоді, відклавши натуральну величину радіусу (ОА) вздовж перпендикуляра, отримаємо A_1' – нове положення т. А (рис. 4.9б).

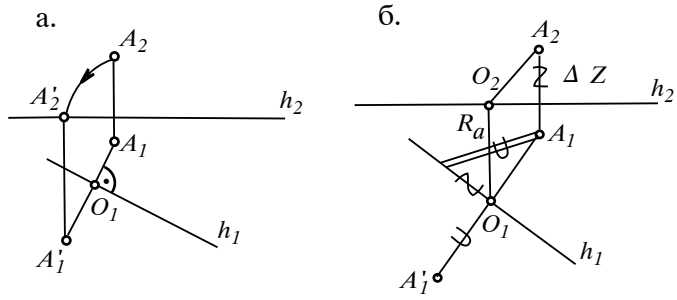


Рис. 4.9. Апарат обертання навколо горизонталі

Б. Застосування

Область застосування цього перетворення обмежена – воно використовується тільки для визначення натуральних величин плоских фігур.

Задача 4.6. *Визначення натуральної величини відсіку площини* (рис. 4.10, 4.11).

Вихідні умови дані на рис. 4.10. Метою перетворення є переведення плоского відсіку (АВС) в горизонтальне положення.

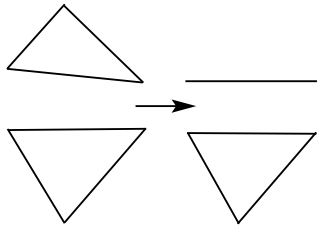


Рис. 4.10. Вихідні умови і мета перетворення для задачі 4.6

Для зменшення побудов проводимо горизонталь через т. А. Далі визначаємо центри обертання і натуральні величини радіусів для точок В і С. Кут визначиться з умови переведення радіусів у положення, паралельне $П_1$. Відкладаємо вздовж перпендикулярів до горизонталі натуральні величини радіусів точок В і С і отримуємо їх нові положення. З'єднавши їх з т. А, отримуємо натуральну величину (АВС) (рис. 4.11).

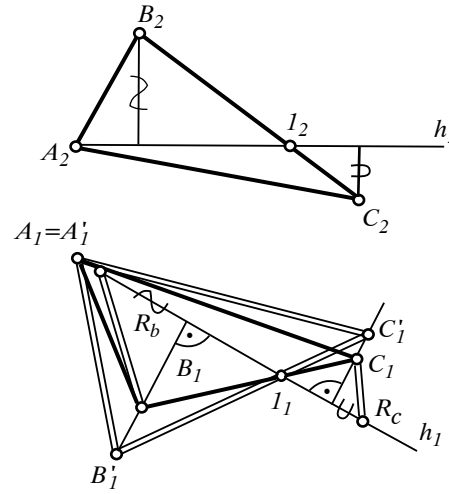


Рис. 4.11. Визначення натуральної величини плоского відсіку (обертання навколо паралельних осей)

Відзначимо, що на відміну від заміни площин проекцій, обертання навколо перпендикулярних осей та плоскопаралельного переміщення, для переведення площини у паралельне положення знадобилося лише одне перетворення.

Самоконтроль. Для перевірки побудов використовується така властивість – ($C_1{}^1B_1{}^1$) перетинає горизонталь в тій же точці, що й (C_1B_1). Поясніть, чому це так.

4.6. Суміщення

А. Схема (рис. 4.12)

Суміщення є окремим випадком обертання навколо паралельних осей, коли в якості вісі береться фронтальний або горизонтальний слід площини. В результаті площина суміщується з фронтальною або горизонтальною площиною проекцій. Звідси й походить назва перетворення.

Той слід, який є віссю, не змінює свого положення, отже, необхідно визначити положення другого сліду. Для цього досить показати нове положення однієї точки, оскільки точка перетину слідів не змінюватиме свого положення. Отже, при обертанні навколо горизонтального сліду фіксуємо на f_{2P} довільну точку 1_2 і знаходимо її горизонтальну проекцію. Переміщуватись ця точка буде вздовж перпендикуляра до h_{1P}, а на яку саме відстань, визначиться з умови, що після повороту $O1_1{}^1=O1_2$. Точки O і $1_1{}^1$ визначать суміщене положення фронтального сліду (рис. 4.12а). Звернемо увагу, що h_{1P}, $f_{2P}{}^1$ та вісь x визначають афінне перетворення точки $1_1{}^1$ в точку 1_1 (рис. 4.12б).

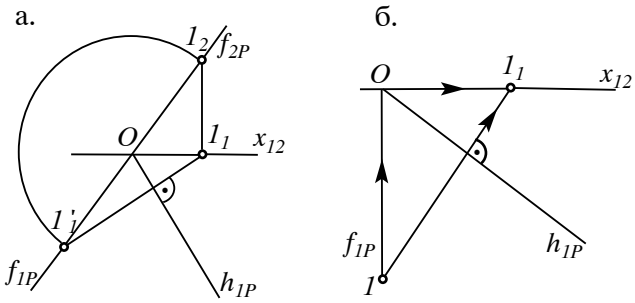


Рис. 4.12. Апарат суміщення

Нехай задано площину Р та трикутник (123) зі сторонами 10 мм. Послідовність розв'язання задачі наступна. Спочатку переводимо Р в положення, суміщене з Π_1. Загострімо увагу на мінімізації кількості побудов. Щоб її зменшити, вершину 1 трикутника розташуємо в точці $1_1{}^1$, а вершину 2 – на $f_2{}^1$. Точка 3 знайдеться на перетині дуг з радіусами 10 мм, проведених з точок 1 і 2. Визначаємо положення т. 1–3 при вихідному розташуванні Р: 1_1 і 1_2 є; 2_2 знаходиться зворотнім обертанням фронтального сліду, 2_1 – за відповідністю; 3_1 – через афінне перетворення т. 3 (рис.4. 12б), 3_2 – за відповідністю і з умови належності точки 3 довільній

Б. Застосування

Суміщення зручно використовувати, коли потрібно побудувати фігуру за заданими метричними умовами в довільній площині.

Задача 4.7. *Побудова трикутника в довільній площині* (рис. 4.13).

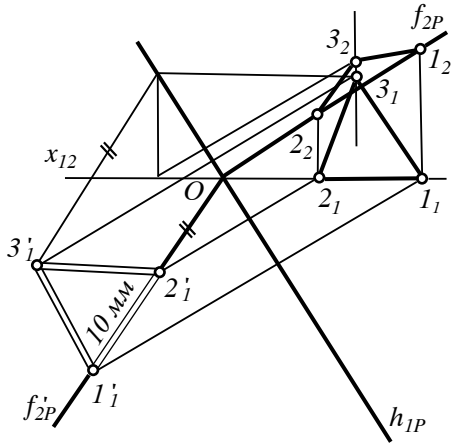


Рис. 4.13. Побудова трикутника в площині Р (суміщення)

прямій площини Р (взята фронтальна пряма). З'єднуємо вершини, отримуємо шуканий трикутник.

Самоконтроль. В інших підручниках вершини в вихідній площині будуються без посилання на афінні перетворення. Розберіть відповідні приклади і порівняйте з наведеним вище. Підрахуйте кількість і оцініть зручність побудов. Який спосіб придатніший для вас? Користуйтесь в подальшому саме ним.

4.7. Допоміжне косокутне проекціювання

А. Схема (рис.4.14)

Метод використовується для розв'язання позиційних задач і полягає в проекціюванні під непрямим кутом на додаткову площину, як правило, фронтальну чи горизонтальну. Напрям проекціювання і розташування площини обираються, виходячи з умов задачі. Розберемо це на конкретному прикладі. Нехай потрібно перевести довільну пряму а в проекціююче відносно горизонтальної площини положення. Обираємо напрям проекціювання вздовж прямої (на фронтальній площині проекцій – вздовж a_2 і на горизонтальній – вздовж a_1) і знаходимо горизонтальний слід прямої a. Ця точка, позначена на рис. 4.14 як a_1^1, і буде розв'язанням задачі. Звернемо увагу, що нам знадобилося тільки одне перетворення.

Б. Застосування

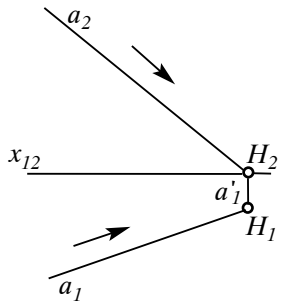


Рис. 4.14. Схема допоміжного косокутного проекціювання

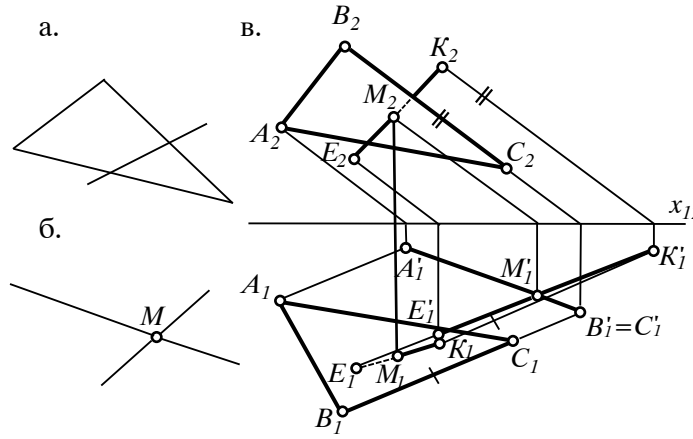


Рис. 4.15. Визначення точки перетину прямої з площиною (косокутне допоміжне проекціювання)

Задача 4.8. *Визначення точки перетину прямої з площиною* (рис. 4.15).

Нехай задані площина і пряма займають довільне положення (рис. 4.15а). Слід перевести площину в проекціююче положення, тоді точка перетину з прямою знайдеться легко (рис. 4.15б). Обираємо напрямок проекціювання вздовж будь-якої сторони трикутника; нехай це буде ВС. Здійснюємо проекціювання на $П_1$. Знаходимо горизонтальні сліди точок А, В, С, Е, К. Точка перетину ($A_1^1B_1^1C_1^1$) та $E_1^1K_1^1$ – M_1^1 – є шуканою точкою. Рис. 4.15.

3. Повертаємо її на вихідні зображення. Визначаємо видимість (рис. 4.15в).

Самоконтроль. Розв'яжіть цим способом задачу на визначення лінії перетину площин (рис. 4.4). Порівняйте кількість побудов.

4.8. Допоміжне прямокутне проекціювання

Цей метод є «фірмовим знаком» київської школи нарисної геометрії, оскільки його було розроблено засновником школи професором С. М. Колотовим. Практика застосування методу для розв'язання практичних і теоретичних задач переконливо довела його переваги.

Оскільки, за досвідом викладання, він є складним для сприйняття, наведемо лише простий приклад, що не вимагає побудови діаграми.

Задача 4.9. *Визначення відстані між паралельними прямими* (рис. 4.17).

Прямі загального положення (рис. 4.17а) робляться проекціюючими, і відстань не має спотворень (рис. 4.17б).

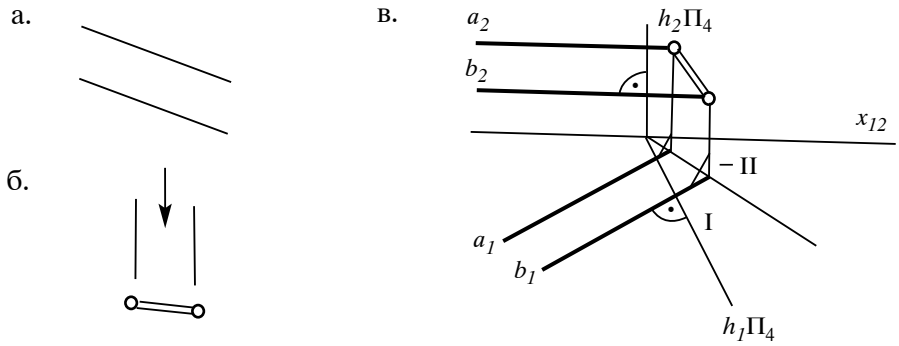


Рис. 4.17. Визначення відстані між паралельними прямими (допоміжне прямокутне проекціювання)

1. Будемо проекціювати вздовж a_2 і a_1 на допоміжну площину Π_4, фронтальний і горизонтальний сліди якої перпендикулярні до напрямів проекціювання.

2. Зображення на Π_4 будуються так: зв'язок з фронтальними проекціями прямих – за відповідністю; зв'язок з горизонтальними проекціями – через бісекторну площину P(I), або передачу координат по дузі (II) подібно до побудови профільної проекції точки в розділі 4 (рис. 4.17в).

Як бачимо, основною перевагою прямокутного проекціювання перед косокутним є можливість розв'язувати не тільки позиційні, але й метричні задачі. Платою за це є необхідність побудови спеціальної діаграми у випадках, складніших за щойно наведений.

Самоконтроль. Порівняйте викладені в розділі методи з точки зору універсальності, наочності, простоти, кількості побудов, необхідності вільного місця і якості рисунків. Доповніть табл. 4.1. відповідними пунктами. Перепишіть і використовуйте її.

5. ГРАННІ ПОВЕРХНІ ТА БАГАТОГРАННИКИ

Гранні поверхні та багатогранники є своєрідним «магічним кристалом», в глибинах якого бачимо як природні структури – від молекул до медових сот, так і витвори людини – від сірникових коробок до пірамід і хмарочосів. За однією з гіпотез, ядро Землі має форму правильного додекаедру, а місця аномалій – таких, як Бермудський трикутник чи Море диявола – відповідають його вершинам. Віртуальні світи комп'ютерної графіки теж знаходяться там – розрахунок найчарівніших пейзажів і найстрашніших монстрів починається зі створення полігональної сітки.

5.1. Визначення, класифікація, властивості

Визначення 5.1. ***Гранною поверхнею*** *називається неперервна поверхня, що складається з опуклих багатокутників, з'єднаних по своїм сторонам.*

Визначення 5.2. ***Багатогранником*** *називається замкнена гранна поверхня.*

Для однозначного визначення багатогранника необхідно задати певну сукупність елементів, причому можливі варіанти. Так, чотиригранна піраміда визначається вершиною і ламаною основи, всіма вершинами, всіма гранями.

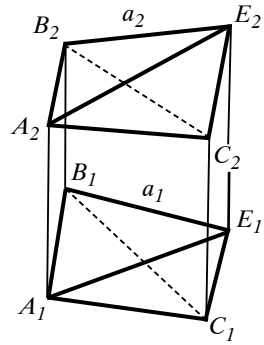


Рис. 5.1. Визначник і зображення піраміди

Цю сукупність елементів називають визначником і позначають Ф(А, а), Ф(А, В, С, Е), Ф((АВС), (АСЕ), (АВЕ), (ВСЕ)), де Ф – піраміда, А, В, С, Е – її вершини, а – ламана основи. Для зображення піраміди слід побудувати по дві проекції кожного з її елементів і визначити видимість способом конкуруючих точок (рис. 5.1). Зображенням Ф на фронтальній і горизонтальній площинах проекцій є повний (тобто з діагоналями) чотирикутник, сторони якого є видимими. Отже, видимість визначається лише для діагоналей. За видимістю ребер визначається і видимість граней піраміди.

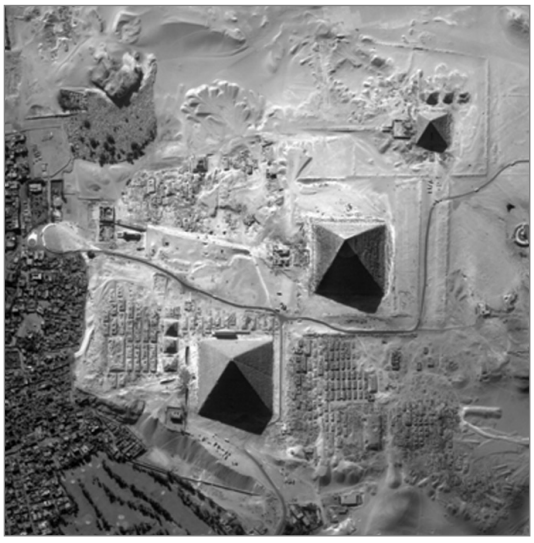


Рис. 5.2. Великі піраміди, піраміда Хеопса посередині, зліва – Сфінкс (Єгипет. IVдинастія)

Серед численних типів гранних поверхонь і багатогранників найбільший практичний інтерес являють піраміди, призми, правильні багатогранники та деякі інші групи.

Визначення 5.3. ***Пірамідою*** *називається багатогранник, однією гранню якого є багатокутник, а іншими – трикутники, що мають спільну вершину.*

Піраміда є ***правильною,*** *якщо її основою є правильний багатокутник, а висота проходить через його центр і* ***зрізаною,*** *якщо її вершина відтинається площиною, яка перетинає всі ребра, що виходять з цієї вершини.*

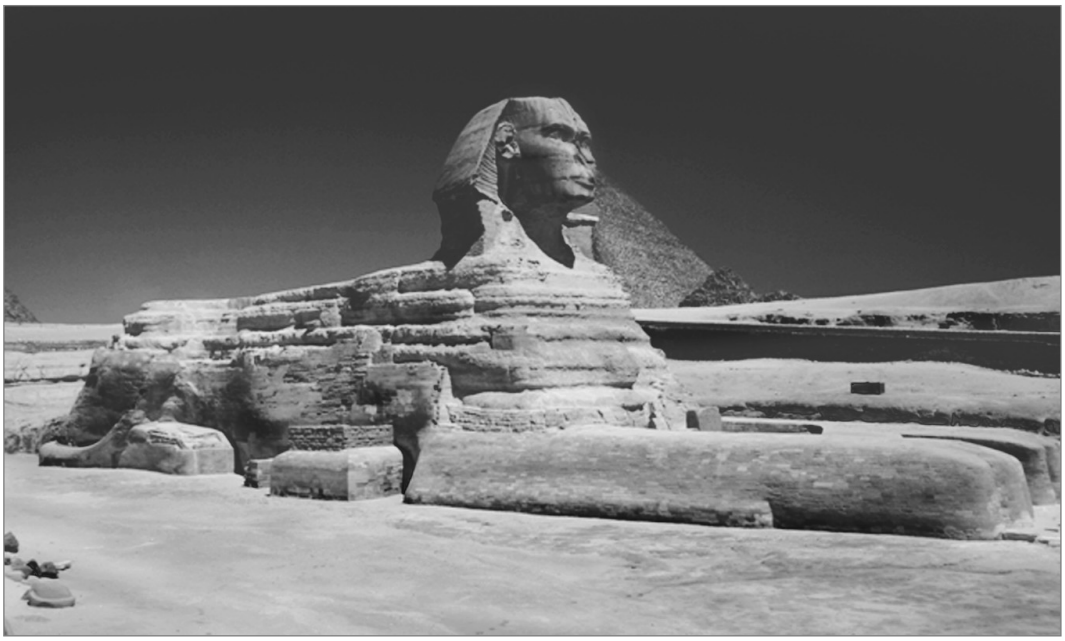


Рис. 5.3. Статуя Сфінкса

Піраміди – правильні і зрізані, з каменю і ґрунту – будувалися повсюди на протязі тисячоліть. Вважається, що в Єгипті їх винахідником був Імхотеп (або Іма-Хатпі), будівничий і радник фараона Джосера. Найвідомішою пірамідою є піраміда Хеопса в Гізі (рис. 5.2). Її висота сягає 147 м – приблизно дорівнює 45-ти поверховому будинку; сторона основи – 233 м – більше довжини двох футбольних полів; кількість кам'яних блоків – 2300000 при середній вазі кожного 2,5 т. Наполеон особисто підрахував, що цього матеріалу вистачить, аби звести стіну висотою 3 м по периметру Франції! З Гізським комплексом пов'язано багато таємниць.

Наприклад, вважається, що Великі піраміди і Сфінкс (рис. 5.3) були збудовані приблизно водночас в середині 3-го тисячоліття до н. е. Так свідчать історичні дані. Геологи ж вказують на досить помітні сліди водної ерозії і стверджують, що вологий період в Єгипті завершився в 8-му тисячолітті до н. е., отже ці споруди не могли бути створені пізніше. Неясними залишаються також технологія і мета будівництва.

Об'єкти пірамідальної форми існують не тільки на Землі, але й на Марсі (рис. 5.4). Дехто інтерпретує їх, як штучні за походженням; більшість вчених ставиться до цього скептично. Можете скласти власну думку щодо цього.

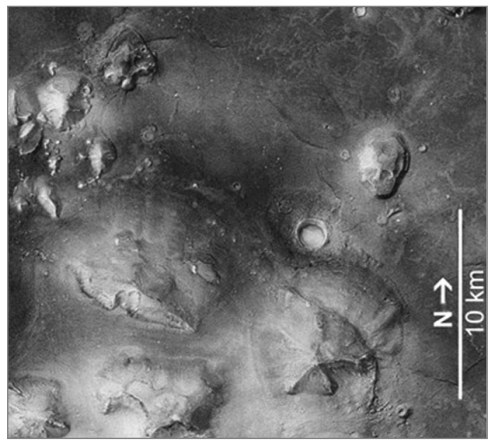


Рис. 5.4. Пірамідальні утворення на Марсі, область Сидонія

Визначення 5.4. ***Призмою*** *називається багатогранник, дві грані якого – рівні багатокутники із взаємно паралельними сторонами, а всі інші – паралелограми.*

Призма є прямою, якщо її ребра перпендикулярні до площини основи, якщо ця основа є прямокутником, призма називається ***паралелепіпедом****.*

Визначення 5.5. ***Правильними*** *називаються опуклі багатогранники, всі грані яких – правильні багатокутники* (рис. 5.5).

а. б.

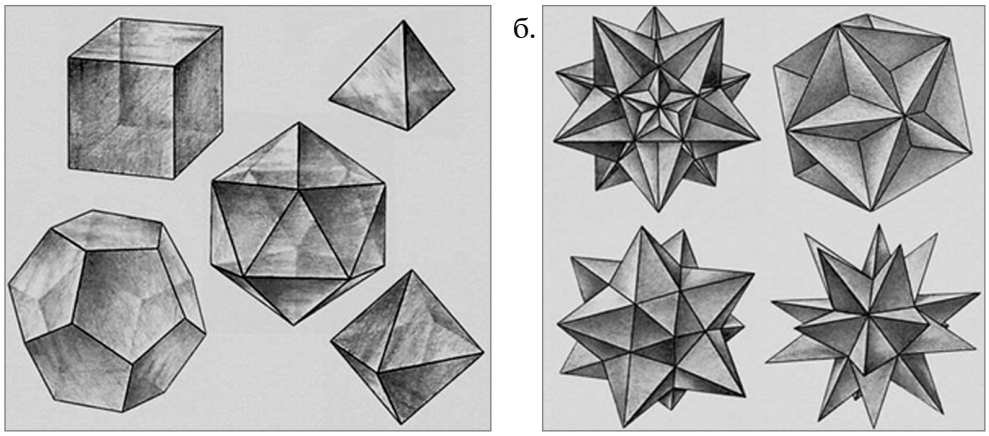


Рис. 5.5. Правильні і зіркоподібні багатогранники

Доведено, що в тривимірному просторі існує п'ять таких фігур. Вони були відомі ще Платону, звідси їх друга назва – Платонові тіла (рис. 5.5а). Правильний чотиригранник називається ***тетраедром***, шестигранник – ***гексаедром***, або кубом, восьмигранник – ***октаедром***, дванадцятигранник – ***додекаедром*** і двадцятигранник – ***ікосаедром***; кількість ребер, що обмежують їх грані – 3, 4, 3, 5, 3 відповідно. Окрім них існують (також в обмеженій кількості форм) опукло-угнуті багатогранники, грані яких теж є правильними багатокутниками; приклади наведено на рис. 5.5б.

В правильних багатогранниках насправді є щось містичне…
Платон вважав їх символами стихій – землі, води, вогню, повітря – і Всесвіту (рис. 5.6).
Кеплер, до того, як сформулював закони руху планет, намагався описати структуру Сонячної системи за допомогою багатогранників (рис. 5.7).
В сакральній геометрії відомий так званий куб *Метатрона*, з якого можуть бути отримані зображення чотирьох з п'яти правильних багатогранників.



Рис. 5.5. Символізм правильних багатогранників за Платоном

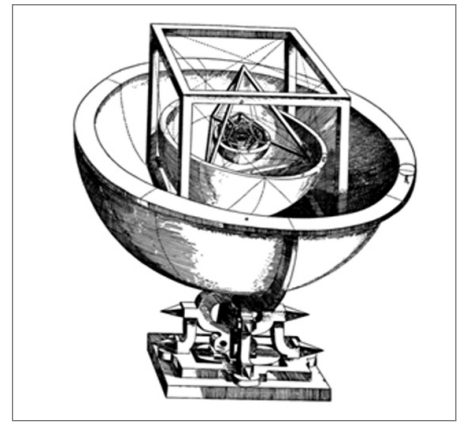


Рис. 5.7. Модель Сонячної системи за Кеплером

Кількості вершин, ребер і граней гранних поверхонь пов'язані між собою. Цей зв'язок було встановлено Леонардом Ейлером:

$$В+Г-Р=3-h,$$

де В, Г, Р – кількості вершин, граней і ребер відповідно;
h – порядок зв'язності (спрощено – кількість дірок плюс 1).

В цій формулі вершини і ребра – точки і площини – складаються з одним знаком, і це є наслідком принципу двоїстості (розділ 2). Правильні багатогранники також є подвійними фігурами: тетраедр до самого себе, куб до октаедру, додекаедр до ікосаедру.

Самоконтроль. Керуючись визначеннями правильних багатогранників, принципом двоїстості і формулою Ейлера, підрахуйте кількості граней, вершин та ребер для кожного з них.

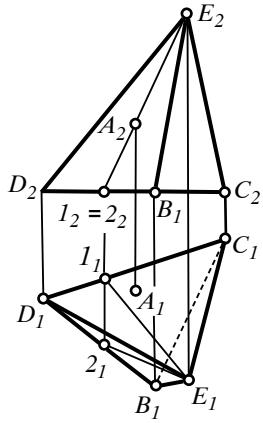


Рис. 5.8. Визначення належності точки до багатогранника

5.2. Позиційні та метричні задачі

А. Належність точки до гранної поверхні

Оскільки грані є площинами, задача зводиться до визначення належності точки до площини (розділ 4) – що слід повторити кілька раз, оскільки точка може належати кільком граням (рис. 5.8). Отже, проводимо через A_2 пряму, фіксуємо її можливі горизонтальні проекції, і, оскільки жодна з них не проходить через т. A_1, констатуємо, що вона не належить (BCDE).

Б. Перетин гранної поверхні площиною

Спочатку розглянемо прості окремі приклади, на які будемо посилатися в подальшому.

Задача 5.1. *Перетин проекціюючої площини і піраміди* (рис. 5.9).

Оскільки площина Р є фронтально-проекціюючою, будь-яка належна їй лінія, в тому числі перерізу, збігатиметься на Π_2 з зображенням P_2. Отже, фронтальна проекція перерізу вже є. Фіксуємо точки перетину площини з ребрами, знаходимо і з'єднуємо їх горизонтальні проекції. Визначаємо видимість.

Властивість 5.1. *Якщо фігура є проекціюючою, то будь-яка лінія, що належить її поверхні, збігається з зображенням фігури на тій площині, відносно якої фігура займає проекціююче положення.*

Задача 5.2. *Перетин проекціюючої призми і площини* (рис. 5.10).

Згідно з властивістю 5.1, маємо горизонтальну проекцію лінії перерізу. Оскільки вона є ламаною з вершинами в точках перерізу площини Т з ребрами, слід зафіксувати фронтальні проекції цих точок і потім з'єднати їх. Знаходимо їх з умови належності точок 1–3 площині Т. Визначаємо видимість за конкуруючими точками.

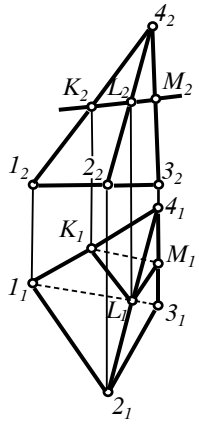


Рис. 5.9. Перетин піраміди з проекціюючою площиною

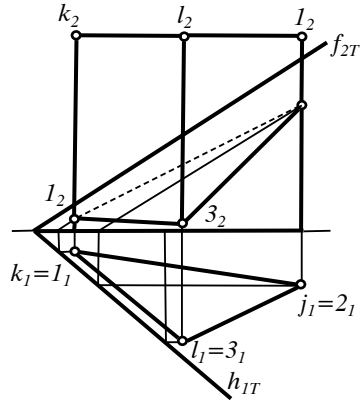


Рис. 5.10. Перетин проекціюючої призми з площиною

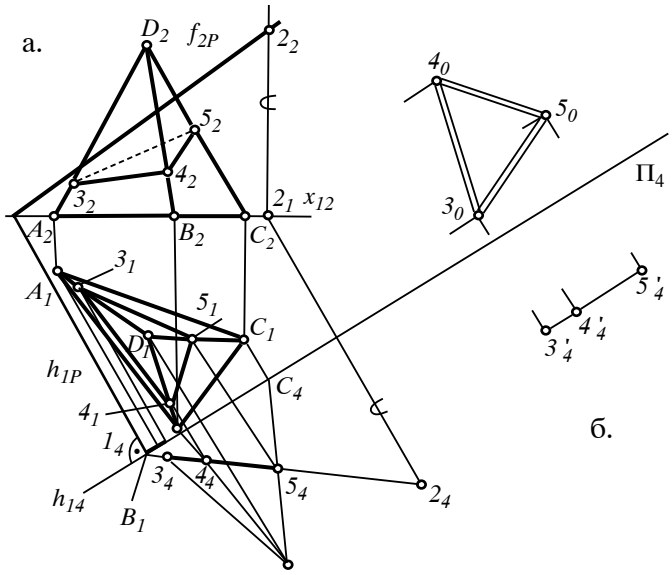


Рис. 5.11. Перетин площин і багатогранників загального положення

Тепер можна розглянути загальний випадок – коли ні площина, ні гранна поверхня не є проекціюючими. Розв'язання задач такого типу зводиться до задач 5.1, 5.2 (останньої – тільки для призм), якщо використати один із способів перетворення проекцій (розділ 5).

Задача 5.3. *Перетин площини і піраміди загального положення* (рис. 5.11а).

Переведемо площину Р в проекціююче положення способом заміни площин проекцій. Оберемо додаткову площину проекцій $П_4$ перпендикулярною до горизонтального сліду h_P. Зафіксуємо її горизонтальний слід – лінію h_{14} – і побудуємо зображення сліду площини Р на $П_4$. Одна точка цього сліду вже є – це точка 1 перетину h_P з h_{14}, другу будуємо таким чином: 1) беремо довільну точку 2, що належить f_P; 2) переносимо її на $П_4$ вздовж лінії зв'язку між $П_1$ і $П_4$, паралельній h_P, відкладаючи від h_{14} координату z точки 2. Аналогічно будуємо проекції вершин піраміди на площину $П_4$. Лінія (345) і є лінією перетину. Повертаємо точки 3, 4, 5 на горизонтальну і фронтальну площини проекцій, рухаючись по лініях зв'язку в зворотному напрямі. Визначаємо видимість.

Розглянемо супутню метричну задачу.

Визначення натуральної величини перерізу (рис. 5.11б).

Скористаємось плоскопаралельним переміщенням. Лінію (345) на $П_4$ переведемо в положення, паралельне h_{14}. На перетині ліній зв'язку і горизонтальних проекцій траєкторій переміщення знаходимо точки 1_0, 2_0, 3_0, що визначать натуральну величину перерізу.

В. Розгортка гранних поверхонь

Спочатку дамо визначення.

Визначення 5.6. ***Розгорткою гранної поверхні (багатогранника)*** *називається неперервне, без складок і розривів, суміщення їх граней з площиною.*

Розгортка, як це випливає з визначення, залишає незмінними довжини відрізків, величини кутів, площі граней. Ці властивості мають назви ***ізоморфності, конформності, еквіареальності.*** Якщо перетворення ізоморфне, воно також конформне і еквіареальне. Відтак, розгортка є водночас ізоморфним, конформним, еквіареальним перетворенням. Відзначимо, що оскільки гранні поверхні складаються з відсіків площин, *побудова розгорток завжди можлива.*

Побудова розгорток є елементом проектування технічних гранних поверхонь – по контуру розгортки вони вирізаються з листа матеріалу, а потім згинаються по лініях стику граней.

Порядок побудови розгортки такий: спочатку слід знайти натуральні величини кожної з граней, а потім розмістити їх на довільній площині, зберігаючи взаємний зв'язок по спільних ребрах. Оскільки таке розміщення можна здійснити по-різному, існує кілька варіантів розгортки однієї поверхні. Побудови (окремі для призм і пірамід) мають певні технічні нюанси – визначення довжин ребер, величин кутів і граней в кожному конкретному випадку зручніше здійснювати одним із кількох можливих способів. Розглянемо відповідні особливості на прикладах.

Задача 5.4. *Розгортки піраміди* (рис. 5.12, 5.13).

Проаналізуємо умови. Основа піраміди – трикутник (АВС) – знаходиться в горизонтальній площині – довжини ребер АВ, ВС, АС натуральні. Ребро СТ є фронтальним, відтак, його довжина відома. Ще однією особливістю піраміди є те, що всі її грані – трикутники (рис. 5.12).

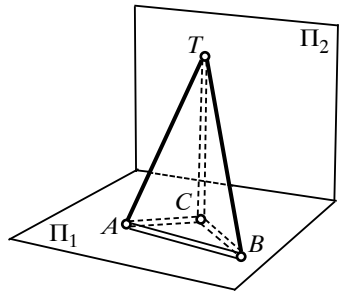


Рис. 5.12. Аналіз умов задачі 5.4

Тепер опишемо хід побудови.

1. Визначаємо натуральні величини АТ і ВТ. Зручніше за все це зробити, застосувавши обертання навколо горизонтально-проекціюючої осі, що проходить через вершину Т (рис. 5.13а).

2. Далі, в зручному місці проводимо довільну пряму і фіксуємо на ній довільну точку А. Відкладаємо вздовж прямої відрізок (АВ). Проводимо дві дуги радіусами (АС) і (ВС) і центрами в точках А і В; їх перетин визначить т. С. Будуємо грань (АВТ) – з центрів А і В проводимо дуги радіусами (АТ) і (ВТ) і в точці їх перетину знаходимо т. Т. Аналогічно будуємо грані (ВСТ) і (АСТ) (рис. 5.13б).

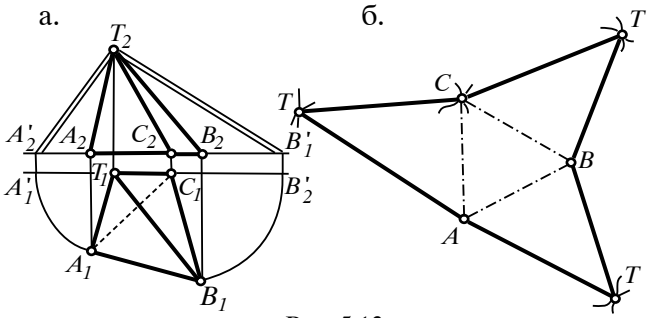


Рис. 5.13.
Розгортка піраміди

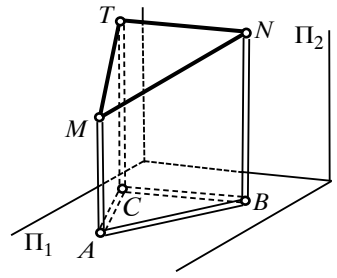


Рис. 5.14.
Аналіз умов задачі 5.5

Задача 5.5. *Розгортки прямої зрізаної призми* (рис. 5.14, 5.15).

Аналізуємо умови (рис. 5.14). Нижня основа знаходиться на горизонтальній площині – отже, відомі довжини АВ, ВС і СА. Довжини вертикальних ребер без спотворень показані на $П_2$. Залишається знайти довжини ребер верхньої основи.

Для розгортки застосуємо спосіб, який називається ***розкочуванням.*** На осі *x* фіксуємо довільну т. А і відкладемо послідовно АВ, ВС, СА.

Проведемо в отриманих точках вертикальні лінії. Відкладемо вздовж них довжини ребер АМ, ВР, СТ, проводячи з точок M_2, P_2, T_2 горизонтальні лінії до перетину з відповідними вертикальними прямими. Маємо розгортку бокової поверхні призми і, водночас, натуральні величини МР, РТ, ТМ. Проводимо дуги радіусами АС і ВС з центрів А і В і отримуємо т. С. Так само, провівши дуги радіусами МТ і РТ з центрів М і Р, знаходимо т. Т. З'єднуємо отримані точки (рис. 5.15).

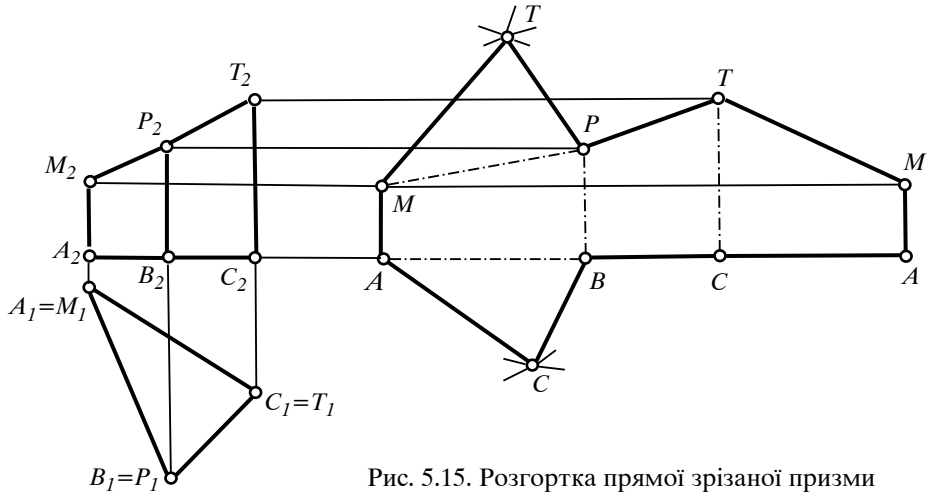


Рис. 5.15. Розгортка прямої зрізаної призми

Задача 5.6. *Розгортка похилої призми* (рис. 5.16).

Особливостями розташування, в порівнянні з умовами задачі 5.5, є непаралельність бокових ребер до фронтальної площини проекцій і, отже, неможливість безпосереднього застосування розкочування. Відтак, необхідно: 1) визначити натуральну величину верхньої основи; 2) провести заміну площин проекцій і побудувати додаткову проекцію призми так, щоб її ребра відображалися на додатковій площині в натуральну величину. Що ж до ребер нижньої основи, то їх довжини вже є натуральними.

Спочатку, шляхом обертання навколо вісі, проведеної через т. A_1 перпендикулярно до $П_1$, визначаємо натуральну величину (МРТ). Далі визначаємо положення сліду додаткової площини $П_4$ – h_{14} – і будуємо проекцію призми на ній. Бокові ребра відображено в натуральну величину. Розгортку на $П_4$ починаємо від ребра (СТ). Перетин ліній, проведених перпендикулярно до (СТ) з точок A_4 і M_4 і дуг з центрами C_4 і T_4 радіусів АС і ТМ визначить положення A_0 і M_0 і ребра (A_0M_0); аналогічно будуються інші бокові ребра. Верхня і нижні основи додаються до розгортки бокової поверхні так, як це робилося в задачі 5.5.

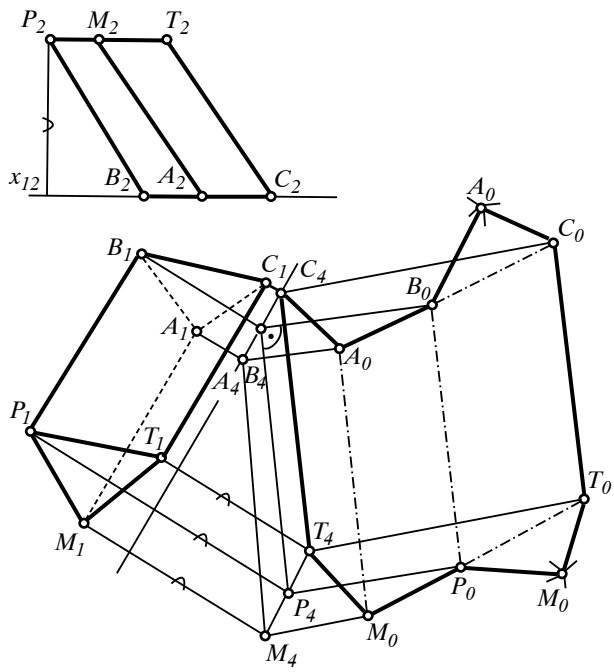


Рис. 5.16. Розгортка похилої призми

Самоконтроль. Для призми на рис. 5.17 знайдіть лінію перетину з площиною Т, визначте видимість і побудуйте розгортку зрізаної частини. Ретельно проаналізуйте умови з урахуванням проекціюючого положення.

Г. Перетин багатогранників прямими лініями

Оскільки багатогранники складаються з плоских відсіків, розв'язання зводиться до основної позиційної задачі (розділ 4). При цьому слід мати на увазі, що пряма може перетинати поверхню в двох точках, мати одну точку дотику, збігатися з ребром, належати якійсь грані або взагалі не перетинати поверхню. Розглянемо приклади.

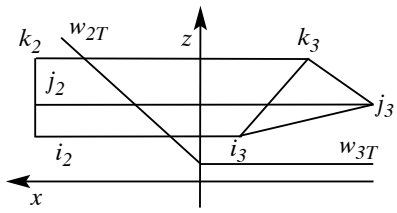


Рис. 5. 17. Перетин призми з площиною і побудова розгортки

Задача 5.7. *Перетин піраміди і прямої лінії – застосування допоміжної січної площини (ДСП)* (рис. 5.18).

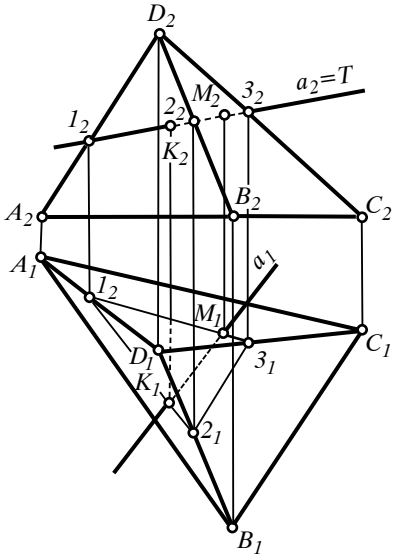


Рис. 5.18. Перетин піраміди прямою лінією

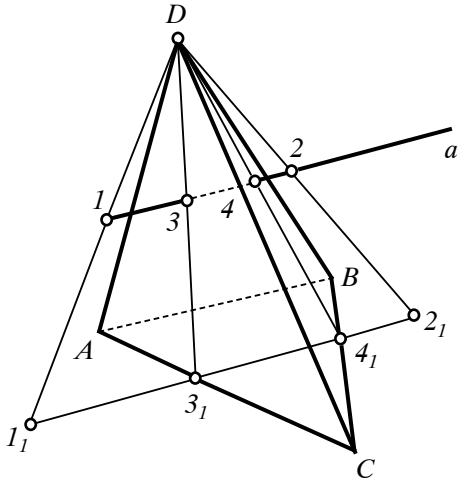


Рис. 5.19. Визначення типу перетину

Аналізуємо умови – встановити відразу тип перетину неможливо. Тому використаємо загальну схему, сумістивши слід фронтально-проекціюючої допоміжної площини Т з a_2. Будуємо горизонтальну проекцію перетину Т з пірамідою. Оскільки лінія перерізу і пряма знаходяться в площині Т, точки їх перетину К і М є точками перетину прямої з пірамідою. Знаходимо їх фронтальні проекції за відповідністю. Визначаємо видимість.

Початковий аналіз типу перетину (тільки для *пірамід і призм*) робиться за допомогою допоміжного проекціювання (рис. 5.19).

Пряма *а* проекціюється на площину основи з вершини піраміди. Оскільки основа і слід *а* належать $П_1$, характеристики перетину відразу встановлюються з наявності і типу перетину сліду прямої і основи. Точки перетину знаходяться на лініях перетину допоміжної площини з гранями піраміди там, де вони перетинаються з *а*.

Для призм – пірамід з невласними вершинами – напрям проекціювання обирається паралельним до ребер.

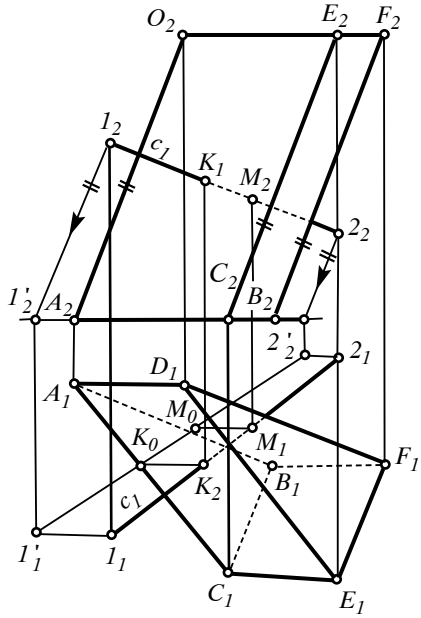


Рис. 5.20. Перетин призми з прямою лінією

Задача 5.8. *Перетин призми з прямою лінією* (рис. 5.20).

Проекціюємос на площину основи призми. Промені обираємо паралельними до бокових ребер; слід с є лінією, що з'єднує сліди променів 1_1 і 2_1. Оскільки слід в т. $К_0$ і т. $М_0$ двічі перетинає основу, пряма має дві точки перетину з гранями. Знаходимо їх проекції, проводячи з $К_0$ і $М_0$ лінії, паралельні ребрам до перетину з проекціями прямої. Визначаємо видимість.

Самоконтроль. Як визначається видимість, коли пряма є дотичною; збігається з ребром; належить грані багатогранника?

Д. Взаємний перетин багатогранників

Задачі на взаємний перетин багатогранників є одними з найскладніших. Побудова лінії перетину – замкненої просторової ламаної – як і аналіз видимості, потребують творчого застосування викладених прийомів і методів.

Найдоцільнішим є такий порядок розв'язання.

1. Ретельно аналізуються умови задачі. Наявність проекціюючого розташування суттєво полегшує розв'язання. (Задачі 5.9, 5.10.).

2. Встановлюється тип перетину – безпосередньо з умов чи за допомогою косокутного проекціювання. Багатогранники можуть перетинатися таким чином, що частина або всі ребра і грані одного перетинається з ребрами і гранями іншого. В першому випадку, який називається ***врізанням*** (рис. 5.22), лінія перетину є просторовою ламаною. В другому випадку, який називається ***повним проникненням*** (рис. 5.21), лінія перетину розпадеться на дві замкнені лінії, які, можуть бути більш простими за формою, зокрема, плоскими. Можливі також взаємні дотики багатогранників по ребру, грані або вершині. В усіх цих випадках побудови будуть мати особливості.

3. Обирається і реалізується той чи інший метод побудови лінії перетину. Приклади розглядатимуться далі.

4. Аналізується видимість лінії перетину, потім – багатогранників. Загальне правило таке – *видимі ті ланки ламаної, які належать до граней, що є видимими для обох багатогранників, невидимі всі інші ланки.*

Розглянемо приклади, починаючи з найпростіших.

Задача 5.9. *Перетин проекціюючих багатогранників* (рис. 5.21).

Призма Ф перпендикулярна до фронтальної, а призма Г – до горизонтальної площини проекцій. Відтак, на $П_2$ зображення лінії перетину збігається з Ф, а на $П_1$ – з частиною Г, обмеженою контуром Ф. Має місце повне проникнення. Визначення видимості тривіальне.

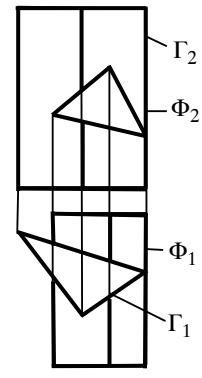


Рис. 5.21. Перетин проекціюючих призм

Задача 5.10. *Перетин піраміди з проекціюючою призмою* (рис. 5.22).

Фронтальна проекція лінії перетину збігається з контуром призми Ф. Розв'язання зводиться до визначення за відповідністю т. 1_1,2_1, 5_1, 6_1 і побудовою за допомогою ДСП точок 3_1, 4_1. З'єднуємо точки в послідовності їх з'єднання на фронтальній площині проекцій. Має місце врізання. Бачимо бокову поверхню піраміди і дві бокові грані призми. Видимі ті частини ламаної, які водночас належать видимим граням обох поверхонь. Уточнюємо видимість піраміди – частини ребер основи закриваються поверхнею призми.

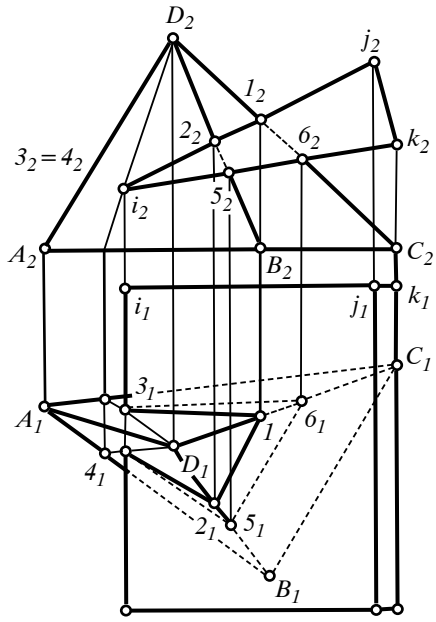


Рис. 5.22. Перетин піраміди із проекціюючою призмою

Розглянемо більш загальний випадок.

Задача 5. 11. *Перетин піраміди з призмою загального положення* (рис. 5.23).

Умови задачі не дають можливості визначити тип перетину. Здійснюємо ЗПП так, щоб додаткова площина була перпендикулярною до горизонтальних проекцій ребер призми і будуємо зображення фігур на ній. Тепер умови аналогічні умовам задачі 5.10. Аналогічним є і подальший хід розв'язання.

Самоконтроль. Перерисуйте рис. 5.23. Здійсніть побудови за їх описом в задачі 5.11. Самостійно доведіть розв'язання задачі до кінця – визначте ламану, її видимість, видимість багатогранників, що перетинаються.

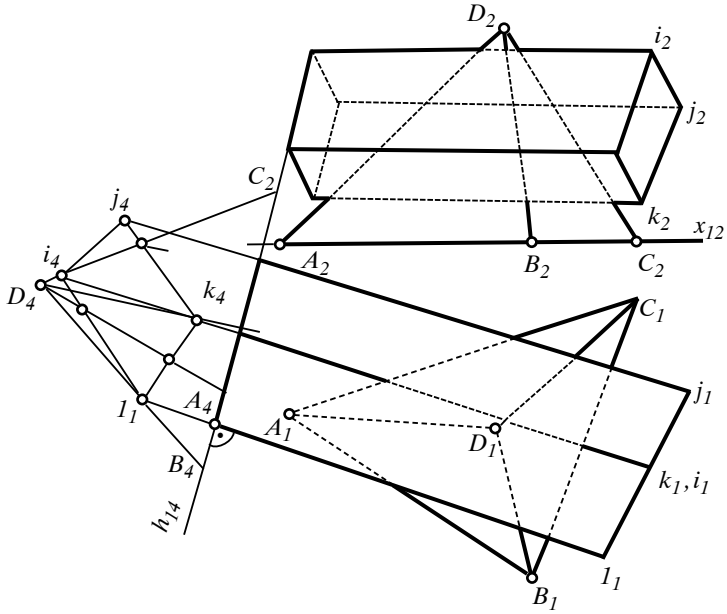


Рис. 5.23. Перетин піраміди і призми загального положення

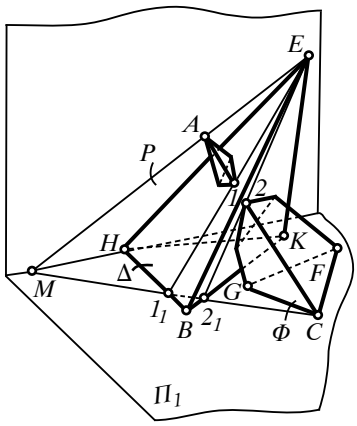


Рис. 5.24. Застосування косокутного проекціювання і січних площин для визначення лінії перетину багатогранників

Як бачимо, в разі загального розташування багатогранників неможливо зразу встановити тип перетину, через що розв'язання значно ускладнюється. Крім того, заміна площин проекцій, або інше перетворення, також не є панацеєю – вони не допоможуть, наприклад, при перетині двох пірамід.

В таких випадках застосовуються інші методи, один з яких зараз буде розглянуто.

Спроекціюємо вершини А і Е пірамід Ф і Δ на $П_1$ вздовж проведеної через них прямої. Проведемо через отриману т. М і вершину С основи Ф допоміжну площину Р. За таких умов Р пройде через ребро (АС) піраміди Ф і перетне Δ по прямим (1_1E) і (2_1E). Ці прямі перетнуть (АС) в точках 1 і 2 входу ребра в піраміду Δ і виходу з неї (рис. 5.24). Обходячи всі вершини основи Ф, а потім основи Δ, будуємо всі точки ламаної.

При побудові перетину піраміди і призми напрям проекціювання визначається за рис. 5.25а; двох призм – за рис. 5.25б. Повному проникненню відповідає розташування основ на рис. 5.25в; врізанню – рис. 5.25г. Якщо основи не належать горизонтальній площині, можна спочатку перетнути їх такою площиною, отримати зображення вершин, і далі діяти за описаною схемою. Область її застосування – *перетин призм і пірамід.*

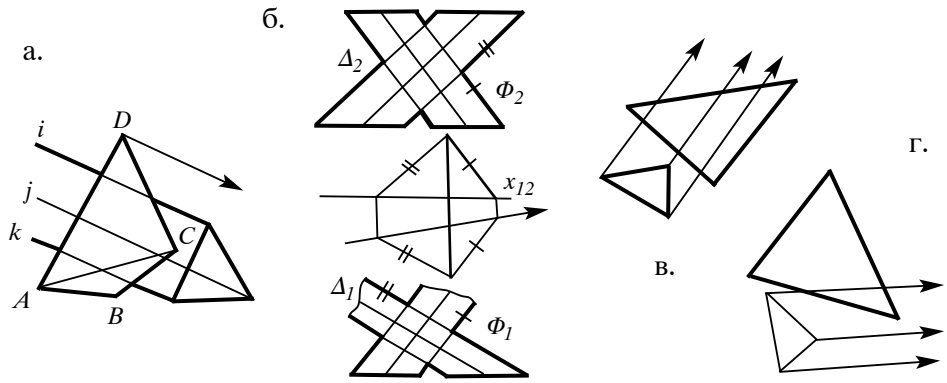


Рис. 5.25. Вибір напряму проекціювання і аналіз типу перетину

Задача 5.12. *Перетин призми і піраміди зі спільною площиною основ* (рис. 5.26).

Послідовність розв'язання:

1. Проекціюємо вершину D піраміди на площину основи в напрямі, паралельному до бокових ребер призми.

2. Через отриману точку D^1 і вершини А, В, С піраміди та К, L, M, N, T призми проводимо промені.

3. Порівнюючи отриману картину з рис. 5.25в, бачимо, що має місце повне проникнення, і ламана розпадеться на дві. Вершини ламаних, для легшого розрізнення, будемо позначати окремо парними і непарними числами.

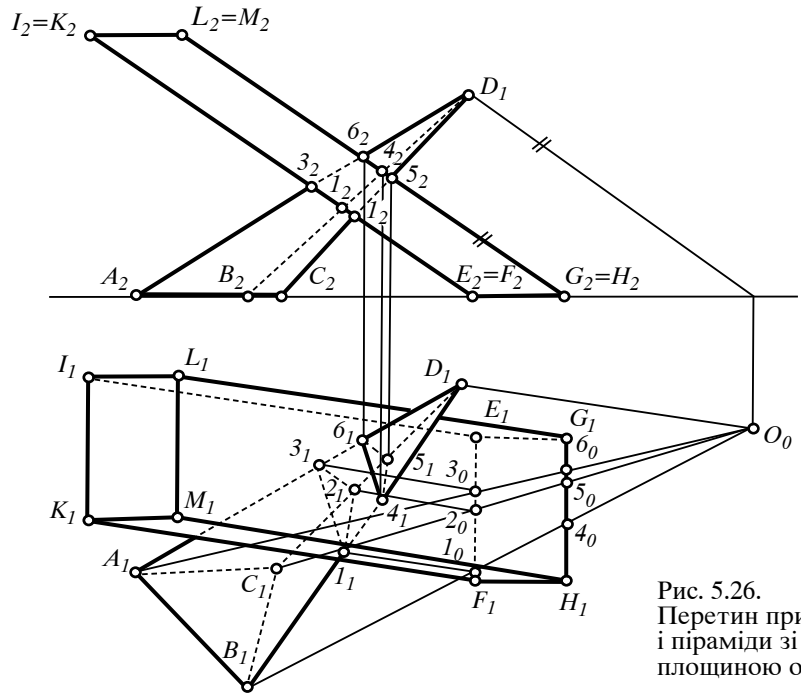


Рис. 5.26.
Перетин призми
і піраміди зі спільною
площиною основи

4. Будуємо точки перетину ребер (AD), (BD), (CD) піраміди з гранями призми (бокові ребра призми з гранями піраміди в даному випадку не перетинаються).

5. З'єднуємо сусідні точки обох ліній перетину.

6. Визначаємо видимість лінії перетину та багатогранників.

Самоконтроль. Побудуйте ортогональні проекції пірамід, показаних на рис. 5.24. Визначіть лінію перетину і видимість.

5.3. Конструктивні задачі – проектування скатних дахів за заданими умовами

Використання скатних дахів дозволяє поліпшити естетичні якості будівлі і вдосконалити експлуатаційні характеристики, розмістивши під ним технічний або жилий поверх (мансарду), як це має місце у найкрасивіших, мабуть, замках Європи, розташованих на річці Луарі (рис. 5.27). Мансарди, до речі, є і популярним елементом сучасної архітектури. Природно виникає задача побудови багатогранника а дах і є багатогранником – за відповідними умовами. Задачі такого типу називаються конструктивними.

а. б.



Рис. 5.27. Скатні дахи замків на Луарі, Франція: а. Замок Шамбор; б. Замок Ланже

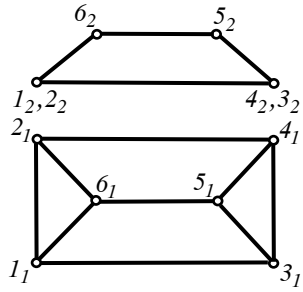


Рис. 5.28. Побудова рівноскатного даху прямокутної в плані будівлі

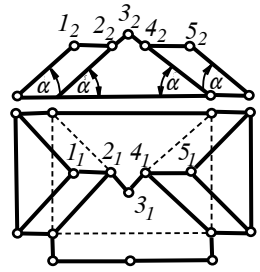


Рис. 5.29. Побудова даху для будівлі з виступом

Послідовність дій розглянемо на простому прикладі (рис. 5.28) – будівля прямокутна в плані, кількість скатів дорівнює чотирьом, нахил всіх скатів однаковий. Лінія перетину скатів будується на основі наступних правил:

1. Горизонтальна проекція перетину суміжних скатів є бісектрисою кута між їх слідами;

2. Горизонтальна проекція перетину суміжних скатів проходить через точку перетину їх горизонтальних слідів;

3. Через горизонтальну проекцію точки перетину ребер двох скатів проходить проекція третього ребра.

Побудова починається на $П_1$ (в плані) з проведення бісектрис кутів; точки їх перетину з'єднуються. На $П_2$ розташування 5_2, 6_2 точок залежить від нахилу скатів α.

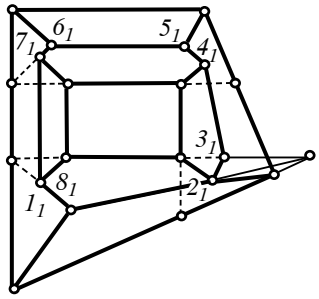


Рис. 5.30. Побудова даху для будівлі з подвір'ям

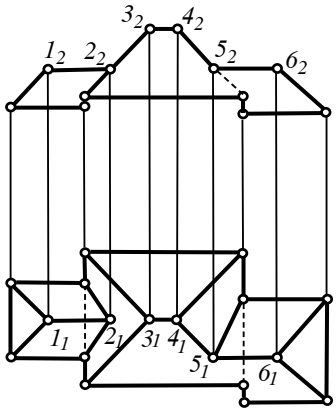


Рис. 5.31. Побудова даху для будівлі з об'ємами різної висоти

Задача 5.12. *Дах будівлі з прямокутним виступом, перекритим двоскатним дахом* (рис. 5.29).

Побудову починаємо з розбивки плану на два прямокутники; горизонтальні проекції перетинів скатів будуються окремо для кожного з них (показані тонкими лініями). Наводимо ланки, які відповідають правилам 1–3. Будуємо за відповідністю фронтальну проекцію.

Задача 5.13. *Дах будівлі с подвір'ям* (рис. 5.30). Послідовність побудов в порівняння з задачею 5.13 не змінюється: план розбивається на трикутники і прямокутники; будуються лінії перетину скатів для кожного з них; залишаються тільки реально існуючі перетини і будується фронтальна проекція даху за відповідністю і виходячи з куту нахилу α.

Задача 5.15. *Дах з однаковим нахилом скатів будівлі з об'ємами різної висоти* (рис. 5.31).

Цей випадок зводиться до розглянутого в задачі 5.13 наступним чином: через лінію контуру даху вищого об'єму проводимо горизонтальну площину Г. Для нового контуру, позначеного тонкою лінією, будуємо лінії перетину скатів, розбиваючи його на прямокутники і керуючись правилами 1–3. Потім слід продовжити перетини до первісного контуру і побудувати за відповідністю фронтальну проекцію, виходячи з заданого куту нахилу даху α (рис. 5.30).

Самоконтроль. Спробуйте побудувати дах для Пентагону – найбільш відомого, після пірамід, багатогранника у світі – за умов, що скати мають однакові нахили під кутом α, всі об'єми будівлі однакової висоти, а всередині є подвір'я (рис. 5.32). Вихідні дані слід перемалювати на окремий аркуш в збільшеному масштабі.

Застосування гранних поверхонь і багатогранників не обмежується розглянутим випадком скатних дахів. Досить часто архітектори, особливо коли хочуть, щоб будівля створювала «техногенне», футуристичне враження, надають покрівлям (та й самим спорудам) гранної форми, або використовують покриття на основі багатокутників. Ось декілька прикладів з творів видатного архітектора Нормана Фостера (рис. 5.33 – 5.35).



Рис. 5.32.
Дах для Пентагону

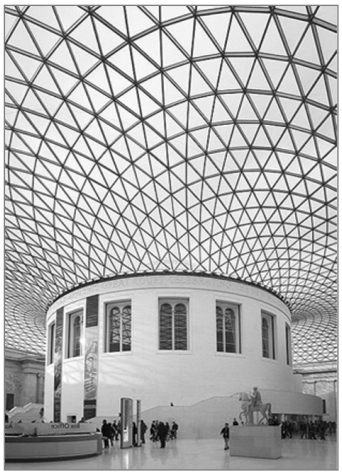


Рис. 5.33. Норман Фостер.
Велике подвір'я
Британського музею.
Лондон, Великобританія



Рис. 5.34. Норман Фостер.
Штаб-квартира
компанії Swiss Re. Лондон,
Великобританія

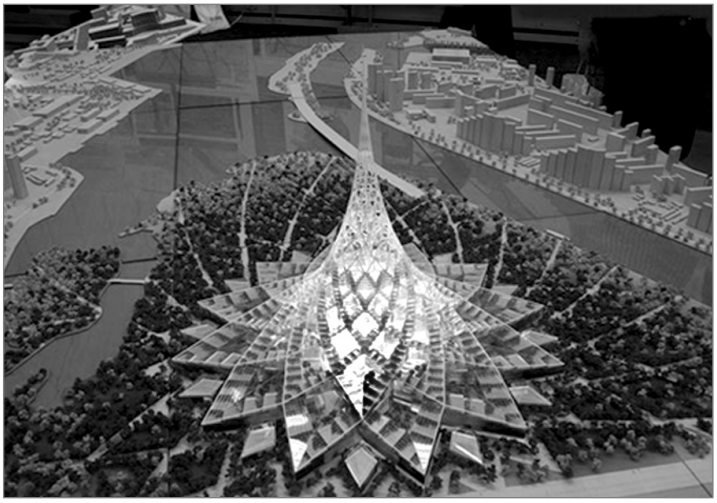


Рис. 5.35. Норман Фостер.
Проект Кристального острова.
Москва, Росія

6. КРИВІ ЛІНІЇ

Траєкторія польоту птаху і орбіти планет, спіраль ДНК і спіралі галактик, лінії на людській долоні, горизонталі рельєфу Землі – ось кілька прикладів природних кривих. Природа не любить прямолінійних дій... Так і в техніці – в авіації, космонавтиці, автомобілебудуванні, будівництві – криві лінії є складовими багатьох досконалих рішень.

6.1. Визначення, класифікація, властивості

Криві лінії можна розуміти по-різному: як множини точок, як траєкторії перемінних точок, як перетини поверхонь:

Визначення 6.1. ***Кривою лінією*** *називається неперервна однопараметрична множина точок.*

Визначення 6.2. ***Кривою лінією*** *називається траєкторія неперервного переміщення точки в просторі.*

Визначення 6.3. ***Кривою лінією*** *називається лінія перетину двох поверхонь.*

Можливі й інші визначення. Відповідно, існують різні підходи до класифікації кривих ліній (рис. 6.1).

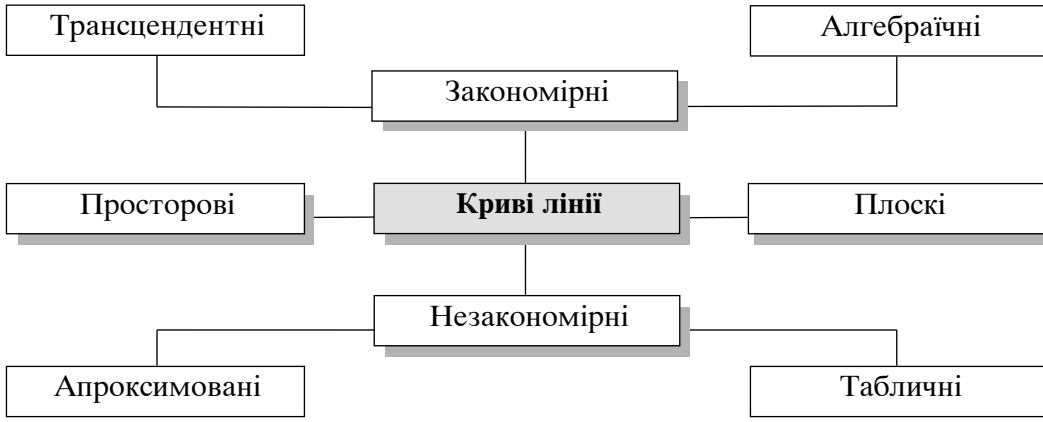


Рис. 6.1. Класифікація кривих ліній

Наведемо кілька прикладів кривих різних груп.

Плоска крива – еліпс; просторова – гвинтова лінія.

Закономірні алгебраїчні криві задаються рівняннями, де відношення координат виражається степеневим багаточленом. Приклад – парабола чи той же еліпс. Рівняння може бути явним, неявним, параметричним, записаним в різних координатних системах.

Прикладом незакономірних кривих є горизонталі рельєфу; вони можуть задаватися у формі таблиці координат за результатами геодезичних вимірів, або проводитись з певним наближенням. Таке завдання називається ***апроксимацією***; про криві кажуть, що вони є апроксимованими. До цієї ж групи можна віднести багато технічних кривих, з яких виділимо ***обводи*** – криві, що складаються з дуг кількох кривих, поєднаних певним чином.

Зобразимо просторову і плоску криві.

Побудуємо прямий круговий конус (рис. 6.2). Будемо переміщувати вздовж його твірної знизу вверх точку так, щоб підйому на 1/8 висоти конусу відповідав поворот на 46° проти стрілки годинника. Тоді за повне обертання точка підніметься до вершини конусу і опише просторову спіраль, яку називають ***гелісою*** або ***конічною гвинтовою лінією***. Її горизонтальна проекція є плоскою кривою і називається ***спіраллю Архімеда***. Спіраль Архімеда почала застосовуватись ще в сиву давнину – такої форми надавали лопаткам водочерпних машин.

Побудуємо спіраль Архімеда, кососиметричну до даної. Зафарбуємо один з сегментів чорною фарбою, залишивши білу крапку; в білому сегменті поставимо чорну крапку. Отримане зображення – тайцзи – виразно і лаконічно ілюструє фундаментальне положення даосизму – єдність, боротьбу, гармонію і взаємний перехід протилежних основ Всесвіту ян та інь. В сучасному дизайні криві лінії використовують досить часто, наприклад, в товарних знаках.

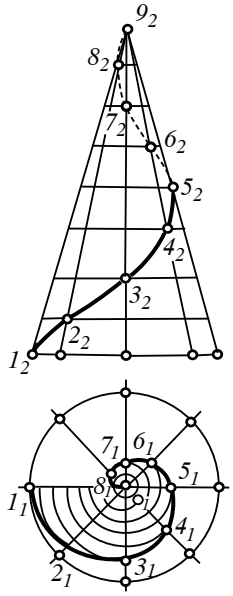


Рис. 6.2. Зображення геліси та спіралі Архімеда

Наведені побудови можна також розглядати як ілюстрацію до поняття визначника кривої – як бачимо, сукупності елементів відповідає ще й певна алгоритмічна частина; разом вони однозначно задають криву.

Рис. 6.2 також є прикладом реалізації властивостей проекцій кривих:

Властивість 6.1. *В загальному випадку проекціями кривої лінії є криві лінії.*

Винятком є проекціююче положення площини плоскої кривої відносно площини проекцій.

Властивість 6.2. *Проекції точки, що належить кривій лінії, належать до її проекцій.*

Властивість 6.3. *Дотична кривої лінії проекціюється в дотичну її проекції, якщо її напрям не збігається з напрямом проекціювання.*

6.2. Плоскі криві

До плоских відносяться криві, всі точки яких належать одній площині.

А. Властивості

Розрізняють ***глобальні*** (для лінії в цілому) і ***локальні*** (для окремих точок) властивості. Наприклад, до перших відноситься замкненість лінії, до других – кривина в околі. Для досліджень використовуються дотичні і нормалі.

Визначення 6.4. ***Дотичною*** *до плоскої кривої в точці називається граничне положення січної, коли точки її перетину з кривою, наближуючись, збігаються* (рис. 6.3а).

Визначення 6.5. ***Нормаллю*** *до плоскої кривої в точці називається пряма, що знаходиться в площині кривої і є перпендикулярною до її дотичної* (рис. 6.3б).

Визначення 6.6. *Точка кривої, в якій існує тільки одна дотична, називається* ***гладкою****; як і крива, що містить тільки такі точки.*

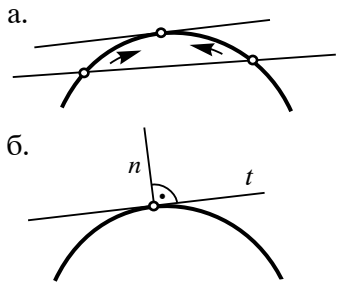


Рис. 6.3. Дотична і нормаль плоскої кривої

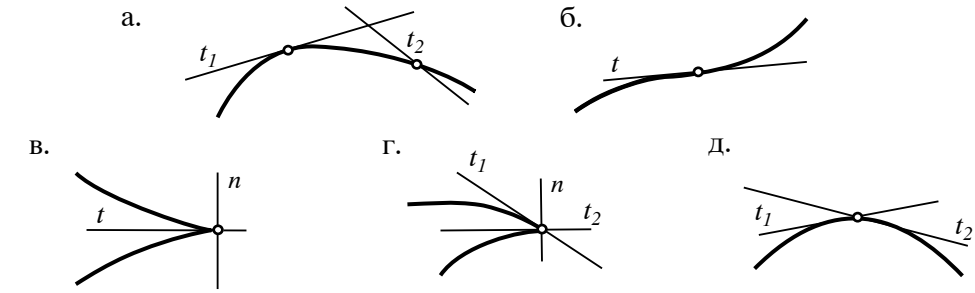


Рис. 6.4. Точки кривої: а) звичайна, б) перегину, в) і г) звороту, д) зламу

Визначення 6.8. *Точка кривої називається* ***звичайною****, якщо при її переміщенні вздовж кривої напрям руху та напрям обертання дотичної не змінюються* (рис. 6.4а); *всі інші точки є особливими* (рис. 6.4б-д, 6.5).

В ***точці перегину*** дотична перетинає криву (рис. 6.4б). В ***точці звороту першого роду*** напрям руху змінюється на протилежний (рис. 6.4в). В ***точці звороту другого роду*** напрями руху і обертання змінюються на протилежні (рис. 6.4г). В ***точці зламу*** крива має дві дотичні (рис. 6.4д).

В ***подвійній точці*** крива перетинає саму себе двічі (рис. 6.5а); якщо є більше двох таких перетинів, точка називається ***кратною*** (рис. 6.5б). У ***кратній точці*** крива два чи більше разів торкається однієї прямої.

Властивість 6.4. *В загальному випадку звичайні точки кривої при проекціюванні відображаються в звичайні точки проекції кривої, а особливі – в особливі точки проекції кривої.*

Введемо поняття кривини.

Як відзначалося в розділі 3, коло задається трьома параметрами, отже, трьох точок плоскої кривої досить для його однозначного визначення. Будемо нескінченно наближувати крайні точки цієї трійки до середньої; побудоване таким чином коло назвемо ***дотичним***.

Визначення 6.9. ***Кривиною плоскої кривої*** *в точці називається зворотна до радіусу дотичного кола величина.*

Напрям на центр дотичного кола – центр кривини – збігається з нормаллю кривої в даній точці. Крива, яка в кожній точці має рівну відстань від даної (відстань вимірюється вздовж нормалі), називається ***еквідистантою***; крива, що складається з центрів кривини даної кривої, зветься її ***еволютою***; вихідна крива – ***евольвентою*** своєї еволюти (рис. 6.6).

Плоскі криві можуть мати постійну (як коло) або змінну (як еліпс) кривину. Дослідженням локальних властивостей займається *диференціальна геометрія.*

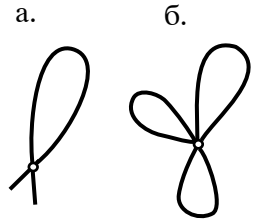


Рис. 6.5.
Точки кривої:
а. подвійна, б. кратна

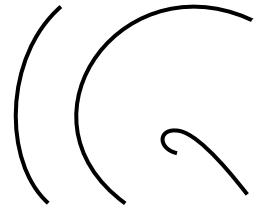


Рис. 6.6.
Еквідистанта, еволюта
і евольвента

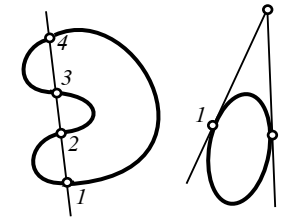


Рис. 6.7.
Графічне визначення
порядку і класу кривої

Визначення 6.10. ***Порядком кривої*** *називається ступінь алгебраїчного рівняння, яке задає цю криву.*

Визначення 6.11. ***Класом кривої*** *називається ступінь рівняння кривої в тангенціальних координатах.*

Порядок визначається за максимальною кількістю точок перетину січної з кривою (4 на рис. 6.7а). Клас визначається за кількістю дотичних, що можна провести до кривої з точки, що не належить до неї (2 на рис. 6.7б).

Властивість 6.5. *В загальному випадку, порядок і клас плоскої кривої зберігаються для її проекції.*

Визначення 6.12. ***Жанром родом кривої*** *називається різниця між можливою і реально існуючою кількістю подвійних точок кривої даного порядку.*

Можлива кількість подвійних точок k розраховується за формулою

$$k=(n-1)(n-2)/2,$$

де n – порядок кривої.

Розглянемо окремі приклади плоских кривих.

Б. Криві другого порядку

Криві другого порядку є найбільш дослідженими ще з античних часів. Вони часто застосовуються в машинобудуванні, будівництві, мистецтві та інших галузях людської діяльності, інколи являючи собою основний елемент формоутворення. Особливо це відноситься до кола. Існує кілька визначень і варіантів аналітичного опису кривих другого порядку, а також десятки способів їх графічного завдання.

Визначення 6.13. ***Кривою другого порядку*** *називається крива, яка в прямокутних декартових координатах задається рівнянням другого ступеня*

$$Ax^2+2Bxy+Cy^2+2Dx+2Ey+F=0$$

Це рівняння задає криву другого порядку загального вигляду; при певних коефіцієнтах маємо окремі випадки – еліпс, параболу, гіперболу.

Визначення 6.14. ***Еліпсом*** *називається замкнена плоска крива, для якої сума відстаней від будь-якої точки до двох фіксованих точок (фокусів) є однаковою.*

Якщо взяти $A=1/a^2$, $B=0$, $C=1/b^2$, $D=0$, $E=0$, $F=-1$, то загальне рівняння набуде вигляду

$$x^2/a^2+y^2/b^2=1.$$

Рішеннями його будуть: точки еліпса, точки кола, множина уявних точок, одна дійсна точка в окремих випадках.

Наведемо спосіб побудови еліпсу (рис. 6.8).

Візьмемо перпендикулярні ***взаємно спряжені*** діаметри (ділять хорди, паралельні до другого діаметру, навпіл) – ***осі еліпсу***. Проведемо з т. О їх перетину кола з діаметрами, рівними осям. З т. О проведемо промінь через довільну точку малого кола E_M. Він перетне велике коло в т. E_B. Через E_M проведемо пряму, паралельну до великої осі, а з E_B – пряму, паралельну до малої осі. Точка їх перетину Е належатиме еліпсу. Так можна побудувати достатню кількість точок, а потім з'єднати їх; це й буде еліпс.

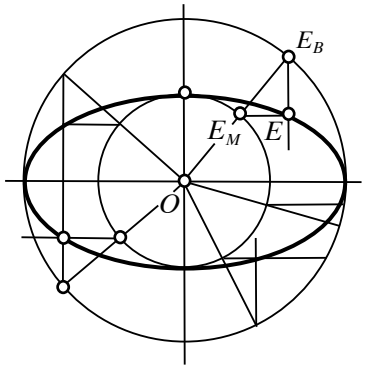


Рис. 6.8. Побудова еліпсу

Властивість 6.6. *Еліпс:*

- *має суми площ квадратів, побудованих на двох взаємно спряжених діаметрах, рівні сумі площ квадратів, побудованих на осях;*
- *має площу паралелограму, побудованого на взаємно спряжених діаметрах, рівною площі прямокутника, побудованого на осях;*
- *кожен з діаметрів еліпса і кола ділить інші діаметри навпіл;*
- *точки перетину діаметрів еліпса і кола є центрами симетрії;*
- *описаному навколо еліпсу паралелограму відповідає квадрат, описаний навколо кола.*

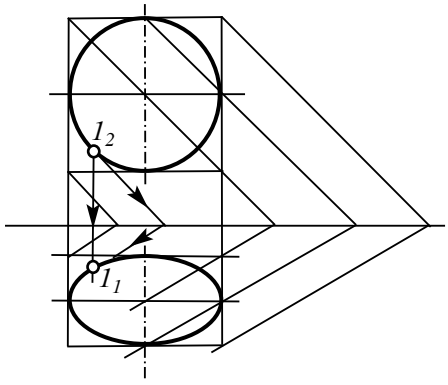


Рис. 6.9. Афінна відповідність еліпса і кола

Останні три пункти засвідчують тісний зв'язок кола і еліпса; він реалізується через афінну відповідність фігур.

Це дозволяє обґрунтувати ще один спосіб побудови (рис. 6.9). За відповідністю описаних квадрата і прямокутника реконструюємо апарат перетворення; далі можна знаходимо потрібну кількість точок, перетворюючи коло на еліпс.

Самоконтроль. Керуючись рис. 6.9, перетворіть коло на еліпс, велика вісь якого дорівнює діаметру кола, а мала – його радіусу.

Визначення 6.15. ***Параболою*** *називається плоска крива, кожна з точок якої є рівновіддаленою від фіксованих фокусу і прямої (директриси).*

Підставивши $A=0,\ B=0,\ C=1,\ D=-p\ E=0,\ F=0$ в загальне рівняння, отримаємо

$$y^2=2px,$$

що є рівнянням параболи. Окремі рішення будуть відповідати парі паралельних або збіжних прямих чи множині уявних точок.

Опишемо спосіб побудови параболи (рис. 6.10).

Вздовж осі x від початку координат О відкладаємо $OC=2p$. Беремо довільну абсцису x і на відрізку $(BC)=2p+x$ будуємо коло. Воно перетинає вісь y в точці К. Отже, $AK2=OC$ OB є квадратом ординати $y2=2px$. Змінюючи x, отримуємо необхідну для проведення кривої кількість точок.

Властивість 6.7. *Парабола:*

- *симетрична відносно осі x;*
- *незамкнена – необмеженому зростанню абсцис відповідають необмежене зростання ординат;*
- *має ординати, які є середнім пропорційним між параметром 2p і абсцисами x.*

Самоконтроль. Яка з цих властивостей використовувалась при побудові параболи на рис. 6.10?

Визначення 6.16. ***Гіперболою*** *називається плоска крива, різниця відстаней від кожної точки якої до двох фокусів є однаковою.*

Підставляючи в загальне рівняння коефіцієнти $A=1/a2,\ B=0,\ C=-1/b^2,\ D=0,\ E=0,\ F=-1,$ отримаємо

$$x^2/a^2 - y^2/b^2=1,$$

рішеннями якого будуть точки гіперболи або пари прямих, що перетинаються.

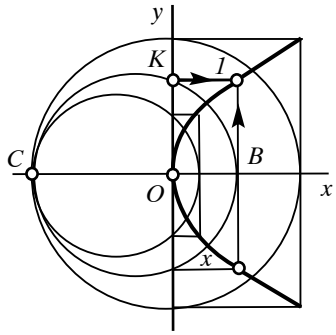
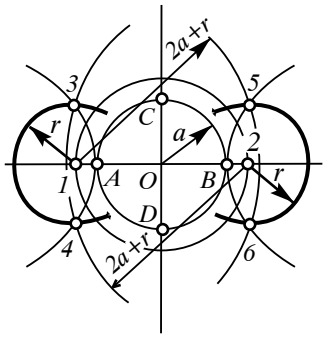


Рис. 6.10. Побудова параболи



6.11. Побудова гіперболи

Властивість 6.8. *Гіпербола:*

- *незамкнена;*
- *симетрична відносно осей x і y;*
- *має дотичні, нахилені однаково до фокальних радіусів-векторів в точці дотику;*
- *має нормалі, які ділять кут між фокальними радіусами-векторами навпіл;*
- *має різницю площ квадратів, побудованих на двох взаємно спряжених діаметрах рівною різниці площ квадратів, побудованих на її осях;*
- *має площу паралелограму, побудованого на двох взаємно спряжених діаметрах рівною площі квадрату, побудованого на її осях.*

Покажемо побудову гіперболи (рис. 6.11).

Відкладемо вздовж x і y відрізки AB=2a і CD=2b. З початку координат O радіусом a проводимо коло до перетину з віссю x. Отримані точки 1 і 2 є фокусами гіперболи. Проводимо кола з центрами в фокусах радіусами r і $2a+r$. Точки їх перетину є точками гіперболи, оскільки різниця відстаней від них до фокусів дорівнює постійній величині 2a. Змінюючи r, знаходимо потрібну кількість точок.

Тепер кілька фактів для допитливих студентів.

1. Не тільки еліпс можна отримати з кола за допомогою афінного перетворення – коло, еліпс, парабола, гіпербола пов'язані більш загальними проективними перетвореннями, тобто є конгруентними фігурами в проективному просторі (розділ 2).

2. Крива другого порядку задається п'ятьма параметрами (це випливає з її рівняння); парабола – чотирма, коло – трьома. Будь-яка п'ятірка умов (п'ять точок, три точки і дві дотичні тощо) однозначно визначає другого порядку криву.

Для прикладу, наведемо побудову, основану на теоремі Паскаля: *в будь-якому шестикутнику, вершини якого належать кривій другого порядку, три точки перетину протилежних сторін належать одній прямій.*

Нехай задані точки 1–5. З'єднуємо точки 1, 3, 5; 2, 4, 5. Через точки перетину прямих (13) і (24) проводимо довільну пряму a. Через точки 3 і 4 і точки перетину a з прямими (25) і (15) відповідно проводимо ще дві прямі, точкою перетину яких є шоста точка, що належить заданій кривій (рис. 6.12). Змінюючи положення прямої a, знаходимо інші точки.

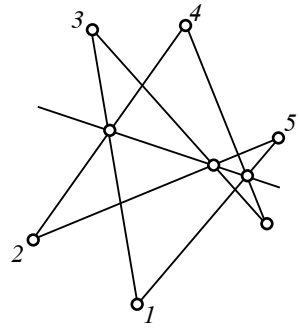


Рис. 6.12. Побудова кривої другого порядку за п'ятьма точками

Наведена елегантна побудова є невеличким фрагментом проективної теорії кривих другого порядку.

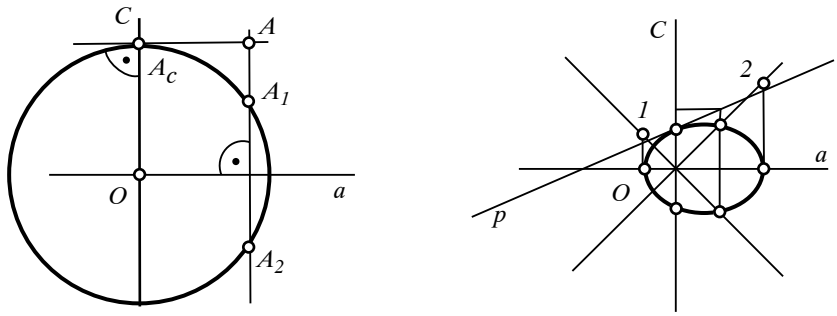


Рис. 6.13. Квадратичні перетворення і криві другого порядку

3. Існує ще більш глибока спорідненість між кривими другого порядку і прямими лініями, яка встановлюється за допомогою так званих ***квадратичних перетворень***. Нехай задані осі *a* і *c*, перпендикулярні одна до одної, та довільна т. А (рис. 6.13а). Проведемо перпендикуляри з т. А до осей. З центру О перетину осей радіусом (ОАС) проведемо коло; точки його перетину з другим перпендикуляром – A_1 і A_2 – і будуть образами т. А. Тепер проведемо пряму *p* під гострим кутом до осі *a*. Проведемо також прямі під кутом 45° до осей з центру О (***директриси***). Вони перетинають пряму *p* в точках 1 і 2. Відобразимо відрізок (12) за заданим алгоритмом і отримаємо еліпс (рис. 6.13б).

Самоконтроль. В залежності від куту нахилу *p* отримаємо еліпс, параболу чи гіперболу. В залежності від відстані точок прямої *p* до осей *a* і *c* отримаємо дійсні чи уявні їх образи. Проведіть таке дослідження самостійно, маючи на увазі, що директриси грають в ньому визначальну роль.

В. Приклади побудови інших плоских кривих

Конхоїди утворюються ***конхоїдальним перетворенням*** вихідної кривої – радіус-вектори її точок, що виходять із заданого полюсу, збільшуються (зменшуються) на однакову довжину (рис. 6.14, 6.15).

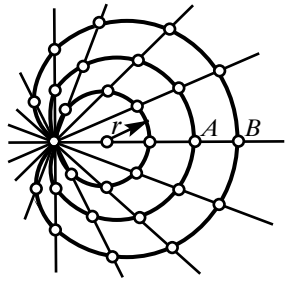


Рис. 6.14. Равлик Паскаля

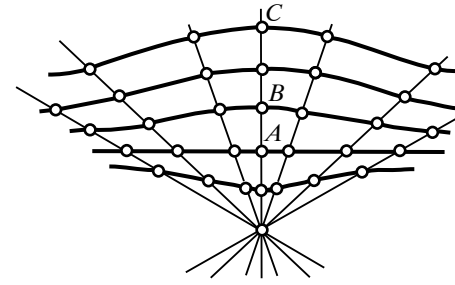


Рис. 6.15. Конхоїда Нікомеда

Строфоїда (рис. 6.16): з довільної т. А осі *x* проводиться пряма, що перетинає вісь *y* в т. С, від якої в різні боки відкладаються відрізки (СТ) і (СР), рівні (ОС). Змінюючи положення прямої, отримуємо точки строфоїди.

Верзьєра Аньєзі (рис. 6.17): будується коло діаметру ОА. Напівхорда (ВС) перетинає верзьєру в т. Е, отриманій з пропорції ВЕ/ВС=ОА/ОВ. При переміщенні т. С по колу, т. Е опише шукану криву.

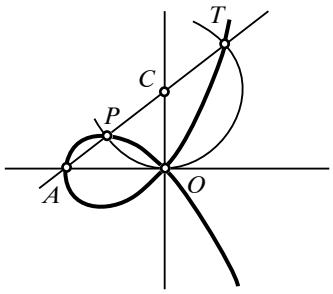


Рис. 6.16. Строфоїда

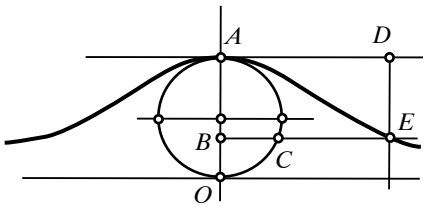


Рис. 6.17. Верзьєра Аньєзі

Залежності, що виражаються кривими, мають певне значення в механіці, приладобудуванні тощо.

6.3. Просторові криві

Як і плоскі криві, просторові можуть бути задані графічно, аналітично і т. д. Для дослідження використовується ***супутній тріедр*** або ***тригранник Френе*** – сукупність площин S, N, P, які визначаються наступним чином.

Проведемо дотичну до довільної т. А кривої. Серед дотичних площин обираємо S, яка найкраще наближується до кривої – в околі т. А крива лежить в S. Площина S називається ***стичною***. Сукупність нормалей до т. А утворює ***нормальну*** площину N. Нормаль в S називається головною; перпендикулярна S – ***бінормаллю***. Площина P, що складається з бінормалей, називається ***спрямною*** (рис. 6.18).

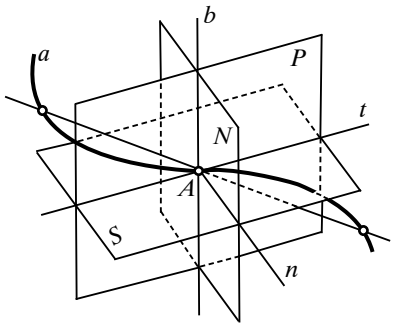


Рис. 6.18.
Визначення супутнього тріедру

При русі вздовж кривої напрями дотичних, нормалей і весь тригранник змінюються. Грані S, N, P утворюють площини проекцій, а дотична, головна нормаль і бінормаль – просторові координати. Проекціюючи криву на грані тріедру, отримаємо проекції, за допомогою яких можна визначити характеристики просторових кривих за аналогією з плоскими. Проекції зберігають деякі властивості просторових кривих, зокрема, належність точки дотику, дозволяють розрізнювати особливі точки – перегину, звороту, повторення, зламу, подвійні і кратні точки. Проте звичайні точки інколи виглядають як особливі.

При переміщенні тригранника вздовж кривої стична площина обертається навколо нормалі. Відношення кута повороту стичної площини до довжини дуги кривої, при нескінченно малому її значенні, називається ***скрутом*** кривої. Скрут є аналогом кривини; його можна визначити і як величину, обернену до радіуса сфери, побудованої через три точки околу і довільну точку кривої. Скрут плоскої кривої дорівнює нулю.

Просторові криві мають параметричне число 6+n, де n – кількість параметрів форми кривої. Інколи кількість параметрів положення може бути менше шести.

6.4. Приклади кривих ліній в природі, науці, будівництві

Наведемо шість прикладів використання плоских і просторових кривих, а також коротенькі коментарі до них.

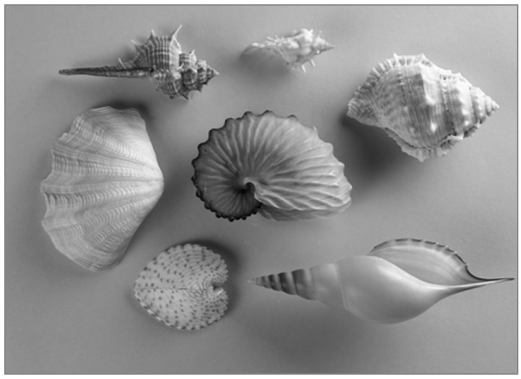


Рис. 6.19. Спіральні форми черепашок



Рис. 6.20. Спіральна галактика M 81 (знімок в ультрафіолетовому діапазоні)

Еволюція черепашок прийшла до логарифмічних спіралей (рис. 6.19); досить часто природні утворення набувають форми спіралі Архімеда або спіралі на основі «золотого перерізу». Слід зважати, що форма спіралі реалізується приблизно, утворення лише наближується до неї.

Мабуть, саме спіральні криві є найвеличнішими у Всесвіті (рис. 6.20)...

Креслення на рис. 6.21 є прикладом складного обводу з дуг кривих, побудованого на основі нетривіальної геометричної схеми, що відображає уявлення великого майстра про оптимальну акустику скрипки. В сучасному геометричному моделюванні обводи використовуються як моделі технічних кривих. Побудова обводів описана в розділі 14. Силові лінії магнітного поля на рис. 6.22 є ще одним прикладом використання обводів – для представлення результатів наукових досліджень.

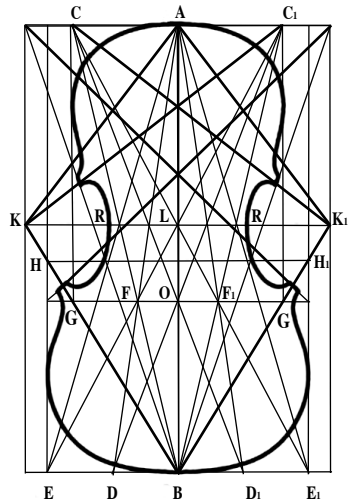


Рис. 6.21. Реконструкція креслення скрипки Страдіварі

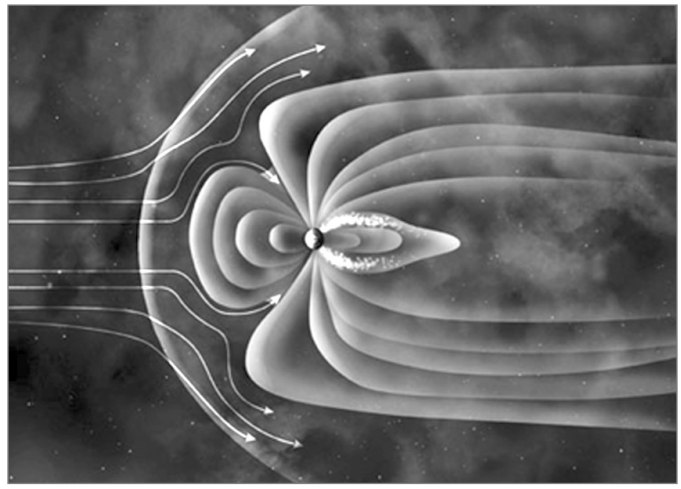


Рис. 6.22. Модель магнітного поля Землі



Рис. 6.23. Сходи

Формоутворюючими елементами конструкцій на рис. 6.23 і 6.24 є геліси.

Надання сходам гелікоїдальної форми має давню традицію – вони характерні для веж рицарських замків. І не естетичні мотиви навіяли цю ідею. Ні, суто практичні міркування – меч чи шпага захисника має доволі простору, тоді як зброя нападника упирається в стіну. Але вийшло красиво, що й забезпечило конструкції довге життя.

А тепер забудьмо про політику і естетику і оцінимо масштабність задуму митця – висота пам'ятника Інтернаціоналу (рис. 6.24) мала б бути 400 м! Найвища за тих часів в світі будівля, і це в 1919 році, в розореній країні, коли була в розпалі громадянська війна з цілком неясним фіналом!

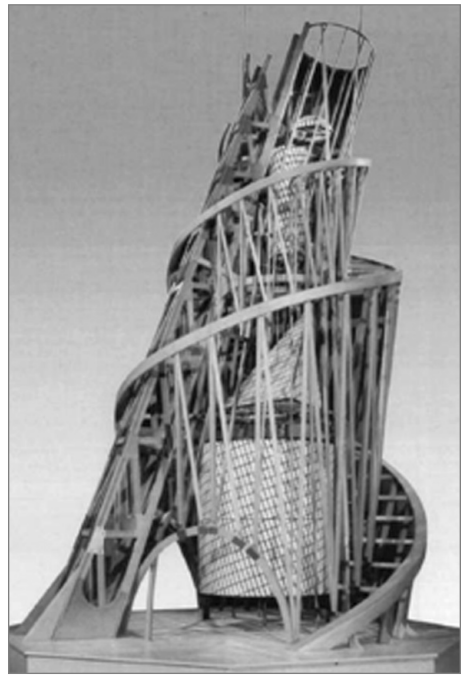


Рис. 6.24.
Проект пам'ятника III Інтернаціоналу,
арх. Володимир Татлін. Росія, 1919 р.

7. КРИВІ ПОВЕРХНІ

Існує глибинна подібність гранних і кривих поверхонь. Вона проявляється у визначенні, способах зображення, наборі типових задач. І ті, й інші є окремими випадками об'єктів, які в математиці називаються багатовидами. Тому структура цього розділу буде нагадувати розділ 5. Але є відмінність – більша гладкість кривих поверхонь, що обумовлює інші їх застосування.

7.1. Визначення, класифікація, властивості

Можливі два визначення.

Визначення 7.1. ***Кривою поверхнею*** *називається неперервна двопараметрична множина точок.*

Визначення 7.2. ***Кривою поверхнею*** *називається неперервна однопараметрична множина ліній.*

Для завдання поверхні застосовують визначники, які позначаються так само, як і визначники гранних поверхонь, і теж мають алгоритмічну частину. Аналогічною є можливість існування кількох визначників однієї поверхні. Поверхні задаються аналітично, графічно, сім'єю ліній, тощо; технічні поверхні (розділ 14) – дискретно (множинами точок, каркасами ліній, сукупностями відсіків).

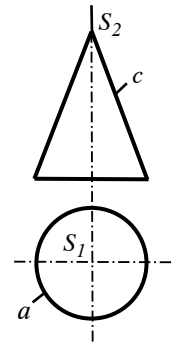


Рис. 7.1. Визначник і зображення кругового конуса (A, a, c)

Для зображення поверхні будуються дві проекції кожного з елементів визначника (рис. 7.1).

Використаємо рис. 7.1. для введення двох понять. Коло *a* є ***напрямною*** конуса, а пряма *c* – його ***твірною***. Можна, навпаки, вважати напрямною пряму, а твірною – коло змінного радіусу, що переміщується вздовж прямої. Такі варіанти демонструють різні можливості утворення, обумовлюючи належність поверхні до різних класифікаційних груп.

Отже, один із класифікаційних принципів – визначення груп за способом утворення, другий – за формальними ознаками, третій – за властивостями і т.д. Існує багато класифікацій поверхонь, наприклад, наведена на рис. рис. 7.2.

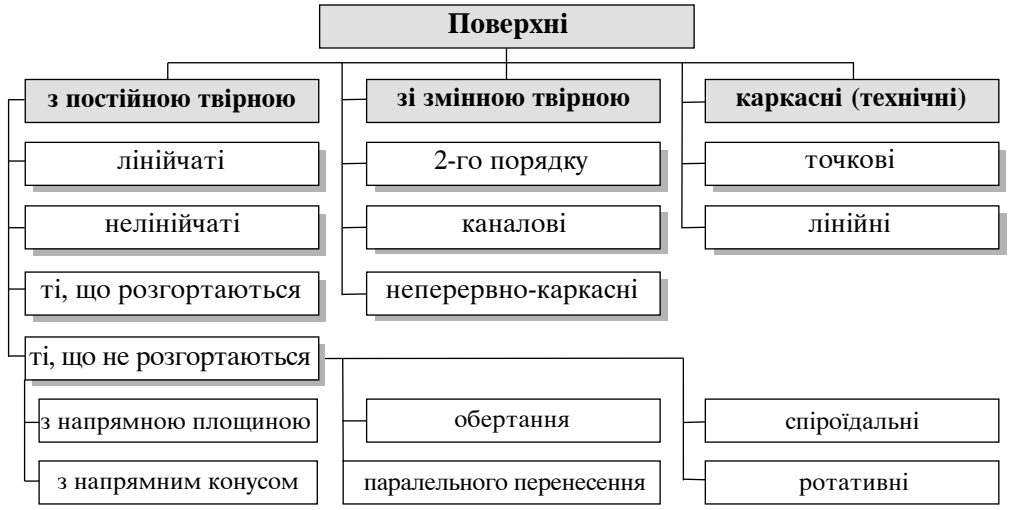


Рис. 7.2. Класифікація поверхонь (A, a, c)

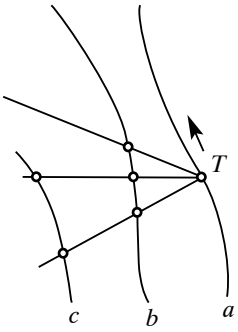


Рис. 7.3. Виділення косих циліндрів з множини прямих простору

Розглянемо лінійчаті поверхні. Їх твірні є прямими. З ∞^4 прямих E^3 маємо виділити ∞^1 твірних поверхні. Фіксуємо один параметр, вимагаючи, щоб твірні проходили через криву *a*. Маємо ∞^3 прямих – ***комплекс***. Провівши криву *b* і вимагаючи, щоб прямі проходили через *a* і *b*, фіксуємо два параметри і маємо ∞^2 прямих – конгруенцію. Крива *c* виділить з ***конгруенції*** ∞^1 твірних. Такі поверхні називаються ***косими циліндрами*** (рис. 7.3); їх порядок $n=2n_an_bn_c$, де n_a, n_b, n_c – порядки напрямних кривих.

Можливості конструювання форми і розмірів поверхні залежать від напрямних кривих, вигляд яких обумовлює подальшу класифікацію. Якщо одна з напрямних належить невласній площині, маємо ***поверхню з напрямною поверхнею*** (рис. 7.4); умова паралельності твірних довільній площині дасть ***поверхню Каталана*** (рис. 7.5), тощо.

Якщо напрямні *a* і *b* поверхні Каталана є кривими лініями, маємо клас поверхонь, які називаються ***циліндроїдами*** (на рис. 7.6 площина паралелізму паралельна до горизонтальної площини проекцій). Порядок циліндроїда дорівнює $n=2n_an_b$.

Якщо однією з направляючих є пряма лінія, то це ***коноїд*** (рис. 7.7; площина паралелізму Н взята паралельною до $П_1$, а в якості направляючої обрано горизонтально-проекціюючу пряму). Порядок коноїда $n=2n_b$.

Поверхня з двома прямими напрямними і площиною паралелізму називається ***косою площиною*** (рис. 7.8); її порядок n=2. Вона має непогані естетичні якості, а виготовлення є технологічно зручним – можна використовувати прямолінійні елементи арматури і опалубки. Через це косі площини часто застосовуються в архітектурі. У місті Києві такої форми надано покриттю Будинку меблів на бульварі Дружби народів.

Зупинимось і здивуємось властивостям косої площини – і напрямні, і твірні є прямими лініями, рівняння (для окремого розташування) записується як $x=ky/z$, а поверхня є кривою і має порядок 2. Це підкреслюється її другою назвою – гіперболічний параболоїд.

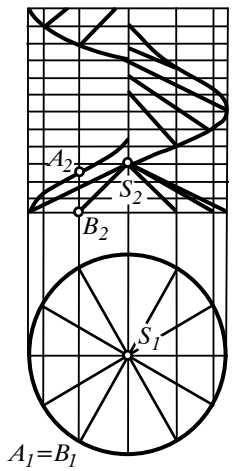


Рис.7.4. Косий гелікоїд, поверхня з напрямним конусом

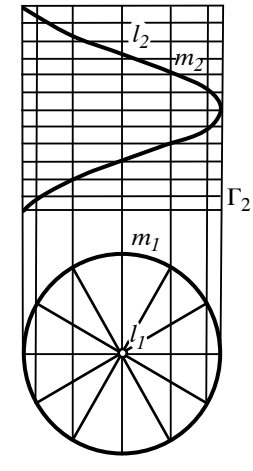


Рис.7.5. Прямий гелікоїд, поверхня з площиною паралелізму

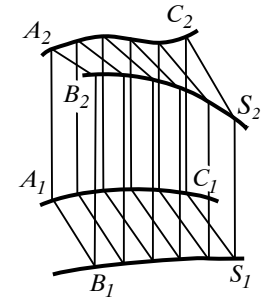


Рис. 7.6. Циліндроїд

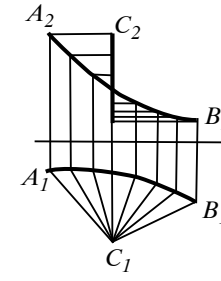


Рис. 7.7. Коноїд

Наведемо ще два приклади поверхонь різних груп.

Поверхня Ф на рис. 7.9. задана визначником (*a, c*); твірна a переміщується вздовж напрямної *c* паралельно до самої себе. Ця поверхня ***паралельного перенесення*** може бути віднесена і до неперервно-каркасних – напрямні і твірні утворюють сітку каркасу. Клітинки сітки мають попарно рівні і паралельні сторони (***сітка Чебишова***).

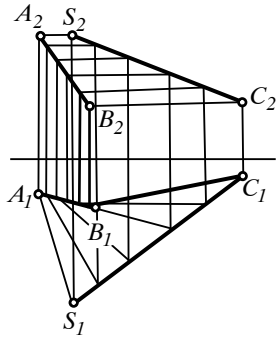


Рис. 7.8. Коса площина

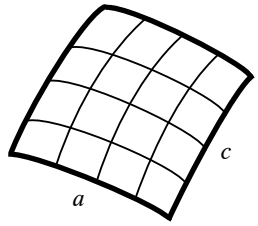


Рис. 7.9.
Поверхня паралельного перенесення

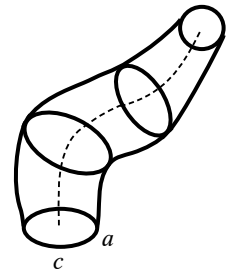


Рис. 7.10.
Каналова поверхня загального вигляду

Каналова поверхня зі змінною твірною на рис. 7.10 утворюється при переміщенні кола a змінного радіусу вздовж напрямної *c* (площина кола перпендикулярна до *c*). Огинаюча *a* визначає абрис поверхні. Якщо радіус кола не змінюється, поверхня називається ***трубною***; якщо при цьому *c* є прямою – ***круговим циліндром***, який є і лінійчатою поверхнею 2-го порядку, являючи приклад неоднозначної класифікації.

Підрахуємо кількість параметрів поверхні і покажемо її зв'язок з порядком. Як відзначалося в розділі 2, кількість параметрів положення дорівнює 6, отже, загальна кількість

$$m=6+m_f,$$

де m_f – кількість параметрів форми.

Для поверхні порядку n маємо максимальну кількість параметрів форми

$$m_f = n(n^2+6n+1)/6.$$

Реальна кількість параметрів може бути меншою за теоретичну, наприклад, для сфери вона становить 3+1=4, для еліптичного параболоїду 6+2=8, для конуса другого порядку 6+3=9 тощо.

Самоконтроль. На початку розділу поверхня визначалася як однопараметрична множина ліній або двопараметрична множина точок. Щойно були наведені приклади поверхонь, параметричні числа яких більші за 1 чи 2. Поясніть це.

Криві поверхні, на відміну від гранних, розгортаються не завжди.

Твірними і напрямними поверхні можуть бути прямі і криві лінії. Кожну точку поверхні можна розглядати як перетин двох сімей ліній – напрямних і твірних (нагадаємо, що вони можуть замінювати одна одну). Тоді кожна з цих ліній має власну кривину k_1 і k_2, яким можна умовно приписати знаки + чи – в залежності, наприклад, від напряму «всередину» поверхні чи «назовні». Величина

$$k= k_1 k_2$$

називається ***гаусовою кривиною*** поверхні. В залежності від знаку *k*, розрізнюють поверхні ***додатної, від'ємної та нульової гаусової кривини*** (рис. 7.10, 7.8, 7.1).

Властивість 7.1. *Тільки поверхні нульової гаусової кривини є такими, що розгортаються.*

Крім *конусів загального вигляду*, до них відносяться ще *циліндри загального вигляду і торси.* Торс зображено на рис. 7.11. Він утворюється множиною дотичних прямих $\{a\}$ до напрямної кривої c яка має назву ***ребра звороту***.

Самоконтроль. З наведеного прикладу видно, що геометричні умови фіксують інколи більш, ніж один параметр. В даному випадку умова дотику рівнозначна двом умовам перетину. Поясніть це. Подумайте, чому напрямна називається ребром звороту?

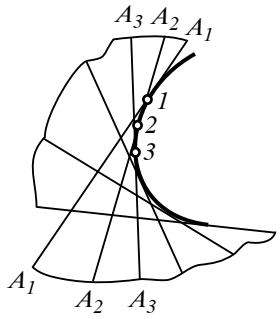


Рис. 7.11. Торс

7.2. Позиційні задачі

А. Визначення належності точки до поверхні

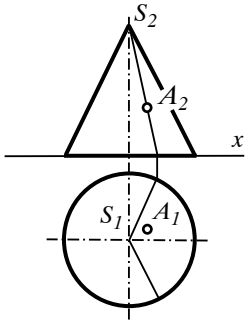


Рис. 7.12. Визначення належності точки до поверхні

Як і для гранних поверхонь, на одній з проекцій через точку проводиться твірна і перевіряється, чи буде друга її проекція проходити через точку. Якщо це так, точка належить поверхні, якщо ні, то не належить. Відповідні побудови ясні з рис. 7.12.

На відміну від гранної поверхні, твірна може бути не прямою, а кривою лінією, до того ж змінної форми, що створює певні труднощі. В наступному пункті буде наведено один з прийомів їх подолання.

Б. Перетин кривої поверхні з площиною

Для кривих поверхонь потрібно провести спеціальний аналіз, який має визначити форму кривої – результату перетину.

В ході цього слід знайти ***характерні*** точки, які обмежують криву, і ***особливі*** точки, які визначають її форму. До перших відносяться верхня, нижня, права, ліва точки, а також точки зміни видимості. До других – всі особливі точки плоскої кривої (розділ 6).

Далі знаходяться проміжні точки. Всі точки з'єднуються плавною лінією, після чого визначається видимість.

Розглянемо приклади.

Задача 7.1. *Побудова плоского перетину поверхні обертання* (рис. 7.13).

Поверхня Ф отримана в результаті обертання твірної а навколо горизонтально-проекціюючої осі c і перетинається вертикальною площиною Р. Лівою і правою межами лінії перетину $1^{л}_1$, $2^{п}_1$ будуть точки перетину горизонтального сліду площини з контуром $Ф_1$; $1^{л}_2$, $2^{п}_2$ розташовані на перетині прямої – проекцією кола – з лініями зв'язку. Точки зміни видимості $3^{зв}_1 \equiv 4^{зв}_1$ знаходяться на перетині сліду площини і горизонтальної осі симетрії $Ф_1$; фронтальні проекції є точками перетину ліній зв'язку з контуром $Ф_2$.

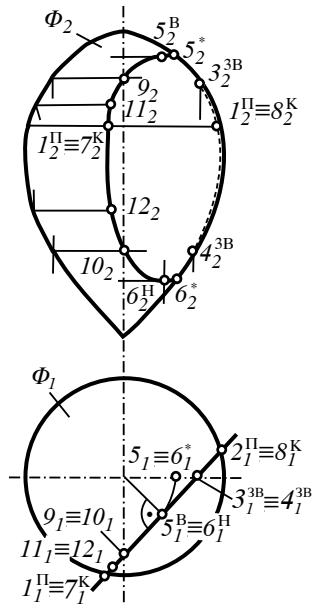


Рис. 7.13. Знаходження плоского перетину поверхні обертання

Верхня і нижня точки $5^{в}_{1} \equiv 6^{4}_{1}$ розташовані на колі, дотичному до площини, отже, для їх визначення слід провести перпендикуляр з центру Φ_1 до сліду Р.

Твірна, яка проходитиме через ці точки, зображуватиметься на Π_2 у спотвореному вигляді; щоб уникнути її побудови, горизонтальна проекція обертається до суміщення з віссю симетрії; через отриману точку 6^{*}_{1} проводиться лінія зв'язку до перетину з контуром Φ_2; з отриманих точок 5^{*}_{2} і 6^{*}_{2} проводяться горизонтальні лінії – фронтальні проекції траєкторії обертання; їх перетин з лініями зв'язку, проведеними з точки $5^{в}_{1}$ $6^{н}_{1}$ визначить фронтальні проекції верхньої і нижньої точок. Особливі точки – в даному випадку точки зміни кривини $7^{к}_{1}$ і $8^{к}_{1}$ – знаходяться на перетині контуру Φ_1 зі слідом Р і збігаються з лівою і правою точками перетину; збігаються і їх фронтальні проекції. Проміжні точки 9, 10, 11, 12 беруться на колі довільного радіусу і знаходяться аналогічно верхнім і нижнім точкам. З'єднуємо всі точки лінії перетину. Видимою буде та її частина, яка розташована перед віссю симетрії Φ_1. Інколи характерні і особливі точки збігаються, і це слід враховувати при аналізі.

Лінія перетину такої ж поверхні з іншими за розташуванням площинами набуває різної форми. Плоскі перерізи прямого кругового конусу є типовими прикладами цього явища. Можливі варіанти показані на рис. 7.14.

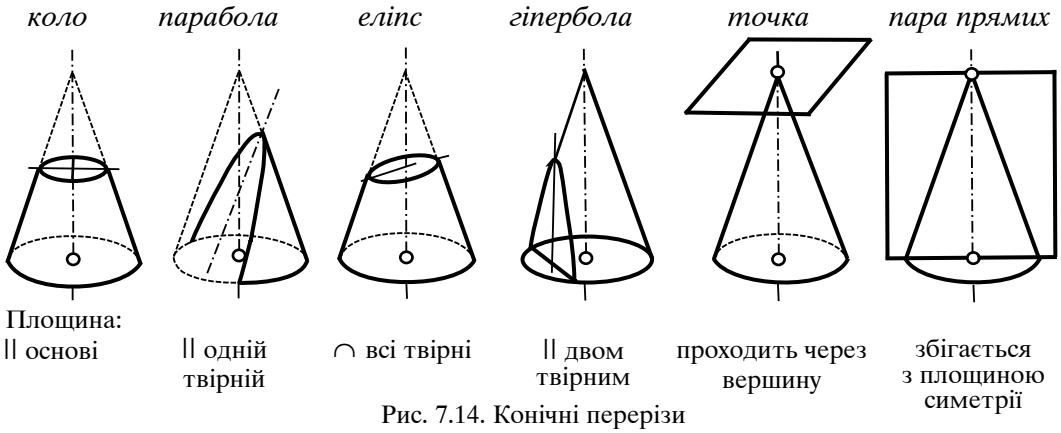


Рис. 7.14. Конічні перерізи

Самоконтроль. Для допитливих студентів. Еліпс, парабола і гіпербола є орбітами ракет при досяганні першої, другої і третьої космічної швидкості. Поміркуйте, які властивості фізичного простору-часу випливають із цього факту.

Задача 7.2. *Перетин прямого кругового циліндру площиною загального положення* (рис. 7.15).

Горизонтальна проекція лінії перетину збігається з Φ_1. Крайні точки і точки зміни видимості розташовані на горизонтальній осі симетрії Φ_1; верхня і нижня – на перетині лінії найбільшого нахилу, проведеної з центру Φ_1 до h_1p, з контуром циліндру; особливих точок немає. Проміжні точки візьмемо в довільних місцях Φ_1.

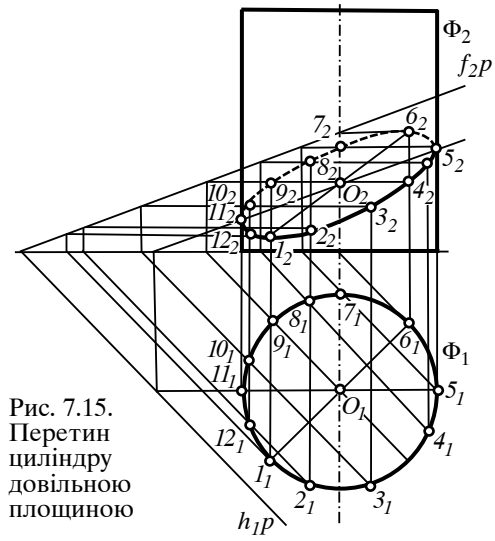


Рис. 7.15. Перетин циліндру довільною площиною

Фронтальні проекції точок знайдуться в місцях перетину твірних циліндру і фронтальних прямих площини, проведених через горизонтальні проекції точок лінії перетину. Видимість – за аналогією з рис. 7.13.

Задача 7.3. *Перетин довільних конуса і площини* (рис. 7.16).

Слід перевести площину в проекціюючe положення. Подальші побудови зрозумілі з рисунку.

В. Перетин поверхні з прямою лінією

Доцільно застосовувати метод допоміжних січних площин (ДСП), або, в разі перетину прямої з конусом чи циліндром, допоміжне проекціювання на площину основи.

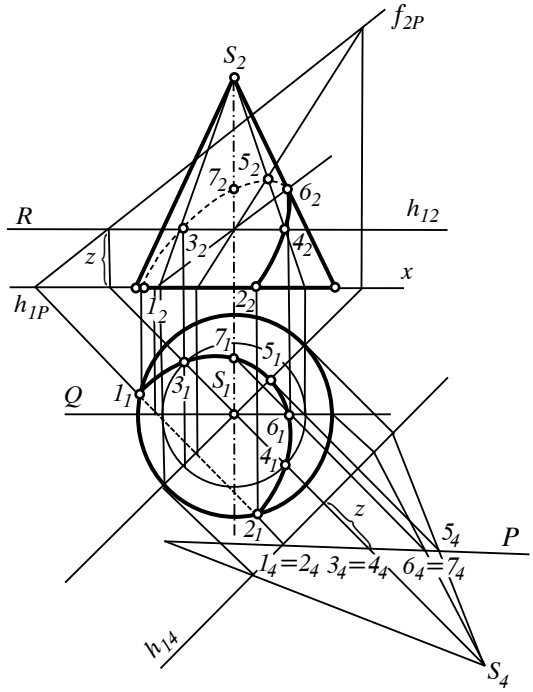


Рис. 7.16. Побудова перетину конуса і площини (ЗПП)

Задача 7.4. *Перетин прямої з циліндроїдом* (рис. 7.17.).

Через a_1 проводимо горизонтально-проекціюючу площину Р і, за точками її перетину з твірними циліндроїду, будуємо горизонтальну проекцію лінії перетину площини з поверхнею. Точка перетину a_1 з цією лінією K_1 і є точкою перетину прямої з циліндроїдом (рис. 7.17). Знаходимо її фронтальну проекцію. Визначаємо видимість.

Задача 7.5. *Перетин конуса з прямою лінією* (рис. 7.18).

Проекціюючі промені проводимо через вершину К і довільні точки прямої *а*. Горизонтальні сліди променів визначають нове розташування прямої. Точки її перетину з основою визначають твірні, на яких, в місцях перетину з *а*, знаходяться потрібні точки (рис. 7.18). Видимість визначається за загальним правилом – якщо точки перетину належать видимим твірним, вони видимі, і навпаки.

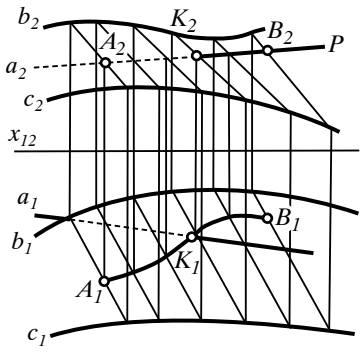


Рис. 7.17. Перетин циліндроїда і прямої (ДСП)

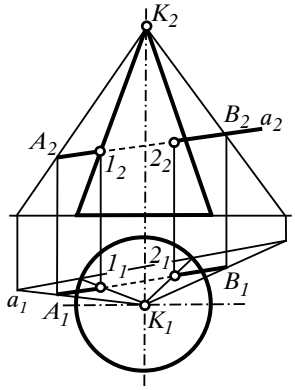


Рис. 7.18. Перетин поверхні з прямою (допоміжне проекціювання на площину основи

Г. Взаємний перетин гранних і кривих поверхонь

Задачі цього типу зводяться до багатократного розв'язання задач на перетин поверхні з площиною, отже, послідовність дій має бути такою:

1. Виявлення характерних і особливих точок (обов'язково – точок перетину ребер з поверхнею);

2. Побудова проекцій цих, (також проміжних) точок. 3. Плавне з'єднання точок кривою лінією;

4. Визначення видимості лінії перетину і поверхонь.

Задача 7.6. *Перетин призми і конуса* (рис. 7.19).

Призма є фронтально-проекціюючою, отже, маємо одну проекцію лінії перетину. Характерні точки розташовані: верхні – на ребрі *i*, ліва – на ребрі *j*, права (вона ж точка дотику до твірної конусу) – на ребрі *k*. Для визначення горизонтальних проекцій застосуємо допоміжні площини Γ^1 і Γ^2 (можна було б проводити твірні, але так точніше) і знайдемо проекції там, де плоскі перерізи – кола – перетинатимуть ребра. За допомогою січної площини Γ^3 визначаємо проміжні точки. З'єднуємо всі точки і визначаємо видимість – видимі ті ділянки кривої, які належать одночасно видимим частинам поверхонь.

При розв'язанні задач можуть застосовуватись різні перетворення, мета яких – перевести одну з поверхонь в проекціююче положення, або змінити форму поверхні, зробивши її більш зручною для розв'язання задачі.

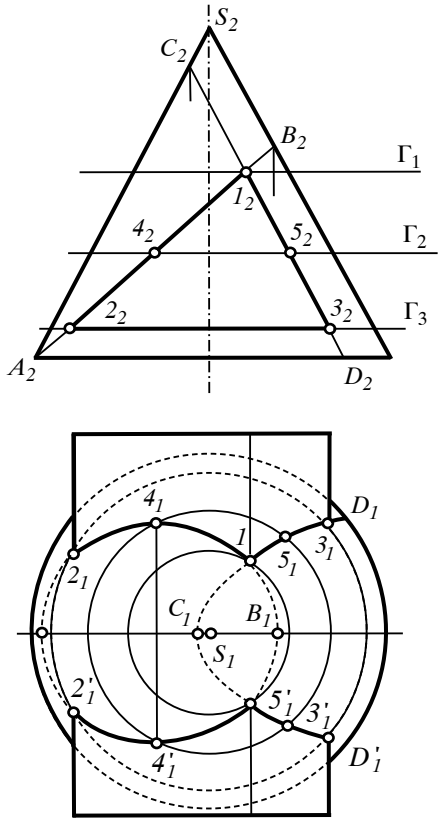


Рис. 7.19. Перетин гранної і кривої поверхонь з призмою

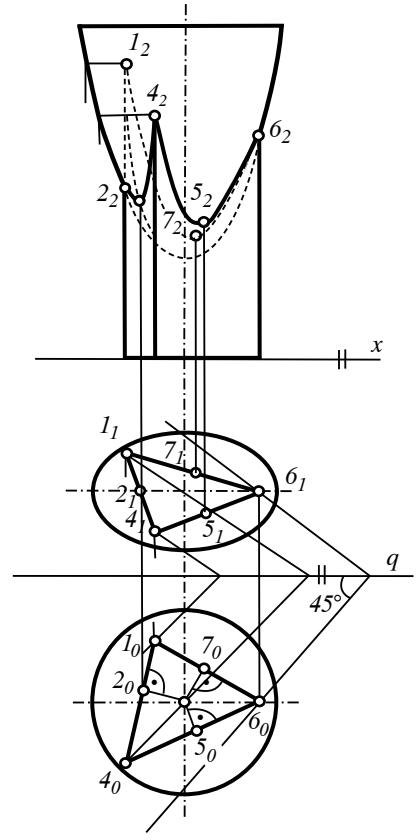


Рис. 7. 20. Перетин еліптичного параболоїда (афінне перетворення)

Задача 7.7. *Перетин вертикальної призми з еліптичним параболоїдом* (рис. 7.20).

Хоча й маємо горизонтальну проекцію лінії перетину, проте скористатись цим для побудови її фронтальної проекції неможливо, оскільки твірними поверхні є еліпси або параболи, побудова яких є складною. Доцільно перетворити поверхню на параболоїд обертання, скориставшись відповідністю еліпсу і кола (розділ 6). Вісь перетворення *a* візьмемо паралельною до осі *x* в довільному місці; інші елементи апарату отримаємо, перетворивши лінію, що з'єднує кінці малої і великої осей еліпсу, на пряму, проведену під кутом 45° до *a*. Далі будуємо зображення призми і параболоїда (тепер вже кругового). Знаходимо характерні точки – вони відповідають перетинам: ребер призми з поверхнею, граней з горизонтальною віссю симетрії кола і перпендикулярами, проведеними з центру кола до слідів граней. Визначаємо фронтальні проекції всіх цих точок і з'єднуємо їх плавною лінією. При визначенні видимості користуємось горизонтальною проекцією, а не перетвореним положенням фігур, оскільки воно є дзеркальним відносно *a*.

Д. Взаємний перетин кривих поверхонь

Розглянемо спочатку особливості використання відомих методів.

Задача 7.7. *Перетин кругових конуса і циліндра* (рис. 7.21).

Хід розв'язання є цілком зрозумілим. Зробимо наголос на виявленні особливих і характерних точок. Точка 1 дотику циліндру до поверхні конусу є подвійною; вона ділить криву на верхню і нижню частини. Точки 2 і 3 є точками дотику до кола основи конусу. Точки 4, 5 на горизонтальній осі симетрії циліндру визначають зміну видимості на горизонтальній проекції; ліві точки перетину знаходяться саме там.

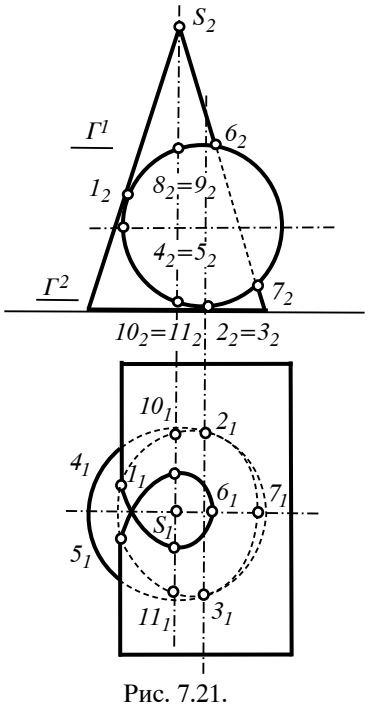


Рис. 7.21.
Перетин кругових конуса і циліндра

Праві точки (для верхньої і нижньої частин) 6 і 7 розташовані на контурній правій твірній конуса (і на його горизонтальній осі симетрії). Побудова горизонтальних проекцій всіх цих точок не потребує додаткових пояснень. Точки 8, 9, 10, 11 на осі обертання конуса є точками найбільшої ширини верхньої і нижньої частин кривої відносно горизонтальної осі симетрії. Для побудови їх горизонтальних проекцій доцільно застосувати допоміжні площини Γ^1 і Γ^2. Кількість визначених точок є достатньою для побудови кривої перетину (її горизонтальна проекція називається ***кардіоїдою*** через зовнішню схожість із серцем людини). Визначаємо видимість кривої і фігур.

Самоконтроль. Для умов, показаних на рис. 7.22, знайдіть лінію перетину циліндрів, визначить особливі і характерні точки, а також видимість. Докладно поясніть отримані результати.

Проекціююче положення фігур спрощує розв'язання. Тому слід здійснювати відповідне перетворення, наприклад допоміжне проекціювання, яке і дозволяє встановити вид перетину – чи буде він мати місце, чи буде крива розпадатися на дві частини, чи залишиться цілою. Застосовувати його доцільно *лише для розв'язання задач на перетин циліндрів, конусів, призм і пірамід, які мають спільну площину основи, в будь-якій комбінації* – ще один приклад подібності цих фігур.

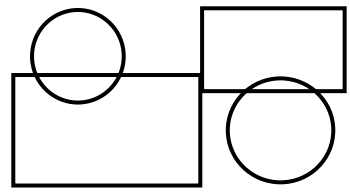


Рис. 7.22. Взаємний перетин циліндрів окремого положення

В залежності від типу фігур, напрям проекціювання визначається лінією, проведеною через вершини, або проведеною через вершину конусу чи піраміди паралельно ребрам призми чи твірним циліндру, або паралельно прямій, що з'єднує сліди ліній, паралельних твірним (ребрам) циліндрів (призм).

Задача 7.9. *Перетин сфери і параболоїда обертання* (рис. 7.23).

Розташування поверхонь підказує, що січні площини мають бути горизонтальними – тоді перетинами будуть кола. Для аналізу і побудови характерних точок було б зручніше, якби поверхні мали спільну вертикальну площину симетрії, паралельну осі *x*. Повертаємо сферу навколо осі параболоїду. Нове положення показано тонкою лінією.

Визначаємо характерні точки – верхню 1 на перетині фронтальних проекцій контурів нового положення сфери і вихідного параболоїду і на лінії, що з'єднує горизонтальні проекції їх центрів, дотику до контурів поверхонь 2,5 (вони ж точки зміни видимості). Знаходимо кілька проміжних точок. З'єднуємо точки і визначаємо видимість.

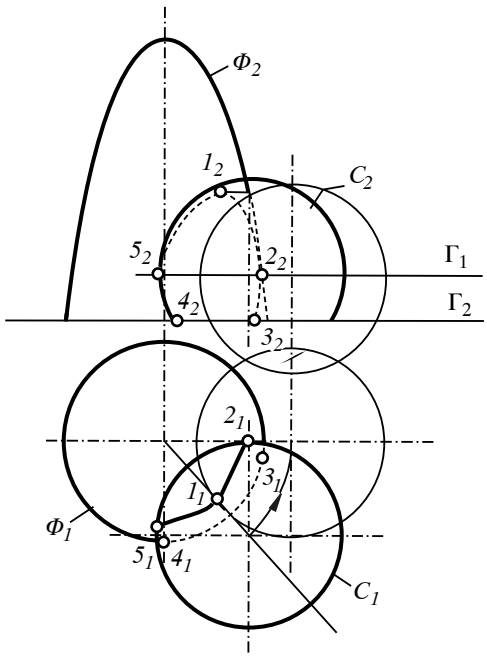


Рис. 7.23. Перетин параболоїда обертання і сфери (ДСП)

В тому разі, коли не вдається вдало провести січні площини, застосовуються спеціальні методи. Однією з можливостей є використання ***допоміжних січних сфер***, в залежності від вихідних умов, ***концентричних січних сфер (КСС)*** чи ***ексцентричних січних сфер (ЕСС)***. Застосування січних сфер можливе тільки за наступних умов:

- *перетинаються поверхні обертання;*
- *ці поверхні мають спільну площину симетрії;*
- *якщо осі поверхонь перетинаються, застосовується метод концентричних січних сфер; якщо ні – метод ексцентричних січних сфер.*

Метод полягає в тому, що з фіксованого центру (або кількох змінних центрів) проводяться сфери, що перетинають обидві поверхні по колах; перетини цих кіл дають точки лінії перетину поверхонь. Сфери обираються так, щоб вони допомагали, виявити характерні точки.

Задача 7.10. *Перетин кругових конуса і параболоїда* (рис 7.24).

Задані поверхні обертання із спільною вертикальною площиною симетрії і осями, що перетинаються, отже, слід застосовувати метод КСС. З іншого боку, метод ДСП є недоцільним, оскільки при будь-якому розташуванні січних площин перетини не будуть колами чи прямими. Центр сфер обирається в точці перетину осей поверхонь.

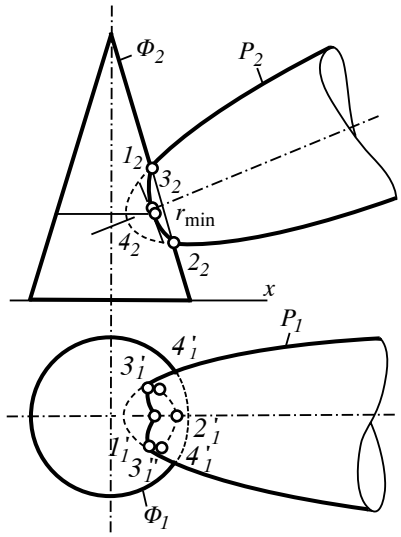


Рис. 7.24. Перетин конуса і параболоїда (КСС)

Верхня 1_2 і нижня 2_2 точки лінії перетину знайдуться на фронтальній проекції перетину контурів; найбільш віддалена від правої контурної твірної конуса точка 4_2 знайдеться за допомогою сфери радіусу, рівного відрізку перпендикуляра із центру сфер до цієї твірної. Названі точки визначать межі змін радіусів сфер. Проміжним точкам відповідають сфери проміжних радіусів. Лінії перетину сфер з поверхнями на $П_2$ (кола) зобразяться як відрізки прямих між точками перетинів сфер з контурами фігур; їх перетини визначатимуть пари симетричних точок лінії перетину поверхонь. Для побудови горизонтальних проекцій слід провести твірні конуса, або побудувати горизонтальні проекції кіл – перетинів конуса зі сферами – і провести до них відповідні лінії зв'язку з фронтальних проекцій точок. З'єднуємо отримані точки плавною лінією. Вгадати радіус сфери, який відповідатиме точкам зміни видимості, неможливо, але, коли лінія перетину побудована, можна вказати їх. Фронтальні проекції збігаються і знаходяться на перетині лінії перетину з віссю симетрії параболоїда, а горизонтальні – на проекціях його контурних твірних. Користуючись цим, остаточно визначаємо видимість.

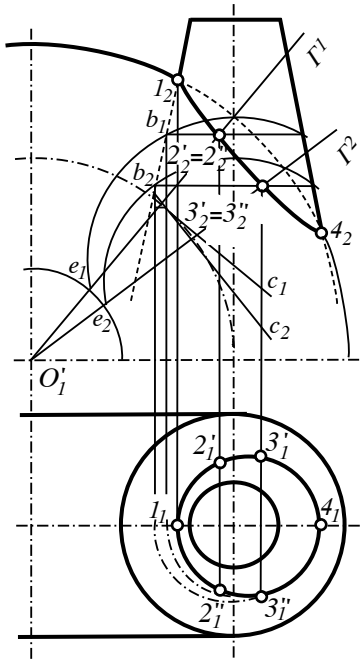


Рис. 7.25. Перетин кругових конуса і тора (ЕСС)

Задача 7.11. *Перетин кругових конуса і тора* (рис 7.25).

Аналіз умов показує, що доцільним є застосування методу ЕСС. Центри і радіуси сфер визначаються так. Проводимо фронтально-проекціюючу площину $Г^1$ з центру тора так, щоб вона перетнула тор і конус в межах між їх основами і верхньої точкою перетину контурів фігур на $П_2$. В $Г^1$ лежить коло, яке є результатом перетину тора з січною сферою. Центр сфери знаходиться в точці перетину вісі конуса і перпендикуляра, проведеного до $Г^1$ з точки перетину з віссю тора; а радіус дорівнює відстані до контуру тора. Проводимо сферу і знаходимо її перетин з конусом, який на $П_2$ виглядає як відрізок прямої. Перетин відрізків – зображень ліній перетину сфери з конусом і тором – дає пару симетричних точок лінії перетину поверхонь $2_2'$ та $2_2''$. Проводимо ще кілька

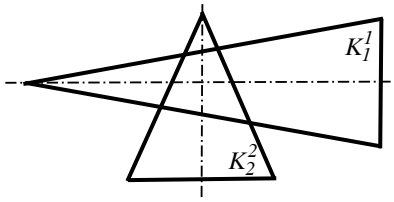


Рис. 7.26.
Перетин двох кругових конусів

таких сфер, кожен раз визначаючи нові положення центрів на осі конусу. Знаходимо проекції точок лінії перетину. З'єднуємо точки і визначаємо видимість кривої перетину і поверхонь.

Самоконтроль. Проаналізуйте зображення на рис 7. 26. Скількома способами можна побудувати перетин поверхонь? Який з них є найзручнішим? Обґрунтуйте переваги обраного способу (кількість, складність побудов, суб'єктивні уподобання). Розв'яжіть задачу обраним способом.

Тепер покажемо кілька окремих випадків, коли лінія перетину кривих поверхонь другого порядку (4-го порядку) розпадається на дві плоскі криві 2-го порядку.

Це – практично значимі випадки. Трубні і зварні з'єднання є набагато більш технологічними і якісними, якщо проходять по плоским, а не просторовим кривим.

Властивість 7.2. (теорема про подвійне стикання). *Якщо дві поверхні другого порядку в двох точках їх дотику мають дві спільні дотичні площини, вони перетинаються по двох кривих 2-го порядку* (рис. 7.28).

Вкажемо на кілька наслідків цієї теореми.

Властивість 7.3. (теорема Монжа)

Якщо дві поверхні другого порядку описані навколо третьої поверхні другого порядку або вписані в неї, вони перетинаються по двох кривих другого порядку (рис. 7.28).

Самоконтроль. Порівнюючи рис. 7.26 і 7.28, перевірте розв'язання задачі попереднього самоконтролю. Потім можете додати до слів царя Соломона: «Мудрість знаючому життя продовжує» ще два: «І полегшує»...

Властивість 7.4. *Якщо дві поверхні другого порядку мають три точки дотику, то вони стикаються по кривій 2-го порядку.*

Властивість 7.5. *Якщо дві поверхні другого порядку стикаються по кривій лінії, то це крива 2-го порядку.*

Самоконтроль. Уявіть і нарисуйте умови, описані властивостями 7.4, 7.5. Наведіть кілька таких прикладів.

7.3. Метричні задачі

Метричні задачі можна розділити на три групи.

Перша. Побудова поверхонь за заданими метричними умовами. Ці задачі розв'язуватимуться в курсі інженерної графіки, оскільки в основі деталей машин і чималої кількості архітектурних конструкцій лежать криві поверхні.

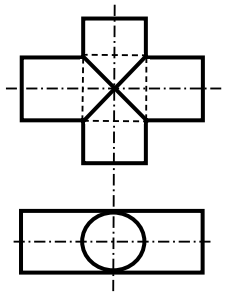


Рис. 7.27.
Розпад лінії перетину двох циліндрів на дві криві другого порядку

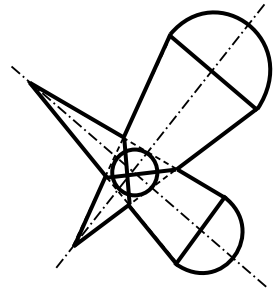


Рис. 7.28.
Розпад лінії перетину конусів на дві криві другого порядку

Друга. Визначення тих чи інших метричних характеристик кривих поверхонь. Застосовуються різні методи перетворень проекцій; є багато аналогій з відповідними задачами для гранних поверхонь, що не можуть бути розгорненими.

Третя. Побудова розгорток для тих поверхонь, що розгортаються, і умовних (наближених) розгорток для поверхонь.

Задача7.12. *Побудова розгортки прямого кругового конуса (радіус основи r, довжина твірної a*, рис. 7.29).

Розгортка бічної поверхні є сектором кола радіусу а з довжиною сегмента дуги $2\pi r$; отже, кут між лініями, що обмежують сектор, $2\pi r/a$. До бічної поверхні добудовується основа, натуральна величина якої береться з Π_1.

Задача 7.13. *Розгортка поверхні довільного конуса* (рис. 7.30).

Відмінність від попереднього випадку полягає в різній довжині твірних і необхідності виміру відстані між ними. Розбиваємо основу на кілька частин. Будь-яким способом (використане обертання навколо проекціюючої осі, суміщеної з вершиною конусу) знаходимо довжини твірних. Виміряємо відстані між твірними. Далі, в довільному місті проводимо довільну пряму і відкладаємо вздовж неї твірну 1S. Робимо засічки радіусами, рівними довжині твірної 2 і відстані між першою і другою твірною. Знаходимо точку 2. Продовжуємо ці дії, обходячи основу повністю. Отримані точки з'єднуємо плавною лінією. Добудовуємо нижню основу.

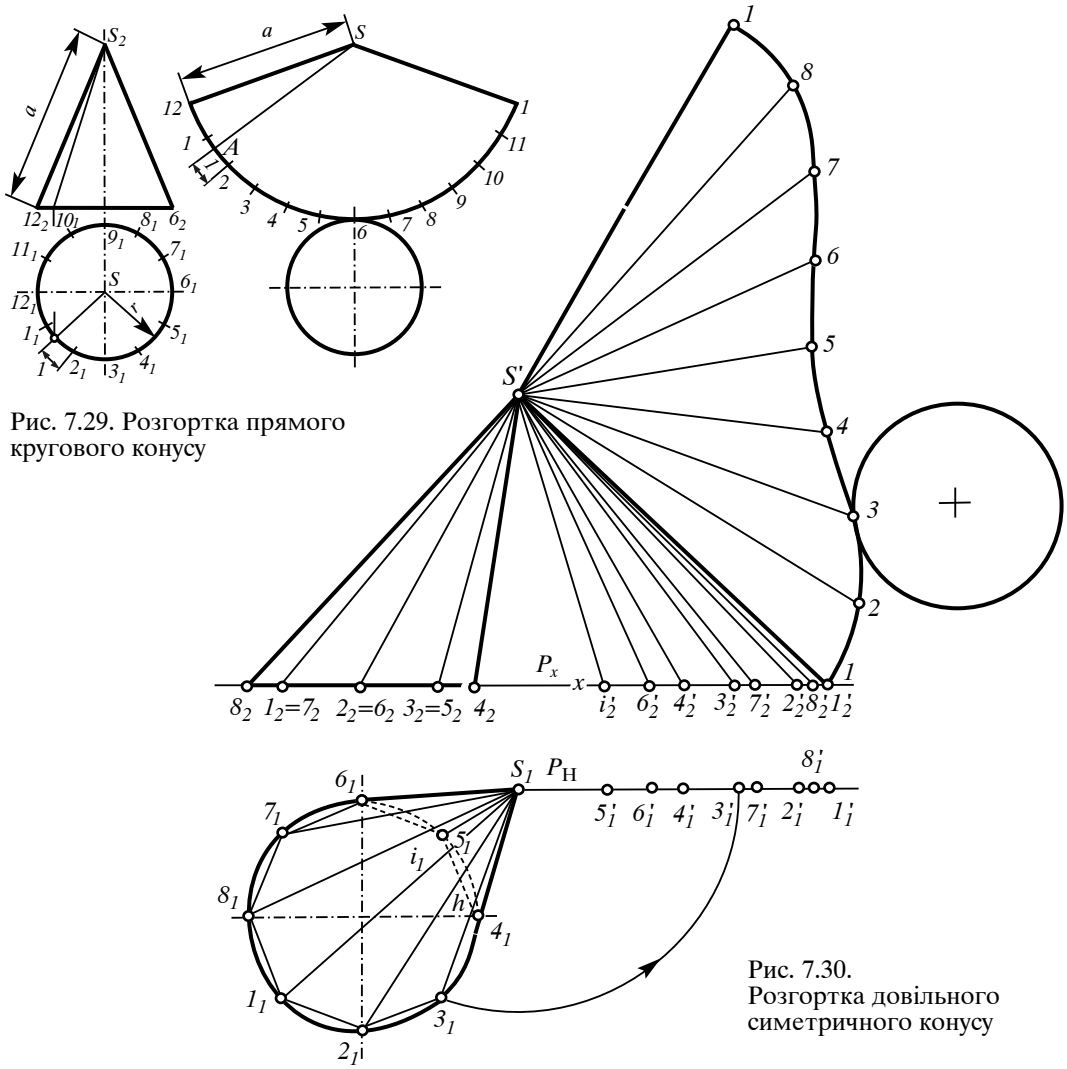


Рис. 7.29. Розгортка прямого кругового конусу

Рис. 7.30. Розгортка довільного симетричного конусу

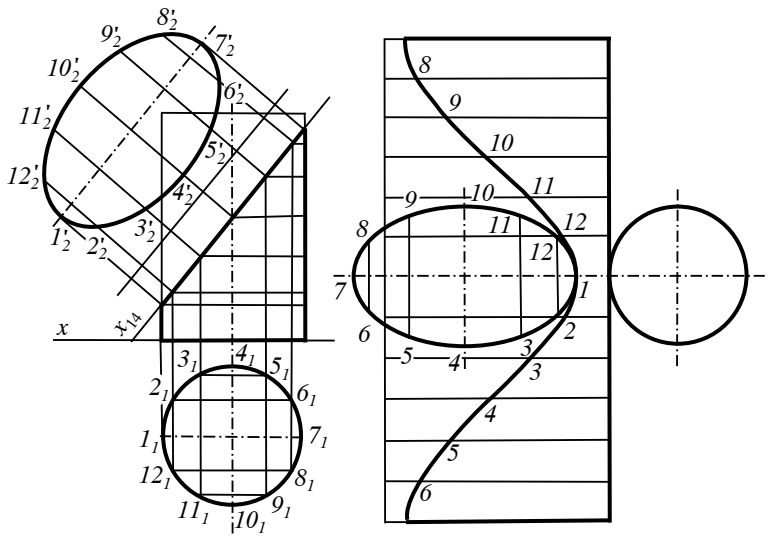


Рис. 7.32. Розгортка зрізаного прямого циліндра (розкочування)

Задача 7.14. *Розгортка зрізаного прямого циліндру* (рис. 7.31).

Розбиваємо основу на 12 частин. Подальші дії аналогічні побудові розгортки призми (розділ 5) – вздовж осі x відкладаємо відстані від однієї твірної до іншої (дорівнюють $\pi r/6$, r – радіус кола основи), а вздовж вертикальних прямих, проведених з отриманих точок, відкладаємо, за відповідністю, довжини твірних. Прибудовуємо знизу нижню основу, натуральна величина якої береться з горизонтальної проекції. Верхня основа добудовується зверху; її натуральна величина знаходиться за допомогою перетворення проекцій, або цей еліпс будується за двома осями (рис. 7.9), або вздовж перпендикулярів до великої осі відкладаються відстані до твірних, взяті з Π_1.

Самоконтроль. Побудова розгортки похилого циліндра проводиться за аналогією з задачею 5.6. Задайте такий циліндр і побудуйте розгортку його бічної поверхні.

Побудуємо умовні розгортки сфери. Ця задача лежить в основі картографічних проекцій.

Задамо на сфері сітку з меридіанів і паралелей. Замінимо кожну з кривих клітинок на плоску. Сумістимо клітинки з площиною і отримаємо найпростішу з наближених розгорток. Така проекція не буде ізометричною, конформною чи еквіареальною, тобто її точність буде невисокою. Проте простота компенсує ці вади, якщо будується карта малої частки сфери великого радіусу.

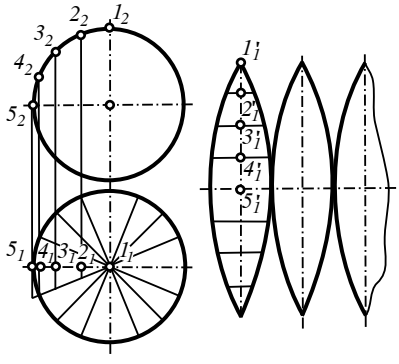


Рис. 7.32. Відображення сфери на конічні поверхні

Спроекціюємо сферу на циліндр і розгорнемо його на площину. Ця проекція Меркатора (розділ 1) є конформною, а для екватора – і ізометричною. Постійний курс літака або корабля зобразиться прямою, нахиленою під постійним кутом до меридіанів і паралелей, що обумовлює використання проекції в навігації. Але вона зовсім непридатна для картографування приполярних областей.

Певним компромісом є відображення окремих зон сфери на систему узгоджених конусів з їх подальшою розгорткою, що дозволяє зробити спотворення більш рівномірними(рис. 7.32).

Існує багато інших варіантів картографічних проекцій. Найбільш екзотичні з них показані на рис. 7.33. Але всі вони свідчать, що побудова ізометричних проекцій без розривів є, на жаль, теоретично неможливою.

Застосування наближених методів інколи доцільне при розгортці поверхонь, що розгортаються, а саме, торсів.

Самоконтроль. Зробіть сумі-щення самостійно і доведіть задачу до кінця.

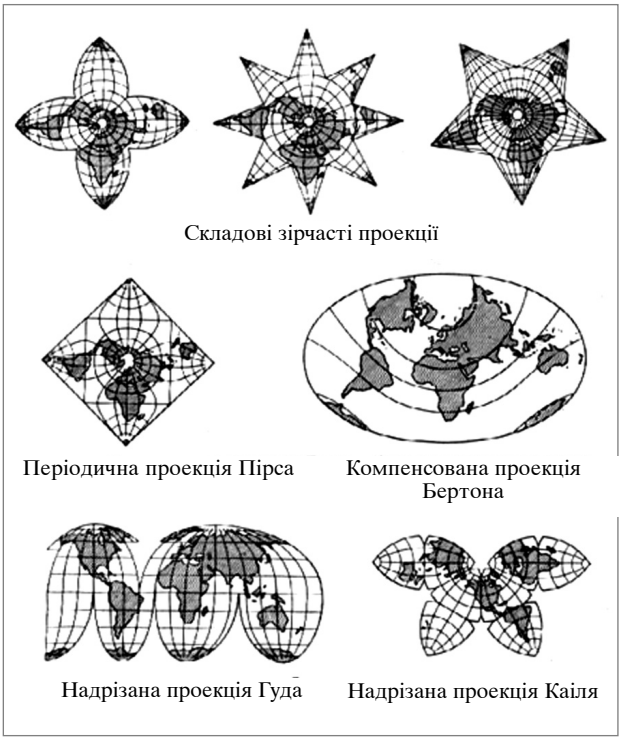


Рис. 3.33. Види картографічних проекцій

І, на закінчення розділу, наведемо кілька прикладів, коли саме криві поверхні є основними формотворчими засобами сучасних архітекторів.



Рис. 7.36. Франк Ллойд Райт. Музей Соломона Р. Гуггенхейма. Нью-Йорк, США

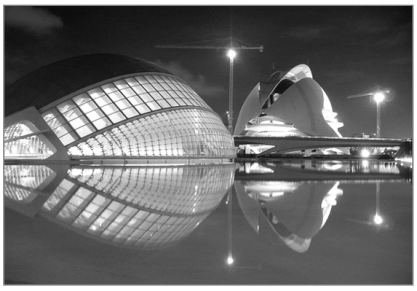


Рис. 7.38. Сантьяго Калатрава, Фелікс Кандела. Місто Мистецтв та Наук. Валенсія, Іспанія



Рис. 7.37. Йорг Утзон. Опера в Сіднеї. Австралія

8. АКСОНОМЕТРІЯ

Нагадаємо висновки, зроблені у розділі 3: аксонометрія є окремим випадком методу двох зображень; система декартових координат простору відображається паралельно на довільну площину; забезпечується зворотність; наочність більша, ніж для епюра Монжа; розв'язання метричних задач складніше, ніж на ортогональних проекціях. Аксонометрія застосовується там, де наочність конче потрібна (рис. 8.1).

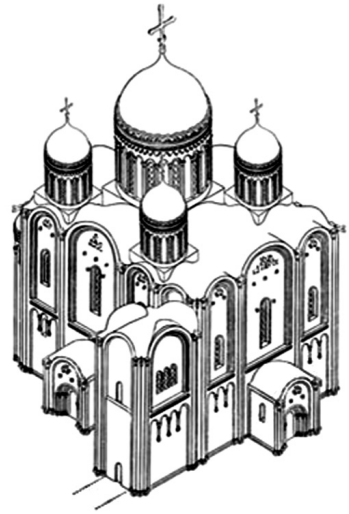


Рис. 8.1.
Приклад застосування аксонометрії для оцінки форми храму

8.1. Теорія

Відкладемо вздовж осей координат простору одиничні відрізки і з'єднаємо одержані точки. Побудуємо аксонометричні зображення цього тетраедра. Оскільки можуть варіюватися напрямки проекціювання та розташування площини зображення, дістанемо нескінченну кількість варіантів зображень. Ці міркування підсумовує основна теорема аксонометрії (або теорема Польке-Шварца, за прізвищами вчених, які сформулювали її незалежно один від одного у XIX ст.).

Властивість 8.1. *Будь-який поєний чотирикутник є аксонометричним зображенням довільного тетраедра.*

Спотворення координатних відрізків можуть бути різними або однаковими, відповідно до чого розрізняють:

- ізометрію (відрізки спотворені однаково);
- диметрію (два відрізки спотворені однаково, третій – по-іншому);
- триметрію (всі відрізки спотворені по-різному).

Зміни характеризуються ***коефіцієнтами спотворення u, v, w*** – відношеннями довжин координатних відрізків e_x, e_y, e_z в аксонометрії до їхніх натуральних довжин. Залежно від напряму проекціювання відносно площини зображення розрізняють прямокутну і косокутну аксонометрії. Підсумкову класифікацію аксонометрій показано на рис. 8.2.

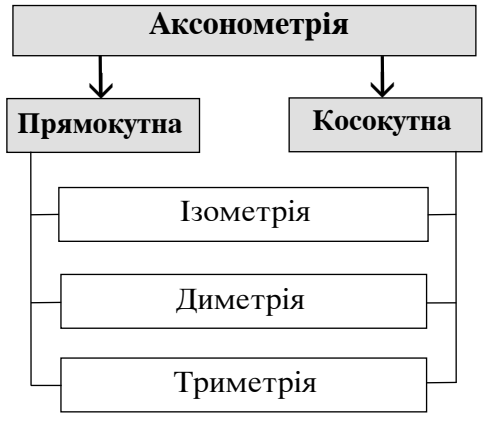


Рис. 8.2. Класифікація аксонометрій

Дійсною є основна формула аксонометрії, яка пов'язує коефіцієнти спотворення з кутом нахилу φ напряму проекціювання до площини зображень:

$$u^2 + v^2 + w^2 = 2 + \operatorname{ctg}^2\varphi$$

Підкреслимо, що вона стосується тільки координатних або паралельних їм відрізків; усі інші матимуть відмінні від *u, v, w* коефіцієнти спотворення.

Різні аксонометрії мають різну наочність і будуються легше або складніше. Тому стандарти регламентують використання лише кількох аксонометрій.

А. Прямокутна ізометрія

Для прямокутної аксонометрії маємо

$$u^2 + v^2 + w^2 = 2,$$

звідки неважко підрахувати, що для ізометрії, тобто при u = v = w, коефіцієнти спотворення дорівнюватимуть $(2/3)^{1/2} \approx 0{,}82$, тобто довжини паралельних осям відрізків мають зменшуватися в 1,22 рази відносно натуральних.

Розташування осей показано на рис. 8.3 (визначення кутів можна замінити, відкладаючи ліворуч та праворуч від 0 по 5 і вниз по 3 одиниці). Практично при побудові використовують ***зведені коефіцієнти***, відкладаючи вздовж осей натуральні довжини відрізків.

Б. Прямокутна диметрія

При u=2v=w маємо u= w≈0,94, v≈0,47. Використовують зведені коефіцієнти 1,1 та 0,5; отже, спотворення розмірів менше, ніж в ізометрії. При побудові осі *x* ліворуч від O відкладають 8 одиниць і вниз 1 одиницю; осі *y* – праворуч 7 одиниць та вниз 8 одиниць (рис. 8.4). Є й інші способи відтворення розташування осей.

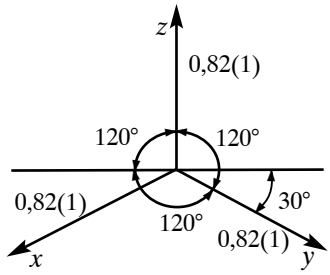


Рис. 8.3. Прямокутна ізометрія розташування осей, коефіцієнти

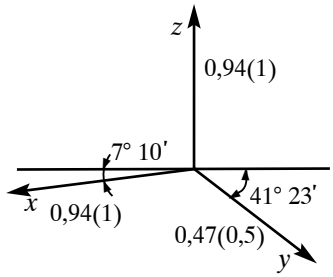


Рис. 8.4. Прямокутна диметрія – розташування осей, коефіцієнти

В. Косокутна ізометрія

Вона надає можливості з допустимою втратою наочності зобразити в натуральну величину кут між двома координатними осями. Це, звичайно, значно спрощує побудови у відповідній площині.

Для косокутної ізометрії (інші назви – військова або зенітна перспектива) розташування осей і зведені коефіцієнти показано на рис. 8.5. Зазначимо, що кути осей *x* та *y* відносно горизонтальної лінії можуть бути іншими, наприклад, по 45°, однак прямий кут між ними має зберігатися. Застосування військової перспективи – там, де треба швидко виконати рисунок – є досить обмеженим через її невисоку наочність.

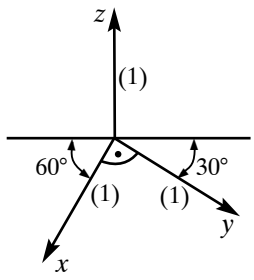


Рис. 8.5. Косокутна ізометрія – розташування осей, коефіцієнти

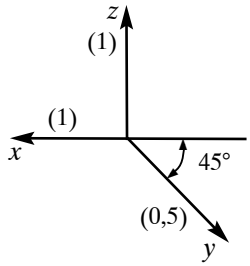


Рис. 8.6. Косокутна фронтальна диметрія – розташування осей, коефіцієнти

Для косокутної фронтальної диметрії розташування осей і зведені коефіцієнти показано на рис. 8.6. Збереження натуральної величини кута між осями x та z, що спрощує перехід від фронтальної проекції до аксонометричного зображення, є її перевагою. Це важливо, оскільки найбільш інформативний, головний вигляд деталі розміщують саме на ній.

Самоконтроль. Нехай в косокутній триметри коефіцієнти спотворень $u = 1, v = 0{,}2, w = 0{,}5$. Під яким кутом φ проводилося проекціювання на площину зображення?

8.2. Приклади побудови геометричних фігур

Як і на епюрі Монжа, для забезпечення зворотності потрібні два зображення – аксонометрія та одна з вторинних проекцій на фронтальну, горизонтальну чи профільну площини. Між цими зображеннями існують лінії зв'язку, паралельні відповідним координатним осям (рис. 8.7).

Нехай треба побудувати т. А з координатами (10, 5, 10) в косокутній ізометрії. Будемо позначати аксонометричне зображення літерами без індексів, а вторинні проекції – літерами з цифрами знизу. Починаємо з визначення вторинної проекції.

Відкладемо вздовж осі x відрізок завдовжки 10 одиниць, уздовж осі y – 5 одиниць; дістанемо горизонтальну вторинну проекцію. Від неї паралельно осі z відкладемо відрізок завдовжки 10 одиниць й одержимо аксонометрію т. А.

Аксонометрія прямої може бути побудована за двома вторинними проекціями (рис. 8.8а). Аксонометрія площини визначається двома прямими, відсіком або трикутником слідів (рис. 8.8б). Для побудови аксонометрії поверхні слід спочатку побудувати її вторинну проекцію (рис. 8.8в).

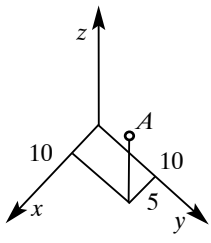


Рис. 8.7. Побудова аксонометрії точки

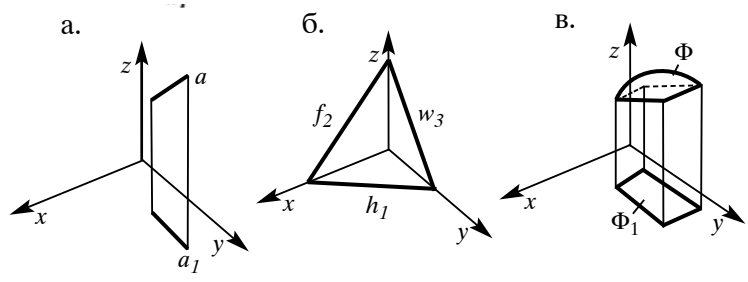


Рис. 8.8. Приклади побудови аксонометрії прямої, площини, поверхні

Порівняємо трудомісткість побудов і наочність зображень у прямокутних ізометрії та диметрії.

Спочатку побудуємо багатогранник, форму і розміри якого визначено на епюрі Монжа (рис. 8.9а). Починаємо з визначення горизонтальних вторинних проекцій (ізометрія – рис. 8.9б) та диметрія – рис. 8.9в). Від одержаних точок відкладаємо на прямих, паралельних осі z, аплікати і дістаємо точки верхніх граней. З'єднуємо всі точки. Визначаємо видимість, виходячи зі стандартного для аксонометрії напряму зору по діагоналі куба з верхньої до нижньої вершини.

Робимо висновок, що ізометрія будується легше, але є менш наочною. Останнє стосується також багатьох інших випадків зображення гранних поверхонь.

Тепер порівняємо побудову горизонтального кола радіусом R.

В аксонометрії коло зображується як еліпс, оскільки аксонометрія є афінним перетворенням. У прямокутній ізометрії цей еліпс наближено замінюється чотирма дугами кіл, центри і радіуси яких визначаються так.

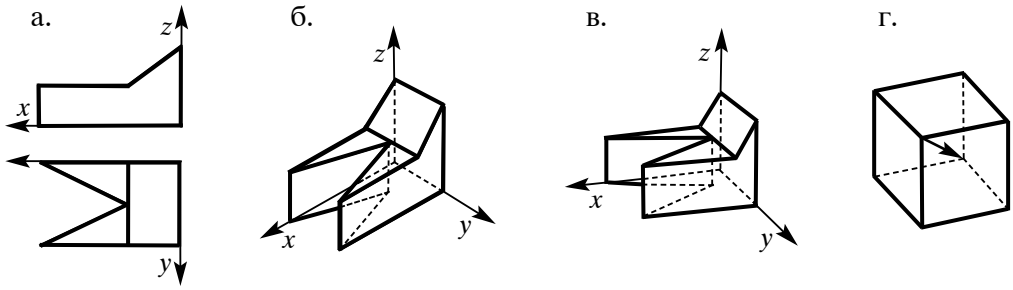


Рис. 8.9. Побудова багатогранника у прямокутних ізометрії та диметрії

Із центра кола – початку координат – відкладаємо вздовж осей *x* та *y* його радіуси. Будуємо ромб, проводячи через одержані точки лінії, паралельні осям. Проводимо діагоналі, визначаємо центри, радіуси і точки стику дуг так, як показано на рис. 8.10а. Провівши дуги, отримаємо еліпс. Кола у фронтальній та профільній площинах будуються так само, і такими самими будуть їхні розміри. Відмінною буде лише орієнтація.

Для побудови еліпса у прямокутній диметрії доцільно застосовувати спосіб восьми точок. Відкладаємо вздовж осей радіуси кола та будуємо паралелограм (зведений коефіцієнт уздовж осі у дорівнює 0,5). Проводимо діагоналі. Точки 1– 4 еліпса відповідають точкам перетину координатних осей зі сторонами паралелограма. Точки 5 – 8 є точками перетину прямих, що з'єднують точки, відкладені на відстанях 1/8 довжин сторін від вершин, із точками, відкладеними на відстанях 1/4 довжин суміжних сторін від вершин, з діагоналями паралелограма (рис. 8.10б). З'єднавши точки, отримаємо еліпс. Зазначимо, що еліпс у профільній площині буде відрізнятись орієнтацією, а у фронтальній – ще й розмірами.

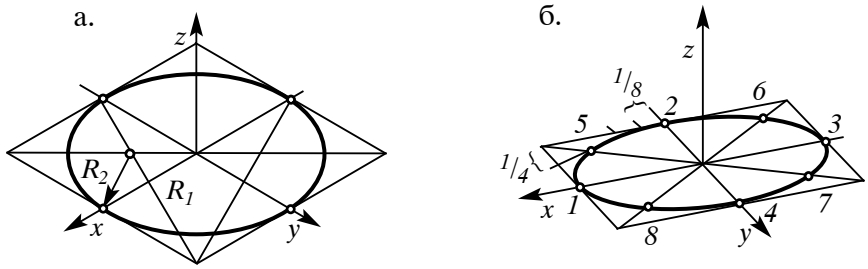


Рис. 8.10. Побудова горизонтального кола у прямокутних ізометрії та диметрії

Як бачимо, у прямокутній аксонометрії велика вісь еліпса є перпендикулярною до осі координат *z* (і цим користуються для визначення додаткових точок, про що йдеться нижче); в косокутній аксонометрії ця властивість відсутня.

Самоконтроль. Побудуйте зображення такого самого кола при його розташуванні у фронтальній площині.

Отже, побудова кола в ізометрії є точнішою, проте спосіб восьми точок є більш універсальним і може застосовуватись для будь-якого виду аксонометрії. У горизонтальній та профільній площинах більш наочними є ізометричні зображення, у фронтальній – диметричні.

Наведемо характеристики спотворення кола.

Для прямокутної ізометрії велика вісь еліпса становить 1,22 діаметра вихідного кола, а мала – 0,7 діаметра.

У прямокутній диметрії для горизонтального і профільного еліпсів ці величини становлять 1,06 та 0,33 відповідно, а для фронтального еліпса – 1,06 і 0,95.

Наголосимо, що це стосується кіл, паралельних площинам проекцій; при загальному розташуванні їх спотворення будуть іншими.

Наведені характеристики можна використати для визначення додаткових чотирьох точок, що зробить побудову еліпса більш точною.

Самоконтроль. Як виглядатимуть аксонометричні зображення сфери у прямокутних ізометрії та диметрії? Чи будуть вони різними? Чи впливає на це розташування вихідної сфери? Побудуйте зображення сфери діаметром 20 одиниць у цих проекційних системах.

8.3. Розв'язання задач

Спочатку – про метричні задачі.

Якщо треба визначити довжину відрізка, непаралельного осям *x, y, z,* або кут між прямими чи площинами загального положення, чи натуральну величину відсіку, то доцільно перейти до епюра Монжа і розв'язати задачу одним із способів, розглянутих у розділах 3 та 4. У деяких окремих випадках (зокрема, для косокутної аксонометрії) відображення на одну із вторинних проекцій є конформним; отже, можливим є розв'язання задачі шляхом переведення фігур у положення, паралельні таким проекціям.

У подальшому розглядатимуться тільки позиційні задачі. Відповідні побудови часто використовуються в інженерній графіці в кресленнях деталей або вузлів.

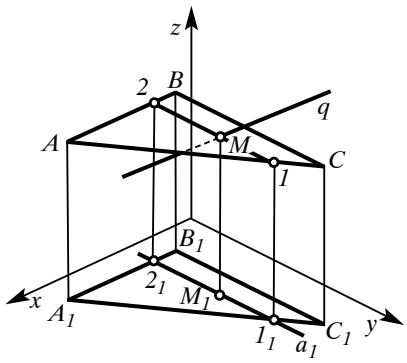


Рис. 8.11. Перетин прямої площиною

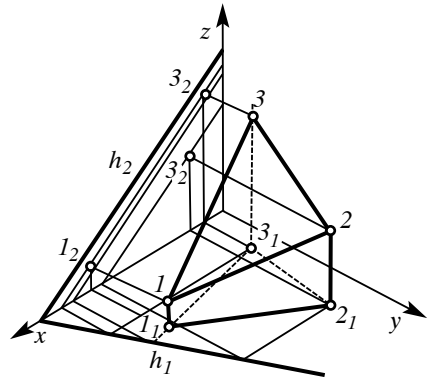


Рис. 8.12. Перетин вертикальної призми площиною

Задача 8.1. *Перетин прямої лінії з площиною* (рис. 8.11).

Використовується спосіб допоміжних січних площин. Проводимо вертикальну площину через пряму і фіксуємо точку перетину її сліду на (ABC) та прямої *a*; це і є аксонометрія точки перетину площини прямою. Визначаємо видимість. Повна аналогія з розв'язанням основної позиційної задачі на епюрі Монжа в розділі 3.

Задача 8.2. *Перетин вертикальної призми з площиною* (рис. 8.12).

Оскільки призма є горизонтально-проекціюючою, проекція лінії перетину збігається з зображенням основи. Будуємо проекцію призми на фронтальній площині. Проводимо через вершини основи фронтальні прямі і фіксуємо точки перетину з ребрами призми на фронтальній площині $1_2 – 3_2$. Повертаємо точки на аксонометричне зображення призми. З'єднуємо одержані точки та визначаємо видимість. Умови і розв'язання подібні до аналогічної задачі на епюрі Монжа (розділ 5).

Задача 8.3. *Визначення точок перетину конуса з прямою* (рис. 8.13).

Застосуємо проекціювання на площину основи конуса. Фіксуємо аксонометричні та вторинні зображення двох довільних точок прямої *a* і, проекціюючи їх з вершини S на горизонтальну площину, визначаємо нову горизонтальну проекцію *(1_{1H}, 2_{1H})*. Знаходимо точки її перетину основою конуса і, проводячи твірні до перетину з *a*, визначаємо точки перетину конуса прямою. Визначаємо видимість (див. розділи 5, 7).

При побудові точок перетину прямих іншими кривими чи гранними поверхнями (не конусами, циліндрами, призмами і пірамідами) слід застосовувати метод допоміжних січних площин, доцільність якого часто залежить від правильного вибору виду аксонометрії.

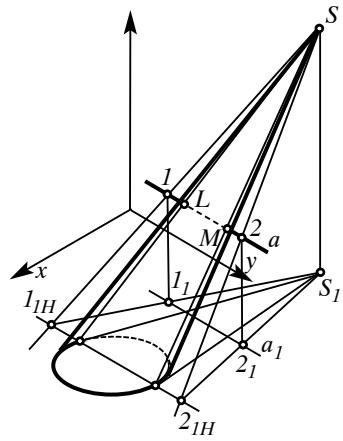


Рис. 8.13. Перетин кривої поверхні прямою лінією (косокутне допоміжне проекціювання)

Самоконтроль. Самостійно оберіть вид аксонометрії та зобразіть пряму лінію та напівсферу за умовами, даними на рис. 8.14. Знайдіть точки їх перетину і визначте видимість.

Задача 8.4. *Перетин конуса призмою* (рис. 8.15).

Призма є фронтально проекціюючою. Отже, побудови зводяться до фіксації характерних та проміжних точок на фронтальній вторинній проекції, проведення відповідних твірних на ній і в аксонометрії та передачі точок із вторинної проекції на аксонометричне зображення за допомогою ліній зв'язку (точки лежать на їх перетині твірними).

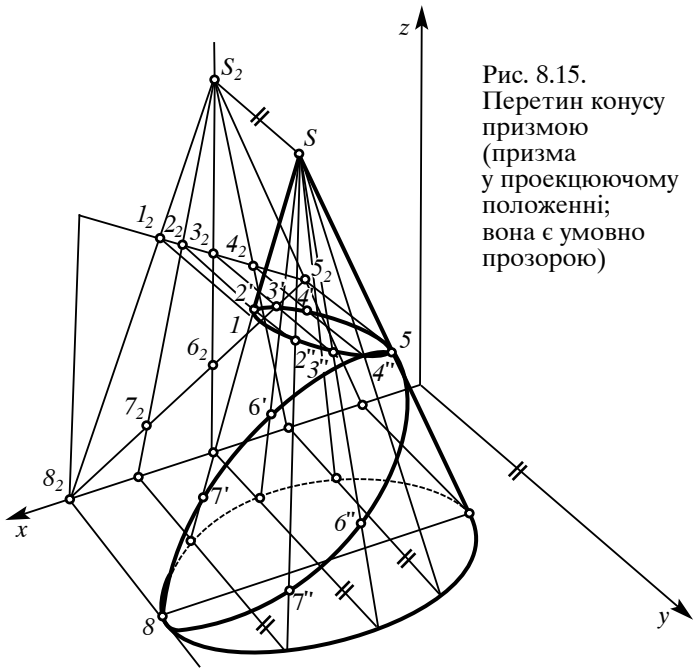


Рис. 8.15. Перетин конусу призмою (призма у проекціюючому положенні; вона є умовно прозорою)

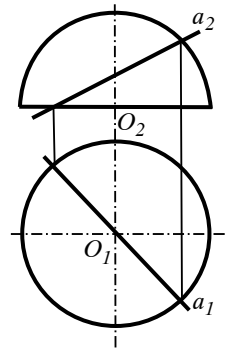


Рис. 8.14. Перетин напівсфери прямою лінією

При визначенні видимості істотним є те, що видимою є більша частина конуса). Слід зафіксувати контурні твірні, побудувати їхні вторинні проекції, знайти точки перетину призмою і повернути їх на аксонометричне зображення.

9. ПЕРСПЕКТИВА

Перспективні зображення – потужній інструмент архітектора, дизайнера, будівельника, який використовується для пошуку стилістичних та об'ємно-планувальних рішень, а також презентації проекту. Унікальними можливостями перспективи, особливо після створення програм автоматизації її побудови, є зображення ще не існуючих об'єктів з реальних точок зору, фотограмметрія, проектування інтер'єрів, розв'язання задач інсоляції і освітлення. Для ілюстрації скористуємось фотографіями історичних і сучасних споруд міста Києва, оскільки фотографічне зображення теж будується за законами перспективи.

9.1. Приклади

За допомогою перспективи:

● обробляються космічні та авіаційні знімки із метою створення карт місцевості (задачі фотограмметрії, рис. 9.1);



Рис. 9.1. Київ. Центральна частина міста

● створюються панорамні зображення і оцінюється, як впишеться споруда в рельєф місцевості й існуючу забудівлю (рис. 9.2);



Рис. 9.2. Забудова центральної частини Києва:
Залізничний вокзал – готель «Експрес» і Центральні залізничні каси

● аналізуються естетичні якості самих споруд, без їх прив'язки до оточуючого середовища (рис. 9.3 – 9.5);



Рис. 9.3.
Є. А. Маринченко, П. М. Жилицький, І. Г. Вайнер.
Палац «Україна», Київ, 1970 р.



Рис. 9.4.
«Замок Ричарда Левиного Серця» на Андріївському узвозі. Київ



Рис. 9.5.
В. В. Городецький. «Дім з химерами». Київ, 1902 р.

● проектуються фонтани, скульптурні композиції, окремі деталі (рис. 9.6 – 9.9);







Рис. 9.6. Фонтани Термена. Київ, початок XX ст.
До нашого часу їх збереглося лише чотири…

Самоконтроль. Спробуйте дати обґрунтовану оцінку забудівлі з точки зору стилістичної єдності і співвідношення з місцевістю – поліпшує чи погіршує вона ситуацію? Користуйтесь власним смаком. А може, хтось застосує давньокитайську методику фен-шуй? Або давньоіндійську васту?







Рис. 9.7. «Замок барона Штейнгеля». Київ, вул. Ярославів вал. Ще одне містичне місце – ця людина тут ніколи не жила



Рис. 9.8. М. О. Микешин, В. М. Ніколаєв. Пам'ятник Богдану Хмельницькому. Київ, 1888 р.

- фіксується історична забудова (рис. 9.10 – 9.11);



Рис. 9.10. Аскольдова могила. Київ



Рис. 9.9. І. П. Кавалерідзе, В. Г. Гнезділов. Пам'ятник Г. С. Сковороді, Київ, 1976



Рис. 9.11. Думська площа. Київ

- поновлюються зруйновані або знищені споруди (рис. 9.12);

Собор св. Михайла, закладений в 1108 р. онуком Ярослава Мудрого Святополком, був, можливо, першим храмом Київської Русі, куполи якого були позолочені. Про це свідчить його назва. Був неодноразово зруйнований і відбудований. Останнє руйнування сталося в 30-ті роки в ході реконструкції історичної частини міста. За проектом передбачалося зведення на місці собору симетричної до сучасного будинку МЗС споруди і пам'ятника В. І. Леніну (заввишки 70 м) між ними. Війна завадила реалізації цих планів. Відбудований 1998 р.



Рис. 9.12. Михайлівський Золотоверхий собор.
Київ, XII ст.: а. Дореволюційний вигляд.
б. Вигляд після відбудови 1998 р.

● оцінюється і «відчувається» інтер'єр. Чи надихає вас «візантизм і слов'янство» Софійського собору (рис. 9.13), чи чуєте ви восени Бранденбурзький концерт в залі органної та камерної музики (рис. 9.14)?



Рис. 9.13. Софійський собор. Київ, XI ст.



Рис. 9.14. Студент С. В. Валовський під керівництвом архітектора В. В. Городецького, Костьол св. Миколая. Київ, 1899–1909 рр.

Самоконтроль. Зверніть увагу на перспективу на кривих поверхнях ікон Богоматері Марії Оранти та Ісуса Христа Пантократора. Також зверніть увагу на відмінності перспективи на вертикальній площині (інтер'єр костьолу) та похилій площині (будівля костьолу). Погляньте на ці об'єкти в натурі приблизно з тих самих точок зору. Подумайте, які і за рахунок чого виникли спотворення в перспективі. Порівняйте враження від фотографій з «живим» враженням від споруд.

9.2. Класифікація

На останніх малюнках, а також у розділі 1, можна побачити різні за способом передачі розмірів, носієм зображення, технікою виконання і призначенням види перспективи. Ці ознаки і лежать в основі класифікації перспективних зображень (рис. 9.15).



Рис. 9.15. Види перспективних зображень

Із перелічених видів найчастіше використовується лінійна перспектива на вертикальній площині – оскільки вона будується найпростіше.

9.3. Перспектива на вертикальній площині

В розділі 2 відзначалося, що перспектива є окремим випадком методу двох зображень, отже, має властивість зворотності. Апарат і назви його елементів дані на рис. 2.6.

Перспектива – найближчий до особливостей людського зору спосіб проекціювання; основною вимогою до неї є забезпечення реалістичності зображення. Для цього потрібні *обмеження щодо взаємного розташування об'єкту, точки зору і картинної площини.* В ідеалі ці обмеження мали б збігатися з полем найкращого огляду, яке характеризується кутами до 14° від вісі зору. Проте знайти відповідну точку зору в умовах міської забудови буває важко. Це ж стосується і композиції на аркуші. Тому обмеження у горизонтальній площині беруться більш широкими – $\alpha=20° – 50°$ (рис. 9.16а). Слід також мати на увазі, що при великих кутах зображення буде занадто «різким», прямі кути будуть істотно спотвореними, а при малих – «спокійним», схожим на ортогональні проекції.

З міркувань реалістичності, головний промінь розташовується у середній третині кута і направляється приблизно на середину головного фасаду. Висоту точки зору приймають на рівні ока людини або «на висоті пташиного польоту». По вертикалі поле огляду зручніше характеризувати половиною кута φ, від вісі зору до верхньої точки огляду. Ця величина має складати $\varphi/2 \leqslant 40°$ (рис.9.16б). Відзначимо, що навіть за дотримання цих умов, лінійна перспектива все-таки не буде відповідати багатьом іншим особливостям зору. Докладніше про це сказано у 9.5В.

А. Перспектива прямих і точок

Розглянемо побудову перспективи на наочному зображенні (рис. 9.17). Перспективою т. А є точка перетину променю, що з'єднує А з точкою зору S, з картиною – A_K. Для її побудови з'єднаємо проекцію S на предметній площині S_1 з горизонтальною проекцією A_1 і з точки перетину S_1A_1 з картиною проведемо вертикальну пряму до перетину з променем SA. Це і буде т. A_K. Зображення прямої АВ отримаємо, провівши аналогічні побудови для т. В. Звернемо увагу, що $A_{1K}B_{1K}$ є перспективою горизонтальної проекції цієї прямої. Звідси випливає перший спосіб побудови перспективи точки – за допомогою горизонтальних проекцій проекціюючого променю і вертикальної лінії, проведеної із точки його перетину з основою картини.

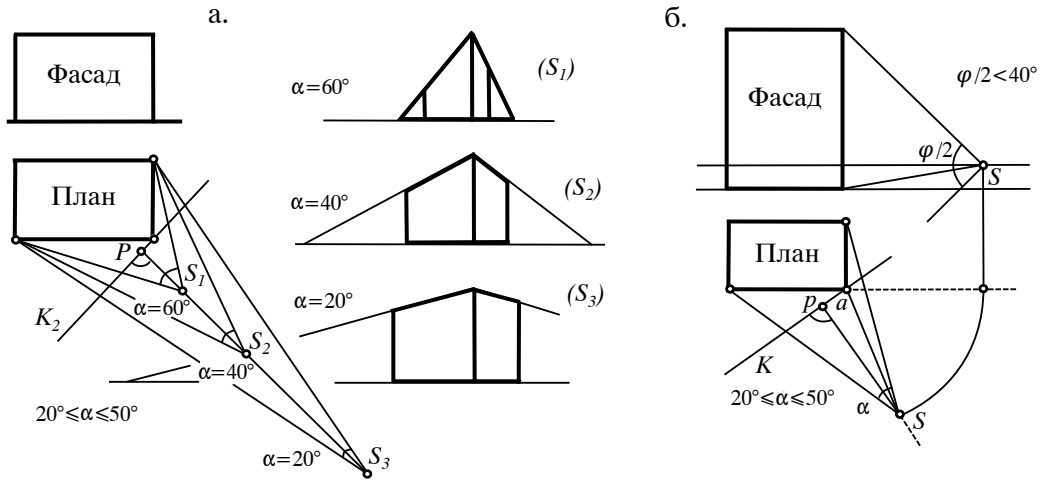


Рис. 9.16. Обмеження щодо розташування обєкту, точки зору і картини

Але використовувати схему, показану на рис 9.17, не завжди зручно. Для фіксації окремих точок простіше використовувати прямі окремого або загального положення, які перетинаються в цій точці. Слід знати, що ***точки збігу***, тобто *перспективи невласних точок*, розташовуються:

- для *горизонтальних прямих* – на лінії горизонту (рис. 9.18а); якщо вони *розташовані під кутом 45° до картини* – в дистанційних точках (рис. 9.18б);
- для *прямих, перпендикулярних до картини* – в головній точці Р картини (рис. 9.18в);
- для *паралельних прямих* – в точці, яка є точкою перетину проекціюючого променю, проведеного з точки зору паралельно даним прямим, з картиною (рис. 9.18г).

● *прямі, вторинні проекції яких проходять через горизонтальну проекцію точки зору*, зображуються як вертикальні прямі (рис. 9.19а);

● *прямі, паралельні до картини*, не мають власних картинних слідів і зображуються паралельно самим собі (рис. 9.19б).

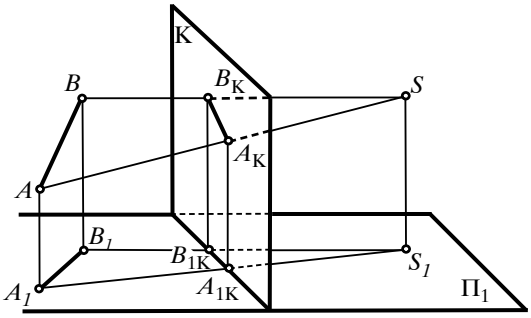


Рис. 9.17. Перспектива точок та відрізку

Б. Використання прямих окремого положення при побудові перспективи

Задача 9.1. *Побудова перспективи горизонтального та вертикального багатокутників* (рис. 9.20).

Багатокутниками є плани та фасади багатьох споруд; у процесі побудови перспективи вони використовуються як вторинні проекції. Тому важливо розібратися, як прямі окремого положення застосовуються для фіксації їх кутових точок (у подальшому точки, які визначають контур плоских чи об'ємних фігур, будемо називати ***опорними***).

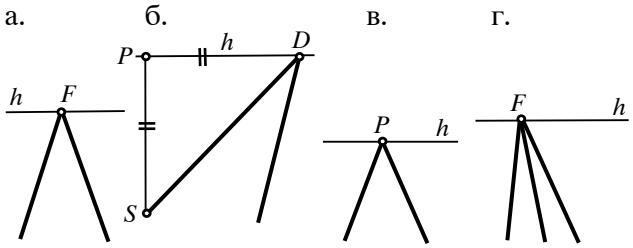


Рис. 9.18. Розташування точок збігу прямих окремого положення

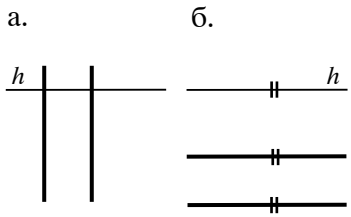


Рис. 9.19. Зображення прямих окремого положення

На рис. 9.20 сторони однакових багатокутників паралельні та перпендикулярні до картинної площини. Точкою збігу сторін, перпендикулярних до картини, є головна точка картини, а точкою збігу сторін, паралельних картині, невласна точка. Для фіксації опорних точок можна скористатися горизонтальними допоміжними прямими довільного напряму, а також прямими, перпендикулярними до картини.

Побудова ведеться у такій послідовності:

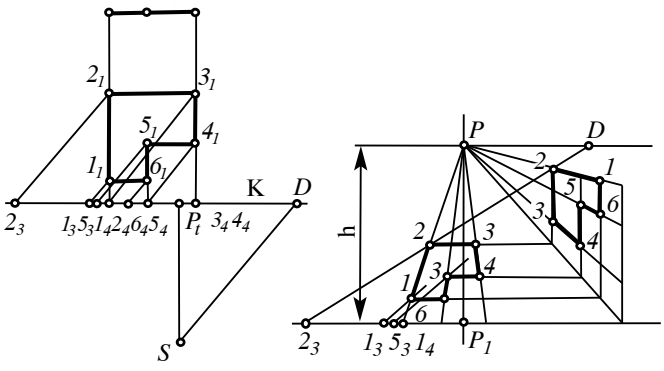


Рис. 9.20. Перспектива горизонтального і вертикального багатокутників

1) спочатку, виходячи із вимог реалістичності, визначається апарат – головний промінь, точка зору, картина, основа картини, лінія горизонту. Точку зору слід взяти достатньо високо, щоб зображення не було занадто стиснутим.

2) фіксуються опорні точки – проводимо через них перпендикулярні до картини прямі та прямі під кутом 45° до картини;

3) будується основа картини і лінія горизонту. На основі визначаємо точку відліку P_t у місці перетину горизонтальної проекції головного променю з основою і відкладаємо від неї точки $1_3 – 6_3$ та $1_4 – 6_4$. На лінії горизонту визначаємо розташування точок P та D.

4) проводяться допоміжні горизонтальні прямі – перпендикулярні та нахилені під кутом 45° до картини. Їх точками збігу будуть точки P та D. В місцях їх перетину знаходимо опорні точки 1 – 6. 5) з'єднуючи опорні точки, отримуємо перспективу горизонтального багатокутника;

6) при побудові вертикального багатокутника використано проекційні зв'язки між перспективами горизонтальної і профільної проекцій, а також той факт, що належна до картини вертикальна лінія буде відповідати висоті багатокутника.

Звернемо увагу на те, що розміри багатокутників *зменшилися* в порівнянні з натуральними. Такий ефект має місце, оскільки фігури розташована *за картиною*; при розташуванні *перед картиною розміри збільшаться;* при розташуванні *в картинній площині – не зміняться*.

Задача 9.2. *Побудова перспективи плоскої кривої* (рис. 9.21).

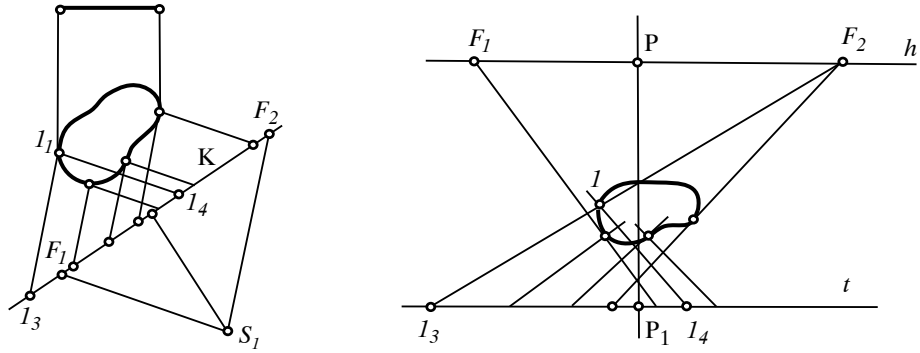


Рис. 9.21. Побудова перспективи плоскої кривої

Крива лінія не має домінуючих напрямів, тому перспективуїїточок будують способом ***подвійного допоміжного проекціювання на картину*** із використанням довільних горизонтальних прямих. Кожна з обраних опорних точок проекціюється двічі – у напрямах, обраних так, щоб їх точки збігу були в межах аркуша креслення, наприклад, для точки 1_1 – у напрямах $1_1–1_3$ та $1_1–1_4$. Проекції точок переносять на основу картини, а точки P, F_1 і F_2 – на лінію горизонту. Проводять допоміжні прямі, точки перетину яких визначають розташування опорних точок кривої.

Самоконтроль. Покажіть і назвіть всі прямі окремого положення на рис. 9.20, 9.21, які використовувались при побудовах.

В. Пропорційні поділи та вимірювання

На перспективних зображеннях метричні задачі розв'язуються значно складніше, ніж на ортогональних або аксонометричних; що ж стосується пропорційних поділів, то їх трудомісткість приблизно однакова. Відтак є сенс замінювати прямі виміри на пропорційні поділи там, де це тільки можливо –

наприклад, при визначенні розмірів і розташування рядів вікон, колон, арок, розстановці світильників уздовж доріг тощо – відкладаючи розміри лише там, де без цього неможливо обійтись.

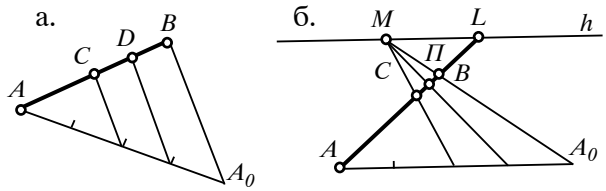


Рис. 9.22. Теорема Фалеса:
а. На епюрі Монжа; б. Для перспективного зображення на вертикальній площині

Пропорційні поділи здійснюються за допомогою використання перспективного аналога теореми Фалеса (рис. 9.22). Як на рис. 9.22а, так і на рис. 9.22б, відрізок АВ ділиться точками С і D у відношенні 2:1:1 за допомогою паралельних прямих. Уся відмінність полягає у тому, що паралельні прямі у перспективі мають точку збігу М, яка знаходиться на перетині відрізку A_0B з лінією горизонту. Зверніть також увагу, що допоміжна пряма AA_0, вздовж якої відкладаються відстані, не повинна мати глибинних спотворень довжини, тобто має бути паралельною до лінії горизонту.

Задача 9.3. Побудова вікон на фасаді (рис. 9.23).

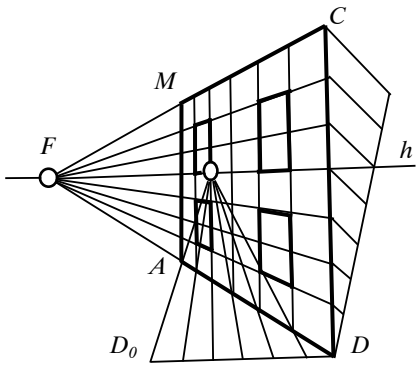


Рис. 9.23. Використання пропорційного поділу для побудови вікон на фасаді

Нехай на фасаді співвідношення вікон і простінків описується такими пропорціями: у горизонтальному напрямі – 1:1:2:1:1, а у вертикальному – 1:2:1:2:1. За ортогональними проекціями будуємо перспективу фасаду. Проводимо горизонтальну пряму і відкладаємо вздовж неї 8 однакових відрізків. Через кінець останнього – т. D_0 – проводимо пряму D_0A до перетину із лінією горизонту *h*, отримуючи т. М. Проводячи паралельні прямі через кінці всіх відрізків і точку їх збігу М, ділимо відрізок DA у потрібному відношенні. Ділимо вертикальний відрізок DC у заданому відношенні, використовуючи теорему Фалеса. Будуємо контури всіх вікон.

Самоконтроль. Чому при поділі вертикального відрізку DC не використовувалися точки збігу?

При розв'язанні задач досить часто треба ділити навпіл протилежні сторони прямокутника. Для цього доцільно використати таку властивість: *лінії, проведені через точку перетину діагоналей прямокутника паралельно до його сторін, ділять протилежні сторони прямокутника навпіл* (рис. 9.24а). На рис. 9.24б показано, як виглядає ця властивість у перспективі.

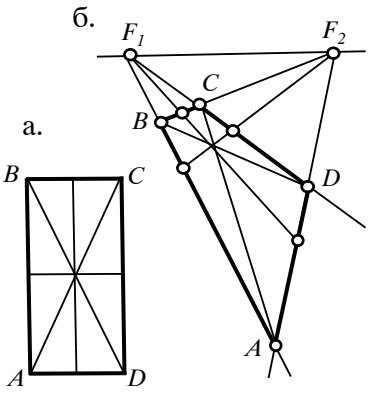


Рис. 9.24. Поділ протилежних сторін прямокутника навпіл

Задача 9.4. *Побудова перспективи кола* (рис. 9.25).

Простіше за все побудувати перспективу кола скориставшись способом восьми точок.

Будуємо перспективу квадрату (рис. 9.25а), у який впишемо фігуру. Будуємо перспективу квадрату. Проводимо діагоналі квадрата і з'єднуємо точку їх перетину з точками збігу. Точки перетину цих

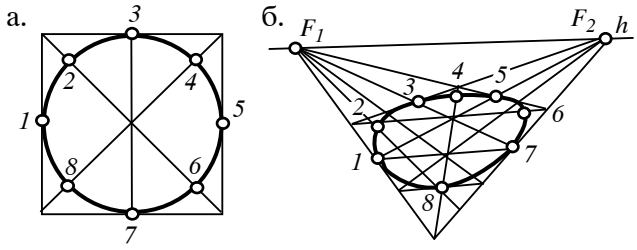


Рис. 9.25.
Побудова перспективи кола

прямих з сторонами дадуть точки, що лежать на серединах сторін. Це будуть чотири точки кола. Далі повторюємо такі ж операції до поділу сторін на 4 і 8 частин, або застосовуємо перспективний аналог теореми Фалеса. В кінцевому підсумку, це дасть ще чотири точки на діагоналях квадрату. Через ці вісім точок проводимо коло (рис. 9.25б).

В залежності від розташування точки зору, коло буде зображатися різними фігурами: еліпсом, якщо вона знаходиться поза колом (рис. 9.25), параболою, якщо належить колу, гіперболою, якщо знаходиться всередині кола. Такі варіанти виникають при побудові перспектив інтер'єрів, діорам, тощо.

Тепер розглянемо операції відкладання відрізків заданої довжини, *паралельних до координатних осей.* Вони виконуються окремо для кожної із осей.

Задача 9.5. *Відкладання відрізку заданої довжини, паралельного до осі z* (рис. 9.26).

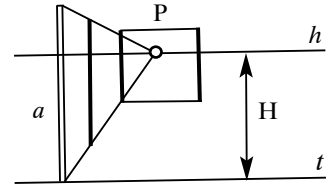


Рис. 9.26. Відкладання вертикального відрізку заданої довжини

Вісь *z* направлена вертикально. Відкладаємо відрізок заданої довжини *a* (показаний подвійною лінією) у картинній площині від основи картини. Проводимо перпендикуляри з його кінців до лінії горизонту. Як уже відзначалося (рис. 9.18в), їх точкою збігу буде т. Р. Усі вертикальні відрізки між цими перпендикулярами, а також інші вертикальні відрізки, зафіксовані за допомогою ліній, паралельних до лінії горизонту, будуть мати довжину, яка дорівнює *a*. На рис. 9.26 вони позначені товстими лініями. Такі відрізки називаються ***висотними***. У натуральну величину також відображається висота точки зору Н. Цей факт використовується для поновлення втрачених розмірів будівлі за допомогою фотографій або інших перспективних зображень.

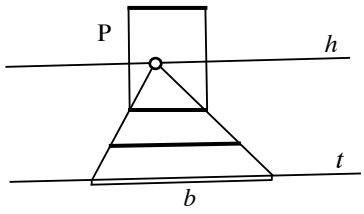


Рис. 9.27. Відкладання широтного відрізку заданої довжини

Задача 9.6. *Відкладання відрізку заданої довжини, паралельного до осі x* (рис. 9.27).

Вісь *x* направлена паралельно до основи картини. Відкладаємо відрізок заданої довжини *b* (показаний подвійною лінією) на основі картини. Проводимо перпендикуляри з його кінців до лінії горизонту. Їх точкою збігу буде т. Р. Усі відрізки між цими перпендикулярами, а також інші горизонтальні відрізки, зафіксовані за допомогою вертикальних ліній, будуть мати довжину, яка дорівнює *b*. На рис. 9.27 вони позначені товстими лініями.Такі відрізки називаються ***широтними***.

Задача 9.7. *Відкладання відрізку заданої довжини, паралельного до осі y (рис.9.28).*

Вісь y направлена перпендикулярно до основи картини. Такий напрям називається ***глибинним***. Щоб розібратися, як будуються глибинні відрізки, поглянемо на площину горизонту зверху (рис. 9.28а). Якщо побудувати квадрат SPDC

і провести діагональ SD, то утвориться рівнобічний трикутник SDC із рівними сторонами SC та DC. При цьому будь-який відрізок вздовж лінії SC буде рівним відрізку, отриманого в результаті перетину перпендикуляру, проведеного з його кінця до лінії горизонту, з діагоналлю SD. Наприклад, $|SA| = |AA_0|$, $|SB| = |BB_0|$ і т.д.

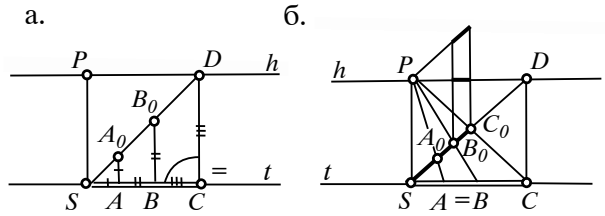


Рис. 9.28. Відкладання глибинного відрізку заданої довжини

Тепер будуємо перспективу цього квадрату, визначивши точки S, P, D та C (рис. 9.28б). Нанесемо на основі картини відрізок SA заданої довжини *c*. Проведемо з точки A глибинну пряму. Її точкою збігу буде точка P (рис.9.18в). Проведемо діагональ SD. Він перетне AP у точці A_0. Довжина SA буде дорівнювати AA_0, так само, як і інших глибинних відрізків, позначених товстими лініями і зафіксованих за допомогою вертикальних ліній.

Самоконтроль. Порівняйте рис. 9.28б із рис. 9.22б. Знайдіть аналогії і поясніть відмінності. Визначіть натуральну величину довільного відрізку на рис. 9.28.

Г. Координатний спосіб побудови перспективи (спосіб перспективної сітки)

Пропорційні поділи та відкладання вертикальних, горизонтальних та глибинних відрізків використовуються для побудови координатної сітки, до вузлів якої зручно прив'язувати опорні точки тих чи інших об'єктів при побудови перспективи складної сцени, наприклад, перспективи мікрорайону або природного рельєфу. Маючи прив'язку опорних точок, можна спрощено, без точних побудов показувати окремі деталі.

Суть методу полягає в тому, що об'єкти прив'язуються до координатної сітки, побудованої на осях *x, y, z,* причому вісь *x* (***масштаб широт***) збігається з основою картини, вісь *z* (***масштаб висот***) є вертикальною прямою картини, а вісь *y* (***масштаб глибин***) має точку збігу на лінії горизонту в точці перетину головного променю з картиною.

Відтак, вздовж *x* і *z* відкладаються натуральні одиниці виміру; вздовж у їх фіксують за допомогою дистанційної точки. Покажемо, наприклад, побудову прямокутної горизонтальної сітки із сторонами 60 і 30 одиниць.

Фіксуємо точки S, P, та D. Проводимо через точку S горизонтальну пряму, визначаємо на ній точки A і B на відстані 30 одиниць від точки S. Проводимо лінії AP, BP та діагональ SD. Точка перетину SD із BP зафіксує глибинну відстань у 30 одиниць. Далі проводимо горизонтальні і глибинні лінії сітки з кроком, наприклад, 10 одиниць (можна використати пропорційні поділи). Отримаємо перспективну сітку. Така сітка може бути доповнена вертикальними координатами. Проводимо вертикальний відрізок AC довжиною, наприклад, 40 одиниць. Фіксуємо вертикальні і глибинні лінії сітки. Тепер ми можемо легко побудувати перспективу точки із будь якими координатами, при необхідності проводячи додаткові координатні лінії, як для точки E (25, 20, 25), показаної на рис. 9.29.

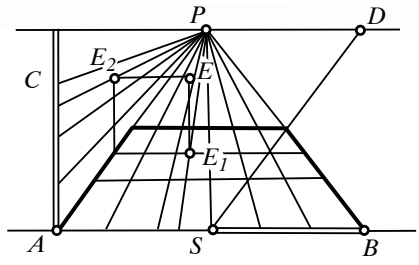


Рис. 9.29. Побудова перспективної сітки

Відзначимо, що для побудови глибинних відрізків інколи зручно використовувати не самі дистанційні точки, а точки, які знаходяться на відстані 1/2 або 1/4 від відстані SP. У цих випадках клітинки стають прямокутними, а їх глибина буде перевищувати широту удвічі та у чотири рази відповідно.

Задача 9.8. *Перспектива забудівлі* (рис. 9.30).

Визначаємо розташування головного променя, картини, лінії горизонту, дистанційних точок, осей координат. Будуємо координатну сітку. Визначаємо координати характерних точок споруд (рис. 9.30а).

Далі будуємо перспективну сітку. Широтні і глибинні координати точок, які не збігаються з вузлами сітки, відкладаємо за допомогою візуальної інтерполяції; вертикальні – спрощено, як показано на рис. 9.30б. З'єднуємо характерні точки і визначаємо видимість (рис. 9.30в).

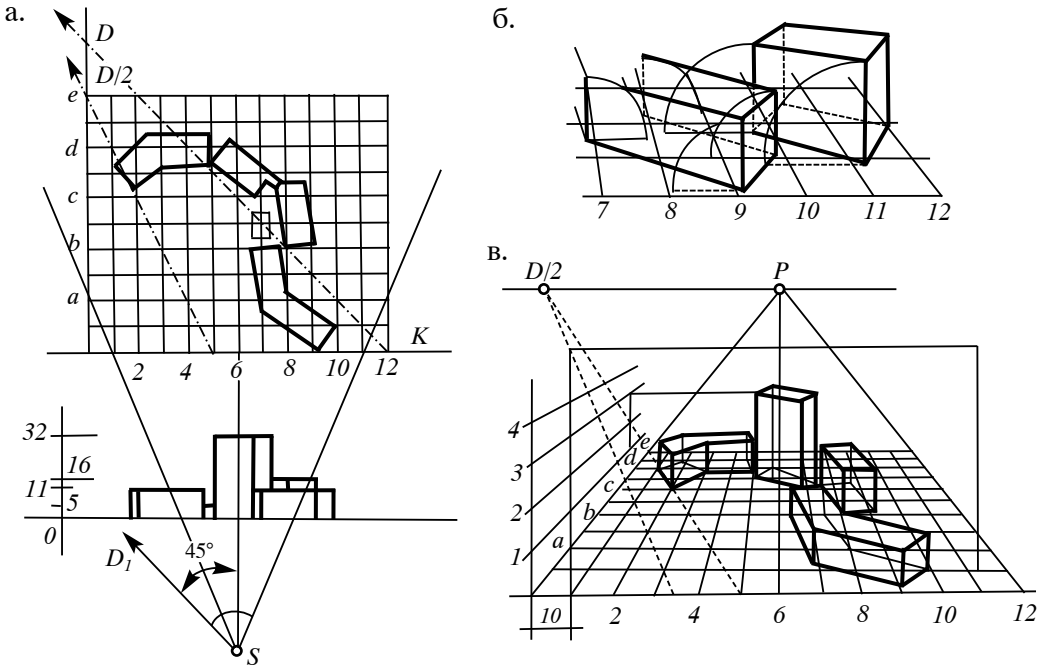


Рис. 9.30. Перспектива забудівлі із застосуванням перспективної сітки

Самоконтроль. Побудуйте цим способом перспективу прямого кругового циліндру з висотою, яка дорівнює діаметру основи, взявши точку зору на висоті, рівній трьом діаметрам основи.

Д. Побудова перспективи багатогранників. Радіальний спосіб. Спосіб бічної стіни

Багатогранники є формами будівель, або їх елементами, а також використовуються як допоміжні при побудові складних архітектурних форм.

Задача 9.9. *Побудова перспективи піраміди радіальним способом* (рис. 9.31).

Якщо є фасад і план піраміди та визначено апарат перспективи так, що картинна площина є профільною, перспективне зображення можна будувати як показано на рис. 9.31. Такий спосіб є зрозумілим і наочним. Але з відносної складності композиції його використовують досить рідко.

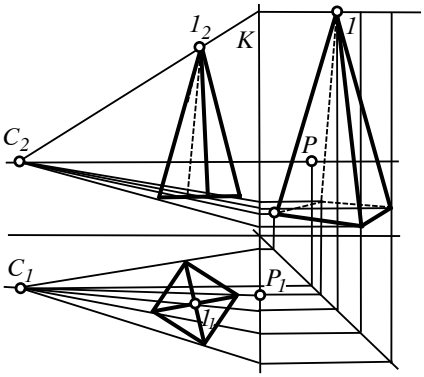


Рис. 9.31. Перспектива піраміди

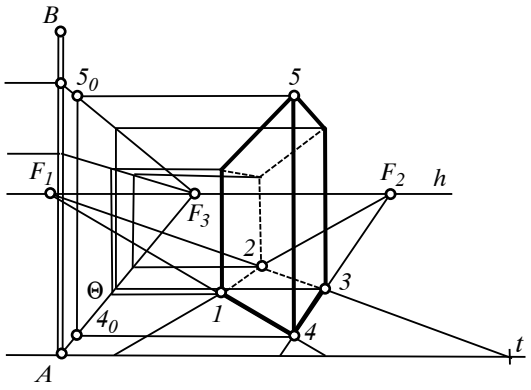


Рис. 9.32. Перспектива призми

Задача 9.10. *Побудова перспективи призми методом бічної стіни* (рис. 9.32).

Визначається апарат перспективи, лінії горизонту і основи, головна точка картини. Будується перспектива основи, для чого використовуються картинні сліди і точки збігу сторін. Будується бічна стіна – довільна вертикальну площина, що задається точкою збігу горизонтальних прямих F_3(одна з них належить предметній площині) та картинним слідом, який є вертикальним відрізком натуральної величини АВ. На цьому відрізку відкладаються висоти опорних точок основи 1–4, які переносяться на вертикальні ребра так, як це показано на рис. 9.26 для т. 4. Через опорні точки проводяться лінії контуру багатогранника. Спосіб бічної використовується тоді, коли лінія горизонту є достатньо високою для побудови точного плану будівлі.

Є. Побудова перспективи будинку. Спосіб архітекторів

При побудові перспективи реальних споруд, що характеризуються наявністю домінуючих напрямів та розвиненою структурою фасаду, застосування радіального способу та способу бічної стіни стає недоцільним, особливо коли неможливо побудувати точну перспективу плану будівлі. Тоді застосовується спосіб архітекторів, основними ознаками якого є:

- використання точок збігу домінуючих напрямів;
- порівняно простий план і складний фасад;
- застосування пропорційних поділів для побудови окремих деталей.

Задача 9.11. *Побудова перспективи одноповерхового будинку* (рис. 9.33).

Спрощене зображення будинку на рис. 9.33, тим не менш, показує складові частини споруди – цоколь, стіни, покрівлю, а також вікна, двері та ганок.

Спочатку визначаємо апарат перспективи – точку зору, головний промінь, картинну площину на плані та положення лінії горизонту на фасаді.

Після цього знаходимо точки збігу домінуючих напрямів F_1 та F_2. Вертикальні ребра проекціюємо з точки зору на картину.

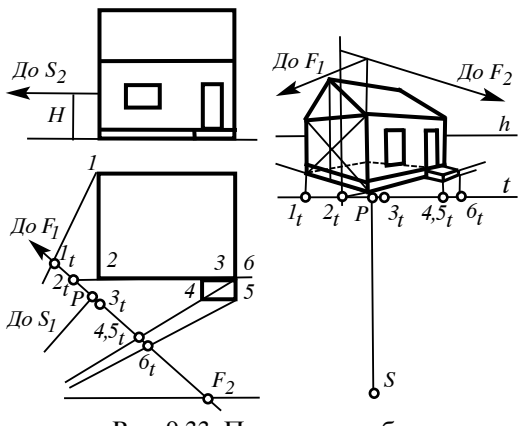


Рис. 9.33. Перспектива будинку

На перспективному зображенні розміщуємо лінію горизонту та головну точку Р. Потім на лінію горизонту переносимоточки збігу F_1 та F_2. Оскільки жодне з вертикальних ребер не знаходиться у картині, для визначення висот використовується вертикальна лінія картини, що проходить через т. 2. Висотні позначки відкладаються вздовж неї, і передаються на зображення шляхом проведення паралельних прямих відповідних напрямів.

Будуємо стіни, потім покрівлю, потім цоколь, вікно, двері і ганок. Розташування вікна, дверей, цоколю і скатів даху визначаємо за допомогою пропорційного поділу, беручі потрібні дані із ортогональних креслень плану і фасаду будинку.

Ж. Перспектива простих криволінійних поверхонь

Такі поверхні, здебільшого циліндричної, конічної або сферичної форми, широко представлені як в архітектурі, так і дизайні. Прикладами є колони, вежі, шпилі, зводи, ножки меблів тощо. Крім того, вони використовуються як допоміжні при побудові більш складних поверхонь.

Задача 9.12. *Побудова перспективи прямого кругового циліндра* (рис. 9.34).

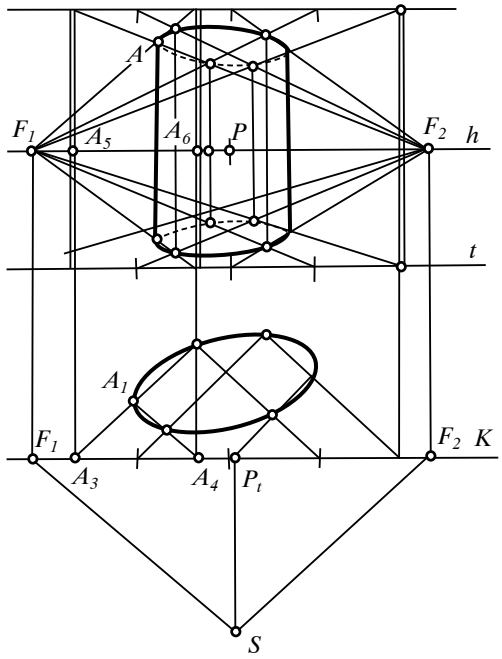


Рис. 9.34.
Перспектива прямого кругового циліндра

Можливі два варіанти побудови.

Перший. Будуємо перспективу нижньої основи циліндру згідно рис. 9.25. Фіксуємо декілька точок отриманого еліпсу за допомогою двох сімей паралельних прямих з точками збігу F_1 та F_2. Визначаємо висоту циліндру методом бічної стінки. Фіксуємо точки верхньої основи за допомогою прямих, паралельних до відповідних ліній нижньої основи і спільних точок збігу. Будуємо верхню основу. Проводимо вертикальні лінії контуру циліндру.

Другий. Для фіксації декількох опорних точок основи та висоти циліндра використовуємо подвійне допоміжне проекціювання на картинну площину згідно рис. 9.21, як, наприклад для т. А. Опорні точки верхньої основи знаходяться у місцях перетину двох сімей горизонтальних прямих, проведених на відстані висоти циліндру від предметної площини, які мають точки збігу F_1 та F_2 відповідно. Саме цей варіант показано на рис. 9.34.

Самоконтроль. Вигляд якої фігури може мати перспектива сфери? Спробуйте встановити зв'язок між розташуванням точки зору і виглядом сфери.

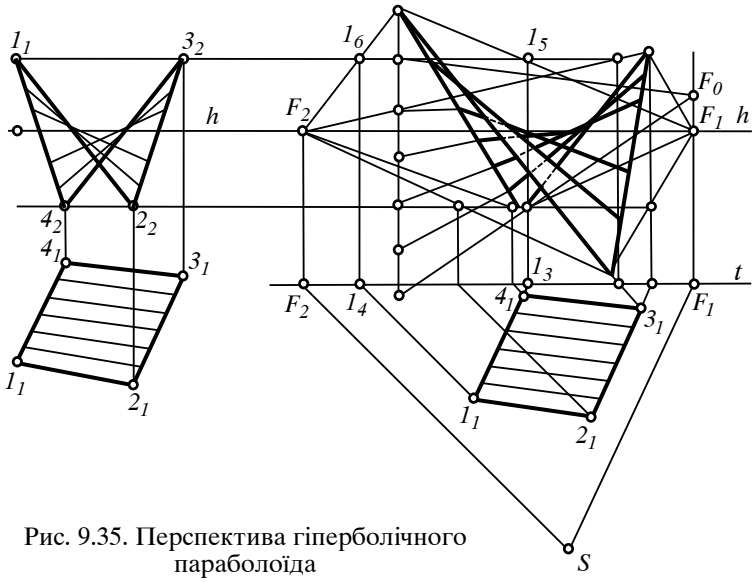


Рис. 9.35. Перспектива гіперболічного параболоїда

Задача 9.13. *Побудова перспективи гіперболічного параболоїда* (рис. 9.35).

Допоміжне проекціювання на картинну площину доцільно і в цьому випадку.

Горизонтальна проекція поверхні зсувається праворуч для того, щоб зберегти проекційний зв'язок між точками на плані та у перспективі. Будується зображення опорних точок 1–4 відрізків напрямних поверхні, для чого кожну з них двічі проекціюють на картину у напрямі напрямних та довільно. Точками збігу цих напрямів є точки F_1 та F_2 відповідно.

Проекціями будь-якої опорної точки у плані є точки перетину променів допоміжного проекціювання з картиною. Проводимо від них вертикальні лінії, а відстані від лінії горизонту передаємо із фронтальної проекції. Перспективні зображення опорних точок знаходяться на перетині допоміжних променів, проведених через отримані щойно точки і точки збігу.

Для побудови твірних напрямні розбиваються на рівні частини за допомогою пропорційного поділу, а отримані точки однієї з напрямних з'єднуються із відповідними точками іншої напрямної.

3. ***Побудова перспективи архітектурних форм та предметів інтер'єру*** є досить трудомістким процесом, який можна порівняти із виконанням детального малюнку з натури. У таких випадках слід ретельно продумати найбільш раціональну послідовність побудови, яка скоротить кількість необхідних дій і зменшить ймовірність помилок. Загальним правилом є таке:

1. Визначаються прості фігури, які формують об'єкт, або у які вписується об'єкт;

2. Виходячи з умов найкращого огляду, визначається апарат перспективи;

3. Будується перспектива простих фігур;

4. Здійснюються пропорційні поділи, проводяться фіксовані лінії або кола, будуються допоміжні профілі тощо;

5. За допомогою здійснених побудов будуються основні деталі об'єкту;

6. Точна побудова перспективи *другорядних* деталей об'єкту є, як правило, недоцільною – при великій кількості побудов накопичуються похибки і падає точність. Тому доцільно просто *промальовувати* другорядні деталі без точних побудов, вписуючи їх у загальну перспективу об'єкту.

Задача 9.14. *Перспектива сходів* (рис. 9.36).

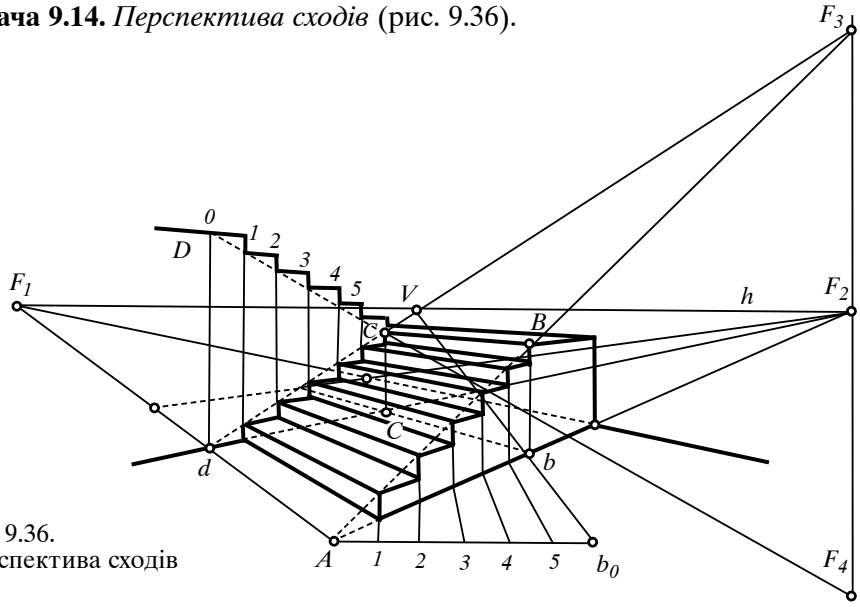


Рис. 9.36.
Перспектива сходів

Здійснюємо побудови у такій послідовності. Визначаємо апарат перспективи – основу картини, лінію горизонту, точки збігу домінантних напрямів. Визначаємо та відкладаємо горизонтальні і вертикальні розміри сходинок та площадок. Для визначення ширини сходинок використовуємо додаткову точку збігу F_3, а для спрощення побудови віддаленого маршу – точку F_4, симетричну до F_3 відносно лінії горизонту.

Задача 9.15. *Перспектива аркади* (рис. 9.37).

Тут доцільно використати метод перспективної сітки.

Будуємо сітку по числу арок, відкладаючи у широтному напрямі відрізки, рівні половині ширини пройм. Таку ж величину мають відстані між проймами. На вертикальній прямій у картинній площині фіксуємо необхідні висотні позначки. Будуємо окремі арки, використовуючи розглянуті вище способи побудови кіл.

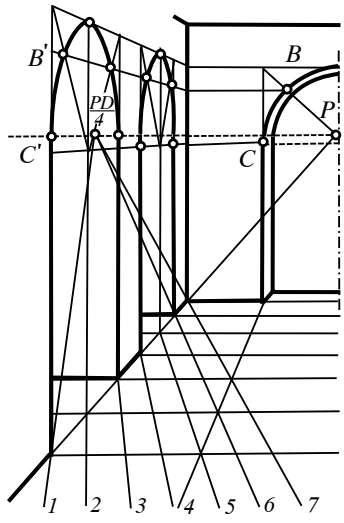


Рис. 9.37. Перспектива аркади

Задача 9.16. Перспектива мосту (рис. 9.38).

Фіксуємо декілька характерних точок арки мосту – вона не є колом. Будуємо перспективу точок, що визначають лінії берегів, основу арки, висоту арки та її окремих точок.

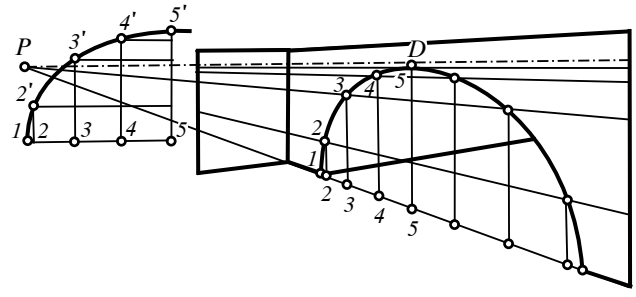


Рис. 9.38. Перспектива мосту

На основі арки визначаємо проекції характерних точок, використовуючи пропорційні поділи. На перетині вертикальних ліній, проведенних з цих точок, і горизонтальних ліній, що передають висоти, знаходимо розташування характерних точок. Малюємо арку.

Задача 9.17. *Перспектива деталей колон* (рис. 9.39).

Класичні колони не є просто паралелепіпедами або циліндрами, а мають декілька узгоджених частин, що утворюють той чи інший ордер – коринфський, доричний тощо. Розглянемо побудову таких частин та їх деталей для прямокутної колони (пілон – карниз).

Спочатку будуємо паралелепіпед і ділимо його на дві частини, у які впишемо пілон і карниз. Проводимо допоміжні бісекторні прямі *a, b, c,* які допоможуть здійснити подальші побудови. За допомогою пропорційних поділів і бісекторних прямих визначаємо габарити пілону та карнизу (рис. 9.39а). Далі задаємо профілі карнизу, для чого, знову використовуючи бісекторні прямі, будуємо відсіки бісекторних площин. Використовуючи пропорційні поділи у горизонтальному і вертикальному напрямах, визначаємо розташування опорних точок профілів. Будуємо профілі. Визначаємо контури пілону і карнизу (рис. 9.39б).

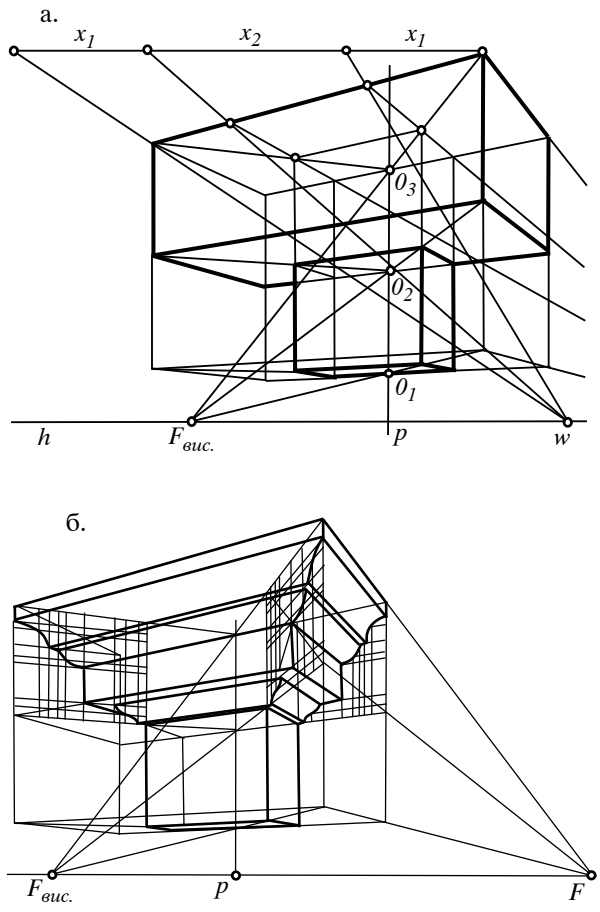


Рис. 9.39.
Перспектива деталей прямокутної колони

Задача 9.18. *Перспектива архівольту арки* (рис. 9.40).

Задаємо п'ять перерізів арки. Визначаємо профілі у цих перерізах: спочатку будуємо прямокутники, а потім, використовуючи пропорційний поділ, вписуємо до них точні профілі. З'єднуючи опорні точки профілів, отримуємо зображення арки.

Задача 9.19. *Перспектива вази* (рис. 9.41).

Розташовуємо горизонтальні квадрати у місцях, що визначають опорні точки профілю. Будуємо перспективу кожного з них і вписуємо в них кола. Визначаємо контур вази як огинаючи лінію кіл, вписаних у ці квадрати.

Таку ж допоміжну конструкцію зручно використовувати для побудови перспективи об'єктів, які являють собою поверхні обертання – глечиків, ваз, тарілок та інших побутових речей, або веж, шпилів, дзвіниць та інших архітектурних форм.

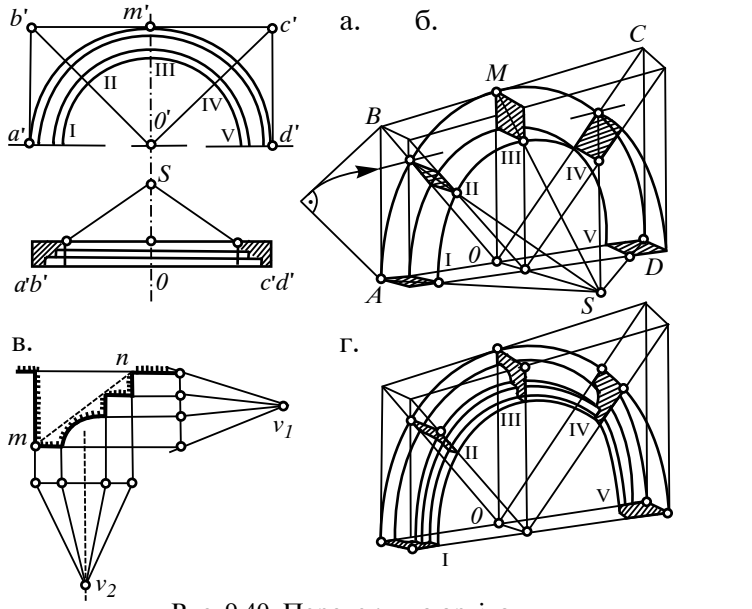


Рис. 9.40. Перспектива архівольту

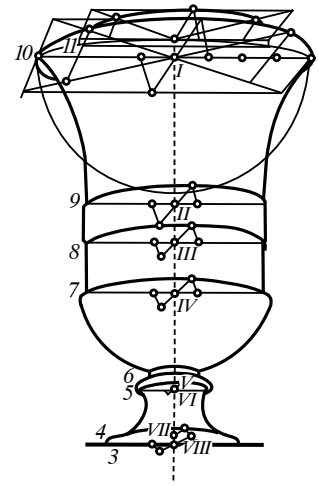


Рис. 9.41.
Перспектива вази

Використання комп'ютерних програм із розвиненими засобами геометричного моделювання, таких, як 3D Studio Max (розділ 21), значно зменшує трудомісткість подібних побудов.

І. Перспектива інтер'єру

При побудові перспективи інтер'єру застосовуються дві схеми: ***кутова*** (рідше, оскільки гірше передає глибину приміщення) і ***фронтальна.*** В обох випадках, через необхідність розташування точки зору у приміщенні із фіксованими розмірами, горизонтальний кут огляду буде, більшими, ніж для звичайної перспективи. Оптимальною є величина $\alpha = 40° – 60°$.

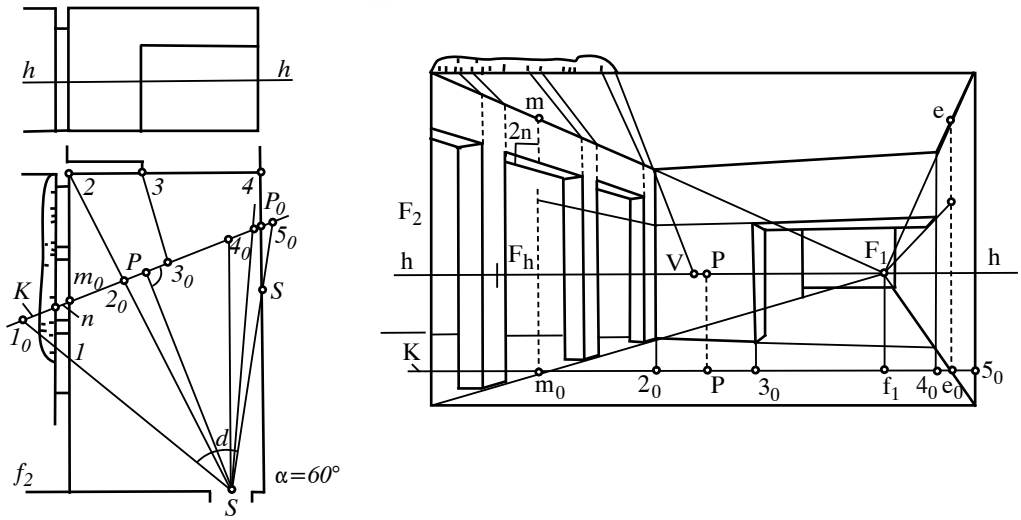


Рис. 9.42. Перспектива приміщення (кутова схема)

Задача 9.20. *Побудова перспективи інтер'єру за кутовою схемою* (рис. 9.43).

Окрім більшого кута огляду, побудова практично не відрізняється від розглянутої раніше і є зрозумілою з рисунку. Зафіксовані на основі картини відстані між опорними точками при побудові перспективи збільшені вдвічі.

При побудові інтер'єру за фронтальною схемою слід прийняти до уваги, що розташування точки зору на вісі симетрії приміщення зробить перспективу занадто врівноваженою і невиразною. Відтак, доцільно дещо зміщувати цю точку у межах середньої третини ширини приміщення. Напрям зміщення визначається наявністю деталей інтер'єра, які слід показати краще.

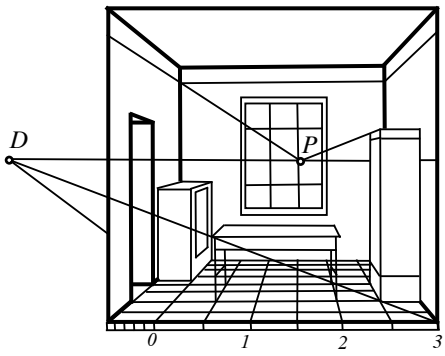


Рис. 9.43. Перспектива прямокутного приміщення

Задача 9.21. *Побудова перспективи інтер'єру за фронтальною схемою* (рис. 9.43).

Побудови можна дещо спростити, використавши той факт, що всі глибинні ребра є паралельними і мають одну точку збігу Р.

Визначаємо точку зору всередині приміщення (ближче до правого краю, оскільки треба детальніше показати ліву стіну) на рівні ока людини. Будуємо перспективну сітку, за допомогою якої фіксуємо розташування шаф, столу, вікна і дверей у плані. Вертикальні розміри, як і у попередній задачі, визначаємо, використовуючи наявність натуральної висоти стін. Промальовуємо другорядні деталі.

Задача 9.22. *Побудова перспективи інтер'єра приміщення криволінійної форми* (рис. 9.44).

У деяких архітектурних стилях, зокрема, у модерні, контури приміщення часто бувають криволінійними. У таких випадках зручно використовувати фронтальну схему, проекційні зв'язки та допоміжне проекціювання на картинну площину. На рис. 9.45 за допомогою допоміжного проекціювання знайдено проміжні точки криволінійних контурів підлоги та стелі. Для визначення висоти шафи і вікна використано факт їх відображення у натуральну величину на картинній площині із передачею цих висот на місце розташування об'єктів за допомогою фронтальних і глибинних ліній.

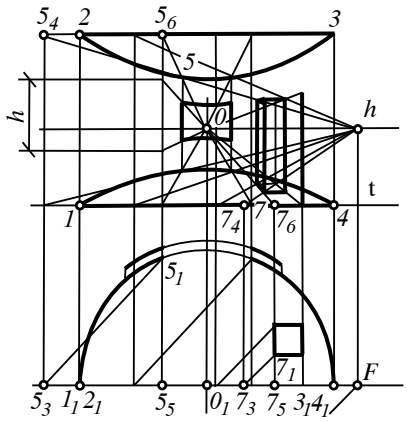


Рис. 9.44. Перспектива приміщення (фронтальна схема) криволінійної форми

9.4. Перспектива на похилій площині

Цей вид застосовується у двох випадках:

1) коли зображується висотна споруда і не можна забезпечити умов реалістичності сприйняття для перспективи на вертикальній площині, наприклад, через існуючу забудівлю;

2) коли зображується інтер'єр, вертикальні виміри якого значно перевищують горизонтальні.

Точка зору обирається на рівні ока людини, а головний промінь спрямовується вгору; рідше – «на висоті пташиного польоту» при спрямуванні головного променю донизу. Вертикальні кути зору можуть бути взяті більшими ніж для перспективи на вертикальній площині ($\varphi/2 \leqslant 60°$); при цьому потрібний рівень реалістичності збережеться.

Через те, що вертикальні лінії споруд не паралельні похилій картині, вони мають власну точку збігу, тобто точку перетину паралельного їм променя зору з цією площиною. Це найбільш істотна відмінність від перспективи на вертикальну площину. Площини, паралельні до граней, перетинають картину по трьох прямих, утворюючи трикутник збігів з вершинами в точках збігу. На горизонтальній проекції лінія горизонту не збігається з лінією основи.

Задача 9.23. *Перспектива висотного будинку* (рис. 9.45).

Визначимо розташування картини і головного променю, а також точок збігу в плані. Задамо висоту Н точки зору. Задамо похилу площину на фронтальній площині вона слідом $К_2$. Третя точка збігу визначиться, як точка перетину лінії, паралельної до вертикальних ребер, проведеної з S, і $К_2$.

Побудова перспективи починається з проведення лінії *t* і відкладання вздовж неї відстаней до точок збігу і характерних точок споруди. Точка збігу вертикальних ребер F_3 знаходиться на перетині вертикальної лінії, проведеної з Р, і горизонтальної лінії на рівні висоти F_3, отриманої поворотом $К_2$ до суміщення з прямою $1_1 1_2$. Точки F_1 і F_2 знайдуться на перетині лінії горизонту *h* з прямими F_1^1 і F_2^1 відповідно. Побудова плану відрізнятиметься тільки тим, що лінії, проведені з точок 2_1 і 3_1 будуть не вертикальними, а збігатимуться в т. F_3. Висотну позначку т. 12 визначимо як перетин $1_2 S_2$ з $К_2$ і передамо на перспективне зображення аналогічно передачі позначки F_3. Пропорційний поділ фасаду здійснимо звичайним шляхом.

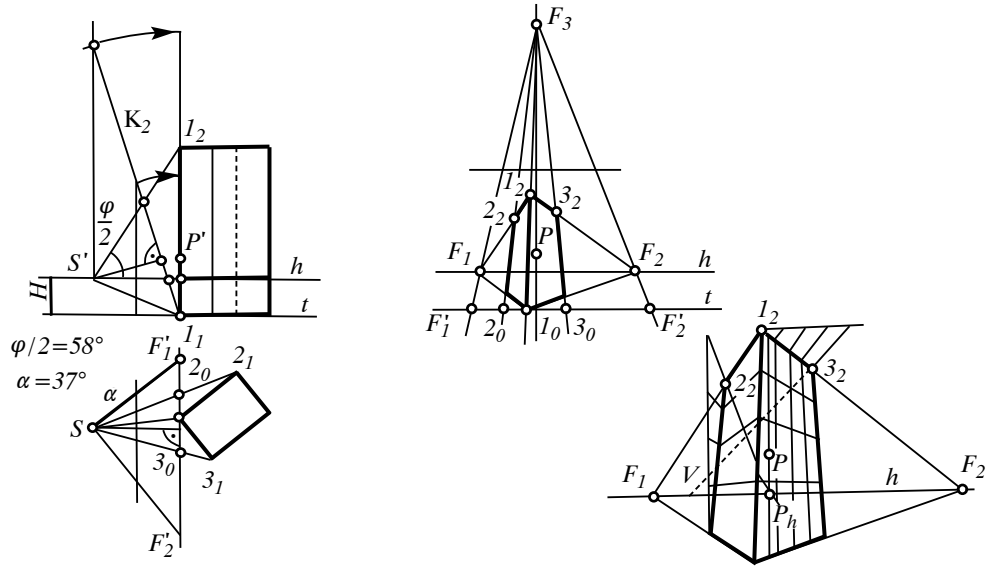


Рис. 9.45. Перспектива будинку на похилій картині

Самоконтроль. Задайте прямий круговий циліндр, висота якого вп'ятеро більша за діаметр. Задайте апарат перспективи на похилу площину. Побудуйте перспективу циліндру.

Задача 9.21. *Побудова перспективи інтер'єру* (рис. 9.46).

Визначаємо точу збігу вертикальних ліній F_3 так, як і на рис. 9.45. Використовуючи проекційні зв'язки, будуємо перспективу плану приміщення та відкладаємо висотні позначки для стін, вікна і дверей. Розташування вікна визначаємо, використовуючи пропорційний поділ.

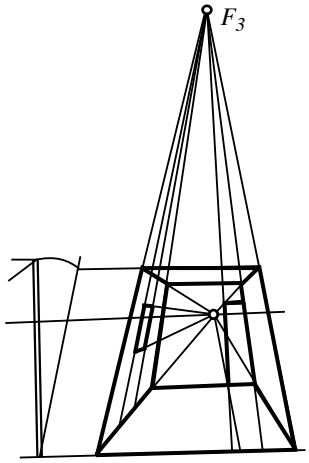


Рис. 9.48. Перспектива приміщення

9.5. Інші види перспективи

А. Плафонна перспектива застосовується при виконанні розписів по стелі, яка найчастіше є плоскою, циліндричною або сферичною. При побудові такої перспективи велике значення має попередня підготовка – необхідно визначити призначення та стилістичні особливості будівлі і приміщення, підібрати відповідний сюжет, розбити його на окремі картини і розмістити їх у напрямі огляду, який має збігатися із розвитком сюжету. Для приміщень невеликого розміру і простої форми можлива схема з однією точкою зору. Для великих приміщень та приміщень складної форми можливі схеми із кількома точками огляду як, наприклад на рис. 9.47.

Розглянемо побудову перспективи ***на плоскому плафоні***.

Перспективне зображення будується двома способами:

1) ***на картині, розташованій горизонтально;***

2) ***на похилій картині.***

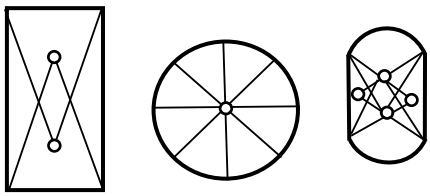


Рис. 9.47. Схеми огляду плафонної перспективи

У першому випадку мамо наступні особливості:

- *горизонтальні* лінії є паралельними до картинної площини і, відтак, не мають точок збігу;
- *вертикальні* лінії перпендикулярні до картинної площини і мають точку збігу Р на лінії горизонту, тобто у місці перетину головного променю з картиною.

Досить часто на стелі зображуються архітектурні композиції – наприклад, показується колонади (рис. 9.48), купола, що нібито завершують оформлення зали тощо.

Побудова ведеться у наступній послідовності:

1) розташування головного променю приймається вертикальним;

2) на плафоні визначаються лінія горизонту, точка перетину головного променю з картиною, дистанційні точки;

3) виходячи із реального розташування колон, будується план колонади (рис. 9.49);

4) за допомогою дистанційних точок визначається висота колон. Відзначимо, що при цьому форма колон залишається незмінною;

5) за допомогою перспективної сітки виконується розмітка колон, тобто визначається розташування обємів, що відповідають головним їх частинам (рис. 9.50);

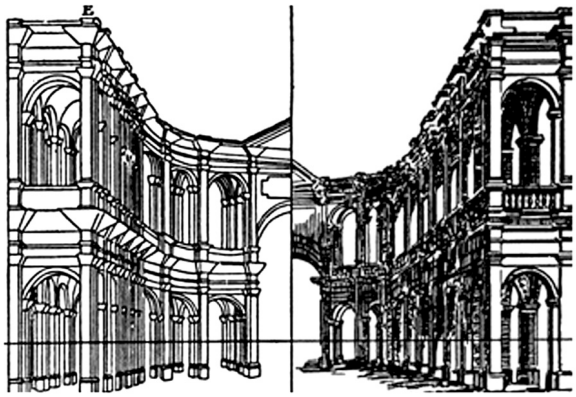


Рис. 9.50.
А. Поццо. Зображення колонади
на плоскій стелі

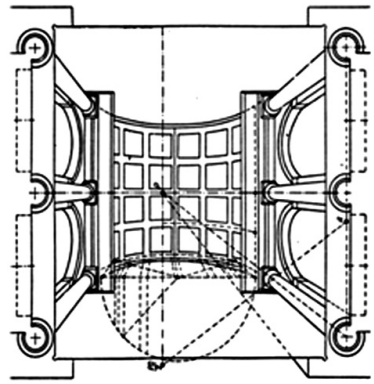


Рис. 9.51.
А. Поццо. Фрагмент плану
і схеми розташування колон

6) будується перспектива колон; при цьому використовуються звязки із їх ортогональними проекціями;
7) промальовуються малі деталі;
8) виконується розпис з урахуванням матеріалу колон та освітлення (рис. 9.51).

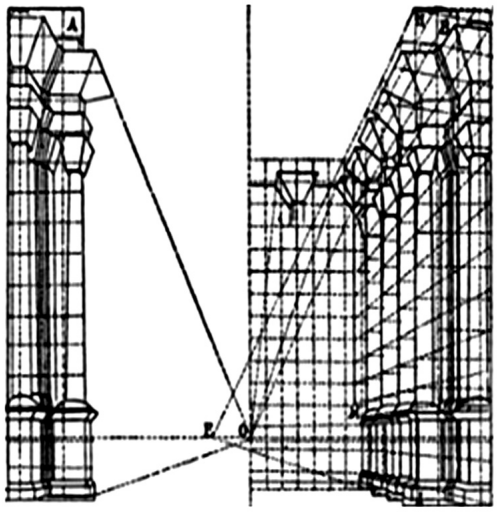


Рис. 9.50.
А. Поццо. Розмітка колон

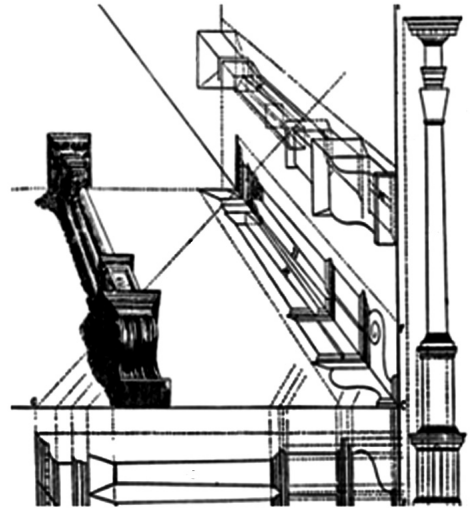


Рис. 9.51. А. Поццо.
Перспектива і деталізація колон

У другому випадку з'являється можливість зображення деталей, які неможливо показати у перспективі на горизонтальній площині. Приклад побудови плафонної перспективи на похилій площині показано на рис. 9.52.

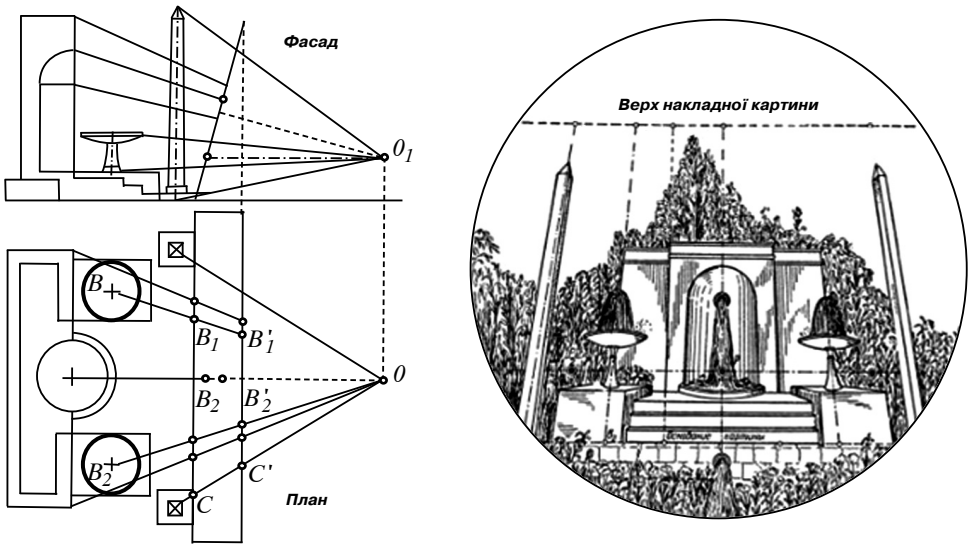


Рис. 9.52.
А.П. Баришников. Побудова плафонної перспективи на похилій площині

При побудові ***перспективи на циліндричному або сферичному зводі*** необхідно вирішити задачу усунення спотворень зображення. Для цього застосовується ***метод сітки квадратів***.

Після точного обміру розмірів циліндричної стелі малюються у зменшеному масштабі її горизонтальна, фронтальна і профільна проекції, а також будується розгортка. На розгортці наноситься сітка з квадратів, сторони яких є твірними циліндру та дугами кіл його перерізів. Точка зору S розміщується на вісі циліндру. Із точки зору таку ж сітку відображають на усі проекції, при цьому квадрати, нанесені на поверхню купола, на горизонтальній проекції будуть спотвореними. Тепер, якщо прив'язуючись до цієї спотвореної сітки намітити композицію плафону, а потім спроеціювати її у зворотному напрямі на купол, то спотворення зникнуть і композиція відобразиться правильно (рис. 9.53).

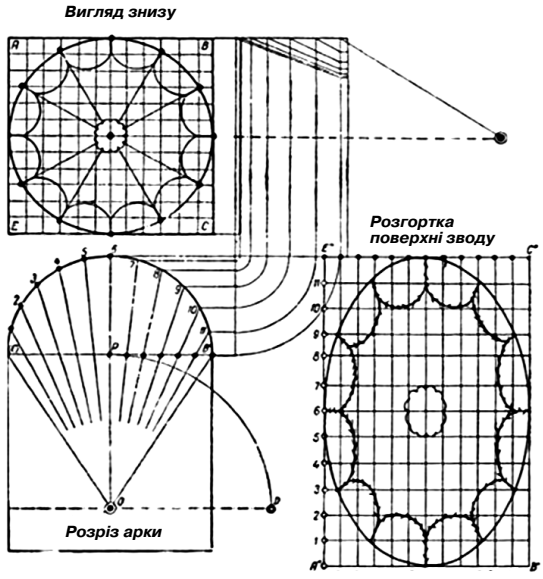


Рис. 9.53. А. П. Баришников.
Використання сітки квадратів
для усунення спотворень зображення
на циліндричному зводі

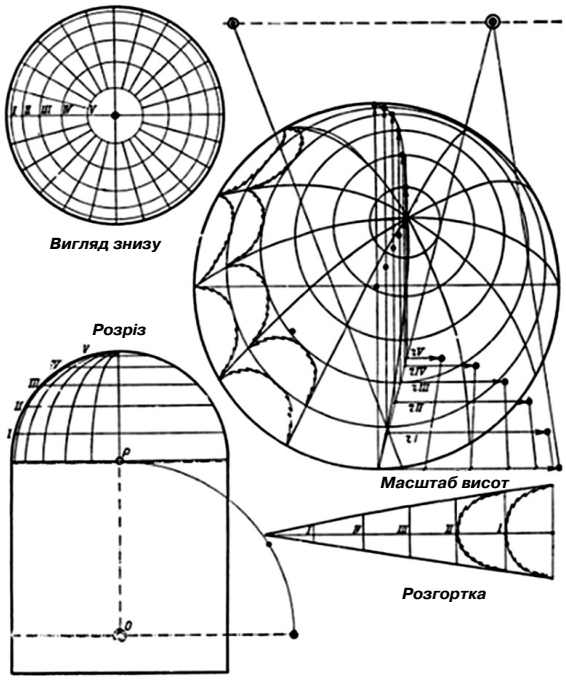


Рис. 9.54. А. П. Баришников.
Використання наближених розгорток
при побудові перспективи на сфері

При побудові перспективи на сферичній стелі застосовується ***метод наближеної розгортки***. Поверхня куполу розчленовується на ряд секторів площинами, що проходять через вертикальну вісь зводу. Потім будується наближена розгортка кожного з секторів, на якій проводяться на рівних відстанях горизонталі. На кожну з розгорток наноситься відповідна частина композиції, яка потім зворотнім перетворенням переноситься на купол (рис. 9.54). Таким чином деформації зображення знову нівелюються.

Б. Панорами і діорами

Панорамою називають картину, написану на поверхні вертикального циліндру; ***діорама*** відрізняється тим, що зображення будується лише на окремій частині циліндричної поверхні. Для створення ще більшої реалістичності панорами і діорами доповнюються бутафорними предметами, які розташовуються ближче до глядачів, «перетікаючи» у перспективне зображення. Для кращого огляду площадка для глядачів розташовується біля вісі циліндру, а її висота підбирається таким чином, щоб очі глядачів знаходилися на рівні лінії горизонту. Освітлення також підбирається так, щоб не порушувати ілюзію перспективного простору. Розміри циліндру мають бути досить великими, щоб забезпечити вільний огляд – приблизно *20 м* у діаметрі і *15 м* по висоті. Саме такі розміри має відома панорама Ф. Рубо «Оборона Севастополя» (рис. 9.55).

Для побудови панорам і діорам застосовуються способи ***розгортки*** та ***дотичних площин***.

Спосіб розгортки доцільно застосовувати у тих випадках, коли треба точно показати контури будівель та інших об'єктів. Побудови виконуються у такій послідовності:

1) визначаються розміри циліндру, у певному масштабі будується його розгортка, наноситься сітка з квадратів, утворених вертикальними твірними та горизонтальними колами для розміщення композиції. Розміри клітинок мають бути однаковими і відповідати розмірам елементів композиції. Ця ж сітка відображається на проекції циліндру;

2) із точки зору проводяться промені до опорних точок об'єктів композиції, визначаються їх перетини з стіною панорами, які переносяться на розгортку. Для кожної точки проводимо вертикальну пряму;

3) згідно масштабу висот, визначаємо перспективні зміни довжин ребер, переносимо їх на розгортку і з'єднуємо кривими лініями. Глядач буде сприймати їх, як прямі (рис. 9.56);



Рис. 9.55. Ф. Рубо. Оборона Севастополя (фрагмент)

4) з розгортки зображення переноситься на поверхню циліндру, після чого виконується детальний малюнок, показуються тіні, додається бутафорія.

Спосіб дотичних площин використовується там, де немає потреби у високій точності – при зображенні пейзажів, гір та пагорбів. При цьому витрати праці значно зменшуються. Послідовність дій наступна:

1) сюжет розбивається на окремі сцени, послідовність яких відповідає напряму огляду;

2) навколо поверхні циліндру описується правильна призма (кількість граней дорівнює кількості сцен);

3) на кожній з граней будується окреме зображення за правилами побудови перспективи на вертикальній площині (рис. 9.57);

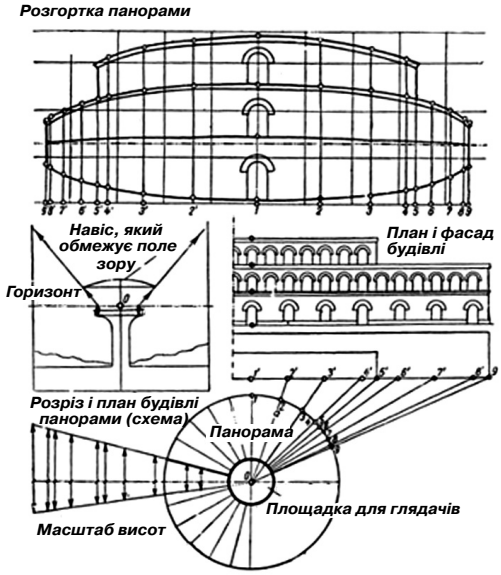


Рис. 9.56. Побудова панорами методом розгортки площин

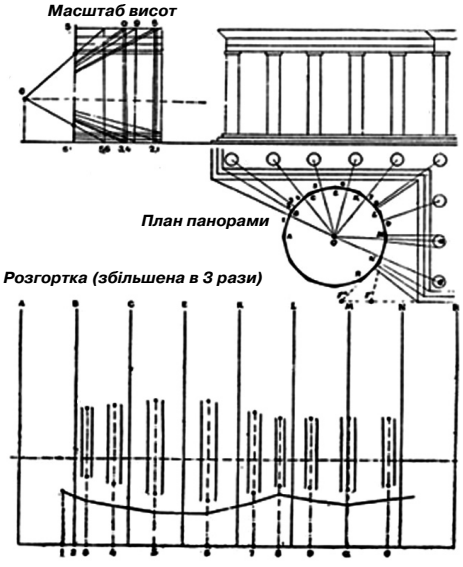


Рис. 9.57. А. П. Баришников. Побудова панорами методом дотичних площин

4) оскільки скомпонована з таких перспектив панорама буде мати неув'язки у місцях стику граней, треба зробити неув'язки непомітними, для чого у таких місцях розміщують зображення обкатів невизначеної форми – кущів і дерев, морських хвиль, хмар тощо.

В. Криволінійна перспектива.

Як відзначалося на початку розділу, лінійна перспектива несповна відповідає особливостям людського зору. Зокрема:

- апарат лінійної перспективи відбиває умови, які відповідають монокулярному зору: є тільки одна картинна площину, що умовно заміняє сферичну поверхню сітківки ока, і один центр проекціювання, що розглядається як наближена модель кришталика ока, тоді як людина має бінокулярний зір;
- у лінійній перспективі побудова точки простору виконується при головному промені, що розташовується перпендикулярно картинної площини, тобто лінійна перспектива виконується у припущенні, що формування зображень на сітчатках очей здійснюється при нерухомих оптичних осях, – у той час як оптичні осі ока перебувають у постійному русі;
- серед ознак глибини лінійна перспектива передає тільки монокулярні ознаки, зокрема, пропорційне зменшення розмірів предметів із збільшенням їхньої відстані до спостерігача, тобто не враховує дії відомих із психології зорового сприйняття механізмів константності величини і форми, які виникають під впливом бінокулярних ознак глибини.

Тому зображення, побудовані за законами лінійної перспективи, неодмінно мають спотворення. Для усунення цьогозастосовується запропонована О.Ю. Ніциним ***криволінійна перспектива***, заснована на законах зорового сприйняття, а саме, константності величини при зміні відстані від предмета до спостерігача. Її математичний апарат у порівнянні з апаратом лінійної перспективи наведено у табл. 9.1.

Таблиця 9.1

Математичний апарат візуалізації для лінійної та криволінійної перспектив

Лінійна перспектива	**Криволінійна перспектива**
$\overline{x_1} = \dfrac{1}{\dfrac{z}{z_0} + 1} \qquad \overline{y_1} = \dfrac{1}{\dfrac{z}{z_0} + 1}$	$\overline{x_2} = \dfrac{\mathrm{d}}{\dfrac{z}{z_0} + \mathrm{d}}; \qquad \overline{y_2} = \arcsin \dfrac{\mathrm{d}}{\dfrac{z}{z_0} + \mathrm{d}}$

Так, у криволінійній перспективі, розміри куба зі збільшенням відстані від зображуваної точки простору до спостерігача зменшуються з набагато повільніше, чим у лінійній. Зображення прямих ліній, які розташовуються перпендикулярно до картинної площини, залишаються паралельними в області, безпосередньо пов'язаною з її основою, а з віддаленням вглиб простору викривляються й сходяться в точку на лінії горизонту. Це означає, що зображення відбиває зорові відчуття, зокрема, те, що людина бачить близько розташовані предмети в аксонометрії (розділ 1). Криволінійна перспектива правильно передає ширину та глибину куба, але вносить спотворення у передачу подоби його фронтальної грані. Проте, ця система перспективи краща, чим лінійна перспектива, оскільки:

- спотворення переносяться на менш істотні елементи зображення – бічні грані куба;

● спотворення проявляються тільки поблизу картинної площини, а в міру віддалення зорового променя вглиб простору подоба фронтальної грані куба відновлюється;

● передається така особливість зорового сприйняття, як підйом лінії горизонту в порівнянні з лінійною перспективою.

Для ілюстрації на рис. 9.58а представлена картина, що узагальнює серію малюнків, виконаних художником з натури. Малюнки відтворюють зображення площі Свободи й будинку Держпрому у Харкові. Порівняємо цю картину з рис. 9.58б і рис. 9.58в, на яких показано відповідно лінійнута криволінійну перспективу тієї ж сцени. Зображення побудовані при виконанні однакових умов.

З рисунку видно, що зображення у криволінійній перспективі виглядає більш природно, ніж у лінійній. Платою за це є трудомісткість побудови. Тому, як втім і для лінійної перспективи, при побудові слід використовувати спеціальні комп'ютерні програми.

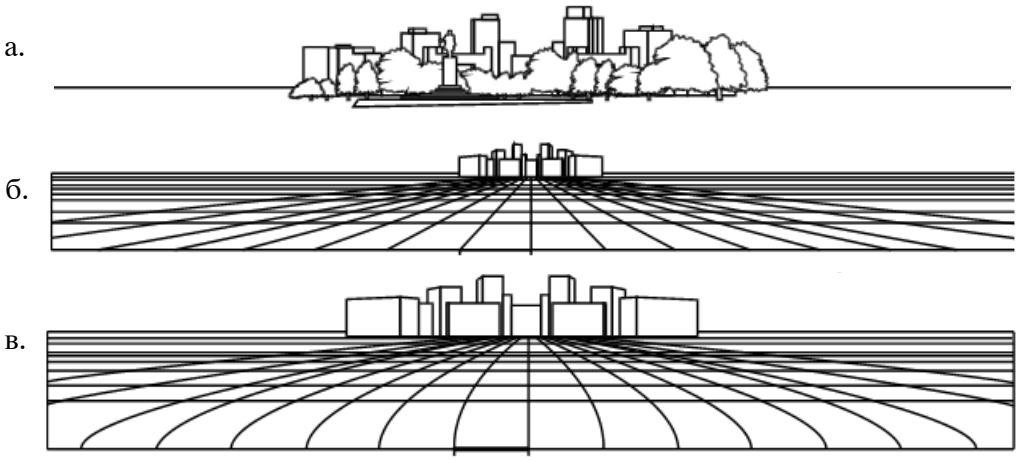


Рис. 9.58. Порівняння малюнку з натури та зображень у лінійній та криволінійній перспективі

Ніцин О. Ю. Геометрія психофізичного простору і перспектива / *О. Ю Ніцин.* – Автореферат дис. д-ра техн. наук. – Х., 2008. – 36 с.

Ніцин О. Ю., Ковальов Ю. М. Візуалізація тривимірної сцени з урахуванням психології зорового сприйняття / *О. Ю. Ніцин, Ю. Н. Ковальов.* // Праці Таврійської державної агротехнічної академії, Мелітополь, 2006. – вип. 4. – т. 32. – С. 15 – 24.

На завершення дамо коротку характеристику тим видам перспективи, які не були розглянуті вище. ***Ширококутна перспектива*** застосовується там, де треба показати співвідношення об'єктів, група яких виходить за межі стандартних кутів огляду, наприклад, міської забудови, як на рис. 9.2. ***Кінеперспектива*** використовується при створенні динамічних сцен у фільмах або анімації. ***Повітряна перспектива*** застосовується для зображення віддалених на великі відстані об'єктів; при цьому використовується той факт, що унаслідок неповної прозорості повітря такі об'єкти здаються більш блакитними, ніж вони є насправді, що і показує художник. ***Зворотна перспектива*** застосовується при реставрації витворів середньовічного мистецтва.

Самоконтроль. Які особливості побудови перспективи на плоскому плафоні?

Як усунути спотворення на циліндричному і сферичному зводах?

З якої причини неможливе повне усунення спотворень на сфері?

Порівняйте побудову перспективи для циліндричного плафону і панорами. У чому схожість методів? У чому відмінності?

Які недоліки має лінійна перспектива? Коли доцільно застосовувати криволінійну перспективу?

10. ПРОЕКЦІЇ З ЧИСЛОВИМИ ПОЗНАЧКАМИ

На відміну від проекційних систем, що розглядалися у попередніх розділах, проекції з числовими позначками не є різновидом методу двох зображень. Зворотність забезпечується за рахунок числового позначення висотної позначки. Проте при розв'язанні позиційних і метричних задач простежуються аналогії з відомими методами. Проекції з числовими позначками застосовуються для розв'язання задач вертикального планування; умовою доцільності є значне перевищення лінійними розмірами об'єкта його вертикальних розмірів.

10.1. Зображення простих фігур

А. Точка

Зображення точок А, В, С, розташованих вище, нижче і в площині проекцій, показані на рис. 10.1.

Домовимось не ставити знак «+», якщо точка розташована вище площини проекцій (за стандартами, позначка вказується з точністю до трьох знаків після коми, а знак ставиться).

Б. Пряма

Пряма задається двома точками (рис. 10.2а). Довжина проекції відрізка між ними називається ***закладенням***; відношення різниці висот кінцевих точок до закладення – ***ухилом***; закладення при різниці висот, що дорівнює одиниці – ***інтервалом*** (рис. 10.2б).

Важливе значення має ***градуювання прямої*** – визначення на ній точок з постійною різницею координат. Для цього використовують відомий спосіб пропорційного поділу відрізку.

Задача 10.1. *Градуювання відрізку прямої* (рис. 10.3).

Проградуюємо відрізок з висотами кінців 0.9 і 3.1, розбивши його на 10 частин. Позначимо точки з цілими значеннями висот; відстані між ними дорівнюватимуть інтервалу прямої.

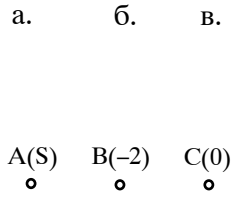


Рис. 10.1.
Зображення точок

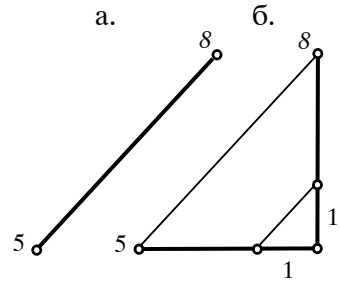


Рис. 10.2.
Зображення прямої

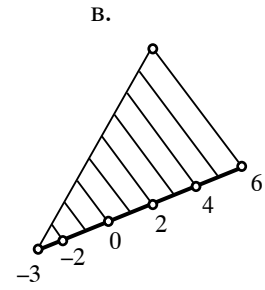


Рис. 10.3.
Градуювання прямої

В. Площина

Площина задається відсіком, парою прямих, трьома точками, але найчастіше – ***масштабом ухилу*** (проградуйованою проекцією скату, тобто лінії найбільшого нахилу до горизонтальної площини). Розберемо, як визначити масштаб ухилу при завданні площини відсіком (рис. 10.4).

Градуюємо одну з сторін трикутника і проводимо горизонталі площини. Визначаємо лінію скату – це перпендикуляр до горизонталей. Градуюємо цю лінію, скориставшись горизонталями, як носіями висот. Кажуть, що площина має спуск в напрямку скату від горизонталей з більшими позначками до горизонталей з меншими позначками.

Інколи площину слід орієнтувати відносно сторін світу. Для цього вліво від спуску вводиться ***напрям простилання***. Кут між напрямом на північ і напрямом простилання, виміряний проти руху стрілки годинника, називається ***кутом простилання*** площини; саме він і ухил визначають її орієнтацію (рис. 10.4).

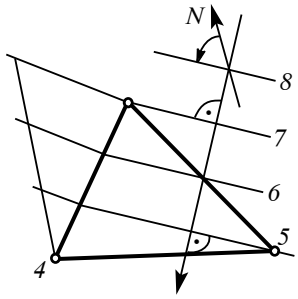


Рис. 10.4. Визначення масштабу ухилу і орієнтації площини

Г. Поверхня

В залежності від визначника, поверхня може бути задана по-різному: паралелепіпед, наприклад, визначається контуром основи і позначками верхньої і нижньої основ (рис. 10.5а); конус – основою і вершиною і їх висотами (рис. 10.5б); топографічна поверхня – горизонталями (рис 10.5в). В останньому випадку часто визначають лінію скату (вздовж неї збігає вода) – криву, що в кожній точці перпендикулярна до відповідної горизонталі.

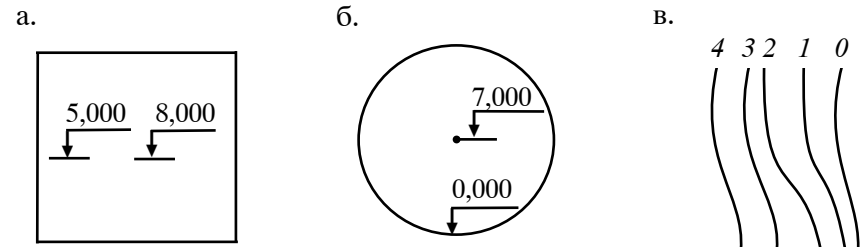


Рис. 10.5. Різні способи зображення поверхонь

Градуювання, визначення ухилу і лінії скату для поверхні і площини аналогічні.

10.2. Позиційні задачі

А. Належність точки до прямої, площини, поверхні

Загальний принцип – перевірка відповідності висот – варіюється в залежності від вихідних умов (рис. 10.6а–в). В разі потреби здійснюється градуювання.

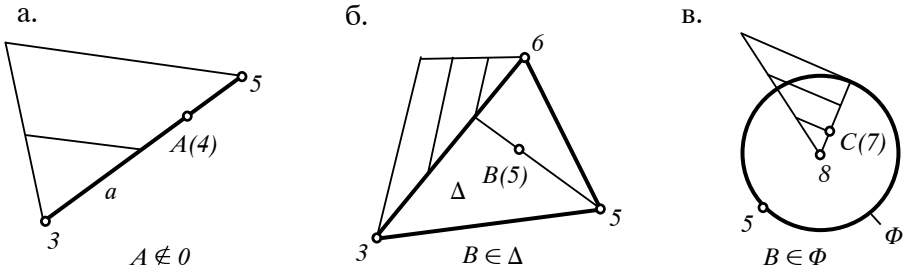


Рис. 10.6. Визначення належності точки до прямої, площини, поверхні

Б. Плоскі перетини

Задача 10.2. *Побудова лінії перетину площин, заданих масштабом ухилу і відсіком* (рис. 10.7).

Переходимо від завдання площини відсіком до її завдання масштабом ухилу і горизонталями (досить провести лише дві горизонталі). Фіксуємо дві точки перетину горизонталей обох площин з однаковими позначками. Пряма LM, проведена через них, є лінією перетину площин. Визначаємо видимість.

Кілька наступних задач зводитимуться до задачі 10.2.

Задача 10.3. *Перетин площини з прямою* (рис. 10.8).

Градуюємо пряму і, вважаючи її за масштаб ухилів, проводимо через неї допоміжну площину, визначаючи дві її цілочислові горизонталі. Будуємо лінію перетину площин LM. Точка K її перетину з прямою є точкою перетину прямої з вихідною площиною. Визначаємо видимість прямої відносно площини.

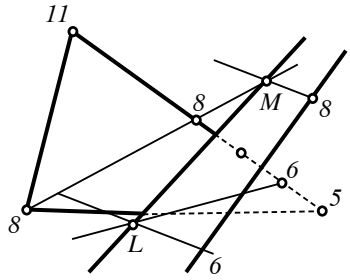


Рис. 10.7.
Перетин площин

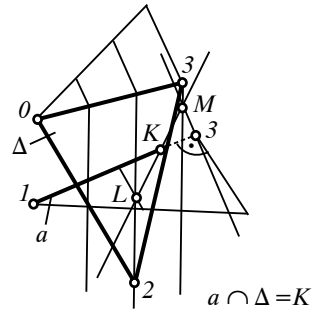


Рис. 10.8. Основне позиційна задача

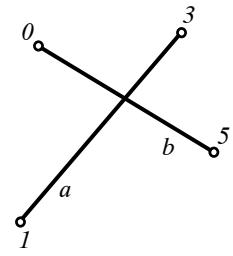


Рис. 10.9. Прямі перетинаються чи є мимобіжними?

Самоконтроль. Для умов, даних на рис. 10.9, визначити, чи будуть прямі *a* і *b* мимобіжними або такими, що перетинаються. Визначить видимість конкуруючої точки.

Задача 10.4. *Перетин поверхні з площиною, заданою парою прямих* (рис. 10.10).

Переходимо від завдання площини прямимо до її завдання масштабом ухилу і горизонталями (на відміну від попередніх прикладів, слід провести всі цілочислові горизонталі). Знаходимо всі точки перетину горизонталей площини і поверхні з однаковими позначками (для кожної пари горизонталей може бути кілька таких точок; слід бути уважними і визначити їх усі). З'єднуємо точки плавною лінією. Визначаємо видимість.

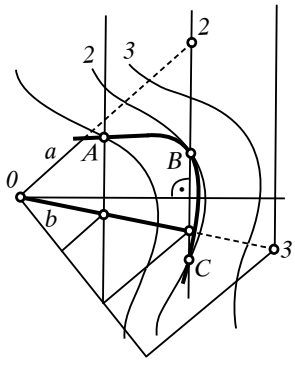


Рис. 10.10. Перетин поверхні і площини

Самоконтроль. При вертикальному плануванні проводиться згладжування рельєфу. Нехай на рельєфі проектується площина, дана в попередньому прикладі. Поважить видимість площини і рельєфу з визначенням насипу чи виїмки при земляних роботах.

Задача 10.5. *Перетин рельєфу з прямою* (рис. 10.11).

Градуюємо пряму, проводимо через неї допоміжну площину, задаємо горизонталі цієї площини з кроком 1. Визначаємо лінію перетину площини і рельєфу. Точки перетину цієї лінії з вихідною прямою є точками її перетину з рельєфом. В загальному випадку їх може бути більше за дві. Визначаємо видимість.

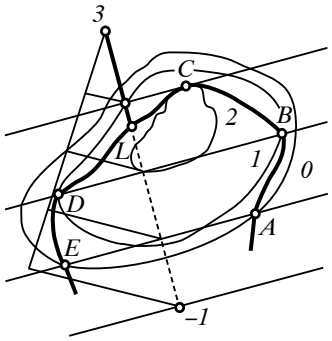


Рис. 10.11.
Перетин прямої лінії
з рельєфом

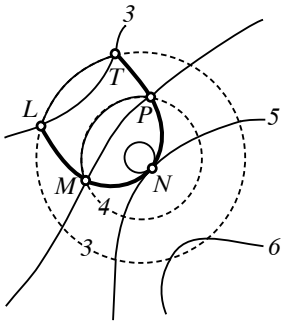


Рис. 10.12.
Перетин кривої
поверхні з рельєфом

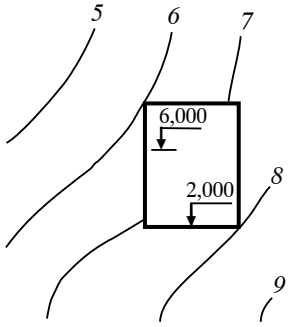


Рис. 10.13.
Перетин гранної поверхні
з рельєфом

Зауважимо, що така задача має місце при будуванні доріг – невидима частина прямої відповідає тунелю.

В. Перетин поверхонь

Задача 10.6. *Перетин рельєфу і кривої поверхні, заданих горизонталями* (рис. 10.12).

Знаходимо точки перетину горизонталей з однаковими позначками. З'єднуємо їх плавною лінією. Визначаємо видимість. З усіх розглянутих проекційних систем такі задачі найпростіше розв'язуються саме на проекціях з числовими позначками, чи не так?

Самоконтроль. Паралелепіпед на рис. 10.13 задано контуром основи і позначками верхньої і нижньої основ; рельєф задано горизонталями. Що можна сказати відносно лінії перетину поверхонь, а також видимості? Наведіть якомога більше прикладів практичного використання задач з подібними вихідними даними.

10.3. Задачі вертикального планування

Розглянемо приклади типових задач промислового, цивільного і дорожнього будівництва.

Задача 10.7. *Риття котловану – побудова гранної поверхні* (рис. 10.14).

За заданих умов, котлован є перегорнутою усіченою пірамідою з прямокутною основою і схилами, що мають ухил 1:1. Проектуємо схили, проводячи для кожної з сторін котловану перпендикуляр – масштаб ухилу – і визначаючи по три горизонталі, паралельні до відповідних сторін. Лінії перетину горизонталей суміжних сторін з однаковими позначками є гранями піраміди; горизонталі з позначкою 6 утворюють контур виїмки.

Поверхні рівного ухилу застосовуються при проектуванні схилів в'їздів, дамб, русел каналів тому, що «не провокують» розмивання водою окремих ділянок більше, ніж інших. Насипи і виїмки позначаються ***бергштрихами*** (рис. 10.14, 10.15).

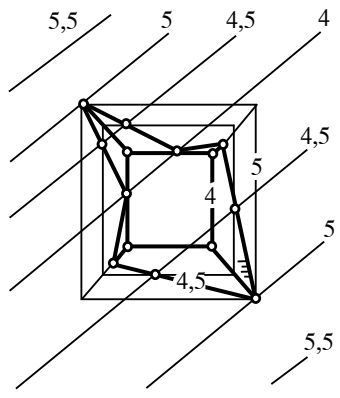


Рис. 10.14.
Проектування котловану
на рельєфі

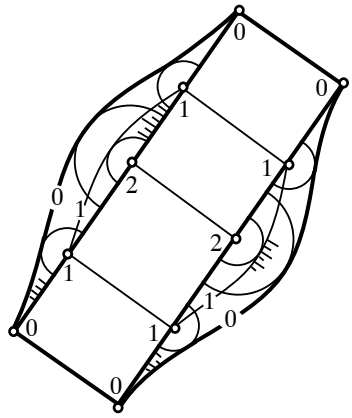


Рис. 10.15.
Завдання поверхні
рівного схилу

Одним із способів визначення поверхонь рівного ухилу, що застосовується найчастіше, є побудова огортуючих поверхонь до ряду конусів, що задають геометричні розміри схилу (рис. 10.15).

Задача 10.8. *Проектування в'їздних насипів – побудова поверхні рівного ухилу* (рис. 10.16).

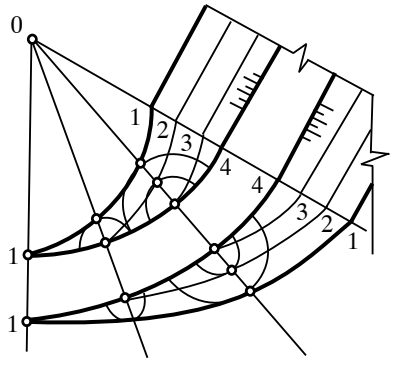
Розбиваємо контур насипу на три рівні частини і будуємо конуси, дотримуючись ухилу 1:1; їх центри розташовуємо на перпендикулярах до контуру, а бокові поверхні задаємо горизонталями. Проводимо горизонталі схилів як дотичні до відповідних горизонталей конусів; та, що має позначку 1, є контуром схилу.

Задача 10.9. *Проектування горизонтальної площадки на рельєфі – комплексна метрична задача* (рис. 10.17).

Аналізуємо умови: зліва від горизонталі 10 слід побудувати виїмку з ухилом 2:1, а справа – насип з ухилом 1:1. Визначаємо масштаби ухилів для всіх схилів і проводимо горизонталі. Точки перетину горизонталей суміжних схилів між собою визначать їх стики, а точки перетину з відповідними горизонталями рельєфу – контури насипу і виїмки.

На практиці в подібних задачах дотримуються нульового балансу земляних робіт – тобто обирають позначку площадки такою, щоб об'єми насипу і виїмки були приблизно рівними. Тоді не виникає необхідності завозити чи вивозити землю ззовні, що зменшує кошторис робіт. Розглянемо принциповий бік розрахунку позначки.

Рис. 10.16.
Застосування поверхонь
рівного нахилу
при проектуванні



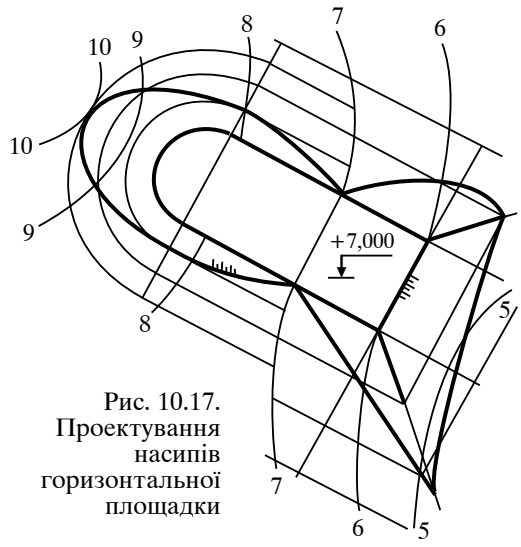


Рис. 10.17.
Проектування
насипів
горизонтальної
площадки

11. ПОБУДОВА ТІНЕЙ ТА ВІДБИТТІВ

Гра світла і тіні надає задуму архітектора або дизайнера додаткової виразності. Природнє і штучне освітлення є вагомою складовою комфортності житла. Освітленість доріг і кварталів є фактором безпеки. Відбиття і віддзеркалення роблять зображення реалістичнішим. Отже, врахування природного (задачі ***інсоляції***) і визначення штучного освітлення,відтворення світлотіньової пластики (задача ***архітектурної графіки***), побудова відбиттів неодмінно мають здійснюватись у ході проектування і при підготовці презентації, і застосовуються для цього всі чотири розглянуті у попередніх розділах проекційні системи: ортогональні проекції і перспектива частіше, а аксонометрія і проекції з числовими позначками рідше.

11.1. Основні теоретичні положення

Побудова тіней здійснюється згідно законів геометричної оптики і для будь-якої проекційної системи включає наступні чотири кроки.

А. Визначення типу і розташування джерела світла

При освітленні сонцем промені приймаються *паралельними* (віддаленість від землі дозволяє вважати сонце невласною точкою). При освітленні від штучних джерел, як правило, промені приймаються *радіальними;* при врахуванні кількох джерел слід задати кілька їх центрів.

Розташування сонця змінюється в залежності від географічної широти місцевості, пори року і часу доби. Тому в задачах інсоляції і при проектуванні забудівлі задається кілька розташувань; існують комп'ютерні програми, що полегшують розрахунки. Однією з них є ArchiCAD. Для ортогональних проекцій та аксонометрії *розташування сонця приймається стандартним;* для перспективи та проекцій з числовими позначками воно визначаться умовами задачі.

Б. Побудова власної тіні

Об'єкт, на який направлені промені, має освітлену і неосвітлену частини; остання називається ***власною тінню***. Їх межа є ***контуром власної тіні***. Інколи застосовується інша назва, яка походить з астрономії – ***термінатор***. Контур і джерело світла визначають ***світловий конус (циліндр***, якщо джерело є невласною точкою) (рис. 11.1). Якщо ж об'єкт є багатогранником, замість конуса і циліндра маємо ***світлову піраміду*** або ***призму*** – так буває у комп'ютерній графіці, де криві поверхні замінюються гранними.

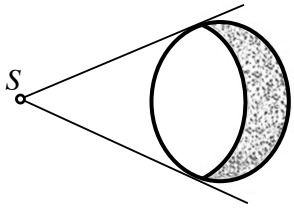


Рис. 11.1.
Світловий конус
і власна тінь

Отже, *побудова власної тіні зводиться до визначення її контуру*, який, в свою чергу, залежить від форми об'єкту, типу і розташування джерела світла.

В. Побудова падаючої тіні

Падаючою називається тінь від тіла на площину, поверхню чи інший об'єкт, або тінь від частин тіла на інші його частини (рис. 11.2).

З рисунку 11.2 видно, що падаюча тінь визначається тією самою світловою призмою (у загальному випадку –

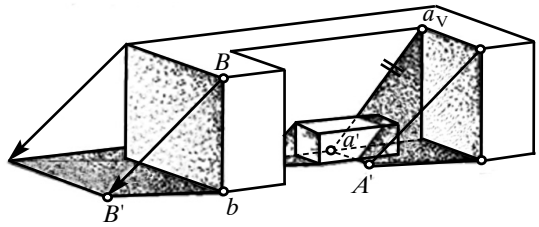


Рис. 11.2. Падаючі тіні

світловим конусом або циліндром), що і власна. Відтак, *побудова падаючої тіні включає: 1) визначення контуру власної тіні і завдання світлового конусу і 2) розв'язання задачі на перетин цього конуса з об'єктом.*

Г. Тонування затіненої області

Діють наступні правила:

1) тип тонування однаковий для всіх частин (рис. 11.3); затінена область тонується тим же кольором, що й освітлена;

2) область власної тіні темніша за освітлену частину;

3) область падаючої тіні ще вдвічі темніша.

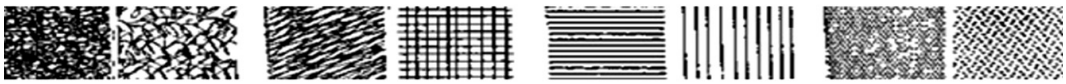


Рис. 11.3. Зразки тонування

Відзначимо, що вказані правила є спрощеними і не враховують багатьох факторів, що впливають на освітленість або затінення поверхні: спектрального складу випромінювання, відстані від глядача до поверхні, кута зору, оптичних властивостей матеріалів, туману або задимлення атмосфери, неабсолютної прозорості повітря тощо. Внаслідок цього досить часто мають місце плавні переходи від освітлених місць до темних. Ці закономірні розподіли ступенів освітленості поверхні називаються ***світлотінню***, і її побудова буде описана окремо.

11.2. Побудова тіней на епюрі Монжа

Напрям світлових променів приймається паралельним діагоналі куба (рис. 11.4а); на проекціях це виглядатиме, як показано на рис. 11.4б.

А. Тіні найпростіших фігур

Такі фігури не мають власних тіней; для побудови падаючих тіней використовуються безпосередньо їх контури.

Тінню точки є точка; для її побудови на горизонтальній і фронтальній площинах проекцій достатньо знайти сліди світлових променів, проведених через неї (рис. 11.5). Тінь будемо позначати індексами ' або т.

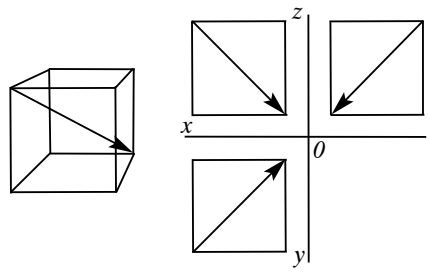


Рис. 11.4. Напрям світлових променів на епюрі Монжа

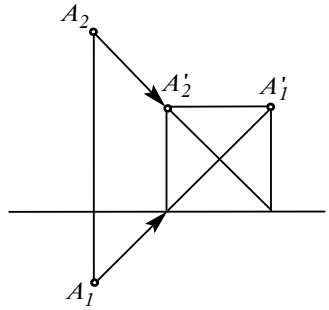


Рис. 11.5. Тінь точки на площинах проекцій

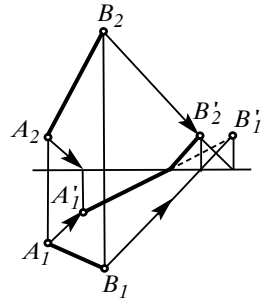


Рис. 11.6. Тінь прямої

Тінню прямої є пряма; для визначення будуємо тіні двох точок прямої (рис. 11.6). Тіні на Π_1 і Π_2 побудовані окремо, а потім виділена сумарна видима тінь на обох проекціях. Запам'ятаймо розташування B'_2 і B'_1, A'_2 і A'_1 на прямих, паралельних осі x.

Часто використовуються стандартні розташування тіней прямих окремого положення, показані на рис. 11.7.

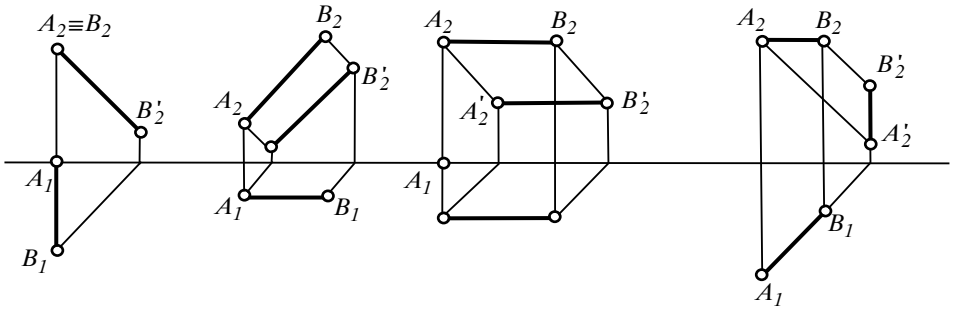


Рис. 11.7. Тіні прямих окремого положення

Тінь плоского відсіку визначають обмежувальні прямі; побудова зводиться до багатократної побудови тіней від них (рис. 11.8). Інколи для спрощення побудов доцільно перейти до завдання площини прямими окремого положення (рис. 11.7).

Нескладні міркування приводять до наступного висновку:

Властивість 11.1. *Тінь плоскої фігури на паралельній до неї площині повторюватиме контур фігури.*

Самоконтроль. Доведіть властивість 11.1. Побудуйте тінь від горизонтального шестикутника на паралельну йому площину.

За виключенням випадку, що описується властивістю 11.1, тінню від кола буде еліпс. Відтак, для побудови тіні від горизонтального кола на фронтальну площину доцільно використати спосіб восьми точок (рис. 11.9).

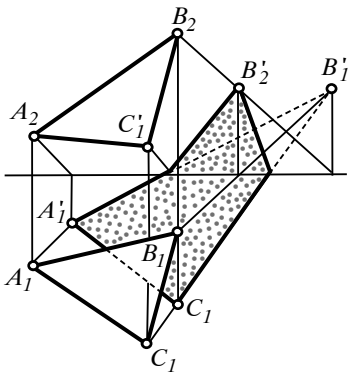


Рис. 11.8. Тінь площини загального положення

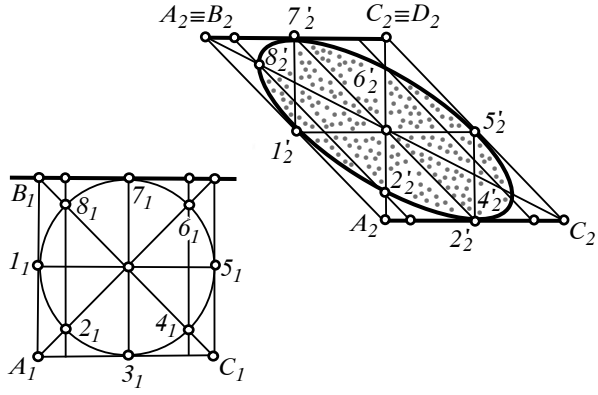


Рис. 11.9. Тінь горизонтального кола на фронтальній площині

Б. Тіні об'ємних тіл

Спочатку слід визначати власні тіні.

Задача 11.1. *Побудова тіні паралелепіпеда* (рис. 11.10).

Затіненими є дві бокові грані (власна тінь не показана, оскільки одна з граней є проекціюючою, а інша закривається передньою гранню). Контур власної тіні – ламана 1^1-1^2-2^2-3^2-3^1. Всі її ланки є прямими окремого положення, відтак побудови падаючої тіні зводяться до рис. 11.7.

Задача 11.2. *Побудова тіні циліндра* (рис.11.11).

Дотичні промені проходять через твірні 1 і 5 і контур верхньої основи між ними – затіненою є половина бічної поверхні циліндра. Будуємо власну тінь (її частина невидима). Далі будуємо падаючі тіні твірних 1 і 5, як на рис. 11.7, і тінь верхньої основи – на фронтальній площині вона зображатиметься як частина еліпсу (рис. 11.9), а на горизонтальній – як частина кола (властивість 11.1). Виконуємо тонування.

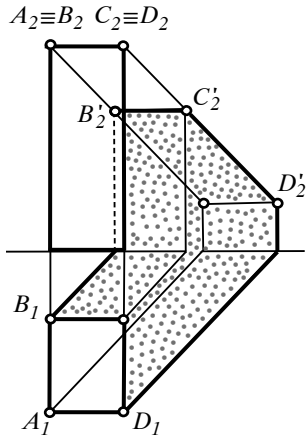


Рис. 11.10.
Тінь паралелепіпеда

Задача 11.3. *Побудова тіні сферина фронтальній площині* (рис. 11.12, а – відстань до фронтальної площини).

Світловий циліндр торкнеться контуру сфери в точках 1 і 7; відрізок між ними є великою віссю еліпса – зображення власної тіні. Кінці спряженої осі – точки 4 і 10 – знайдемо як перетини перпендикуляру до великої осі, що ділить її навпіл, і прямих, проведених під кутом 30° до неї з т. 7. Точки контуру власної тіні знайдуться афінним перетворенням кола в еліпс, способом восьми точок, або через співвідношення, показані на рис. 11.12.

Визначимо апарат афінного перетворення між контурами власної і падаючої тіні, яка теж являтиме собою еліпс. Вісь перетворення перпендикулярна напряму світлових променів і проходить через точку перетину вертикальної прямої, що знаходиться на відстані *a* від центру сфери, і прямої, що проходить через цей центр паралельно осі *x*. Вертикальні прямі,

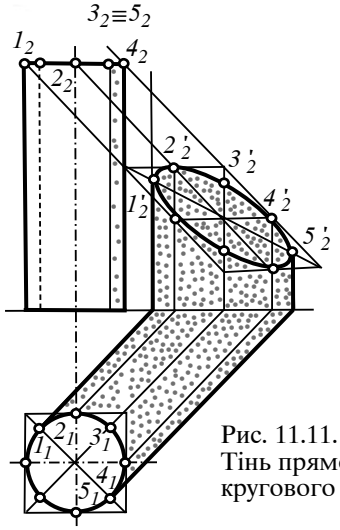


Рис. 11.11.
Тінь прямого
кругового циліндра

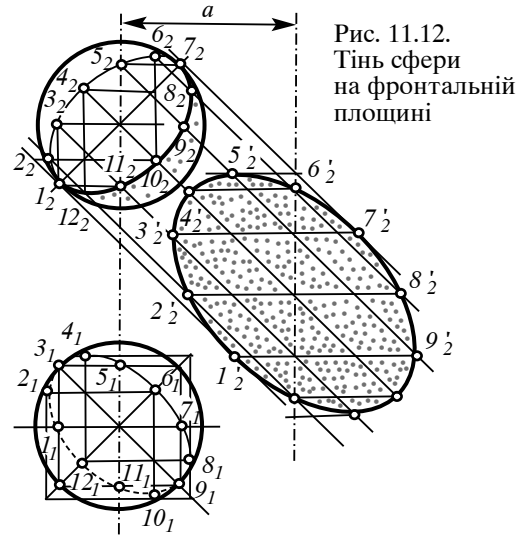


Рис. 11.12.
Тінь сфери
на фронтальній
площині

прямі, паралельні осі *x*, і світлові промені вказують переміщення при перетворенні. Відтак знаходимо образи всіх точок. З'єднуємо побудовані точки плавною лінією і проводимо тонування тіней.

Самоконтроль. Знайдіть власну і падаючу тіні цієї сфери способом восьми точок. Порівняйте ваше і описане розв'язання.

Задача 11.4. *Побудова тіні прямого конуса* (рис. 11.13).

Знайдемо тінь вершини S. Проведемо дотичні з S'_1 до горизонтальної проекції основи. Вони визначать контур падаючої тіні, а точки дотику – твірні, що є границями власної тіні. Частина власної тіні на $П_2$ є невидимою. Проводимо тонування. Задача цікава тим, що порушення звичайної послідовності побудов є виправданим.

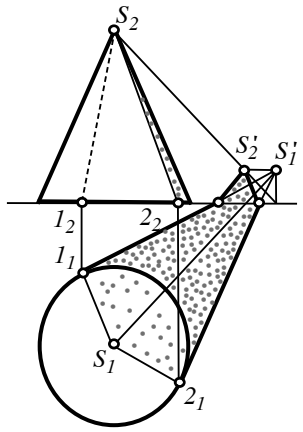


Рис. 11.13. Тінь прямого кругового конуса

Самоконтроль. Проведіть дослідження. Знайдіть кут нахилу твірних до $П_1$, при якому освітленою буде вся бічна поверхня прямого кругового конуса. Поверніть конус на 90°. Чи матиме місце повне освітлення? Поверніть конус ще на 90°. Коли вся бокова поверхня перевернутого конусу буде в тіні?

Задача 11.5. *Побудова тіні паралелепіпеда на похилій площині* (рис. 11.14).

Необхідність знаходити не фронтальні чи горизонтальні сліди променів, а їх перетини з довільною площиною – ось все, що змінюється в порівнянні з задачею 11.1. Для цього краще за все скористатися профільною проекцією, що й зроблено.

При побудові тіней на поверхню розв'язуються задачі на взаємний перетин кривих або кривих і гранних поверхонь. Використовуються методи ДСП, допоміжного проекціювання (частина 2), сліду світлового променя, зворотних променів, тощо. Розглянемо перший з них.

В. Тіні на фасаді

Тіні на фасаді будинку надають йому більшої виразності, «рельєфності». Задача зводиться до побудови власних тіней окремих частин, а також побудови падаючих тіней на фронтальній площині. Вона може бути розв'язана так само, як і всі попередні задачі.

Задача 11.6. *Побудувати тіні на фасаді будинку* (рис. 11.15; подвійні лінії показують величину виступу елементів по відношенню до основної площини фасаду).

Прокоментуємо окремі фрагменти побудови.

1. Тінь від карнизу обмежена горизонтальною лінією, розташованою нижче його на відстані, рівній звису.

2. Контур тіні від козирка складається з тіней ребер: лівого нижнього проекціюючого, нижнього горизонтального, вертикального, правого верхнього проекціюючого, які мають стандартний вигляд (рис. 11.7). В ніші дверей враховано заглиблення.

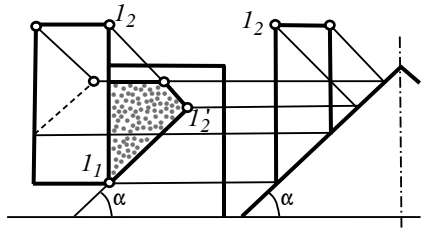


Рис. 11.14. Тінь паралелепіпеда на похилій площині

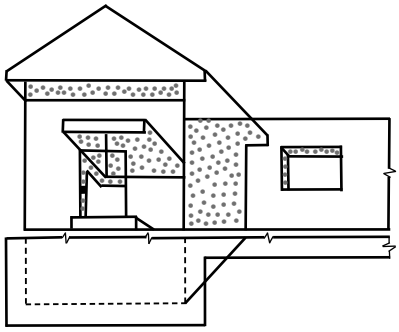


Рис. 11.15. Тіні на фасаді будинку

3. Тінь ніш вікон і дверей повторює їх контури на відстані, рівній заглибленню ніш.

4. Контур тіні ганку обмежує тінь від верхнього правого проекціюючого ребра.

5. Контур тіні виступаючої частини будинку складають тіні від ребер козирка і виступу. Скати не дають тіні.

6. Суміщені тіні додатково не тонуються.

На наступному рисунку наведено приклади побудови тіней на фасаді – для креслення XVIII століття (зображено фасади будинку Російської академії наук) та сучасного.

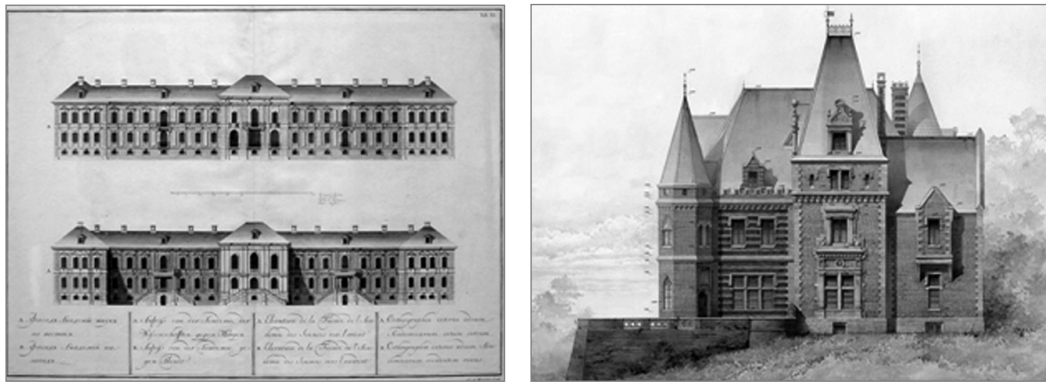


Рис. 11.16. Приклади побудови тіней на фасадах будинків

У сучасних умовах для побудови тіней на фасаді доцільно використовувати комп'ютерні програми, зокрема, вже згадуваний ArhiCAD, а також візуалізатор Artlantis.

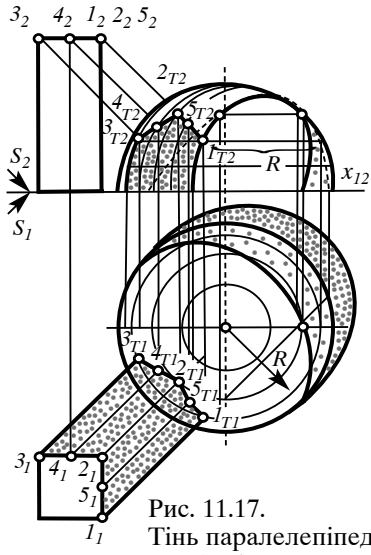


Рис. 11.17.
Тінь паралелепіпеду на сфері

Г. Спеціальні способи побудови тіней

Деталі архітектурних елементів, особливо у класичних стилях, можуть мати досить складні форми, а тінь від них падати на криві поверхні. У цих випадках використовуються спеціальні способи побудови тіней.

Спосіб світлових січних площин полягає у тому, що через кожну з точок контуру тіні проводять січні площини і будують лінії перетину їх з поверхнею, на яку падає тінь. Потім через точку, що дає тінь, у січній площині проводять світловий промінь до перетину з побудованою лінією, де і буде точка падаючої тіні.

Задача 11.7. *Побудова тіні паралелепіпеду на сфері* (рис. 11.17).

Визначаємо контуривласних тіней фігур. Через точку 1 проводимо вертикальну світлову площину (горизонтальний слід площини є

паралельним горизонтальній проекції світлового променя)і будуємо лінію її перетину зі сферою. Тінь точки 1–1^T – є перетином світлового променя, що проходить через точку 1, з лінією перетину світлової площини зі сферою (це буде коло, яке зобразиться на фронтальнійплощині як еліпс). Аналогічно будуємо інші точки падаючої тіні. Будуємо падаючі тіні від паралелепіпеду та сфери так, як показано на рис. 11.10 та 11.12.

Цей спосіб є доцільним, коли побудова ліній перетину променевої площини з поверхнею не викликає труднощів.

Спосіб допоміжних січних площин використовують тоді, коли поверхні розтинаються допоміжними площинами по нескладним для побудови лініям – колам чи прямим.

Задача 11.8. *Побудова тіні прямого кругового конуса на сфері* (рис. 11.18).

Визначаємо власну тінь конуса і контур падаючої тіні на $П_1$. Перетин контуру з основою півсфери дасть крайні точки падаючої тіні на півсфері – 1 і 2. Проводимо допоміжну горизонтально-проекціюючу площину через вершину С і світловий промінь, що проходить через неї. Вона перетинає півсферу по колу (виглядає як еліпс), точка перетину якого з фронтальною проекцією променя дасть верхню точку падаючої тіні на сфері СТ. Для визначення проміжних точок проведемо горизонтальні допоміжні січні площини $Г^1$ і $Г^2$. Їх перетини з конусом – кола – визначать перетини з світловим конусом – прямі. Перетини прямих з колами – результатами перетину з півсферою – дадуть проміжні точки контуру падаючої тіні. З'єднуємо їх і проводимо тонування. Для спрощення малюнку тінь півсфери не показана.

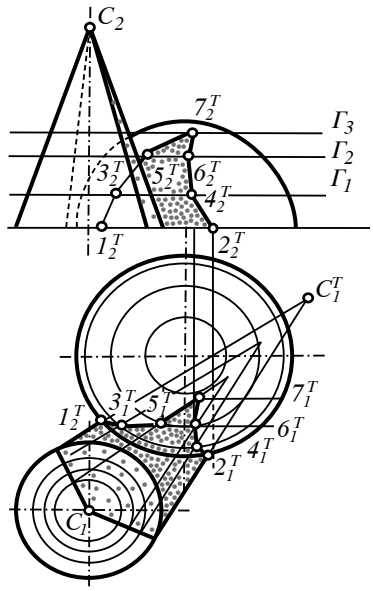


Рис. 11.18.
Тінь конуса на сфері
(тіні сфери не показано)

Спосіб зворотних променів використовується при побудові власних і падаючих тіней поверхонь, утворених на основі простих для зображення ліній – прямих або кіл.

Виходячи з цього, задача 11.8 може бути розв'язана способом зворотних променів. Послідовність дій наступна:

1) будуєтьсяпадаюча тінь конуса на горизонтальній площині;

2) на горизонтальній площині будуютьсяпадаючі тіні від кількох горизонтальних перерізів сфери;

3) точки типу взаємного перетину тіней сфери і конуса повертаються на відповідні перерізи сфери у напрямах, паралельних проекціям світлового променя;

4) тінь від вершини конуса будується за допомогою вертикальної січної світлової площини;

5) падаюча тінь від півсфери на горизонтальній площині будується як лінія, що огинає тіні від горизонтальних перерізів сфери;

6) власна тінь півсфери визначається способом зворотних променів.

Спосіб допоміжного проекціювання полягає в тому, що тінь будують на допоміжній площині, на якій використовують проекцію поверхні та світлового променя за визначеним напрямом проекціювання.

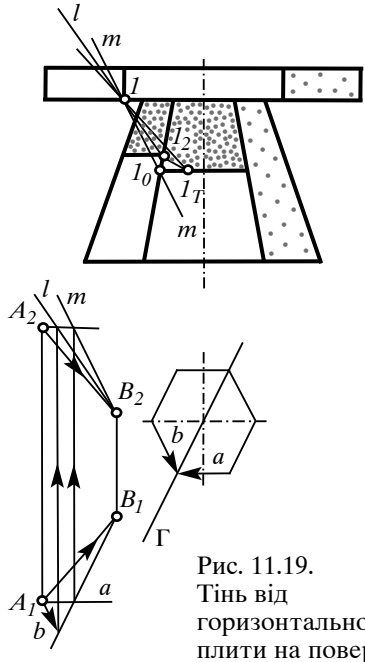


Рис. 11.19.
Тінь від горизонтальної плити на поверхні піраміди

Задача 11.9. *Побудова тіні від горизонтальної плити на зрізаній піраміді* (рис. 11.19).

Визначаємо допоміжну площину Г, яка проходить через точку 1 і ребро піраміди. Для побудови падаючої тіні точки *1* промінь світла *AB* проекціюється паралельно *a* на Г. Фронтальною проекцією променя світла є відрізок *m*. З точки 1 на фронтальній проекції проводимо промінь, паралельний *m*, до перетину з ребром піраміди в точці 1_0. З цієї точки проводимо горизонтальну пряму, перетин якої з променем світла, проведеним через точку 1, визначає тінь 1^T. Далі тінь на передній грані буде паралельною ребру плити. Для побудови падаючої тіні на лівій грані піраміди, промінь світла проекціюється на Г в напрямі *b*. Будується допоміжна фронтальна проекцію променя *l*, за допомогою якої визначається тінь точки 1 на ребрі піраміди, а потім і горизонтальний відрізок тіні на лівій грані піраміди.

Усі наведені способи можуть бути використані також *у аксонометрії і перспективі.*

Самоконтроль. На рис. 11.20 наведено приклади побудови тіней деяких архітектурних форм. Запам'ятайте, як виглядають тіні. Розберіть побудови до повної ясності. Для рис. 11.20г відтворіть побудови самостійно.

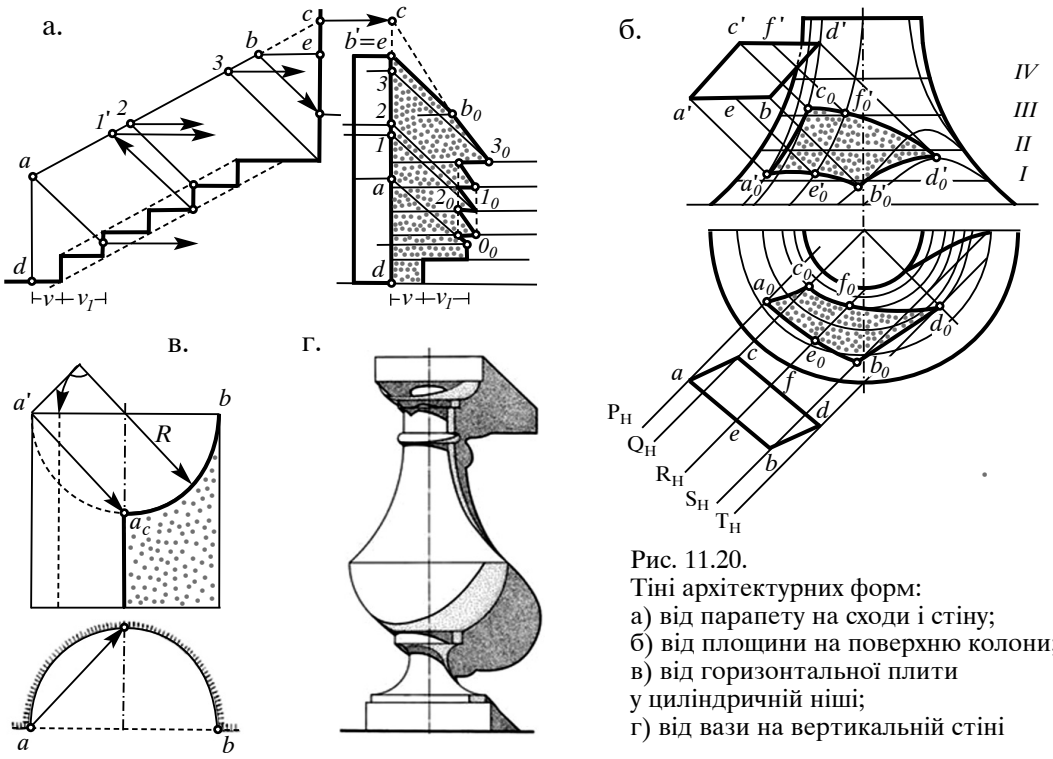


Рис. 11.20.
Тіні архітектурних форм:
а) від парапету на сходи і стіну;
б) від площини на поверхню колони;
в) від горизонтальної плити у циліндричній ніші;
г) від вази на вертикальній стіні

Д. Побудова ізофот

Лінії рівної освітленості називаються ***ізофотами***. Вони обмежують ділянки приблизно однакової освітленості і використовуються для відтворення світлотіньових ефектів.

Для побудови ізофот на поверхнях використовують шаблони, де побудова ізофотє нескладною. *Для поверхонь обертання таким шаблоном є сфера*.

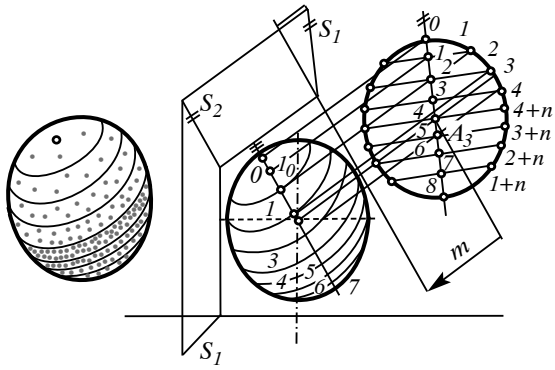


Рис. 10.21. Ізофоти на сфері-шаблоні

Покажемо розташування ізофот на сфері (рис. 11.21). При довільному положенні світлового променя ізофоти на фронтальній проекції сфери є еліпсами. Для їх побудови використовується спосіб заміни площин проекцій, при цьому площина вибирається так, щоб відрізок світлового променя не проекціювавсяу точку. Далі проводиться вісь сфери паралельно знайденому положенню променя, а перпендикулярно до неї сферу перерізаєтьсякількома взаємно паралельними площинами. На фронтальній проекції сфери ці перерізи зобразяться еліпсами. Оскільки освітленість залежить відкута падіння променів і є максимальною, якщо кут складає 90°, точка О є найбільш освітленою, а лінія *4*-термінатором. Якщо поверхня має відбиваючі властивості, інтенсивність затінення отриманих ділянок поверхні, обмежених ізофотами, буде поступово збільшуватись від точки О до границі власної тіні; що ж до інтенсивності власної тіні, то вона теж не буде постійною, і зменшиться в районі шостої та сьомої ізофот. Це явище називається ***рефлексом***.

Задача 11.10. *Побудова ізофот поверхні обертання* (рис. 11.22).

Спочатку будуються ізофоти на поверхні сфери-шаблону довільного радіусу; напрям світових променів приймається таким же, як і для поверхні обертання. Точки ізофот переносятьсяна поверхню за допомогою вписаних описаних конусів або циліндрів – у даному випадку будуються циліндри *I* і *II*, для чого проводяться вертикальні дотичні до контуру поверхні, і конус *III*. У перерізі I до контуру сфери проводяться вертикальні дотичні, у результаті чого утворюється переріз, що відповідає перерізу *I* поверхні. Точки його перетину з ізофотами сфери переносяться у переріз *I* методом пропорційного поділу відрізка. Аналогічно будуються ізофоти у перерізі *II*. У перерізі *III* паралельно лівій контурній твірній конуса будується дотична до сфери, що дає можливість визначити потрібний її переріз. Точки ізофот, що потрапили в цей переріз на основі пропорційного поділу відрізка, переносять на переріз *III* поверхні.

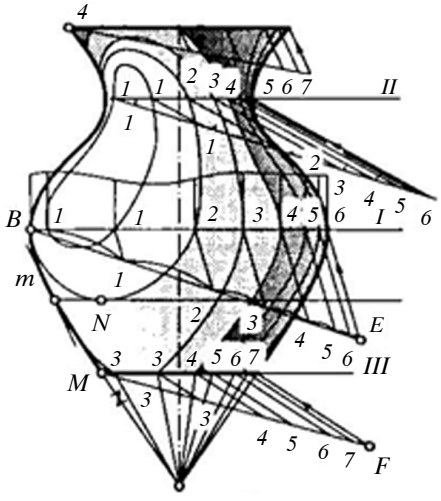


Рис. 10.22. Ізофоти
на поверхні обертання [19].

Для уточнення форми ізофотзнаходяться характерні точки – верхня і нижня. Обмежені ізофотамизони приблизно рівної освітленості відтінюють відповідно освітлення сфери-шаблону.

Оскільки побудова ізофот є трудомісткою справою, особливо коли мова йде про складні за формою архітектурні елементи, доцільно використовувати комп'ютерні програми, зокрема, 3D Studio Max та візуалізатор V-Ray.

Самоконтроль. Що таке ізофоти? Які властивості освітлення моделюються за їх допомогою? Коли їх доцільно застосовувати?
Опишіть послідовність побудови ізофот на сфері шаблоні та їх переносу на поверхню обертання.

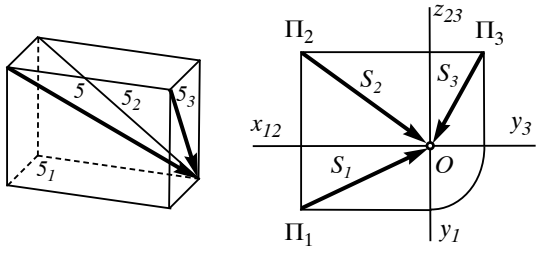


Рис. 11.23. Напрям та вторинні проекції світлового променя у аксонометрії

11.3. Побудова тіней в аксонометрії

Розташування природного джерела світла приймається вздовж діагоналі куба. Відповідно, вторинні проекції променя паралельні діагоналям проекцій граней куба (рис. 11.23). *Для різних аксонометрій ці напрями будуть неоднаковими.*

А. Тіні простих фігур

Тінню точки на координатній площині буде відповідний слід світлового променя (рис. 11.24а). Тінню прямої буде пряма. Досить визначити тіні кінців її відрізку (рис. 11.24). Тіні прямих окремого положення показані на рис. 11.24в.

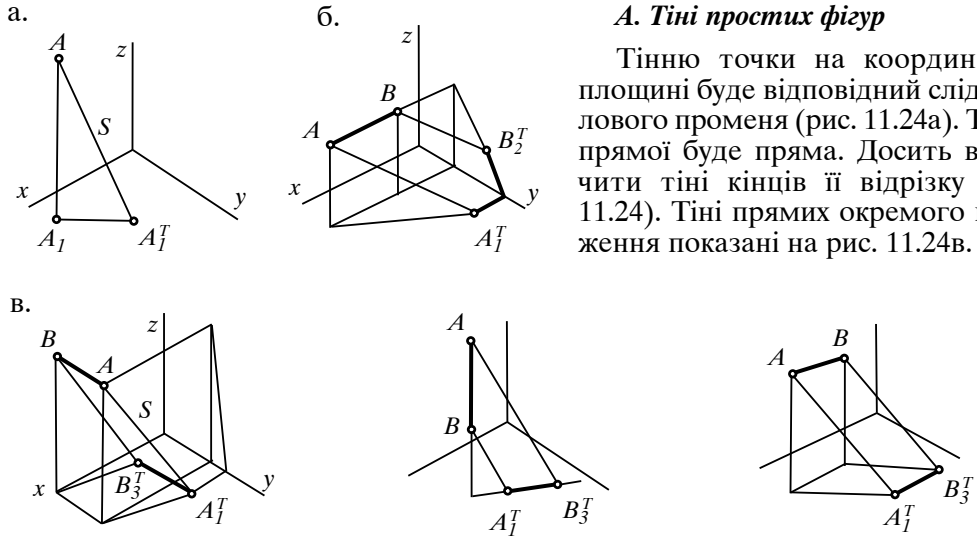


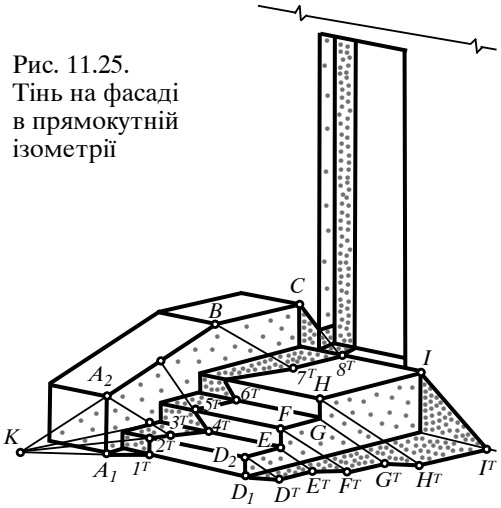
Рис. 11.24. Тіні точок і прямих на координатних площинах в аксонометрії

Задача 11.11. *Побудувати тіні ганку на фасаді* (рис. 11.25).

1. Тінь на сходи, площадку і стіну дає лінія A_1A_2BC. Точка 1^T є перетином горизонтальної проекції світлового променю з вертикальною гранню першої сходинки. Точка 3^T є перетином світлового променя, що проходить через A_2, і горизонтальної проекції променя, проведеного через т. К, яка є перетином горизонтальної площини першої сходинки з прямою A_2B. Тіні на горизонтальних гранях інших сходинок паралельні до 3^T4^T; на вертикальних – профільній проекції світлового променя; на площадці – лінії 34 до т. 7^T і BC до т. 8^T. Для стіни враховано заглиблення ніші дверей.

2. Тінь на землю і стіну справа дає лінія D_1D_2EF.
3. Тінь в ніші дверей повторює їх контур на відстані, рівній заглибленню ніші.

Рис. 11.25. Тінь на фасаді в прямокутній ізометрії



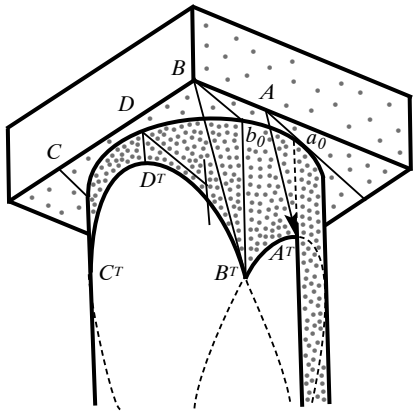


Рис.11.26. Тіні абаку і колони

Самоконтроль. Для рис. 11.26 реконструюйте хід побудови власних і падаючих тіней.

11.4. Побудова тіней та відбиттів у перспективі

Вибір напряму променів природного світла має істотне значення для наочного визначення форми та характеру предмета або споруди. Теоретично можливі вісім напрямів – зліва або справа від глядача, перед ним або поза ним; для останніх двох випадків сонце може бути зліва, справа або прямо перед глядачем. Проте не для всіх цих випадків зображення буде достатньо виразним – наприклад, фасад буде повністю затінено при розташуванні сонця перед глядачем. З цієї причини деякі розташування використовуються досить рідко.

На рис. 11.27 показано деякі характерні положення точки збігу паралельних променів світла і залежно від цього – напрям тіні, що падає від вертикального відрізкана горизонтальну площину.

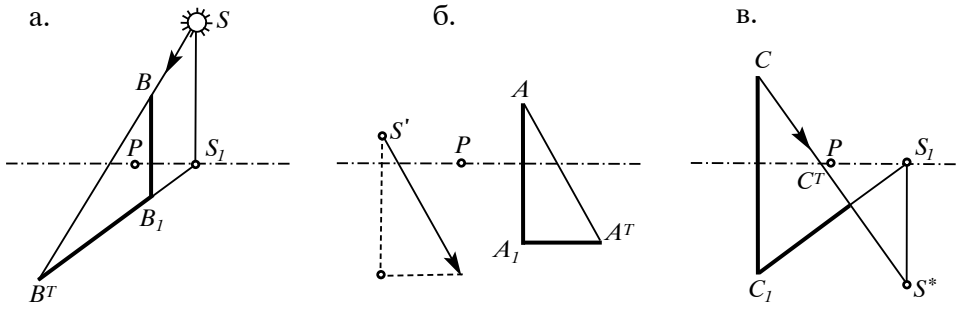


Рис. 11.27. Деякі розташування джерела світла:
а. Сонце перед глядачем; б. Сонце зліва від глядача; в. Сонце за спиною глядача

Найбільш популярним є розташування сонця за спиною глядача, що, як правило, дозволяє адекватно показати рельєф фасаду. Цей випадок ми і будемо розглядати як основний, додавши в 11.4Б декілька прикладів побудови тіней для двох інших розташувань.

А. Побудова тіней простих фігур

Тінню точки на предметній площині є перетин світлового променя AS з його вторинною проекцією A_1S (рис. 11.28а). Тінь прямої визначається тінню двох її точок (рис 11.286б). Для прямих окремого положення розташування тіней на предметній площині показані на рис. 11.28в –1.28д.

Тінь відсіку площини загального положення визначається тінями його вершин (рис. 11.29). Для спрощення побудов можна використати той факт, що паралельні прямі мають спільну точку збігу.

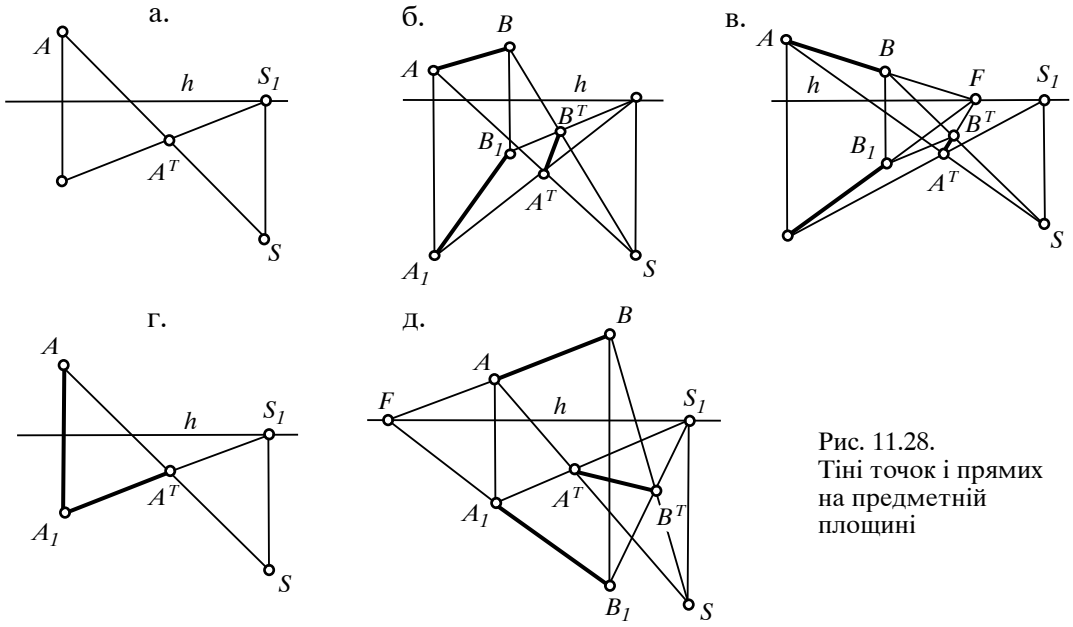


Рис. 11.28.
Тіні точок і прямих на предметній площині

В усіх наведених вище прикладах власна тінь була відсутня. Розглянемо задачі, де її побудова є необхідною.

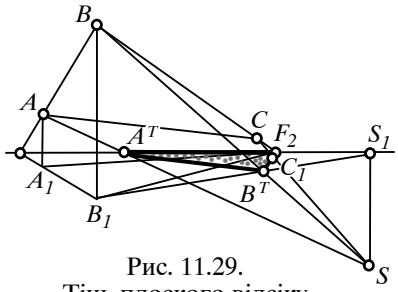


Рис. 11.29.
Тінь плоского відсіку на предметній площині

Задача 11.12. *Побудова тіні паралелепіпеда* (рис. 11.30).

Контур власної тіні визначає ламана $1_1 1\ 23 3^1$. Падаюча тінь т. 1_1 збігається з 1_1; тінь прямої $1_1 1$ направлена до S_1, а тінь т. 1 знаходиться в місці перетину цієї прямої з променем 1S. Тінь від (12) паралельна до нього, отже, пряма $1^T 2^T$ направлена до F^2, а т. 2^T знаходиться в місці перетину променю 2S з нею. Аналогічно, тінь $23 – 2^T 3^T$ – направлена до F^1. В подальших побудовах не має потреби, оскільки паралелепіпед закриває частину тіні.

Задача 11.13. *Побудова тіні прямого конуса* (рис. 11.31).

Тінь основи конуса збігається з нею; тінь від вершини знаходиться в точці перетину світлового променя з його вторинною проекцією C^T. З цієї точки проводимо дотичні до основи конуса; прямі, що з'єднують точки дотику з вершиною, визначають контур власної тіні.

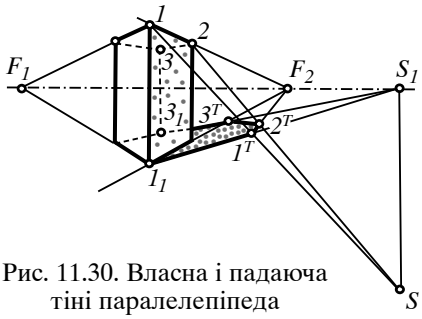


Рис. 11.30. Власна і падаюча тіні паралелепіпеда

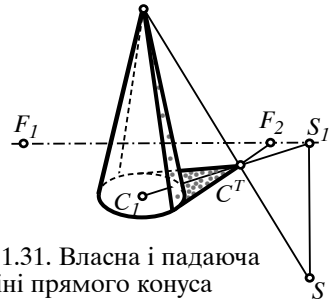


Рис. 11.31. Власна і падаюча тіні прямого конуса

Б. Тіні архітектурних форм

Знання того, як виглядають тіні типових форм дозволяє спростити проектування, інколи малюючи, а не будуючи їх. Розглядаючи подальші приклади (застосована перспектива на вертикальну площину), зверніть увагу на визначення характерних точок тіней.

Задача 11.14. *Побудова тіні абака* (рис. 11.32).

Визначаємо власну тінь абака – плити зверху колони. Якщо остання має форму паралелепіпеда (рис. 11.30а), будуємо вторинну проекцію тіні т. А на нижній грані абака – т. A^T_1 є перетином AS_1 з фронтальною гранню колони. В точці перетину AS з лінією зв'язку $A^T_1A^T_2$ знаходимо т. A^T_2. Тінь AA^T_1 має ту ж саму точку збігу, що й сама пряма – F^1. Тінь горизонтального ребра абака, що проходить через А перпендикулярно AA^T_1, є відрізком, що з'єднує A^T_2 і 1 – перетин верхнього ребра колони з вказаним ребром.

Якщо колона циліндрична (рис. 11.32б), на ребрах береться кілька точок і будуються їх тіні. Слід обов'язково визначати тіні характерних точок: А – відповідає перетину світлового променя з контурною лівою твірною колони; В – точка перетину перпендикулярних ребер (її тінь визначить точку зламу кривої тіні); С – відповідає дотику світлового променя до лінії перетину колони і абака (вертикальна лінія, проведена через її тінь визначить границю власної тіні колони).

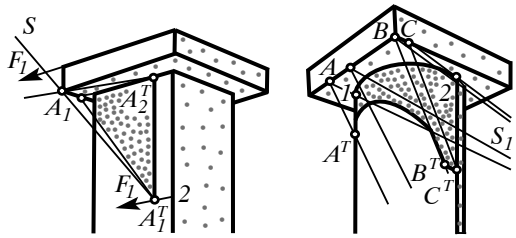


Рис. 11.32. Тіні абака на гранній і циліндричній колонах

Задача 11.15. *Побудова власної і падаючої тіні порталу* (рис. 11.33).

Власна тінь охопить бічну поверхню арки і ліву сторону виступу, отже будуть дві падаючі тіні – на воротах і стіні. Характерними точками першої є тіні точки А (перехід від прямої частини арки до округленої) і точки В (найвища точка арки). Хід побудов зрозумілий з рисунка. Тіні проміжних точок С і D визначаються так само.

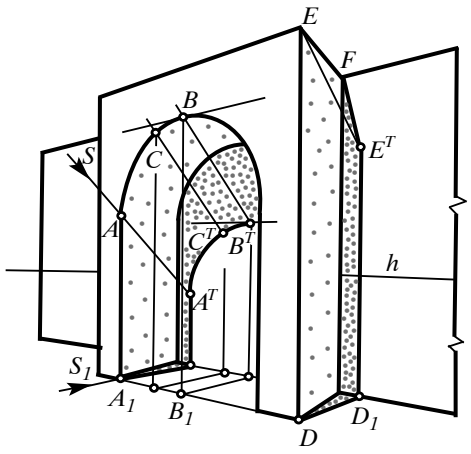


Рис. 11.33. Тіні порталу

Тінь на стіну даватиме ламана DEF. Тіні від цих точок знаходяться звичайним способом.

Задача 11.16. *Побудова тіней одноповерхового будинку* (рис. 11.34).

Послідовність побудови наступна:

1) визначаємо ділянки власних тіней окремих елементів;

2) послідовно будуємо падаючі тіні в нішах вікна, дверей, знаходячи характерні точки;

3) будуємо падаючу тінь від труби на скаті покрівлі;

4) показуємо падаючу тінь від стін будинку.

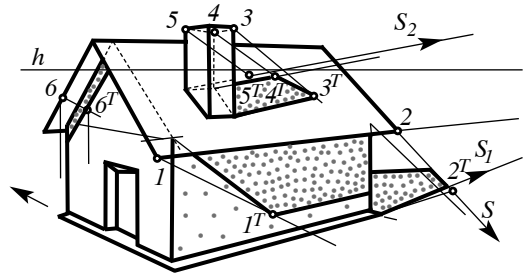


Рис. 11.34. Власні і падаючі тіні будинку

Задача 11.17. *Побудова тіней аркади при розташування сонця перед глядачем* (рис. 11.35).

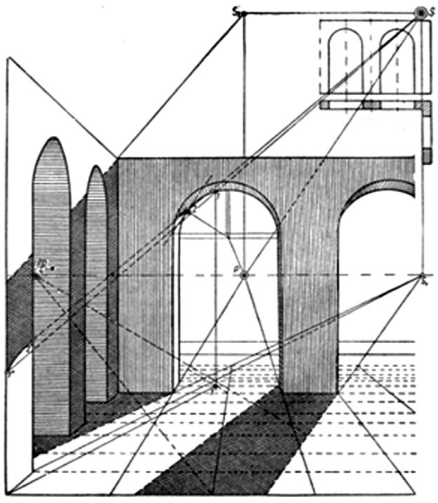


Рис. 11.35. Тіні аркади

У цьому випадку тінь від точки визначається згідно рис. 11.27а; в усьому іншому порядок побудови тіней залишається таким же, як було розглянуто вище.

Визначаємо контур падаючої тіні – його утворить фронтальна стіна, *ближчі* до глядача ліві вертикальні ребра арок і дальні праві ребра; у межах зводу арок контур падаючої тіні визначиться точками дотику світлових променів із циліндричною поверхнею зводу. Далі знаходяться характерні точки контуру падаючої тіні і сам контур.

Деякі особливості виникають під час побудови тіней, коли промені світла паралельні картині (рис. 11.27б). У цьому випадку зручно використовувати метод допоміжних січних площин, обираючи їх паралельними до картинної площини. Крім того, *якщо фігура паралельна до площини, на яку падає тінь, контур тіні буде у загальному випадку подібним, а інколи і рівним контуру самої фігури.* Ця обставина значно полегшує побудову тіней елементів складної форми, таких, як вази, колони тощо.

Задача 11.18. *Побудова тінейвази при розташуванні сонця зліва від глядача* (рис. 11.36).

Для побудови власної тіні використовуємо розташовані у місцях зміни кривини контуру вази допоміжні горизонтальні перерізи – точками контуру власної тіні будуть точки дотику світових променів до цих кіл (зображуються як еліпси).

Далі будуємо проекції цих кіл на горизонтальну і фронтальну площини, а контур падаючої тіні отримуємо як огинаючу до проекцій кіл.

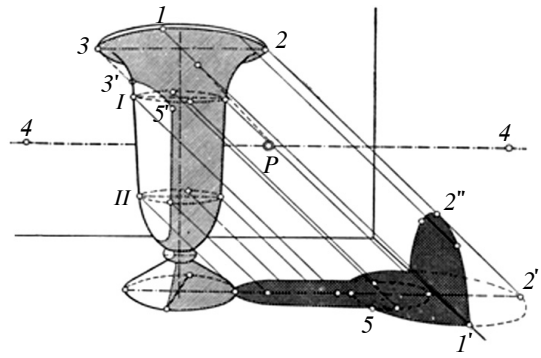


Рис. 11.36. Тіні вази [1]

Самоконтроль. Розберіть самостійно хід побудови власних і падаючих тіней карнізу на рис. 11.37.

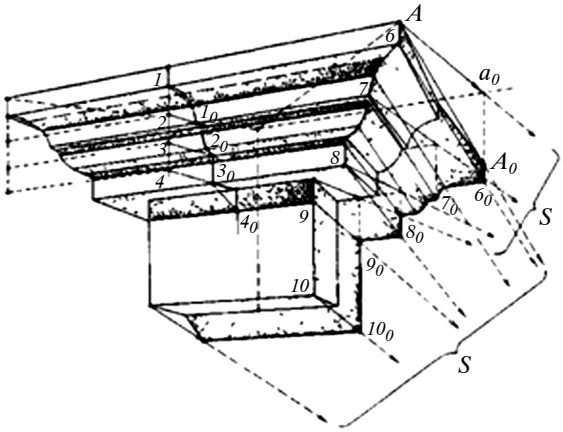


Рис. 11.37. Тіні карнизу [17]

В. Тіні від штучних джерел. Тіні в інтер'єрі

Як відзначалося на початку розділу, штучне джерело задається точкою, а промені – світловим конусом або циліндром; у разі, коли фізичними розмірами лампи чи прожектора не можна нехтувати, джерело заміняється кількома точками, а тінь будується як сумарна від тіней, побудованих для кожного з таких джерел окремо.

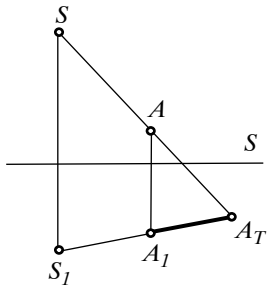


Рис. 11.38. Завдання джерела штучного освітлення і побудова тіні від точки

Ці та інші геометричні і фізичні особливості побудови тіней від штучного освітлення враховуються у спеціальних комп'ютерних програмах, таких, як 3D Studio Max. Ми ж розглянемо лише найпростіший випадок, коли освітлення задається точковим джерелом.

Положення джерела світла має бути задано власною точкою і її додатковою прямокутною проекцією на предметну площину (рис. 11.38). Для побудови тіні від точки А на площині Р, через точку А проводять світловий промінь і визначають точку перетинуцього променя з площиною. Для цього через промінь проводять додаткову вертикальну світлову площину, будують лінію перетину заданої та проведеноїплощин, і визначають точку перетину світлового променяз цією лінією. Ця точка і є тінню точки А.

Під час побудови тіней зручно використовувати той факт, що *тінь відрізка прямої на перпендикулярну до нього площину збігається з прямокутною проекцією променя світла на цю площину.*

Задача 11.19. *Побудова тіней типових елементів інтер'єру* (рис. 11.39).

Виходячи з наведеного щойно правила, будуємо вторинні прекції джерела світла на основні поверхні кімнати – стелю, підлогу, бічні стіни. Далі визначамо контури власних тіней окремих елементів і для опорних точко цих контурів будуємо падаючі тіні. Зєднуємо ці точки і отримуємо контур падаючої тіні.

Аналогічно будуються тіні від штучних джерел в інших ситуаціях – від вуличних ліхтарів, театральних ламп, освітлення на стадіоні тощо.

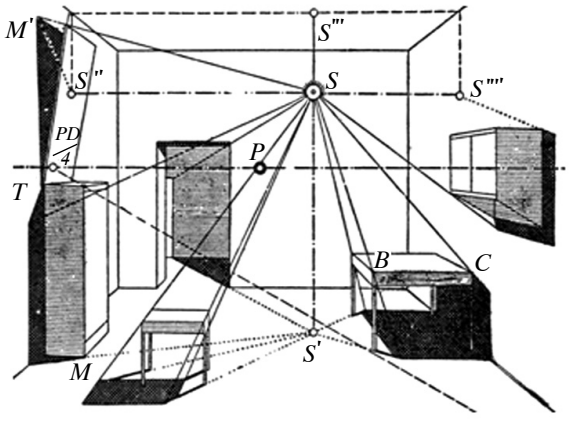


Рис. 11.39. Тіні типових елементів інтер'єру [19]

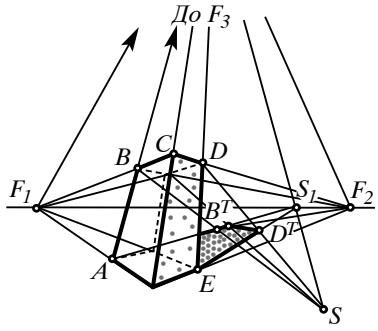


Рис. 11.40. Тінь паралелепіпеда на похилій площині

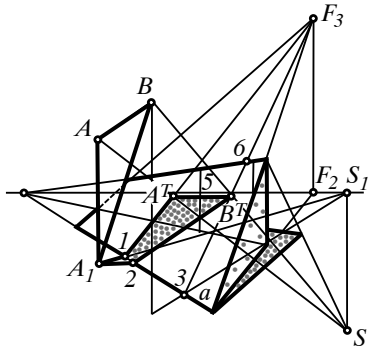


Рис. 11.41. Тінь прямої на похилій площині

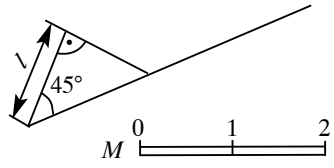


Рис. 11.42. Азимут, кут нахилу, градуювання світлового променя

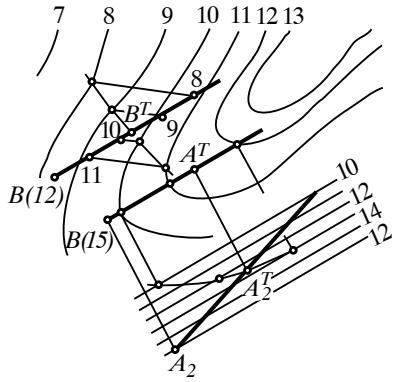


Рис. 11.43. Тінь точки на рельєфі

Г. Побудова тіней на картині загального положення.

Порядок побудов і методи визначення тіней залишаються такими ж, як і для перспективи на вертикальній картині.

Задача 11.20. *Побудова тіні паралелепіпеда на похилій площині* (рис. 11.40).

Визначаємо контур власної тіні ABCDE. Тінь точки A збігається з A; тінь точки B знайдеться як перетин світлового променю з предметною площиною. Тінь BC паралельна самій прямій, отже, матиме спільну з нею точку збігу $G=AF_1 \cap BC$. Тінь від точки C знаходиться в місті перетину цієї прямої з променем CS. Далі, тінь прямої CD паралельна до неї, отже має ту ж точку збігу F_1, а точка D^T є її перетином з променем DS.

Задача 11.21. *Побудова тіні трикутника на скат* (рис. 11.41).

Така задача часто зустрічається при побудові тіней від труб і світлових ліхтарів на покрівлю.

Для побудови тіні прямої AB знаходимо тінь від неї на предметній площині. Точка 1 – перетин предметного сліду похилої площини *a* і $A^T_1B^T_1$ – визначить точку зламу тіні; точка B^T – її кінець. Для знаходження B^T використано допоміжну січну площину, лінія перетину 23 якої з похилою площиною містить т. $B^T=BS \cap \alpha$.

Самоконтроль. На рис. 11.40, замініть паралелепіпед прямим круговим циліндром і побудуйте його власну і падаючу тіні.

11.5. Побудова тіней у проекціях з числовими позначками

В залежності від розташування сонця, світловий промінь задається кутом нахилу до горизонтальної площини і азимутом – кутом між напрямом на північ і горизонтальною проекцією променя, виміряному за рухом стрілки годинника. Найчастіше кут нахилу приймається 45°; в такому разі градуювання променя, необхідне для побудови тіней, спрощується (рис. 11.42).

Задача 11.22. *Побудова тіні точки на рельєфі* (рис. 11.43, кут нахилу променя 45°).

Градуюємо промінь як показано на рис. 11.42. Проводимо довільну допоміжну площину через проекцію променя, задаючи її цілочисловими горизонталями (тобто проекція променю не є лінією скату). Знаходимо лінію *a* її перетину з рельєфом. Точка перетину *a* з проекцією променя є тінню точки A.

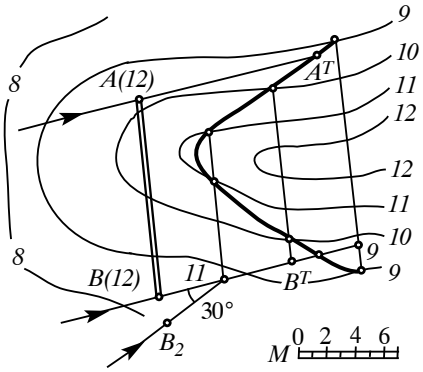


Рис. 11.44. Тінь горизонтальної прямої на рельєфі

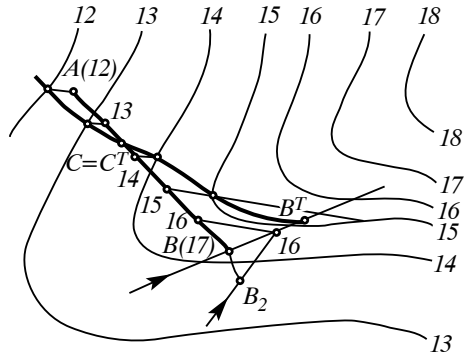


Рис. 11.45. Тінь прямої загального положення на рельєфі

Задача 11.23. *Побудова тіні горизонтальної прямої на рельєфі* (рис. 11.44, кут нахилу променя 30°).

Градуюємо проекцію променя: відкладаємо від точки В по перпендикуляру до проекції одиницю виміру висот; проводимо через цю точку лінію під кутом 30° до проекції; в точці її перетину з проекцією маємо позначку 11 і т. д.). Задаємо допоміжну площину цілочисловими горизонталями, паралельними АВ. Перетин її з рельєфом є тінню АВ.

Задача 11.24. *Побудоватіні прямої загального положення на рельєфі* (рис. 11.45).

Приймаємо кут нахилу світлових променів 45° і градуюємо проекцію променю, що проходить через т. А. Градуюємо вихідну пряму. Задаємо допоміжну площину горизонталями, проводячи їх через точки променя і прямої з однаковими позначками. Будуємо лінію перетину площини з рельєфом – тінь від прямої.

Самоконтроль. Задайте довільні рельєф і куб. Побудуйте тінь від куба на рельєф.

11.6. Побудова відбиттів та віддзеркалень

Побудова відбиття у дзеркальних поверхнях відповідає законам геометричної оптики: *падаючий і відбитий проміні, а також нормаль до поверхні дзеркала в точці відбиття належать одній площині; кут падіння променю дорівнює куту відбиття* (рис. 11.46).

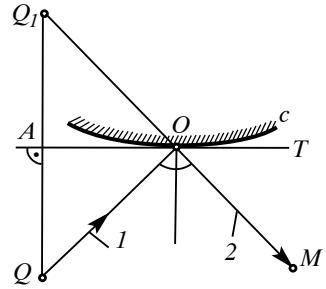


Рис. 11.46. Закони відбиття

На рис. 11.47 наведено побудову відбиття точкиу горизонтальній дзеркальній площині. Для цього потрібно через точку провести перпендикулярну до площини дзеркала пряму і від точки перетину відкласти відрізок, що дорівнює відстані від заданої точки до дзеркала. Фактично будується точка, симетрична відносно поверхні відбиття; причому для ортогональних проекцій та аксонометрії така побудова є достатньо простою. Тому розглянемо задачі побудови відбиттів лише у перспективі на вертикальній картині.

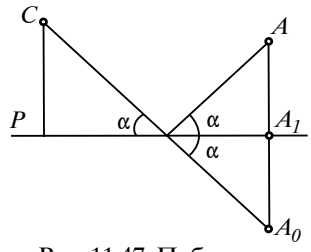


Рис. 11.47. Побудова відбиття точки

Задача 11.25. *Побудова відбиття на поверхні води* (рис. 11.48).

При побудові слід враховувати, що перспективи відбиття в горизонтальних дзеркалах від вертикальних прямих вертикальні, від горизонтальних прямих – горизонтальні і мають ті самі точки збігу, що і самі прямі. Слід також враховувати, що у даному випадку всі глибинні промені мають точку збігу Р, а широтні паралельні картині. Це дає можливість брати вертикальні відстані прямо з рисунку, значно полегшуючи побудови симетричних точок.

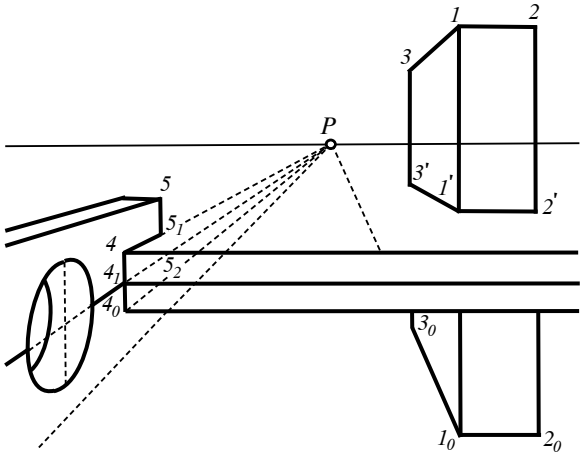


Рис. 11.48.
Відбиття на поверхні води

Отже, для визначення відбиття вертикальних прямих просто відкладаємо відрізки $1_1 – 1$, $2_1 – 2$ і т. д. вниз від відповідних глибинних променів, що відповідають рівню води.

Для побудови відбиття арки визначаємодекілька опорних точок і будують їх відбиття так, як сказано вище. З'єднуючі точки, отримуємо контур відбиття.

Слід мати на увазі, що на відміну від *віддзеркалення* на твердій поверхні, вода постійно перебуває у русі. Відповідно, контур *відбиття* буде трохи розмитим. З цієї причини відбиття зірок, місяця або сонця виглядають не як точки чи еліпси, а як доріжки.

Задача 11.26. *Побудова віддзеркалення інтер'єру у вертикальному дзеркалі* (рис. 11.49).

У даному випадку використано кутову схему перспективи інтер'єру, дзеркало розташовано вертикально і перпендикулярно стіні з вікнами.

Визначаємо висоту вікон у дзеркалі, для чого проводимо горизонтальні прямі через опорні точки вікон у стіні.

Тепер визначимо горизонтальні розміри.

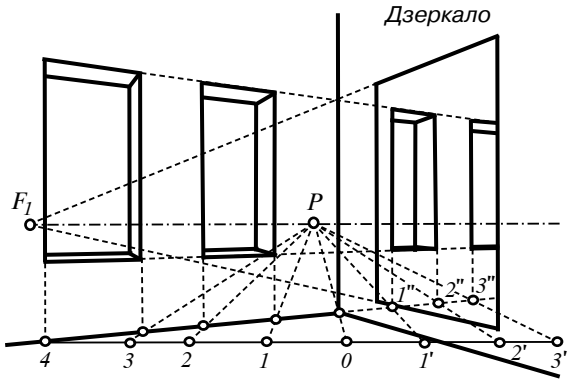


Рис. 11.49. Віддзеркалення
у вертикальному дзеркалі

Визначаємо площину симетрії горизонтальним слідом – це буде лінія,що проходить через нижню точку ребра стику стін і головну точку Р. Через точку 4 проводимо горизонтальну пряму, яка перетне слід у точці 0. Використовуємо цю лінію для перенесення всіх горизонтальних відстаней, відкладаючи в правий бік від точки 0 ті ж відстані, що й зліва. Будуємо зображення у дзеркалі.

Самоконтроль. Самостійно розберіть випадки розташування дзеркал: паралельно, перпендикулярно до картини, у загальному положенні. Побудуйте віддзеркалення вертикального відрізку для кожного випадку.

ЧАСТИНА ДРУГА

ІНЖЕНЕРНА ТА КОМП'ЮТЕРНА ГРАФІКА

Виконання креслень – це перше, і, так би мовити, найбільш природнє застосування нарисної геометрії з самого її виникнення, хоча б тому, що у кресленнях застосовуються ті ж самі проекційні системи. Але креслення значно відрізняються від рисунків, які ми наводили досі. Креслення є графічним документом, який має відповідати стандартам і який, окрім зображень, містить ті чи інші пояснення, умовні позначення, таблиці. Та й самі зображення інколи виконуються, за фіксованими домовленостями, спрощено.

Ці відмінності треба знати, як і регламентуючі документи. Поява комп'ютерної графіки змінила математичний апарат побудови креслень (втім, проекційні системи залишилися тими ж). Але такі зміни лишаються «за кадром», хоча їх, безумовно, слід знати. Найпомітнішою ж зміною став інструмент креслення – комп'ютерна програма у сукупності із апаратними засобами. Техніці роботи з ними ми присвячуємо основну увагу.

12. ПРАВИЛА ВИКОНАННЯ МАШИНОБУДІВНИХ КРЕСЛЕНЬ

12.1. Стандарти і конструкторська документація

Креслення та документи, що описують промислові вироби, називаються конструкторською документацією. Конструкторські документи мають відповідати чинним стандартам.

На території України використовуються:

- міждержавні стандарти;
- державні стандарти України;
- республіканські стандарти УРСР, затверджені до 1 серпня 1991 р.;
- настановні документи та рекомендації Держстандарту України;
- державні класифікатори;
- галузеві стандарти (ОСТ) та технічні умови (ТУ) СРСР, затверджені до 1 січня 1992 року і термін чинності яких не закінчився, якщо їх вимоги не суперечать законодавству України;
- галузеві стандарти України (ОСТ СРСР, утримувачами оригіналів яких є організації України, ГСТУ, зареєстровані в УкрНДІСС);
- технічні умови, зареєстровані територіальними органами Держстандарту України.

Нормативні документи позначаються індексами:

1) ДСТУ – державні стандарти, затверджені Держстандартом України;
2) ДСТУ І50 – державні стандарти, через які запроваджено стандарти Міжнародної організації зі стандартизації (ISO);
3) РСТ УРСР – республіканські стандарти колишнього СРСР;
4) ДК – державні класифікатори;
5) ГСТУ – галузеві стандарти України.

Під час розробки конструкторської документації використовується ДСТУ 3321:2003 і тимчасово діючі стандарти класу 2 раніше діючої Єдиної системи конструкторської документації, що складають Систему конструкторської документації – комплекс державних стандартів, який встановлює взаємопов'язані правила та положення щодо порядку розроблення, оформлення й обігу конструкторських документів. До останніх належать графічні та текстові документи, що визначають склад та будову виробу і містять необхідні відомості для його розробки або виготовлення, контролю, експлуатації та ремонту. Конструкторські документи виконують у паперовій або електронній формі.

Конструкторські документи включають:

- креслення загального виду, що визначає конструкцію виробу, взаємодію його частин та принцип роботи;
- пояснювальну записку, що описує побудову та принцип дії виробу, обґрунтування прийнятих технічних та техніко-економічних рішень;
- креслення деталі, що містить зображення деталі та необхідні дані про її виготовлення і контроль;
- теоретичне креслення, що визначає геометричну форму виробу і координати розташування складових частин;
- складальне креслення, що містить зображення складальної одиниці та інші дані, згідно з якими її складають і контролюють;
- габаритне креслення, що містить спрощене зображення виробу з габаритними, установчими та приєднуючими розмірами;
- монтажнекреслення, що містить спрощене зображення виробу та необхідні дані для монтажу його на місці експлуатації;

- схему, що дає умовне зображення складових частин виробу та зв'язок між ними;
- специфікацію, у якій зазначають склад виробу та розробленої на нього конструкторської документації;
- технічні умови – вимоги до виробу, його виготовлення, контролювання, приймання і постачання, які недоцільно зазначати в інших конструкторських документах на цей виріб.

Залежно від стадії розробки конструкторські документи поділяють на проектні та робочі.

Номенклатура проектних конструкторських документів визначається технічним завданням на їх розробку (ДСТУ 3321:2003).

Проектна конструкторська документація складається з технічної пропозиції, ескізного проекту, технічного проекту.

Технічна пропозиція включає:

1. креслення загальних видів з варіантами можливих рішень;
2. відомість (розпис) технічної пропозиції;
3. пояснювальну записку.

Ескізний проект містить:

1. креслення загальних видів, що містять зображення виробу (види, розрізи, розтини, перерізи), текстову частину і на написи, необхідні для розуміння конструктивної побудови виробу та принципу його дії. Позначення складових частин виробу виконують на поличках ліній-виносок або в таблиці на тому ж аркуші, де зображено виріб. Форма таблиці стандартом не встановлена.
2. відомість ескізного проекту;
3. пояснювальну записку з конструкторськими розрахунками та техніко-економічним аналізом виробу

Технічний проект містить:

1. креслення загальних видів з позначенням посадок та технічних характеристик виробу;
2. відомість (розпис) технічного проекту;
3. пояснювальну записку.

До складу робочої конструкторської документації входять: креслення деталей, складальні креслення, специфікації, габаритні та монтажнікреслення, інші документи, пов'язані з виготовленням, монтажем, експлуатацією та обслуговуванням виробів.

Окремі види документів позначаються наступним чином:

1. Креслення загального виду – ВЗ.
2. Складальний креслення – СК.
3. Монтажний креслення – МК.
4. Пояснювальна записка – ПЗ.

Робочі креслення деталі та специфікація шифрів не мають.

В залежності від способу виготовлення і характеру використання документи підрозділяються на оригінали, робочі оригінали, дублікати, копії.

Оригінал – документ, виконаний на будь-якому матеріалі та призначений для виготовлення робочого оригіналу.

Робочий оригінал – документ, оформлений дійсними встановленими підписами та виконаний на будь-якому матеріалі, що дозволяє багаторазове відтворення з нього копій.

Дублікат – копія робочого оригіналу, яка забезпечує ідентичність відтворення робочого оригіналу та виконана на будь-якому матеріалі, який дозволяє багаторазове відтворення з нього копій.

Копія – документ, виконаний способом, що забезпечує його ідентичність з робочим оригіналом (дублікатом), та призначений для безпосереднього використання при розробці, виготовленні, експлуатації та ремонті виробів.

ГОСТ 2.201 – 80 встановлює таку структуру позначення виробу (рис. 12.1).

Перші чотири знаки загальної структури позначення креслення визначають індекс організації-розробника. Цей індекс може складатись з літер або ж з літер і цифр.

Наступні шість знаків відповідають класифікаційній характеристиці виробу, що визначають за класифікатором. Перші два знаки цієї характеристики вказують клас виробу певної галузі техніки за предметно-галузевим принципом. Третій знак визначає підклас, наступні – групу, підгрупу і вид виробу. Підкласи прийнято позначати таким чином: цифрою «О» позначають документацію, цифрою «1» – комплекси, «2, 3, 4, 5, 6» – складальні одиниці і комплекти, цифрами «7, 8, 9» – деталі.

Позначення кожного конкретного виробу визначається трьома останніми знаками, які вказують порядковий реєстраційний номер виробу. Цей номер проставляється виготовлювачем.

Для конструкторських документів (крім креслень деталей і специфікацій) додатково проставляють шифр документа, наприклад: «СК» – складальний креслення.

ХХХХ	**ХХХХХХ**	**ХХХ**	**ХХХ**
Індекс організації-розробника	**1 2 3 4 5 Класифікаційна характеристика**	**Порядковий реєстраційний номер**	**Шифр документа**

Рис. 12.1. Позначення виробу

12.2. Формати креслень. Основний напис

Вивчення інженерної графіки полягає в засвоєнні правил виконання та оформлення креслень відповідно до правил ортогонального проекціювання та діючих стандартів єдиної системи конструкторської документації.

Система ЄСКД – Єдина система конструкторської документації є найбільш поширеною. Вона має цифровий індекс 2 і 10 класифікаційних груп (від 0 до 9). Наприклад, третя група (загальні правила виконання креслень) містить ДСТУ 2.301-68 та всі наступні до ДСТУ 2.321-84.

Таблиця 12.1.

Розміри основних форматів

Формат	**Розміри сторін формату, мм**
А0	841 х 1189
А1	594 х 841
А2	420 х 594
А3	297 х 420
А4	210 х 297

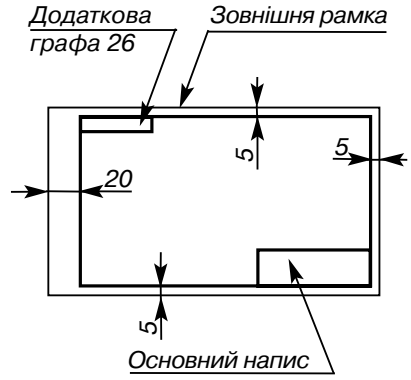


Рис. 12.2. Рамка креслення

Розміри форматів визначаються розмірами зовнішньої рамки креслення (рис. 12.2). Згідно з ДСТУ 2.301-68 регламентуються п'ять основних форматів: А0, А1, А2, А3, А4, розміри сторін яких подано в табл. 12.1. У разі потреби можна користуватися форматом А5 зі сторонами 148 х 210 мм.

Площа формату А0 (841 х 1189) дорівнює одному квадратному метру. Інші основні формати можуть бути одержані послідовним поділом формату А0 на дві рівні частини паралельно меншій стороні відповідного формату (табл. 12.1).

Поле креслення обмежується рамкою, товщина якої не менші ніж 0,7 мм, на відстані 20 мм від лівої межі аркуша (поле для підшивання) та на відстані 5 мм від інших сторін зовнішньої рамки (рис. 12.2). У правому нижньому куті незалежно від розмірів сторін поля креслення розміщується основний напис (рис. 12.3) за винятком формату А4, де він розміщується тільки вздовж сторони 210 мм.

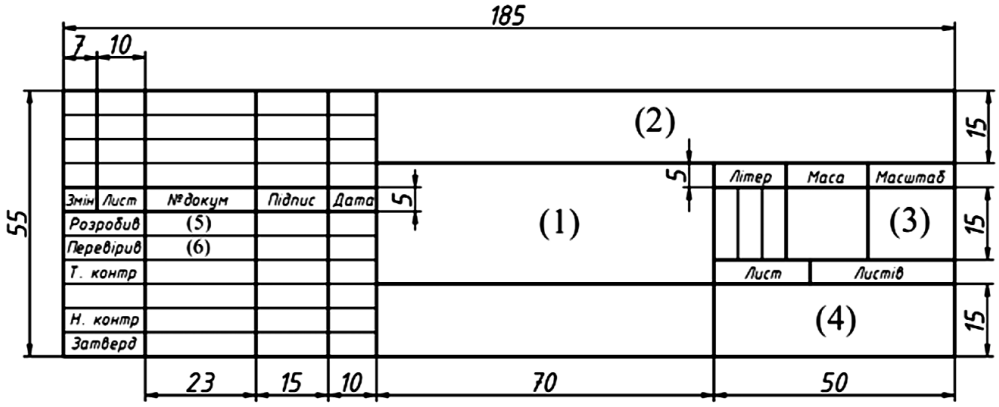


Рис. 12.3 Основний напис

Усі графи основного напису мають бути заповнені відповідно до ДСТУ 2.104-68.

Крім того, для креслення обов'язково заповнюють графу 26 розміром 70 х 14 мм у лівому верхньому кути (рис. 12.2), де записують повернуті на 180° відносно основного напису позначення конструкторського документу аналогічно графі 2 основного напису.

12.3 Масштаби

Масштабом називають відношення лінійних розмірів зображення предмета до відповідних розмірів самого предмета.

Перевагу віддають зображенню предмета в натуральну величину, тобто в масштабі 1:1. Однак, якщо треба зменшити або збільшити зображення, то застосовуються такі ряди масштабів у відповідності до ДСТУ 2.302-68:

натуральна величина – 1:1;

масштаби зменшення – 1:2; 1:2,5; 1:4; 1:5; 1:10; 1:15; 1:20; 1:25; 1:40; 1:50; 1:75; 1:100; 1:200; 1:400; 1:500; 1:800; 1:1000;

масштаби збільшення – 2:1; 2,5:1; 4:1; 10:1; 20:1; 40:1; 50:1; 100:1.

Масштаб позначається в призначеній для цього графі основного напису за типом 1:1; 1:2; 2:1 тощо.

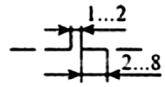
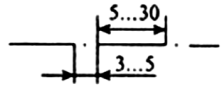
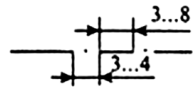
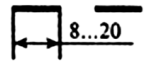
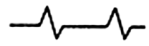
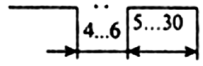
Якщо окреме зображення виконано в масштабі, що відрізняється від масштабу всього креслення, то масштаб позначається безпосередньо біля напису, що стосується цього зображення, наприклад, А (5:1), Б-Б (1:2).

12.4 Типи ліній

ДСТУ 2.303-68 регламентує різні типи ліній, що використовуються при побудові креслень. У табл. 12.2 наведено типи ліній, їх найменування, накреслення і розміри конструктивних елементів ліній, товщина ліній відносно суцільної товстої лінії та основне призначення. Товщинys лінії видимого контуру вибирають у межах 0,5…1,4 мм залежно від розмірів, складності та призначення рисунка, розмірів формату.

Таблиця 12.2.

Лінії, що використовуються при побудові креслень

Найменування ліній	Накреслення лінії	Товщина лінії відносно товщини основної лінії	Основне призначення
Суцільна товста основна		s	Лінії видимого контуру Лінії переходу видимі Лінії контуру перерізу (винесеного і такого, що входить до складу розрізу)
Суцільна тонка		s/3...s/2	Лінії контуру накладеного перерізу Лінії розмірні та виносні Лінії штриховки Лінії-виноски Полички ліній-виносок Лінії для зображення примежових деталей Лінії обмеження виносних елементів на виглядах, розрізах, перерізах Сліди площин, лінії побудови характерних точок
Суцільна хвиляста		s/3...s/2	Лінії обриву Лінії розмежування вигляду та розрізу
Штрихова		s/3...s/2	Лінії невидимого контуру Лінії переходу невидимі
Штрихпунктирна тонка		s/3...s/2	Лінії осьові та центрові Лінії перерізів, що є осями симетрії для накладних або винесених перерізів
Штрихпунктирна потовщена		s/2...2/3s	Лінії, що позначають поверхні, які підлягають термообробці або покриттю Лінії для зображення елементів, розміщених перед січною площиною («накладна проекція»)
Розімкнена		s...1,5s	Лінії розрізу
Суцільна тонка зі зламами		s/3...s/2	Довгі лінії обриву
Штрихпунктирна з двома крапками тонка		s/3...s/2 s/3...s/2	Лінії згину на розгортках Лінії для зображення частин виробів у крайніх або проміжних положеннях Лінії для зображення розгортки, суміщеної з виглядом

На рис. 12.4 та 12.5 наведено приклади застосування різних типів ліній при виконанні різноманітних креслень.

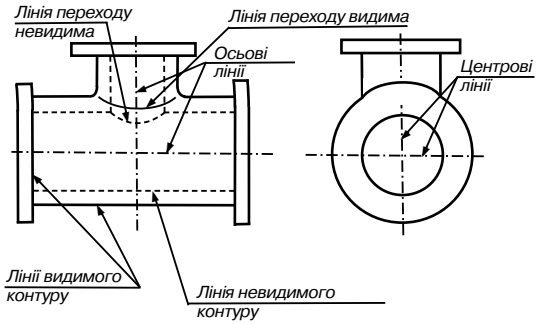


Рис. 12.4. Застосування типів ліній для позначення форми деталей

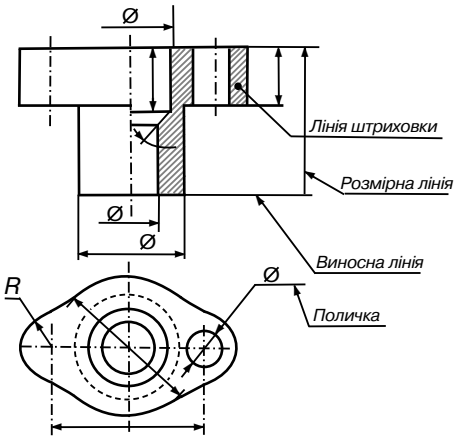


Рис. 12.5. Застосування типів ліній для позначень промірів деталей

12.5. Шрифти креслярські

На кресленнях усі написи виконують шрифтами за стандартами у відповідності до ДСТУ 2.304-81.

У стандарті подано основні розміри та конструкція літер. Висоту h великих літер називають *розміром шрифту*. Встановлено такі розміри шрифтів: (1,8); 2,5; 3,5; 5; 7; 10; 14; 20; 28; 40.

Встановлено такі типи шрифтів:

- тип А без нахилу (рис. 12.6, *а*), товщина d лінії шрифту дорівнює 1/14 висоти h прописних літер;
- тип А з нахилом 75° ($d=1/14h$), основні параметри наведено в табл. 12.3. На рис. 12.7 наведена форма прописних і стрічних літер українського алфавіту.
- тип Б без нахилу (рис. 12.6, б), товщина ліній $d=1/10\,h$;
- тип Б з нахилом, товщина ліній $d=1/10\,h$, основні параметри наведено в табл. 12.4

Форма прописних і стрічних літер латинського алфавіту наведена на рис. 12.8.

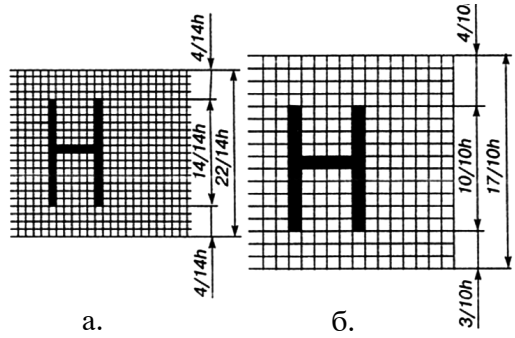


Рис. 12.6. Шрифти типу А і Б без нахилу



Рис. 12.7. Форма прописних і стрічних літер українського алфавіту



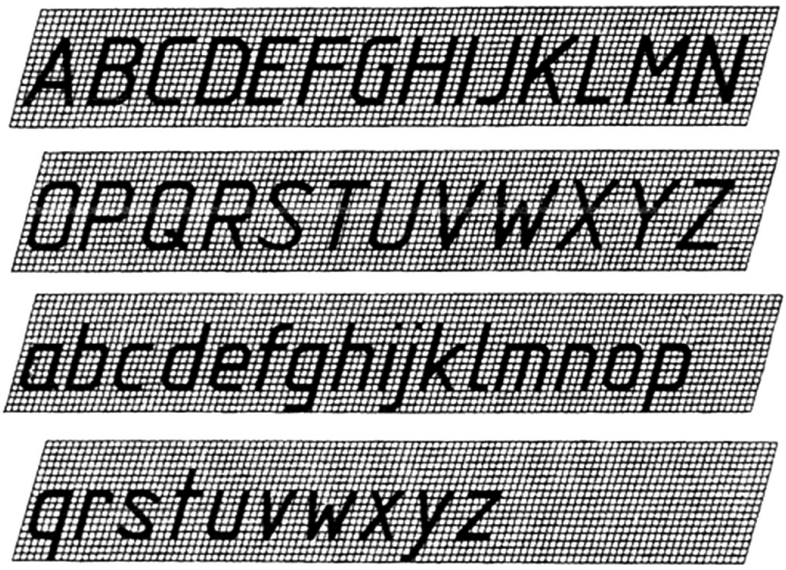


Рис. 12.8. Форма прописних і стрічних літер латинського алфавіту

Таблиця 12.3.

Основні параметри і розміри шрифту типу А

Параметри шрифту	Позначення	Відносний розмір		Розмір шрифту, мм						
Висоти великих літер	*h*	(14/14)*h*	14*d*	2,5	3,5	5,0	7,0	10,0	14,0	20,0
Висота малих літер	*c*	(10/14)*h*	10*d*	1,8	2,5	3,5	5,0	7,0	10,0	14,0
Відстань між літерами	*a*	(2/14)*h*	2*d*	0,35	0,5	0,7	1,0	1,4	2,0	2,8
Мінімальний крок рядків (висота допоміжної сітки)	*b*	(22/14)*h*	22*d*	4,0	5,5	8,0	11,0	16,0	22,0	31,0
Мінімальна відстань між словами	*e*	(6/14)*h*	6*d*	1,1	1,5	2,1	3,0	4,2	6,0	8,4
Товщина ліній шрифту	*d*	(1/14)*h*	*d*	0,18	0,25	0,35	0,5	0,7	1,0	1,4

Таблиця 12.4.

Основні параметри і розміри шрифту типу Б

Параметри шрифту	Позначення	Відносний розмір		Розмір шрифту, мм							
Висоти великих літер	*h*	(10/10)*h*	10*d*	1,8	2,5	3,5	5,0	7,0	10,0	14,0	20,0
Висота малих літер	*c*	(7/10)*h*	7*d*	1,3	1,8	2,5	3,5	5,0	7,0	10,0	14,0
Відстань між літерами	*a*	(2/10)*h*	2*d*	0,35	0,5	0,7	1,0	1,4	2,0	2,8	4,0
Мінімальний крок рядків (висота допоміжної сітки)	*b*	(17/10)*h*	17*d*	3,1	4,3	6,0	8,5	12,0	17,0	24,0	34,0
Мінімальна відстань між словами	*e*	(6/10)*h*	6*d*	1,1	1,5	2,1	3,0	4,2	6,0	8,4	12,0
Товщина ліній шрифту	*d*	(1/10)*h*	*d*	0,18	0,25	0,35	0,5	0,7	1,0	1,4	2,0

12.6. Позначення матеріалів

Штриховку в розрізах та перерізах за ДСТУ 2.306-68 застосовують для умовного графічного позначення матеріалів. В табл. 12.5 подано штриховки на машинобудівних кресленнях для найбільш поширених матеріалів. Загальним, у графічному позначенні матеріалів у перерізі (незалежно від виду матеріалу), є, похилі під кутом 45° до контуру зображення, осі симетрії або рамки креслення, тонкі прямі лінії завтовшки *s*/2, *s*/3.

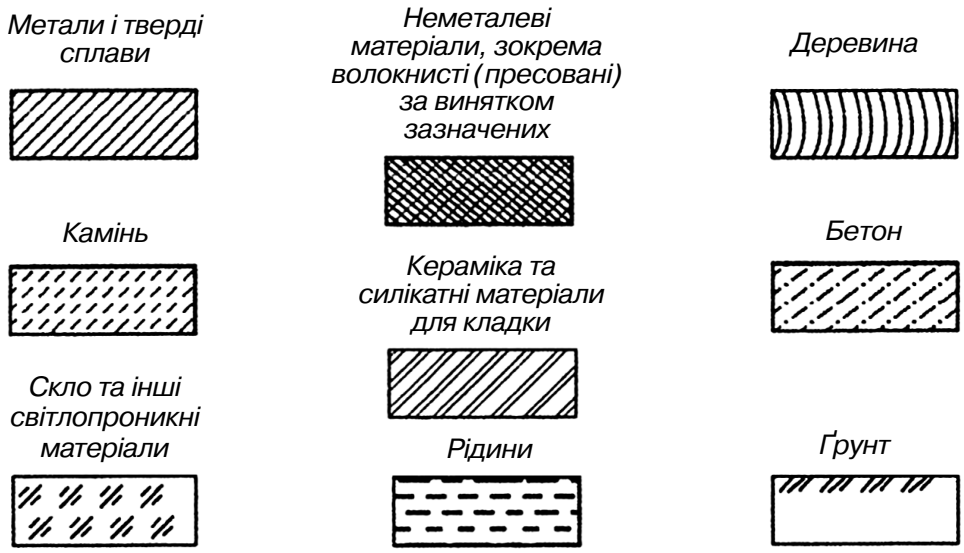
Лінії штриховки треба наносити з нахилом або вліво, або вправо, але, як правило, в один і той самий бік на всіх перерізах щодо однієї й тієї самої деталі.

Відстань між лініями штриховки має бути 1…10 мм.

Для суміжних деталей нахил штриховки має бути протилежним.

Таблиця 12.5.

Графічне позначення матеріалів



12.7. Нанесення розмірів

Для з'ясування справжньої величини зображуваного предмета на рисунках наносять розміри (ДСТУ 2.307-68).

Розміри поділяють на лінійні та кутові.

Нанесення розмірів включає проведення виносних та розмірних ліній і написання розмірного числа.

Розмірну лінію, що показує межі вимірювання, проводять паралельно вимірюваному елементу і закінчують стрілками. Розміри стрілки вказано на рис. 12.9. Її межами є виносні лінії, лінії контуру, осьові, центрові та інші лінії. Виносна лінія виступає за вістря стрілки на 1…5 мм.

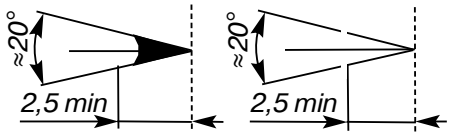


Рис. 12.9. Стрілки розмірних ліній

На рис. 12.10 наведено приклади нанесення розмірів.

Мінімальна відстань між паралельними розмірними лініями має бути 7 мм, а між розмірною лінією та лінією контуру – 10 мм. Її вибирають залежно від розмірів зображення та насиченості рисунка.

Якщо на розмірних лініях не вистачає місця для стрілок, то їх замінюють засічками під кутом 45° до розмірної лінії або точками (рис. 12.10). Якщо лінії видимого контуру розміщені близько одна до одної, то для нанесення стрілок лінії можна переривати (рис. 12.10).

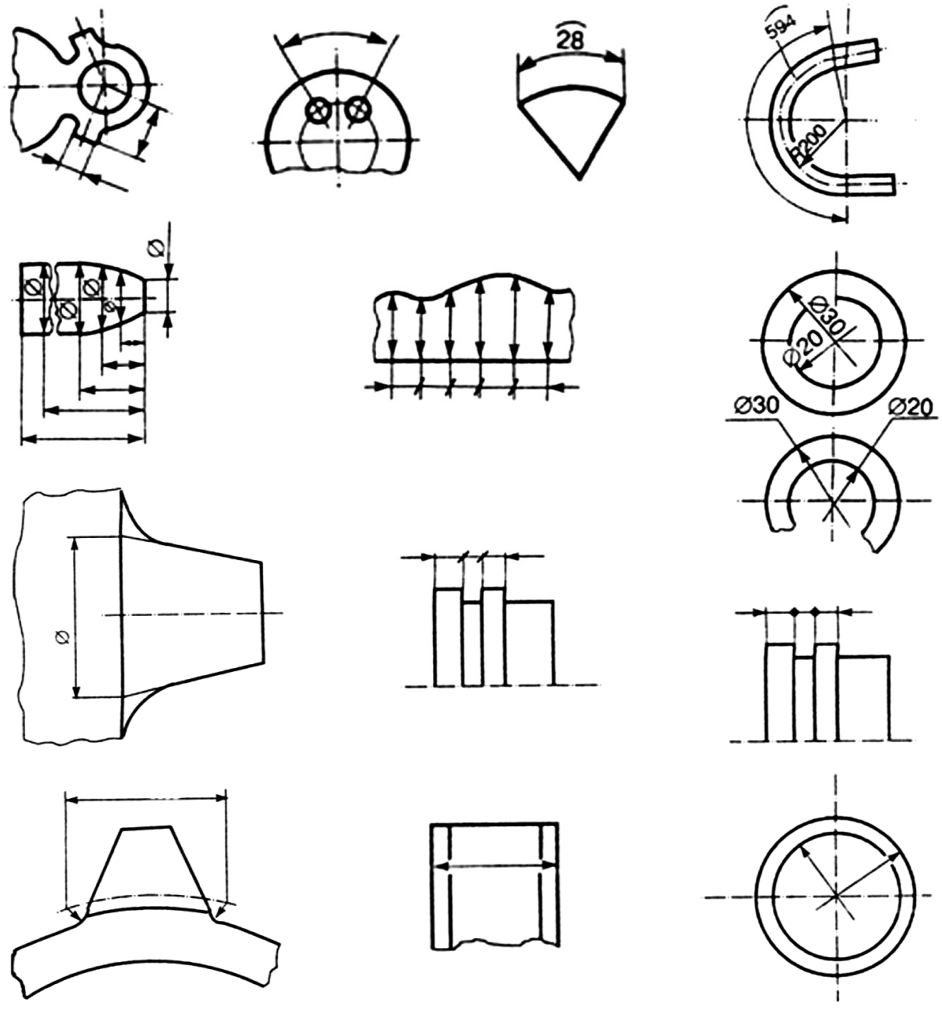


Рис. 12.10. Приклади використання стрілок, засічок і розмірних ліній

Якщо довжини розмірної лінії недостатній для нанесення стрілок, то їх дозволяється виконувати зовні вимірюваного відрізка (рис. 12.11). Зображуючи предмет з розривом, розмірну лінію не розривають (рис. 12.12).

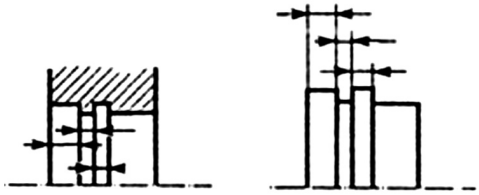


Рис. 12.11. Стрілки зовні розмірних ліній

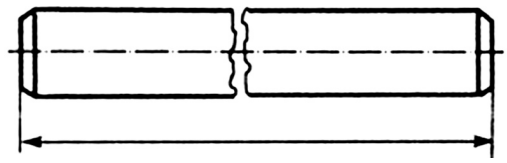


Рис. 12.12. Розмірна лінія не розривається

Розмірні числа характеризують величину вимірюваного елемента в міліметрах для лінійних розмірів та в градусах, хвилинах, секундах для кутових розмірів. Розмірні числа слід розміщувати над розмірною лінією паралельно їй та якомога ближче до її середини (рис. 12.13).

Наносячи кілька паралельних або концентричних розмірних ліній на великій відстані одна від одної, розмірні числа розміщують у шаховому порядку (рис. 12.14).

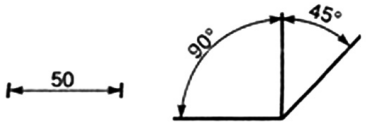


Рис. 12.13. Розташування розмірних чисел

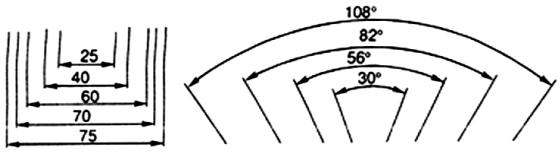
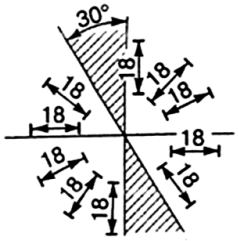
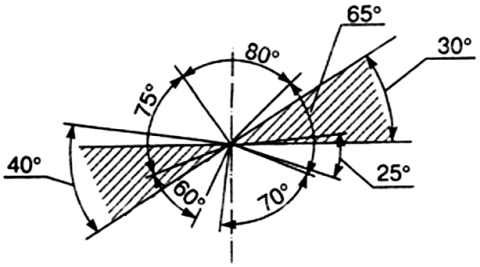
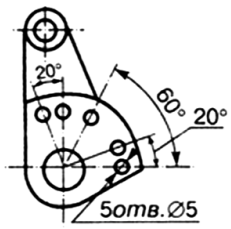


Рис. 12.14. Розміщення розмірних чисел у шаховому порядку

Рис. 12.15. Розміщення розмірних чисел при різних нахилах розмірних ліній







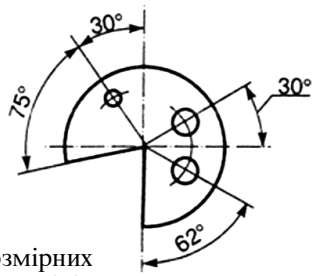


Рис. 12.16. Розміщення розмірних чисел кутових розмірів

Розмірні числа лінійних та кутових розмірів при різних нахилах розмірних ліній розміщують так, як показано на рис. 12.15. Приклади розміщення розмірних чисел кутових розмірів показано на рис. 12.16. Для малих кутів розміри можна виносити на поличку незалежно від зони розміщення.

Діаметр кола позначають ∅. Різні варіанти нанесення розмірів показано на рис. 12.17, 12.18, 12.19.



Рис. 12.17. Позначення діаметру

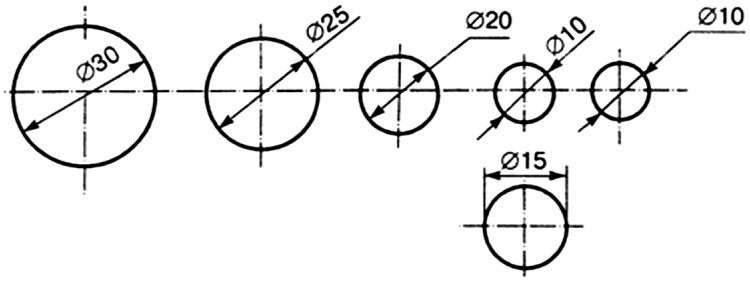


Рис. 12.18. Позначення діаметру кола

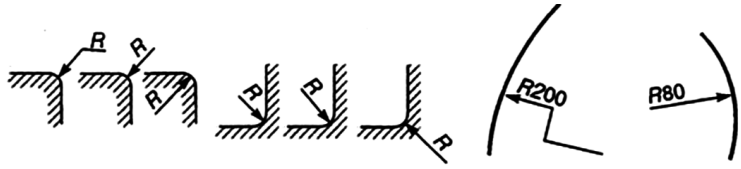


Рис. 12.19. Позначення радіусів кіл

Перед розмірним числом радіуса обов'язково ставлять знак *R*.

Якщо не вистачає місця для розмірних чисел над розмірною лінією, то їх розміщують на продовженні розмірної лінії або виносять на поличку, розміщену паралельно основному напису рисунка.

Для конічних поверхонь обертання характерним параметром є конусність. Це відношення різниці діаметрів основ конуса до його висоти. Конусність позначають знаком ◁, вершина якого напрямлена в бік вершини конуса (рис. 12.20). Значення конусності записують над віссю конуса або на поличці, паралельній осі конуса.

Положення лінії відносно горизонталі чи вертикалі характеризується нахилом. Це відношення є тангенсом кута нахилу і позначається на рисунку знаком ∠, вершина знака напрямлена в бік вершини кута, а нижня риска паралельна основі кута. Після знака записують значення нахилу як відношення або у відсотках (рис. 12.21).

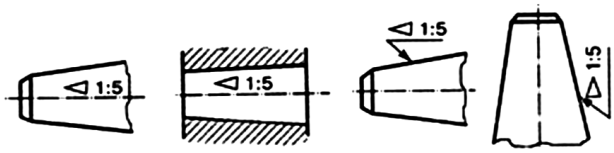


Рис. 12.20. Позначення конусності

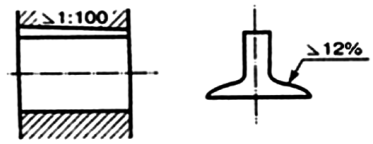


Рис. 12.21. Позначення нахилу

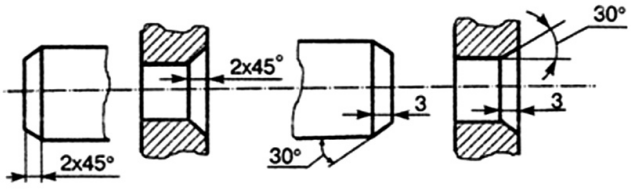


Рис. 12.22. Нанесення розмірів фасок

Важливим конструктивним елементом машинобудівних деталей є фаска. Приклади нанесення розміру фаски наведені на рис. 12.22.

Якщо є кілька однакових елементів (отворів, пазів тощо), то наносять розмір одного елемента, зазначаючи кількість цих елементів та взаємне розміщення їх (рис. 12.23).

На рис. 12.24 наведено приклад нанесення розмірів на машинобудівній деталі. Нанесення розміру ∅ 62 на невидимому контурі дає змогу уникнути побудови зайвого зображення.

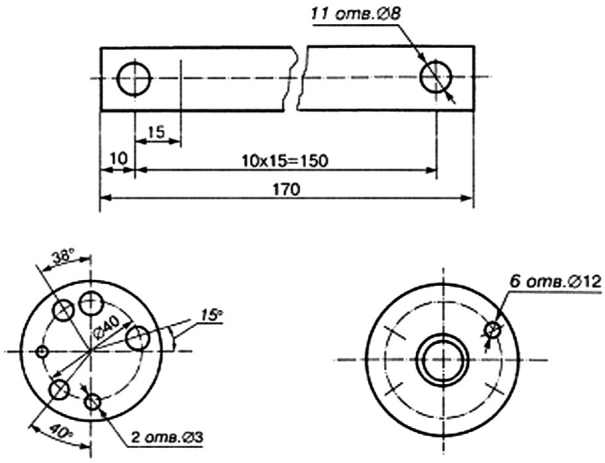


Рис. 12.23. Позначення кількості і взаємного розташування елементів

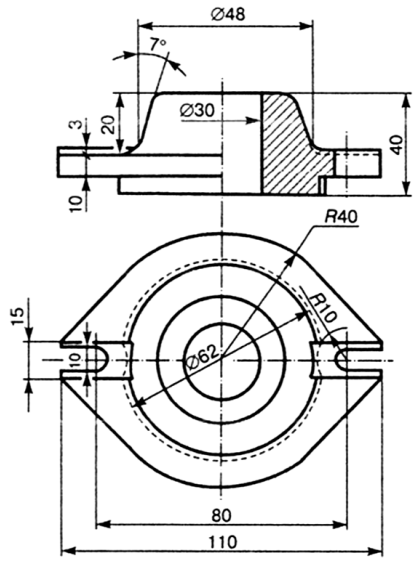


Рис. 12.24.
Приклад нанесення розмірів
на машинобудівній деталі

12.8. Зображення

Правила побудови зображень предметів регламентує ДСТУ 2.305-68.

Зображення предмета має давати повне уявлення про його форму, розміри та інші дані, необхідні для його виготовлення й контролю.

Зображення на фронтальній площині проекцій вважають головним. Відносно цієї площини проекцій предмет розміщують так, щоб зображення на ній (головне зображення) давало найбільш повне уявлення про форму та розміри предмета.

Залежно від змісту, зображення поділяють на вигляди, розрізи та перерізи. Кількість їх має бути мінімальною, але достатньою для повного уявлення про зображуваний предмет.

А. Вигляди

Виглядом називають зображення повернутої до спостерігача видимої частини поверхні предмета. Вигляди на основних площинах проекцій є *основними*. Вони мають такі назви (рис. 12.25): 1 – вигляд спереду (головний вигляд); 2 – вигляд зверху; 3 – вигляд зліва; 4 – вигляд справа; 5 – вигляд знизу; 6 – вигляд ззаду.

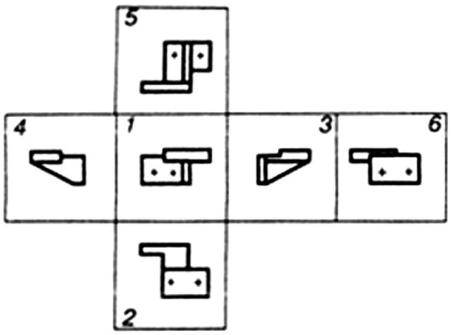


Рис. 12.25. Основні вигляди

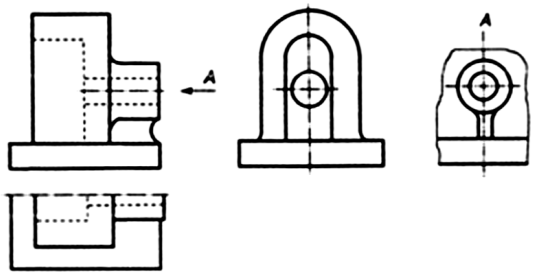
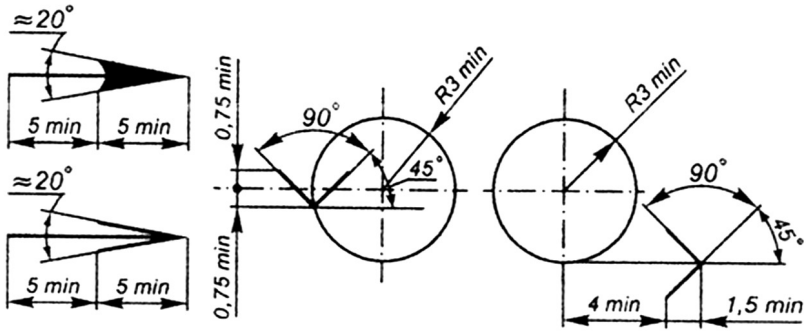


Рис. 12.26. Позначення вигляду

Якщо всі вигляди розміщені на одному аркуші в безпосередньому проекційному зв'язку, то їх не надписують.

На рис. 12.26 вигляди спереду, зверху та зліва виконані у проекційному зв'язку, а вигляд по напрямку А виконано з порушенням проекційного зв'язку, тому його підписано великою літерою українського алфавіту, а напрям зору (проекціювання) показують стрілкою з тією самою великою літерою. На рис. 12.27 наведено розміри стрілок і знаків, що замінюють слова «повернуто» (рис. 12.27, б) і «розгорнуто» (рис. 12.27, в).



а. б. в.

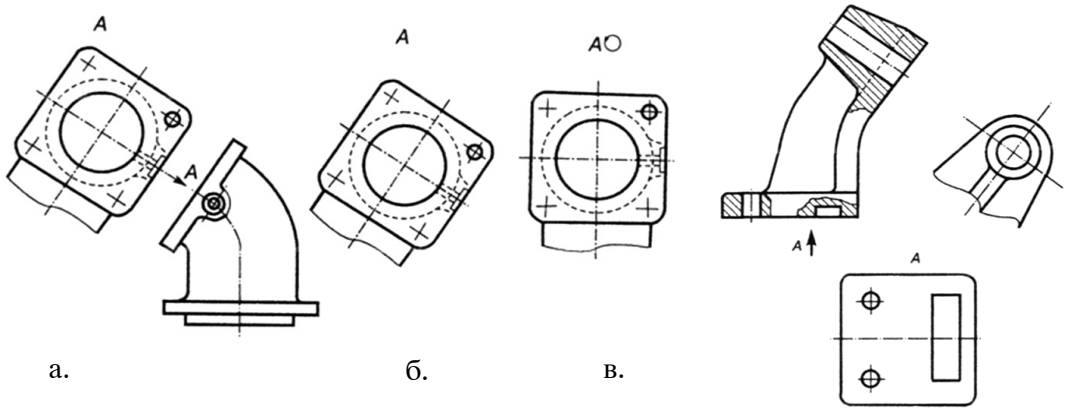
Рис. 12.27. Позначення «повернуто» і «розгорнуто»

Крім основних, розрізняють додаткові та місцеві вигляди.

Якщо деяку частину предмета не можна показати без спотворення форми та розмірів на жодному з основних виглядів, то застосовують *додаткові* вигляди (рис. 12.28). Додатковий вигляд теж позначають стрілкою та літерою.

Додатковий вигляд можна повертати. Тоді до його напису додається знак ○ (рис. 12.28, в).

Зображення окремої обмеженої частини поверхні предмета називають *місцевим* виглядом. Він може обмежуватися хвилястою лінією обриву (рис. 12.28, а, б), а може не обмежуватися (вигляд *А*, рис. 12.28, г). Місцевий вигляд позначають на рисунку так само як і додаткові вигляди (вигляд *А*, рис. 12.28, г).



а. б. в.

Рис. 12.28. Додаткові та місцеві види

Б. Розрізи та перерізи.

Розріз – це зображення предмета, який умовно перетнуто однією площиною або кількома (рис. 12. 29). Умовне розсікання стосується тільки зображуваного розрізу і не впливає на інші зображення того самого предмета. При цьому на розрізі зображують те, що розміщено в січних площинах та за ними (рис. 12.29).

Переріз – це зображення плоскої фігури, що утворюється при умовному перетині предмета однією площино або кількома. При цьому зображується тільки те, що розміщено в січних площинах.

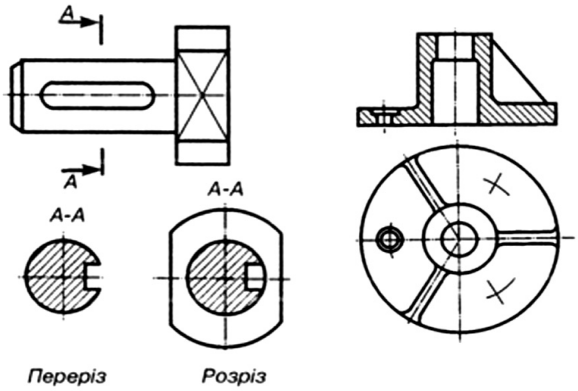


Рис. 12.29. Розрізи та перерізи

Отже, існує відмінність між розрізом та перерізом: переріз є складовою частиною розрізу.

На розрізі внутрішні форми зображують лініями видимого контуру. Переріз заштриховують відповідно до матеріалу деталі.

Класифікація розрізів. Залежно від кількості січних площин розрізи бувають:

а) прості – при одній січній площині. Приклади простих розрізів наведено на рис. 12.30, 12.31, 12.32, 12.33;

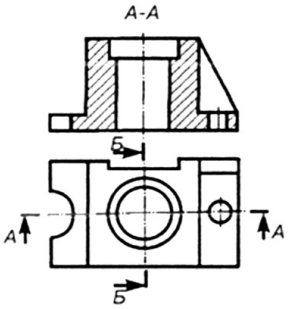


Рис.12.30.
Прості розрізи

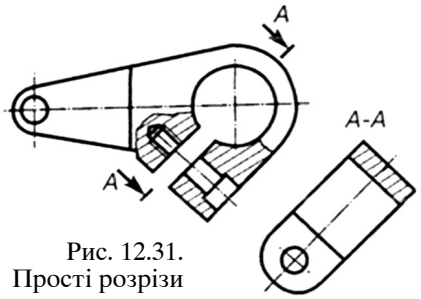


Рис. 12.31.
Прості розрізи

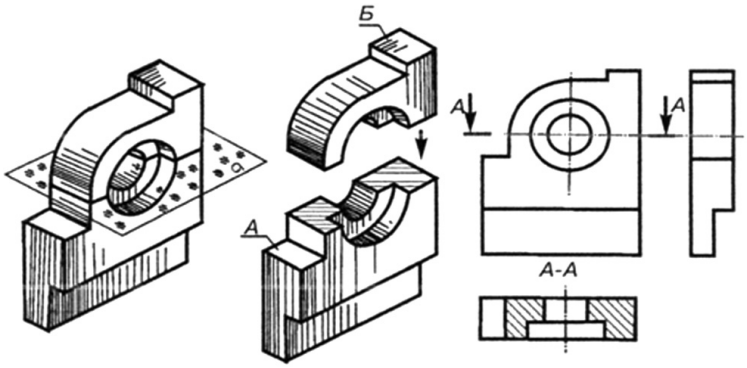


Рис.12.32.
Прості розрізи

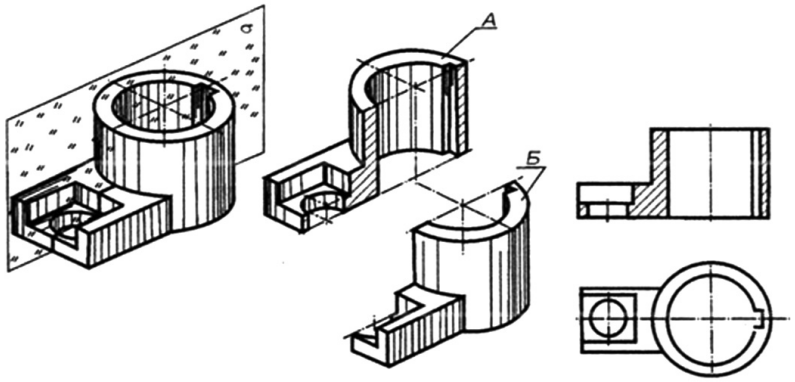


Рис. 12.33.
Прості розрізи

б) складні – при двох і більше січних площинах. Ці розрізи бувають *ступінчасті* (рис. 12.34) та *ламані* (рис. 12.35). При ламаних розрізах січні площини умовно повертають до суміщення з однією площиною, при цьому, напрям повороту може не збігатися з напрямом погляду (рис. 12.35, а). При повороті січної площини елементи прелмета, що розміщуються за нею, зображуються так, як вони проекціюються на відповідну площину, з якою виконується суміщення (рис. 12.35, б).

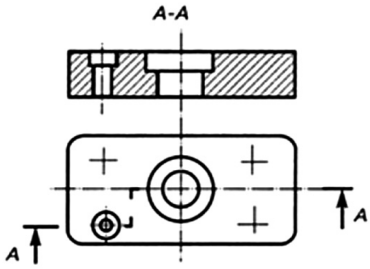
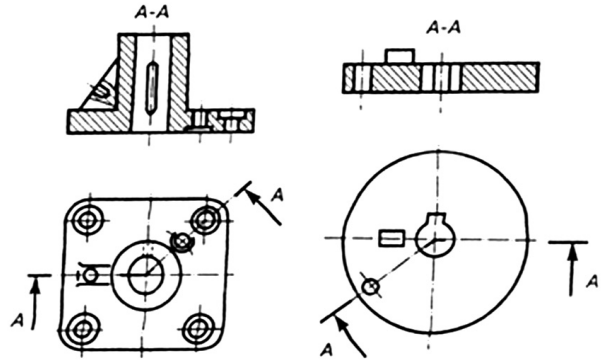


Рис. 12.34. Ступінчаті розрізи



а. б.

Рис. 12.35. Ламані розрізи

Крім розглянутих, розрізняють ще *місцевий* розріз (рис. 12.36), який дає змогу виявити будову предмета в окремому обмеженому місці. Місцевий розріз на вигляді виділяють хвилястою лінією, яка не має збігатися з лініями контуру.

Позначення розрізу містить три елементи:

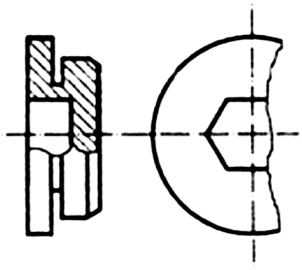


Рис. 12.36.
Місцевий розріз

1. Позначення положення січної площини розімкненою лінією (лінія перетину), початковий і кінцевий штрихи якої не повинні перетинати контур відповідного зображення. При складних розрізах штрихи проводять також у місцях перетину січних площин.

2. Позначення стрілкою напряму погляду на початковому та кінцевих штрихах на відстані 2 або 3 мм від зовнішнього кінця штриха. На початку та в кінці лінії перетину, а якщо треба, то й у місцях перетину січних площин, ставлять горизонтально одну й ту саму велику літеру українського алфавіту.

3. Напис розрізу безпосередньо над його зображенням за типом *А–А* без підкреслення. Якщо січна площина збігається з площиною симетрії предмета в цілому, а відповідні зображення розміщені на місці основного вигляду на одному й тому самому аркуші в безпосередньому проекційному зв'язку та не відокремлені іншими зображеннями, то для горизонтальних, фронтальних та профільних розрізів не показують положення січної площини, а сам розріз написом не супроводжують.

Частину вигляду та частину розрізу можна сполучати, розділяючи їх хвилястою лінією (рис. 12.36). Якщо при цьому сполучаються половина вигляду та половина розрізу, кожен з яких має одну й ту саму вісь симетрії, то лінією, що їх розділяє, є вісь симетрії (рис. 12.37), крім випадку, коли вісь збігається з лінією видимого контуру.

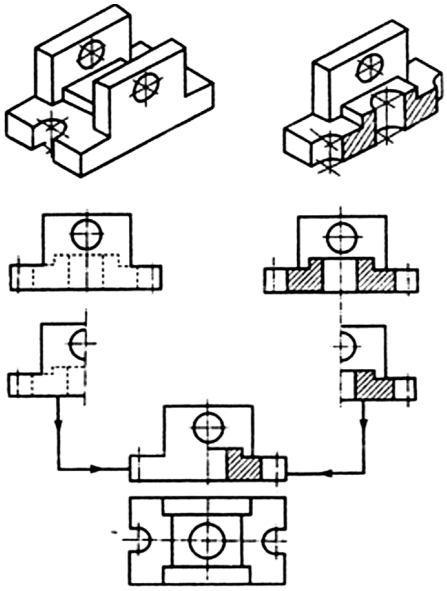


Рис. 12.37. Сполучення половини виду з половиною розрізу

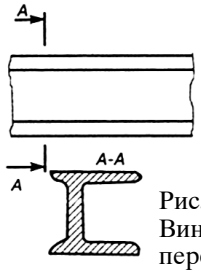


Рис. 12.38. Винесений переріз

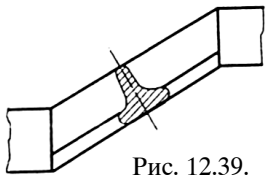


Рис. 12.39. Накладений переріз

Перерізи, що не входять до складу розрізів, поділяють на:

а) винесені, тобто такі, що виконані окремо від основного зображення (рис. 12.38);

б) накладені, тобто такі, що розміщені на самому зображенні предмета (рис. 12.39). Такі перерізи обводять тонкою суцільною лінією.

Винесені перерізи є переважними, їх можна розміщувати в розриві між частинами одного і того самого вигляду (рис. 12.40).

Для симетричного, винесеного або накладеного, перерізу літерні позначення та лінії перетину не наносять, обмежуючись проведенням осі симетрії (рис. 12.39). У решті випадків для позначення лінії перетину проводять розімкнену лінію та показують стрілками напрям зору, позначаючи їх однаковими великими літерами українського алфавіту. На місці зображення перерізу його надписують за типом *А–А*, не підкреслюючи.

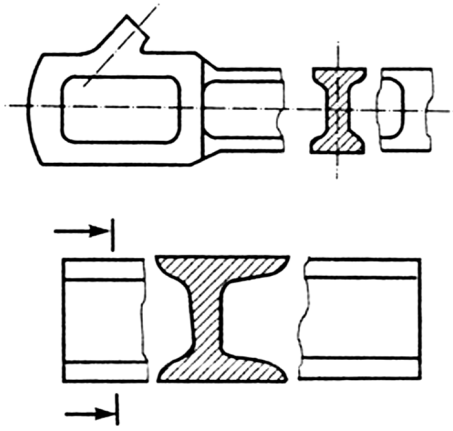


Рис. 12.40. Переріз у розриві

У випадках, зображених на рис. 12.40, б, літери не наносять.

Для кількох однакових перерізів, що стосуються одного предмета, лінії перетину позначають однією літерою і зображують один переріз (рис. 12.41). Якщо при цьому січні площини нахилені під різними кутами, то знак ○ не наносять (рис. 12.42).

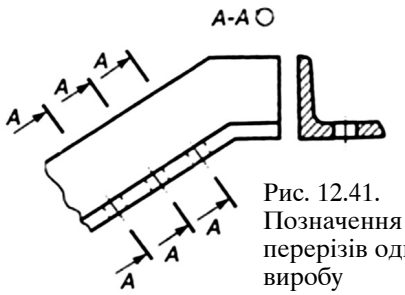


Рис. 12.41. Позначення кількох перерізів одного виробу

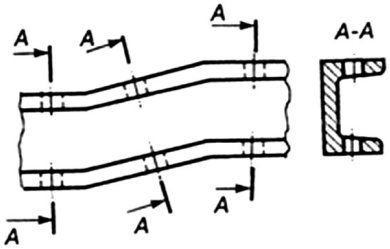


Рис. 12.42. Перерізи під різними кутами

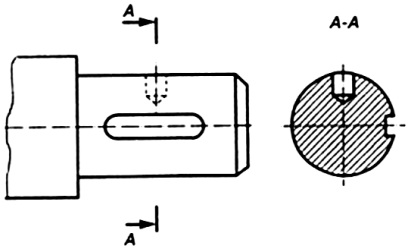


Рис. 12.43. Зображення отвору чи заглиблення

Якщо січна площина проходить через вісь поверхні обертання, що обмежує отвір чи заглиблення, то контур отвору чи заглиблення на перерізі показують повністю (рис. 12.43).

В. Виносні елементи.

Виносні елементи – це зображення в збільшеному масштабі частини предмета, що містить елементи, яких немає на основному зображенні. Виносні елементи застосовують тоді, коли потрібні додаткові пояснення щодо форми, розмірів та інших даних або елементів складних контурів деталей: проточок, галтелей, розточок, профілю спеціальної різьби тощо.

Приклад позначення виносного елемента для пояснення форми та розмірів канавки для виходу шліфувального круга наведено на рис. 12.44.

Виносний елемент може відрізнятися за змістом від основного зображення (рис. 12.45).

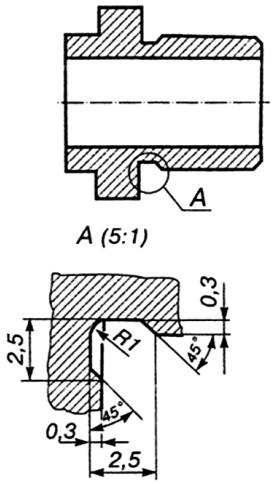


Рис. 12.44. Виносні елементи

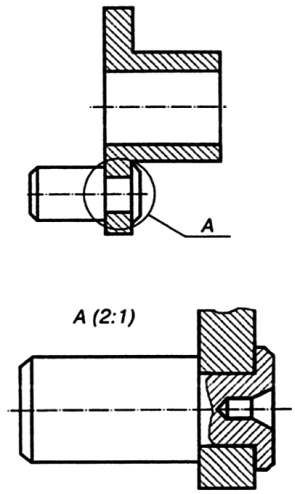


Рис. 12.45. Відмінність від основного зображення

Г. Умовності та спрощення.

ДСТУ 2.305-68 рекомендує деякі умовності та спрощення при побудові зображень.

1. Якщо зображення є симетричною фігурою, то допускається зображати його половину, обмежуючи її осьовою або хвилястою лінією (рис. 12.37, 12.46).

2. Якщо предмет має кілька однакових, рівномірно розміщених елементів, то на зображенні цього предмета повністю показують один або два елементи, а решту – спрощено або умовно (рис. 12.47).

3. На виглядах та розрізах допускається спрощенно зображати проекції ліній перетину поверхонь, якщо точна побудова їх не обов'язкова (рис. 12.48, 12.49).

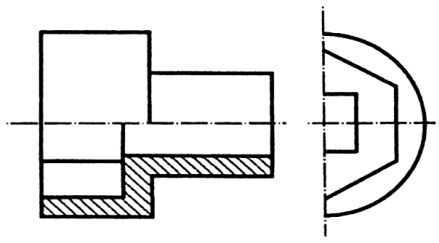


Рис. 12.46. Зображення половини виробу

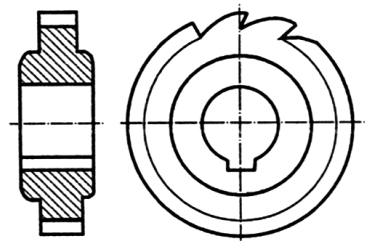


Рис. 12.47. Зображення рівномірно розміщених елементів

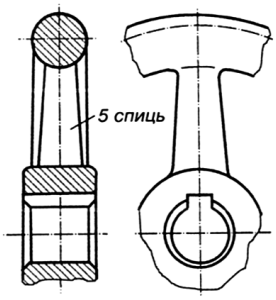


Рис. 12.48. Спрощене зображення ліній перетину поверхонь

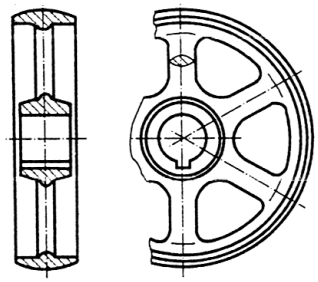


Рис. 12.49. Зображення плавних переходів

4. Плавний перехід від однієї поверхні до іншої зображується умовно (рис. 12.49) або зовсім не зображується.

Гвинти, заклепки, шпонки, непустотілі вали та осі, шатуни, рукоятки при повздовжньому розрізі зображуються нерозрізаними. Спиці маховиків, шківів, зубчатих коліс, ребра жорсткості, тонкі стінки тощо не заштриховують, якщо січна площина розміщена вздовж такого елемента (рис. 12.49, 12.50).

Допускається спрощення, аналогічні тим, що наведені на рис. 12.51.

5. Незначну конусність або нахил допускається зображати зі збільшенням. При цьому, на площині, перпендикулярній нахилу або осі конуса, показують лінії, що відповідають меншому розміру нахилу або меншій основі конуса (рис. 12.52).

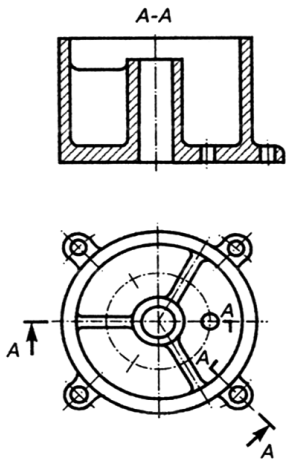


Рис. 12.50. Зображення елементів незаштрихованими

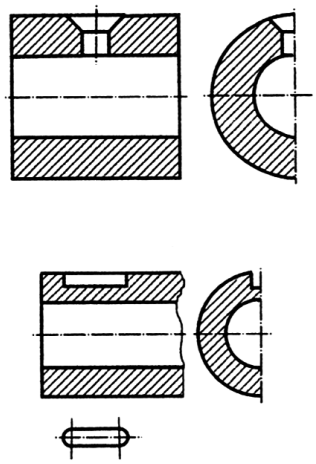


Рис. 12.51. Зображення кріпильних елементів

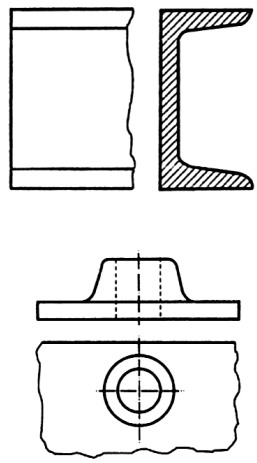


Рис. 12.52. Збільшення конусності і нахилу

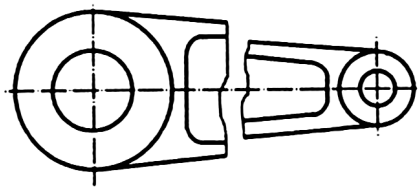


Рис. 12.53. Зображення з розривом

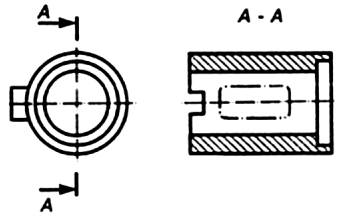


Рис. 12.54. Накладена проекція

12.9. Робочі креслення та ескізи деталей

Робоче креслення (рисунок) деталі – це документ, що містить зображення деталі та всі дані, необхідні для виготовлення, контроою та випробуваня виробу.

А. Вимоги до робочого креслення і правила його оформлення.

Робоче креслення кожної деталі виконують на окремому аркуші стандартного формату, що має рамку, основний напис, додаткову графу 26 відповідно до ДСТУ 2.104-68.

Робочі креслення розробляють, як правило, на всі деталі, що входять до складу виробу. Допускається не розробляти робочі креслення на деталі:

а) круглої або прямокутної форми, що виготовляються з листового матеріалу;

б) одержані відрізанням під прямим кутом з прокату або фасонного матеріалу;

в) із складу нерознімного з'єднання, якщо конструкція деталі зрозуміла із складального креслення.

Деталі на робочому кресленні зображують у тому вигляді, з тими розмірами та іншими даними, з якими деталь надходить до складальної операції.

Технологічні вказівки на робочих кресленнях не розміщуються, крім випадку, коли це єдиний спосіб досягнення потрібної точності, якості виробу (сумісна обробка, припасування тощо).

Дозволяється позначати вид і спосіб виконання швів зварниз з'єднань.

Робоче креслення деталі, як правило, містить: зображення; масштаб; основний напис та графу 26; розміри та граничні відхилення; позначення шорсткості поверхонь, покриття, термічної та іншої обробки; матеріал деталі; технічні вимоги.

Кожну з цих складових виконують за певними правилами.

Кількість зображень на робочому кресленні має бути мінімальною, але достатньою для уявлення форми деталі з урахуванням умовностей та спрощень, відповідних знаків і написів.

Зображення деталі на фронтальній площині проекцій називають ***головним виглядом***. Головний вигляд має давати якомога повне уявлення про форму та елементи деталі. Правильний вибір головного вигляду дає змогу досягти мінімальної кількості решти зображень.

Масштаб зображень вибирають відповідно до ДСТУ 2.302-68 за умови вдалого використання поля рисунка, а також можливостей зображення та нанесення розмірів, відхилень тощо для всіх елементів деталі.

Основний напис для креслень і схем встановлено за формою 1 ДСТУ 2.104-68.

Б. Нанесення розмірів.

Розміри на робочих кресленнях та ескізах деталей наносять з урахуванням конструктивних особливостей роботи деталі в з'єднані, технології її виготовлення, а також необхідності контролю розмірів. Виходячи з цього, вибирають бази.

Конструкторськими базами називають сукупності точок, ліній, поверхонь, відносно яких встановлюється та орієнтується деталь у механізмі (рис. 12.55, *а*).

Технологічна база – це поверхня, відносно якої орієнтується деталь під час її виготовлення. Крім основної бази *А*, на рис. 12.55, *б* показано допоміжну базу *В*, яка пов'язана з виготовленням деталі на токарному верстаті.

Вимірювальними базами називають сукупності точок, ліній, поверхонь, від яких відлічують розміри при обмірюванні деталі (12.55, *в*).

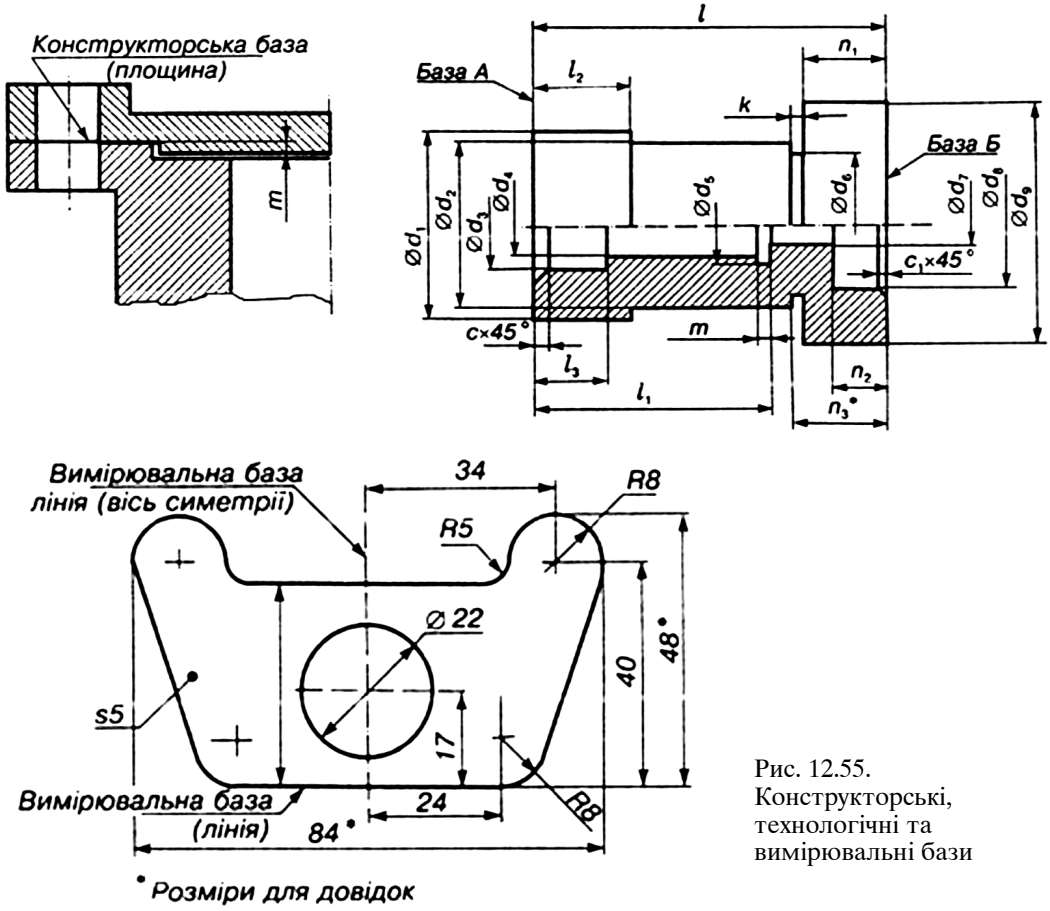


Рис. 12.55. Конструкторські, технологічні та вимірювальні бази

Одна й та сама деталь може мати кілька конструкторських, технологічних та іншиз баз.

Розглянемо найбільш загальні вимоги щодо нанесення розмірів на робочих кресленнях деталі.

Кількість розмірів на кресленні має бути мінімальною, але достатньою для виготовлення та контролю деталі.

Правила нанесення розмірів на кресленні регламентуються ДСТУ 2.307-68.

Кожний розмір наносять лише один раз і в тому місці, де він найповніше підкреслює форму деталі чи її елемента. Якщо розміри стосуються одного й того самого конструкторського елемента (канавка, ребро, отвір тощо), то їх наносять в одному місці, де цей елемент відображено якомога повніше. Якщо деталь має кілька однакових за формою та розмірами елементів, то розмір наносять один раз (рис. 12.55).

Наносити розміри відносно невидимого контуру деталі, що зображується штриховою лінією, не рекомендується.

Розміри, що характеризують три найбільші виміри деталі (довжину, висоту, ширину), називають *габаритними*. Вони завжди повинні бути на кресленні.

Розміри, які не виконуються за даним робочим кресленням деталі, а призначені лише для більшої зручності в користуванні кресленням, називають довідковими. На кресленні їх позначають знаком *. Якщо такі розміри є, то у технічних вимогах записують «* Розміри для довідок» (рис. 12.56).

До довідкових розмірів, зокрема, належать:

а) один з розмірів замкненого розмірного ланцюга (рис. 12.56);

б) розміри деталей або їхніх елементів із сортового, фасонного, листового прокату, якщо ці розміри повністю визначені записом у відповідній графі основного напису;

в) один з розмірів, пов'язаних певною функціональною залежністю (рис. 12.57).

Рекомендується наносити розміри так, як показано на рис. 12.56. Взагалі лінійні розміри слід наносити за ДСТУ 2.307-68. Є три способи нанесення розмірів на кресленнях: ланцюговий, координатний та комбінований.

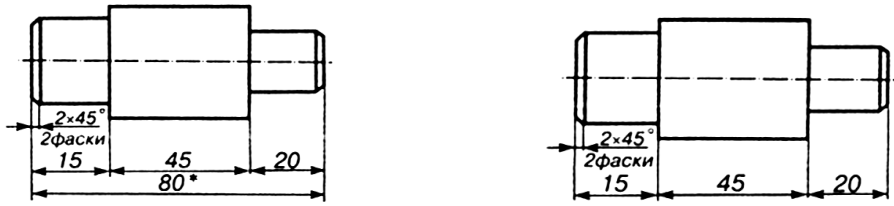


Рис. 12.56. Приклади нанесення розмірів

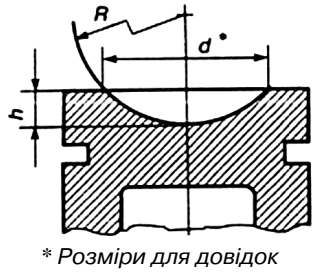


Рис. 12.57. Розміри для довідок

Ланцюговий спосіб полягає в послідовному розміщенні розмірів – ланцюгом (12.58, а). При цьому ставлять габаритний розмір, а остаточний розмір ланцюга опускають.

Координатний спосіб полягає в нанесенні розмірів від бази так, що кожен розмір є координатою елемента відносно бази (рис. 12.58, б).

Комбінований спосіб об'єднує ланцюговий і координатний способи (рис. 12.58, в).

З нанесенням розмірів тісно пов'язані центрові та осьові лінії на зображеннях. Осьові лінії часто є також вимірювальними базами. За допомогою їх координуються елементи деталі, що мають площину або вісь симетрії.

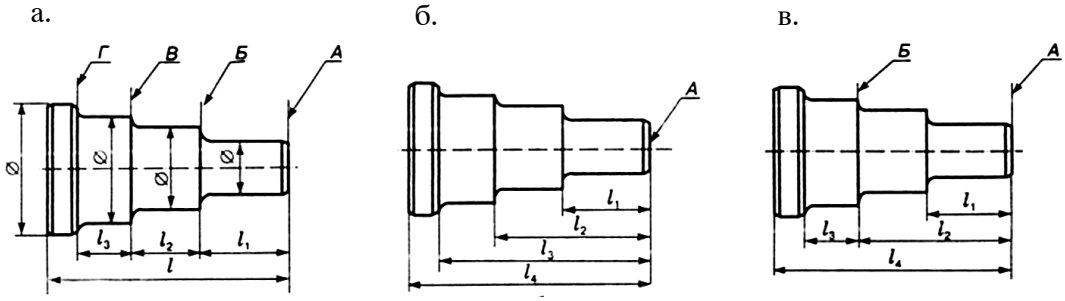


Рис. 12.58. Ланцюговий, координатний і комбінований способи нанесення розмірів

В. Вибір і позначення матеріалів на робочих кресленнях.

Вибір матеріалу здійснюється з урахуванням властивостей матеріалу, умов роботи деталі, можливостей її виготовлення, вартості деталі тощо.

Позначення матеріалу містить вид матеріалу, його марку та стандарт, що регламентує властивості цього матеріалу.

Нижче наведено найбільш поширені види матеріалів та їхні марки.

Чавуни поділяють на сірі, ковкі, високоміцні та ніші. Найбільш поширеними є виливки з сірого чавуну марок 10, 15, 18, 20, 25, 30, 35 (ДСТУ 1412-85). Чим більше число, тим міцніший чавун на розтягання та згинання.

Приклад позначення: СЧ 25 ДСТУ 1412-85.

Для навантажуваних деталей складної конфігурації застосовують високоміцні чавуни марок 35…100 (ДСТУ 7293-85).

Приклад позначення: ВЧ 50 ДСТУ 7293-85.

Сталь за хімічним складом поділяють на вуглецеву та леговану, а за призначенням – на конструкційну, інструментальну та спеціальну.

Сталь вуглецеву звичайної якості (ДСТУ 2651-94) виготовляють семи марок – 0…6.

Приклади позначення: Ст3пс ДСТУ 2651-94 – сталь групи А (не показують), марки 3, категорії 1 (не показують), напівспокійна; БСт5кп3 ДСТУ 2651-94 – група Б, марка 5, кипляча, категорії 3.

Сталь вуглецеву якісну конструкційну виготовляють за ДСТУ 1050-88 з гарантованим хімічним складом та механічними властивостями марок 09, 10, 15, 20…60. Тут число означає вміст вуглецю в сотих частках відсотка.

Приклад позначення: Сталь 45 ДСТУ 1050-88.

Леговані сталі містять такі легуючі елементи: хром (Х), кремній (С), марганець (Г), нікель (Н) та ін.

Приклади позначення: сталь 65 Г ДСТУ 14959-79 – ресорно-пружинна сталь; Інструментальна сталь У7…У13 ДСТУ 1435-90 (інструментальні конструкції).

Алюмінієві сплави, призначені для литва, позначають АЛ1, АЛ2 і т.д.; для кування – АК1, АК2 і т.д.; оброблюванні тиском – Д1, Д2 і т.д. (дюралюміній). Сплав алюмінію з кремнієм називають силуміном – СИЛ-ОО, СИЛ-О і т.д.

Приклади позначення: АК9 ДСТУ 4784-74; Д16 ДСТУ 4783-74.

Бронза – це сплав міді, олова та інших металів. У позначенні бронзи зміст літер такий: О – олово, Ц – цинк, С – свинець, Н – нікель, Ф – фосфор, А – алюміній, Ж – залізо, Мц – марганець. Цифри показують середній вміст елемента у відсотках.

Приклад позначення: БрОЦСН3-7-5-1 ДСТУ 613-79.

Бронзи досить широко застосовуються для виготовленняводо-газопровідної арматури для антифрикційних деталей та пружин.

Латунь – це сплав міді з цинком та іншими металами. Позначення містить літеру Л та цифру, що відповідає відсотковому вмісту міді.

Приклад позначення: Л65 ДСТУ 15527-70.

Скло органічнеконструкційнемає товщину листів 0,8…24,0 мм. Скло поділяють на пластифіковане (СОЛ), непластифіковане (СТ-1), співполімерне (2-55).

Текстоліт конструкційний випускають за ДСТУ 5-78, електротехнічний – за ДСТУ 2910-74.

Приклади позначення: Текстоліт ПТК-40 сорт 1 ДСТУ 5-78 (ПТК марка, 40 – діаметр стрижня). Текстоліт А-10,0 ДСТУ 2910-74 (А – марка, 10,0 – товщина листа, мм).

Пароніт випускають як прокладний матеріал, за ДСТУ 481-80 є сім марок, ПОН – загального призначення, ПМБ – маслобензиностійкий.

Приклад позначення: Пароніт ПОН 0,8 х 300 х 400 ДСТУ 481-80.

Для деталі, що виготовляють із сортового матеріалу визначеного профілю, наводять дані про сортамент (у чисельнику) та матеріал (у знаменнику) за типом:

$$\textit{Шестигранник}\quad \frac{\text{8-h10 ДСТУ 8560-78}}{\text{45-В-ТДСТУ 1050-88}}$$

Де в чисельнику подано позначення розмірів прутка (8 – діаметр вписаного в профіль кола, h10 – поле допуску), у знаменнику – дані про матеріал прутка.

Позначення матеріалу деталі записують за стандартом у графі 3 основного напису.

Г. Поняття про граничні відхилення розмірів і нанесення їх на креслення.

Кожний розмір виготовленої деталі відхиляється від заданого (розрахункового), так званого номінального, розміру в той чи інший бік. Якщо ці відхилення не перевищують задані межі (граничні відхилення), то деталь вважається придатною. Відповідні відхилення називають *верхнім і нижнім граничним відхиленнями,* а алгебраїчна різниця їх – *допуском розміру.* Інтервал значень розмірів, обмежений граничними розмірами, називають *полем допуску.*

Поверхні деталі, що не стикаються у виробі чи механізмі з поверхнями інших деталей, називають *вільними.* Поверхні деталі, що стикаються з поверхнями інших деталей, називають *спряженими*. Розміри їх також називають *спряженими.*

Характер з'єднання спряжених поверхонь називають *посадкою.* Залежно від поєднання розмірів спряжених поверхонь може виникнути рухома, нерухома або перехідна посадка.

З 1983 р. діє Єдина система допусків та посадок (ЄСДП). За цією системою після позначення номінального розміру дають позначення поля допуску літерою латинського алфавіту: великою для отворів – *A, B, ...,G, H* (посадки із зазором); *I, I_S, ..., M,N* (для перехідних насадок); *P, R, ..., 2B, 2C* (посадка з натягом) та малою для валів – *a,в ..., g,h* (для посадки з зазором) тощо.

ЄСДП передбачає 19 квалітетів – 0; 1,0; 1,2; … 17, що записують після літери, наприклад, *G6, H7, p8, c9*. Для поля допуску різьби записують квалітет, потім літеру: *6g, 7H.*

На рисунку розміри з граничними відхиленнями наносять за типом $\varnothing 54\left(\frac{+0,02}{-0,01}\right)$, де відхилення записуються дрібніше, ніж номінальний розмір (але не менше ніж 2,5). При симетричних відхиленнях їх записують так само, як і розмір, наприклад, $\varnothing 54 \pm 0,02$.

При нанесенні розміру з полем допуску за ЄСДП його записують за типом: $\varnothing 10H9$, $\varnothing 54H6$. Посадку записують відношенням полів допуску: $\varnothing 46H6/s7$.

Д. Позначення шорсткості поверхні.

Кожна реальна поверхня не є абсолютно гладкою. Вона містить мікронерівності, сліди механічної обробки тощо, від яких залежать надійність та довговічність роботи з'єднання.

Правила позначення шоркості регламентує ДСТУ 2.309-73. Застосовують знаки трьох видів (рис. 12.59) для таких випадків:

а) вид обробки поверхні конструктор не встановлює (рис. 12.59, а);

б) поверхня має бути створена зняттям шару металу точінням, фрезеруванням тощо (рис. 12.59, б);

в) поверхня має бути створена без зняття шару металу – литвом, прокатуванням, куванням тощо (рис. 12.59, в). Цим самим знаком позначають також поверхні, що не обробляють за даним кресленням, тобто зберігають «у стані поставки».

Висота знака приблизно дорівнює висоті цифр розмірних чисел, $H=(1,5...5)h$. Товщина ліній знаків становить $0,5s$, де s – товщина суцільної товстої основної лінії на кресленні.

Позначення шорсткості поверхні на кресленнях розміщують на лініях контуру, виносних лініях (якомога ближче до розмірної лінії) або на поличках ліній-виносок. Якщо не вистачає місця, то позначення шорсткості розміщують на розмірних лініях або на їхніх продовженнях, а також розривають виносні лінії (рис. 12.60). На лінії невидимого контуру наносять знак шорсткості тільки тоді, коли від цієї лінії нанесно розмір.

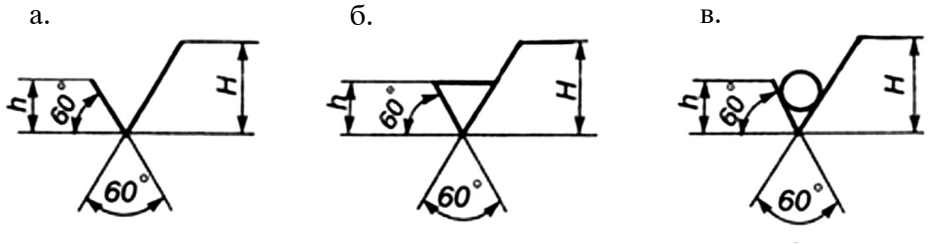


Рис. 12.59. Позначення шорсткості

Знаки шорсткості наносять відносно напису так, як це показано на рис. 12.61.

Якщо всі поверхні деталі мають однакову шорсткість, то її на зображеннях не наносять, а розміщують у правову верхньому куті (рис. 12.62). Розміри й товщина ліній знака та цифр має бути приблизно в 1,5 раза більші, ніж розміри цифр на зображеннях.

Для позначення однакової шорсткості частини поверхонь деталі в правову верхньому куті поміщають знак цієї шорсткості, збільшенний у 1,5 раза, та умовне позначення – знак в круглих дужках (рис. 12.63).

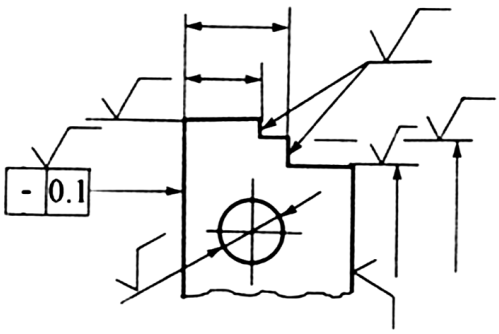


Рис. 12.60.
Нанесення позначення шорсткості

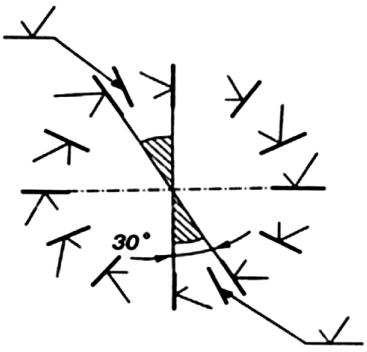


Рис. 12.61.
Розміщення позначення

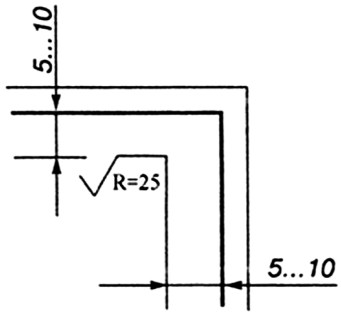


Рис. 12.62. Позначення шорсткості для всіх поверхонь

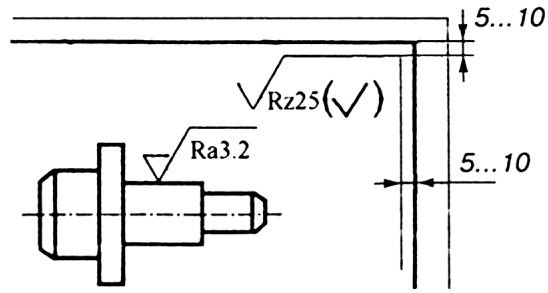


Рис. 12.63. Розміщення позначення

Є. Написи і технічні вимоги на робочих кресленнях.

Правила нанесення на кресленнях написів технічних вимог і таблиць регламентує ДСТУ 2.316-68, за яким написи наводять тоді, коли відомості, що мають бути на кресленні, неможливо або недоцільно виражати умовними позначеннями.

Написи виконують на поличці лінії-виноски, яка розміщується, як правило, горизонтально. Лінія-виноска закінчується точкою, якщо лінія починається з невидродженої проекції поверхні, або стрілкою, коли лінія починається від видимого чи невидимого контуру (рис. 12.64), а також від ліній, що позначають поверхні (рис. 12.65).

Написи, що стосуються безпосередньо зображення, мають містити не більше двох рядків, що розміщуються над поличкою лінії-виноски та під нею (рис. 12.65, а, б).

Розмір шрифту літерних позначень (зображень, поверхонь, баз тощо) має бути приблизно вдвічі більшим від висоти цифр розмірних чисел на даному кресленні.

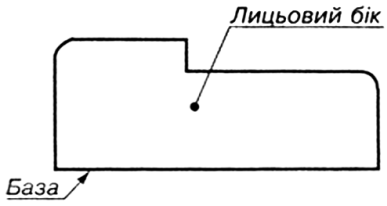


Рис. 12.64. Виносний напис

Кожне робоче креслення, як правило, має технічні вимоги, які розміщують над осносним написом на першому аркуші креслення незалежно від кількості аркушів. Між технічними вимогами (ТВ) та основним написом не повинно бути ніяких зображень, таблиць тощо. Якщо ТВ не вміщаються над осносним написом, то їх продовжують зліва від нього, відділивши колонку завширшки 185 мм. Нумерація пунктів має бути наскрізною, справа наліво, зверху вниз (рис. 12.66).

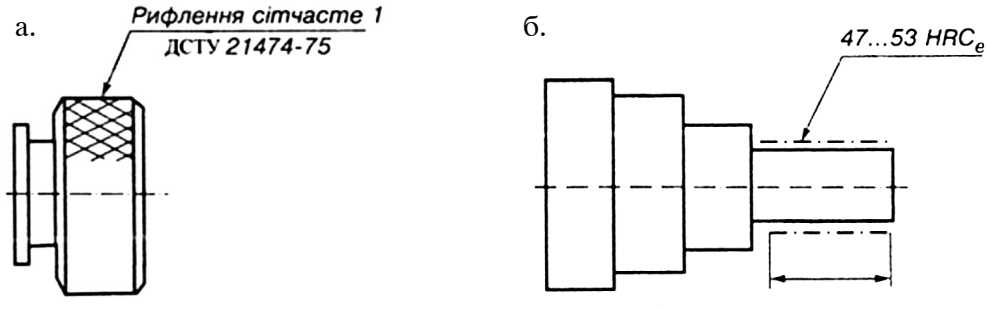


Рис. 12.65. Розміщення тексту виносного напису

Близькі за змістом технічні вимоги подають на робочому кресленні як окремі пункти, бажано в такій послідовності:

а) вимоги до матеріалу, заготовки, термічної обробки, властивостей матеріалу готової деталі, вказівки щодо матеріалу-замінника;

б) розміри, граничні відхилення розмірів, форми, розміщення поверхонь, маси тощо;

в) вимоги до якості поверхонь, вказівки щодо покриття, оздоблення тощо;

г) зазори, розміщення окремих елементів конструкції;

д) вимоги щодо настройки та регулювання виробу;

е) інші вимоги до якості виробу (безшумність, вібростійкість, самогальмування тощо);

є) умови та методи випробування;

ж) вказівки щодо маркування та таврування;

з) правила транспортування та зберігання;

и) окремі умови експлуатації;

і) посилання на ішні документи, які містять технічні вимоги щодо даного виробу, але незазначені на кресленні.

На рис. 12.66 наведено приклад виконання робочого креслення.

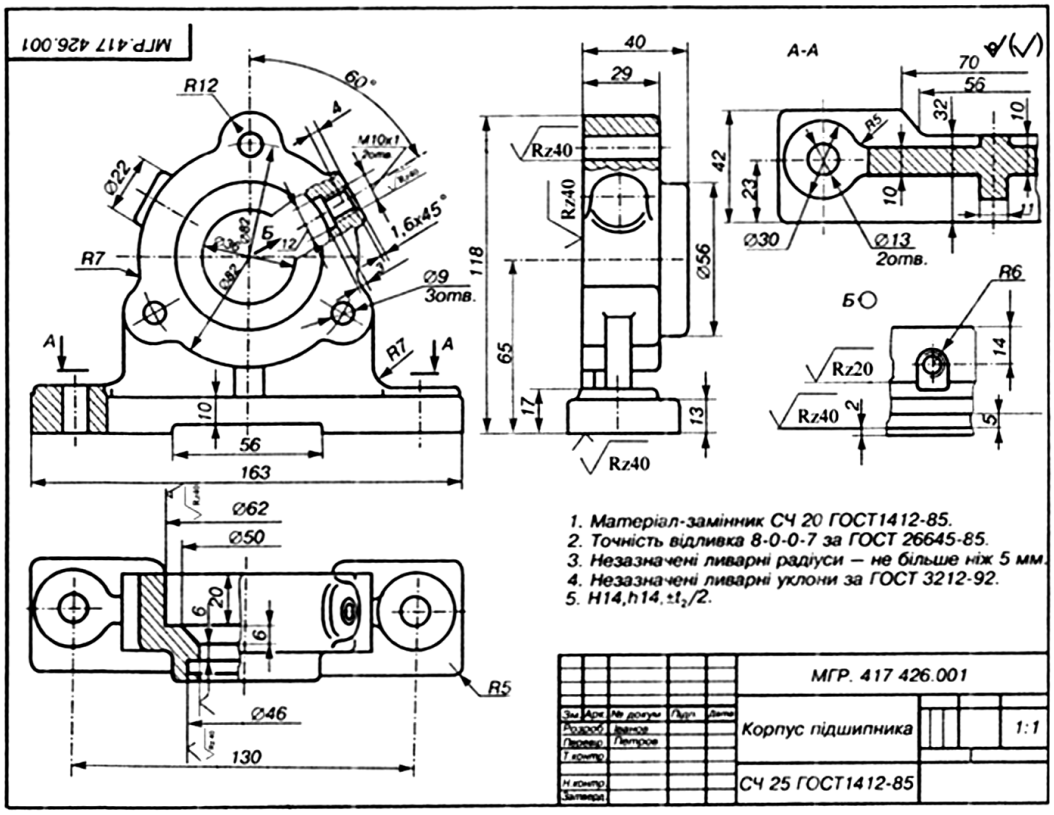


Рис. 12.66. Приклад виконання робочого креслення

Самоконтроль. Що називають виробом? Назвіть види виробів.
Надайте визначення деталі, складеної одиниці, комплексу, комплекту.
Які документи відносять до конструкторської документації?

Надайте визначення документів: оригінал, робочий оригінал, дублікат, копія.
Що називають форматом? Чим відрізняється основний формат від додаткового?
Як проводять рамку креслення?
Де розміщують основний напис та графу 26? Які їхні розміри?
Назвати основні типи ліній, які застосовують під час виконання креслень, а також співвідношення їхніх товщин.
У яких межах можна вибирати довжину штрихів для штрихової та штрихпунктирної ліній?
Що таке масштаб зображення? Які масштаби рекомендує ДСТУ 2.302-68?
Які розміри та типи шрифтів застосовують у машинобудівному кресленні?
Які загальні правила виконання штриховки на кресленнях?
Як виконують штриховку двох суміжних деталей?
Як проводять розмірні та виносні лінії для прямолінійного відрізка? кола? дуги? кута?
На якій мінімальній відстані проводять розмірну лінію від контура? від паралельної розмірної лінії?
Як записують розмірні числа при різних нахилах розмірних ліній для лінійних розмірів? для кутових ро-змірів?
Як виконують розмірні лінії та наносять розмірні числа, якщо не вистачає місця для стрілок та чисел?
Які правила нанесення розмірів конусності та нахилу?
Що називають спряженням? Які його основні елементи?
Що називають виглядом? Які є основні вигляди?
Як розміщують та позначають основні вигляди?
Які вигляди називають додатковими? Як їх розміщують та позначають?
Чим відрізняються місцеві вигляди від додаткових?
У чому відмінність між розрізом та перерізом?
Як поділяють розрізи залежно від кількості січних площин?
Як виконують місцевий розріз?
У яких випадках прості розрізи не позначаються?
Як оформити поєднання частини вигляду з частиною розрізу?
Чим відрізняється накладений переріз від винесеного? Коли переріз не позначається?
Як виконують кілька однакових перерізів, що належать одному предмету?
Що називають виносним елементом і як його виконують?
Яка умовність дозволяється при зображенні симетричних зображень?
Як зображують декілька однакових рівномірно розміщених елементів?
Як показують у розрізі болти, гвинти, шпильки, вали, шатуни тощо?
Як зображуються на розрізі тонкі стінки та ребра жорсткості?
З чого складається робоче креслення деталі?
Які вимоги ставлять до зображень деталі на робочому кресленні?
Що таке технологічні, конструкторські та вимірювальні бази деталі?
Як наносять розміри при ланцюговому, координатному та комбінованому способах?
У чому полягає загальне правило позначення матеріалів на кресленнях? Навести приклади деяких з них.
Назвати місце розміщення й послідовність запису технічних вимог на робочому кресленні деталі.
Які розміри називають довідковими та як їх наносять на кресленні?
Які є параметри оцінки шорсткості поверхні деталі?
Якими знаками позначають шорсткість поверхні деталі? Навести приклад застосування їх.

13. ПРАВИЛА ВИКОНАННЯ АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНИХ РОБОЧИХ КРЕСЛЕНЬ

За своїм призначенням будівельні креслення діляться на наступні групи:

- *креслення будівельних виробів,* за якими промисловість виготовляє окремі конструкції;
- *робочі креслення і монтажні схеми,* за якими ведеться будівництво;
- обмірювальні креслення, які складаються на основі вимірювання вже існуючих об'єктів.

Архітектурні рішення та будівельні конструкції, включаючи робочу документацію на будівельні вироби, зображуються на *архітектурно-будівельних робочих кресленнях.*

13.1. Загальні положення

А. Нормативна база. Склад креслень

Будівельні креслення виконуються і оформлюються згідно вимог Єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД) та Системи проектної документації для будівництва (СПДБ). По мірі проведення відповідних робіт, радянські стандарти (ГОСТ) заміщуються новими державними стандартами України (ДСТУ). Зокрема, архітектурно-будівельні робочі креслення оформлюються згідно державного стандарту України ДСТУ Б А.2.4-7:2009. Вимоги до точності функціональних геометричних параметрів будинків, споруд і конструкцій повинні бути ув'язані з вимогами до точності виготовлення виробів (елементів конструкцій), розбивання осей і встановлення елементів конструкцій шляхом розрахунку точності. На архітектурно-будівельних кресленнях вказують характеристики точності геометричних параметрів будинків, споруд, конструкцій і їх елементів згідно з вимогами ДСТУ Б А.2.4-37:2008.

Комплекс стандартів СПДБ розбито на десять класифікаційних груп від 0 до 9:

0 – Загальні положення;
1 – Загальні правила оформлення кресленьі текстових документів;
2 – Правила обороту проектної документації;
3 – Правила виконання проектної документаціїзінженерно-пошукових робіт;
4 – Правила виконання технологічної проектної документації;
5 – Правила виконання архітектурно-будівельної проектної документації;
6 – Правила виконання проектної документації інженерного забезпечення;
7 – Правила виконання типової проектної документації;
8 – Правила виконання комп'ютерних документів, що використовуються в автоматизованих системах управління (АСУ);
9 – Інші стандарти.

Б. Масштаби

Масштаби креслень обираються згідно ГОСТ 2.302-68. Архітектурно-будівельні робочі креслення житлових та громадських будівель виконуються у наступних масштабах:

- плани поверхів, підвалута фундаментів, розрізиі фасади будівель, монтажні плани поверхів та перекриттів: 1:100; 1:200; 1:500
- плани секцій, фрагменти планів, розрізів і фасадів: 1:50; 1:100
- вироби та вузли: 1:5; 1:10; 1:20

Робочі креслення промислових будівель виконуються у таких масштабах:

- плани поверхів, розрізи, фасади будівель, плани покрівлі і підлог: 1:200; 1:100;
- плани підземних конструкцій, плани допоміжних приміщень, схеми розташування перегородок та заповнення віконних пройм: 1:100; 1:200;
- фрагменти планів, розрізів,фасадів: 1:50; 1:100;
- вироби та вузли: 1:5; 1:10; 1:20.

В. Єдина модульна система. Координація і нанесення розмірів

Будівельна галузь є високотехнологічною галуззю, що використовує суттєву частку виготовлених промисловим способом конструкцій і виробів. З метою оптимізації проектування, промислового виробництва, будівництва широко використовуються стандартизація та уніфікація, неодмінною складовою яких є координація розмірів конструкцій і виробів.

Єдиною модульною системою (ЄМС) називається сукупність правил координації розмірів, об'ємів та об'ємно-планувальних і конструктивних елементів будівель і споруд на базі модуля. При цьому ***об'ємно-планувальним елементом*** називається частина об'єму будівлі з розмірами, рівними висоті поверху, прольоту та кроку, а ***планувальним елементом*** – горизонтальна проекція об'ємно-планувального елементу.

За величину модуля *М* для координації розмірів приймається 100 мм (1 дециметр); усі розміри об'ємно-планувальних та конструктивних елементів будівель мають бути кратні цій величині.

На базі основного ***модуля М*** утворюються похідні модулі – збільшені (для великих розмірів) та подрібнені, які отримуються помноженням М на цілі або дрібні числа і позначаються, відповідно, 60М (6000 мм), 30М (3000 мм) та 1/2 М (50 мм), 1/10 М (10 мм) тощо.

Будівля або споруда у плані ділиться осьовими лініями на ряд елементів. Ці вісі визначають розташування основних несучих конструкцій (стін и колон), називаються ***координаційними осями*** і бувають повздовжніми та поперечними. Координаційні вісі утворюють координатну сітку і тією розмірною базою, яка дозволяє при виконанні будівельних робіт точно визначити місця закладання фундаментів і зведення стін. Координаційні вісі на кресленнях наносять штрихпунктирними лінями і позначають маркерами у вигляді кіл діаметром 6–12 мм, у які вписують позначення осей – арабськими цифрами або прописними літерами (за виключенням З, Й, О, Х, Ь). Розмір шрифту для позначення координаційних осей має бути на один-два номери більшим, ніж розмір шрифту інших чисел на тому ж аркуші. Цифрами маркіруються вісі по стороні будівлі з більшою кількістю осей. Послідовність маркірування – зліва направо та знизу вверх. Маркірування осей, як правило, розташовується по лівій та нижній сторонам плану.

У будівлях з несучими повздовжніми та поперечними стінами прив'язка до координаційних осей виконується наступним чином:

- внутрішня грань зовнішньої стіни розміщується від координаційної осі на відстані, рівній глибині закладання елементу перекриття. Наприклад, якщо поверх перекритий залізобетонними пустотними панелями, то для стін, на які вони спираються, ця відстань буде у межах 100–150 мм, а для інших стін – 0 мм;
- геометрична вісь симетрії внутрішніх стін має збігатися з координаційною віссю, за виключенням стін, що обмежують сходові клітини, стін з каналами та місць розташування деформаційних швів, де припустимо відступати від цього правила.

У каркасних будівлях правила прив'язки наступні:

● для колон внутрішніх рядів – повздовжні і поперечні координаційні вісі проходять через геометричні центри перерізів;

● для колон зовнішніх рядів – зовнішню грань колони суміщають з координаційною віссю, якщо ригель або ферма перекривають колону. Якщо ж ригелі або ферми спираються на консолі колон, то внутрішню грань колони розміщують на відстані, рівній половині товщини внутрішньої колони.

Відстань між координаційними осями в плані називають ***кроком***. Крок визначається умовами використання стандартних конструктивних елементів перекриття – ригелів, балок, ферм, панелей. ***Висотою поверху*** називається відстань від рівня підлоги даного поверху до рівня підлоги даного поверху, що розташований вище.

Єдина модульна система встановлює чотири типа розмірів конструктивних елементів будівлі:

● *розміри об'ємно-планувальних елементів* – відстані між координаційними осями несучих стін и колон та висоти поверхів;

● *номінальні розміри* конструктивних елементів – проектні розміри будівельних конструкцій, виробів та обладнання з урахуванням нормованих зазорів (установлені нормами товщини швів між елементами конструкцій);

● *конструктивні розміри* – проектні розміри елементів конструкцій, будівельних виробів та обладнання;

● *натурні розміри* конструктивних елементів – фактичні їх розміри, що відрізняються від конструктивних на величину допусків, установлених нормами.

Розміри на архітектурно-будівельних кресленнях наносяться у міліметрах без позначення одиниці виміру, за виключенням висотних позначок, які задаються у метрах з точністю трьох знаків після коми, а також площ та об'ємів приміщень, які визначаються у квадратних та кубічних метрах відповідно, з точністю двох знаків після коми.

Розміри на архітектурно-будівельних кресленнях, як правило, наносяться у вигляді замкненого ланцюга; розміри можна повторювати. Для обмеження розмірних ліній у місцях їх перетину з виносними лініями наносяться засічки (коротка суцільна лінія довжиною 2-4 мм, більшої, ніж розмірна лінія, товщини, розташована під кутом 45°до розмірної лінії. Якщо місця обмаль, замість засічок можна використовувати точки. Розміри розміщують зверху горизонтальних розмірних ліній і зліва від вертикальних; при необхідності ці розташування можуть бути змінені.

Для нанесення висотних позначок використовуються спеціальні маркери.

Г. Виноски і посилання

Креслення будівель і споруд мстять велику кількість креслень окремих елементів, схем, текстових написів і назв, маркірувань і посилань на інші креслення. Зображення конструктивних вузлів, які потребують деталізації, виконують у збільшеному масштабі. Таке зображення, що містить необхідні подробиці, відсутні на основних зображеннях, називається ***виносним елементом***. Зображення частин фасаду або плану, виконані у збільшеному масштабі у окремому місці, називаються ***фрагментами***. Пояснювальний напис до багатошарової конструкції називається ***виносним написом***. ГОСТ 2.305-68 та ДСТУ Б А.2.4-7:2009 встановлюють правила посилань на інші креслення та виконання виносних елементів.

При виконанні виносних елементів та посилань на вузли відповідні місця на фасаді, плані або розрізі обводять колом чи овалом з позначенням на полиці виносної лінії порядкового номера або літерного позначення елемента:

- якщо збільшене зображення вузла розташовано на тому ж аркуші, то на полиці наносять порядковий номер вузла;
- якщо зображення вузла розташовано на іншому аркуші одного комплекту креслень, то, крім позначення, під полицею вказується номер листа, на якому знаходиться креслення вузла;
- при посиланні на зображення вузла в іншому комплекті креслень, під полицею, крім номера аркушу, вказується також позначення комплекту креслень;
- якщо вузол є типовим, то під полицею вказується позначення серії робочих креслень типових вузлів.

Для виносного елемента, на який робиться посилання, номер вузла розміщується у колі 12 – 16 мм; при цьому розмір цифр на один-два номера більше цифр розмірних чисел креслення. Кола с номерами вузлів розміщують над їх зображенням або справа від них.

При виконання посилань на фрагменти, відповідні місця позначаються фігурними стрілками і назвами з номерами; для самих фрагментів також вказуються назви і номери, розташовані вище зображення фрагменту. При цьому номер шрифту береться на один-два номера більше, ніж для інших звичайних написів на кресленні.

Виносні написи розміщуються над чи під багатошаровою конструкцією. Вони обмежуються вертикальною лінією із стрілочкою у кінці, а кожен шар конструкції описується у окремому рядку, підкресленому горизонтальною лінією. При цьому для кожного шару вказується матеріал і товщина у міліметрах.

Д. Основний напис креслення

Зображення на архітектурно-будівельних кресленнях мають назви, розташовані над зображеннями. Якщо на кресленні є тільки одне зображення, його назва розміщується в основному написі (штампі), який розміщується у правому нижньому куті аркуша. Зміст, розташування і розміри граф основного напису та додаткових граф мають відповідати ГОСТ 21.103-76 (рис. 13.1).

13.2. Архітектурні робочі креслення

Загальні креслення будівлі чи споруди, які відображають авторський задум щодо просторової, планувальної, функціональної організації, зовнішнього вигляду та інтер'єрів об'єкта архітектури шляхом контурного умовного зображення несучих та огороджувальних конструкцій називаються ***архітектурними робочими кресленнями***.

До складу основного комплекту робочих креслень архітектурних рішень включають:

- плани поверхів, у т. ч. підвалу, технічного підпідлогового простору, технічного поверху і горища;
- розрізи;
- фасади,

а також: загальні дані з робочих креслень; плани підлог (за необхідності); план покрівлі (даху); схеми розміщення елементів збірних перегородок; схеми розміщення елементів заповнення віконних і інших прорізів; виносні елементи (вузли, фрагменти); специфікації до схем розміщення згідно з ДСТУ Б А.2.4-4; паспорт опорядження фасадів.

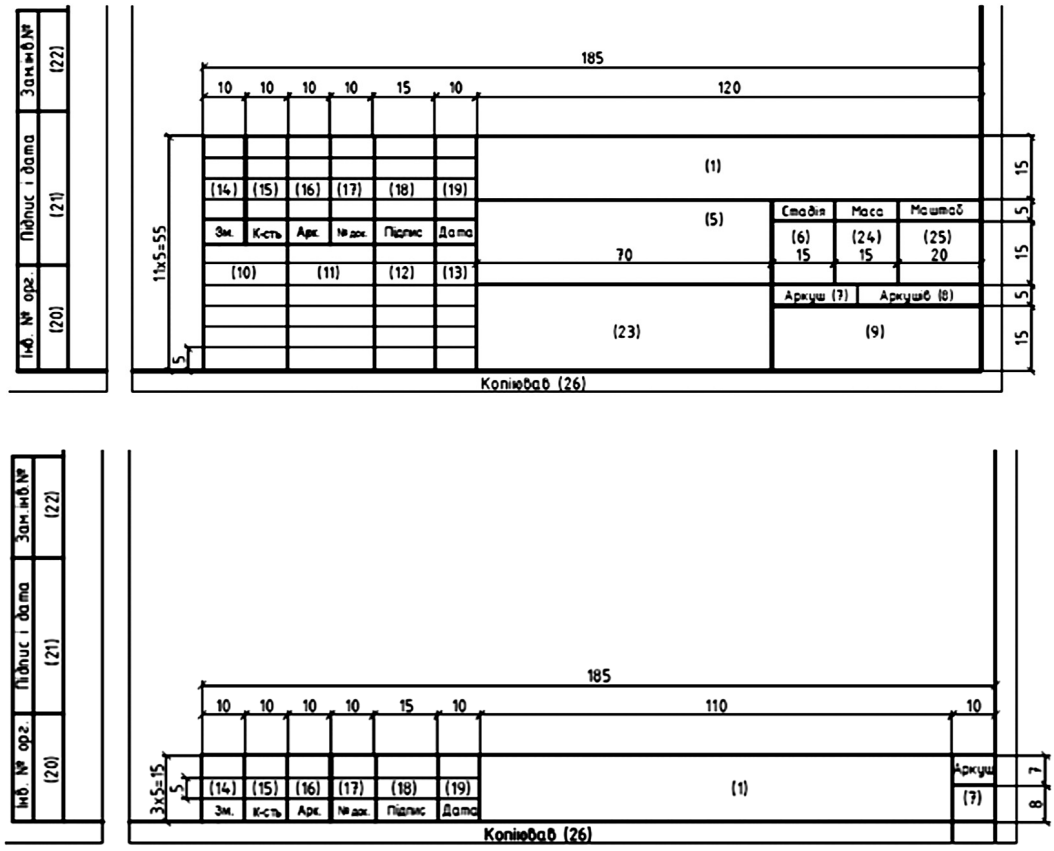


Рис.13.1. Варіанти основного і додаткових написів
на архітектурно-будівельних кресленнях

А. Плани поверхів

Планом називається зображення, отримане за правилами ортогонального проекціювання на горизонтальну площину шляхом горизонтального розтину будівлі; при цьому на кресленні показується як те, що знаходиться у січній площині, так і те, що знаходиться за нею. При виконанні плану поверху положення уявної горизонтальної січної площини розрізу приймають на рівні віконних прорізів або на 1/3 висоти поверху, що зображується. У випадках, коли віконні прорізи розміщені вище січної площини, по периметру плану розміщують переріз відповідних стін на рівні віконних прорізів.

На плани поверхів наносять:

а) координаційні осі будинку (споруди);

б) розміри, що визначають відстань між координаційними осями і прорізами, товщину стін і перегородок, інші необхідні розміри, відмітки ділянок, які розміщені на різних рівнях;

в) лінії розрізів проводять, як правило, з таким розрахунком, щоб в розріз попадали прорізи вікон, зовнішніх воріт і дверей;

г) позиції (марки) елементів будинків (споруд), заповнення прорізів воріт і дверей (крім тих, що входять до складу щитових перегородок), перемичок, сходів і таке інше.

д) позначення вузлів і фрагментів планів;

е) назви приміщень (технологічних ділянок), їх площі, категорії за вибухопожежною і пожежною безпекою (крім житлових будинків). Для житлових будинків, при необхідності, на планах вказують тип і площу квартир. Площу проставляють у вигляді дробу, в чисельнику якого вказують житлову площу, в знаменнику – корисну. У випадку коли площі і категорії приміщень наводяться в експлікації, то на планах замість найменування приміщень (технологічних ділянок) проставляють їх номери. Для житлових будинків експлікацію приміщень, як правило, не виконують;

ж) межі зон переміщення (при необхідності). Вбудовані приміщення і інші ділянки будинку (споруди), на які виконують окремі креслення, зображують схематично суцільною тонкою лінією з показом несучих конструкцій. Площадки, антресолі і інші конструкції, розміщені вище січної площини, зображують схематично штрихпунктирною тонкою лінією з двома крапками.

Зображення плану має бути названо, наприклад, «План першого поверху», або «План на позначці + 3,000». Шрифт має мати номер, на один чи два більший, ніж для звичайних написів.

Приклад виконання креслення плану наведено на рис. 13.2.

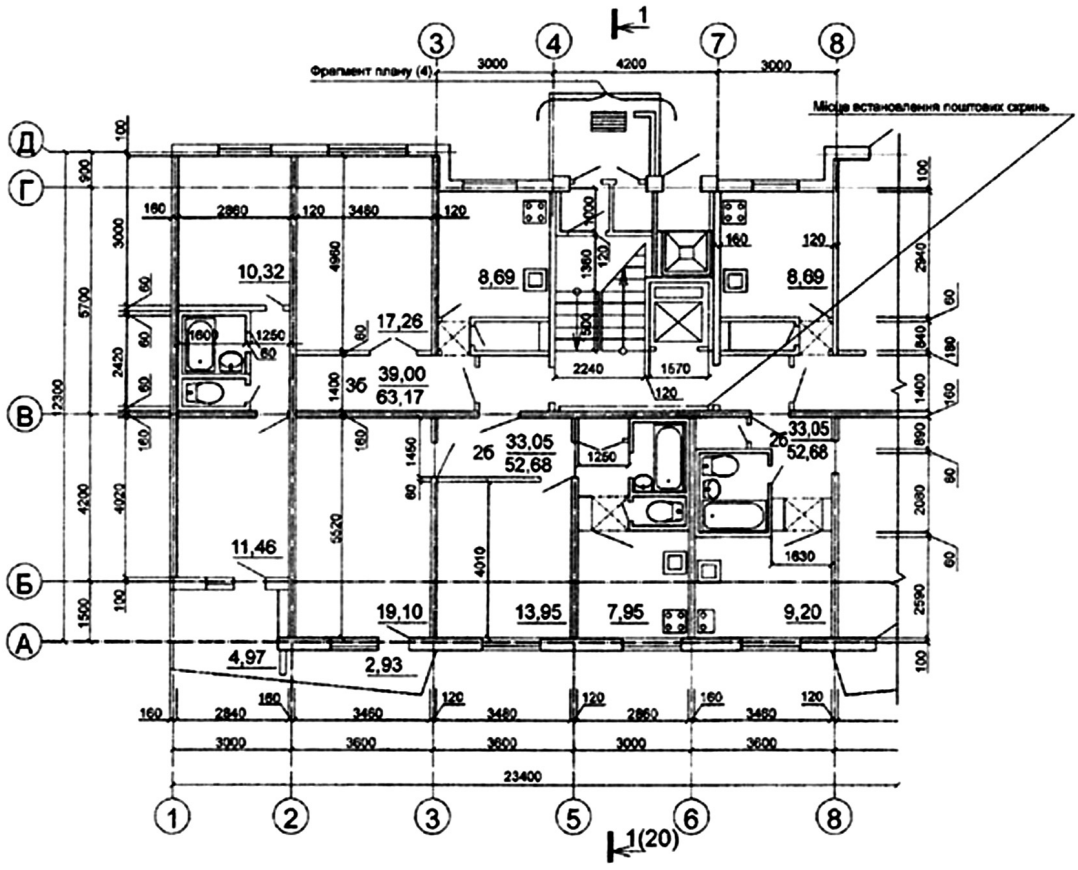


Рис. 13.2. Приклад виконання плану поверху будинку

До планів поверхів виконують:

а) специфікації та відомості перемичок;

б) специфікації заповнення елементів віконних, дверних і інших прорізів, щитових перегородок, перемичок, які замаркіровані на планах, розрізах і фасадах.

Б. Розрізи і фасади

Види будинку спереду, ззаду, справа і зліва називаються ***фасадами***. Фасади дають уяву про вигляд будівлі, її розміри, кількість поверхів, розташування секцій, архітектурних елементів тощо.

Розрізом називають зображення будівлі, уявно перетнутого однією або кількома вертикальними площинами, отримане шляхом ортогонального проекціювання на фронтальну чи профільну площину проекцій; при цьому показуються як частини будівлі, розташовані у січних площинах, так і ті, що розташовані за ними (останнє за умови, якщо вони можуть бути показані повністю і без спотворень). Розташування горизонтальних слідів січних площин має бути показано на плані. Розрізи виконують по найбільш важливим частинам будівлі, по сходам, віконним і дверним проймам. Розрізи бувають повздовжніми і поперечними в залежності від розташування січних площин.

Лінії контурів елементів конструкцій в розрізі зображують суцільною товстою основною лінією, лінії контурів, які видно, але вони не попадають в площину перерізу, – суцільною тонкою лінією.

На розрізи і фасади наносять:

а) координаційні осі будинку (споруди), які проходять в характерних місцях розрізу і фасаду (крайні, біля деформаційних швів, несучих конструкцій, в місцях перепаду висот і т. і.), з розмірами, що визначають відстань між ними (тільки на розрізах) і загальну відстань між крайніми осями;

б) відмітки, які характеризують розміщення елементів, несучих і огороджувальних конструкцій по висоті;

в) розміри і прив'язки по висоті прорізів, отворів, ніш і гнізд в стінах і перегородках, які зображені в розрізах;

г) позиції (марки) елементів будинків (споруд), які не вказані на планах. Зокрема, на фасадах вказують типи заповнення віконних прорізів (допускається вказувати їх і на планах), матеріал окремих ділянок стін, який відрізняється від основних матеріалів;

д) позначення вузлів і фрагментів розрізів і фасадів.

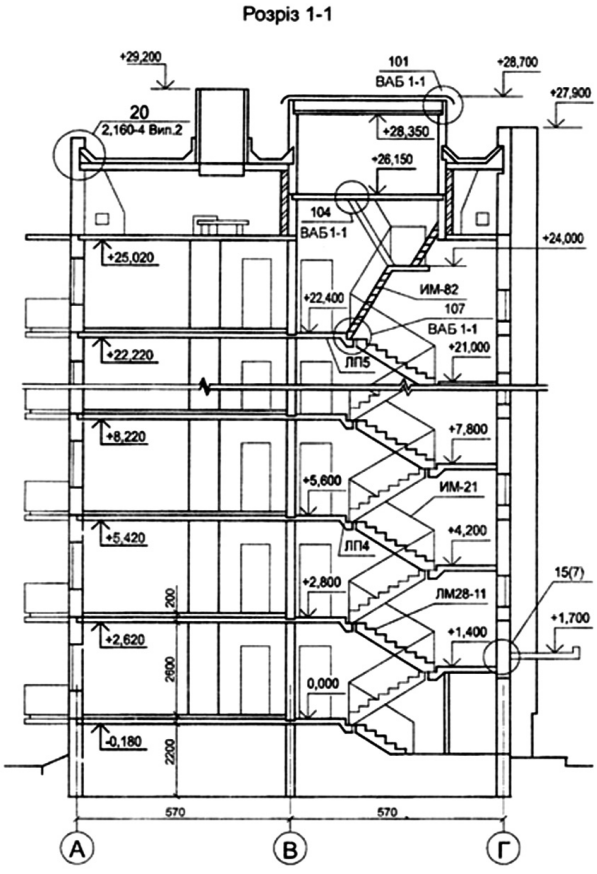


Рис. 13.3. Розріз житлового будинку

Приклади виконання розрізів і фасадів житлових і промислових будівель наведено на рис. 13.3–13.6, а фрагменту фасаду – на рис. 13.7.

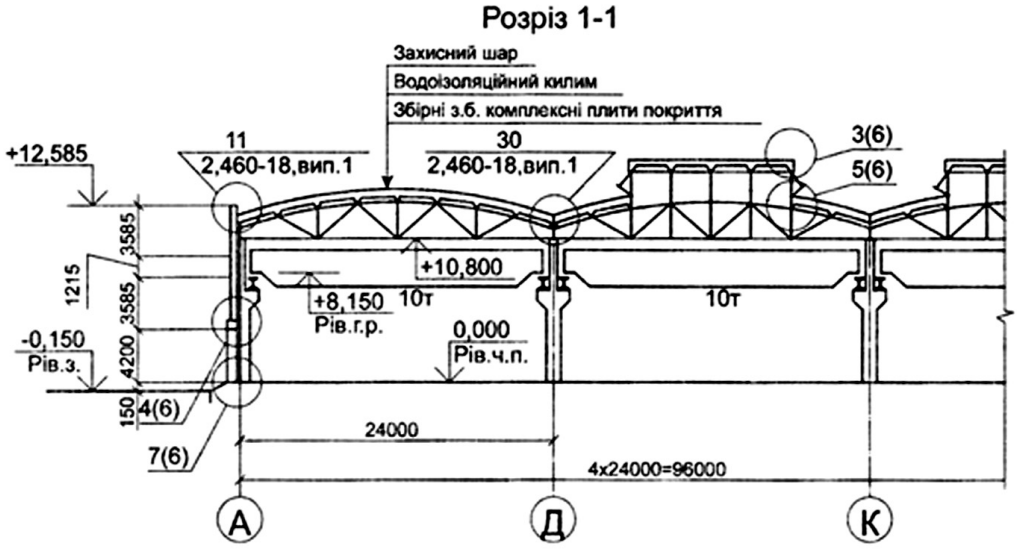


Рис. 13.4. Розріз промислової будівлі

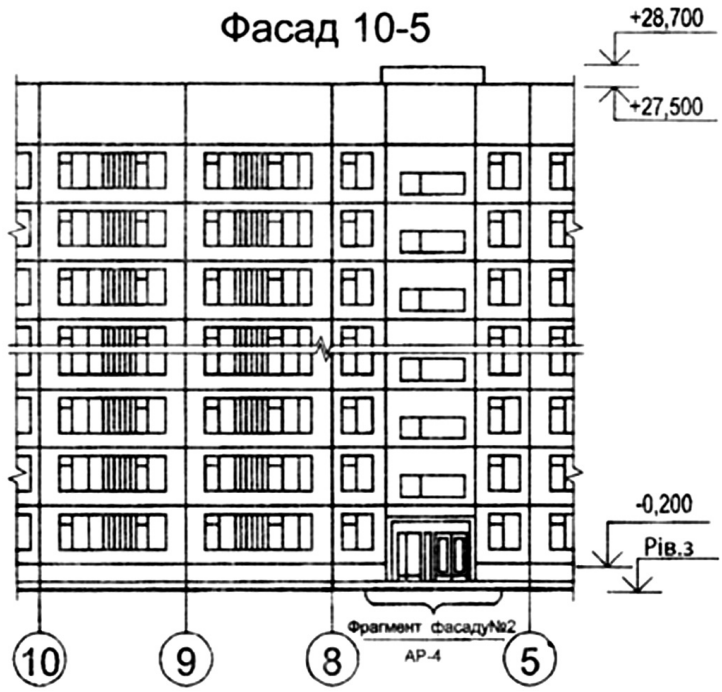


Рис. 13.5. Фасад житлового будинку

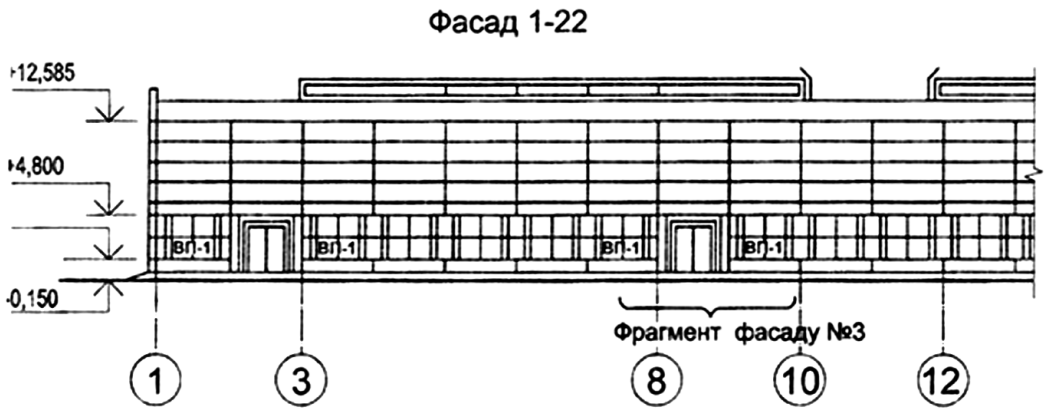


Рис. 13.6. Фасад промислової будівлі

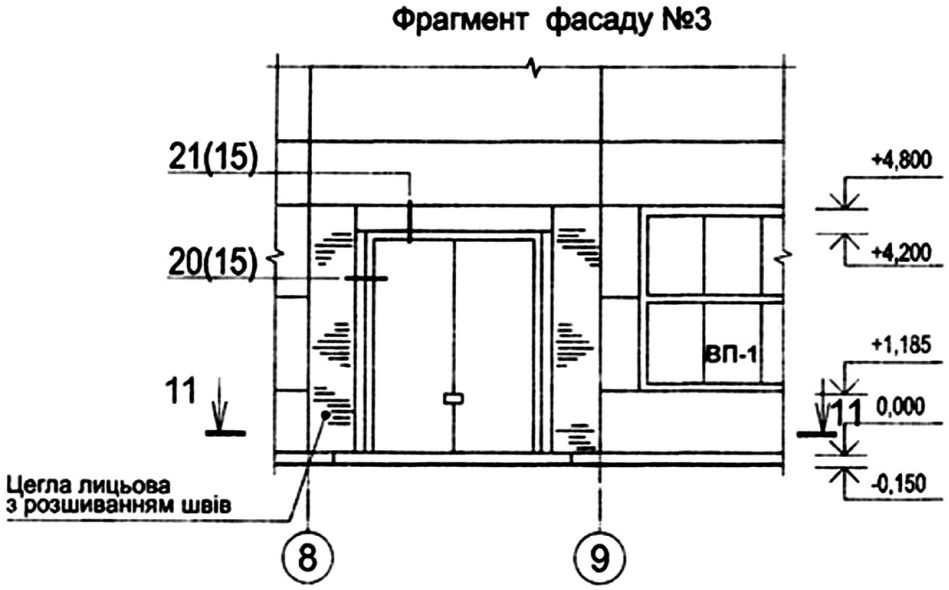


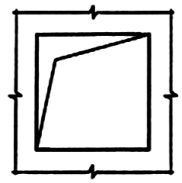
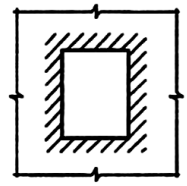
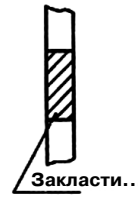
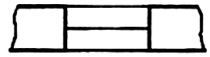
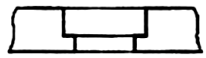
Рис. 13.7. Фрагмент фасаду промислової будівлі

В. Умовні позначення

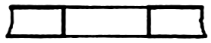
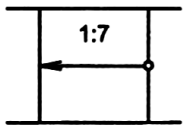
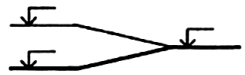
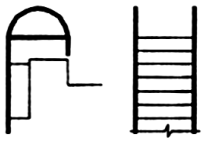
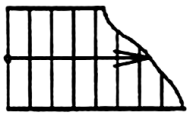
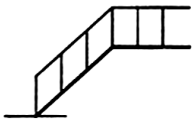
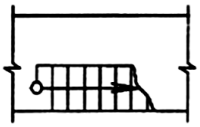
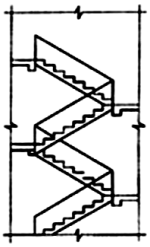
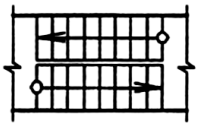
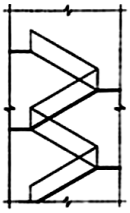
На архітектурно-будівельних кресленнях позначаються як конструктивні елементи, так і обладнання. У таблиці 13.1 наведено найбільш поширені умовні графічні зображення будівельних конструкцій та їх елементів.

Таблиця 13.1.

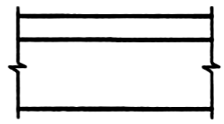
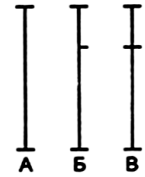
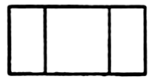
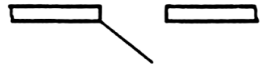
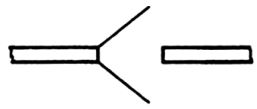
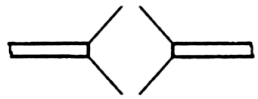
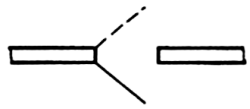
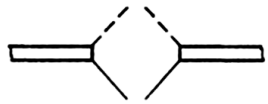
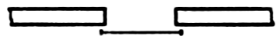
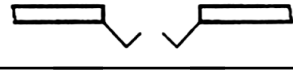
Умовні графічні зображення будівельних конструкцій та їх елементів

Найменування	Зображення	
	у плані	у розрізі
1. Перегородка із склоблоків *Примітка.* На кресленнях в масштабі 1:200 і менше допускається позначення всіх видів перегородок однією суцільною товстою основною лінією		
2. Прорізи 2.1 Проріз (що проектується без заповнення)		
2.2 Проріз, який належить пробити в існуючій стіні, перегородці, покритті, перекритті		
2.3 Проріз в існуючій стіні, перегородці, покритті, перекритті, який належить закласти *Примітка.* В пояснювальному написі замість крапок вказують матеріал закладки		
2.4 Прорізи а) без чверті;		
б) із чвертю;		

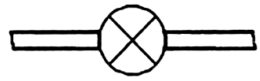
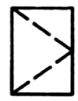
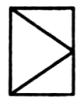
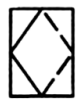
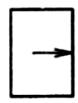
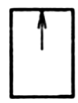
Продовження табл. 13.1.

Найменування	Зображення	
	у плані	у розрізі
в) у масштабі 1:200 і менше, а також для креслень елементів конструкцій заводського виготовлення		
3. Пандус *Примітка.* Уклон пандуса вказують у плані у відсотках (наприклад, 10,5 %) або у вигляді відношення висоти і довжини (наприклад, 1:7). Стрілкою на плані показано напрямок спуску		
4. Сходи 4.1 Сходи металеві: а) вертикальні;		
б) похилі		
4.2 Сходи: а) нижній марш;		У масштабі 1:50 і більше 
б) проміжні марші;		
в) верхній марш *Примітка.* Стрілкою показано напрям підйому маршу		У масштабі 1:100 і менше, а також для схем розміщення елементів збірних конструкцій 
5. Елемент існуючий, що підлягає розбиранню		

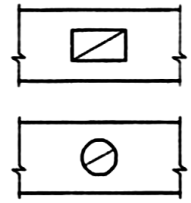
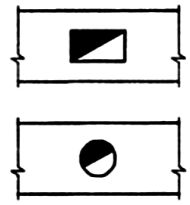
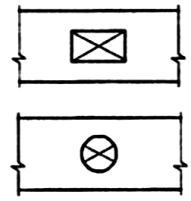
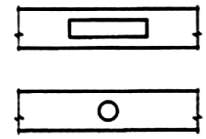
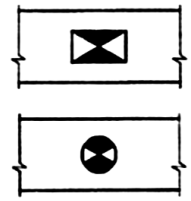
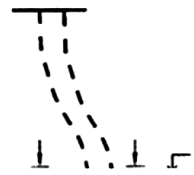
Продовження табл. 13.1.

Найменування	Зображення	
	у плані	у розрізі
6. Вимощення		
7. Колона а) залізобетонна: – суцільного перерізу;		
– двогілкова;		
11. Двері, ворота 11.1 Двері однополотні		
11.2 Двері двополотні		
11.3 Двері подвійні однополотні		
11.4 Те саме двополотні		
11.5 Двері двополотні з хитним полотном (права або ліва)		
11.6 Двері двополотні з хитними полотнами		
11.7 Двері (ворота) відкатні однополотні		
11.8 Двері (ворота) розсувні двополотні		
11.9 Двері (ворота підйомні)		
11.10 Двері складчасті		

Продовження табл. 13.1.

Найменування	**Зображення**
11.11 Двері, що обертаються	
11. Ворота підйомно-поворотні	
12. Рами віконні 12.1 Рама з боковим підвішуванням, що відчиняється всередину	
12.2 Те саме, що відчиняється назовні	
12.3 Рама з нижнім підвішуванням, що відчиняється всередину	
12.4 Те саме, що відчиняється назовні	
12.5 Рама з верхнім підвішуванням, відчиняється всередину	
12.6 Те саме, що відчиняється назовні	
12.7 Рама з середнім підвішуванням горизонтальним	
12.8 Те саме, вертикальним	
12.9 Рама розсувна	
12.10 Рама з підйомом	

Закінчення табл. 13.1.

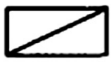
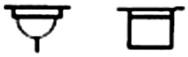
Найменування	Зображення в масштабах	
	1:50 і 1:100	1:200
15. Канали димові і вентиляційні 15.1 Вентиляційні шахти і канали		
15.2 Димові труби (тверде паливо)		
15.3 Димові труби (рідке паливо)		
15.4 Газовідвідні труби		
15.5 Труби вигнуті (в стелі)		

Самоконтроль. Охарактеризуйте нормативну базу архітектурно-будівельних креслень.
Які розділи входять до СПДБ?
Що таке дина модульна система?
Які види привязок ви знаєте?
Як позначаються координаційні осі?
Які види креслень відображають архітектурні рішення? Що має зображатись на цих кресленнях?

У таблиці 13.2 наведено умовні зображення сантехнічних та кухонних елементів, що також використовуються на планах та розрізах.

Таблиця 13.2.

Умовні зображення сантехнічних і кухонних приладів

Позначення	Найменування	Позначення	Найменування
	Раковина прямокутна		Плита кухонна (газова)
	Мийка кухонна на одне відділення		Водонагрівач газовий
	Мийка кухонна на два відділення		Варочний котел
	Умивальник		Плита електрична
	Умивальник кутовий		Холодильник електричний
	Умивальник-корито		Пральна машина
	Ванна звичайна		
	Унітаз		

Г. Інші документи комплекту креслень архітектурних рішень

До складу загальних даних із робочих креслень, крім даних, які передбачені ДСТУ Б А.2.4-4, включають відомість опорядження приміщень (якщо це передбачене завданням на проектування).

У загальних вказівках як доповнення до даних, передбачених ДСТУ Б А.2.4-4, вказують:

а) рівень відповідальності будинку (споруди);

б) категорію будинку (споруди) з вибухопожежної і пожежної небезпеки;

в) ступінь вогнестійкості будинку (споруди);

г) характеристику стінових та ізоляційних матеріалів;

д) вказівки з улаштування гідроізоляції і вимощення;

є) вказівки щодо зовнішнього опорядження будинку (споруди);

ж) вказівки про заходи з проведення робіт у зимовий час.

На плани підлоги наносять:

а) координаційні осі: крайні біля деформаційних швів, по краях ділянок з відмінними конструктивними та іншими особливостями і з розмірними прив'язками таких ділянок;

б) позначення уклонів підлоги;

в) тип підлоги. Позначення типу підлоги проставляють в кружку діаметром 7 мм;

г) позначки в місцях перепадів підлоги.

Стіни будинків (споруд) і перегородки на планах підлоги зображують однією суцільною товстою основною лінією.

На планах підлоги вказують елементи будинку (споруди) і пристрої, які впливають на конструкцію підлоги (прорізи воріт і дверей, деформаційні шви, канали, трапи тощо), межі ділянок із відмінною конструкцією підлоги.

Деформаційні шви зображують двома тонкими суцільними лініями, межі ділянок підлоги – пунктирними лініями.

Плани підлоги допускається не виконувати, якщо позначення їх типів наведено в відомості опорядження приміщень. Плани підлоги допускається суміщати з планами поверхів.

До плану підлоги складають експлікацію підлоги.

Приклад виконання плану підлоги показано на рис. 13.8.

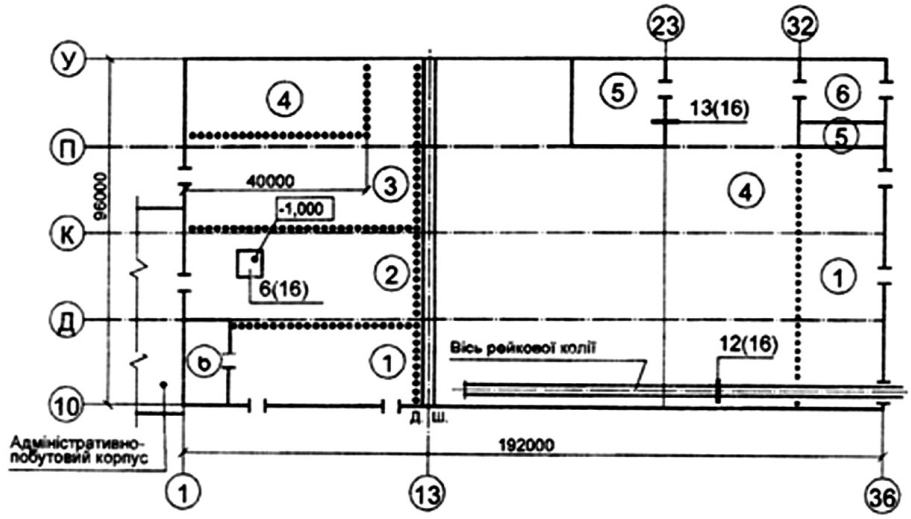


Рис. 13.8. План підлоги

На план покрівлі (даху) наносять:

а) координаційні осі: крайні, біля деформаційних швів, по краях ділянок покрівлі (даху) з різними конструктивними та іншими особливостями з розмірними прив'язками таких ділянок;

б) позначення уклонів покрівлі;

в) відмітки або схематичний поперечний профіль покрівлі;

г) позиції (марки) елементів і пристроїв покрівлі (даху).

На плані покрівлі (даху) вказують деформаційні шви двома тонкими лініями, парапетні плити та інші елементи огорожі покрівлі (даху), воронки, дефлектори, вентиляційні шахти, пожежні сходи.

Наносять такожтакі елементи і пристрої, які вказувати і маркувати на інших кресленнях недоцільно.

Приклад виконання плану покрівлі наведено на рис. 13.9.

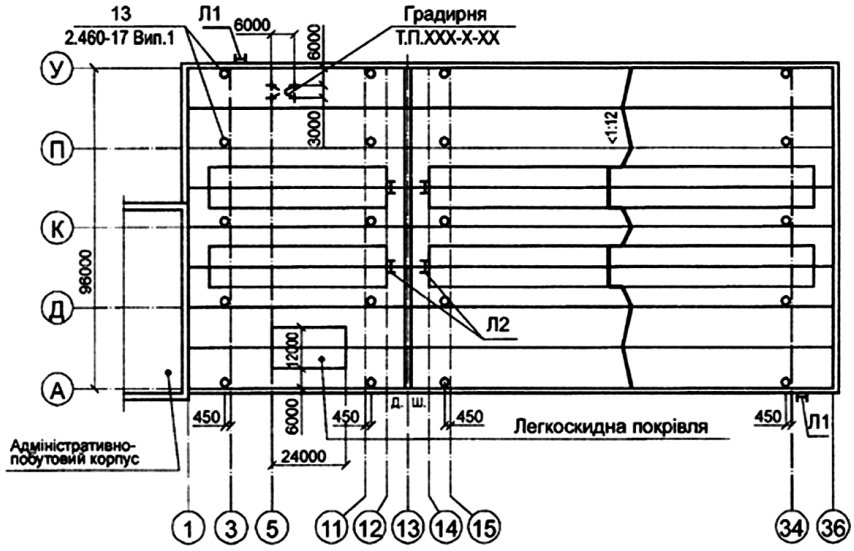


Рис. 13.9. План покрівлі

Схеми розміщення елементів збірних перегородок (крім панельних залізобетонних), заповнення віконних та інших прорізів виконують у вигляді умовних або спрощених графічних зображень елементи конструкцій та їх сполучення. Схему розміщення виконують для кожної групи елементів конструкцій, які зв'язані умовами і послідовністю виконання будівельних робіт.

Допускається схему розміщення елементів збірних перегородок суміщати з планами поверхів.

Приклад виконання схеми розміщення елементів збірних перегородок наведено на рис. 13.10.

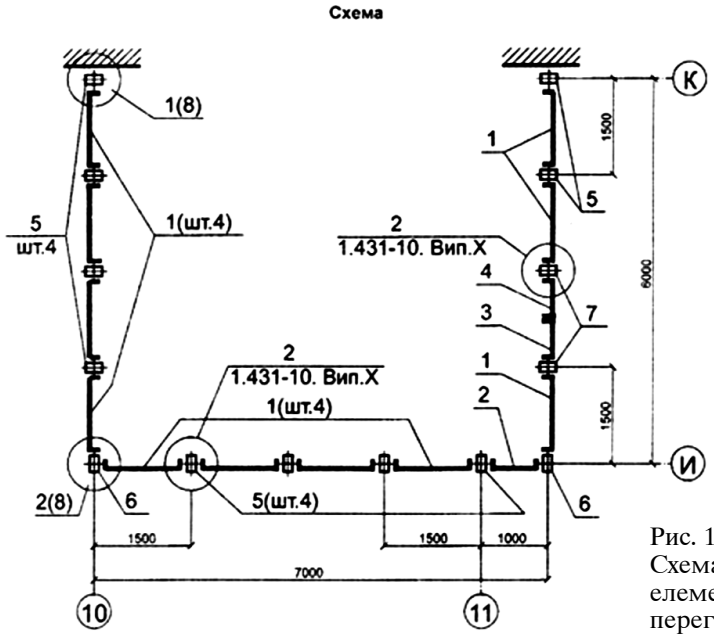


Рис. 13.10. Схема розміщення елементів збірних перегородок

Схему розміщення елементів заповнення віконних прорізів складають на заповнення кожного типу. Суцільне заповнення між двома суміжними координаційними осями вважають як заповнення одного типу. При комплектній поставці панелей із заповненими прорізами схему розміщення елементів заповнення не виконують.

Приклад виконання схеми розміщення елементів заповнення віконних прорізів показано на рис. 13.11.

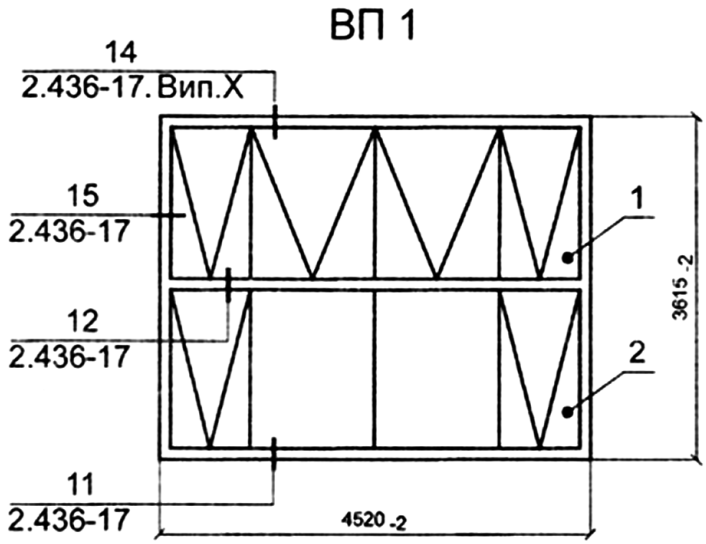


Рис. 13.11. Схема розміщення елементів заповнення віконних прорізів

Паспорт опорядження фасадів включається до складу матеріалів, що додаються до основного комплекту робочих креслень архітектурних.

Приклад оформлення архітектурного креслення наведено на рис. 13.12.

13.3. Основний комплект робочих креслень будівельних конструкцій

Будівельними робочими кресленнями називають креслення, які умовно відображають будівельні конструкції (металеві, залізобетонні, кам'яні, пластмасові тощо), застосовані в будівлі чи споруді та їх взаємне розміщення і сполучення.

До складу комплекту робочих креслень будівельних конструкційвключають:

а) загальні дані по робочих кресленнях;

б) схеми розміщення елементів конструкцій;

в) специфікації до схем розміщення елементів конструкцій.

До складу робочих креслень монолітних залізобетонних конструкцій додатково включають:

а) схеми армування монолітних залізобетонних конструкцій;

б) відомість витрати сталі на монолітні конструкції згідно з формою 5.

У відомість не включають стандартні вироби: дюбелі, болти, шайби тощо.

До складу робочих креслень інших видів конструкцій додатково включають креслення, передбачені відповідними нормативними документами.

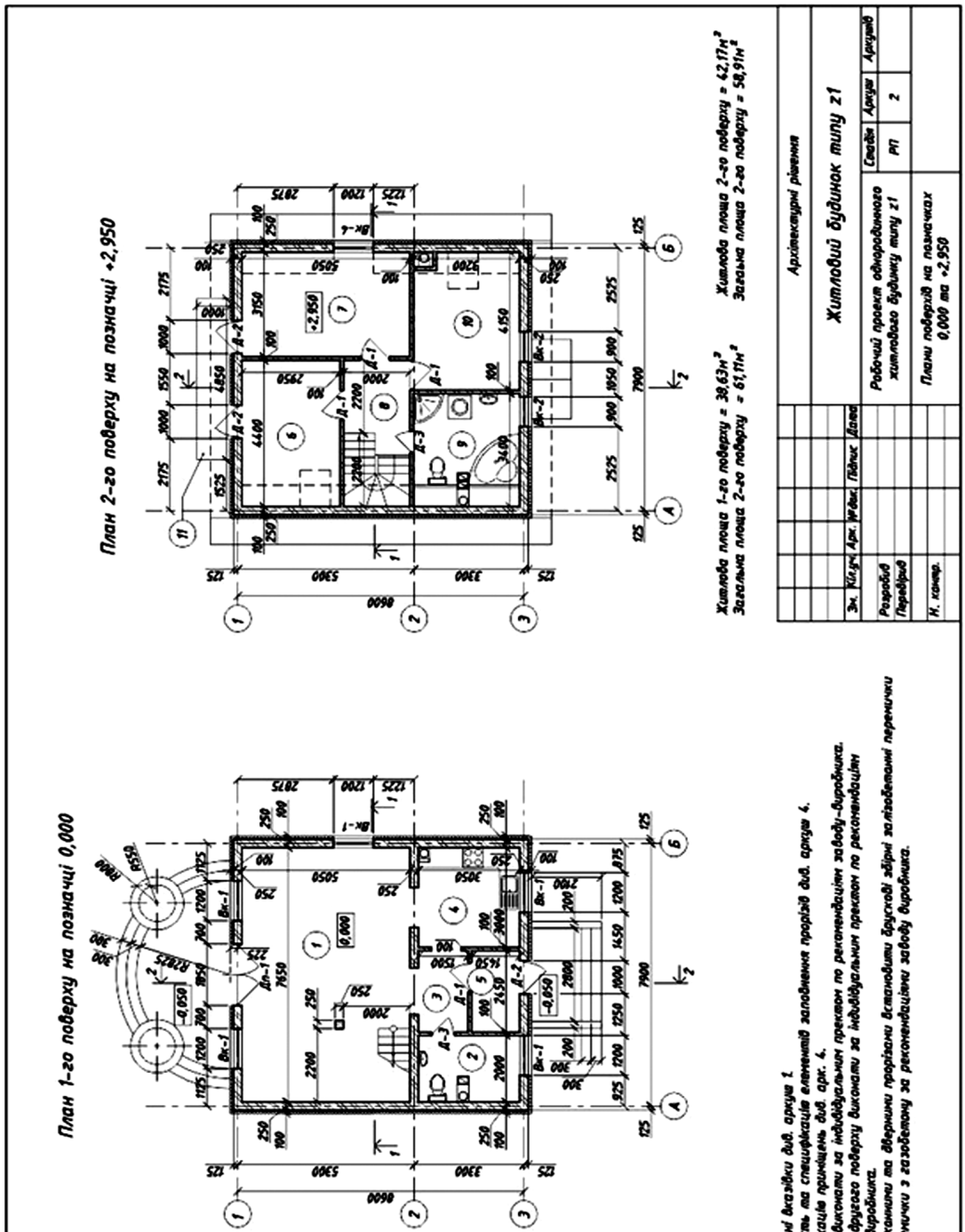


Рис. 13.12. Оформлення архітектурно-будівельного креслення

До складу загальних даних по робочих кресленнях, крім даних, передбачених ДСТУ Б А.2.4-4, включають:

а) дані про навантаження і впливи, прийняті для розрахунку конструкцій будинків або споруд;

б) дані про ґрунти (підвалини), рівень і характер ґрунтових вод, глибину промерзання;

в) вказівки про заходи із улаштування підготовки під фундаменти і про особливі умови виконання робіт;

д) вказівки про заходи при виконанні робіт у зимовий час;

е) перелік актів огляду прихованих робіт.

А. Схеми розміщення елементів конструкцій

На схемі розміщення елементів конструкцій вказують у вигляді умовних або спрощених графічних зображень елементи конструкцій та їх сполучення.

Схему розміщення виконують для кожної групи елементів конструкцій, які зв'язані умовами і послідовністю виконання будівельних робіт: *Схема розміщення елементів фундаментів і фундаментних балок, Схема розміщення блоків стін підвалу (розгортка блочних стін підвалу)* тощо.

Схему розміщення виконують у вигляді планів, фасадів або розрізів відповідних конструкцій зі спрощеним зображенням елементів.

На схему розміщення наносять:

а)координаційні осі будинку (споруди), розміри, які визначають відстань між ними і між крайніми осями, розмірну прив'язку осей або поверхонь елементів конструкцій до координаційних осей будинків (споруд) або, за необхідності, до інших елементів конструкцій, інші необхідні розміри;

б) відмітки найбільш характерних рівнів елементів конструкцій;

в) позиції (марки) елементів конструкцій;

г) познаки вузлів і фрагментів;

д) дані про допустимі монтажні навантаження.

Однакові позиції (марки) послідовно розміщених елементів конструкцій на схемі розміщення допускається наносити тільки по кінцях ряду, вказуючи кількість позицій.

Схему розміщення панелей стін при багатоярусному розміщенні панелей у межах поверху виконують у площині стін на виді, при однорядному розміщенні – у плані.

У найменуванні схем розміщення, за необхідності, наводять дані, які визначають положення конструкції в будинку (споруді). Допускається схемам розміщення надавати порядкові номери: *Схема розміщення елементів перекриття на відм. 7,200 між осями 1-15, В-Г (схема 1).*

На схемі розміщення перемичок виконують відомості перемичок та специфікацією елементів перемичок.

Якщо монолітна залізобетонна конструкція складається із декількох елементів (балок, плит та інше), на кожний із яких виконують окремі схеми армування, то цим елементам надають позиційні позначення або марки.

У технічних вимогах до схеми розміщення, за необхідності, наводять вказівки про порядок монтажу, замонолічування швів, вимоги до монтажних з'єднань.

Робочі креслення арматурних і закладних виробів, розроблених для монолітних залізо-бетонних конструкцій як самостійні документи, до складу основного комплекту робочих креслень не включають, а записують у відомість документів, що додаються і на які роблять посилання, в розділ «Документи, що додаються».

Б. На схему армування монолітної залізобетонної конструкції наносять:

а) координаційні осі будинку (споруди);

б) контури конструкцій – суцільною товстою основною лінією;

в) розміри, які визначають положення арматурних і закладних виробів та товщину захисного шару бетону. Арматурні і закладні вироби на схемі зображають дуже товстою суцільною лінією.

За необхідності на схемі вказують фіксатори для забезпечення проектного положення арматури.На схемі армування використовують такі спрощення:

а) каркаси і сітки зображують контуром;

б) для забезпечення правильної установки в проектне положення несиметричних каркасів і сіток вказують тільки їх характерні особливості (діаметр стержнів, які відрізняються за діаметром, тощо);

в) якщо залізобетонна конструкція має декілька ділянок із рівномірно розміщеними однаковими каркасами або сітками, то їх контури наносять на одній із ділянок, вказуючи номери позицій і в дужках – число виробів цієї позиції. На інших ділянках проставляють тільки позиції і в дужках – число виробів цієї позиції;

г) на ділянках з окремими стрижнями, які розміщені на рівних відстанях, зображують один стрижень із зазначенням на полиці лінії-виноски його позиції, а під полицею лінії-виноски – крок стрижнів.

д) при зображенні каркаса або сітки однакові стрижні, розміщені на рівних відстанях, наносять тільки по кінцях каркаса або сітки, а також у місцях зміни кроку стрижнів. При цьому під полицею лінії-виноски з позначенням позиції стрижня вказують їх крок;

є) у складній схемі армування допускається позиції вказувати в обох кінцях одного і того самого арматурного виробу або окремого стрижня;

ж) розміри гнутих стрижнів вказують на зовнішніх, а хомутів на внутрішніх гранях.

В. Специфікації до схем розміщення елементів конструкцій

Специфікацію до схеми розміщення елементів конструкцій складають згідно ДСТУ Б А.2.4-4.

Специфікацію до схеми розміщення збірних конструкцій заповнюють за розділами:

а) елементи збірних конструкцій;

б) монолітні ділянки;

в) сталеві та інші вироби.

Специфікацію монолітної конструкції, яка складається із декількох елементів, на кожний із яких виконують окрему схему армування, складають за розділами на кожний елемент.

Найменування кожного розділу специфікації монолітної конструкції вказують у вигляді заголовка в графі «Найменування» і підкреслюють. У найменування розділів включають марку елемента і через тире – кількість елементів на монолітну конструкцію, наприклад: Балки Бм 1 – шт.

Кожний розділ специфікації монолітної конструкції складається із таких підрозділів:

а) складальні одиниці;

б) деталі;

в) стандартні вироби;

г) матеріали.

У розділ «Складальні одиниці» записують елементи, що безпосередньо входять у монолітну конструкцію, на яку складають специфікацію в такій послідовності:

а) каркаси просторові;
б) каркаси плоскі;
в) сітки;
г) вироби закладні.

У підрозділ «Матеріали» записують матеріали, що безпосередньо входять у конструкцію, на яку складають специфікацію (наприклад, бетон).

13.4. Робоча документація на будівельні вироби

До складу робочої документації на будівельний виріб у загальному випадку включають специфікацію, складальне креслення, креслення деталей і, за необхідності, технічні умови.

Робочі креслення будівельних виробів виконують згідно з вимогами ГОСТ 2.109, ГОСТ 2.113.

При виконанні групового робочого документа на вироби в одну групу об'єднують вироби одного найменування єдиної конфігурації і які мають загальні конструктивні ознаки.

Змінні розміри, неоднакові для всіх виконань, охоплені одним зображенням, наносять літерними познаками, число яких повинно бути, як правило, не більше трьох.

За необхідності до креслень виробів наводять схему випробувань, схему розрахунку або вказують їх несучу здатність.

На складальному кресленні виробу або на його схематичному зображенні в разі потреби передбачають нанесення монтажних знаків.

А. На складальному кресленні виробу наводять такі технічні вимоги:

а) вимоги до оздоблення поверхні виробу.
б) інші вимоги до якості виробу;
в) посилання на документи, які вміщують технічні вимоги, що поширюються на даний виріб, але не наведені на кресленні.

Якщо виникне потреба у вказівках щодо орієнтації виробу в конструкції, то на кресленні виробу наносять познаку.

У складальні креслення залізобетонних виробів, крім видів, розрізів і перерізів, включають схеми армування. За кресленнями залізобетонних виробів складають відомість витрати сталі.

Специфікації на вироби виконують згідно з вимогами ГОСТ 2.108 і ГОСТ 2.113.

Б. Позначення виробів одночасно є позначенням його специфікації.

У позначення виробу і його специфікації включають позначення відповідного основного комплекту робочих креслень з додаванням до його марки через крапку індексу «В» і через тире – марки виробу або його порядкового (позиційного) номера, наприклад: *845-5-КБ.В-Б1; 845-5-АР.В2.*

Вироби багаторазового використання допускається позначати без прив'язки до об'єкта будівництва і марки основного комплекту робочих креслень. Уданому випадку позначення виробу призначає проектна організація.

У позначення складального креслення виробу включають позначення виробу і код документа, наприклад: *845-5-КБ.В-Б1СБ, 845-5-АР.В2СБ.*

У позначення технічних умов на всю групу виробів включають позначення відповідного основного комплекту робочих креслень з додаванням через крапку індексу «В» і через тире – коду документа: *845-5-КБ.В-ТУ.*

Якщо технічні умови розробляють на однойменну групу виробів, то перед кодом документа додатково вказують (через крапку) марку виробів даної групи: *845-5-КБ.В-Б.ТУ.*

При виконанні групового робочого документа на вироби кожному виконанню присвою-ють самостійне позначення.

У позначення виконання включають загальне позначення виробів, оформлених одним груповим робочим документом, і номер виконавця.

Порядковий номер виконання встановлюють у межах загального позначення, починаючи з 01, і відокремлюють від загального позначення через тире: *845-5-КБ.В-Б2-01, 845-5-КЗ.В2-01.*

Деталям, на які не виконують окремі креслення, позначення не присвоюють.

В. Застосування робочих креслень типових виробів

Якщо згідно з умовами застосування робочих креслень типового виробу в них необхідно внести зміни (наприклад, передбачити установку додаткових закладних виробів, улаштування отворів), то в складі робочої документації будинку (споруди) на цей виріб повинна бути виконана додаткова робоча документація з урахуванням таких вимог:

а) типовий виріб зображають спрощено;

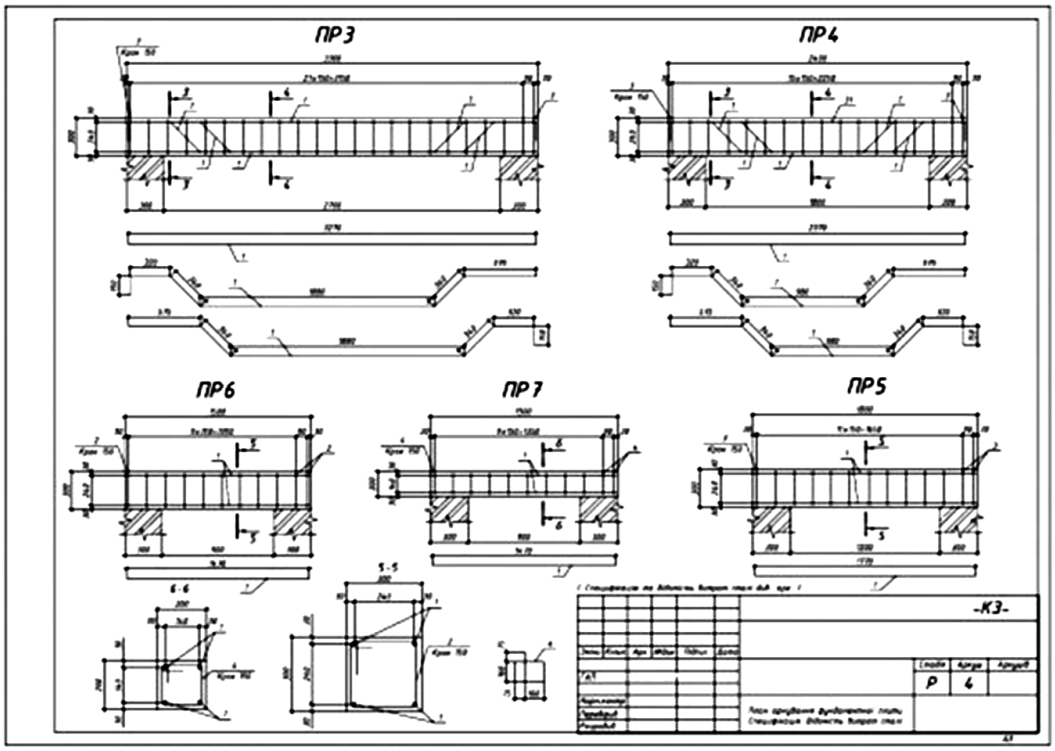


Рис.13.13. Креслення залізобетонної балки

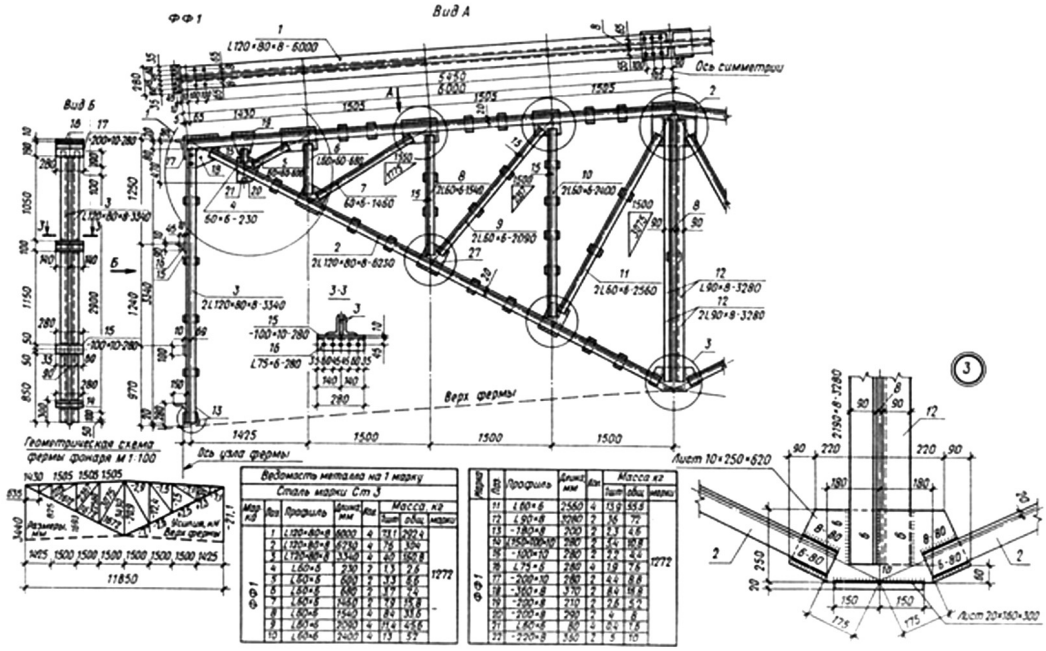


Рис. 13.14. Креслення металевої ферми

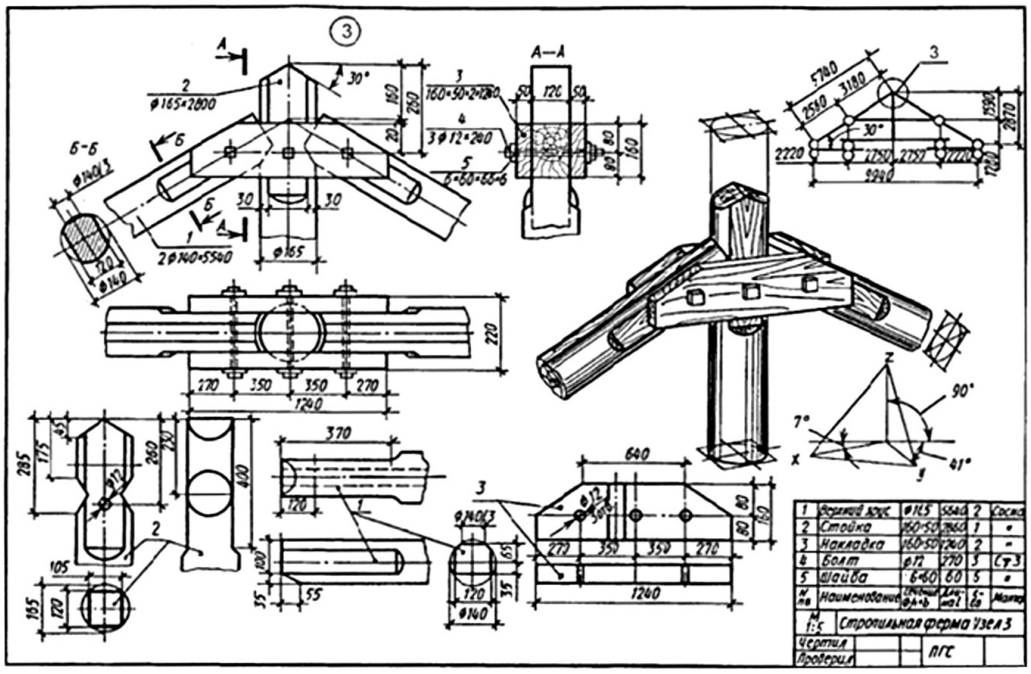


Рис. 13.15. Креслення вузла дерев'яної стропильної ферми

б) на зображенні типового виробу вказують тільки ті елементи і розміри, які відносяться до змін. За необхідності, наносять інші розміри (наприклад, загальну довжину і ширину виробу), наведені в робочих кресленнях типового виробу, котрі позначають знаком «*», а в технічних вимогах на кресленнях вказують «Розміри для довідок»;

в) у специфікацію зміненого виробу записують типовий виріб як складальну одиницю і інші вироби, які встановлені при зміні;

Зміненому виробу присвоюють самостійну марку, в яку входить марка типового виробу і додатковий індекс.

Наведемо приклади креслень окремих видів будівельних конструкцій (рис. 13.13–13.15).

При виконанні архітектурно-будівельних креслень, як розглянутих вище, так і спеціалізованих, які розглядаються у ході вивчення окремих дисциплін (водопостачання, опалювання тощо) доцільно використовувати комп'ютерні програми, такі, як ArchiCAD, AutoCAD і т.д.

Самоконтроль. Які креслення входять до складу будівельних?
Які документи входять до складу робочої документації на будівельні вироби?

13.5. Креслення генеральних планів

А. Загальні відомості та умовні позначення

В процесі проектування будівель, а також плануванняі благоустроюміських територій розробляється різноманітна проектна документація-креслення генеральних планів, вертикального планування, схеми розміщення підземних інженерних та сантехнічних мереж, креслення по озелененню території та мережам вуличного освітлення.

Генеральний план є основним проектним документом, згідно з яким ведеться забудова міських територій та промислових зон. Генеральні плани складають на основі топографічної підоснови та геодезичної зйомки, а також ситуаційних планів, виконаних у масштабі 1:5000, 1:10000. Останніми роками на різних стадіях розробки генеральних планів використовуються космічні знімки, тривимірні моделі та електронні карти (рис.13.16).

Рельєф місцевості зображується на проекціях з числовими позначками горизонталями у абсолютних або відносних позначках, відлік яких ведеться від умовного нуля. До складу основного комплекту робочих креслень генерального плану (маркірується як ГП) входять:

- загальні дані;
- генеральний план, виконаний у одному з масштабів: 1:500, 1:1000,1:5000;
- план інженерних мереж, благоустрою території, земляних мас, виконані у масштабах 1:500, 1:1000;



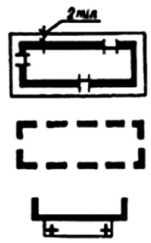
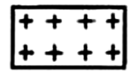
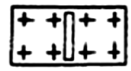
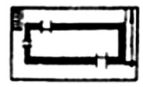
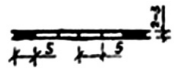
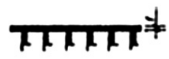
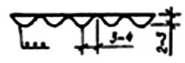
Рис. 13.16. Приклад використання космічних знімків для складання ситуаційного генерального плану

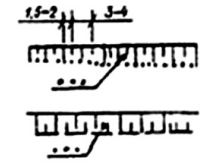
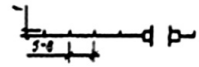
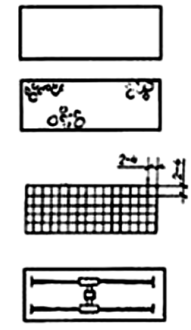
● профілі планування: горизонтальний у масштабі 1:500, 1:1000,1:2000 та вертикальний у масштабі 1:50, 1:100,1:200.

На кресленнях генеральнихпланів умовними позначеннями показують розташуванняіснуючої та запроектованої забудови, доріг, ліній електропередач, інженерних та сантехнічних мереж тощо згідно ДСТУ Б А.2.4-2-95 (таблиця 13.3).

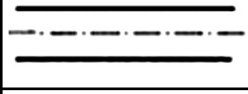
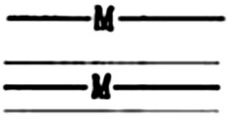
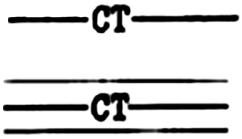
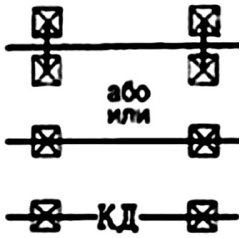
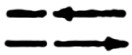
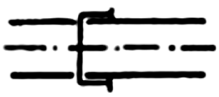
Таблиця 13.3.

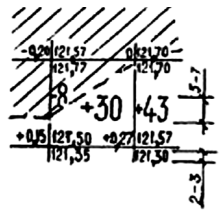
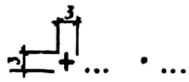
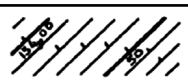
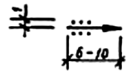
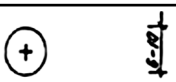
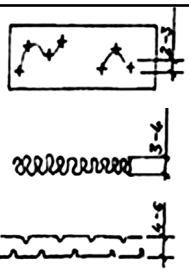
Умовні позначення на кресленнях генеральних планів

Найменування	Позначення і зображення
1. Будинок (споруда): а) наземний; б) підземний: в) нависла частина будинку	
2. Навіс	
3. Проїзд, прохід на рівні першого поверху будинку (споруди)	
4. Перехід (галерея)	
5. Вишка, щогла	
6. Естакада кранова	
7. Висока платформа (рампа) біля будинку (споруди)	
8. Платформа (з пандусом і сходами)	
9. Стінка підпірна	
10 Контрбанкет, контрфорс	
11. Берегоукріплення, яроукріплення *Примітка.* Замість крапок проставляють назву матеріалу укріплення	

Найменування	Позначення і зображення
12. Укіс а) насип б) виїмка *Примітки.* 1. Штриховку укосу при значній довжині показують ділянками. 2. Замість крапок проставляють назву матеріалу укріплення і крутість укосу	
13. Огорожа території з воротами	
14. Майданчик, стежка, тротуар: а) без покриття; б) з булижним покриттям; в) з плитковим покриттям; г) з устаткуванням *Примітки.* 1. У випадку використання інших матеріалів покриттів використовують графічне зображення 14а, доповнюючи його повною або скороченою назвою матеріалу (згідно з 3.1), яке вказують на полиці лінії-виноски. 2. В умовному зображенні 14г для прикладу показано однобалковий мостовий кран на майданчику без покриття	

Продовження табл. 13.3.

Найменування	Позначення і зображення
1. Автомобільна дорога	
2. Путь залізничної колії 1520 мм	
3. Путь залізничної вузької колії	
4. трамвайна колія	
5. Колія метрополітену: а) наземна б) підземна	
6. Колія швидкісного трамваю: а) наземна; б) підземна	
7. Колія підвісної дороги: а) рейкової; б) канатної	
8. Напрямок руху транспорту	
9. Ворота габаритні: а) на автомобільному шляху	
б) на залізничній колії	

Найменування	Позначення і зображення
Елемент плану земляних мас *Примітка.* Знак (+) показує насип, (–) – виїмку	
2. точка перелому і проміжна поздовжнього профілю автомобільних шляхів і водовідвідних споруд	
3. Напрям проектного ухилу рельєфу	
4. Горизонталі проектні	
5. Ухилопокажчик (автомобільних шляхів, водовідвідних споруд та ін.) *Примітка.* Замість крапок у верхній частині проставляють величину ухилу в промілле, в нижній – довжину ділянки в метрах	
6. Точка проектного рельєфу	
1. Дерево	
2. Чагарник: а) звичайний б) такий, що в'ється (ліани) в) живопліт (стрижений)	
3. Квітник	
4. Газон	

Креслення генерального плану забудови може бути ілюміноване фарбами.

Приклад виконання креслення генерального плану Києва наведено на рис. 13.17.



Рис. 13.17. Генеральний план розвитку Києва до 2020 р. (*варіант*)

Б. Окремі види генеральних планів

Генеральний план забудови являє собою план ділянки, на якому показано взаємне розташування будівель, що зводяться, зберігаються або реконструюються (рис. 13.18).

Окрім генерального плану забудови та деяких інших документів, до складу проекту забудови входять також ***креслення і схеми вертикального планування***. Основною задачею вертикального планування є вирівнювання ділянки, що забудовується, длястворення необхідних уклонів проїздів та площадок, а також організації відведення поверхневих вод з території забудови. На плані ділянки чорними горизонталями позначається існуючий рельєф, а червоними горизонталями – рельєф, що проектується.

Для оптимізації будівельно-монтажних робіт розробляється ***проект організації будівництва та виконання будівельно-монтажних робіт***, до складу якого входять:

- календарний план окремих циклів і стадій виконання будівельних робіт;

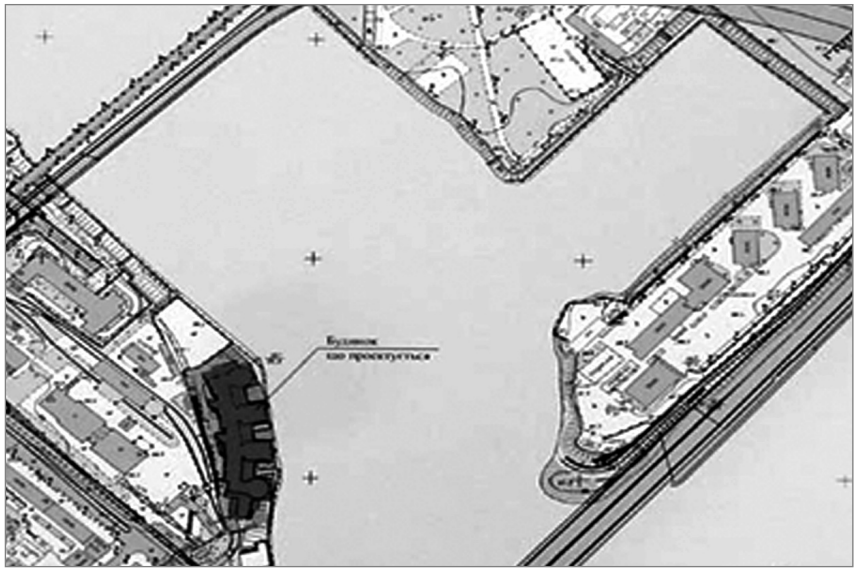


Рис. 13.18. Генеральний план забудови

● графіки доставки на будівельний майданчик збірних конструкцій, будівельних матеріалів та технологічного обладнання;

● будівельний генеральний план;

● схеми і технологічні карти виконання робіт;

● робочі креслення тимчасових споруд, мереж та інших об'єктів, що зводяться на будівельному майданчику тощо.

Будівельний генеральний план (будгенплан) являє собою план будівельного майданчику, на якому показані будівлі, що споруджуються, зберігаються або підлягають знесенню, місця для складування збірних конструкцій та будівельних матеріалів,тимчасові споруди, адміністративні та побутові приміщення, проїзди, мереж водо- та енергопостачання, розташування будівельних механізмів та зони дії підйомного обладнання. Кресленнябудгенпланів виконують у масштабі 1:200 – 1:500.

Приклад креслення будівельного генерального плану наведено на рис. 13.19. Виконуються і інші генеральні плани.

Самоконтроль. Що таке генеральний план? З якою метою він розробляється?
Які документи входять до складу генерального плану?
Що показується на плані забудови?
Що зображується на будівельному генеральному плані?
Що показується на плані благоустрою території? Як позначаються різні види зелених насаджень?

13.6. Креслення інженерних споруд

Креслення інженерних споруд, горизонтальні розміри яких значно перевищують вертикальні, виконуються у проекціях з числовими позначками. До таких споруд відносяться дорожні та гідротехнічні споруди, транспортні розв'язки і магістралі, злітно-посадкові смуги тощо.

Проекти інженерних споруд складають на основі топографічної підоснови та геодезичної зйомки. До складу основного комплекту робочих креслень марки ГТ (генеральний план і транспорт) входять:

● генеральний план;

- горизонтальне планування (виконується у масштабі 1:500, 1:1000);
- повздовжні профілі доріг (горизонтальний у масштабі 1:2000, вертикальний – 1:200);
- поперечні профілі доріг (1:50, 1:100);
- детальні креслення окремих дорожніх пристроїв (1:100, 1:200, 1:500).

На планах зображують полотно дороги з відкосами, штучні споруди (переїзди, шляхопроводи, розв'язки, тощо).

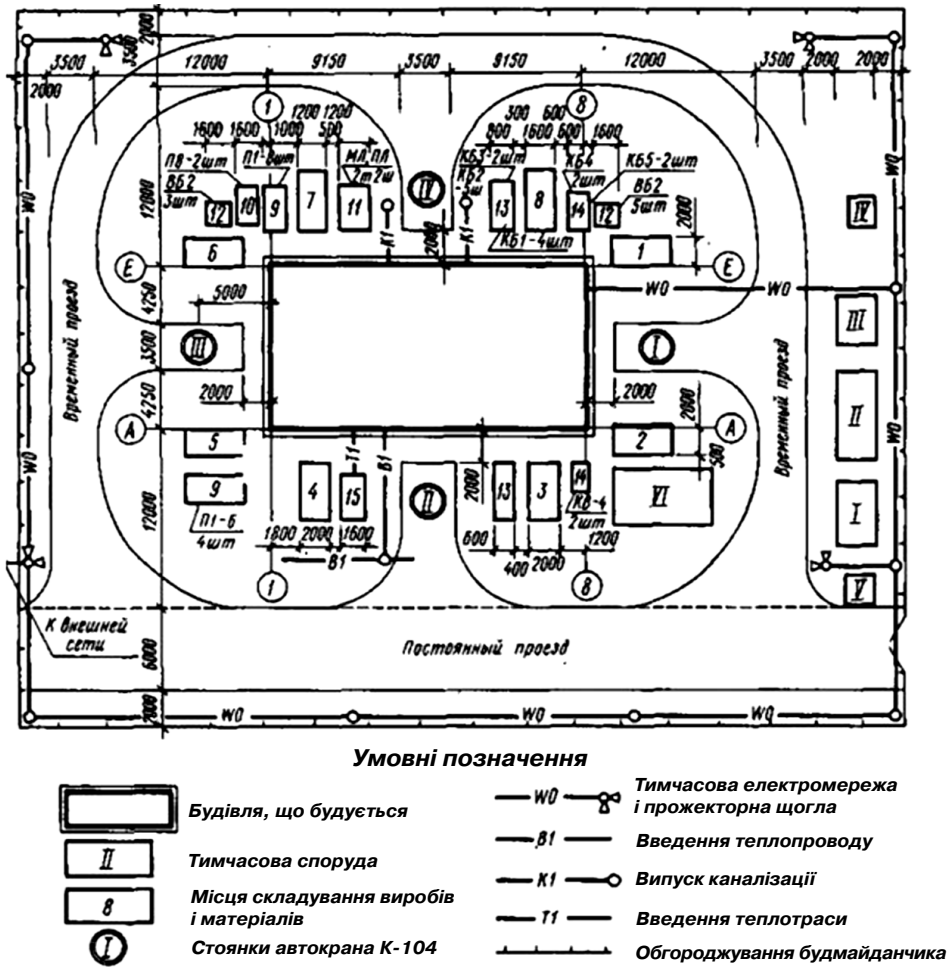


Рис. 13.19. Креслення будівельного генерального плану

Самоконтроль. Які креслення входять до комплекту робочих креслень марки ГТ? Яка проекційна система використовується для виконання таких креслень?

14. КОМП'ЮТЕРНА ГРАФІКА

При взаємодії людини з комп'ютером найскладнішою проблемою є подолання протиріччя між притаманним людині сприйняттям навколишнього світу та притаманним комп'ютеру способом представлення і обробки даних. Вважається, що до 90% інформації людина сприймає за допомогою зору. Відтак, найбільш природнім способом спілкування з комп'ютером є взаємодія на рівні графічних образів.

Виникнення комп'ютерної графіки, як окремого науково-технічного напрямку, якраз і пов'язане з необхідністю організації такого спілкування.

Комп'ютерною графікою *прийнято називати сукупність технічних, математичних, лінгвістичних і програмних засобів, що забезпечують взаємодію користувача і комп'ютера на рівні графічних образів.*

Уявляти сучасний стан, а також тенденції розвитку будь-якої дисципліни легше тоді, коли є уявлення про її історію. Комп'ютерна графіка не є виключенням. Зробити огляд основних етапів її розвитку тим простіше, що це порівняно молодий науково-технічний напрямок, історія якого налічує трохи більше п'ятдесяти років.

14.1. Історія

П'ятдесяті роки XX століття. Усвідомлення недосконалості *інтерфейсу* (засобів взаємодії користувача і електронно-обчислювальних машин) дало поштовх розвитку комп'ютерної графіки із самого початку використання ЕОМ. Але, якщо не згадувати про прості малюнки, які можна було отримувати за допомогою алфавітно-цифрових пристроїв виводу, датою народження комп'ютерної графіки слід вважати 1950 р., коли створена у Массачусетському технологічному інституті (США) ЕОМ Whirlwind була обладнана *дисплеями* на електронно-променевих трубках. Початком теоретичних досліджень вважається дисертаційна робота Сазерленда, в якій було запропоновано певні структури даних для зберігання графічних символів, а також використання клавіатури та світового пера для організації *інтерактивної* (діалогової) взаємодії користувача з комп'ютером. Одним із перших застосувань засобів комп'ютерної графіки стала система протиповітряної оборони SAGE, де були вперше використані дисплейні пульти управління і контролю, де оператор міг *позиціонувати* (вказувати) ціль за допомогою світового пера.

Період п'ятдесятих років слід охарактеризувати як початковий етап формування концепції комп'ютерної графіки, її місця серед інших наукових дисциплін, визначення програмидосліджень.

Шістдесяті-сімдесяті роки характеризуються остаточним формуванням ***парадигми*** (уявлень і методів) комп'ютерної графіки, створенням дослідницької і виробничої інфраструктури, а також розширенням напрямків її застосування.

В ході теоретичних досліджень (перш за все, зусиллями Ньюмена, Спрулла, Гилоя) були розроблені методи комп'ютерного моделювання геометричних об'єктів і основні алгоритми побудови реалістичних зображень. Інтенсивно досліджувалися фізичні та кібернетичні принципи створення обчислювальних пристроїв, засобів зберігання даних, засобів вводу-виводу.

Було налагоджено промислове виробництво ЕОМ різного призначення (від мікро-ЕОМ до суперкомп'ютерів) і периферійних пристроїв. З'явилися кольорові дисплеї та кольорові засоби друку.

Інтенсивно розроблялося програмне забезпечення. Популярні і сьогодні пакети автоматизованого проектування виробів машинобудування, поліграфії та будівництва беруть початок з цих часів.

Значно розширилася область застосування засобів комп'ютерної графіки. Зокрема, з'явилися перші системи автоматизованого проектування (передусім – в автомобільній галузі), та інші проекти, якімали комерційне значення. В Україні перша система автоматизованого проектування (САПР) електронних схем (розробка Київського політехнічного інституту та Науково-дослідного інституту автоматизованих систем управління та планування в будівництві) була продемонстрована в 1969 р.

І все ж теоретичні дослідження випереджали виробничі можливості і впровадження. Це було пов'язано з високою вартістю графічного обладнання, недостатньою обчислювальною потужністю ЕОМ, труднощами в розробці програмного забезпечення і забезпечення його сумісності з обладнанням.Через це, незважаючи на певний ажіотаж, системи комп'ютерної графіки були реально впроваджені лише у великих промислових чи державних організаціях.

Вісімдесяті-дев'яності роки можна назвати епохою зменшення вартості та «популяризації» ЕОМ, основним наслідком чого стала поява персональних комп'ютерів. Починаючи від перших Макінтошей та IBM PC (були й інші системи), вони стають справді масовими; світове виробництво в кінці періоду сягає 90 млн. штук. Відповідно, масовими стають і засоби комп'ютерної графіки. Етапною виявилася розробка графічних інтерфейсів (GUI) операційних систем (ОС), які, починаючи з 1995 р. (вихід Windows 95) набули звичайного нам вигляду, без якого неможливо уявити сучасний персональний комп'ютер. Ще однією важливою віхою стало створення комп'ютерних мереж, як локальних, так і всесвітнього Інтернету.

Наукові дослідження в основному групувалися навколо розробки технічних пристроїв, здатних в якомога більш повному обсязі реалізувати вироблені на попередньому етапі концепції. Пріоритетними стали питання організації масового виробництва комп'ютерів за передовими технологіями.

Спектр впровадження систем комп'ютерної графіки значно розширився і диференціювався, набуваючи сучасного вигляду. Основними нововведеннями стали інтенсивна розробка технологій візуального програмування, а також засобів розваг (ігри, обробка фото- і відеоматеріалів). Відзначимо також впровадження різного роду експертних систем та баз даних, у тому числі і архітектурно-будівельного призначення.

В цілому цей період можна охарактеризувати як стадію екстенсивного, хоча й швидкого, розвитку, час реалізації та удосконалення вироблених на попередньому етапі ідей.

Сьогодення. Період екстенсивного розвитку завершився кризою 2002 р., першою в історії комп'ютерної індустрії. Як галузь в цілому, так і комп'ютерна графіка зокрема шукають нових можливостей для якісного стрибка уперед.

Одним із напрямів удосконалення стало підвищення уваги до реалістичності зображень, вираженням чого стали не тільки нові можливості відеосистем та програмного забезпечення, але й поступове впровадження альтернативних технологій – голограм, тривимірних дисплеїв, криволінійної перспективи (О. Ю. Ніцин). А використання спеціальних окулярів, програм та пристроїв для створення стереоскопічних зображень вже набуло статусу масової технології (відеокарти і драйвери ATI, монітори Samsung).

У кінці XX сторіччя вийшли із стадії експериментів і були практично впроваджені технології створення віртуальної реальності (Д. Альяксеу, Г. Ахтен, Д. Донат). Попри високу вартість віртуальних лабораторій, слід вважати цю технологію перспективною для удосконалення проектування.

Ще одним напрямком, який має відношення передусім до збору передпроектної інформації, а також моделювання оточуючого середовища, стали геоінформаційні системи (GIS), які включають не тільки електронні карти, але й електронні моделі міст, статистичні дані, екологічну ситуацію, транспортні та інженерні мережі і т.д. Окрім самого факту наявності таких систем, велике значення має їх доступність – можливість завантаження даних з Інтернету безпосередньо у робоче середовище проектувальника.

14.2. Технічні засоби

Прогрес технічних засобів у значній мірі визначає розвиток комп'ютерної графіки в цілому. Тому знання можливостей сучасної техніки важливо для розуміння як геометричних моделей, так і способів формування реалістичних зображень. Програмні засоби комп'ютерної графіки також мають чіткі вимоги до апаратної частини.

Сукупність технічних засобів комп'ютерної графіки є досить широкою. Тому обмежимось розглядом лише тих, які притаманні персональним комп'ютерам і робочим станціям (рис. 14.1).

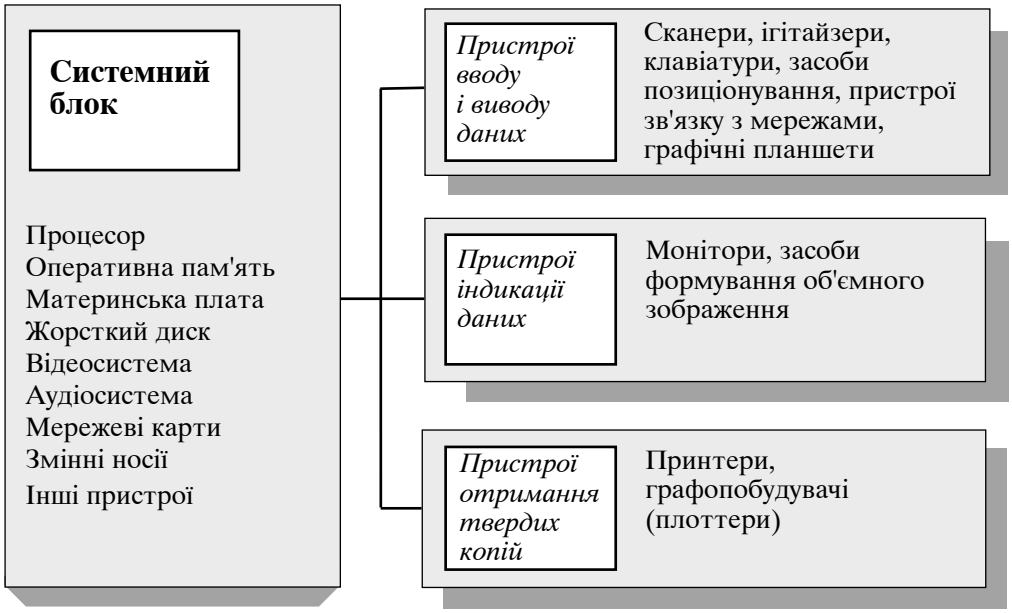


Рис. 14.1. Основні технічні засоби персональних комп'ютерів та робочих станцій

Системні блоки сучасних робочих станцій та персональних комп'ютерів. Пристрої системних блоків виконують необхідні перетворення і розрахунки на всіх стадіях обробки графічної інформації і забезпечують координацію периферійних пристроїв. Бажаною умовою є *реальність часу* – користувач не повинен довго чекати, поки з'являться результати. Відтак, технічні вимоги є досить високими.

Процесори. Для виконання простих чи середньої складності робіт використовуються *робочі станції* або *персональні комп'ютери* на основі 64-розрядних процесорів CISC-архітектури. Найчастіше використовуються процесори 4-х ядерні процесори фірми Intel або AMD. Випускаютьсятакож процесори з 6 та 8 ядрами. Характеристики нових (на момент написання підручника) процесорів високого рівня продуктивності представлені у таблицях 14.1 і 14.2 відповідно.

Таблиця 14.1

Технічні характеристики процесорів Intel

Назва	Core i7-2600K	Core i5-2500K
Архітектура	Sandy Bridge	Sandy Bridge
Технічний процес, нм	32	32
Кількість ядер/потоків	4/8	4/4
Стандартна/максимальна частоти ядер, МГц	3400/3800	3300/3700
Кеш L3, Мб	8	6
Підтримка Hyper-Threading	Так	Так
Підтримка Turbo Boost	Так	Так
Тепловиделення, Вт	95	95

Застосування технології Hiper-Threading дозволяє операційний системі сприймати один процесор як два окремих, що може бути використане для розпаралеювання обчислень у спеціально адаптованих програмах, що приводить до значного зростання продуктивності. Якщо ж програми не є спеціально адаптованими, то технологія TurboBoost дозволяє при простої одного чи кількох ядер підвищувати тактову частоту робочого ядра, що підвищує його продуктивність. Процесори підтримують набори графічних команд MMX (для цілих чисел) та SSE (для чисел з плаваючою комою), що дозволяє значно прискорити обчислення, за умови відповідним чином пристосованого програмного забезпечення.

Таблиця 14.2

Технічні характеристики процесорів AMD

Назва	Phenom II X4 955BE	Phenom II X3 720BE
Архітектура	Deneb	Heka
Технічний процес, нм	45	
Кількість ядер	4	3
Частота ядер, МГц	3200	2800
Кеш L3, Кб	6144	
Тепловиділення, Вт	125	73

Процесори Phenom II на даний момент свого розвитку поступаються процесорам Core i7 у більшості тестів продуктивності. Проте вони є значно дешевшими і також є сумісними з основними графічними редакторами.

Інші фірми, що виробляють процесори для настільних систем і робочих станцій (VIA, Transmeta, IBM), мають значно менші ринкові долі.

Об'єм оперативної пам'яті сучасних високопродуктивних ПК і робочих станцій починається для 32-хразрядних версій операційних систем обмежений 4 Гб; для 64-разрядних може мати значно більший обсяг. Використовується два типи пам'яті – DDR2 DRAM (найбільш розповсюджений) і DDR3 DRAM (для нових процесорів). Інші специфікації пам'яті не дістали широкого поширення.

Материнські плати, окремі для процесорів Intel і AMD, виготовляються приблизно 14-15 крупними і кількома десятками невеликих фірм.

Жорсткі диски. Ємність сучасного жорсткого диску для ПК верхнього рівня і робочих станцій починається сягає 1-2Тб. Швидкість обертання дисків – 7200 (5400 у «екологічних» серіях) об/хв., розмір кешу 32 або 64 Мб, щільність запису – до 750Гб на пластину. Застосовується технологія «перпендикулярного запису». Для обміну даними використовуються, як правило, інтерфейс SATA 2.0 і починає впроваджуватися SATA 3.0, продуктивність і зручність реалізації якого кращі. Досить поширеними є структуриіз кількох жорстких дисків. Основні фірми, що випускають жорсткі диски – Maxtor, Seagate, WesternDigital, Hitachi, Samsung.

Перспективною альтернативою жорсткого диску є твердотільні накопичувачі на основі flash-пам'яті типу SSD, які дозволяють приблизно вдвічі збільшити продуктивність дискової підсистеми, але поки що є занадто дорогими і мають меншу ємність, ніж традиційні.

В якості ***змінних носіїв*** використовуються DVD- та BlueRay-диски різних форматів, а також flash-пам'ять.

Не зупиняючись на характеристиках аудіосистеми та інших пристроїв, таких, як модеми або мережеві карти, докладніше охарактеризуємо відеосистеми сучасних ПК.

Відеосистема має бути досить потужною, оскільки повинна забезпечувати якісну обробку як 2D (двовимірної), так і 3D (тривимірної) графіки з високими частотами і високою роздільною здатністю. При цьому, якщо застосування ПК обмежується офісними програмами, цілком можливим є використання *інтегрованих рішень*, коли до центрального процесора долучається графічне ядро (такі рішення випускають фірми Intel, nVidia та ATI/AMD), а частина оперативної пам'яті використовується під графічні потреби.

Для ігрових систем, а також комп'ютерної графіки, пов'язаної з обробкою креслень чи поліграфічних документів, таке рішення неприйнятне. Необхідним є використання спеціальних відеопроцесорів, в тому числі професійних. Умовою причислення відеопроцесора до розряду професійних є його здатність підтримувати в повному обсязі інтерфейс Open GL, розроблений фірмою SiliconGraphics.

Більш масовий інтерфейс DirectX фірми Microsoft лише частково сумісний з Open GL, тому порівнювати продуктивність професійних відеопроцесорів, орієнтованих на Open GL, та масових відеопроцесорів, орієнтованих на DirectX, некоректно.

Як бачимо, в обох випадках якість процесора, окрім продуктивності, визначається повнотою підтримки графічного інтерфейсу. Після фактичної монополізації ринка настільних операційних систем корпорацією Microsoft, знаряддям конкурентної боротьби масових процесорів є підтримка можливостей чергової – 11-ї версії DirectX.

Для того, щоб зрозуміти, якими технічними параметрами визначаються найбільш продуктивні сучасні відеопроцесори (одноядерні), наведемо їх технічні характеристики в табл. 14.3.

Таблиця 14.3.

Технічні дані сучасних відеопроцесорів

Характеристики/Фірма	**ATI/AMD**		**nVidia**	
Модель	Radeon HD 6970	Radeon HD 6870	GeForce GTX 580	GeForce GTX 570
Графічний чіп	Cayman XT	Barts XT	GF110	GF110
Технічний процес, нм	40	40	40	40
Функціональні блоки ядра, шт.	1536SP/96TMU/32 ROP	960 SP/48 TMU/32 ROP	512 SP/64TMU /48 ROP	480 SP/60TMU /40 ROP
Розрядність шини пам'яті	256	256	384	320
Частоти ядра/пам'яті, МГц	880/5500	900/4200	772/4008	732/3800
Обсяг і тип пам'яті	GDDR 5	GDDR 5	GDDR 5	GDDR 5
Shader Model	5.0		4.0	
Версія DirectX	11.0		10.0	

Але тенденція до збільшення кількості ядер присутня і у відеопроцесорів. Відзначимо також, що за своєю продуктивністю вони перевищують центральні процесори, проте, на відміну від останніх, є вузькоспеціалізованими пристроями, використання яких для розв'язання «звичайних» задач є дуже обмеженим и можливим завдяки певним програмним технологіям. За даними тестування, найбільш продуктивним відеопроцесором на момент написання підручника є nVidia GeForce GTX580.

Обидві фірми мають по кілька версій процесорів, призначених для різних сегментів ринку, в тому числі професійного; крім того, випускаються більш старі версії.

Пристрої вводу і виводу даних. Немає сенсу розглядати призначення та конструктивні принципи таких пристроїв, як мишки, джойстики, клавіатури, оскільки вони загальновідомі. Зупинимось на дигитайзерах, графічних планшетах та сканерах.

Метою обробки креслень, фотографій, тощо, на стадії введення є надання їм цифрової форми, яка є прийнятною для ЕОМ.

Дигитайзери забезпечують оцифровку (інколи апроксимацію) окремих ліній креслення. Переміщення світлочутливого елементу виконується автоматично або вручну і, інколи, в напівавтоматичному режимі. Розмір робочого поля може бути досить великим, наприклад, 1100*1500 мм для дігітайзерів DrawingBoard фірми Calcomp. Ціна таких пристроїв є досить високою – кілька тисяч доларів.

Графічні планшети являють собою пристрої, які дозволяють оцифровувати і вводити в комп'ютер рисунки, виконані спеціальною ручкою на планшеті. При цьому підтримуються лінії різної товщини і різного стилю. Розміри планшетів порівняно невеликі, до А4. Професійні планшети випускаються фірмою Vacom, їх ціна сягає кількох сотень доларів.

Оцифровування всієї площі документу виконується за допомогою *сканерів*. Практично всі сучасні сканери забезпечують можливість передачі кольору, що є дуже цінною властивістю для поліграфії. Багато моделей мають окремі модулі, метою яких є сканування фотоплівок. Сканери суттєво відрізняються за розмірами, типами світлочутливих елементів, роздільною здатністю, якістю оцифровки і передачі кольору, швидкодією. Остання багато в чому залежить від

інтерфейсу обміну даними з ПК; найбільш поширеним на сьогоднішній день є інтерфейс USB-2. Сканери випускаються багатьма фірмами, зокрема, HP, Mustec, Umax, Epson.

Зазначимо, що ціна «домашніх» пристроїв (в межах кількох десятків доларів) десь на два порядки менша, ніж ціна професійних. На сьогодні практично всі сучасні моделі «домашніх» сканерів забезпечують високу якість обробки зображень і текстових документів.

Пристрої індикації даних. Пристрої поточного обміну забезпечують «спілкування на рівні графічних образів», а також слугують для введення команд, цифрових і інших даних в процесі *інтерактивної* (діалогової в режимі реального часу) взаємодії користувача з ЕОМ. При цьому для вибору команд чи інших даних використовуються пристрої позиціонування.

Найважливішим пристроєм цієї групи є *монітор*. Найчастіше використовуються монітори на основі рідких кристалів (LCD) та електронно-променевих трубок (CRT).

До переваг LCD-моніторів відносяться: низький рівень випромінювання і енерговитрат, висока якість статичного зображення, відсутність проблем недостатнього фокусування. Проте їх використання обмежено через відсутність можливості зміни роздільної здатності, неточність передачі кольору і недостатню динаміку зміни зображення. Перша з цих якостей є суттєвою для проектних робіт, друга – для поліграфії, третя дещо обмежує використання для перегляду фільмів та проходження деяких ігор. Слід зазначити також, що більш висока, ніж для електронно-променевих моніторів, яскравість зображення при роботі на протязі довгого часу теж стає недоліком. Фірмами, які випускають такі монітори (зокрема, Dell, Iyama, NEC, Philips, Sony, Samsung, LG) ведуться інтенсивні роботи по усуненню цих недоліків.

Наведемо для прикладу, характеристики професійного монітору DellUltraSharp (табл. 14.4).

Таблиця 14.4

Характеристики сучасного професійного LCD-монітора

Монітор	**UltraSharp U2410**
Діагональ, дюйми	24
Роздільна здатність	1920*1200
Тип матриці	H-IPS
Співвідношення сторін	16:10
Яскравість, Кд/м2	400
Контрасність	1000:1
Кути огляду (по вертикалі/горизонталі)	178/178°
Інтерфейси	DVI, VGA, HDMI, Display Port, Composite, Component, USB

CRT-монітори зараз використовуються у двох областях: як найбільш дешеві монітори «аматорського класу», або як найбільш коштовні професійні монітори для робіт, де критичною є кольоропередача. Якщо монітор використовується для роботи з кольором, він повинен мати спеціальне вимірювальне обладнання і пристрої, що підтримують його колористичні характеристики на протязі довгого часу незмінними. Взагалі, проблема вірної передачі кольору є досить складною – здатність людського ока сприймати колір при різному освітленні принципово відрізняється від фізичних характеристик засобів його передачі; крім того, існують різні колористичні шкали для різних приладів. Наприклад, для моніторів – RGB, побудована на червоному, зеленому та синьому кольорах, для принтерів – CMYK, побудована на блакитному, пурпуровому, жовтому та чорному кольорах і т. д. Є багато інших складових. Для вирішення проблеми застосовуються складні апаратні та програмні засоби, які описані у спеціальній літературі.

Пристрої отримання твердих копій. Інколи геометричні дані направляються безпосередньо до верстатів з числовим програмним управлінням; в інших випадках необхідно отримувати креслення, малюнки чи фотографії на паперовому носії. Для цього використовуються *принтери* та *плоттери*; перші для друку документів порівняно невеликого формату, другі – для великоформатних креслень.

Серед трьох основних типів принтерів матричні (OKI, Epson) використовуються для друку текстових документів, струменеві (Canon, HP, Epson, Lexmark) – для кольорового друку документів і фотографій в невеликому об'ємі в умовах малого офісу і лазерні (HP, Xerox, Lexmark, Canon, Samsung, Brother, Kyocera), а почасти, й сублімаційні, і світло-діодні (OKI) – для чорно-білого і кольорового друку в поліграфічній галузі, тобто там, де потрібні великі об'єми друку і можливість тривалого зберігання відбитків. Ціна професійних кольорових лазерних принтерів сягає високого рівня. Недоліком лазерного кольорового друку є порівняно невисока швидкість і гірша, в порівнянні із струменевими принтерами, якість передачі кольору; перевагою – значно менша вартість відбитку.

Розміри, продуктивність, інші технічні характеристики плоттерів (ENCAD, HP, Epson, Mutoh) є дуже різними, проте конструктивно вони відносяться до двох класів: планшетних, коли пишучий елемент переміщується відносно аркушу, і барабанних, коли аркуш переміщується відносно пишучого елементу. Перевагою другого типу є можливість викреслювати необмежені в одному з напрямів зображення. Дуже відрізняються і ціни; найдорожчі, виготовлені за спеціальними замовленнями, плоттери коштують десятки тисяч доларів.

Перспективи. Можна прогнозувати, що певний час як набір пристроїв, так і темпи їх розвитку (найбільші – для відеопроцесорів та жорстких дисків, найнижчі – для принтерів і плоттерів) будуть зберігатись. Але поступово існуючі технології досягнуть своїх фізичних меж. Тож через кілька років ми станемо свідками появи принципово інших процесорів (можливо, молекулярних?), інших носіїв даних (SSD великого об'єму) та інших засобів індикації (відомі ідеї створення об'ємного зображення за допомогою електромеханічних, голографічних або багатошарових пристроїв можуть набути нової технічної реалізації). Ці принципи зараз активно розробляються. Не виключеним є розвиток зовсім інших, ще невідомих технологій.

14.3. Математичні моделі

В комп'ютерній графіці математичне моделювання здійснюється або для безпосереднього виводу зображення на екран монітора чи пристрій друку, або в ході конструювання об'єкта (що також супроводжується візуалізацією). Задачами геометричного конструювання опікується окрема дисципліна – ***обчислювальна геометрія***, якій буде присвячено розділ 15. Зараз же зупинимося на задачах першої групи.

Організація графічних даних. Різноманітність об'єктів моделювання обумовлює наявність різних за складністю моделей. Прості лінії або поверхні припускають відносно просте їх моделювання як об'єктів визначеної форми, розміри та інші характеристики яких задаються окремими *параметрами*. Такі об'єкти називаються *примітивами*. Для конструкцій, будинків, ансамблів цього недостатньо – потрібна ще й модель їх структури, як сукупності зв'язків окремих примітивів. Тому розрізнюють два етапи: моделювання простих об'єктів і моделювання структур, відповідно повинні бути організовані й дані. З іншого боку, на організацію даних впливає необхідність їх реалізації у вигляді графічних мов, а також – опосередковано – і прив'язка до можливостей технічних пристроїв.

Моделювання простих об'єктів. Основним способом представлення простих об'єктів є *параметричний метод*. Він реалізований у графічних редакторах ArchiCAD, AutoCAD, Chief Architect, Arcon, Allplan, Revit, 3D Studio Max та інших, а також підтримується у програмах візуалізації, наприклад, Artlantis або Vray. Для прикладу розглянемо параметричну модель простої стіни, показану на рис. 14.2.

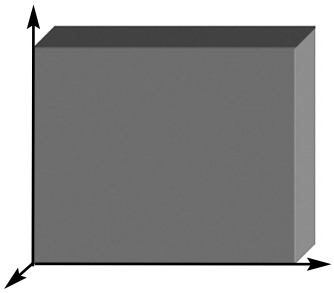


Рис.14.2. Модель стіни

Геометричними параметрами є: довжина, висота і товщина стіни, як відповідні значення декартових координат восьми вузлових точок об'єкту; при цьому товщина може змінюватись по висоті чи довжині, що описується додатковими параметрами. Так само додаткові параметри визначають, буде стіна прямою чи похилою, а також чи буде її довжина однаковою зверху і знизу.

Друга група характеристик визначає колір стіни. Слід розрізнювати колір на кресленнях розрізів, який відповідає умовному позначенню матеріалу (штриховці), а також на кресленнях фасадів та у тривимірних зображеннях. У цих випадках може бути використаний або простий колір, або ***текстура*** (карта, матеріал) – спеціальне покриття, яке імітує фактуру природного матеріалу і створюється на основі фотографій матеріалів або спеціальних методів моделювання. Різні поверхні стіни можуть мати різні кольори. Усі ці нюанси задаються окремими параметрами.

Третя група характеристик визначає спосіб відображення стіни на екрані і на кресленні. Це, наприклад, товщина і тип лінії, якою обводиться контур, її колір, яскравість кольору і т. п. Всі вони також задаються окремими параметрами.

Деякі графічні редактори підтримують більш гнучку модель, яка припускає введення додаткових вузлових точок, зріз або округлення кутів за бажанням користувача.

Отримані таким чином моделі примітивів можна переміщувати, обертати на певний кут, робити дзеркальні відображення, копіювати і використовувати як елементи масивів.

Другим розповсюдженим методом створення геометричних форм є *реалізація алгебро-логічних (булевих) операцій* – об'єднання, перетину, додавання, вичитання тощо двох або кількох примітивів.

Третім способом геометричного моделювання, який підтримується графічним редактором 3D Studio Max, є *використання геометричних перетворень вихідного об'єкту* – його скрут, вигинання, просторову деформацію тощо. Такому перетворенню можуть підлягати як об'єкти у цілому, так і окремі їх елементи – вузли, клітинки, поверхні.

Цей же редактор підтримує четвертий спосіб геометричного моделювання – *формування об'єктів на основі переміщення плоских чи просторових кривих.* Наприклад, контур вази може бути отриманий шляхом обертання твірної характерної форми навколо вісі симетрії.

У 3D Studio Max є й п'ятий спосіб геометричного моделювання – *динамічні деформації, що імітують реальні фізичні процеси.* Наприклад, складки штор чи ламбрекенів можна отримати, моделюючи переміщення зразка матерії, закріпленої у окремих точках, під впливом сили тяжіння.

Моделювання складних об'єктів. Структура, найчастіше, задається у вигляді ***графу***, *вершини* якого відповідають структурним одиницям, а *ребра* – відношенням належності або іншим операціям. Так, на рис. 14.3 лінії показують належність поверхівтастін. Деталізація графів, в залежності від цілей, може бути різною. Її межею є зведення складного об'єкту до базових елементів (примітивів).

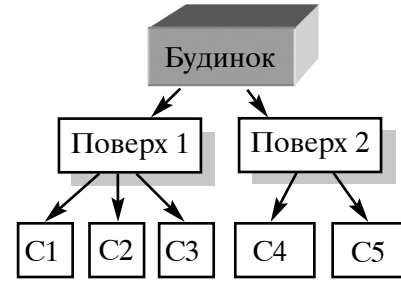


Рис. 14.3. Приклад моделювання структури об'єкту

Модель об'єкту М складається з сукупності моделей базових елементів M^i_j, теоретико-множинних, логічних та алгебраїчних операцій O^i_j, параметрів систем координат C^i і їх перетворень:

$$M=\{\{C^i,\ \{M^i_j O^i_j\}\},$$

де індекси *i* і *j* позначають номери поточних рівнів структури і примітивів.

В залежності від складу операцій O^i_j, модель відноситься до одного з двох основних типів:

- *алгебро-логічного*, якщо об'єднання базових елементів забезпечується за рахунок теоретико-множинних і логічних операцій;
- *кусково-аналітичного*, якщо для об'єднання використовуються спільні крайові умови.

Існує можливість зведення логічних операцій до алгебраїчних за допомогою так званих R-функцій; тоді утворюється чисто аналітична модель, що дає багато переваг. На жаль, широкому застосуванню *R-функцій* заважає один недолік – складні результуючі рівняння.

В свою чергу, моделі базових елементів можуть бути аналітичними, каркасними (неперервними або дискретними – сітчастими, точковими), тощо.

Графічні файли. Серед графічних даних розрізнюють: графічні файли, бібліотеки графічних елементів, графічні документи.

Структура графічних файлів визначається системою команд графічного пристрою; відповідно, розрізнюють системи команд дисплею та плоттера. При цьому представлення даних обмежено форматом команд процесору графічного пристрою, а їх точність – особливостями конструкції пристрою (роздільною здатністю, розрядністю кольору, кроком).

Таким чином, представлення графічних даних в базі даних і при виводі зображення відрізняються. Для забезпечення незалежності даних від особливості конкретних пристроїв вводиться ще один логічний рівень – віртуальних графічних пристроїв – де дані представлені у вигляди певної множини примітивів та їх атрибутів. Для підключення графічних пристроїв розробляються спеціальні програми – драйвери. В ОС Windows включені драйвери багатьох пристроїв.

Розрізнюють логічний і фізичний рівні опису даних.

Логічний опис вказує, в якому вигляді дані представляються для користувача (наприклад, масив координат точок).

Фізичний опис визначає спосіб зберігання даних на їх носіях (наприклад, адреса и об'єм файлу на жорсткому диску).

Структура об'єкту відбивається у структурі даних. При цьому виділяються:

- поля даних (найменші одиниці даних із фіксованою кількістю байтів;
- сегменти (сукупності примітивів)
- файли (логічно завершені сукупності полів та сегментів);

В базі даних об'єднуються окремі файли і відношення між ними.

Відношення між елементами задаються укажчиками; найчастіше графічна інформація задається у вигляді списків.

Системи команд плоттерів включають: завдання режиму роботи, вибір пишучого елемента, управління переміщенням пишучого пристрою.

Завдання режиму роботи визначає роботу пристрою в абсолютній або відносній системі координат і можуть включати команди в елементарних кроках пишучого елемента.

Команди вибору пишучого елемент визначають (калібрують) цей пристрій в залежності від кольору і товщини лінії, а також встановлюють його в робоче або неробоче положення.

Команди управління переміщенням пишучого пристрою включають інтерполяційні команди, що визначають рух пристрою по прямій лінії або колу, а також установлюють тип ліній (неперервний, пунктирний, тощо).

Крім того, є окрема група команд креслення символів та команда закінчення роботи.

Системи команд дисплеїв залежать від способу представлення зображення – векторного або растрового (точкового). Їх можна розділити на три групи: формування примітивів, активація засобів вводу інформації, генерація дисплейного файлу.

Формування примітивів включає вивід променю в задану точку, його переміщення, побудову векторів, побудову дуг і кіл для різних варіантів завдання вихідних даних.

Активізація засобів вводу включає команди клавіатури і пристроїв позиціонування.

Генерація дисплейного файлу, тобто програми із команд графічного процесора, метою якої є формування зображення на екрані, включає команди початку і кінця запису, впорядковану множину команд генерації зображення, множину ідентифікаторів графічних об'єктів, множину укажчиків, що ув'язують ідентифікатори із окремими сегментами і примітивами, набір сегментів для зображення символів. За способами організації розрізнюють сегментовані та структуровані дисплейні файли.

Графічні метафайли являють собою проміжну форму зберігання даних у вигляді програм, які є логічно завершеними описами графічного об'єкта. Метафайли включають послідовність записів окремих елементів зображення,

а також службові записи, зокрема, заголовок файлу, заголовок сегмента, записи примітивів, атрибути (характеристики маркера, ліній, тексту), записи растру, дані про структуру, інформацію користувача, кінець запису.

Метафайли використовуються для перекодування в формати команд конкретних графічних пристроїв, для зберігання зображень в бібліотеках, для передачі даних у мережах.

Побудова реалістичних зображень. Першим кроком є визначення проекційної системи. Найчастіше це *ортогональні проекції, аксонометрія або перспектива.* Наприклад, для визначення апарату перспективи необхідно вказати картинну і предметну площину, лінію горизонту, точки збігу.

Для отримання зображення в *області індикації* (на площині екрану або її частині) здійснюються операції *кадрування* (відображення області формування зображення на область індикації) і *відтинання* (видалення ліній, які знаходяться поза межами області індикації), а також перехід від світових координат до екранних. При цьому використовуються *однорідні координати* і застосовується матрична форма запису. Результуючі координати (для перспективи) розраховуються за формулою

$$V_n = V_r T_1 T_2 T_3 T_4,$$

де V_n – вектор перспективних координат точки;

V_r – вектор однорідних тривимірних координат точки;

T_1, T_2, T_3, T_4 – матриці перетворень простору, відповідно, паралельного переносу, повороту навколо осі y, повороту навколо осі x, перспективного перетворення.

При суміщенні початку координат з головною точкою картинної площини, осей x і y з осями u, v картинної системи координат і розташуванні точки зору на від'ємній частині z на відстані k від картини формула набуде вигляду

$$[u, v, 0, 1] = [x, y, z, 1] T_1 T_2 T_3 T_4,$$

де

$$T_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ l & m & n & 1 \end{bmatrix}$$

l, m, n – зміщення паралельно осям x, y, z відповідно;

$$T_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\beta & -\sin\beta & 0 \\ 0 & -\sin\beta & \cos\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

β – *кут повороту навколо x;*

$$T_2 = \begin{bmatrix} \cos\alpha & 0 & -\sin\alpha & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\alpha & 0 & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$T_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1/k \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

α – *кут повороту навколо y;*

Таким чином можна вивести найпростіше, так зване контурне, або дротяне зображення. Але воно щене є реалістичним. Для того щоб зробити його таким, перш за все, проводиться ***видалення невидимих ліній***. В основі цього лежить спосіб конкуруючих точок, однак в алгоритмах, що застосовуються

практично, робляться ті чи інші спрощення, направлені на скорочення розрахунків. Наприклад, в ***алгоритмі Робертса*** процедура здійснюється в три етапи: відсікання по краях екрану, видалення закритих ліній, перевірка на закриття іншими об'єктами в межах піраміди видимості. В ***алгоритмі Варнока*** екран розбивається на маленькі області, видалення ліній для яких є нескладною операцією, потім організується послідовний перехід від однієї області до іншої.

Наступним кроком є ***фарбування*** (*rendering*), для чого на контур зображення накладається текстура (*texture*, зображення матеріалу).

Далі ***будується тінь***. Застосовані методи побудови тіней принципово не відрізняються від описаних в розділі 9; практичні алгоритми направлені на спрощення розрахунків. Одним з найбільш вдалих є ***затінення за Гуро*** (*Gourodshading*), що забезпечує плавну зміну кольору в міру віддалення від джерела світла. У відеопроцесорах апаратно реалізується функція *transformation&lighting,* яка реалізує розрахунки затінення при різних джерелах світла.

Ступінчастий контур зображення погіршує його якість. Для боротьби з цим застосовують *anti-aliasing* – згладжування контуру.

Ось інші ефекти, що покликані підвищити реалістичність зображень:

Alpha-blending – альфа-змішування – накладання текстур з різним значенням параметра прозорості альфа, що дозволяє коректно робити мультитекстурування;

Bi-linearfiltering, tri-linearfiltering – визначення кольору кожної точки (пікселя) за інтерполяцією, відповідно чотирьох і восьми сусідніх;

Colordithering, texturedithering – стиснення палітри кольорів (текстур), що дозволяє, за рахунок деякого погіршення якості, прискорити обчислення;

Colorkey – кольоровий код – характеризує зміну кольору, в залежності від віддаленості елементу;

Depthcueing – імітація глибини за рахунок зменшення яскравості зображення;

Fogging – імітація туману або задимлення;

MIP-mapping – зберігання кількох розмірів текстур для прискорення накладання при зміні розмірів об'єкту;

Perspective corrected texture mapping – накладання текстур з корекцією перспективи;

X/Yinterpolation – інтерполяція кольорів при зміні розмірів кадру;

Z-buffering – запам'ятовування координати глибини – віддалений елемент не показується.

Для покращення якості зображення застосовують й інші операції. Після цього зображення виглядає набагато якісніше (рис. 14.4).



Рис. 14.4. Реалістичне зображення у генераторі пейзажів Bryce 3D

14.4. Графічні мови

Наступним рівнем моделювання є лінгвістичний.

Базові елементи, структури, операції і перетворення геометричних моделей виражаються засобами штучних мов, зокрема, мов програмування. Найбільш придатними для цього є мови, які підтримують абстракції структури і об'єкту - перш за все об'єктно-орієнтовані. При розробці графічних мов використовуються характерні структури графічних даних, а також специфічні операції з графічними даними. Структурі об'єкту ставиться у відповідність абстрактна структура мови, а базовим елементам – елементи структури мови. Базові операції кожного з рівнів структури виражаються окремими процедурами.

Графічні мови можуть бути складовими частинами графічних редакторів (наприклад, мова AutoLisp входить до складу AutoCAD). Поширені мови програмування, такі, як Сі або Паскаль мають графічні бібліотеки. Графічні розширення використовуються також при розробці середовищ *візуального програмування.*

Принципи розробки графічних мов. Метою математичного дослідження структури мови спочатку було бажання зрозуміти властивості природної мови. Потім виявилось, що розроблений для цього апарат формальних граматик є зручним для формалізації структур графічних даних.

Під формальною (породжуючою) граматикою розуміється четвірка виду

$$G=(V_n, V_t, S_0, \{P\}),$$

де V_n – основний словник (множина змінних);

V_t – допоміжний словник (множина змінних);

$S_0 \in V_n$ – початковий символ;

$\{P\}$ – скінчена множина правил виводу (підстановки) $\alpha \rightarrow \beta$, де α і β належать повному словнику $V= V_n \cup V_t$. Зауважимо, що $Vn \cap Vt=$O.

Мова, що породжується граматикою G, є

$L(G)=\{x \mid xV_n, x$ – такий ланцюжок, що $S \rightarrow_G x\}$

Наприклад:

V_n: *{<будинок>, <поверх>, <стіна>};*

V_t: *{будинок 1, поверх 1, поверх 2, с1, с2, с3, с4, с5} де с1-с5 – позначення стін.*

Для запису підстановок використовується так звана нормальна форма *Бекуса* ::=, яка означає, що те, що зліва від форми, інтерпретується як те, що справа:

{P}:{<будинок>::=<будинок 1 | поверх 1 | поверх 2>
<поверх>::=<поверх 1 | с1 | с2| с3 >
<поверх>::=<поверх 2 | с4 | с5>}.

Зрозуміло, що в такому вигляді формальна мова мало чим корисна; потрібно описати деталі, як сукупність примітивів і задати операції формування їх із примітивів; далі, звести це з даними і операціями мови програмування і т. д. З іншого боку, для практичної роботи потрібні конкретні програми, які б реалізовували формальні можливості графічних мов.

Таким чином, маємо кілька рівнів формалізації:

- програми користувачів;
- програми для конкретної галузі;
- графічні розширення універсальних мов програмування або автономні графічні мови високого рівня;

- графічні автокоди для формування файлів виводу графічних пристроїв;
- драйвери для управління конкретними пристроями вводу чи виводу, написані на автокодах або асемблері.

За рівнями інваріантності по відношенню до графічних пристроїв розрізнюють (порівняйте із структурами даних в розділі 10):

- програми, орієнтовані на конкретні пристрої;
- програми, орієнтовані на фіксований набір примітивів;
- програми, орієнтовані на віртуальні графічні пристрої з настроюванням на конкретний фізичний пристрій.

Графічні мови можуть бути:

- діалогові і пасивні;
- інформаційні та алгоритмічні;
- автономні або у вигляді розширень мов програмування;
- вхідні, внутрішні, вихідні;
- символічні, цифрові, графосимволічні.

Приклад розширення мови програмування – графічна система мови Паскаль. Мова програмування Паскаль має біля 80 стандартних графічних процедур і функцій, зібраних у розділі Graph бібліотеки вбудованих процедур і функцій, що знаходиться у файлі Turbo.tpl. Взаємодію із бібліотекою здійснює модуль Graph.tpu. Підключення бібліотечного розділу Graph до програмного модулю здійснюється за допомогою оператора UsesGraph, який записується відразу після заголовку програми. Крім цього, для роботи з графічною підсистемою необхідні драйвери графічних пристроїв, а також програм, що підтримують різні шрифти.

Набір стандартних графічних процедур і функцій поділяється на такі групи:

- процедури для підготовки графічної системи до переходу у текстовий режим;
- процедури для установлення параметрів зображення;
- процедури для отримання зображення на екрані;
- процедури і функції для отримання параметрів зображення.

Наведемо опис деяких констант і типів даних розділу Graph, а також програм формування і установлення параметрів зображення.

Для установлення типу заповнення використовуються константи 0-12; для стиля лінії – 0-4; для завдання параметрів графічного вікна – логічні константи ClipOn та ClipOff; для маніпуляцій із верхньою гранню паралелепіпеда – логічні константи TopOn та TopOff і т. д.

Для отримання зображення використовуються такі функції:

- arc – креслення дуги;
- bar – креслення фарбованого прямокутника
- circle – креслення кола;
- ellipse – креслення еліпса;
- fillpoly – креслення і фарбування багатокутника;
- line – креслення відрізка;
- rectangle – креслення прямокутника;
- sector – креслення і фарбування сектора і т. д.

Інші процедури і функції реалізують переміщення курсору, очистку вікна, виводять інформацію про ті чи інші параметри. Для установлення параметрів зображення використовуються такі функції:

● graphdefault – установлення первісного значення всіх графічних параметрів;
● setallpalette – установлення всіх кольорів поточної палітри;
● setcolor – установлення кольору поточного зображення;
● setlinestyle – установлення стилю лінії і т.д;

Для отримання параметрів зображення використовуються функції:
● detectgraph – визначення графічного драйвера;
● getpixel – визначення номеру точки за її координатами;
● getmaxy – визначення розмірів екрану;
● getx – визначення координати хпікселя тощо.

Крім того, є ще засоби роботи із так званою *псевдографікою*.

14.5. Середовища візуального програмування (на прикладі Delphi)

Розвиток мов програмування з часом привів до ідеї надання запису програм не операторної, а графічної форми. Так виникли середовища візуального програмування, які дозволили підвищити продуктивність праці програміста інколи в десятки разів, через що їх часто називають середовищами швидкої розробки (RAD). Прикладами є Delphi, Visual Basic, Visual C++ тощо. В багатьох з них використовується принцип об'єктно-орієнтованого програмування і, звичайно, розширені графічні засоби.

Одним із найбільш досконалих середовищ візуального програмування є Delphi – розширення мови ObjectPascal. Інтерфейс Delphi 7 показано на рис. 14.5. Відзначимо, що наступні версії орієнтуються на розробку баз даних для підприємств і відносяться до професійного класу.

Інтерфейс складається із п'яти основних функціональних частин – головного меню (зверху рис. 14.5; багато команд продублювано піктограмами), Object Tree View (ліворуч зверху), Object Inspector (зліва знизу), вікон форм (праворуч) та відображення коду (під вікном Form 1).

Головне меню і піктограми містять операції роботи з файлами, засоби редагування та відладки програм, спеціальні інструменти, засоби створення баз даних, засоби регулювання середовища, підкази, візуальні компоненти (меню справа і знизу в цій групі).

Object Tree View слугує для контролю введених користувачем змінних.

Object Inspector містить дві закладки: Properties, в якій користувач встановлює значення параметрів поточних об'єктів, та Events, в якій вказуються ті чи інші дії з цими об'єктами. Наприклад, для об'єкта Form 1 за допомогою Properties можна встановити: заголовок, ім'я, розміри, колір, розташування, стиль оформлення тощо, а за допомогою Events вказати, які дії слід виконати програмі при створенні форми, клацанні мишею, закритті форми і т. д.

Відповідно, ідеологія роботи в середовищі зводиться до того, що користувач формує інтерфейс програми, що розробляється, перетаскуючи на вікно форм візуальні компоненти, наприклад, показані на рис. 14.6, а потім задає конкретні дії при тих чи інших впливах на них.

При цьому у вікні відображення коду Delphi автоматично генерує заготовку відповідних процедур (цей код користувач вже повинен написати самостійно); вікно може бути переглянуто при клацанні миші на ньому, або по відповідній піктограмі.

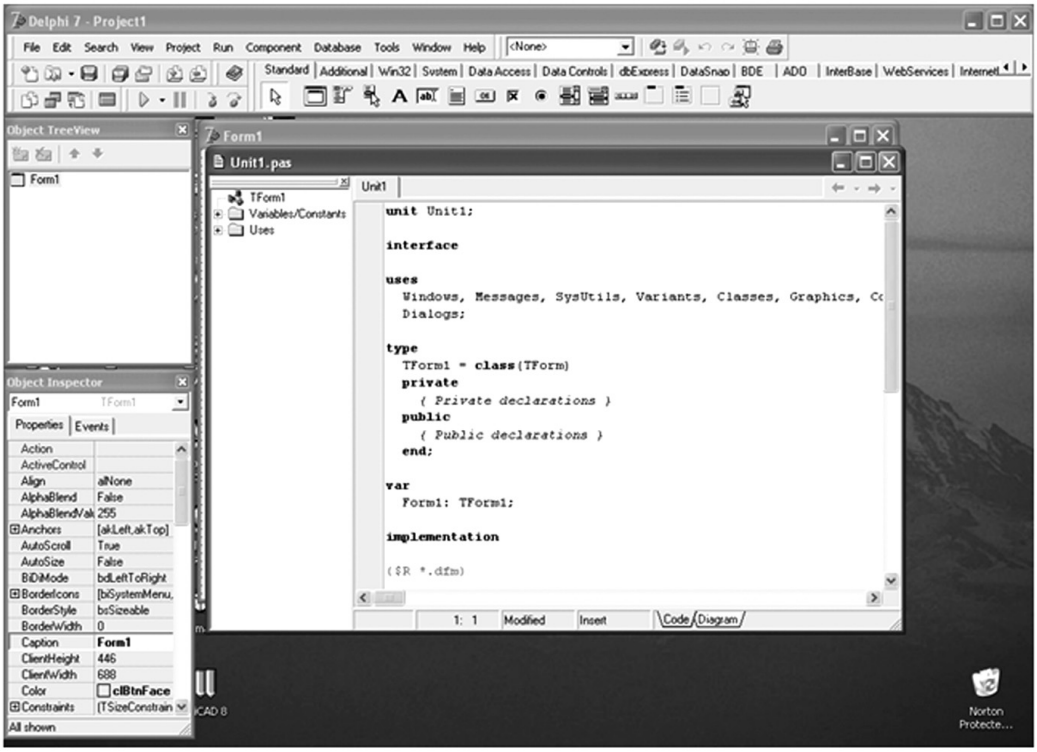


Рис. 14.5. Середовище візуального програмування Delphi



Рис. 14.6. Бібліотека стандартних компонентів Delphi

Окрім створення графічних інтерфейсів, Delphi в основному застосовується для створення систем управління базами даних, для чого це середовище має потужні засоби.

Самоконтроль. Охарактеризуйте основні етапи розвитку комп'ютерної графіки.
Порівняйтестан програмних засобів комп'ютерної графіки у 70-ті роки із сучасним.
Охарактеризувати основні технічні пристрої комп'ютерної графіки.
Підберіть, виходячи із критеріїв продуктивність/вартість оптимальну конфігурацію ПК, призначеного для обробки графічних даних.
Спрогнозуйте розвиток відеосистем персональних комп'ютерів високого рівня на найближчий рік.
Розберіть основні етапи побудови зображень. Які математичні операції реалізуються при цьому? Як вони співвідносяться з методами нарисної геометрії?
Складіть структурну модель системного блока ПК.
Уявіть процес побудови геометричної моделі багатоповерхового будинку. Як доцільно побудувати граф, що описує його структуру? Які системи координат ввести? Яким вимогам мають задовольняти моделі базових елементів? Яка мова програмування здається вам найбільш вдалою для опису моделі?
Розробіть і опишіть засобами формальної граматики структуру багатоповерхового будинку.

15. ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ГЕОМЕТРІЯ

Спроектувати, сконструювати і розрахувати будівельну конструкцію, двигун автомобіля чи крило літака неможливо без геометричної моделі. Але як має бути представлена геометрична інформація? Слід розібратись з вимогами до неї, і тоді можна буде охарактеризувати методи моделювання.

15.1.Загальні положення

Вимоги до представлення геометричної інформації в значній мірі залежать від обраного способу розрахунку.

Розрахувати конструкцію *означає підібрати такі форму, розміри, матеріали, щоби бути певними, що вона не розвалиться і не зазнає неприпустимих деформацій під впливом монтажних та робочих навантажень на протязі терміну експлуатації.* Розрізняють розрахунки по двом групам граничних станів – напруження конструкції не повинні перевищувати нормативних значень припустимих напружень (перша група), а деформації – нормативних переміщень (друга група). Для кожної з груп можуть проводитися статичні або динамічні розрахунки; обов'язково мають враховуватись характеристики матеріалу.

Між навантаженням, напруженнями і деформаціями конструкцій існують інтегро-диференціальні залежності, які можна відтворити графічно (ці зображення називаються *епюрами сил, моментів і переміщень*). Інтегральна залежність полягає в тому, що кожний наступний епюр приблизно відповідає інтегралу попереднього; диференціальна – в тому, що кожний попередній епюр приблизно відповідає похідній наступного.

Відтак, розрахунки зводяться (в певних межах і з урахуванням нормативних і емпіричних коефіцієнтів) до відомих у математиці крайової задачі і задачі Коші. Задачі можуть бути розв'язані аналітично, але далеко не всі функції можна інтегрувати, що має місце навіть для не дуже складних конструкцій і навантажень. Тому використовуються так звані *числові методи* – кінцевих різниць, кінцевого елементу, Рунге-Кутта і т. д. Ідея полягає в тому, що *шукається не аналітичний вираз функції* φ, а її значення в окремих точках; кожне значення є сумою сусідніх, взятих з певними коефіцієнтами:

$$\varphi_{ij}=\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} a_{ij}\psi_{ij},$$

де n і m – межі підсумовування,
a – коефіцієнти підсумовування,
ψ – значення функції в окремих точках.

При наявності *крайових умов* (значень функції та похідних на границі області визначення), можлива організація ітераційного процесу, що провадиться доти, поки різниці з попередніми значеннями по відношенню до поточних значень не перевищуватимуть наперед заданої малої величини. Практично враховуються лише найближчі до шуканого значення; позиції їх вузлів і вагові коефіцієнти описуються обчислювальними *шаблонами*.

Процес буде збіжним лише за умови побудови правильних шаблонів, а це вже висуває вимоги до форми представлення геометричної інформації – конструкція має бути задана в *дискретному вигляді*, тобто як впорядковані масиви точок, ліній, відсіків серединної поверхні чи тривимірних клітинок. Елементи масивів утворюють *сітки (сітчасті каркаси)*.

Вимога впорядкованості розуміється як *топологічна регулярність сіток* (клітинки мають бути обмежені однаковою кількістю сторін, а вузли мати однакову кількість зв'язків) і *метрична подібність клітинок* (розміри сусідніх елементів мають бути близькими).

Геометричне конструювання полягає в знаходженні *оптимальної, за певними критеріями, форми конструкції.* Ця стадія проектування передує розрахунку – форма перевіряється – чи слідує за ним – форма коригується. Відтак, конструктор працює з геометричною інформацією, що є дискретною, або допускає просту дискретизацію. Конструювання висуває додаткові вимоги до подання інформації: вона має бути *зручною для візуалізації та управління формою* (інтуїтивно зрозумілий і наочний зв'язок між зміною параметрів і форми), в тому числі для *локальної зміни форми, композиції і декомпозиції, розв'язання позиційних і метричних задач.*

Ще однією вимогою, яка має місце для більшості задач конструювання, є забезпечення *гладкості* кривої або поверхні. Гладкість характеризується *порядком*, який дорівнює порядку похідних, рівних в місцях стику для суміжних кривих обводу або відсіків поверхні. Похідні можуть бути приблизно представлені через числові співвідношення і графічні побудови.

Одним із способів здобуття первинної інформації є натурні виміри деталі, топографічної поверхні тощо. При цьому масиви точок, як правило, не є регулярними. Отже, потрібно розв'язувати задачу на *впорядкування* даних, окремими випадками якої є задачі *апроксимації* та *інтерполяції* (проведення ліній або відсіків, що обмежують клітинки, з певною наближеністю до заданих точок в першому і точно через них у другому випадку). Потреба ефективності обробки даних висуває вимоги *однорідності, спеціалізації, структуризації.*

Підбиваючи підсумки, можна дати таке визначення:

Визначення 15.1. ***Обчислювальною геометрією*** *називається розділ прикладної геометрії, який вивчає методи геометричного моделювання і конструювання ліній і поверхонь, представлених у дискретному вигляді.* Іншою назвою, що набула поширення, є ***дискретна геометрія***.

15.2. Конструювання кривих ліній

Як правило, лінії, які моделюють поверхні природних і технічних об'єктів, мають досить складну форму і не допускають аналітичного опису у вигляді одного векторно-параметричного рівняння. Тому найчастіше в комп'ютерній графіці застосовують дискретний спосіб задання кривої лінії. При цьому крива лінія задається множиною точок, обчислених за певним законом або отриманих у результаті вимірів. Проілюструємо дві вимоги, які обов'язково виникають у ході конструювання кривих ліній.

Забезпечення гладкості необхідно для плавного обтікання конструкцій потоками води або газу. Порядок гладкості визначається номером похідної, однакової для ділянок кривої, що стикуються між собою.

Покажемо графічну інтерпретацію побудови кусково-аналітичної моделі кривої в формі задачі Коші умови побудови задаються у вихідній точці).

Задача 15.1. *Провести обвід з дуг кіл, що проходить через задані точки і забезпечує 1-й порядок гладкості* (рис. 15.1).

Крайовими умовами є задані точки і похідна в першій з них. Визначаємо центр О дуги між точками 1 і 2: він розташовується на перпендикулярі до похідної *a* (вона ж дотична дуги). Радіус дорівнює довжині відрізку O_1 чи O_2.

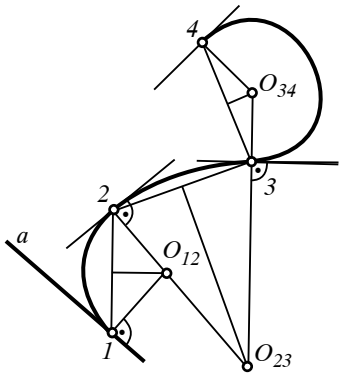


Рис. 15.1. Побудова обводу 1-го порядку гладкості

Проводимо перпендикуляр до O_2 – дотичну наступної дуги, що є й її похідною. Повторюємо побудови.

Управління формою кривої необхідно як для розв'язання інженерних задач (наприклад, забезпечення потрібної площі перерізу), так і з естетичних міркувань. Розглянемо забезпечення наочності зв'язку між параметрами і формою кривої на прикладі *інженерного способу* завдання еліпсу, параболи або гіперболи. Цей спосіб ілюструє розв'язання крайової задачі (умови, на відміну від задачі Коші, задаються у крайових точках) і є окремим випадком конфігурації Паскаля (розділ 6), коли названі криві визначаються за допомогою 4-х параметрів.

Задача 15.2. *Побудувати еліпс, що проходить через точки A і B і має похідні a і c в цих точках* (рис. 15.2).

Знаходимо C=$a \cap c$. З'єднуємо т. C з т. E – серединою відрізку AB. Проводимо A1 і B2, що перетинають (BC) і (AC). Проводимо C3, 3=A1$\cap$B2 і B4, 4=C3$\cap$A1. Т. H=B4$\cap$A1 належить еліпсу. Варіюючи положення променів, отримуємо необхідну кількість точок. Плавно з'єднуємо їх.

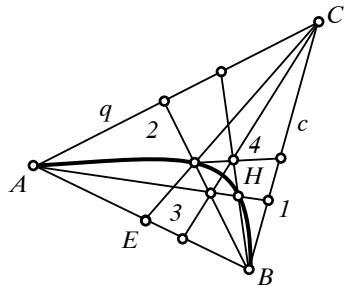


Рис. 15.2. Інженерний спосіб побудови еліпсу

Самоконтроль. Змініть положення *a* і *c*. Побудуйте криву. Відчуйте, як змінилася її форма. Проведіть дослідження – знайдіть, при якому розташуванні *a* і *c* задаються парабола і гіпербола.

Хоча розглянуті способи є дуже зручними і наочними, вони не забезпечують завдання і управління кривою високих порядків гладкості, що є конче необхідним при проектуванні літальних апаратів, турбін тощо.

Перейдемо до огляду найпоширеніших способів дискретного завдання кривих ліній. Усі вони, маючі власні переваги, не позбавлені й певних недоліків.

Поліноми Лагранжа та поліноми Ньютона. Нехай на $(n+1)$ множині опорних точок $P_i=(x_i, y_i)\, R_2$, $0 \leqslant i \leqslant n$ необхідно знайти поліноміальну по t криву $r=r(t)$, таку щоб $r(t_1)= P_i$, $0 \leqslant i \leqslant n$ при заданих значеннях параметру $t_0 \leqslant t_1 \leqslant ... \leqslant t_n$.

Будемо шукати рішення у поліноміальній формі $r(t)=\sum_{i=0}^{n} L(t_i) P_i$ причому, функція $L(t_i)$ у цьому виразі повинна мати властивості символа Кронеккера $\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & i=j \\ 0 & i \neq j \end{cases}$.

Такій умові відповідає функція

$$L_i(t) = \frac{(t-t_0)...(t-t_{i-1})(t-t_{i+1})...(t-t_n)}{(t_i-t_0)...(t_i-t_{i-1})(t_i-t_{i+1})...(t_i-t_n)} = \frac{\prod_{j=0,\, i\neq j}^{n} (t-t_i)}{\prod_{j=0,\, i\neq j}^{n} (t_i-t_j)},$$

$$\text{тобто } r(t) = \sum \frac{\prod_{j=0,\, i\neq j}^{n} (t-t_i)}{\prod_{j=0,\, i\neq j}^{n} (t_i-t_j)}$$

Ця функція і називається ***поліномом Лагранжа***.

Поліноми Ньютона – це поліноми Лагранжа, записані у іншій формі, яка є зручною при виникненні необхідності проводити переобчислення у випадках збільшення, за рахунок додавання нових, кількості опорних точок. Форма запису наступна:

$$r(t)=a_0+a_1(t-t_0)+a_2(\mathrm{t}-\mathrm{t}_0)(t-t_1)+...+a_n(t-t_0)(t-t_1)...(t-t_{n-1})$$

Векторні коефіцієнти знаходяться, виходячи з умови проходження $r(t)$ через точки $P_0,...,P_{n\,0}$ за допомогою системи рівнянь

$$\begin{cases} P_0=a_0, \\ P_1=a_0+a_1(t_1-t_0) \\ P_1=a_0+a_1(t_2-t_0)+a_2(t_2-t_0)(t_2-t_1) \\ \ldots\ldots\ldots \\ P_n=a_0+a_1(t_n-t_0)+a_2(t_n-t_0)(t_n-t_1)+...+a_n(t_n-t_0)...(t_n-t_{n-1}) \end{cases}$$

Результатом буде однозначне визначення $a_0,...,a_n$. У разі, якщо виникла необхідність додати ще одну або декілька опорних точок, до системи додається необхідна кількість рівнянь, з умов виконання яких обчислюються коефіцієнти a_{n+K}, де $K>n$, $к=1,2$ ..., а раніше визначені коефіцієнти залишаються незмінними. Перевагою поліномів Лагранжа і Ньютона є високий порядок гладкості на всій області визначення параметра. Головними недоліками для $>> n$ є те, що між двома опорними точками вони можуть поводити себе «неправильно», (рис. 15.3; таке явище зветься ***осциляцією***), а також відсутність наочності управління формою.Тому не варто застосовувати $n>3$.

Сплайни. Через це у комп'ютерній геометрії застосовуються більш складні моделі, зокрема ***сплайни*** – функції, складені з «кусків» багаточленів з тим чи іншим порядком гладкості в точках стику.

Визначення 15.2. ***Сплайном S(t)*** *порядку m, заданим на відрізку [a, b] з вузлами t_i ($i=1, ..., n$; $a<t_1< \ldots <t_n<b$) називається неперервна на цьому відрізку функція, якщо на кожному з проміжків, обмежених точками a, t_i, b, вона є багаточленом ступеню, не більшого за m, а в кожному з вузлів t_i її похідна $s^{(v)}(t)$ ($1\leqslant v\leqslant m$) може мати розрив.*

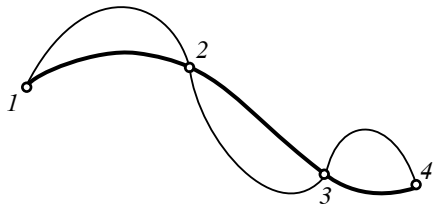


Рис. 15.3.
Осциляція при поліноміальній інтерполяції

Визначення 15.3. Дефектом k сплайну *називається максимальне з чисел k_i, що характеризують розрив $m-k_i+1$ похідної у вузлі t_i.*

Відтак, найважливішими характеристиками сплайну є найбільший порядок багаточленів m, а також дефект k.

В залежності від визначення багаточленів, існує багато видів сплайнів – ермітови, В-сплайни, кубічні і т. д. – які є або ***локальними (фінітними)***, тобто мають ненульові значення на обмеженій відносно вихідних даних області визначення, або ***глобальними*** (ненульові на всій області визначення). Крайові умови теж можуть бути різними.

Сплайн Ерміта призначений для з'єднання сегментів складених кривих за умови збереження необхідного ступеня гладкості в точках з'єднання і визначається за формулою:

$$r(t)=\sum_{i=0}^{m}(g_1(t,m)r^i{}_0+h_1(t,m)\,r^i{}_1),$$

де – $r^i{}_0$, $r^i{}_1 \leqslant i \leqslant m$ задані значення радіус-вектору кривої та її похідних в кінцевих точках, а

$$g_i(t,m)=\frac{1}{i!}\sum_{i=0}^{m-i} C^j{}_{2m+1-i}\,t^{i+j}(1-t)^{2m+1-(i+j)}$$

$$h_i(t,m)=(-1)^i\frac{1}{i!}\sum_{i=0}^{m-i} C^j{}_{2m+1-i}\,t^{2m+1-(i+j)}(1-t)^{i+j}$$

Тут $C^j{}_{2m=1-i}$ – біноміальні коефіцієнти, значення яких можуть бути послідовно обчислені за допомогою трикутника Паскаля, у разі, якщо відома степінь сплайну Ерміта, яку, в іншому разі, можна розрахувати, виходячи з кількості даних в кінцевих точках. Зліва їх $m+1$, з правого боку теж $m+1$, разом $2m+2$, звідси $2m+2$, – степень сплайна.

Складений сплайн Ерміта можна отримати шляхом з'єднання сусідніх опорних точок, в кожній з яких повинна бути однакова кількість похідних. У тому випадку, коли на одному з кінців кількість похідних менша – треба до визначити їх будь-яким з відомих методів до кількості, яку максимально дозволяє степінь прийнятого сплайну Ерміта.

Кубічні сплайни. Нехай задані $(n+1)$ точки $P_0,\ldots, P_n \in R^2$, необхідно провести через них криву класа C^2, тобто таку, у якої неперервні перша $\dot{r}(t)$ і друга $\ddot{r}(t)$ похідні по параметру t. Ці умови може однозначно забезпечити тільки поліном третьої степені.

Шуканий сплайн задається в параметричній формі рівнянням $r=r(t)$. Позначимо $S_i=\ddot{r}(t_i)$, $i=\overline{0,n}$. Друга похідна для кубічного сплайна буде лінійною функцією, тобто

$$\frac{d^2r}{dt^2}=S_i\frac{t_{i+1}-t}{t_{i+1}-t_i}+S_{i+1}\frac{t_i-t}{t_{i+1}-t_i}$$

Проінтегруємо два рази, отримаємо

$$r(t)=S_i\frac{(t_{i+1}-t)^3}{6(t_{i+1}-t_i)}+S_{i+1}\frac{(t_i-t)^3}{6(t_{i+1}-t_i)}+C_1t+C_2$$

Постійні C_1 та C_2 визначаються з дотриманням умов $r(t_i)=P_i$ та $r(t_{i+1})=P_{i+1}$, в результаті отримаємо

$$r(t)=S_i\frac{(t_{i+1}-t)^3}{6(t_{i+1}-t_i)}+S_{i+1}\frac{(t_i-t)^3}{6(t_{i+1}-t_i)}+\left(\frac{P_i}{t_{i+1}-t_i}-S_i\frac{t_{i+1}-t_i}{6}\right)(t_{i+1}-t)+\left(\frac{P_{i+1}}{t_{i+1}-t_i}-S_{i+1}\frac{t_{i+1}-t_i}{6}\right)(t-t_i)$$

права частина цього рівняння – кубічним поліном по t на відрізку $[t_i,t_{i+1}]$, в якому невідомими є S_i і S_{i+1}. Їх можна визначити через процедуру узгодження перших похідних в сегментах, які знаходяться на сусідніх відрізках $[t_{i-1}, t_i]$ та $[t_i, t_{i+1}]$ для $i=\overline{1, n-1}$, тобто в вузлах, що знаходяться в середині сплайна, виключаючи вузли $i=0$ та $i=n$.

Запишемо значення першої похідної для правого кінця лівого відрізка.

$$\frac{dr}{dt}\Big|t=t_i=\frac{(2S_i+tS_{i+1})(t_i-t_{i-1})}{6}+\frac{P_i-P_{i-1}}{t_i-t_{i-1}}$$

Та для лівого кінця правого відрізка

$$\frac{dr}{dt}\Big|t=t_i=\frac{(2S_i+S_{i+1})(t_{i+1}-t_{i-1})}{6}+\frac{P_{i+1}-P_1}{t_{i+1}-t_1}$$

Оскільки значення похідної, що визначається з цих рівнянь, повинно бути однаковим, то прирівнюємо праві частини і отримуємо

$$S_{i-1}(t_i-t_{i-1})+2S_i(t_{i+1}-t_{i-1})+S_{i-1}(t_{i+1}-t_i)=6\frac{P_{i+1}-P_1}{t_{i+1}-t_1}-6\frac{P_i-P_{i-1}}{t_i-t_{i-1}}$$

Для змінного $i=\overline{1,\ n-1}$ отримаємо, з вищенаведеного рівняння, $(n-1)$ векторних рівнянь, або $2(n-1)$ скалярних рівняння у разі заміни вектора на його координати.

Отримана, таким чином, система рівнянь буде мати стрічкову (ленточну) тридіагональну матрицю з $(n+1)$ невідомих $S_0,...,S_n$, яка легко вирішується методом прогонки. Якщо крива замкнена, то до цієї системи додається ще одне рівняння для $i=n$, в якому приймається $S_{n+1}=S_1$, таком чином, у цьому випадку кількість невідомих буде дорівнювати кількості рівнянь системи, отримаємо однозначне її рішення.

Якщо крива незамкнена, то необхідно задати граничні (кінцеві) умови, виходячи зі здорового глузду для конкретної задачі. Наприклад, приймемо $S_0=S_1$, $S_n=S_{n-1}$ і розв'язавши систему, отримаємо формулу сегменту кубічного сплайна на ділянці $[t_i, t_{i+1}]$.

$$r(t)=(1-\omega)P_i+\omega P_{i+1}+((-2\omega+3\omega^2-\omega^3)S_{i+1})\frac{(t_{i+1}-t_i)^2}{6},$$

В якому $\omega=\dfrac{t-t_i}{t_{i+1}-t_i}$ – місцевий параметр на ділянці $[t_i, t_{i+1}]$.

Одним з головних недоліків кубічного сплайну, навідміну від сплайну Ерміта, є те, що зміна положення хоча б однієї опорної точки призводить до перерахунку усього сплайна.

Другим недоліком кубічного сплайна є здатність його утворювати незаплановані точки перегину кривої. Щоб цього не виникало треба вибирати параметризацію сплайну приблизно натуральною, орієнтуючись на відношення

$$\frac{|P_i-P_{i-1}|}{t_i-t_{i-1}}=\frac{|P_{i+1}-P_i|}{t_{i+1}-t_i},=\overline{0,n}$$

Якщо, в результаті аналізу положення опорних точок, це відношення не виконується, то перш ніж розраховувати сплайн, потрібно змінити положення «підозрілої» опорної точки або прийняти інше вмотивоване рішення.

B-сплайни. Дамо наступне

Визначення 15.4. ***B-сплайном*** *називається сплайн ступеню m дефекту 1, представлений як*

$$S=\sum_{i=-m}^{n} b_i B_i^m(S),$$

де b_i – деякі постійні коефіцієнти;

$$B_i^m(S)=(S_{i+m+1}-S_i)\sum_{i=1}^{i+m+1}\frac{(S_j-S^m)_+}{\omega_{m+1,i}(S_j)}\ ,\ i=-m\ ,\ ...,n-1-$$

нормалізовані B-сплайни, і

$$\omega_{m+1,i}(t)=\prod_{i=1}^{i+m+1}(t-s_j)\ ,$$

$$t_+^m=\begin{cases}t^m,\ t\geqslant 0\\ 0, t<0\end{cases}\ -\ \textit{зрізана степенева функція.}$$

Важливими властивостями B-сплайнів є обмеженість інтервалу завдання вузлами $[t_{i-1},\ t_i]$, тобто локальність, і лінійна незалежність. Для обчислення B-сплайнів використовуються рекурентна залежність (її перші чотири функції наведено на рис. 15.4) і крайові умови.

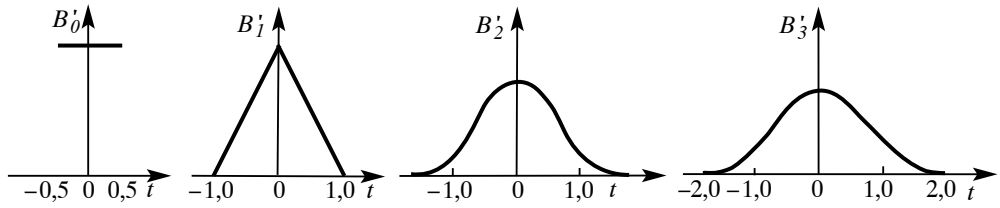


Рис. 15.4. Графіки B-сплайнів нульового – третього ступенів

Зробимо «лінгвістичний відступ». Англійське слово spline означає «рейка», «планка». Гнучка лінійка, закріплена в кількох точках, використовувалась для проведення плавної лінії через ці точки. Тепер проведемо ряд аналогій: лінійка – балка, епюри сил, моментів, напружень, переміщень – графіки B-сплайнів, формула числових методів – визначення B-сплайнів. Бачимо, як ті ж самі закономірності проявляються на різних рівнях абстракції.

Криві Безьє забезпечують наочне управління формою кривої високих порядків гладкості.

Визначення 15.5. ***Кривою Безьє*** *називається параметрична крива, що визначається наступним рівнянням:*

$$B(t)=\sum_{i=0}^{n}P_i\cdot b_{i,n}\cdot(t),$$

Параметр t змінюється в межах $0<t<1$,

P_i – функція компонент векторів опорних вершин

$b_{i,n}(t)$ – базисні функції кривої Безьє, у векторній формі в якості яких, як правило, використовуються поліноми Бернштейна, які визначаються наступним чином:

$$b_{i,n}(t)=\binom{n}{i}\ t^i(1-t)^{n-1},$$

$$\text{Де}\quad \binom{n}{i}=\frac{n!}{i!(n-i)!}$$

N – ступінь полінома, яка дорівнює кількості опорних вершин;

I – порядковий номер опорної вершини, починаючи з першої, індекс якої дорівнює нулю.

Наприклад, для лінійної кривої Безьє $n=1$, $i=\overline{0,1}$, отримуємо поліноми Бернштейна для $i=0$, $b_{0,1}(t)=1-t$, для $i=1$, $b_{1,1}(t)=t$

Таким чином, лінійна крива Безьє матиме вигляд:

$B(t)=(1-t)P_0+tP_1, t\in[0,1]$

Для квадратичної кривої Безьє – $n=2$, $i=\overline{0,2}$, необхідно взяти три опорні точки P_0, P_1, P_2.

$B(t)=(1-t)^2P_0+2t(1-t)P_1+t^2P_2, t\in[0,1]$

В параметричний формі, за аналогією з лінійними і квадратичними кривими Безьє, кубічна крива Безьє $n=3$ має вигляд:

$B(t)=(1-t)^3P_0+3t(1-t)^2P_1+3t^2(1-t)P_2+t^3P_3, t\in[0,1]$

P_i, $i=\overline{0,3}$ опорні вершини в дво-або тривимірному просторі визначають форму кривої.

Кожна крива Безьє проходить через точки P_0 і P_n, а через точки $P_1, \dots, P_{n-1}$ – не проходить, зміна їх розташування впливає тільки на форму кривої Безьє. Прямі $P_0P_1, P_1P_2, \dots, P_{n-1}P$ створюють фігуру, яка називається характеристичною ламаною заданої кривої, ця фігура незамкнена. Змінюючи положення вершин характеристичної ламаної з одночасним відображенням на екрані монітора перерахованої, у відповідності до змінених $P_1, \dots, P_{n-1}$, кривої Безьє, можна доволі точно наблизитись до потрібної форми кривої, яка конструюється.

В матричній формі кубічна крива Безьє записується наступним чином:

$$B(t)=[t^3t^2t^1 1]\cdot M_B\cdot\begin{bmatrix}P_0\\P_1\\P_2\\P_3\end{bmatrix}$$

В цьому параметричному рівнянні:

$$M_B=\begin{bmatrix}-1&3&-3&1\\0&-6&3&0\\-3&3&0&0\\1&0&0&0\end{bmatrix}$$

Та називається базисною матрицею кубічної кривої Безьє.

Пропонуємо читачеві самостійно записати базисні матриці для квадратичної і лінійної кривих Безьє.

Наприклад, для лінійного випадку кривої Безьє графічне зображення відтвориться у вигляді прямої, що проходить через точки $\mathbf{P}_0$ і $\mathbf{P}_1$. Параметр t визначає на якій відстані від $\mathbf{P}_0$ до $\mathbf{P}_1$ знаходиться точка $\mathbf{B}(t)$. Для квадратичних кривих Безьє необхідно постійно, в процесі обрахувань, визначати дві проміжні точки $\mathbf{Q}_0(t_i)$ та $\mathbf{Q}_1(t_i)$ за умовою, що параметр $t\in[0,1]$ (рис. 15.5).

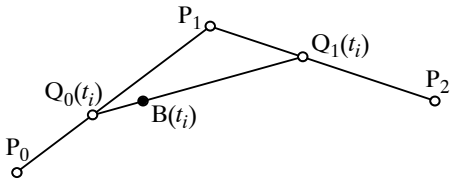


Рис. 15.5. Визначення проміжних точок $\mathbf{Q}_0(t_i)$ та $\mathbf{Q}_1(t_i)$

Для всіх векторів $\mathbf{Q}_0$, $\mathbf{Q}_1$ та $\mathbf{B}$ скалярного аргументу t значення t_i – однакове в кожну мить зміни його в межах від 0 до 1. Точка $\mathbf{B}(t_i)$ – точка квадратичної кривої Безьє. Для кубічної кривої Безьє характеристична ламана визначається чотирма точками $\boldsymbol{P}_i$, окрім того будується три точки $\mathbf{Q}_i$ дві точки $\mathbf{R}_i$ для $i=\overline{0,3}$, $i=\overline{0,2}$, $i=\overline{0,1}$ – відповідно (рис. 15.6).

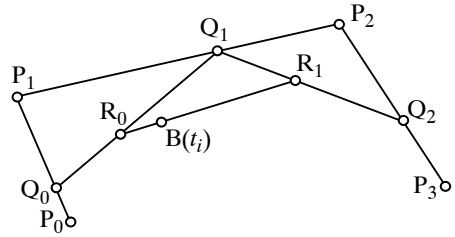


Рис. 15.6. Характеристична ламана для кубічної кривої Безьє

При зміні $t \in [0,1]$ $\mathbf{Q}_0$ змінюється в межах від $\mathbf{P}_0$ до $\mathbf{P}_1$, $\mathbf{Q}_1 \in [\mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2]$, $\mathbf{Q}_2 \in [\mathbf{P}_2, \mathbf{P}_3]$, $\mathbf{R}_0 \in [\mathbf{Q}_0, \mathbf{Q}_1]$, $\mathbf{R}_1 \in [\mathbf{Q}_1, \mathbf{Q}_2]$, а точка кубічної кривої Безьє $\mathbf{B}_0(t_i) \in [\mathbf{R}_0, \mathbf{R}_1]$, при чому, в кожну мить t_i для всіх відрізків, що приймають участь у визначенні $\mathbf{B}(t_i)$, однакові.

Використовуючи геометричну схему, яка була наведена вище, для отримання лінійної, квадратичної і кубічної кривих Безьє, можна будувати криві Безьє більш високих степеней. Пропонуємо читачеві виконати це самостійно.

Криві Безьє широко використовуються в комп'ютерній графіці для побудови гладких кривих ліній. Доцільно відображати характеристичну ламану і використовувати для наочного управління формою кривої (перенос, масштабування, обертання) легко виконуються шляхом відповідних перетворень характеристичної ламаної.

Найбільш широко застосовуються кубічні криві Безьє, тому що криві більш високого степеня, в процесі розрахунків, потребують непропорційного зростання обчислень, які не відповідають досягнутим цілям. Тому в процесі конструювання складних по формі кривих краще поділити їх на сегменти для застосування кубічних кривих Безьє з подальшим з'єднуванням їх у сплайн Безьє.

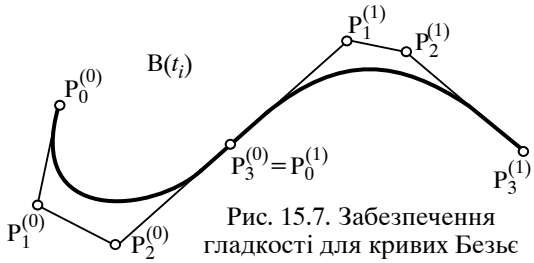


Рис. 15.7. Забезпечення гладкості для кривих Безьє

Для забезпечення гладкості при стикуванні двох сегментів необхідно, щоб остання точка попереднього сегменту – $\mathbf{P}_3^{(0)}$ співпадала з першою точкою послідуючого – $\mathbf{P}_0^{(1)}$, тобто $\mathbf{P}_3^{(0)}=\mathbf{P}_0^{(1)}$, а ланка характеристичної ламаної попереднього сегменту – $\mathbf{P}_2^{(0)}=\mathbf{P}_3^{(0)}$ була колінеарна ланці $\mathbf{P}_0^{(1)}=\mathbf{P}_1^{(1)}$ – послідуючого сегменту. Графічне зображення цієї вимоги представлено на рисунку 15.7.

Звертаємо увагу ще й на таке, що використовуючи ці результати, можна побудувати складену з сегментів кривих Безьє криву, у якої в точках з'єднання сегментів можуть бути забезпечені неперервність кутів нахилу дотичних та кривих.

Окрім наведених вище форм кривих Безьє, існує ще операторна форма, яку використовують для виконання афінних перетворень.

В тих випадках, коли побудована крива Безьє не влаштовує конструктора на окремій ділянці, а, як відомо, зміна положення однієї опорної точки призводить до зміни кривої Безьє в цілому, то для того, щоб уникнути повного перерахунку, використовуються алгоритм поділу кривої Безьє на два і більше сегментів складених кривих Безьє тогож самого степеня, при умові збереження гладкості в точках спряження.

Раціональні криві Безьє – більш узагальнюючі криві по відношенню до звичайних кривих Безьє, які розглядалися вище. Звичайні криві Безьє являють собою окремий випадок раціональних. За допомогою раціональних кривих Безьє виявляється можливим точно (а не приблизно) описувати дуги кривих другого порядку. Це є дуже важливим для рішення інженерних задач, в яких та чи інша крива являє собою дугу кола, еліпса, параболи або гіперболи, тому що від цього залежать фізичні властивості тієї деталі, яку описує раціональна крива Безьє. До параметрів, які керують формою раціональної кривої Безьє, окрім опорних точок характеристичної ламаної, відносять ще і параметри ваги, що дозволяє вирішувати більш складні задачі у порівнянні із звичайними кривими Безьє.

Самоконтроль. Опишіть розглянуті методи забезпечення гладкості і управління формою кривої.

Криві Найдиша. Методи побудови кривих Найдиша базуються на геометричних алгоритмах, які виявляють область можливого вибору для точок загущення або різниць першого, другого, а при необхідності, і більш високого порядків, забезпечують побудову точок дискретної кривої без непередбачуваної осциляції, а також надають можливість варіативного вибору точок загущення при незмінних вузлових точках.

Ці алгоритми будують криву у вигляді загущеного дискретного набору точок і, при цьому нема потреби шукати неперервний аналог побудованої кривої, а це дозволяє, за рахунок варіації в межах області, проводити локальні зміни кривої на окремій ділянці і, навіть, в одній точці. Це одна з головних переваг кривих Найдиша, таких властивостей не має жоден з методів, розглянутих раніше.

Друга перевага кривих Найдиша полягає в тому, що на сегменті кривої, який треба згустити, гарантовано забезпечується опуклість/увігнутість, або наявність необхідної точки перегину. Зауважимо, що необхідні точки перегину можуть бути побудовані як в одній або декількох з вузлових, так і в одній або декількох із загущених точок.

Третя перевага – відсутня необхідність процесу згладжування кривої після її побудови.

На наш погляд, це достатня ціна за складність цих алгоритмів (хоча їх програмна реалізація є доволі простою) і потребу високої кваліфікації конструктора, що використовує криві Найдиша в конструюванні.

В основу всіх методів Найдиша на основі геометричних співвідношень та тотожностей покладено, в явній чи неявній формі, визначення області рішень, всередині якої варіативно вибрані нові значення не протирічать вихідним даним. Знаходження цієї області, яку він назвав смугою дифпроекцій, відбувається на базі графічного диференціювання, суть якого полягає в наступному.

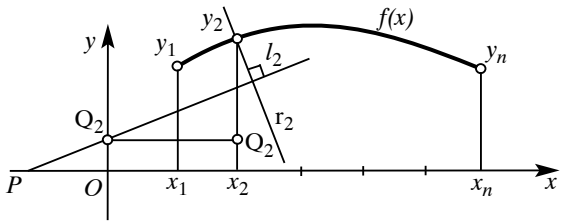


Рис 15.8. Схема графічного диференціювання

Нехай заданий графік функцій *f(x)* (рис. 15.8):

1) визначаються x_i, $i=\overline{1,n}$ – точки, в яких треба графічно визначити значення першої похідної;

2) на від'ємній частині осі *Ox* довільно вибирається полюс *P*;

3) В кожній з точок y_i для $i=\overline{1,n}$ будуються нормалі до кривої, наприклад, r_2.

4) З полюса *P* проводимо l_2 перпендикулярно r_2, отримуємо точку Q_2. Відрізок QQ_2 приблизно визначає значення першої похідної в точці $P_2(x_2, y_2)$ при вибраному полюсі *P* (тобто, в якомусь масштабі).

Побудова смуги дифпроекцій Найдиша відбувається наступним чином. Хай заданий точковий ряд $P_i(x_i, y_i), i=\overline{0,n}$ необхідно інтерполювати. Якщо задані точки з'єднати відрізками прямих, то до кожної точки, окрім крайніх, підходить дві ланки цієї ламаної лінії, одна зліва, інша справа. Отримана таким чином ламана лінія названа супроводжуючою.

У цьому випадку, якщо застосувати графічне диференціювання, кожна точка $P_i(x_i, y_i), i=\overline{1,n-1}$ буде мати нахил ланки ламаної зліва $P'_{bi}(x_i, y'_{ai})$ та нахил ланки ламаної справа $P'_{ai}(x_i, x'_{bi})$, позначимо їх відповідно a_i та b_i. Вони визначають верхню та нижню межі області (смуги дифпроекцій), ширина якої в кожному

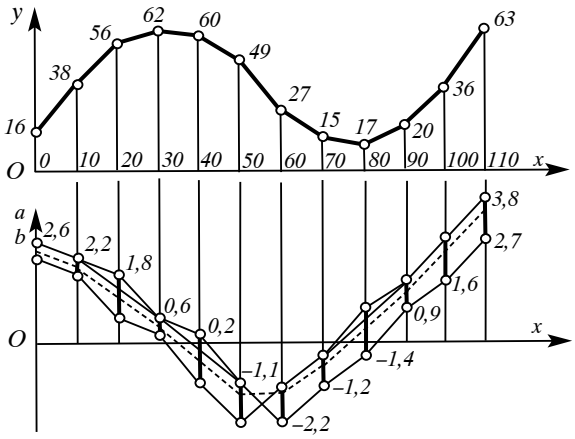


Рис. 15.9. Супровідна ламана, та її смуга дифпроекцій

вузлі $x_i, i=\overline{1,n-1}$, визначається $\Delta_i=b_i-a_i$. Якщо на рівномірній сітці з кроком h треба виконати згущення (знайти значення $P_j(x_j,y_j)$ між вузлами x_i та x_{i+1}) за умови щоб нові значення не викликали осциляції (поява незапланованих точок перегину), то необхідно дотриматися обмежень

$$a_i=\frac{y_{i+1}-y_i}{h}<y_i'<\frac{y_i-y_{i-1}}{h}=b_i$$

у вузлових точках, що задані, а також в $j-x$ точках загущення. Нижче наведено приклад графічного відображення супровідної ламаної дискретно представленої кривої побудованої на точках $P_i, =\overline{0,n}$ та її смуга дифпроекцій (рис. 15.9).

Якщо ввести параметризацію дискретно представленої кривої і побудувати смугу дифпроекцій для параметра, то запропонована схема може бути використана для побудови не осцилюючих замкнених кривих. Запропонований метод Найдиша дозоляє в процесі інтерполяції визначити проміжні значення функцій, опираючись на внутрішню геометрію точкового ряду не знаходячи рівняння інтерполяційного поліному. Такий підхід пов'язаний з певними труднощами в з'ясуванні характеристик внутрішньої геометрії і їхньому використанні при побудові на кривій проміжних точок (названих «точками загущення», а сам процес їх побудови – «дискретна інтерполяція», або «згущення»), зате досягається спрощення розрахунків. Можливість їх локального використання, відсутність, до певної міри, впливу зміни положення однієї точки на сусідні точки ряду, запобігання осциляції завдяки встановленню чітких меж для проектування та, нарешті, формалізації кривої в аналітичному вигляді. Наведені переваги методу Найдиша, дає йому право на існування.

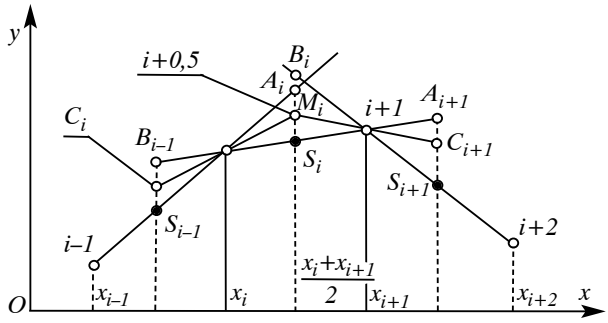


Рис. 15.10. Схема згущення ДПК

Розглянемо деякі алгоритми згущення дискретно представлених кривих методу Найдиша. ***Геометричні співвідношення згущення на основі хорд супроводжуючої ламаної лінії (СЛЛ) дискретно представленої кривої (ДПК)***. Геометричне представлення цього рішення потребує розгляду ДПК на трьох послідовних ділянках, які визначаються вузлами $x_{i-1}, \ldots, x_{i+2}$ (рис. 15.10).

Визначимо величини S_iA_i та S_iB_i:

$$S_iA_i=-\frac{1}{2}(y_{i-1}-2y_i+y_{i+1})=\frac{-\delta_i^0}{2};$$

$$S_iB_i = -\frac{1}{2}(y_i - 2y_{i+1} + y_{i+2}) = \frac{-\delta^0_{i+1}}{2};$$

де $\delta_i^{\,0}$ – центральна різниця в i-й точці до загущення (верхній індекс – «0»).

Аналіз смуги дифпроекцій визначає умову відсутності спрямлення та осциляції, виходячи з якої

$$y_{i+0,5} = \frac{y_i + y_{i+1}}{2} + \frac{1}{2}\,\mu \times \min\left|\delta^0_i, \delta^0_{i+1}\right|,$$

де μ – коефіцієнт вибору точки загущення $\mu = \dfrac{M_iS_i}{S_iA_i}$.

Геометричні співвідношення згущення дискретно представленої кривої (ДПК) при наявності дотичних. Як і в попередньому випадку, геометричний алгоритм рішення потребує розгляду ДПК на трьох послідовних ділянках, які визначаються вузлами $x_{i-1}, ..., x_{i+2}$ (рис. 15.11).

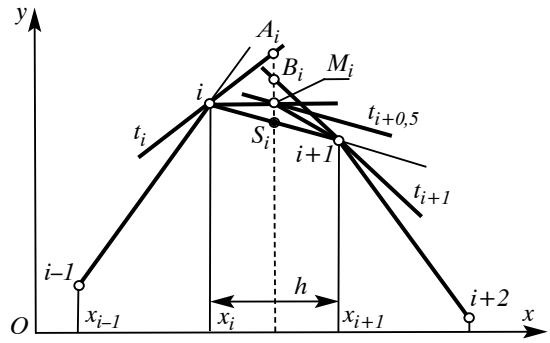


Рис. 15.11. Схема згущення ДПК при наявності дотичних

Згущення при наявності дотичних робить процес більш стійким, передбачуваним, спрощується розв'язання задачі запобігання осциляції. При цьому процес згущення ДПК стає нероздільним зі згущенням дискретного графіка значень її похідних.

Можна запропонувати два варіанти побудови точки загущення на ділянці (x_i, x_{i+1}):

1. Спочатку розрахувати межі для області вибору точки загущення $y_{i+0,5}$, вибрати саму точку $y_{i+0,5}$, виходячи з її положення, а потім розрахувати межі області для вибору значення похідної y'_{i+0}, і вибрати саме значення $y'_{i+0,5}$;

2. Навпаки, спочатку розрахувати точку загущення $y'_{i+0,5}$ графіка похідної, а потім визначити, виходячи з цього, межі області для вибору $y'_{i+0,5}$ і вибрати саму точку загущення $y'_{i+0,5}$.

Розглянемо перший варіант. Знаходимо ординату $y'_{i+0,5}$.

$$y_{i+0,5} = y_{si} + \mu \times \min(S_iB_i,\ S_iA_i),$$

$$\text{Де} - S_iA_i = \frac{h}{2}\left(y'_i\,\frac{y_{i+1} - y_i}{h}\right),\ S_iB_i = \frac{h}{2}\left(\frac{y_{i+1} - y_i}{h} - y_{i+1}\right),$$

$$\mu = \frac{M_iS_i}{\min(S_iB_i,\ S_iA_i)}$$

Після цього необхідно визначити $y'_{i+0,5}$, для якої верхня межа її положення, за умови відсутності осциляції, обмежується хордою $(i, i+0,5)$, нижня межа — хорда $(i+0,5, i+1)$. У межах кута суміжності цих хорд вибирається дотичні $t_{i+0,5}$.

$$\frac{y_{i+1} - y_{i+0,5}}{h/2} < y'_{i+0,5} < \frac{y_{i+0,5} - y_i}{h/2}$$

Цей алгоритм, в методах Найдиша, найбільш загальний і в найбільшій мірі відповідний варіативному дискретному геометричному моделюванню, коли результат, тобто значення $y_{i+0,5}$ та $y'_{i+0,5}$, не розраховується однозначно, а вибирається з області рішень (смуги дифпроекцій), де забезпечені вимоги задачі.

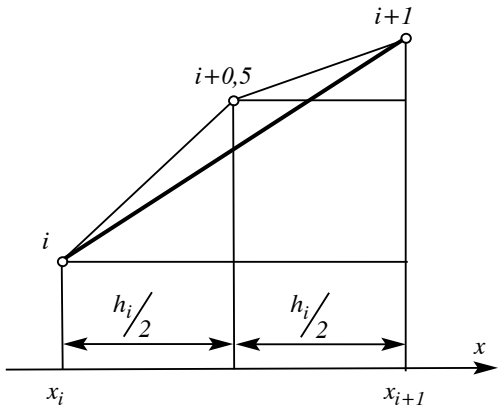


Рис. 15.12
Геометрична модель для згущення на основі поділених різниць

Треба зауважити, що не все так просто в алгоритмах Найдиша і практична робота з ними потребує значної кваліфікації проектувальника, або повної автоматизації розрахунків. На момент написання цього підручника, процес створення автоматичної системи розрахунків, знаходиться в стадії розробки.

Згущення на основі поділених різниць. Поділені різниці, особливо співвідношення між їх значеннями уздовж точкового ряду дискретно представленої кривої (ДПК), деякою мірою відображають внутрішню геометрію цієї ДПК. Логічною є спроба застосувати їх для побудови точок загущення. Розглянемо сегмент $(i,i+1)$ і побудуємо точку загущення $(i+0,5)$ (рис. 15.12).

Запишемо поділені різниці Δ:

$$\Delta^1_i=\frac{y_{i+0,5}-y_i}{h_i/2};\ \Delta^1_{i+0,5}=\frac{y_{i+1}-y_{i+0,5}}{h_i/2};\ \Delta^0_i=\frac{y_{i+1}-y_i}{h_i/2};$$

Виключаючи із перших двох рівнянь невідоме $y_{i+0,5}$, і враховуючи третє рівняння, маємо:

$$\Delta^1_i+\Delta^1_{i+0,5}=2\Delta^0_i,\ i=\overline{0;\ n-1}$$

Узагальнимо це рівняння на випадок побудови (k_i-1) точок згущення на тій же ділянці (сегменті) $(i,i+1)$:

$$\Delta^1_i+\Delta^1_{i+\frac{1}{k}}+\Delta^1_{i+\frac{2}{k}}+...+\Delta^1_{i+\frac{k_i-1}{k}}=K_i\Delta^0_i$$

де k – число поділень ділянки $(i,i+1)$.

Якщо припустити, що ці K загущених точок повинні утворювати опуклу криву, то вибрана в області рішень для i– тої точки поділена різниця першого порядку $\overline{\Delta^1_i}$ приймає значення:

$$\overline{\Delta^1_i}=\frac{1}{4}\ (3\Delta^0_t+\Delta_{i-1}),$$

то ординати точок загущення можна визначити за формулами:

$$y_{i+\frac{1}{k_i}}=y_i+\overline{\Delta^1_i}\cdot h,$$

$$y_{i+\frac{2}{k_i}}=y_i+(2\overline{\Delta^1_i}-\overline{a_i})\cdot\overline{h},$$

$$y_{i+\frac{m}{k_i}}=y_i+(m\cdot\overline{\Delta^1_i}-\frac{m(m-1)}{2}\cdot\overline{a_i})\cdot\overline{h},\ m=\overline{1;\ k-1}$$

тут $\overline{h} = \frac{h}{k}$ – крок рівномірної сітки після поділення ділянки $(i, i+1)$;

$\overline{a_i}$ – вибрана в області рішень стала величина, що забезпечує визначення кожної наступної поділеної різниці меншою на $\overline{a_i}$ по відношенню до попередньої і визначається:

$$\overline{a_i} = \frac{1}{2(k_i - 1)} (\Delta^0_{i-1} - \Delta^0_i).$$

Для визначення ординат точок загущення можна запропонувати також рекурентні формули:

$$y_i + \frac{m}{k_i} = y_i + \frac{m-1}{k_i} + [\overline{\Delta^1_i} - (m-1) \cdot \overline{a_i}] \cdot h,\ m = \overline{1; k-1}.$$

Треба зауважити, що тут спрощено викладена загальна ідея цього методу Найдиша, він потребує подальших досліджень по узагальненню його для інших засобів розрахунку ДПК довільної конфігурації, врахування інших обмежень у вузлах і таке інше.

До методів на основі геометричних співвідношень, розроблених Найдишем, відносяться:

– дискретна інтерполяція на основі кутів згущення;
– згущення за допомогою рівноланкової дискретно представленої кривої;
– згущення в полярній системі координат;
– згущення в околі особливих точок.

Коротко зупинимось ще на двох напрямках досліджень у методах Найдиша:

– дискретна інтерполяція на основі тотожностей згущення;
– дискретна інтерполяція на основі базисних функцій.

Розглянемо перший з них. Тотожності згущення відіграють важливу роль в теорії та практиці інтерполяції. Вони є найбільш загальними співвідношеннями між параметрами дискретно представленої кривої, що визначають її внутрішню геометрію, вони не залежать від системи координат, засобів згущення, конфігурації кривої і т. ін..

Центральними різницями δ – називається скінчена різниця, віднесена до середньої точки або середнього інтервалу для множини точок, що беруть участь у її визначенні. Наприклад, центральна різниця другого порядку в точці і:

$$\delta = y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1},\ i = \overline{1; n-1}.$$

Якщо позначити δ^0_i – центральна різниця в i-тій точці до згущення і δ^1_i – після першого кроку згущення, виключити з системи рівнянь невідомі $y_{i-0,5}$ і $y_{i+0,5}$, то отримаємо основну тотожність загущення:

$$\delta^1_{i-0,5} + 2\delta^1_i + \delta^1_{i+0,5} = \delta^0_i,\ i = \overline{1; n-1}.$$

Ця тотожність не залежить від способу згущення, номеру точки і конфігурації точкового ряду. Рішення системи, складеної із основних тотожностей згущення, приводить до формули, за допомогою якої можна розрахувати ординати точок загущення по довжині всієї ДПК:

$$y_{i-0,5} = \frac{1}{2}(y_i + y_{i+1} - \delta^1_{i+0,5}).$$

Простота розрахунку і можливість локальної корекції кривої за рахунок вибору в області рішень нового значення $\delta^1_{0,5}$ роблять спосіб перспективним.

На основі згущення кривої за допомогою тотожностей розроблені алгоритми:

- згущення шляхом введення додаткових рівнянь;
- згущення на основі кутових параметрів;
- згущення шляхом введення додаткових рівнянь на основі кутових параметрів.

Розглянемо анотаційно останню,третю групу методів інтерполяції Найдиша на основі базисних функцій.

Метод базисних функцій є найпростішим і легко реалізованим методом згущення, тому що не потребує і не використовує визначення області рішень, суть якого полягає в наступному. Виходячи з заданої точності наближення й інших геометричних вимог моделювання, обирається базисна функція інтерполяції, припустимо, алгебраїчний поліном третього степеня, що визначається 4-ма точками y_i у вузлах x_i, $i=1–1; i+2$, (рис. 15.13).

Через обрані точки проводиться вказаний поліном і розраховується приналежна йому середня точка $y_{i+0,5}$ за формулою

$$y_{i+0,5} = \frac{+1}{16}(y_{i-1}+9y_i+9y_{i+1}-y_{i-2}),\ i=\overline{1;\ n-2}\ .$$

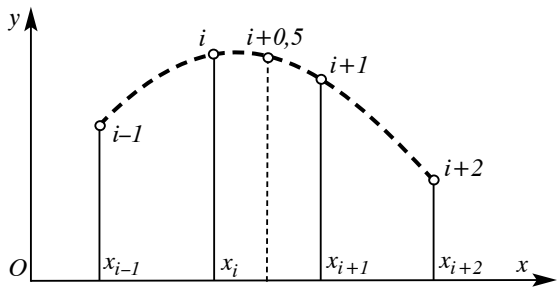


Рис. 15.13. Схема згущення за допомогою полінома третього степеня

Далі проводиться зрушення усього сегмента на інтервал вправо й аналогічно розраховується наступна точка загущення на основу наступної четвірки точок. Зауважимо, що ця четвірка має з попередньою четвіркою 3 спільні точки, забезпечуючи в такий спосіб тісне ув'язування геометричних параметрів сусідніх ділянок. Але, при цьому, кожна з отриманих точок $y_{i+0,5}$ на першому кроці і $y_{i+1,5}$ – на другому, належать різним поліномам третього степеню (3-поліномам), їх належність одному 3-поліному можлива тільки тоді, коли 5 точок вихідного ряду взяті на одному 3-поліномі.

Поліном використаний для побудови точки загущення $i+0,5$ названий Найдишем базисним поліномом. В якості базисних функцій можна застосувати не тільки алгебраїчні, тому метод названий методом базисних функцій. Точка інтерполяції $i+0,5$ береться на середній ділянці тому, що похибка згущення в цьому випадку мінімальна.

Недоліками методу є детермінованість згущення, відсутність вибору, а отже, і корекції розв'язку за допомогою варіацій в області рішень, тому що вона в методі не визначається. Для запобігання осциляції треба вживати заходи, що виходять за рамки методу.

Метод розвивається в бік застосування різних базисних функцій, вивчення умов, що запобігають виникненню осциляцій, врахування дотичних в кінцевих точках, використання спеціальних функцій, а також функцій в параметричній формі і таке інше.

Розглянуті методи побудови кривих Найдиша можуть розв'язувати досить складні задачі, що не під силу неперервним методам інтерполяції.

15.3. Конструювання кривих поверхонь

У багатьох галузях виробництва, таких, як виробництво літаків, автомобілів, кораблів вироби мають складні поверхні, які не можна описати одним векторно-параметричним рівнянням. Тому найчастіше в комп'ютерній графіці застосовують дискретний спосіб задання поверхні.

В ході конструювання поверхонь повинні бути задоволені ті ж вимоги і розв'язані ті ж задачі впорядкування, апроксимації та інтерполяції, управління формою що й при моделюванні кривих. Алгоритми розв'язання теж багато в чому схожі. Розглянемо загальні принципи, приклад впорядкування даних і застосування відсіків.

А. Принципи моделювання

Нехай поверхня представлена параметрично як вектор-функція $r=r(u,v)$, а вихідні дані – набір крайових умов, точок, тощо, – як $R(u,v)$. Процедуру моделювання можна представити так:

$p(r; u,v)=\varphi_{u,v} R(u,v),$

де $\varphi_{u,v}$ – породжуючий оператор.

Оскільки побудова породжуючогооператора в просторі функцій двох змінних є складною задачею, більшість способів зводиться до його представлення як композиції одновимірних операторів φ_u та φ_v. Найчастіше використовуються ***декартовий добуток і суперпозиція.***

В першому випадку, при кінцевій кількості значень $R(u_i,v_i)$, моделювання має вигляд

$$p(r;u,v)=\sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{m}\varphi_{i,m}(u)\varphi_{i,n},(v)R(u_i,v_j),$$

де $\varphi_{i,m}(u)$ і $\varphi_{i,m}(v)$ – апроксимаційні або інтерполяційні функції однієї змінної.

У другому випадку поверхня представляється як

$$p(r;u,v)=(\varphi_u+\varphi_v-\varphi_u\times\varphi_v)R(u,v)$$

Вихідні дані пов'язуються з функціональними, естетичними, технологічними та іншими вимогами.

Б. Перехід від точкового завдання до лінійного каркасу

Нехай вихідні дані представлено невпорядкованим масивом точок (рис. 15.14), а в процесі моделювання слід перейти до завдання поверхні каркасом ліній (це можуть бути різні сплайни, або інші криві в залежності від вимог до гладкості, точності тощо).

В процесі підготовки даних із множини точок обираються впорядковані множини для кожної із ліній каркасу, виходячи з таких критеріїв:

- дві лінії однієї сім'ї не мають спільних точок;
- границі поверхні розділяються кутовими точками на чотири частини так, щоб початкові і кінцеві точки ліній однієї сім'ї знаходились на протилежних сторонах і в заданих точках;
- лінії проходять через або є наближеними до заданих точок (рис. 15.15а).

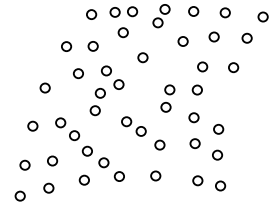


Рис. 15.14. Вихідні дані для моделювання поверхні

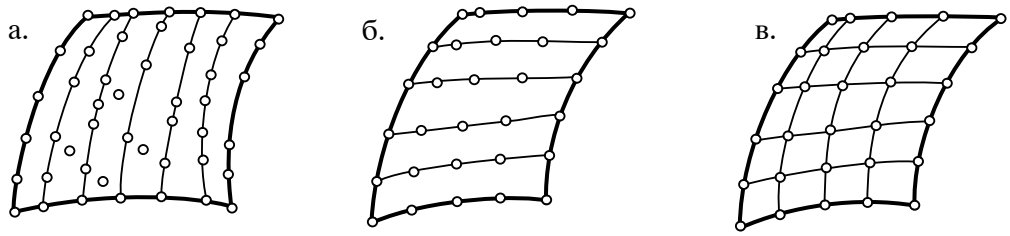


Рис. 15.15. Перехід до завдання поверхні каркасом ліній

Далі для кожної з підмножин точок однієї сім'ї будується сплайн, який представляє відповідну лінію. Вводиться впорядкована сітка (з однаковою кількістю точок для всіх ліній) і обчислюються координати точок (рис. 15. 15б). Через ці точки, в разі потреби, можуть проводитися лінії другої сім'ї, теж представлені сплайнами. Будується каркас із ліній двох сімей (рис. 15.15в).

В разі потреби, поверхня може задаватись каркасом спеціальних ліній – горизонталей, ліній ухилу, головних кривин, геодезичних (відповідають найменшій відстані між точками) тощо, які будуються відповідним чином за спеціальними алгоритмами.

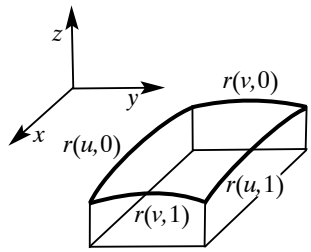


Рис. 15.16. Найпростіша апроксимація поверхні методом Кунса

В. Перехід від лінійного каркасу до завдання відсіками

По дві суміжні лінії з кожної сім'ї визначають границі відсіку поверхні (ці умови можуть доповнюватись значеннями похідних, заданими або обчисленими). Така інформація використовується для визначення рівнянь відсіків, що аппроксимують поверхню. Одним із способів цього є ***метод Кунса*** (рис. 15.16).

В простому варіанті відсік визначається тільки за чотирма граничними кривимиг *(u,0), r(u,1), r(0,v), r(1,v)*:

$$p(u,v)=r(u,0)(1-v)+r(u,1)v+r(0,v)(1-u)+r(1,v)u-$$
$$-r(0,0)(1-u)(1-v)-r(0,1)v(1-u)-r(1,0)u(1-v)-r(1,1)uv$$

Самоконтроль. Який порядок гладкості поверхні забезпечується в цьому випадку?

При потребі забезпечення високих порядків гладкості лінійні функції спряження замінюються багаточленами високих ступенів, а граничні умови доповнюються похідними в напрямах, перпендикулярних до граничних кривих.

Г. Побудова відсіку поверхні Найдиша. Дамо наступне визначення

Визначення 15.5. ***Поверхнею Найдиша*** *називається дискретно представлена поверхня (ДПП), яка утворюється з точкової множини у просторі, шляхом встановлення між елементами співвідношень метричного, позиційного, диференціально-геометричного характеру, що визначають її внутрішню геометрію і можливість її двовимірної параметризації, яка будується, з необхідною щільністю у вигляді набору точок загущення, за допомогою прийнятого алгоритму згущення.*

Вихідними даними для поверхні Найдиша можуть бути неупорядкованим або упорядкований точковий каркас, у разі, якщо поверхня представлена неупорядкованим каркасом, то треба зробити перехід до упорядкованого (рис. 15.17).

Дійсно, коли кожного разу для побудови точки загущення поверхні при одних і тих же заданих x_i і y_i, застосовується один і той же алгоритм, який не допускає випадковостей, будемо отримувати ту саму точку загущення на поверхні, яка визначається аплікатою z_i. В цьому разі не потрібно знаходити для поверхні, що будується, аналог неперервної інтерполяції. Таким чином, ущільнений набір точок загущення однієї комірки, наближаючись до межі цієї комірки, а на межі співпадаючи з точками кривої, що її утворює, плавно, не утворюючи ребра, переходить у дискретний набір точок загущення сусідньої комірки. Тим самим, поверхні Найдиша вирішують одну з головних проблем побудови поверхонь, які поділені на комірки, це дотримання гладкості на межі двох комірок. Для поверхонь Найдиша це питання взагалі не виникає, тому що при згущенні поверхні використовуються алгоритми згущення, які не допускають виникнення особливих точок на згущенній кривій, що приводить до унеможливлення появи ребра злому поверхні на межі двох комірок. Поверхні Найдиша, при їх побудові, враховують необхідні диференціально-геометричні характеристики, яким ця поверхня повинна задовольняти. Так, наприклад, аналогом частинних похідних є частинні поділені різниці першого порядку $\Delta_x z_{ij}$, $\Delta_y z_{ij}$ та другого порядку $\Delta_{xx} z_y$, $\Delta_{yy} z_{ij}$, $i=0; m-1; j=0; n$, геометрична суть їх та сама, що і для одновимірного випадку. Визначаються поділені частинні різниці на множині вузлових точок 4-кутної комірки.

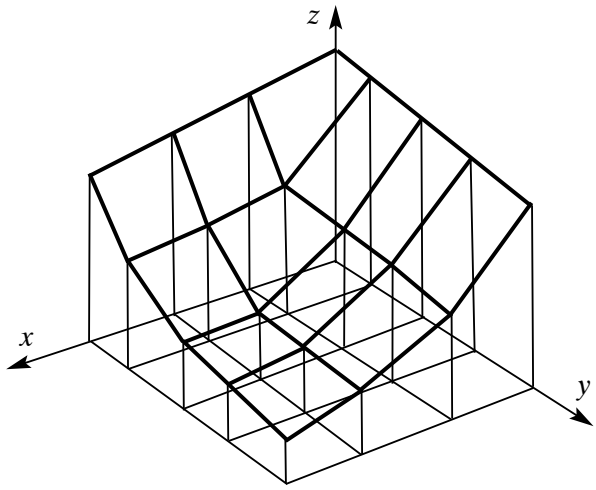


Рис. 15.17. Упорядкований точковий каркас ДПП

Із усього розмаїття алгоритмів двовимірного згущення (інтерполяції), запропонованих Найдишем, у якості приклада пропонуємо послідовну дискретну інтерполяцію.

Розглянемо послідовну дискретну інтерполяцію поверхні, представленої дискретною множиною вузлових значень і дотичною площиною на прямокутній у плані сітці $0x_iy_i$ (рис. 15.17).

Множини можна розділити на дві лінійні підмножини дискретно представлених кривих з дотичними у вузлах. Для згущення комірки, яка знаходиться всередині, необхідно задіяти геометричну інформацію комірок, що знаходяться навколо неї – таких комірок вісім. Це необхідно для отримання смуги рішень, яка запобігає виникненню точок осциляції

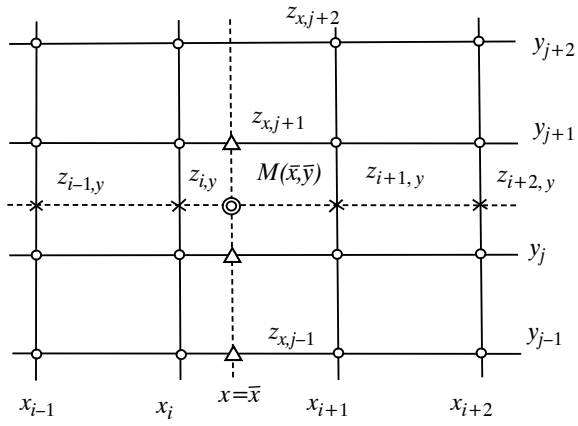


Рис. 15.17. Схема послідовної інтерполяції ДПП

на поверхні. Виходячи з геометричного алгоритму пропонується аплікату $\overline{Z}$ точки М $(\overline{x}, \overline{y})$ знаходити як результат перетину просторових кривих поверхні, в плані їх проекцій позначені трикутниками, з кривими, проекції яких позначені хрестиками (рис. 15.17).

Підсумовуючи, звернемо увагу на те, що поверхні Найдиша, при їх згущенні (інтерполяції), гарантують відсутність виникнення ребер на кордонах комірок, чим забезпечується їх гладкість, а також відсутність осциляцій. Це головні переваги перед існуючими методами побудови поверхонь.

Самоконтроль. Викладіть послідовність побудови поверхні Найдиша. Які основні переваги має ця модель?

15.4. Поняття про твердотільне моделювання

Твердотільними *називаються геометричні моделі об'ємних тіл.* Їх застосування обумовлене сучасними технологіями комп'ютерного проектування, коли спочатку моделюється об'ємні структури, а потім виготовляються двовимірні креслення. У більш ранніх технологіях було навпаки – за плоскими моделями синтезувалося тривимірне зображення.

Для твердотільних моделей вимоги до геометричної інформації подібні до попередніх. Відмінності обумовлені особливостями застосування, а саме, акцентом на забезпеченні наочності об'ємно-планувальних композицій в будівництві, при генерації пейзажів, зображенні складальних одиниць в машинобудуванні. Вони виражаються в зміні вимог до точності представлення, іншому наборі базових елементів і операцій, описі структури об'єктів і, зрозуміло, зростанні складності математичного апарату.

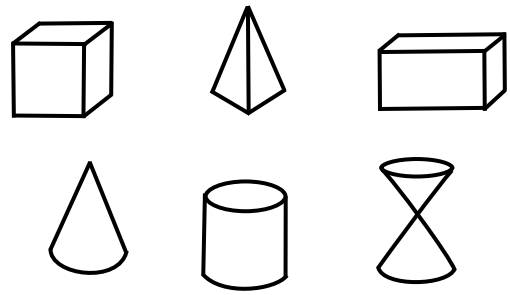


Рис. 15.18. Базові тривимірні елементи

До базових елементів відносяться, як правило, багатогранники, прості поверхні обертання (рис. 15.18), в спеціалізованих системах автоматизованого проектування – найпоширеніші деталі або конструкції із предметної області проектування. Користувач має справу з наочними зображеннями примітивів в тих чи інших проекційних системах, як правило – ортогональних проекціях, аксонометрії та перспективі, рідше – проекціях з числовими позначками.

До операцій відносяться об'єднання, перетин, доповнення, інші алгебрологічні операції, трансформації, переміщення, тощо.

Лінгвістичні засоби мають суміщати в рамках структур об'єктів описи зв'язків об'ємних примітивів і припустимі операції.

Графічними редакторами, де реалізовані такі структури, є AutoCAD, ArchiCAD, 3D Studio Max, Pro/Engineer, Euclid, IronCAD, Solid Works та інші. Деякі з них описані у подальших розділах цієї частини.

Самоконтроль. Як твердотільні моделі співвідносяться із новими технологіями автоматизованого проектування?

У яких програмних продуктах використовуються твердо тільні моделі?

16. ГРАФІЧНИЙ РЕДАКТОР AUTOCAD

AutoCAD – це розроблена компанією Autodesk двовимірна і тривимірна система автоматизованого проектування і креслення, яка на сьогоднішній день є найпоширенішою у світі (6 млн. легальних користувачів). Завдяки вдалому інтерфейсу, Autocad є досить простим у використанні.

Компанія Autodesk займається розробкою системи автоматизованого проектування Autocad с 1982 року. За цей час були створені тисячі доповнень і спеціалізованих програм від самої Autodesk та сторонніх фірм. На базі AutoCAD для вирішення спеціалізованих завдань побудовано сімейство програмних продуктів inDesign. Формат даних AutoCAD (DWG, DXF, DWF) є загальновизнаним світовим стандартом обміну графічною інформацією та її зберігання.

Завдяки розвиненим засобам написання додатків, цілий ряд розробників обрав AutoCAD у якості базового пакета для створення машинобудівних, архітектурних, будівельних, геодезичних програм, систем інженерного аналізу тощо. Використання вбудованих мов програмування Visual LISP, VBA і підтримка C++ дозволяють налаштувати AutoCAD під конкретні задачі користувача.

На момент написання підручника, поточною версією програми є AutoCAD 2012.

16.1. Загальні відомості

А. Призначення

AutoCAD містить засоби двовимірного проектування і оформлення креслень, а також інструменти твердотільного моделювання і використовується для виконання машинобудівних креслень, а у спеціально налаштованих варіантах – і для архітектурно-будівельних креслень, землевпорядних креслень, креслень схем. Новітні технології, закладені в цій системі, забезпечують колективну роботу над проектом з урахуванням стандартів підприємства та різних методів проектування.

Б. Системні вимоги

AutoCAD 2011 постачається у 32-х та 64-х розрядних версіях.

Для коректної роботи 32-хрозрядної версії AutoCAD 2011 необхідні:

- Операційна система Microsoft Windows 7 Home Premium або вище; Microsoft Windows Vista Home Premium або вище із пакетом оновлень SP1 або SP2; або Microsoft Windows XP Professional із пакетом оновлень SP2 або пізнішим;
- Двоядерний процесор Intel Pentium 4 або AMD Athlon з тактовою частотою 3 ГГц або вище, з підтримкою технології SSE2;
- 2 ГБ оперативної пам'яті;
- 1,8 ГБ на жорсткому диску;
- Відеоадаптер з обсягом пам'яті не менше 128 МБ, з підтримкою роздільної здатності екрану 1280 x 1024, режиму «true color», шейдерів версії 3.0 та Microsoft Direct3D.
- Браузер Microsoft Internet Explorer 7.0 або більш пізньої версії.

Для 64-разрядної версії вимоги аналогічні, але версія операційної системи має бути 64-хрозрядною.

В. Основні можливості

Для машинобудівників програма забезпечує:

- створення робочої документації й обміну проектними даними;
- автоматизація креслення та візуалізації, що полегшує повсякденну роботу, прискорює перевірку та коригування проектів та скорочує кількість помилок;

● безперешкодний обмін даними з користувачами Autodesk Inventor на основі формату DWG;

● велика бібліотека матеріалів разом з можливостями роботи з PDF-файлами забезпечує прозорий обмін даними із замовниками, колегами, постачальниками й партнерами.

Для будівельників та архітекторів, завдяки потужним засобам ескізного 3D моделювання довільних форм, створення 2D параметричних креслень, а також можливості імпорту й публікації PDF-Файлів, AutoCAD значно підвищує ефективність проектування й підготовки робочої документації.

Функціональні можливості спеціального настроювання (desktop) AutoCAD Electrical дозволяють автоматизувати електротехнічне проектування й підвищити ефективність випуску робочих креслень, надаючи проектувальникам наступні переваги:

● підтримку міжнародних стандартів оформлення креслень і великі бібліотеки стандартних компонентів і умовних позначень;

● повний набір спеціалізованих функцій і засобів для електротехнічного проектування, що дозволяє підвищити продуктивність роботи;

● автоматичну перевірку помилок, що дозволяє виявити їх до випуску виробу у промислове виробництво;

● засоби проектування схем;

● засоби компонування панелей;

● повне керування клемами;

● керування даними й формування звітів;

● єдину цифрову модель, що полегшує спільну роботу проектувальників механічної й електричної частин проекту;

● засоби розробки програмованих логічних контролерів;

● засоби перенесення даних

Настроювання AutoCAD Civil 3D використовується для проектування об'єктів інфраструктури і призначене для землевпорядників, проектувальників генплану і проектувальників лінійних споруд, таких, як дороги чи мости. Крім того, AutoCAD Civil 3D може виконувати такі види робіт, як геопросторовий аналіз для вибору підходящого будівельногомайданчика, аналізу зливових стоків, складання кошторису і динамічних розрахунків обсягів витрат.

Настроювання AutoCAD MEP орієнтовано на проектування інженерних будівельних мереж: систем водопостачанняі каналізації, опалення і вентиляції, електрики, пожежної безпеки. Реалізована побудова тривимірної параметричної моделі, одержання креслень і специфікацій на її основі.

Г. Елементи інтерфейсу

При запуску програми користувач отримує доступ до вікна привітання (рис. 16.1), де знаходяться відеодовідки, що допоможуть освоїтися в інтерфейсі програми. Також у вікні можна знайти інформацію про нові можливості та корисні посилання на on-line довідку.

Інтерфейс програми показано на рис. 16.2.

Головне меню (рис. 16.3) представлене рядком інструментів, що забезпечує швидкий доступ до поширених команд. Користувач може вибрати необхідне середовище для моделювання: 2D малювання та анотації, основні 3D інструменти, 3D моделювання. Із зміною середовища зміниться палітра інструментів. Для доступу до класичного меню інструментів AutoCAD необхідно вибрати середовище «Класичний AutoCAD» у падаючому меню.



Рис. 16.1 Вікно привітання

Рядок інструментів складається із декількох панелей, які систематизовані у вигляді закладок, що мають назву відповідно до виконуваної задачі. Деякі панелі стрічки виводять на екран діалогове вікно, пов'язане з даною панеллю. Інструмент запуску діалогового вікна позначається піктограмою зі стрілкою , що знаходиться в правому нижньому куті панелі (рис. 16.4). Ця піктограма вказує на можливість виклику відповідного діалогового вікна.

Стрілка в середині заголовку панелі вказує на те, що можна активізувати випливаючу панель, на якій відображаються додаткові інструменти та елементи управління.

За умовчанням, ця панель закривається автоматично при початку роботи з іншою панеллю. Для зберігання панелі в розгорнутому вигляді необхідно натиснути на значок  , що знаходиться в лівому нижньому куті випливаючої панелі (рис. 16.5).

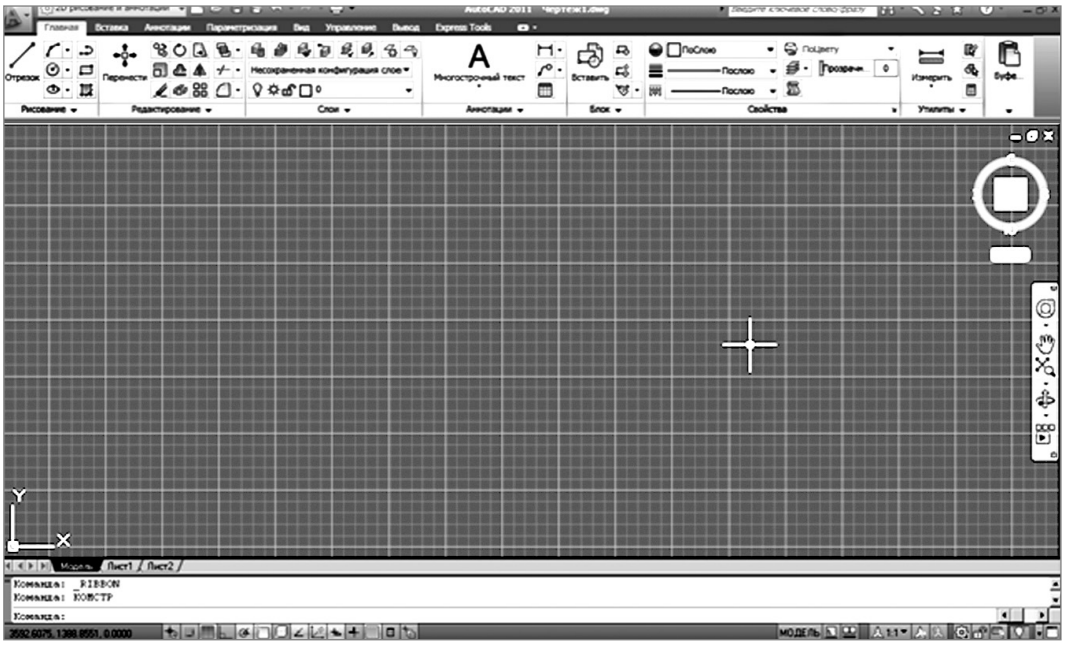


Рис. 16.2. Інтерфейс AutoCAD 2011

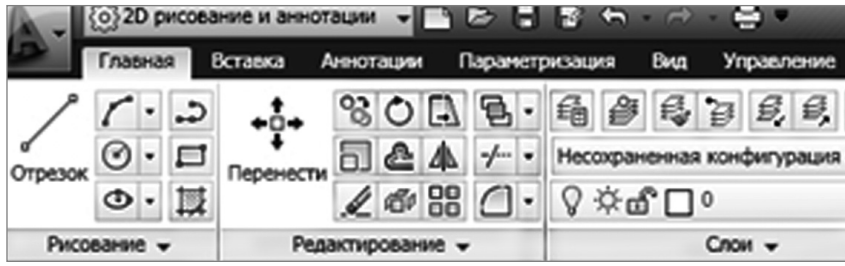


Рис. 16.3 Головне меню програми

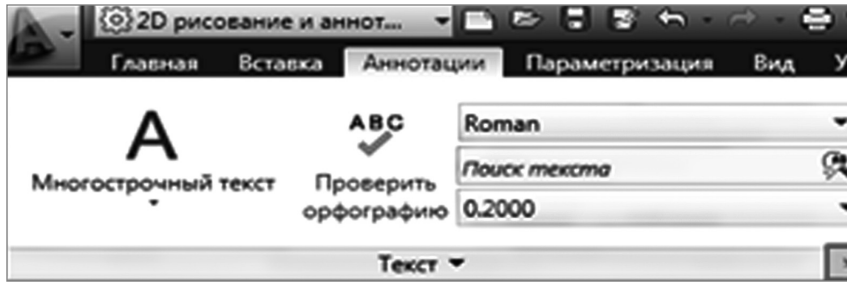


Рис. 16.4 Панель інструментів **Текст**

Доступ до меню **Файл** можна отримати, натиснувши на піктограму  , після чого відкриється падаюче меню. В цьому меню користувач має змогу отримати доступ до останніх файлів, які відкривалися у програмі, створити нове креслення, відкрити або зберегти поточне. При створенні нового креслення користувач має змогу обрати шаблон, на основі якого буде створено новий документ.

Використання шаблонів зберігає значний час при створенні типових креслень, адже не потрібно задавати цілу низку параметрів для кожного креслення, а лише один раз створити та адаптувати шаблон. Зазвичай у шаблоні зберігаються наступні параметри:

- Формат одиниць та їх точність.
- Основні написи та рамки.
- Назва шарів.
- Крок прив'язки та крок сітки.
- Стилі тексту.
- Розмірні стилі.
- Стилі мультивиносок.
- Стилі таблиць.
- Типи ліній.
- Вага ліній.
- Аркуші.
- Набори параметрів аркуша.

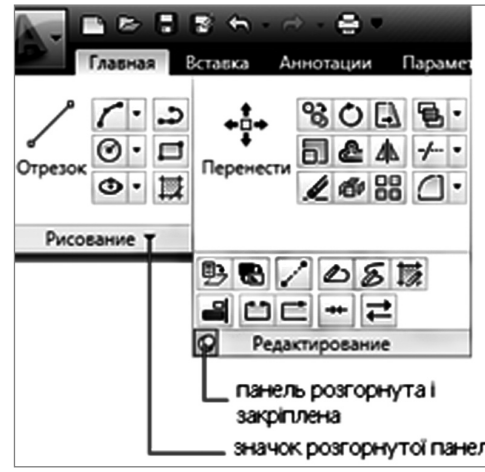


Рис. 16.5 Приклад випливаючої панелі

За умовчанням, файли шаблонів креслень зберігаються в папці «template», в якій можна їх легко знайти. Для задання параметрів за замовчуванням як для папки шаблонів, так і для файлу шаблону креслення, можна скористатися діалоговим вікном ***Настройка***.

При побудові креслення користувач має змогу використовувати не лише візуальні інструменти, а також скористатися командним рядком (рис.16.6).

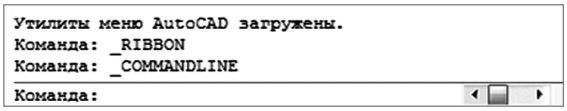


Рис. 16.6 Командний рядок

Команда вводиться за допомогою клавіатури. Деякі команди мають скорочені псевдоніми. Для вводу команди з клавіатури необхідно набрати повну назву команди в командному рядку та натиснути клавішу ENTER або SPACE. Потрібно зауважити, що при включеному параметрі *Динамічне введення* і підключеному відображенні динамічних довідок, можна ввести декілька команд із довідок біля курсору.

Деякі команди мають також скорочені імена. Наприклад, замість того, щоб вводити слово «отрезок» для виконання команди ***Отрезок***, можна ввести «от». Скорочені назви команд називаються псевдонімами команд; всі псевдоніми команд визначені в файлі «acad.pgp».

Щоб знайти потрібну команду, введіть літеру в командному рядку і натисніть клавішу TAB для циклічного переключення між всіма командами, що починаються з цієї літери. Повторно запустити використану команду можна натиснувши правою клавішою миші в командному рядку.

При введенні команд в командному рядку відображається або набір параметрів, або діалогове вікно. Наприклад, при введенні команди ***Круг*** в командному рядку відображається наступна довідка: *«Центр круга або [3T/2T/ККР (кас, кас, радиус)]:».*

Для завдання центра кола можна ввести значення координат *X,Y* або вказати потрібну точку на екрані.

Для повтору команди можна також ввести «несколько» і через клавішу *SPACE* вказати назву потрібної команди, наприклад так: «несколько круг». Для відміни виконуваної команди необхідно натиснути клавішу *ESC*.

Необхідно звернути увагу на рядок стану програми, який містить координати курсору та інструменти для малювання, швидкого огляду та масштабування анотацій (рис. 16.7).



Рис. 16.7 Рядок стану програми

Кнопки інструментів малювання відображаються як позначки або текст. Настроювання інструментів ***Шаг, Отс-поляр, Привязка та Отс-объект*** можна легко змінити в контекстних меню цих інструментів малювання.

Завдяки рядку стану програми можна передивлятися відкриті креслення та аркуші в кресленні, а також переключатись між ними. Крім того, можна вивести на екран інструменти масштабування анотацій.

За допомогою кнопки *Рабочее пространство* можна легко переключатись між робочими просторами. Кнопка *Блокировка* блокує поточне положення панелей інструментів та вікон. Для збільшення відображуваної області креслення необхідно натиснути кнопку *Очистить экран*.

Додавання та видалення кнопок на рядок стану програми виконується в контекстному меню рядка стану.

Необхідно зауважити, що при виключеному рядку стану, на екрані не відображається кнопка *Очистить экран*.

16.2. Пункти головного меню та їх закладки

Пункт ***Главная*** містить закладки ***Рисование, Редактирование, Слои, Аннотации, Блок, Свойства, Утилиті, Буфер,*** для доступу до яких слід натиснути стрілку, розташовану у правому нижньому кутку панелі.

У закладці ***Рисование*** знаходяться інструменти для створення векторних об'єктів двовимірної графіки. Нижче наведені псевдоніми (якщо вони існують) та графічні позначення команд (табл. 16.1.).

Таблиця 16.1.

Основні команди креслення AutoCAD

Назва команди	Піктограма	Повна назва команди	Псевдонім
Основні команди панелі «Малювання»			
Лінія		LINE	L
Промінь		RAY	
Полілінія		POLYLINE	PLINE (PL)
Полігон		POLYGON	POL
Прямокутник		RECTANG	REC
Коло		CIRCLE	C
Дуга		ARC	A
Еліпс		ELLIPSE	EL
Еліпсна дуга		ELLIPSE ARC	
Сплайн		SPLINE	SPL
Кільце		DONUT	DO
Регіон		REGION	



Рис. 16.8.
Варіанти побудови дуги

Графічні примітиви можна побудувати кількома способами. Якщо натиснути на стрілку, розташовану поряд із піктограмою інструменту, ми побачимо список, з якого вибирається спосіб побудови, наприклад, для дуги кола варіанти показано на рис. 16.8.

Крім того, на закладці представлені інструменти для обробки ділянок зображення – *Штриховка, Градиент, Контур, Участок.* Перші два інструменти заповнюють замкнуті ділянки штриховкою або кольором. Інструменти *Контур* і *Участок* допомогають створювати замкнуті ділянки з набору об'єктів.

Інструменти закладки ***Редактирование*** дозволяють змінювати кількість і властивості об'єктів або групи об'єктів (табл. 16.2). При натисненні на стрілку, розташовану поряд із інструментом, розкриється список додаткових інструментів.

Закладка ***Слои*** дозволяє структурувати креслення за допомогою групування однотипних об'єктів, таких, як тексти, розміри, основні написи. Пошарова організація об'єктів надає можливості показувати видимі і невидимі об'єкти, що належать шару, з використанням прозорості, налаштовувати друк об'єктів, призначати колір одночасно всім об'єктам шару, задавати тип і вагу (товщину) ліній за для всіх об'єктів шару, дозволяти або забороняти редагування об'єктів шару, управляти видимістю об'єктів на екрані.

У верхньому ряду групи піктограм розташовані команди навігації і редагування властивостей, а саме:

натиснення піктограми  викликає діалогове вікно *Свойства слоев*, де подано структуру і параметри шарів. Можливо додавати, видаляти або перейменовувати шари, змінювати їх властивості. Фільтри визначають, які шари відображуватимуться у списку та дозволяють здійснювати зміни у групі шарів;

команда  *Заморозить* робить вибрані об'єкти невидимими, а команда  *Отключить* видаляє об'єкти даного шару з креслення;

команда  *Заблокировать* забороняє зміну об'єктів шару, а команда  *Разблокировать* дозволяє їх редагування;

команди  *На текущий слой,*  *Копировать в новый слой* і  *Объединить слои* дозволяють переміщати об'єкти між шарами, а команда  *Удалить* видаляє усі об'єкти з даного шару.

Перш ніж приступити до рисування, необхідно створити декілька шарів, на яких розташовуватимуться об'єкти.

Таблиця 16.2.

Основні команди редагування AutoCAD

Назва команди	Піктограма	Повна назва команди
Основні команди панелі «Редагування»		
3-D дзеркало		MIRROR3D
3-D вирівнювання		3DALIGN
3-D масив		3DARRAY
Масштаб		SCALE
Розтягнути		STRETCH
Обрізати		TRIM
Скруглити		FILLET
Зсув		OFFSET
Дзеркало		MIRROR
Масив		ARRAY
Розчленити		EXPLODE
Фаска		CHAMFER

На закладці ***Свойства*** наведено способи управління основними властивостями примітивів та ліній, а саме: *Цвет, Прозрачность, Тип линий, Вес линий.* Вага ліній відповідає товщині лінії у пікселях при відображенні графічних примітивів і більшості шрифтів. Параметри, наведені на цій вкладці, застосовуватимуться до усіх об'єктів, створених у подальшому, як властивості, прийняті за умовчанням.

Закладка ***Утилиты*** містить:

● інструмент  *Измерить* (вимірювання усіх необхідних розмірів, у тому числі об'єму тривимірного тіла);

● інструмент  *Быстрый выбор* дозволяє кількома клацаннями миші вибрати необхідні об'єкти на кресленні за тими чи іншими критеріями;

● інструмент  *Координати* дозволяє визначити координати об'єкту у поточній системі координат. У AutoCAD є глобальна система координат, що називається світовою, а користувач може ввести локальні системи;

● інструмент *Выбрать все*;

● інструмент *Быстрый калькулятор*.

Закладка ***Буфер обмена***, окрім стандартних можливостей роботи з буфером, містить інструмент  *Копирование свойств.* Цей інструмент дозволяє переносити властивості одного об'єкту на інший об'єкт.

Пункт ***Вставка*** містить інструменти для впровадження, розмноження і управління різними типами даних, згруповані у закладки ***Блок, Определение блока, Ссылка, Множество точек, Импорт, Данные, Связывание и извлечение.***

Блоком називається група графічних примітивів, що обробляються як один об'єкт. Така можливість полегшує повторне використання зв'язаних об'єктів, наприклад, деталей для складального креслення. Можна пов'язувати з блоками текстові дані і у подальшому використовувати їх для складання специфікацій, звітів тощо. Текстові дані можна створювати заздалегідь і додавати їх у блок, або за допомогою інструменту *Редактор блоков*.

Приклад використання команд групи ***Блок*** буде наведено у розділі 17.

Пункт головного меню **Аннотации** містить закладки ***Текст, Размеры, Выносные надписи, Таблицы, Рамки, Аннотированные масштабы, Чертежи***.

Приклади їх використання при виконанні креслень наведено у розділі 17.

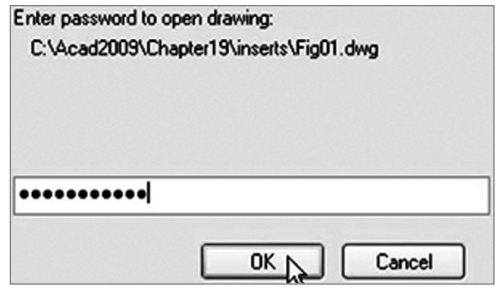
Пункт меню ***Параметризация*** містить інструменти для визначення геометричних і розмірних залежностей між об'єктами. Геометричні залежності задаються між об'єктами або між точками на об'єктів і зв'язують геометричні об'єкти воєдино або визначають їх положення на кресленні. Наприклад, можна задати, щоб відрізок був перпендикулярним до іншого відрізку або пряма лінія була дотичною до кола. Відстані і кути між геометричними об'єктами або точками на об'єктах також можна задати накладенням розмірних залежностей. При подальшому редагуванні ці залежності зберігаються. Геометричну залежність змінити не можна, але її можна видалити і замість неї накласти іншу.

Інші пункти головного меню пов'язані з 3D-моделюванням і налаштуваннями середовища.

16.3. Захист креслень. Збереження даних, обмін з іншими програмами, вивід на друк

AutoCAD має широкі можливості щодо захисту креслень при сумісній роботі над проектом. Користувач має змогу встановити пароль або цифровий підпис на креслення. Для відкриття захищеного креслення необхідно ввести пароль (рис. 16.8). За наявності цифрового підпису, креслення можна відкрити лише за наявності цифрового посвідчення (сертифікату).

Щоб отримати доступ до меню безпеки, де можна встановити пароль та цифровий підпис, необхідно виконати наступні дії: ***Сервис*** – Настройки – *Открытие\Сохранение – Безопасность.*



Вікно завдання паролю.

Збереження та експорт креслень можна виконувати у форматах DWF, DWFx, DXF, DXB, PDF та інших, а також як метафайл Windows (WMF), що забезпечує сумісність з великою кількістю програм, наприклад, Autodesk 3D Max, Autodesk Maya та багато інших (рис. 16.9).

Для публікації креслень в мережі Інтернет або в локальній мережі можна створювати файли DWF – файли 2D векторної графіки). Кожен DWF-файл може містити один або декілька аркушів креслень. Файли DWF можна відкривати, продивлятись та друкувати за допомогою програми Autodesk Design Review. Також існує можливість продивитись DWF-файл в браузері Microsoft Internet Explorer з підтримкою масштабування та панорамування в реальному часі, а також з функціями відображення окремих шарів та іменованих видів.

Формат DXB (двоїчний формат файлу обміну кресленнями) використовується для «спрощення» 3D креслень та перетворення їх в 2D. Всі графічні дані в форматі DXB представляються лише в форматі векторів, що задаються 16-бітними цілими числами. Графіка в файлі формату DXB є монохромною, всім векторним даним присвоюється колір під номером 7. Також не береться до уваги вага ліній, що завдана у властивостях об'єктів та у стилях друку.

AutoCAD також підтримує експорт до файлів Windows BMP, CALS, TIFF, PNG, TGA, PCX и JPEG. Але ці формати креслення не підтримують точність в міліметрах та дюймах, окрім формату Dimensional CALS, який підтримується плотерами. Тип, розмір, глибина кольору растрового зображення визначають розмір файлу. В результаті цього розмір файлу растрового зображення може бути досить великим. Беручи цей факт до уваги, слід обмежуватися тільки тими розмірами і глибиною кольору в точках, які необхідні. Для растрових зображень також можна задати колір фону за допомогою діалогового вікна додаткових властивостей.

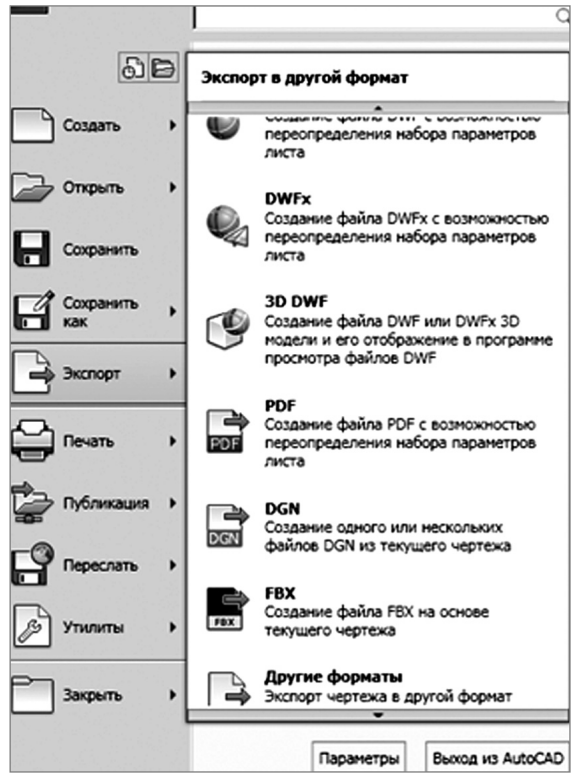


Рис. 16.9. Меню експорту

В Auto CAD існує можливість експорту креслень до формату Adobe Portable Document Format (PDF), який є стандартом для обміну інформацією в електронному вигляді. Файли PDF легко розповсюджуються для огляду та друку в програмі Adobe Reader, яка є безкоштовною. Файли PDF, так само як і файли DWFx, формуються для збереження точності в форматі з векторною основою. Кінцевий файл PDF можна адаптувати, задавши роздільну здатність. В діалоговому вікні властивостей пристрою для друку можна задати роздільну здатність для векторних та растрових зображень в діапазоні від 150 до 4800 точок на дюйм максимум. Також можна задати користувацьку роздільну здатність для векторного, градієнтного, кольорового та чорно-білого кінцевих файлів.

При підготовці креслення до друку або публікації йому назначається певний список параметрів, які зберігаються в файлі креслення у вигляді набору для кожного аркуша. Можна редагувати як окремі параметри, так і застосувати до аркуша збережений набір параметрів.

Для виводу на друк одного аркуша або частини креслення використовується діалогове вікно ***Печать*** (рис. 16.10). В діалоговому вікні ***Печать*** можна задавати набір параметрів друку, а також вибрати пристрій для друку. Для друку декількох креслень слід використовувати вікно ***Публикация***.

Параметри аркуша – це набір пристроїв друку та інших настройок, що визначають вид і формат аркуша і як він буде надрукований та опублікований. Ці параметри можна змінювати та прикріпляти до інших аркушів.

Для друку креслення необхідно задати область для друку. В діалоговому вікні ***Печать*** можна обрати наступні варіанти:

- аркуш або ліміти. На друк виводяться всі об'єкти в межах області друку. Початком креслення є точка аркуша з координатами 0,0. При друкуванні з вкладинки ***Модель***, на друк виводиться вся область малювання, обмежена кордонами сітки.
- кордони. На друк виводиться та частина креслення, яка в даний момент зберігає всі об'єкти та всі об'єкти поточного простору. Креслення може бути регенероване для переліку кордонів перед друком.
- екран. На друк виводиться поточний видовий екран (для вкладинки ***Модель***) або поточний вид простору аркуша на вкладинці розмітки аркуша.
- вид. Друк попередньо описаного та збереженого виду. Ім'я виду вибирається із списку. Якщо в кресленні немає іменованих видів, тоді опція не активна.
- рамка. На друк виводиться виділений фрагмент креслення. За допомогою кнопки *Рамка* можна вказати два протилежних кута або ввести їх координати, які визначать область друку.

При друці з вкладинки ***Лист*** використовуються параметри, встановлені в діалоговому вікні *Параметры листа.* Якщо ж друк відбувається з вкладинки *Модель,* то формат повинен вказати користувач. Формат аркуша паперу при виводі креслення на друк задається в діалоговому вікні ***Печать***. Набір форматів залежить від принтера або плоттера, вибраного в цьому ж вікні.

Якщо необхідно завдати формат паперу, відсутній в списку в діалогових вікнах ***Печать*** або ***Параметры листа***, можна за допомогою редактора параметрів плотера додати користувацький формат аркуша для несистемного плоттера.

Корпорація Autodesk знаходиться в партнерських відносинах з деякими постачальниками послуг 3D-друку. З їх допомогою можна отримати фізичні моделі з 3D моделей, створених в AutoCAD.

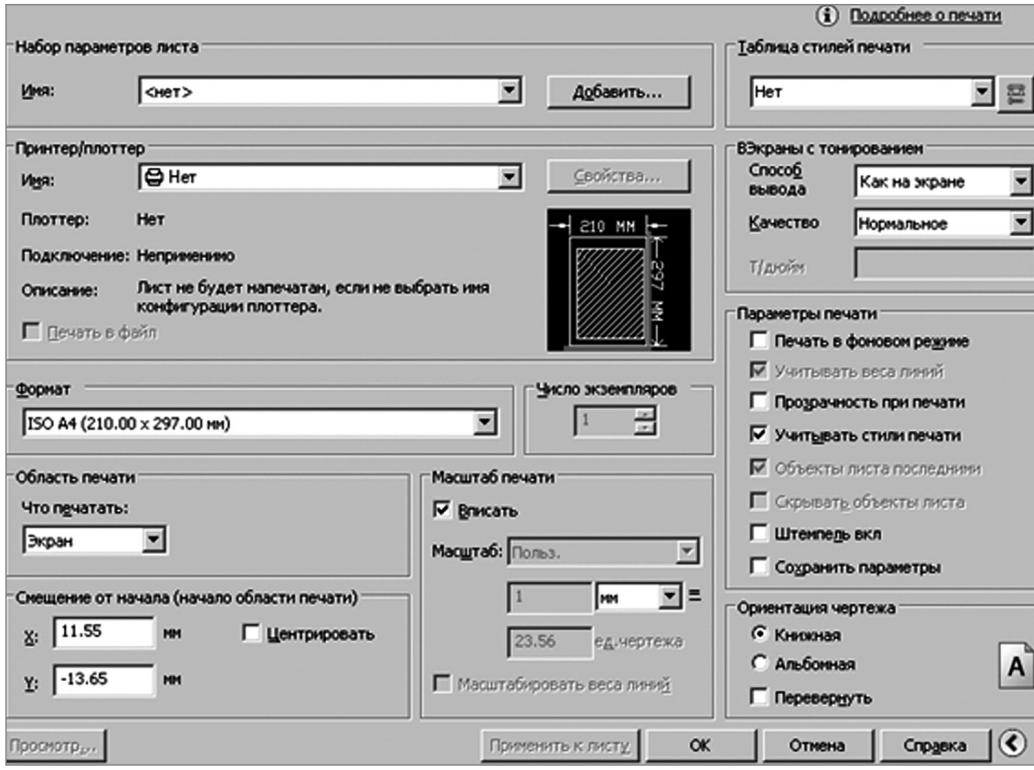


Рис. 16.10. Діалогове вікно виводу на друк

Упроцесі використання команди ***3D ПЕЧАТЬ*** вказуються 3D дані з файлу DWF, котрі перетворюються і надаються у вигляді багатогранної сітки, що складається з трикутників. Це представлення зберігається в форматі двоїчного файлу STL, який може використовувати постачальник послуг 3D друку для створення фізичної моделі.

Самоконтроль. Охарактеризуйте призначення програми AutoCAD.
Назвіть системні вимоги для різних версій AutoCAD 2011.
Визначте та намалюйте на листочку паперу основні елементи інтерфейсу програми AutoCAD.
Охарактеризуйте основні команди креслення.
Які засоби захисту креслень існують у AutoCADi?
Які варіанти збереження даних передбачено у AutoCADi?
Як можна вивести креслення на друк?

17. ВИКОНАННЯ МАШИНОБУДІВНИХ КРЕСЛЕНЬ У ГРАФІЧНОМУ РЕДАКТОРІ AUTOCAD

У даному розділі будуть наведені приклади виконання машинобудівельних креслень за допомогою графічного редактору AutoCAD 2011.

17.1. Виконання креслень деталей

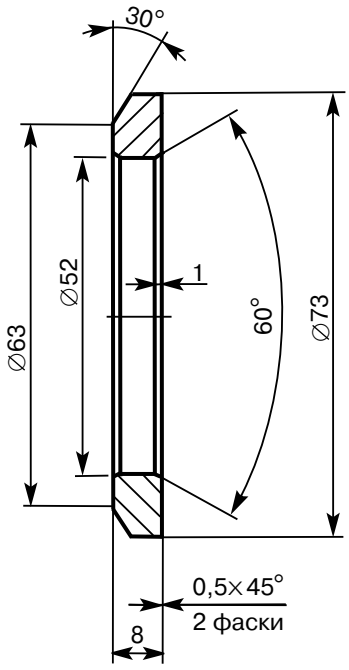


Рис. 17.1. Креслення кільця

Задача 17.1. *Виконати креслення кільця, представленого на рис.17.1.*

Оскільки кільце є тілом обертання, накреслимо половину кільця, а потім відобразимо її відносно осі симетрії.

Побудову почнемо з осі деталі. У **Панелі інструментів** обираємо команду ***Линия*** і креслимо горизонтальну лінію, довжиною не менше ширини кільця 8. Для побудови вказуємо початкову точку та напрямок, вводимо значення 10, натискуємо клавіші *Enter, Esc*.

Креслимо верхню половину кільця. Побудову починаємо з осі, відступивши від краю на відстань 1, як показано на малюнку нижче. Для цього підводимо курсор на крайню праву точку осі, вказуємо напрямок і вводимо значення 1, *Enter.*

Далі вказуємо напрямок дуги й вводимо довжину 36.5, *Enter.*

Креслимо верхню контурну лінію кільця, яка дорівнює ширині кільця 8, *Enter, Esc.*

Побудову лівої контурної лінії почнемо від осі. За прикладом, приведеним вище, вказуємо відстань від лівої кінцевої точки осі, що дорінює 1.

Вказуємо напрямок лінії та вводимо її довжину 31.5, *Enter.*

Не відміняючи операцію побудови лінії, креслимо наклонну лінію так, шоб вона перетинала верхню контурну лінію моделі. Для цього вказуємо напрямок лінії так, щоб кут дорівнював і вводимо довжину лінії 7, *Enter.*

Далі, використовуючи операцію ***Обрезать***, видалимо краї зайвих ліній. Через ***Панель инструментов, Обрезать*** , *Enter*, обираємо по черзілінії, котрі необхідно обрізати, натискуємо *Esc.*

Далі креслимо лінію внутрішнього контуру кільця: ***Панель инструментов>Линия*** . Наводимо курсор на точку перетину осі та лівої контурної лінії. Вказуємо напрямок і відстань від вибранної точки до початкової точки лінії, що дорівнює 26, натискуємо *Enter*.

Вказуємо курсором кінцевуточкулінії, натискуємо *Esc*.

Накреслимо фаску 0,5 x 45°. Для цього на панелі інструментів виберемо піктограму ***Фаска*** . Значення будемо вводити в командний рядок, розташований знизу екрана.

У командномурядку вводимо «у» (тому що фаску будемо задавати через кут), *Enter*. Далі вказуємо довжину фаски 0.5, *Enter*. Вказуємокут нахилу фаски 45°, *Enter*. Вибираємо по черзі дві лінії, що утворюють фаску.

Аналогічно накреслимо фаску в місці, зазначеному стрілками на рисунку 17.2.

Катет фаски вказуємо рівним 1, акут 30°. Вибираємо лінії, на перетині яких необхідно створити фаску.

Креслимо праву внутрішню фаскукільця. ***Панель инструментов>Линия*** . Курсором вказуємо початкову й кінцеву точки лінії, *Esc*.

Створюємо штрихування. ***Панель инструментов>Штриховка*** . У вікні *Штриховка и градиент* у секції *Тип* і *массив* у рядку *Образец* обираємо (рис. 17.3).

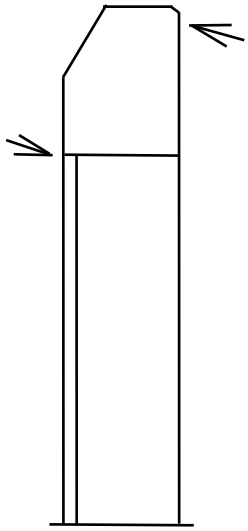


Рис. 17.2.
Місце для фаски

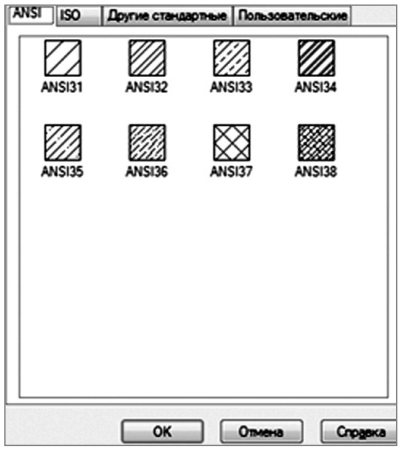


Рис. 17.4. Вибір типу штрихування

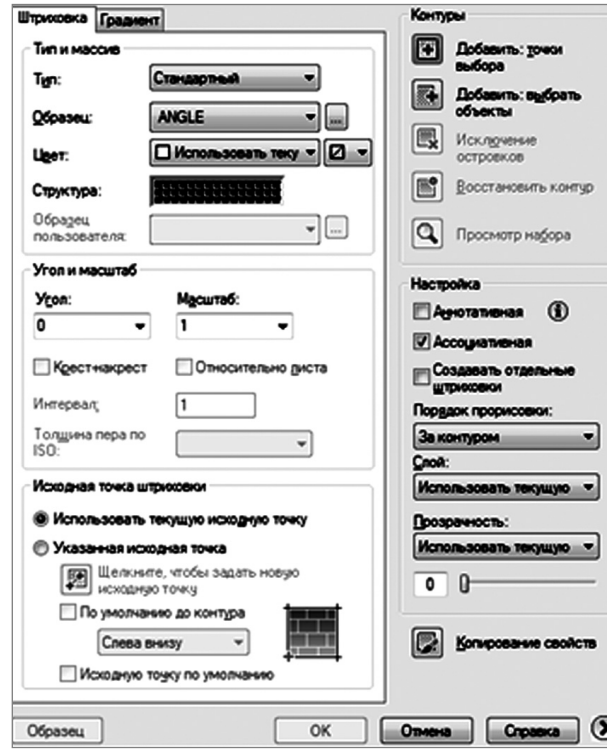
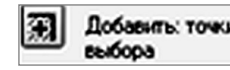


Рис.17.3. Вікно штрихування

З'являється вікно **Палитра образцов штриховки** (рис.17.4), де обираємо закладку ***ANSI, тип штриховки ANSI31, OK.***

У вікні **Штриховка и градиент** у секції *Конструкторы* обираємо 

. На кресленні вказуємо курсором точку в середині області, яку необхідно заштрихувати, *Enter*.

У вікні **Штриховка и градиент** у секції *Угол и масштаб* вводимо кут, рівний 90° і масштаб 0.7:



, OK.

Відобразимо отриману половину моделі відносно осі. **Панель инструментов>*Зеркальное отображение*** . Курсором виділяємо об'єкти, які необхідно відобразити, *Enter*. Виділяємо початкову й кінцеву точки осі (рис. 17.5), *Enter*.

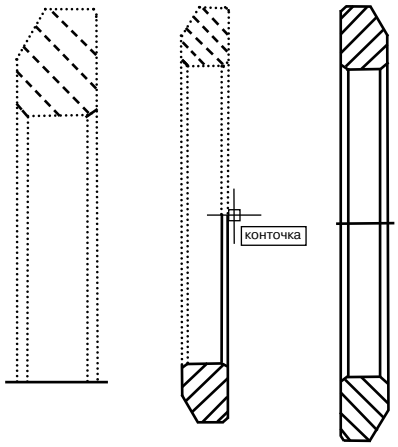


Рис. 17.5.
Послідовність виконання команди
Зеркальное отображение

Наносимо розміри на креслення. У випадаючому меню **Размеры** обираємо ***Линейный***. Курсором вибираємо точки, відстань між якими необхідно позначити.

Відводимо розмірну лінію від лінії правого контуру моделі на необхідну відстань і натискаємо ліву кнопку миші.

Редагуємо нанесенні розміри. Натискаємо два рази лівою кнопкою миші по розмірній лінії, ліворуч робочої площини з'явиться вікно **Свойства**. У пункті *Основные единицы* в рядку *Размерный суффикс* вводимо значення x45%%d, як показано на рис. 17.6, натискуємо *Enter, Esc.*

Аналогічно наносимо всі лінійні розміри.

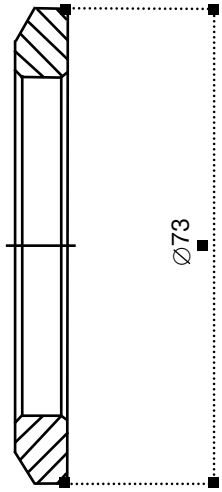
Напис розміру фаски наносимо в такий спосіб: **Размеры >***Линейный*, вказуємо початкову й кінцеву точки фаски, відводимо розмірну лінію від нижнього контуру на необхідну відстань, натискаємо ліву кнопку миші.

Натиснувши два рази на ліву кнопку миші, вказавши значення розміру фаски, у лівій частині робочої площини з'явиться вікно **Свойства**. У підрозділі *Основные единицы* в рядку *Размерный суффикс* вводимо значення x45%%d, як показано на рис.17.6, *Enter, Esc.*

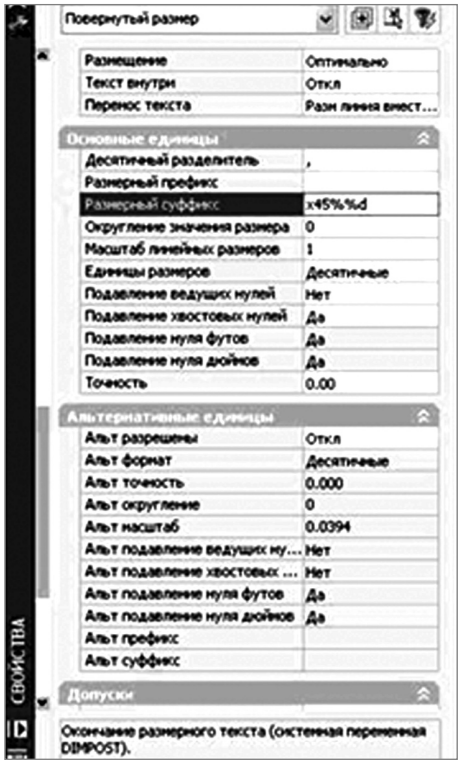


Рис. 17.6. Редагування напису нанесення розмірів

На кресленні дві таких однакових фаски, тому про це необхідно вказати в нанесенні напису розміру. **Панель инструментов> *Текст*** . Вказуємо місце напису.



У вікні вводимо: «2 фаски». Якщо напис не вміщується у вікні, то збільшуємо його за допомогою курсору. При необхідності зміщуємовікно, для цього підводимо до вікна курсор та натискаємо на ліву кнопку миші, утримуючи її, зміщуємо вікно у необхідне місце (рис. 17.7), *Esc.*



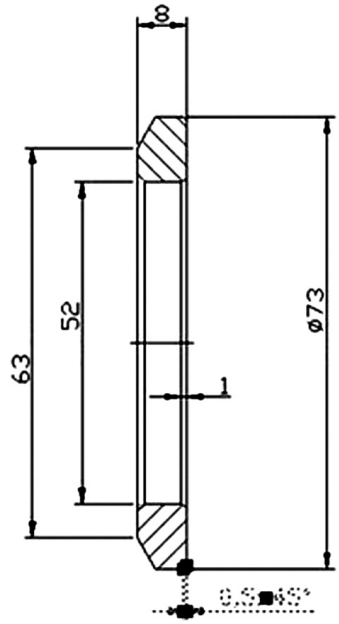
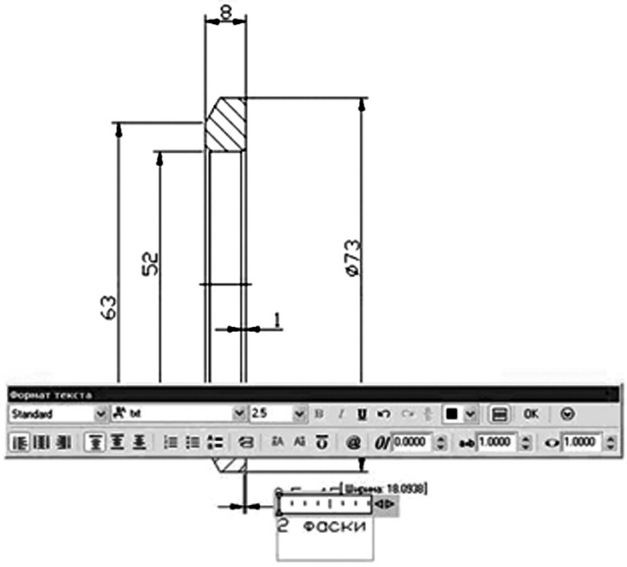


Рис. 17.6. Редагування нанесення напису розміру фаски



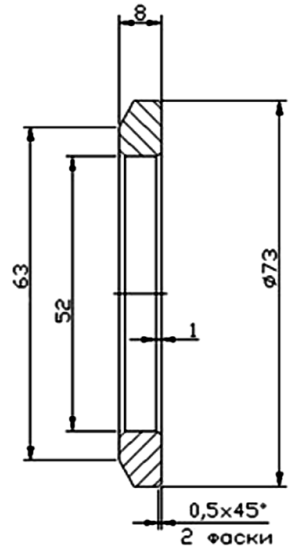


Рис. 17.7. Нанесення написів розміру фаски

Для нанесення знаку ∅ перед розмірами 63 і 52 скористаємося командою ***Копирование свойств*** **Панели инструментов**. Обираємо розмірну лінію діаметром 73, потім виділяємо всі лінії моделіна яких необхідно нанести знак діаметра, *Esc.*

Наносимо на креслення кутові розміри. **Размеры** > *Угловой*. По черзі виділяємо лінії, між якими необхідно відобразити кут, розмірну лінію для кута відводимо від правого контуру креслення на необхідну відстань, яку вимагають ДСТУ, натискаємо курсором.

На цьомукресленні основні лінії треба зробити товстими:

Натискаємо знизу креслення по вкладинці *Лист1*, на екрані відображується креслення в наступному вигляді (рис. 17.8). При необхідності збільшимо виділену рамку за допомогою точок рамки, виділених синім.

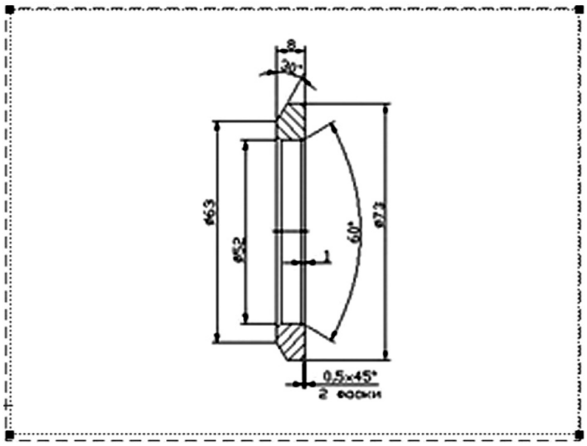


Рис. 17.8.
Перегляд креслення

При необхідності, збільшення/зменшення аркуша або самого креслення, здійснюємо за допомогою кнопки  на **Панели инструментов**, розташованої зверху робочої площини.

Переміщення аркуша або самого креслення здійснюємо за допомогою кнопки  , розташованої на **Панели инструментов** угорі робочої площини. Після виконання цих операцій натискаємо *Esc.*

Після того, як переміщення аркуша або зображення деталі закінчене, натискаємо кнопку *Модель* знизу на панелі повідомлень (рис. 17.9).



Рис.17.9. Панель повідомлень

За допомогою цієї кнопки можна редагувати по черзі або креслення, або аркуш.

Після чого натиснемо кнопку *Вес*, розташовану на панелі повідомлень, за допомогою цієї кнопки на екран виводиться поточний вид ліній.

Виділяємо будь-яку основну лінію креслення. У падаючому вікні, розташованому вгорі робочої площини, вибираємо 0.53 мм., як показано на рис. 17.10.

Надаємо властивості обраної лінії контурним лініям креслення. Натискаємо кнопку *Копирование свойств*  вгорі на **Панели инструментов**. Вибираємо лінію з товщиною 0.53 мм, а потім виділяємо всі основні лінії моделі, *Esc*.

Виконуємо вісь штрих-пунктирною лінією, для цього на **Панели инструментов** вибираємо необхідний тип лінії (рис. 17.11). Якщо тип не присутній, то його треба додати через опцію *Другой*.

Побудову кільця закінчено.

Задача 17.2. *Побудова кронштейна в програмі AutoCad* (рис. 17.12).

Побудову починаємо із правої контурної лінії кронштейна. На панелі інструментів натискаємо кнопку ***Линия***  , на робочій площині визначаємо початкову точку лінії і її напрямок, призначаємо довжину лінії 62.5, *Enter.*

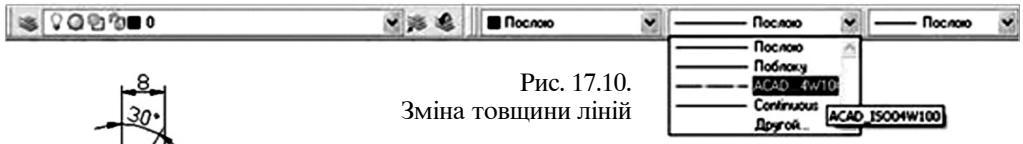


Рис. 17.10.
Зміна товщини ліній

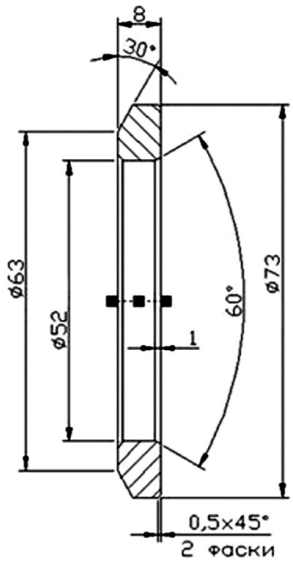


Рис. 17.11.
Зміна типу ліній для осі

Не скасовуючи операцію побудови лінії, креслимо верхню контурну лінію кронштейна довжиною 40. Далі накреслимо його ліву частину.

Після закінчення побудови натискаємо *Esc*. За допомогою вже використаної команди Лінія»  будуємо нижню контурну лінію кронштейна.

Щоб намалювати дугу радіусом 5, використовують команду Круг  . Для позначення центру кола фіксуємо курсор у кінцевій точці лінії, задаємо напрямок і відстань від лінії. Креслимо коло радіусом 5.

За допомогою команди ***Линия***  будуємо похилу лінію. Задаємо її початкову точку, далі вказуємо кінцеву точку, яка єдотичною до кола.

Далі за допомогою команди ***Обрезать***  видаляємо непотрібні частини кола. Для цього, після вибору  , натискаємо правою кнопкою миші та виділяємо непотрібну частинукола. Натискаємо лівою кнопкою миші, *Esc.*

Накреслимо фаску. Дляцього на панелі інструментів виберемо кнопку Фаска  . Значення будемо вводити в командний рядок, розташований знизу екрана.

У командному рядку вводимо «у» (тому що фаску ми будемо задавати через значення кута), *Enter.* Далі вказуємо розмір катету фаски 2.5, *Enter.* Вказуємо кут нахилу фаски 45°, *Enter.* Вибираємо по черзі дві лінії, що утворюють фаску.

Наносимо розміри креслення. На панелі ***Размеры*** вибираємо *Линейный.* Відводимо розмірну лінію для розміру 45° від лівого контуру креслення деталі на необхідну відстань і натискаємо ліву кнопку миші. Аналогічно наносимо всі лінійні розміри.

Креслимо вид зліва кронштейна. **Панель инструментов** > ***Линия***, підводимо курсор до нижнього контуру деталі креслення й відводимо його праворуч, натискаємо лівою кнопкою миші в необхідному місці. Вводимо довжину лінії 7.5, *Enter.*

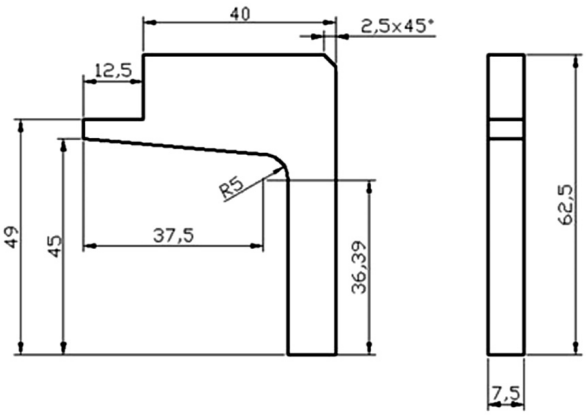


Рис. 17.12. Креслення кронштейна

Не перериваючи операцію побудови ***Линия***, креслимо всі контурні лінії виду зліва, використовуємо прив'язку, як показано на рис. 17.13.

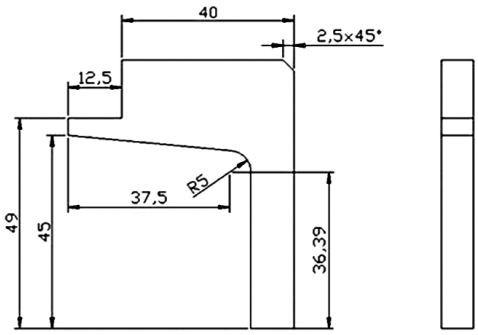


Рис. 17.13. Побудова видів кронштейна

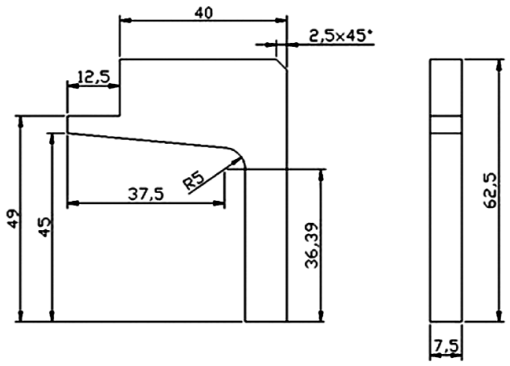


Рис. 17.14. Готове креслення кронштейна

На виді зліва наносимо розміри так, як це було показано вище. Одержуємо модель, показану нижче на рисунку 17.14.

На цій моделі основні лінії треба зробити товстими: для цього скористаємося набором дій, описаним при побудові кільця в розділі 17.1.

Після призначення кольору і ваг ліній, креслення кронштейна можна вважати закінченим.

Задача 17.3. *Побудова деталі основи* (рис. 17.15).

Перед тим, як приступити до побудови креслення, слід задати типи ліній (основна, тонка, штрих-пунктирна). Для цього натискаємо лівою кнопкою миші на кнопці *Диспетчер свойств слоя* на панелі ***Слои***, яка перебуває вгорі ліворуч над робочою областю.

Відкривається одноіменне діалогове вікно. За умовчуванням в Autocad задано 0-й шар. Основна властивість цього шару – елементи, побудовані в ньому, не відображаються при друці. Тому рекомендується використовувати його тільки для допоміжних побудов.

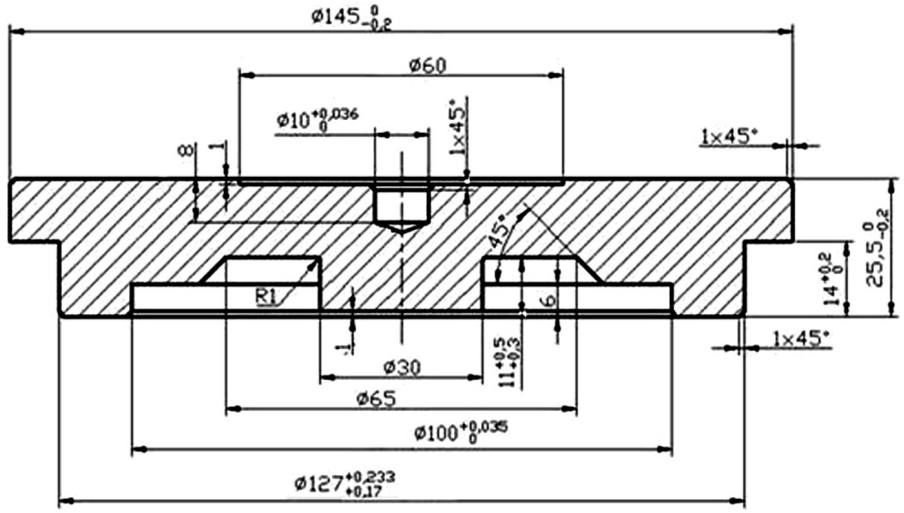


Рис. 17.15. Креслення деталі основи

Щоб створити новий шар (нову лінію) натискаємо лівою кнопкою миші на кнопці *Создать слой* (рис. 17.16).

Після натискання з'являється новий шар, ми можемо задати йому ім'я й властивості. Створимо шар Основная, з товщиною лінії 0,30. Для цього у закладинці *Имя* вводимо «Основная».

Далі натискаємо лівою кнопкою миші на вкладинці *Веслинии*. Відкривається діалогове вікно, де зі списку вибираємо товщину 0,30 мм. Натискаємо *ОК*.

За аналогією створюємо шари *Тонкая* і *Осевая* з товщиною лінії 0,18. Для шару *Осевая* вибираємо інший тип лінії. Для цього натискаємо лівою кнопкою миші на вкладинці *Тип линий*. Відкривається вікно *Вибор типа линий*, у якому натискаємо *Загрузить*. Відкривається вікно *Загрузка/перезагрузка типов линий,* уякому зі списку вибираємо тип лінії Осевая. Натискаємо *ОК*.

У вікні *Вибор типа линий,* вибираємо тип лінії *Осевая* й натискаємо *ОК*.

Коли всі потрібні шари створені (рис. 17.17), натискаємо *ОК*.

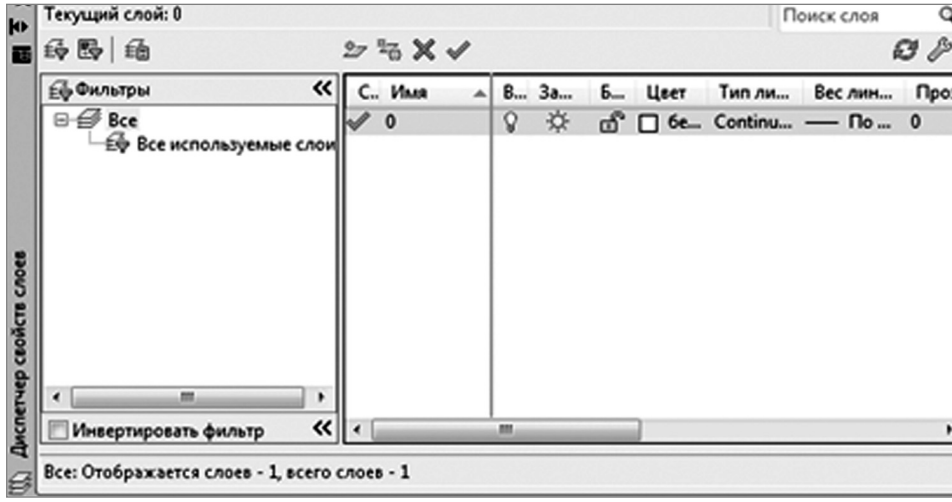


Рис. 17.16. Диспетчер властивостей шарів

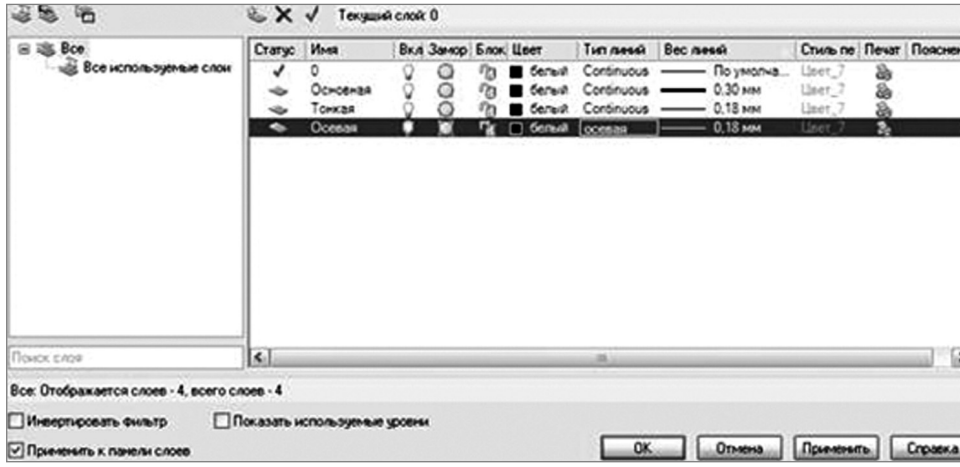


Рис. 17.17. Створення шарів

Приступаючи безпосередньо до креслення, відзначимо, що деталь є тілом обертання. Тому має сенс накреслити тільки одну частину деталі, апотім відобразити її відносновісі за допомогою команди ***Зеркальное отражение***.

Креслення почнемо з побудови осьової лінії. Для цього вибираємо шар *Основа*, використовуючи панель **Слои**.

На панелі **Черчение** вибираємо команду ***Линия***. У командному рядку з'являється запит *Первая точка:*. Лівою кнопкою миші відзначаємо в робочій області першу точку. Після чого з'являється запит *Следующая точка*. Відводимо курсор вниз і з клавіатури вводимо значення довжини 25.5. Натискаємо *Enter* і *Esc* для завершення команди *Линия*.

Щоб одержати коректне зображення осьової лінії, подвійним натисканням кнопки миші по лінії викликаємо вікно **Свойства**, і у вкладці ***Общее>Масштаб типа линий*** значення за замовчуванням змінюємо на 0.2 (рис. 17.18). Натискаємо *Enter* і закриваємо вікно.

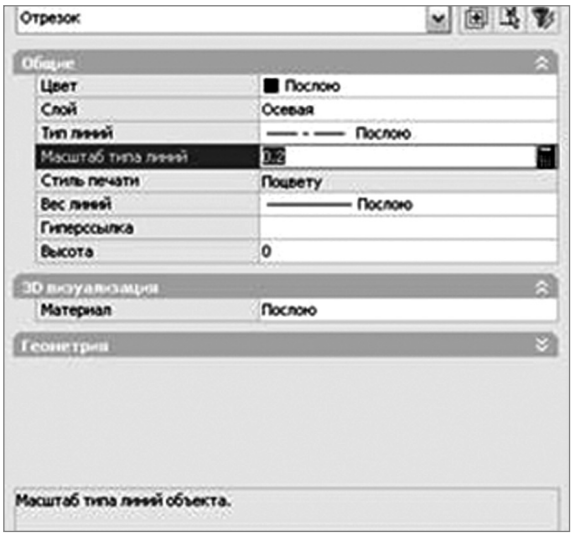


Рис. 17.18. Властивості для креслення осьової

Таким чином, ми одержали осьову лінію довжиною 25.5 мм.

Креслимо ліву, щодо осьової лінії, частину креслення. Для цього виберемо шар *Основная.* Далі вибираємо команду ***Линия***, і в якості першої точки вибираємо верхню кінцеву точку осьової лінії. Відвівши курсор ліворуч, вводимо значення довжини лінії 145/2. Натискаємо *Enter*. Autocad автоматично ділить навпіл та креслить лінію довжиною 72.5 мм.

Після нанесення лінії Autocad запитує наступну точку. Відвівши курсор донизу, вводимо 11.5. Натискаємо *Enter.*

Відводимо курсор праворуч й вводимо 9. Натискаємо *Enter.*

Відводимо курсор донизу і вводимо 14. Натискаємо *Enter.*

Відводимо курсор праворуч й вводимо 127/2. Натискаємо *Enter* і *Esc* для завершення команди.

Прорисовуємо центровий отвір. Вибираємо команду ***Линия***, фіксуємо курсор у верхній кінцевій точці осьової лінії.

Далі відводимо курсор ліворуч й вводимо 30. Натискаємо *Enter.*

Відвівши курсор донизу, вводимо 1. Натискаємо *Enter.*

Відвівши курсор праворуч, вводимо 30. Натискаємо *Enter* і *Esc*.

Знову вибираємо команду ***Линия*** й фіксуємо курсор.

Відвівши курсор ліворуч, вводимо 5. Натискаємо*Enter.*

Відвівши курсор донизу, вводимо 7. Натискаємо *Enter.*

Відвівши курсор праворуч, вводимо 5. Натискаємо *Enter* і *Esc.*

Вибираємо команду ***Линия*** й фіксуємо курсор.

Відвівши курсор донизу, вводимо 2. Натискаємо *Enter.*

З'єднуємо отриману точку, із точкою 1. Натискаємо *Enter* і *Esc.*

Щоб накреслити фаску на панелі **Редактирвать** обираємо команду ***Фаска***  .

У командному рядку вводимо «У» (Кут). На запит довжини фаски вводимо 1, кута – 45°. Вибираємо відрізки.

За допомогою команди ***Линия*** з'єднуємо кути фаски з осьовою лінією.

Далі креслимо вирізи в нижній частині деталі. Вибираємо команду ***Линия*** й фіксуємо курсор у нижній точці осьової лінії.

Відводимо курсор догори й вводимо 1. Натискаємо *Enter.*

Відвівши курсор ліворуч, вводимо 51. Натискаємо *Enter.*

Відвівши курсор донизу, вводимо 1. Натискаємо *Enter* і *Esc.*

Викликаємо команду ***Фаска*** й вибираємо два відрізки.

Вибираємо команду ***Линия***. У якості початкової точки вибираємо точку 2.

Відвівши курсор догори, вводимо 5. Натискаємо *Enter.*

Відвівши курсор праворуч, вводимо 35. Натискаємо *Enter.*

Відвівши курсор донизу, вводимо 5. Натискаємо Enter і *Esc.*

Знову вибираємо команду ***Линия***. У якості початкової точки вибираємо точку 3.

Відвівши курсор догори, вводимо 5. Натискаємо *Enter.*

Відвівши курсор ліворуч, вводимо 17.5. Натискаємо *Enter.*

Наступну точку виберемо таким чином, щоб кут становив 135°. Натискаємо *Enter* і *Esc*.

Креслимофаски й скруглення, що залишилися.

Вибираємо команду ***Скругление***  на панелі ***Редактировать***.

У командномурядку вводимо «Д». Натискаємо *Enter.*

Вводимо радіус скруглення – 1. Натискаємо *Enter.*

Вибираємо об'єктискруглення.

Ліва частина креслення готова. Відобразимо її відносновісі. Але спочатку продовжимо осьову лінію за межі деталі. Для цього виділяємо осьову лінію, натиснувши на ній лівою кнопкою миші. Виділивши верхню крайню точку лінії, переводимо курсор догори і вводимо 3. Натискаємо *Enter*. Аналогічно робимо і з нижньою крайньою точкою. Вибираємо команду ***Зеркальное отражение***  на панелі **Редактировать**. На запит *Выберите объєкты:,* за допомогою миші вибираємо всі елементи креслення, крім осьової лінії. Натискаємо *Enter.* Далі вибираємо по черзі верхню і нижню точки осьової лінії. Натискаємо *Enter.* Результат показано на рис. 17.19.

Вибираємо шар *Тонкая*. Вибираємо команду ***Штриховка***  на панелі **Черчение**.

Відкривається вікно *Штриховка и градиент*, у якому вибираємо параметри штрихування. У вікні *Структура* обираємо ANSI>ANSI31. Масштаб встановлюємо 0.75. Після вибору параметрів натискаємо кнопку *Добавить: точки выбора.* При цьому вікно *Штриховка и градиент* закривається. Вибираємо області штрихування й натискаємо *Enter*. Знову відкривається вікно *Штриховка и градиент*, у якому натискаємо OK. Для нанесення розмірів будемо користуватися командами з падаючого меню ***Размеры*** (рис. 17.20).

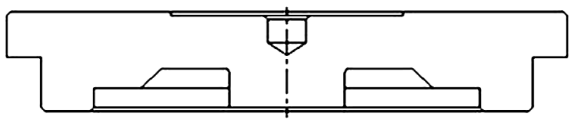


Рис. 17.19. Побудова симетричної частини об'єкта дзеркальним відбиттям

Наносимо діаметр $127\ ^{+0,233}_{+0,17}$.

Вибираємо команду *Линейный.* Вказуємо початок першої і другої виносної лінії. Розміщаємо розмір у потрібному місці й натискаємо ліву кнопку миші.

Щоб додати знак діаметру й відхилення, користуємося вікном *Свойства,* яке можна викликати подвійним натисканням миші по розміру.

Щоб вказати знак діаметра, заходимо у вкладинку *Основные единицы*>*Размерный префикс*, де вводимо %%C – це шифр знаку діаметр.

Щоб нанести відхилення, заходимо у вкладинку *Допуски*>*Показать допуски* і обираємо *Отклонения*. У рядку *Высота текста допуска* вводимо 0.7. У рядках *Нижняя граница* й *Верхняя граница* вводимо відповідно 0,233 і –0,17. У рядку *Точность допусков* вибираємо 0.000 (рис. 17.21).



Рис. 17.20. Випадаюча панель Размеры

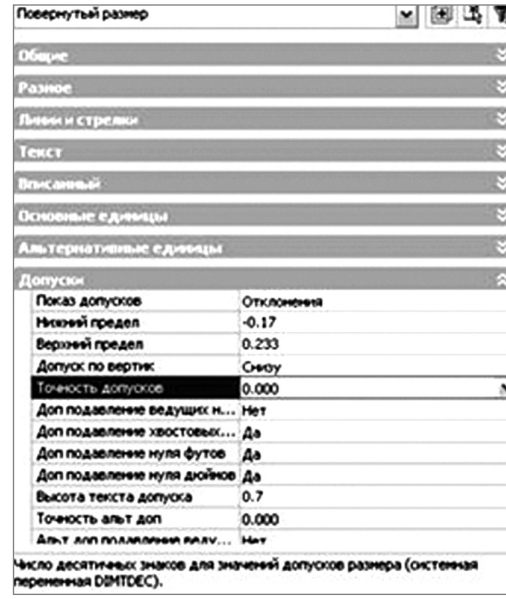


Рис. 17.21. Нанесення допусків

Результат виконання команди показано на рис. 17.22.

Нанесемо кутовий розмір, для цього вибираємо команду ***Угловой***. Вибираємо перший відрізок, потім другий. Встановлюємо розмір на потрібне місце й натискаємо ліву кнопку миші.

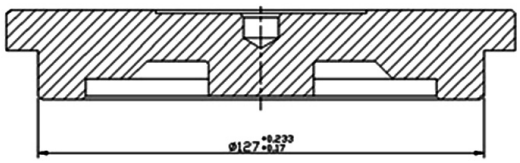


Рис. 17.22. Результат нанесення допусків

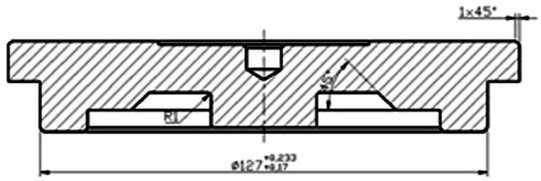


Рис. 17.23. Креслення деталі основи

Нанесемо розмір радіуса, обираючи команду ***Радиус***. Вказуємо дугу, встановлюємо розмір у потрібному місці й натискаємо ліву кнопку миші.

Нанесемо розмір фаски за допомогою команди ***Линейный***. Вибираємо перший, потім другий кут фаски, встановлюємо розмір у потрібному місці й натискаємо ліву кнопку миші. Щоб вказати кут, відкриваємо вікно **Свойства**. У вкладинці *Основные единицы*>*Размерный суфикс* вводимо x45%%d, де %%d – шифр знаку градус. Інші розміри наносяться аналогічно.

Щоб переглянути креслення, яких воно буде відправлятися на друк, натискаємо на кнопку *Вес* на панелі *Область сообщения*, яка знаходиться в нижній частині робочого вікна (рис. 17.23).

17.2. Створення та вставка блоків

Блоком називаєтьсясукупністьоб'єктів, об'єднанихза допомогою спеціальної команди. У блоки має сенс об'єднувати взаємозв'язані об'єкти, вигляд або розташування яких можуть координовано змінюватися під час роботи. Наприклад, у вигляді блоку може бути оформлена рамка або основний надпис креслення, деталі вузла у складальному кресленні тощо. Після створення блоку його копії можуть бути довільно розміщені на площині креслення або перенесені до інших креслень.

При редагуванні блоку однаковій зміні підлягають всі об'єкти, що входять до складу блоку. При видаленні блоку також будуть видалені всі об'єкти блоку.

Блок може бутисформований та використаний як у рамках одного креслення (внутрішній блок), так і записаний у файл на диск для подальшого використання в інших кресленнях.

Для створення блоків натисніть на клавішу *Создать* панелі ***Блок*** вкладники **Главная**. З'явиться вікно визначення блоку (рис. 17.24), у якому натиснувши кнопку *Выбрать объекты*, здійсніть вибір об'єктів, що увійдуть до складу блоку, та введіть назву блоку. Після виконання цих дій натисніть клавішу *ENTER*, попередньо вказавши одиниці виміру об'єктів та базову точку блоку.

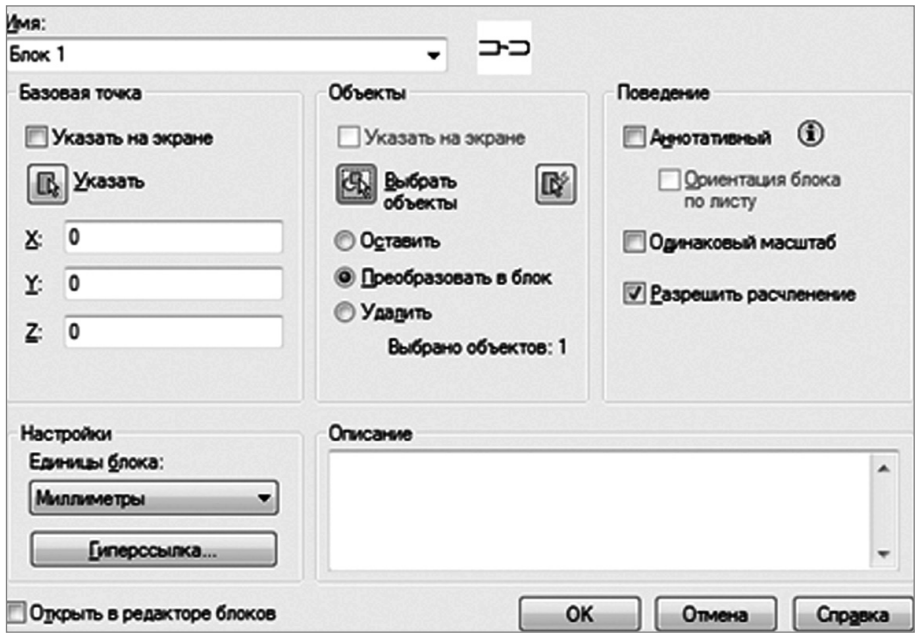


Рис. 17.24. Вікно визначення блока.

Після створення блоку його можна вставити у будь-якому місці на кресленні. Для цього необхідно натиснути клавішу *Вставить* панелі ***Блок*** вкладники **Главная**. З'явиться вікно вставки блоків (рис. 17.25).

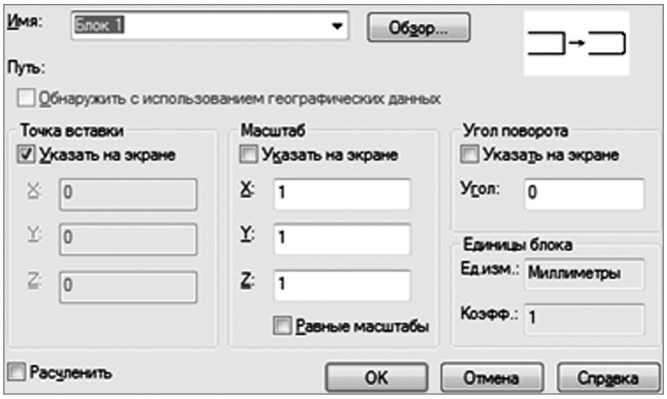


Рис. 17.25. Вікно вставки блоків

Як видно з рисунку, створений блок з'явився у списку блоків креслення. Перед тим, як вставити блок, його можна деформувати, завдавши масштаб по одній з осей, вказавши кут обертання або розбивши його на складові частини. Точка вставки (з нею суміщається базова точка блоку) задається курсором або безпосереднім вказуванням координат.

17.3. 3D моделювання

AutoCADмає широкі можливості для створення та редагування 3D об'єктів.

На панелі ***Примитив*** вкладники **Тело** знаходяться 3D примітиви. Для створення об'єктів у AutoCAD є панель ***Моделирование*** на вкладинці **Главная**. Використовуючи інструменти цієї панелі та команди редагування 3D об'єктів можна створити майже будь-яку просторову форму. Цими інструментами є:

1. – видавлення.
2. – за перетинами.
3. – обертання.
4. – зсув.

До основних команд роботи з 3D можна віднести булеві операції (***Логические операции*** вкладинки **Тело**):

1. – об'єднання.
2. – різниця.
3. – перетин.

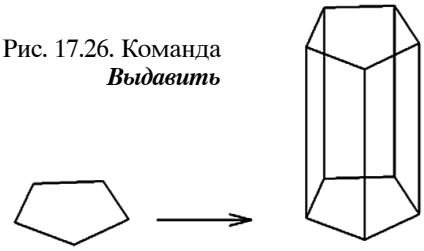


Рис. 17.26. Команда ***Выдавить***

Для отримання 3D тіла за допомогою команди видавлювання необхідно мати замкнений контур об'єкта, всі лінії якого знаходяться у одній площині. Порядок роботи команди наступний: обрати об'єкт для видавлювання, натиснути *ENTER*, вказати з клавіатури висоту видавлювання та знов натиснути *ENTER* (рис. 17.26).

Команда ***По сечениям*** створює 3D об'єкт на основі двох або більше перетинів. Перетини повинні бути розташовані таким чином, щоб кут між двома сусідніми перетинами був менший за 90° (рис. 17.27).

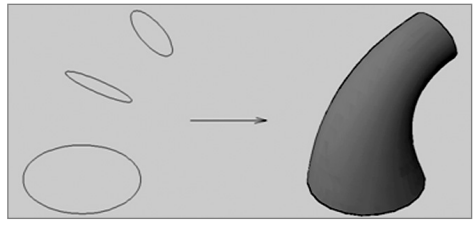


Рис. 17.27. Результат роботи команди *По сечениям*

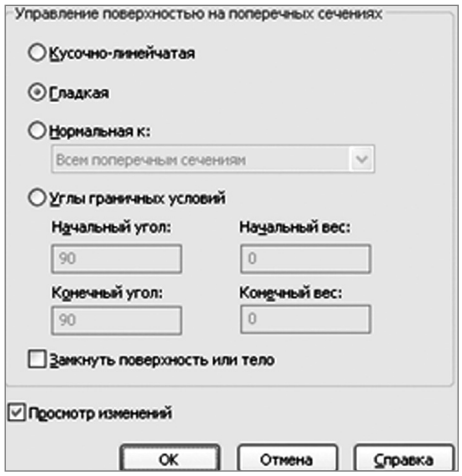


Рис. 17.28. Налаштування побудов за перетинами

Після вибору перетинів необхідно натиснути *ENTER*, вибрати тип побудови *(Направляющие / Путь / Только поперечные сечения)* та задати налаштування у діалоговому вікні (рис. 17.28).

Команда ***Вращение*** створює 3D тіло на основі замкненого плоского контуру. Для створення слід: вказати плоский об'єкт, натиснути *ENTER*, вказати вісь обертання шляхом завдання двох точок на екрані, натиснути *ENTER* та задати числове значення кута обертання (рис. 17.29).

Команда ***Сдвиг*** створює 3D тіло на базі плоского об'єкту для зсуву та траєкторії зсуву. Порядок виконання команди наступний: вибір плоского об'єкту для зсуву, натискання клавіші *ENTER,* вибір траєкторії зсуву (може бути пряма або крива лінія), натискання клавіші *ENTER* для завершення команди (рис. 17.30).

Булева операція ***Объединение*** створює з групи об'єктів один об'єкт. Виконується вибір об'єктів, що підлягають об'єднанню та натискується *ENTER* (рис. 17.31).

Булева операція ***Вычитание*** віднімає один 3D об'єкт від іншого. Порядок виконання: вибір об'єкту, від якого віднімаємо, клавіша *ENTER*, вибір об'єкту, який віднімається (рис. 17.32).

Булева операція ***Пересечение*** залишає спільну область групи 3D об'єктів. Порядок виконання аналогічний до команди ***Объединение*** (рис. 17.33).

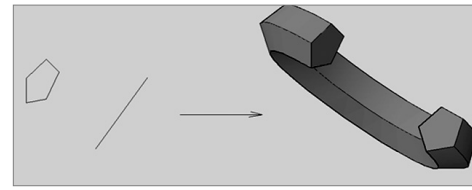


Рис. 17.29. Результат виконання роботи команди *Вращение*

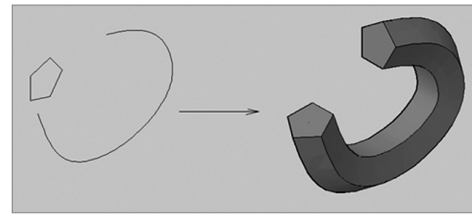


Рис. 17.30. Результат виконання роботи команди *Сдвиг*

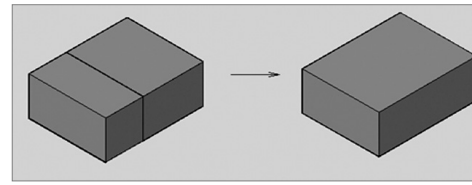


Рис. 17.31. Результат виконання роботи команди *Объединение*

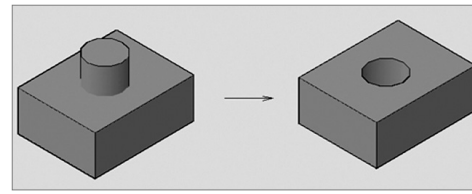


Рис. 17.32. Результат виконання роботи команди *Вычитание*

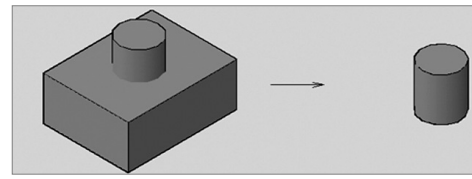


Рис. 17.33. Результат виконання роботи команди *Пересечение*

На завершення наведемо два приклади виконання складальних креслень засобами AutoCAD.

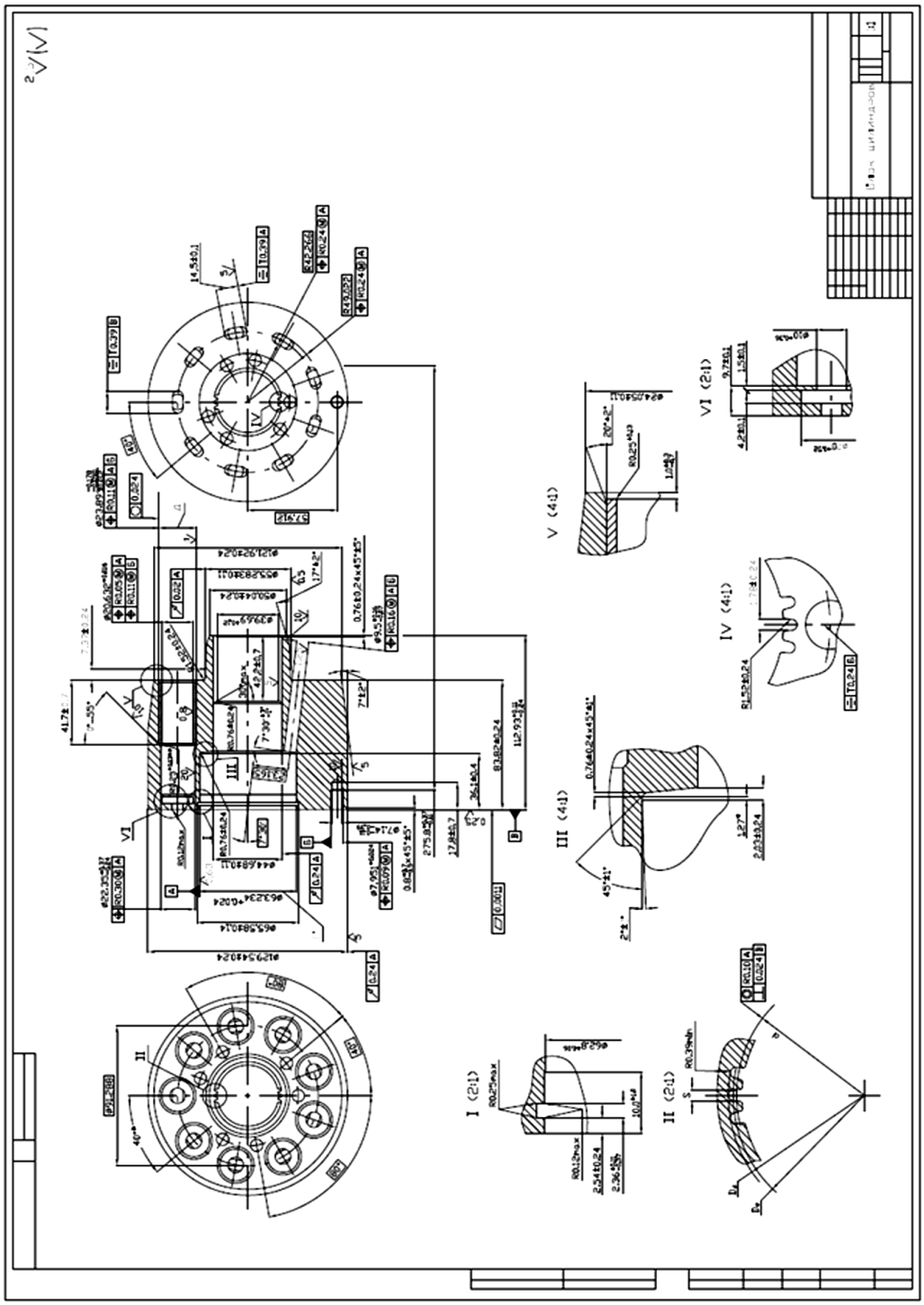


Рис. 17.34. Приклад 1 виконання машинобудівного креслення

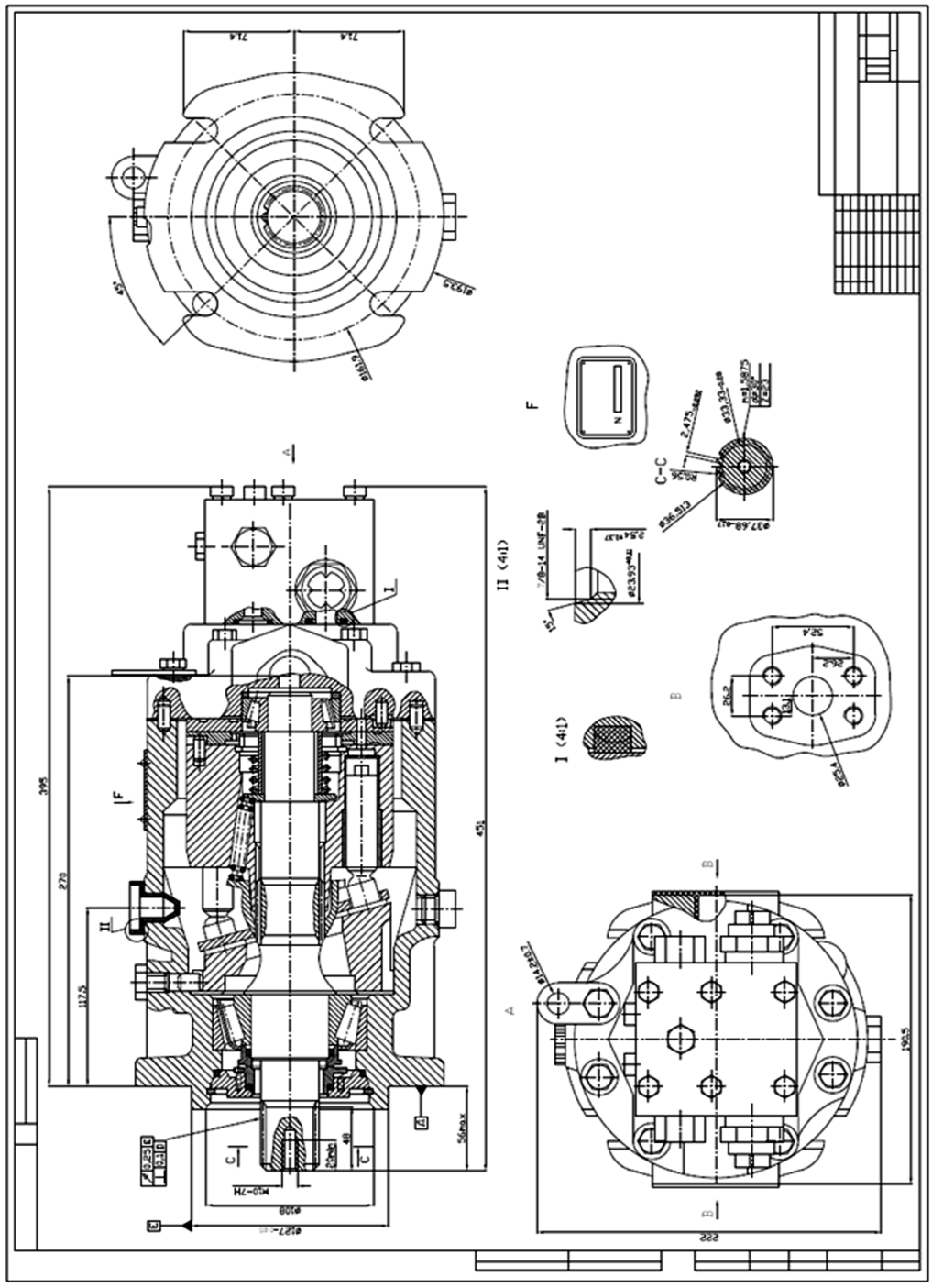


Рис.17.35. Приклад 2 виконання машинобудівного креслення

Самоконтроль. Сформуйте засобами AutoCADy рамку і основний напис.
Виконайте у середовищі AutoCADy креслення частин деталей 1–6 для прикладу 1 та 1–2 для прикладу 2 (рис. 17.34, 17.35).

18. КРЕСЛЕННЯ ВУЗЛА БУДІВЕЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ У ГРАФІЧНОМУ РЕДАКТОРІ AUTOCAD

Доцільність використання AutoCADy для конструювання вузлів обумовлена легкістю створення ієрархічних структур – блоків, які можуть бути використані як елементи інших блоків, що, безумовно, полегшує створення складних конструкцій. У якості прикладу розглянемо конструювання вузла примикання перекриття і підлоги до зовнішньої стіни.

18.1. Креслення окремих елементів

Якщо прийняти «блочну» технологію створення вузла, то починати слід із креслення його елементів. Для цього проаналізуємо його структуру – це цеглини (половинки та тричетвірки), шви та вирівнюючі шари з розчину, плити утеплювача, дошки паркету та декоративної панелі, монолітний пояс та пустотна панель перекриття із залізобетону, штукатурка, конструкції підвісної стелі.

Створимо заготовки для подальшої роботи. Переходимо до пункту головного меню **Home**. У закладці Draw клацаємо по піктограмі прямокутника. У командному рядку, керуючись підказами, вводимо координати нижнього лівого і верхнього правого кутів (рис. 18.1).

```
Command:
Command: _rectang

Specify first corner point or [Chamfer/Elevation/Fillet/Thickness/Width]: 1000,1000
```

Рис. 18.1. Введення координат кутів у командному рядку

Зручно створювати кожну із заготовок, прив'язуючись до якоїсь точки (наприклад, з координатами 1000, 1000), а потім перетягувати її у якесь інше місце. Для цього виділяємо заготовку (клацанням по контуру або замикаючи її до рамки), клацаємо *правою* кнопкою миші по виділеному контуру і знаходимо команду **Move**, після чого, клацнувши *лівою* кнопкою по заготовці і утримуючи кнопку натиснутою, переносимо чотирикутник у потрібне місце.



Після створення всіх заготовок креслення набуде вигляду, показаного на рис. 18.2.

Наступним кроком є штриховка кожного з контурів. Оскільки ведеться ескізне проектування, достатньо використати природні кольори матеріалів (є штриховки згідно міжнародних стандартів, а також можна створювати власні). Заходимо до закладки інструменту ***Draw***, натискаючи на трикутник знизу, обираємо піктограму штриховки.

Після вибору піктограми відкривається діалогове вікно, показане на рис. 18.3. Потрібно зробити наступне:

- у рядку Pattern клацнути на кнопці з трьома крапками і у списку штриховок обрати потрібну, наприклад, Solid;
- у рядку Swatch клацнути на зображенні штриховки, а у меню, що відкриється, по пункту ByLayer. З'явиться палітра кольорів (рис. 18.4), у якій слід обрати бажаний колір;
- натискаємо на кнопку Add: Selectobjects і обираємо *лише одну* заготовку (навіть, якщо кілька з них мають однакові матеріали);

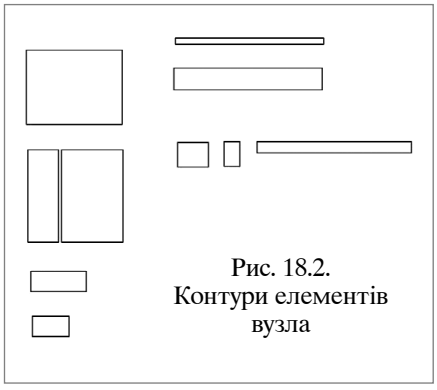


Рис. 18.2. Контури елементів вузла

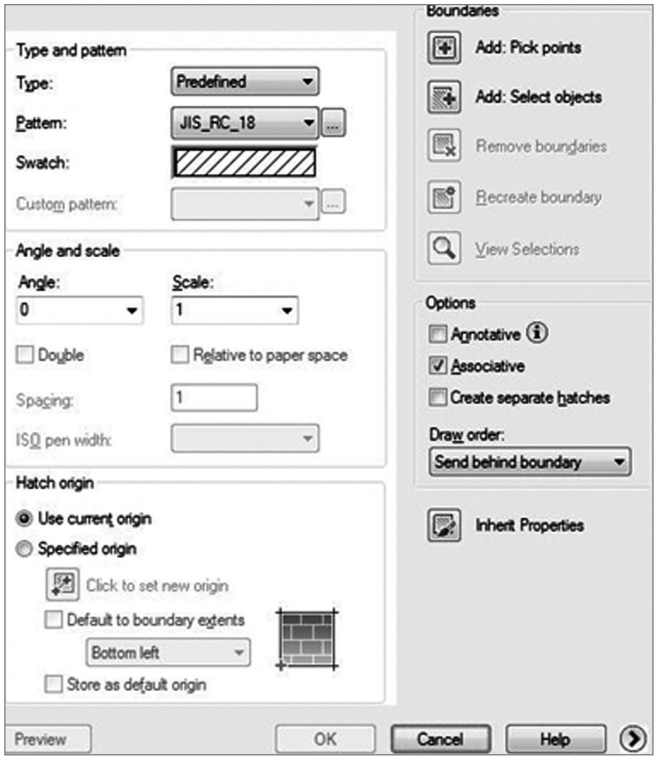


Рис. 18.3. Діалогове вікно штриховок

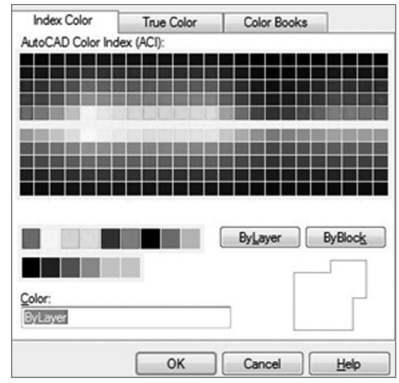


Рис. 18.4. Палітра кольорів

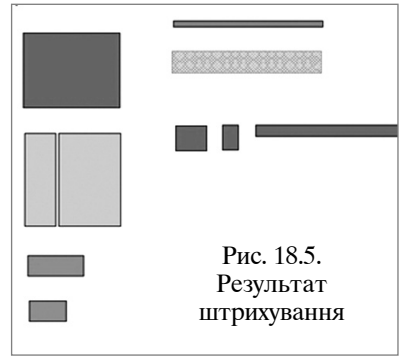


Рис. 18.5. Результат штрихування

● знову з'являється діалогове вікно штриховок, на якому стає доступною кнопка OK. Натискуємо її, підтверджуючи свій вибір.

● повторюємо ці операції для всіх заготовок. Результат показано на рис. 18.5.

Тепер лінії, які обмежують заготовки, можна або пофарбувати у той же колір, що й самі елементи (через контекстне меню, що відкривається при клацанні лівою кнопкою миші по контуру – слід замінити окраску ByLayer на обрану), або просто видалити.

18.2. Складання панелі перекриття і підлоги

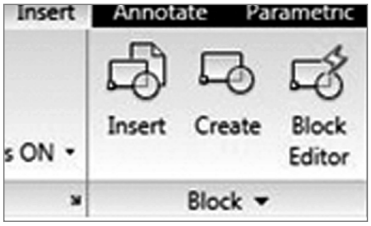
Приступаємо до збірки елементів у окремі конструкції.

Збірка панелі перекриття. Переміщуємо три розташовані справа на рис. 18.5 заготовки впритул одна до іншої (для точного позиціонування зручно використовувати режим прив'язки до кутів контурів, який включається натисненням на піктограму ObjectSnap у нижньому рядку екрану).

Виділяємо середню заготовку і, утримуючи натиснутою ліву кнопку миші переміщуємо правий нижній кут до суміщення з лівим нижнім кутом правої заготовки, змінюючи форму середньої заготовки. Виділяємо всі заготовки. У інструменті ***Modify*** натискуємо трикутник знизу і у списку піктограм обираємо дзеркальне відбиття. Вказуємо вісь відбиття і отримуємо зображення панелі. Проводимо лінії перетинів циліндрів та конусів внутрішніх пустот і отримаємо остаточний результат.



Тепер слід оформити панель, яка складається з шести елементів і трьох ліній, у єдине ціле – блок Slab. Для цього у пункті головного меню **Insert** знаходимо піктограму Create, після клацання по якій відкривається меню визначення блока (рис. 18.6).



Слід визначити ім'я блоку – у полі Name вводимо Slab. Базову точку прив'язки BasePoint (блок може рухатися як єдине ціле) зручніше визначити на екрані, що і слід вказати, поставивши галочку. Натискуємо кнопку вибору елементів, що ввійдуть до складу блока, після чого обводимо рамкою всі згадані вище заготовки і лінії. На пропозицію Specifyon Screen слід відгукнутися, виділивши нижній лівий кут блоку, після чого підтвердити всі зміни, натиснувши кнопку OK. Слід мати на увазі, що після оформлення блоку, редагувати його окремі елементи вже неможна.

Збірка підлоги. Виділяємо верхній правий чотирикутник на рис. 18.5. Зробимо з нього паркет і два вирівнюючи шари (їх товщини однакові). Отже, треба скопіювати його двічі, або створити масив із трьох елементів. Використаємо другий спосіб. У інструменті ***Modify*** натискуємо трикутник знизу і у списку піктограм обираємо створення масиву. Відкривається діалогове вікно (рис. 18.7).

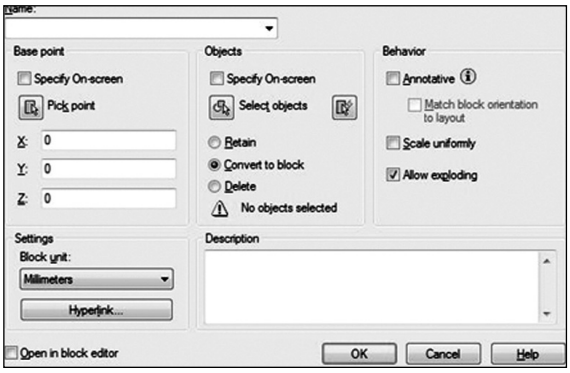


Рис. 18.6. Визначення блоку

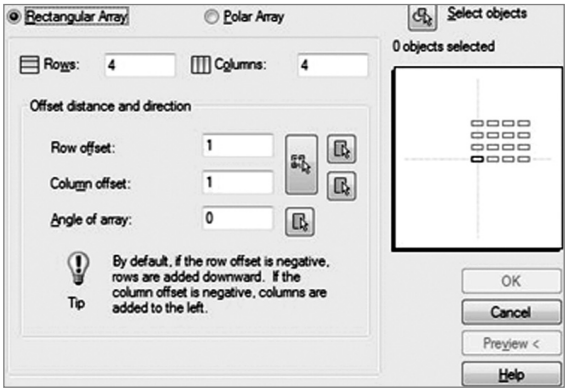


Рис. 18.7. Діалогове вікно створення масиву

У рядку Rows: обираємо 3, у рядку Columns: – 1, для Rawoffset: виставляємо 100. Всі інші параметри залишаємо без змін. У вікні перегляду відобразиться результат наших дій. Далі натискуємо на кнопку вибору об'єктів, обираємо на екрані заготовку, і у меню підтверджуємо вибір. Масив з трьох елементів створено. Два з них розташовуємо вище і нижче шару утеплювача (блакитний чотирикутник на рис. 18.6, а третій, попередньо змінивши колір на коричневий – вище верхнього вирівнюючого шару. Створюємо з усіх цих елементів блок під ім'ям Floor так, як було описано вище.

18.3. Складання стіни

Щоб показати розкладку цегли по рядкам, знадобиться одинадцять половинок і три тричетвірки. Для половинок створюємо масив з трьох колонок по чотири елементи, так, як було описано вище, обираючи у рядку Rows: 4, у рядку

Columns: 3, для Rawoffset: виставляємо 75, відстань між колонками – довільна. Між цеглинами, використовуючи піктограму чотирикутника інструменту Draw, розміщуємо шари розчину. Для цього доцільно використати інший варіант застосування інструменту, а саме, попередньо збільшивши масштаб, вказати кути чотирикутника безпосередньо на екрані (треба клацнути кнопкою миші,обравши їх точні розташування з допомогою інструменту прив'язки до кутів). Фарбуємо чотирикутник у сірий колір, створюємо масив із тими ж установками, що і для цеглин. Результат показано на рис. 18.8.

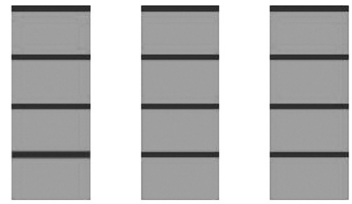


Рис. 18.8. Створення масивів цеглин і шарів розчину

Із двох із цих колонок зробимо блоки, а елементи третьої будемо використовувати окремо.

Таким же чином працюємо з тричетвірками.

Аналогічно складаємо піноблоки у окремий блок.

18.4. З'єднання компонентів вузла і нанесення розмірів

Залишилося ***скласти вузол***. Переміщуємо один із блоків половинок цеглин у зручну точку, після чого присуваємо упритул і вирівнюємо по верхній і лівій стороні монолітний пояс. Виділяємо його, клацаємо правою кнопкою миші, і , обравши команду переміщення, відсуваємо його управо на 30 мм, набираючи це число у контекстному меню переміщення.

Далі розкладаємо по рядкам три тричетвірки і половинки цегли, показуючи перев'язку швів. Пересуваємо на своє місце панель перекриття. Розміщуємо облицювальну цеглу, піно блоки, підлогу.

Доопрацьовуємо вузол, моделюючи теплоізоляцію, вертикальні шви, штукатурку, облицювальну панель, підвісну стелю.

Об'єднуємо всі компоненти у блок з назвою Узел 1.

Нанесення розмірів. Відповідні команди зосереджено у пункті головного меню Annotate (рис. 18.9).



Рис. 18.9. Визначення параметрів розмірів і написів

Спочатку слід визначити стиль розмірів. Зробимо його максимально схожим на стиль ArchiCADy. Для цього натискуємо на стрілочку біля слова Dimensions. Відкривається діалогове вікно, показане на рис. 18.10.

Обираємо стиль ISO-25 і клацаємо по кнопці Modify. Відривається діалогове вікно (рис. 18.11), у якому треба визначити:

- у закладці Lines – тип і колір лінії (замість ByLayer обираємо блакитний колір; тип залишаємо без змін);
- у закладці SymbolsandArrows ти і розмір засічки – змінюємо пропозицію у списку Arrowheads на Architecturaltick, а у Arrowsize указуємо розмір засічки 25;

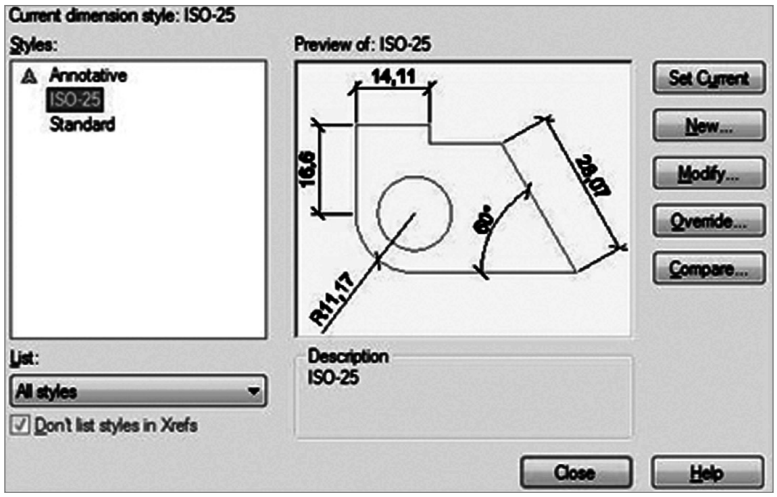


Рис. 18.10. Вибір стилю розмірів

- у закладці Text змінюємо колір (блакитний) і розмір шрифту (25);
- у закладці PrimaryUnits обираємо Unit Format Decimal Precision 0.

Усі інші параметри залишаємо без змін. Повертаємось до діалогового вікна, показаного на рис. 18.10 і завантажуємо зроблені зміни, натиснувши на кнопку SetCurrent. Підтверджуємо вибір, натиснувши на кнопку OK.

Наносимо розміри, обираючи піктограми Continue та Linear.

Тепер ***зробимо потрібні написи***. Обираємо MultilineText, указуємо місце розташування напису, змінюємо колір символів на блакитний, а розмір шрифту – на 25, 40, 50 (у залежності від виду напису). Вводимо текст і пересуваємо напис на своє місце. Доопрацьовуємо виносні написи та інші елементи вузла. Результат показано на рис. 18.12.

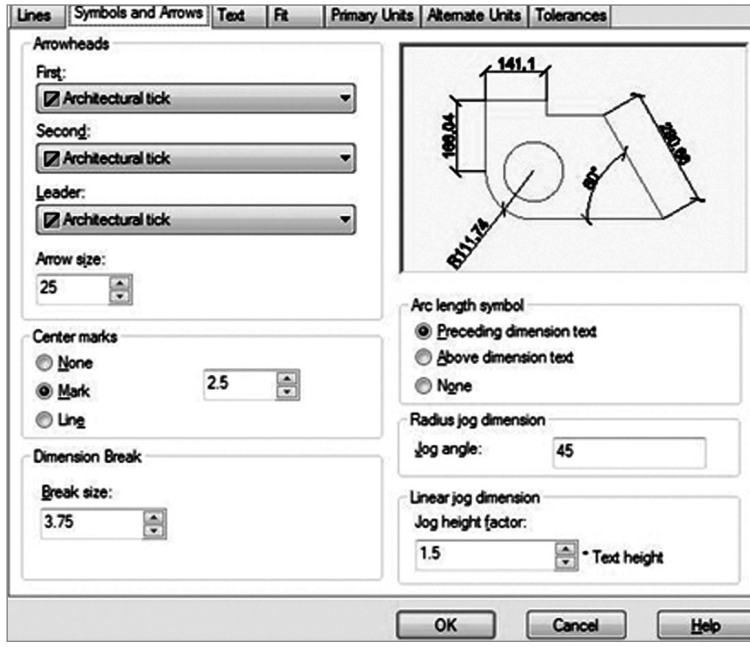


Рис. 18.11. Вибір параметрів розмірів

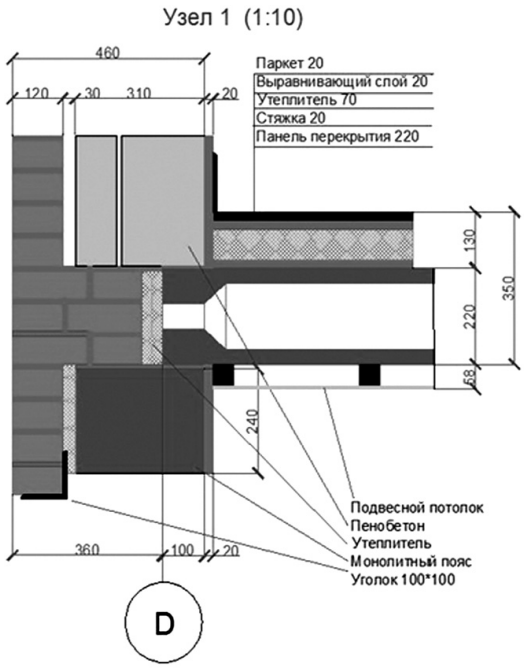


Рис. 18.12. Креслення вузла примикання перекриття до зовнішньої стіни

18.5. Експорт креслення

Використати зроблене креслення можна у будь-якій іншій програмі. Наприклад, у ArchiCADi подібне креслення застосовується або як фоновий рисунок, або як креслення. У залежності від цього будуть доступні різні можливості редагування.

Якщо передбачається використання у якості фонового малюнку, для збереження слід зайти до пункту головного меню **File**, обрати Export Other Format (рис. 18.13), а у ньому – формат .bmp.

Якщо необхідно вставити вузол саме як креслення, можна зробити наступне. У пункті головного меню **File** обрати Saveas і вказати формат .dwg або.dxf (відкритий формат фірми Autodesk) версії 2007. Це слід зробити тому, що формати найновішої версії AutoCADy можуть не підтримуватися у ArchiCADi.

Для того, щоб вставити креслення, слід у головному меню ArchiCADy обрати пункт **File**, відкрити пункти, виділені на рис. 18.14, і вказати шлях до креслення. Після цього на потрібному документі вказується місце для креслення.

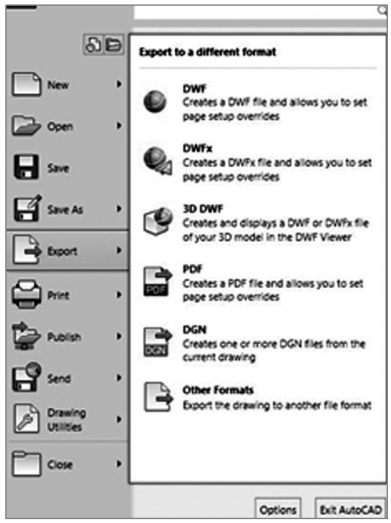


Рис. 18.13. Збереження креслення у форматі .bmp

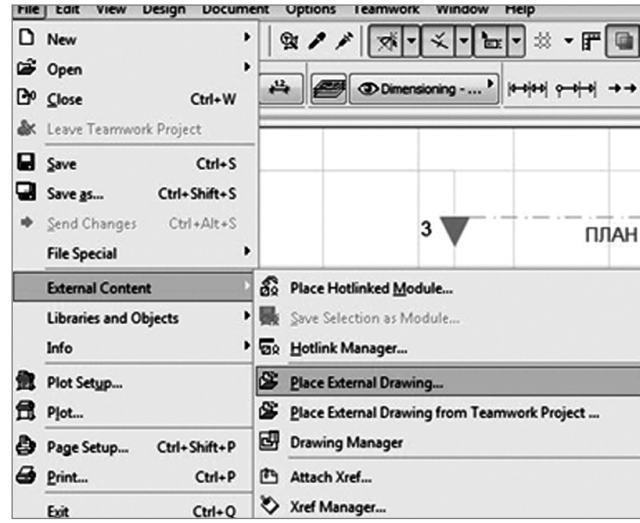


Рис. 18.14. Вставка імпортованого креслення

Самоконтроль. Яка технологія конструювання вузла застосована у даному прикладі?

19.ГРАФІЧНИЙ РЕДАКТОР ARCHICAD

Серед програм комп'ютерної графіки середнього класу, призначених для комплексного розв'язання задач архітектурно-будівельного проектування, найбільш поширеним є ArchiCAD, розроблений фірмою Graphisoft. Поточною версією продукту на момент написання підручникає чотирнадцята.

Пакет забезпечує автоматизацію всіх стадій проектування – прив'язку до місцевості, розробку об'ємно-планувальних рішень та інтер'єрів, виготовлення архітектурно-будівельних креслень, ведення проектно-кошторисної документації, візуалізацію і презентацію.

ArchiCAD реалізує модель «Віртуального будинку» – об'ємну параметричну модель, з якої можна отримати, окрім креслень, результати розрахунків та відомості кількісних показників, а також створити презентаційні матеріали. За ортогональними кресленнями планів пакет автоматично будує аксонометрію чи перспективу, фасади і розрізи, надає зручні можливості по оформленню креслень, будує дахи, розміщує віконні і дверні пройми, автоматизує процес нанесення розмірів. Отже, проектування ведеться візуально,що є зручним і звичним для архітектора.

До складу пакету входять бібліотеки будівельних елементів, конструкцій, матеріалів та джерел світла. Крім того, існує велика кількість бібліотек сторонніх розробників, що значно збільшує можливості проектувальника. Є також кілька десятків програм, які розширюють можливості стандартних засобів або доповнюють їх новими. Через спеціальні формати ArchiCAD має можливість обмінюватись даними із іншими графічними редакторами, серед яких відзначимо AutoCAD, 3D Studio Max, Artlantis. В останніх версіях значна увага приділяється засобам забезпечення групової роботи, доступу до Інтернету тощо.

Таким чином, можемо констатувати, що цей графічний редактор є сучасним інструментом архітектурного проектування, що пройшов досить тривалий шлях розвитку і досяг певного рівня досконалості.

19.1. Загальні відомості

Призначення. Пакет ArchiCAD фірми Graphisoft є спеціалізованим редактором для архітектурного проектування споруд, ведення проектно-кошторисної документації, підготовки презентацій. Найбільш зручним він є при проектуванні будинків.

Системні вимоги. ArchiCAD 13 постачається у 32-х чи 64-х розрядних версіях і працює під будь-якою версією Windows відповідної розрядності, починаючи з XP. Існують версії для комп'ютерів Apple. Існують також русифіковані версії і версії для окремих ринків. Програма не вимагає якихось надзвичайних ресурсів. Для комфортної роботи доцільно мати не менше 2 Гб оперативної пам'яті та монітор з великою діагоналлю (не менше 22 дюймів). Якщо планується групова робота, або використання електронних карт, слід мати підключення Інтернету.

Інтерфейс програми показано на рис. 19.1. Він включає (зверху вниз):

- рядок головного меню;
- рядок піктограм команд;
- інформаційне табло конкретного інструменту (у даному випадку – інструменту «стіна»);
- панель інструментів (стовпчик зліва);
- вікна плану, фасаду/розрізу, перспективного та аксонометричного зображень (між ними можна перемикатися за допомогою клавіш або навігатора);
- навігатор проекту (стовпчик справа);
- панель управління зображенням;
- панель підказів.

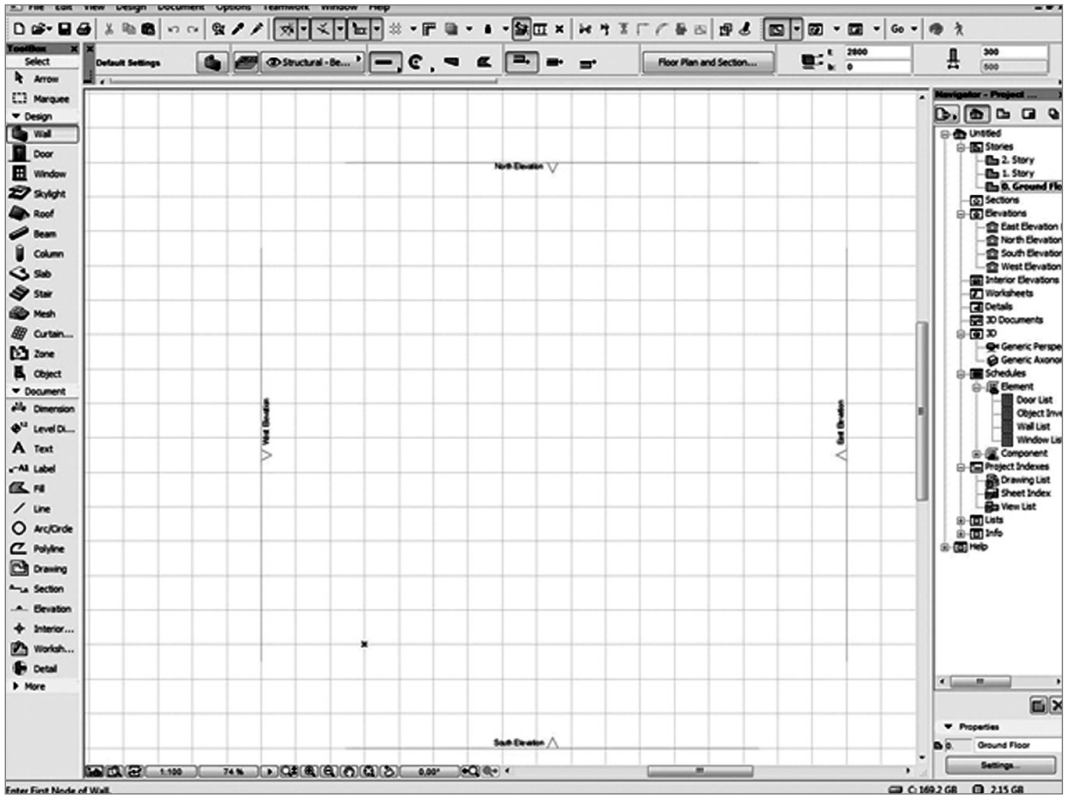


Рис 19.1. Інтерфейс програми ArchiCAD

Для отримання доступу до *головного меню* (рис. 19.2.) слід підвести курсор до одного з його пунктів і клацнути лівою кнопкою миші. Відріється падаюче меню, де чорним кольором будуть позначені доступні на даний момент пункти, а сірим – недоступні. Деякі з доступних пунктів мають свої підпункти (позначені трикутником); їх слід розкривати таким же способом.

Головне меню включає:

File – стандартні операції роботи з файлами (відкривання, закриття, зберігання), засоби експорту-імпорту, настроювання принтерів і плоттерів, виходу та деякі інші;

Edit – стандартні засоби редагування команд (відмінити чи поновити), операції роботи з буфером, видалення виділених об'єктів, засоби пошуку та виділення, групування, зміни порядку об'єктів, заборони чи дозволу на зміни їх властивостей, переміщення та обертання, вирівнювання, розподілу вздовж ліній і на площині, зміни розмірів та редагування параметрів об'єкту. Для об'єктів різних типів різними будуть і припустимі дії – вони позначаються чорним кольором. Розгрупування складних об'єктів збільшує кількість припустимих операцій редагування;

View – засоби переміщення між елементами проекту (поверхи, перерізи, окремі зображення, аркуші, списки елементів і зон, окремі шари), засоби зображення елементів і різного роду маркерів і штриховок (доступні виділені), контурні зображення верхніх і нижніх поверхів, різноманітні сітки, лінійки і допоміжні засоби креслення разом із засобами їх настроювання, опції настроювання тривимірних зображень (дротяні каркаси, тіні тощо), засоби переміщення у тривимірних зображеннях, можливість перемальовування зображення;



Рис. 19.2. Пункти головного меню



Рис. 19.3. Поновлення стандартного вигляду інтерфейсу

Design – основні примітиви (стіна, двері, вікно і т.д.), установки висотних позначок поверхів, засоби створення профілів, булеві операції, засоби обрізки елементів, команди видозмінювання стін, інструмент створення координаційних осей, доповнення – помічники для створення каркасів крівель та ферм (сюди ж встановлюються інші доповнення до ArchiCADy), та деякі інші;

Document – засоби нанесення розмірів, у тому числі автоматизовані, різного роду штриховки, позначення, лінії, шари, засоби створення тривимірних та фотореалістичних зображень, публікації проекту та інші;

Options – засоби створення багатошарових конструкцій, матеріалів, штриховок, типів ліній, зон, установки для одиниць виміру, правила розрахунку, установки робочого середовища (можливість додавання чи зняття команд до окремих панелей) та інші;

Teamwork – інструменти організації групової роботи;

Window – засоби регулювання інтерфейсу, зокрема, наявності/відсутності панелі інструментів і навігатора, а також окремих панелей: координат, тривимірного зображення тощо. Поновити стандартний вигляд інтерфейсу простіше за все можна, починаючи новий проект і обравши у відповідному вікні (рис. 19.3) DefaultProfile (це ж можна зробити і при завантаженні програми);

Help – досить детальна, розбита на окремі розділи, інструкція роботи з програмою, яка також містить вихід через Інтернет до різноманітних інтерактивних матеріалів навчального характеру, а також інструкцію, що описує передачу матеріалів проекту до популярного візуалізатора Artlantis.

Піктограми команд (рис. 19.4) дублюють команди, які застосуються найчастіше.

Це, зокрема,операції з файлами та буфером, відміни/поновлення команди, пошуку і переносу параметрів з одного об'єкту на інший, засоби креслення, визначення координат, зображення сітки, лінійки,вищих та нижчих поверхів, інструмент «гравітація», засоби вимірювання та позиціонування початку відліку, деякі команди редагування, групування та маркірування, переходу від одного зображення чи аркушу до іншого, а також переміщення тривимірного зображення чи переміщення всередині нього (тільки для перспективи).



Рис. 19.4. Піктограми команд



Рис.19.5. Інформаційне табло

Інформаційне табло (рис 19.5) включає (зліва направо) виклик діалогового вікна параметрів, вікно шарів, вікно поточного шару, визначення засобу побудови, інструмент прив'язки, деякі геометричні розміри. Цей список може дещо змінюватись у залежності від поточного типу примітиву.

До складу ***панелі інструментів*** (рис. 19.6) входять укажчик і рамка вибору об'єктів та три закладки – Design, Document, More.

Відкриття першої з них дає доступ до основних примітивів (зверху вниз): стін, дверей, вікон, повітряних ліхтарів (вікон у крівлях), крівель, балок, колон, плит (можуть використовуватися для створення підло, перекриттів, відмосток, плоских крівель), сходів, поверхонь ґрунту, навісних стін, інструменту зонування, окремих об'єктів (конструкції, предмети інтер'єру, моделі людей, рослин, автомобілів тощо).

Друга закладка дає доступ до засобів нанесення розмірів і висотних позначок, створення текстів та виносних написів, штрихування, креслення прямих і ламаних ліній, кіл, створення аркушів креслень, розрізів і фасадів, вузлів та деякі інші.

Закладка More дає доступ до інструментів управління виглядом та позначенням координаційних осей, оформлення кінців стін і кутових вікон, управління джерелами світла, нанесення радіальних і кутових розмірів, креслення сплайнів, нанесення вузлових точок, вставки фонових растрових малюнків (це можуть бути різноманітні карти чи генеральні плани), управління камерами.

Вікно плану є головним вікном, в якому ведуться всі побудови плану поточного поверху (у ньому може бути відображений один фоновий поверх з числа тих, що знаходяться вище або нижче поточного).

Вікно розрізу/фасаду може бути пов'язано або відокремлено від інших вікон.



Рис. 19.6. Панель інструментів

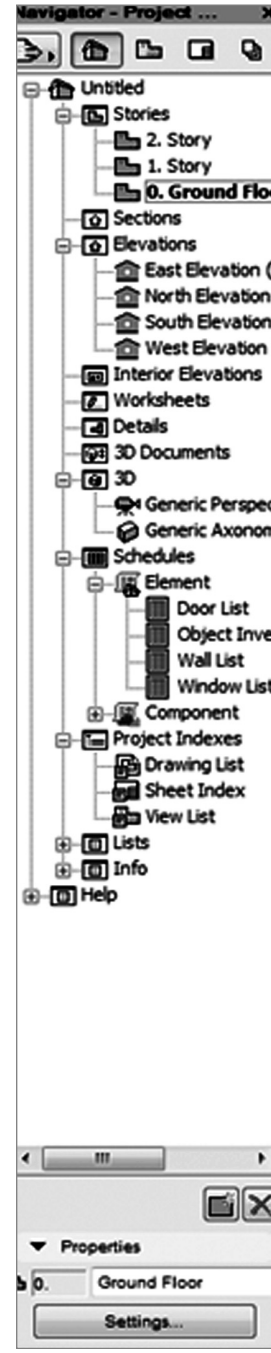


Рис. 19.7. Панель навігатора



Рис. 19.8. Панель управління зображенням

3D-вікно використовується для наочного об'ємного уявлення проекту, а також створення і редагування об'єктів, причому всі ці зміни автоматично відображаються і в інших вікнах. Зображення будується у аксонометрії або у перспективі; за ступенем реалістичності розрізнюють зображення каркасне, із видаленням невидимих ліній, кольорове із побудовою тіней.

Навігатор проекту (рис. 19.7) дозволяє переміщуватися між усіма його частинами: поверхами, розрізами, фасадами, окремими аркушами, деталями, тривимірними документами і зображеннями, відомостями елементів, позначеними кресленнями.

Перемикаючись від однієї до іншої закладки (піктограми зверху), переходять до того чи іншого способу представлення структури проекту.

Панель управління зображенням (рис. 19.8) дозволяє виконувати наступні дії управління: отримувати доступ до попереднього перегляду зображення та опцій регулювання у вікні навігатора, завдавати масштаб зображення, обираючи його із списку, проводити поточну зміну масштабу, переміщувати зображення, приводити його у відповідність до розмірів вікна, повертати зображення на визначений кут.

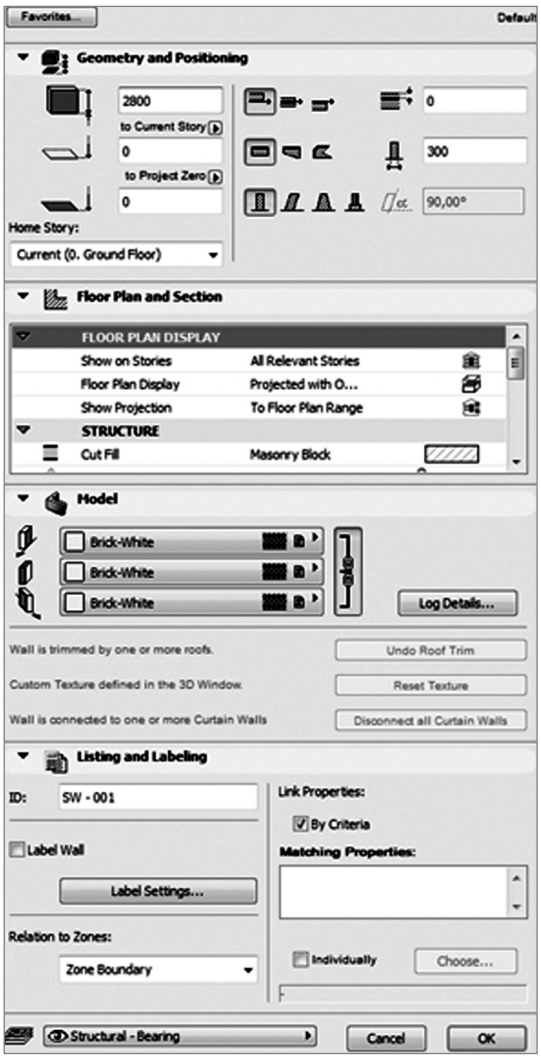


Рис. 19.9. Діалогове вікно параметрів стін

Нарешті, у ***панелі підказів*** дається інформація про можливі наступні дії користувача.

Як бачимо, команди на окремих панелях дублюють відповідний інструментарій головного меню, що зроблено для зручності користування програмою.

Іншим засобом підвищення продуктивності праці є так звані ***контекстні меню***, які з'являються при виділенні об'єкту, підведенні до нього курсору і клацанні лівою кнопкою миші. Ці меню визначають можливі операції редагування об'єкту. В залежності від позиції курсору будуть з'являтися різні меню.

Слід згадати й таку особливість інтерфейсу, як зміна вигляду курсору в різних ситуаціях.

19.2.Основні інструменти

Wall (Стіна). При клацанні на піктограмі ***Wall*** панелі інструментів, а потім інформаційного табло, відкривається діалогове вікно (рис. 19.9).

Оскільки всі діалогові вікна працюють приблизно однаково, розглянемо детально структуру їх структуру на цьому прикладі.

Вікно розділено на кілька зон – закладок, у яких групуються подібні, з точки зору розробників програми, параметри. Користувач має встановити своє власне значення кожного з них, або погодитись із значеннями по умовчанню.

У першій закладці (Geometry and Positioning) параметри згруповано наступним чином:

1) стовпчик зліва – ті, що визначають висоту стіни, її позначку відносно поточного поверху та нульової позначки проекту (це, як правило, рівень підлоги першого поверху). Позначка відносно нульового рівня визначається програмою автоматично згідно заданих користувачем позначок і висот поверхів у пункті Story Settings головного меню;

2) верхній рядок справа – ті, що визначають прив'язку стіни до координаційної вісі;

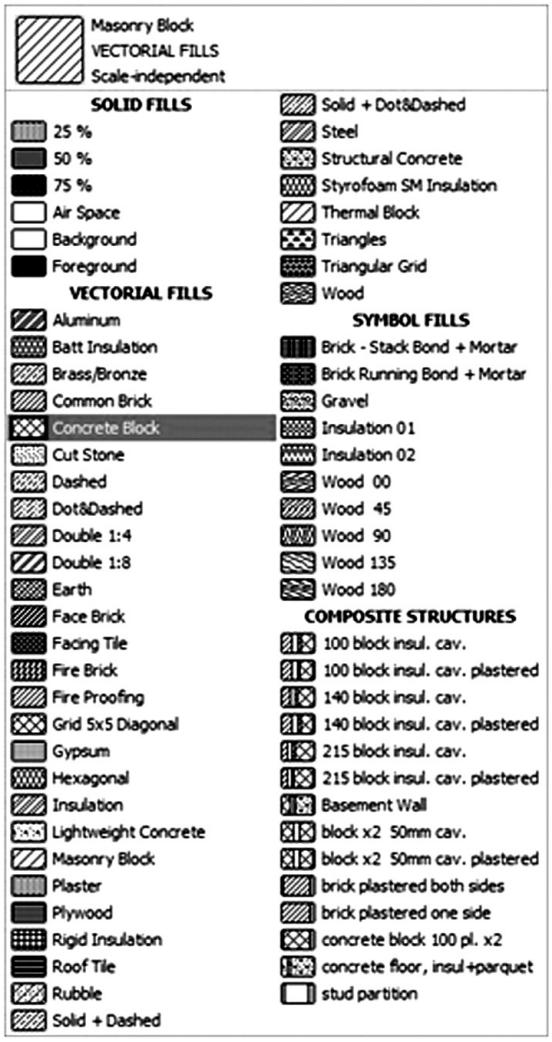


Рис. 19.10. Типи штриховок у розрізах і на планах

3) середній рядок справа – ті, що визначають товщину стіни по її довжині. Зауважимо, що у тому випадку, коли використовується багатошарова конструкція, товщина стіни, що дорівнює сумі товщин окремих шарів, не може бути змінена у цьому пункті;

4) нижній рядок справа – ті, що визначають форму, кут нахилу і товщину стіни по вертикалі.

Крім перелічених параметрів, надається інформація про поточний поверх.

У другій закладці (Floor Plan and Section) задаються параметри, що визначають зображення стіни на плані та у розрізах. Розглянемо ті з них, які використовуються найчастіше.

1) У закладці Structure задається тип штриховки, який має відповідати обраному матеріалу чи, у разі багатошарових конструкцій, кільком матеріалам стіни. Як стандартні штриховки, так і створені користувачем, розміщуються у вікні, яке відкривається після клацання лівою кнопкою миші по символу штриховки або по трикутнику справа від нього (рис. 19.10). Щоб скористатись якоюсь штриховкою з цього вікна, слід клацнути на її символі. У цій же закладці встановлюється пріоритет стіни, що важливо для правильного оформлення перетину стін;

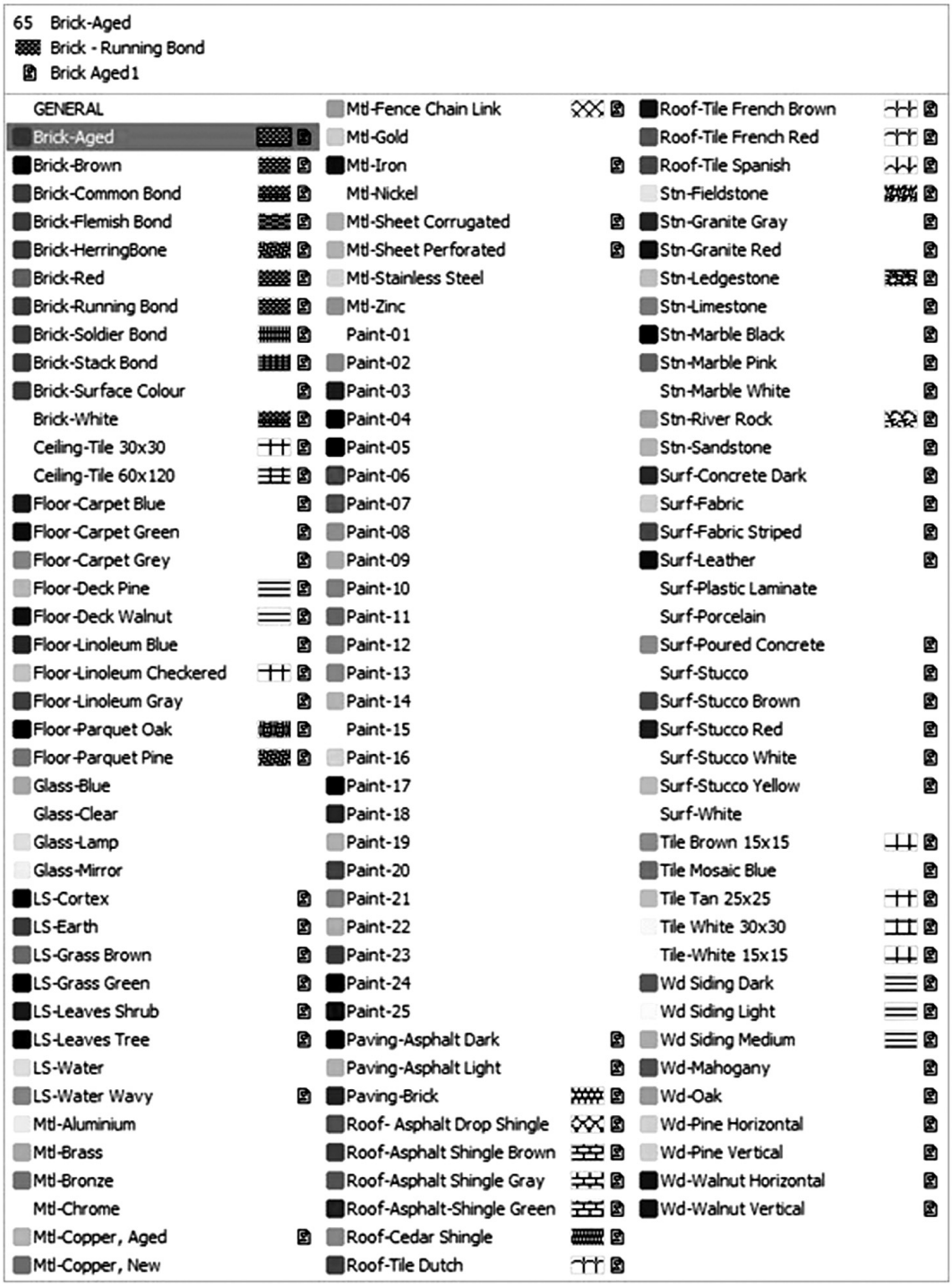


Рис. 19.11. Матеріали

а.



б.



Рис. 19.12. Контекстні меню інструменту ***Wall***

2) У закладці CutSurfaces вказується колір штриховки, який обирається із палітри після клацання миші на символі кольору. У разі багатошарової конструкції слід поставити галочку клітинці зліва від слів Apply Structure Settings, що дасть можливість показати штриховки всіх шарів стіни такими, якими вони були встановлені при створенні багатошарової конструкції;

У третій закладці (Model) визначається вигляд зовнішніх поверхонь стін у тривимірних зображеннях. Для того, щоб обрати той чи інший вигляд для всіх поверхонь, слід згрупувати їх, клацнувши на символі з'єднання, а потім – на символі матеріалу. Відкриється вікно (рис. 19.11), де відображаються стандартні і створені користувачем матеріали. Клацання на потрібному матеріалі дасть можливість скористатися ним. У разі, якщо потрібно надати кожній з поверхонь свого вигляду, групування не проводиться, а матеріали обираються окремо.

Крім того, є можливість працювати із дерев'яними стінами із брусів. Для цього слід клацнути на кнопці Log Details (Параметри зрубу). При натисненні на кнопку відкривається вікно, в якому можна задати форму і радіус деревин, а також відповідні текстури.

Четверта закладка (Listing and Labeling) надає можливості позначити стіну та включити її до відомості, а окрема кнопка – змінити шар, до якого ця стіна належить.

Для побудови стіни (можливі прямолінійні, криволінійні, прямокутні, багатокутні та змінної товщини стіни) слід клацнути мишею на відповідній піктограмі інформаційного табло, а потім вказати мишею, або ввести з клавіатури координати початкової і кінцевої точок, якщо стіна прямолінійна, протилежних кутів, якщо прямокутна тощо.

Редагування стін здійснюється наступними способами:

- зміною параметрів через діалогове вікно або із використанням інструменту «піпетка»;
- застосуванням стандартних команд для стіни у цілому через головне або контекстні меню (рис. 19.12).

а. При клацанні *лівою* кнопкою миші по чорній точці доступні команди (зліва направо):

- переміщення стіни;
- обертання стіни (вказується вісь і кут обертання);
- дзеркального відображення (вказується вісь);
- зміни вертикальної позначки;
- копіювання (вказується спосіб утворення копій – переміщенням, обертанням, підйомом, створенням матриці, – а також кількість копій і спосіб відліку відстаней від вихідного об'єкту);
- зміни довжини стіни.

б. При клацанні *лівою* кнопкою миші по об'єкту (першій рядок):

- введення додаткової точки у місті клацання і перетворення стіни на ламану;
- перетворення форми стіни на дугу вказуванням радіусу кола;
- те ж саме, вказуванням дотичної;
- зміна товщини стіни по довжині;

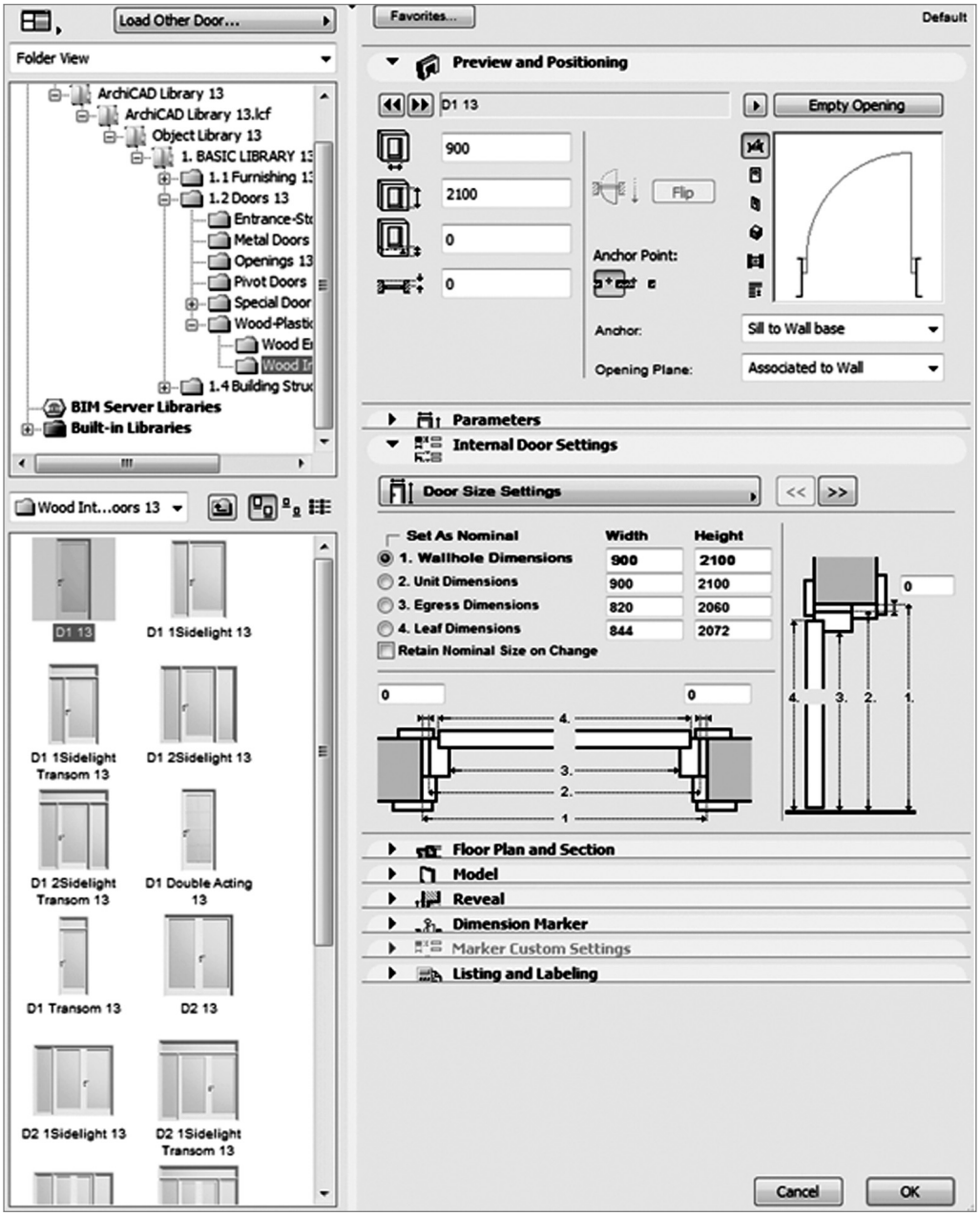


Рис. 19.13. Діалогове вікно параметрів дверей

- зміна товщини стіни по довжині із введенням додаткової точки;
- команди другого рядку ідентичні указаним у пункті а.;

в. При клацанні *правою* кнопкою миші – перехід до текстового контекстного меню із можливістю доступу до усіх параметрів і команд.

Спряження стін виконується автоматично так, щоб не було видно шву. Ця опція може бути вимкнена. Багатошарові стіни з різним штрихуванням також спрягаються автоматично.

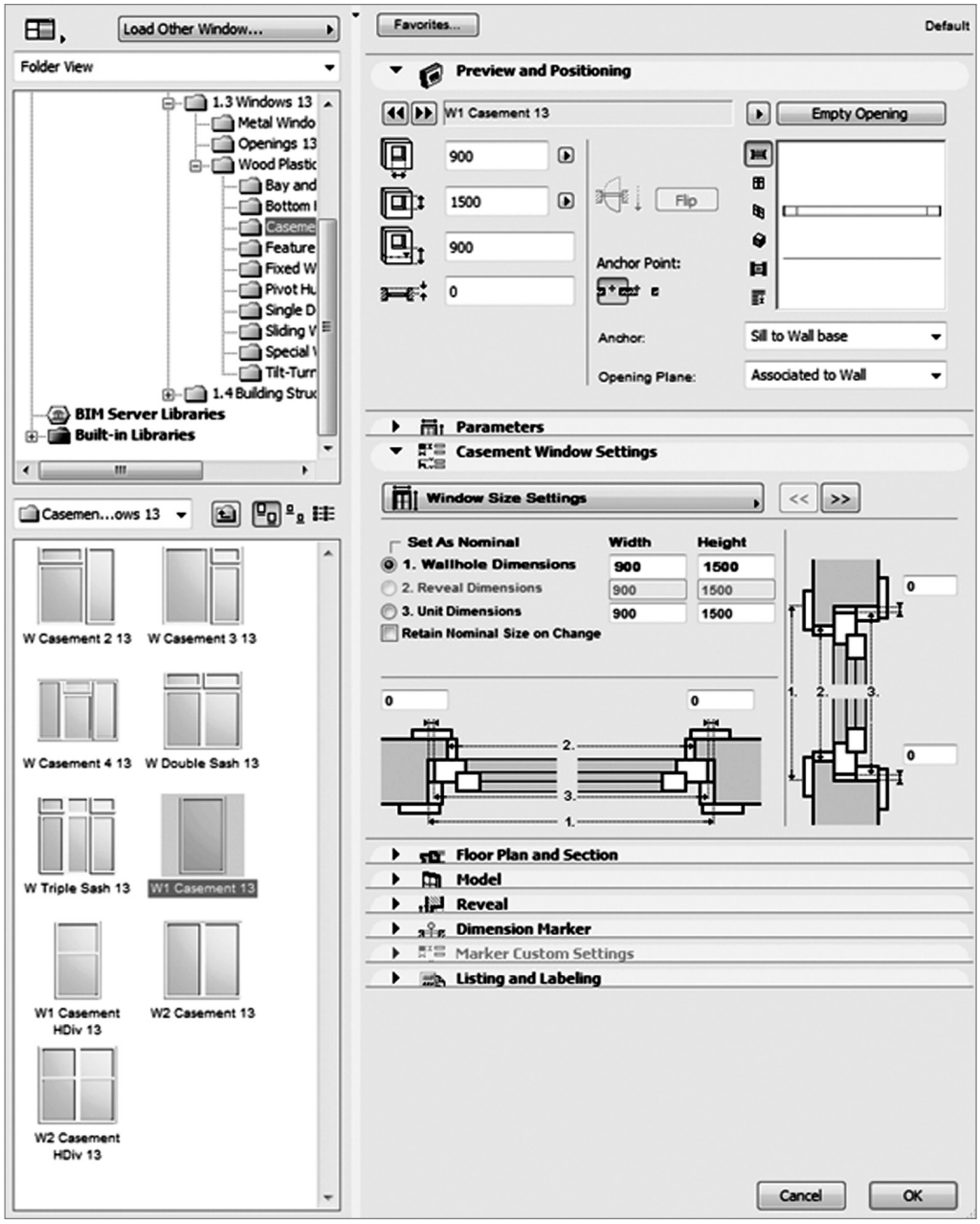


Рис. 19.14. Діалогове вікно параметрів вікон

Door (Двері) являють собою параметризовані елементи, які групуються у кількох розділах бібліотеки (двері-вертушки і металеві, пусті пройми або арки, двері арочної форми, обертальні,розсувні, гаражні ворота, вхідні та міжкімнатні деревино-пластикові двері).

При клацанні на піктограмі ***Door*** панелі інструментів, а потім інформаційного табло, відкривається діалогове вікно (рис. 19.13).

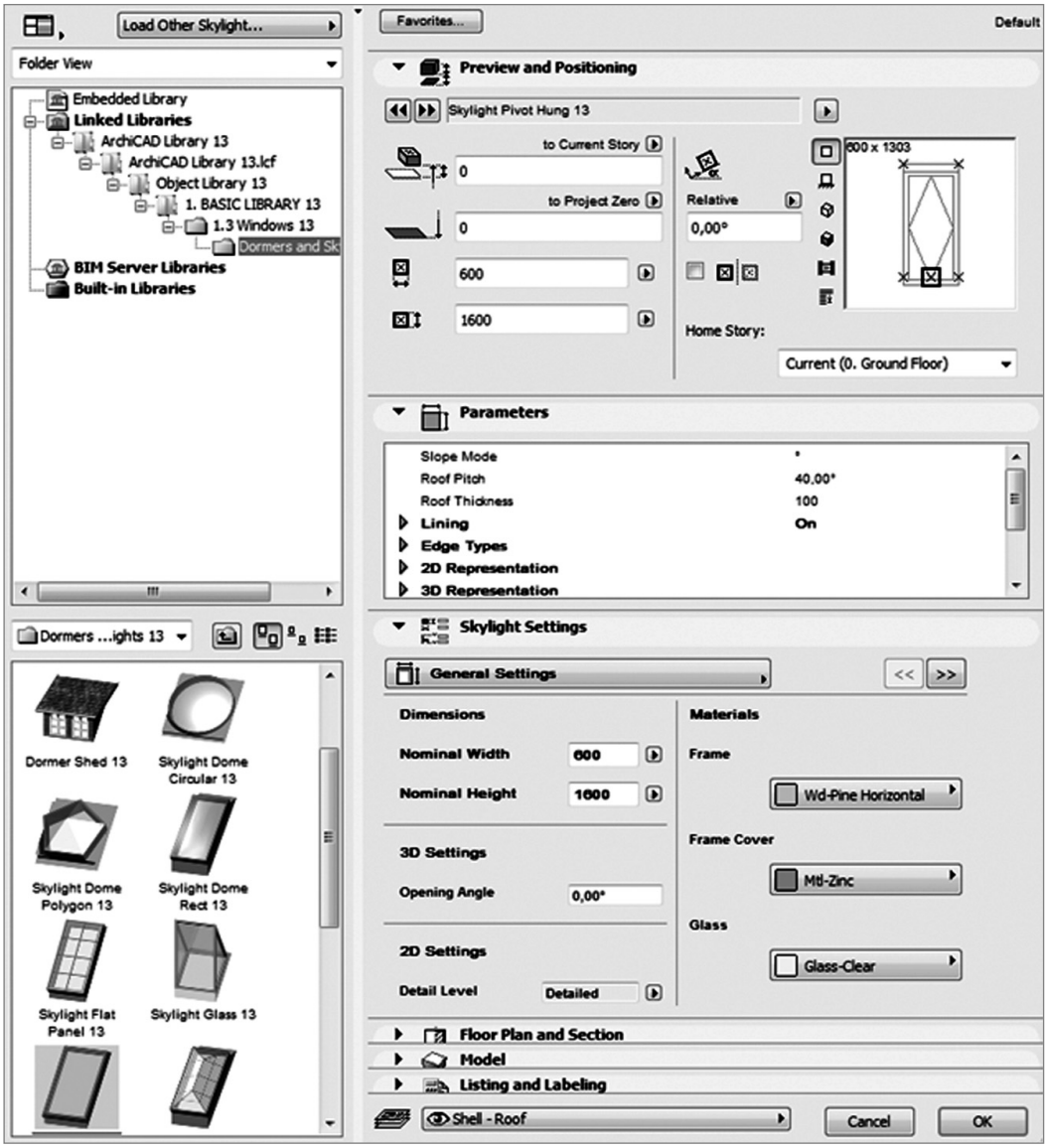


Рис. 19.15. Діалогове вікно параметрів мансардних вікон

У верхньому рядку клацання на кнопці Load Other Door відкриває доступ до менеджера бібліотек (розташований знизу), де можна завантажити модель із окремої групи або із бібліотеки користувача – треба вказати шлях до неї. Сама модель відображається нижче.

У правій частині вікна розташовано декілька закладок.

Закладка Preview and Positioning дозволяє ідентифікувати двері, визначити їх геометричні розміри, висотну позначку відносно *низу стіни*, розташування всередині стіни та точку прив'язки – по краю чи центру двері.

У закладці Parameters задаються розміри і матеріали окремих елементів, наявність чи відсутність чвертей та арки над проймою та інші параметри.

Стилі та розміри дверей (деталі полотна та дверного блока) потрібно визначати у наступній закладці Internal Door Settings, прогортаючи її; як правило, це зручніше, ніж використовувати попередню закладку.

Позначення дверей на плані і у розрізі регулюється у закладці Floor Plan and Section.

Закладка Model дозволяє регулювати вигляд дверей у тривимірному зображенні, змінюючи їх матеріали. Тут слід знати, що при установці галочки у клітині Use Object Materials будуть відображатись задані у закладці Parameters матеріали окремих елементів. Якщо ж зняти цю галочку, буде відображено для всіх елементів лише один матеріал – той, що задається при натисненні відповідної кнопки закладки. Використання цієї можливості буває зручним, коли потрібно двері із скляним полотном перетворити, наприклад, у суцільно дерев'яні.

Окрема закладка (Reveal) присвячена роботі із чвертями (вона активна, якщо у закладці Parameters замість No Reveal обрано Reveal або один із стилів чвертей). Інші закладки дають можливість здійснити маркірування дверей та представити їх у спеціальній відомості.

Розміщення дверей здійснюється шляхом указування клацанням миші на місці додавання пройми. Редагування вікон і дверей здійснюється так, як і в попередньому випадку.

Наступні два інструменти – ***Window (Вікно) та Skylight (Мансардне вікно або світовий ліхтар)*** працюють аналогічно. Їх діалогові вікна показано на рис. 19.14 та 19.15 відповідно.

Звернемо увагу, що і для вікон присутня закладка – Window або General Settings, у якій присутні можливості роботи з розмірами та матеріалами окремих елементів об'єкту. Цю закладку можна прогортати, отримуючи доступ до окремих груп параметрів; працювати так зручніше, ніж з закладкою Parameters.

Зрозуміло, що розмістити вікна і двері можна тільки після того, як розміщено стіни, а світові ліхтарі – тільки після побудови даху.

Наступним інструментом є ***Roof (Крівля, дах)***. Його діалогове вікно показано на рис. 19.16.

У закладці Preview and Positioning обираються висотні позначки, кут нахилу та товщина даху.

У закладці Floor Plan and Section обирається багатошарова конструкція крівлі (як і для стін, вона може бути задана користувачем у пункті головного меню Options –Element Attributes – Composites).

У закладці Model встановлюється вигляд окремих поверхонь даху, а у закладці Listing and Labeling – його маркірування та відображення у відомості.

Існує можливість побудови як простих, так і багатоскатних дахів, а також куполів і циліндричних дахів.

В першому випадку у інформаційному табло обирається один із варіантів геометричної побудови *простого даху* (багатокутний скат, прямокутний скат, повернутий скат), клацання визначається базова лінія (умовна горизонтальна лінія на нижній поверхні скату), потім клацанням вказується напрям підйому скату, нарешті, в плані визначається багатокутник скату.

У другому випадку, після вибору піктограми побудови *багатоскатних* дахів, наводиться багатокутник контуру, далі у вікні Poly Roof Settings (рис. 19.17) установлюються потрібні значення, і, після підтвердження, ArchiCAD сам будує такий дах. Звернемо увагу, що крівля може мати до чотирьох ярусів. Крім того, задається виніс крівлі та спосіб її обрізання. Суттєвим обмеженням є неможливість змінювати кути нахилу окремих скатів багатоскатних дахів.

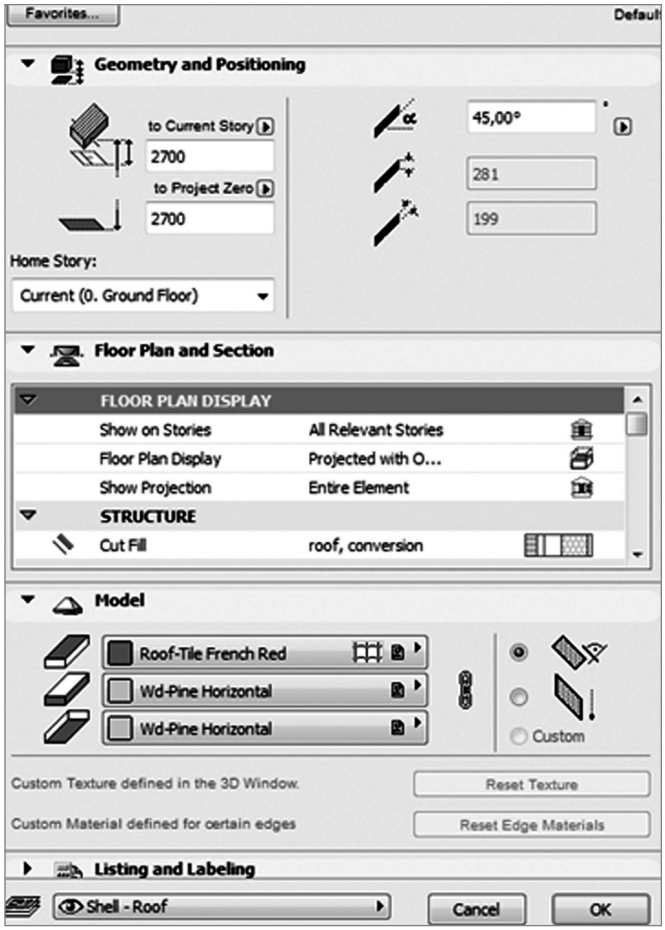


Рис. 19.16. Діалогове вікно інструменту крівель

У третьому випадку обирається геометричний варіант побудови *куполу*, далі трьома клацаннями миші на плані визначаються центр куполу, початкова і кінцева точка даху, у діалоговому вікні визначаються параметри купола, після чого програма будує його автоматично.

В четвертому випадку обирається варіант побудови циліндричних дахів, задається контур, вказується величина звисання і прямокутник даху, в діалоговому вікні визначаються параметри, після підтвердження дах будується автоматично.

На побудованих дахах розміщуються мансардні вікна або світові ліхтарі.

Після побудови даху слід підрізати стіни мансарди під його скати. Для цього виділяються стіни і виконується команда Trim to Roof пункту головного меню ***Design***. *Після цього* можна будувати труби вентиляційних каналів і димоходів, використовуючи для цього інструмент стіна або колона – інакше вони обріжуться разом із бічними стінами.

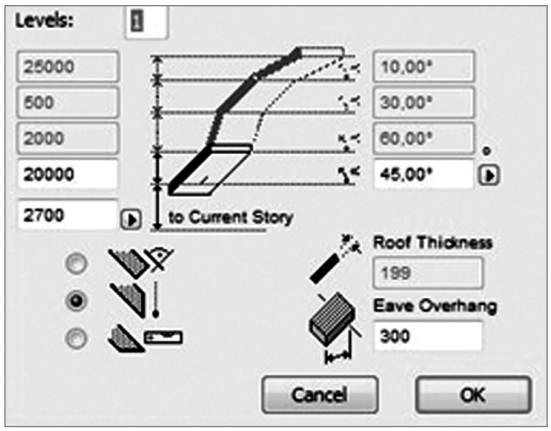


Рис. 19.17. Діалогове вікно визначення ярусів

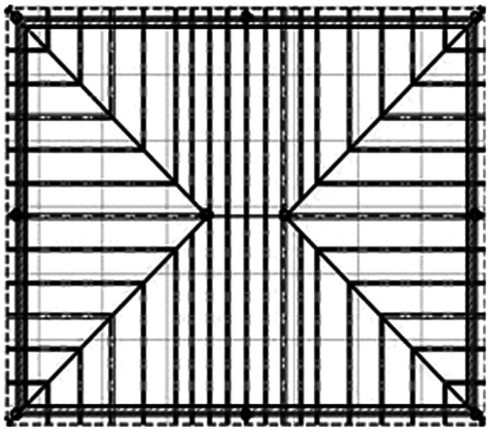


Рис. 19.18. Каркас крівлі

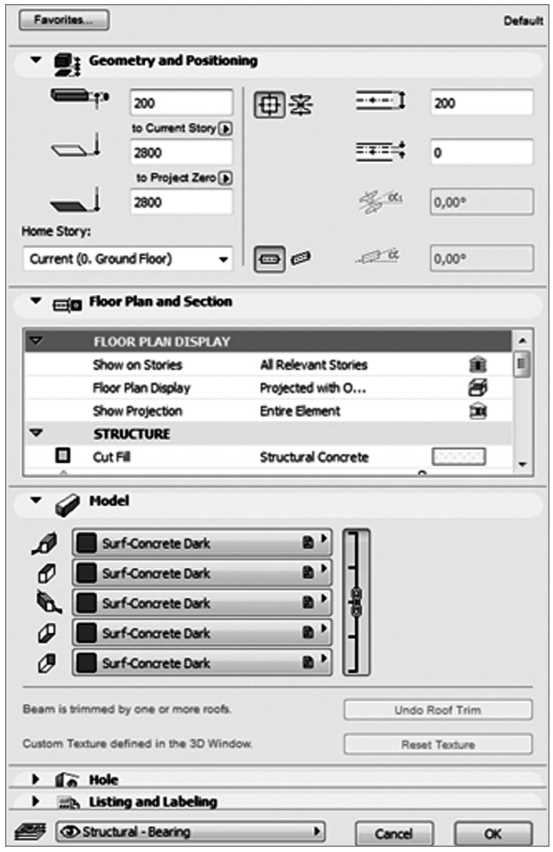


Рис. 19.19. Діалогове вікно балок



Рис. 19.20. Діалогове вікно колон

Існує можливість автоматизованої побудови каркасу крівлі. Для цього слід виділити всю крівлю, зайти до пункту головного меню ***Design*** та у пункті Design Extras обрати помічник Roof Maker. Після його активізації слід вказати типи і геометричні розміри елементів каркасу крівлі, після чого каркас буде побудовано автоматично (рис. 19.18) із урахуванням мансардних вікон і світових ліхтарів. Слід відзначити, що програма *не завжди* будує каркас правильно. У цьому випадку слід розгрупувати елементи каркасу, після чого редагувати кожний із них окремо.

Так само за допомогою Truss Maker здійснюється побудова ферм; при цьому слід виділяти окремі арки, а не контури стін в цілому.

Beam (Балка). Діалогове вікно балок показане на рис 19.19. До визначення параметрів балок додається одна закладка – це балки з отвором. Місця отворів обираються клацанням миші у відповідному місці, а їх параметри встановлюються у діалоговому вікні. Перетин балок здійснюється згідно з їх пріоритетом (у балці з меншим пріоритетом автоматично робиться виріз). Пріоритет необхідно встановити за допомогою спеціального повзунка, який розташовано в діалоговому вікні Beam Settings у закладці Floor Plan and Section-Structure.

Column (Колона). Параметри колон задаються у діалоговому вікні (рис 19.20), структура якого аналогічна вікну балок. Є можливості розміщення круглих і прямокутних колон, а також колон складного профілю, прямих чи похилих. Редагування параметрів робиться як у попередніх випадках.

Slab (Плита) має діалогове вікно, показане на рис. 19.21.

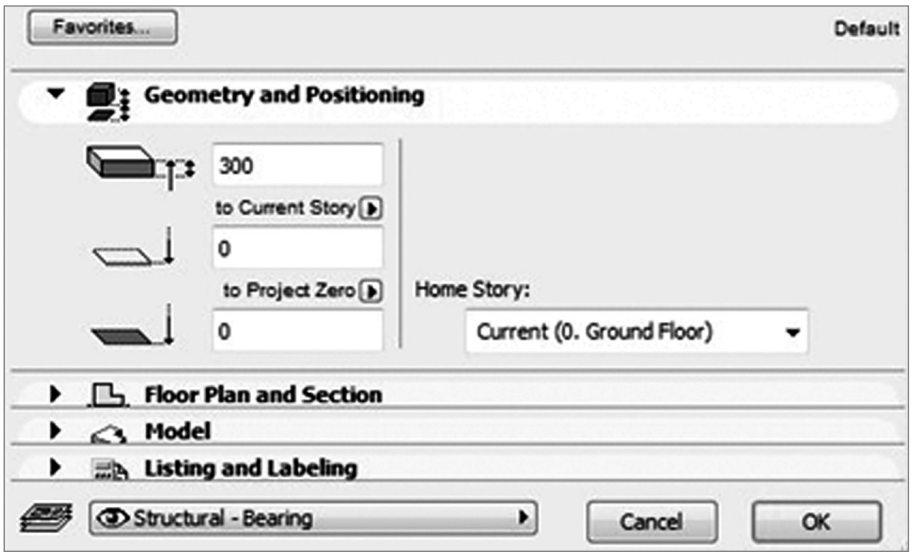


Рис. 19.21. Діалогове вікно плит

а. б.



Рис. 19.22. Контекстні меню інструменту ***Slab***

Зміст закладок і параметрів аналогічне попереднім інструментам. Відзначимо дві особливості, що потребують уваги. По-перше, товщина плити відраховується від *верхньої грані*, тобто на проектну позначку слід виставляти саме цю грань. Наприклад, якщо рівень підлоги +3,000, а її товщина 80, то позначкою to Project Zero має бути саме +3,000, а не +2,920. По-друге, при застосування багатошарових конструкцій *слід відділяти конструкції підлоги від конструкцій перекриттів*, оскільки вони по-різному суміщаються із стінами (перекриття опираються на несучі стіни, а підлоги – ні). Через це стандартні шаблони у Composites потребують редагування.

Редагування може здійснюватися за допомогою контекстних меню (рис. 19.22).

а. При клацанні *лівою* кнопкою миші по чорній крапці кута плити;

б. При клацанні *лівою* кнопкою миші по плиті.

До знайомих вже команд додаються:

– у випадку а. (верхній рядок):

- переміщення кутової точки, на якій було проведене клацання;
- скруглення (Fillet) або зрізання (Chamfer) даного чи всіх кутів (вказується величина радіусу скруглення або зрізання);
- пропорційне збільшення чи зменшення розмірів плити;
- булева операція додавання до плити іншої плити;
- булева операція віднімання від плити іншої плити;

– у випадку б. (у верхньому рядку):

- переміщення сторони, по якій було проведене клацання;

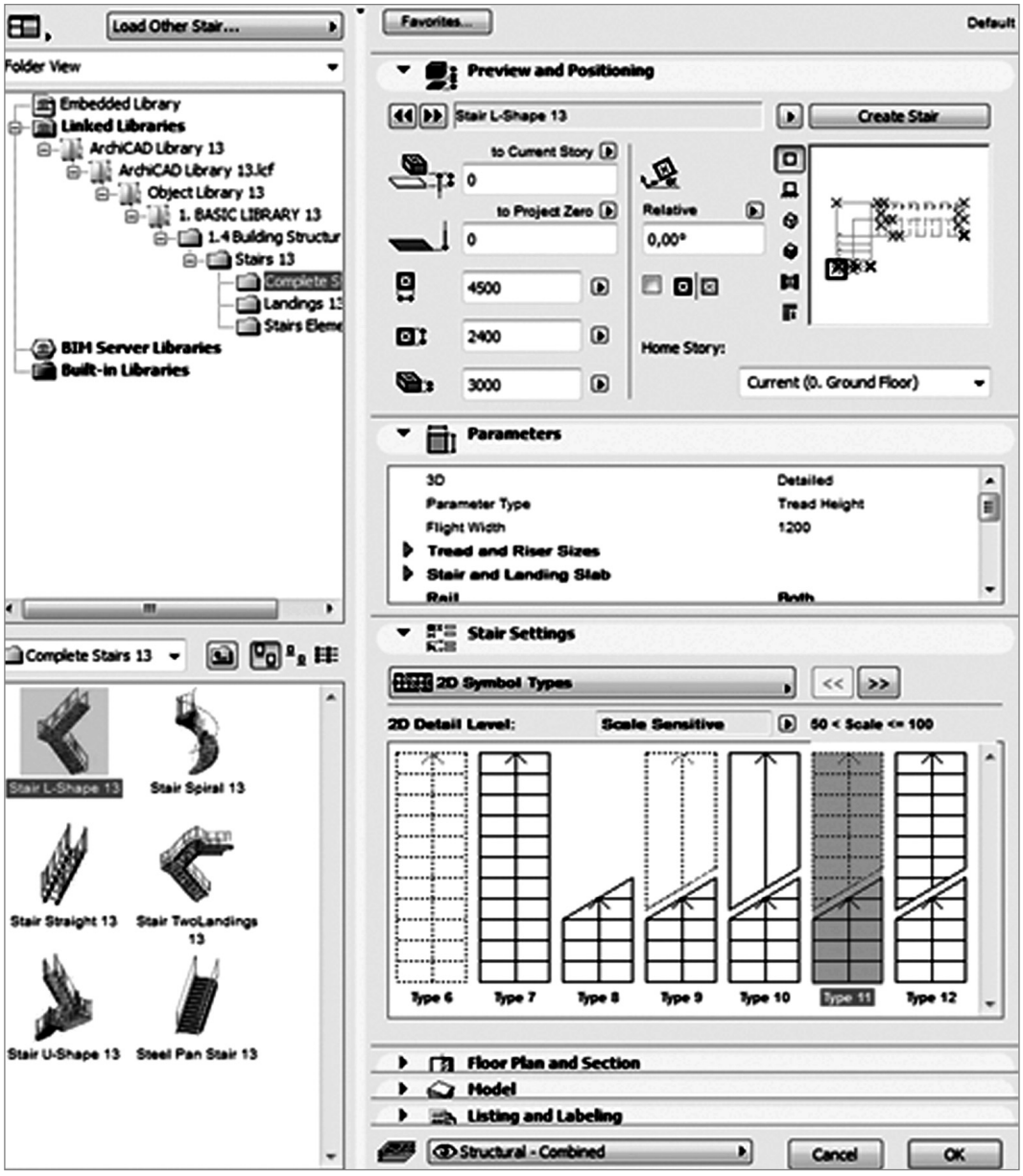


Рис. 19.23. Діалогове вікно сходів

● зміна кута нахилу вертикальної грані плити.

При клацанні правою кнопкою миші по плиті з'являється текстове контекстне меню, аналогічне показаному на рис. 19.12 в.

Stair (Сходи) будуються із використанням шаблонів із діалогового вікна (рис. 19.23).

Проте частіше сходи будуються за допомогою помічника Stair Maker, який запускається командою Create Stair. Після запуску помічника пропонується обрати шаблон сходів або пандусу (рис. 19.24), а потім відредагувати окремі параметри (рис. 19.25).

При редагуванні слід мати на увазі, що параметри не є незалежними. Пов'язані, наприклад, величини висоти і ширини сходинки, ширини маршу і площадки і т. д. Крім того, *програма не будує* сходинок половинної товщини на початку і у кінці маршу. Варіант ув'язок параметрів сходів з урахуванням їх стандартних значень якраз і наведено на рис. 19.25.

Окрім закладки Geometry Settings, присутні ще п'ять закладок, що визначають вид і матеріали маршу, покриття окремих сходинок, вид, розташування і матеріал перил (рис. 19.26), позначення і представлення сходів.

Відзначимо одну особливість роботи програми при визначенні перил.

Для переходу від двосторонніх перил до односторонніх слід *спочатку* у списку, Raling Setting обрати No Raling, далі перейти до символу односторонніх перил, *далі* обрати у списку Raling Setting потрібний вид перил, і якщо потрібно розташувати їх по внутрішньому краю, виставити у списку Location значення, яке дещо менше від ширини маршу (але не більше 1000 – це програмне обмеження). Після цього сходи набудуть потрібного вигляду і можна буде визначити додаткові параметри і матеріали. Якщо цього не зробити, будуть відображатись як перила, задані користувачем, так і ті, що йдуть по умовчанню. Після підтвердження установлення всіх параметрів програма запропонує обрати один із варіантів зображення сходів на плані та їх зберігання. *Рекомендується* зберігати сходи у каталозі проекту. При необхідності активної роботи із сходами як елементами інтер'єру, слід установити доповнення Arhi Stair, яке має ширші можливості регулювання та більше шаблонів.

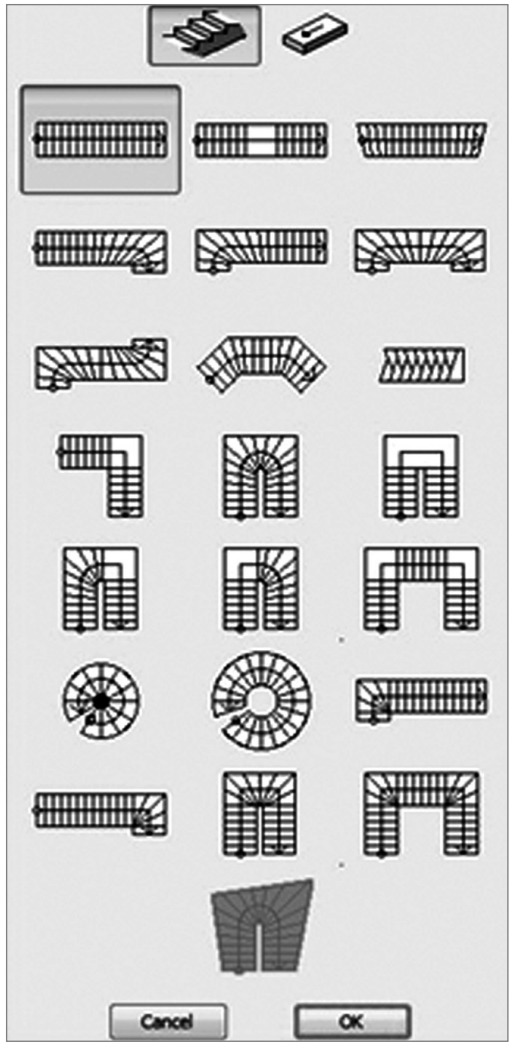


Рис. 19.24. Визначення шаблону сходів

Mesh (Мережа) являє собою площину нульової або визначеної товщини із довільним або прямокутним контуром. В останньому випадку вона може бути побудована як сітка з прямокутних клітинок. ***Mesh*** використовується для моделювання довільних поверхонь (частіше за все, рельєфу) шляхом визначення їх контуру та висоти опорних точок. Діалогова панель має стандартну структуру; деякі параметри доступні у інформаційному табло. Побудова поверхонь здійснюється так: спочатку, після вибору способу побудови (багатокутна, прямокутна, прямокутна повернута, регулярна похила сітка), визначається контур сітки, на якому створюється базова площина і задається висота сітки; потім, в разі потреби, додаються нові лінії і визначаються їх висоти.

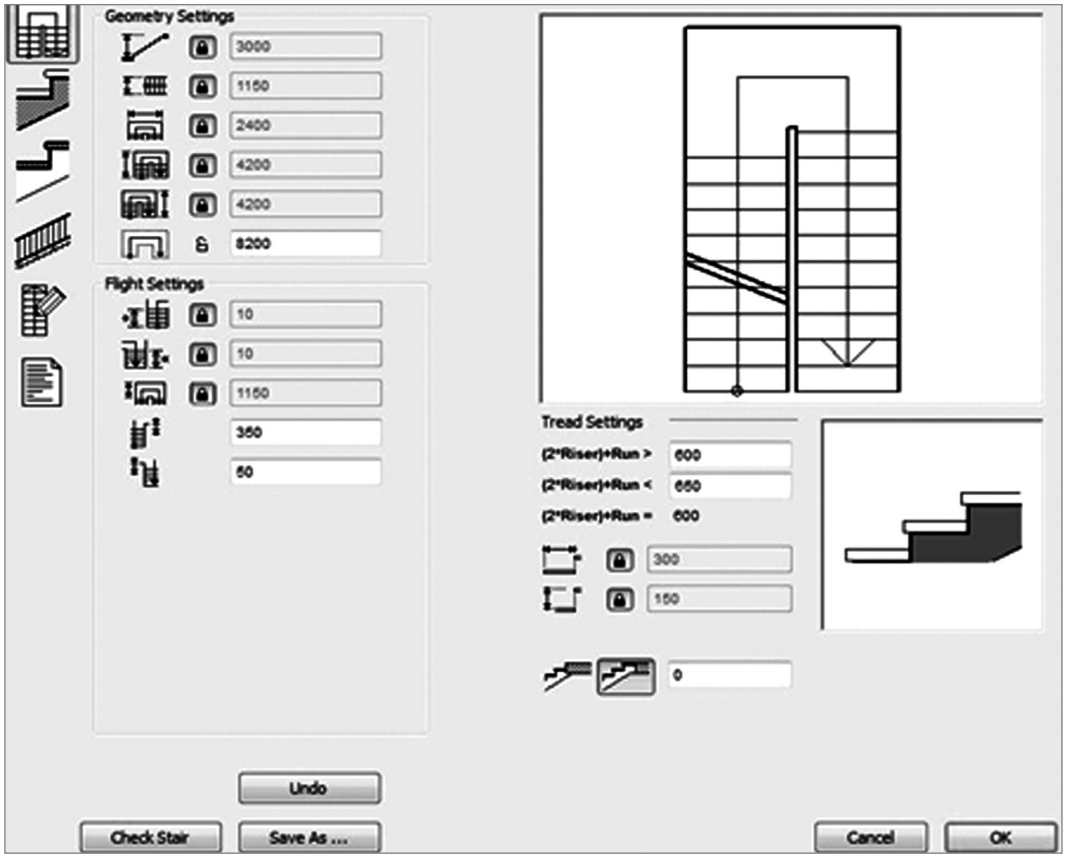


Рис. 19.25. Вибір геометричних параметрів сходів

При редагуванні зовнішнього контуру або ребра можливі переміщення вершин, розтягнення і стягнення, додавання і віднімання, зміна висоти вершини, для внутрішнього контуру переміщення і зміна висоти вершини. Є можливість застосувати обрану висоту до всіх вершин відразу.

Curtain (Навіс) являє собою систему навісних стін, які можуть бути розміщені вздовж прямої чи ламаної лінії, вздовж дуги, мати різну висоту та різне закріплення.

Zone (Зона) – інструмент позначення приміщень та підрахунку їх площ та будівельних об'ємів. Використовується також із програмою-доповненням InteriorWizard, що значно скорочує час роботи над інтер'єром приміщення.

Object (Об'єкт) являє собою параметричну бібліотеку моделей ArchiCAD Library 13 – Object Library 13, яка складається з розділів:

- BASICLIBRARY 13;
- VISUALIZATION 13;
- ADD-ONLIBRARY13.

У свою чергу, розділ BASICLIBRARY 13 складається з папок:

- Furnishing;
- Windows;
- Building Structures;
- Special Constructions;
- Mechanical;

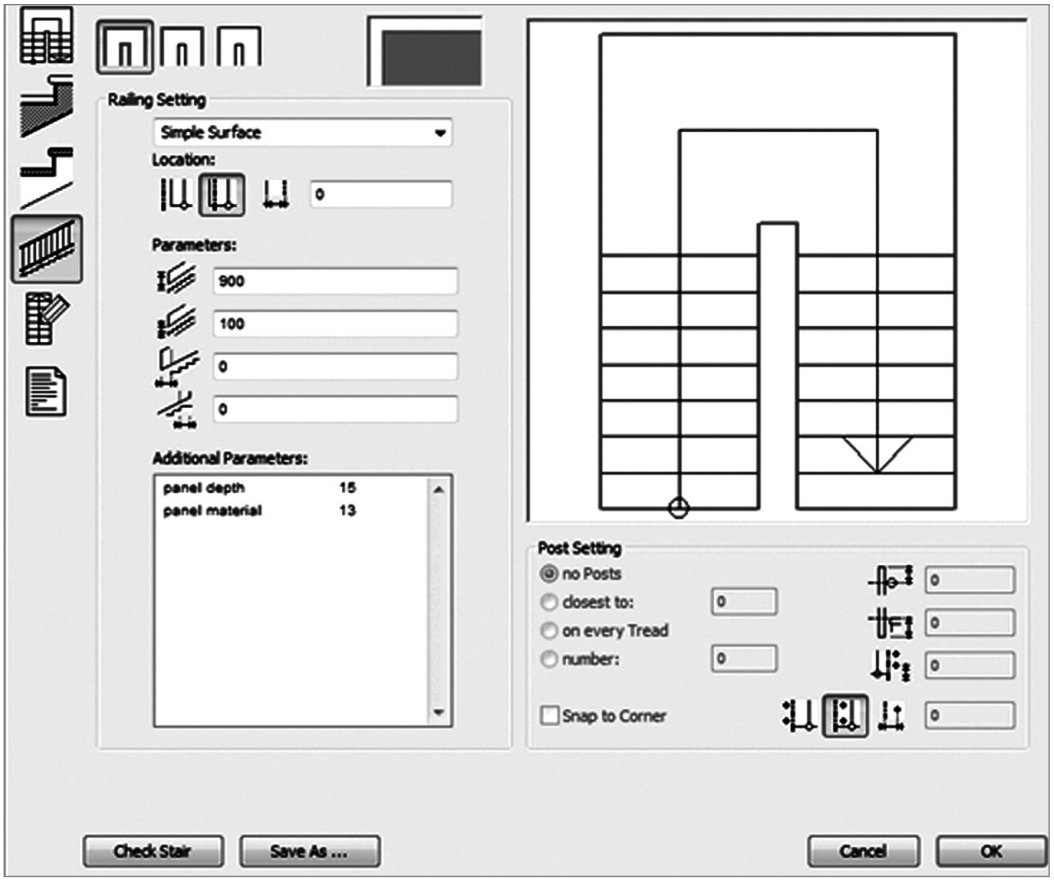


Рис. 19.26. Параметри перил

- 2D Elements.

Розглянемо ці папки, а також способи використання їх елементів.

До складу Furnishing (рис. 19.27) входять:

- Appliances – елементи кухонного обладнання (витяжки, плити, холодильники, *пральні машини*), а також чашки, чайники тощо;
- Bathroom Accessories – сушили для рушників, контейнери туалетного паперу, різні ручки, перила і т. п. «дрібне обладнання». Звернемо увагу – *раковини, ванни тощо слід шукати у папці Mechanical;*
- Beds – ліжка та тумбочки;
- Cabinets and Shelves – полиці, ящики, кабінетні шафи. Шляхом зміни параметрів і матеріалів можуть бути перетворені, наприклад, на обладнання гардеробної кімнати;
- Chairs – стільці і крісла;
- Couches and Sofas – м'які меблі;
- Decoration – годинник, картина, жалюзі, ваза з квітами, вішалки тощо;
- Furniture Layouts – гарнітури стіл-стільці, ліжко-тумбочки тощо;
- Health and Recreation – більярд, рояль, полиці, телевізори, тренажери;
- Kitchen Cabinets – кухонні мийки, полиці, шафи;
- Office Equipment – миша, клавіатура, монітор, системний блок тощо;
- Tables – столи різного призначення.

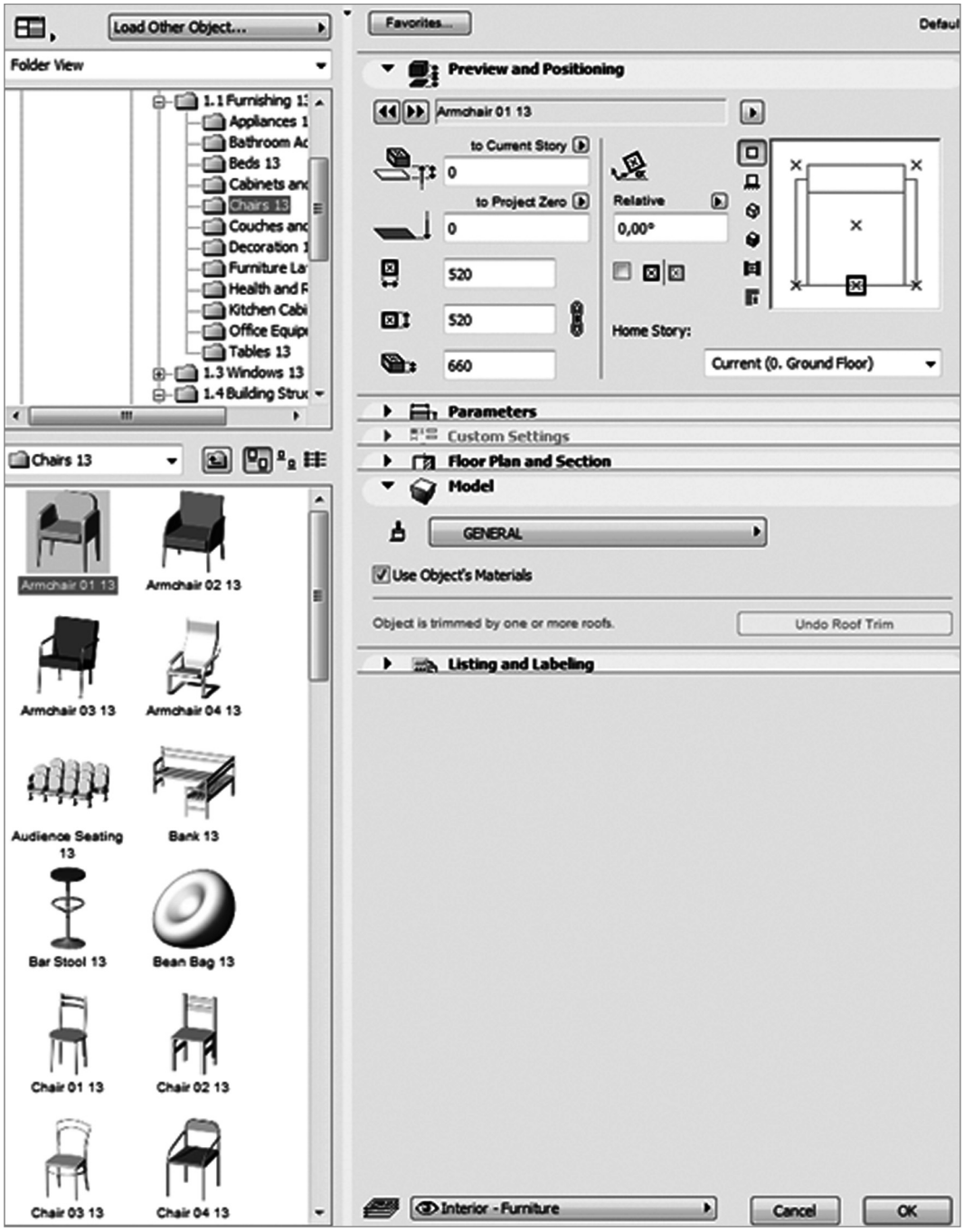


Рис. 19.27. Бібліотека об'єктів

Робота з елементом бібліотеки, наприклад, стільцем з рис.19.27, полягає у визначенні його розмірів і місце розташування, а також установленні параметрів окремих частин (закладка Parameters) або в цілому (закладка Model) так, як було розглянуто на прикладі дверей. Слід відзначити, що для різних елементів бібліотек склад параметрів і кількість закладок можуть суттєво відрізнятися.

До складу папки Windows входять уже знайомі нам мансардні вікна і світові ліхтарі.

Папка Building Structures включає розміщені у окремих каталогах елементи профнастілу, залізобетонних балок, колон, фундаментів та плит перекриття, дерев'яні та металеві огородження, молдінги, дерев'яні елементи каркасу крівлі, різноманітні сталеві конструкції, колони та рампи нестандартних форм, форми перекриттів, елементи оздоблення стін та розсувні стіни, дерев'яні ферми. До складу Special Constructions входять елементи креслення розмірів, труби та жолоби, відсіки поверхонь, каміни, металеві сходи, дерев'яні жалюзі, козирки, ставні, також згруповані в окремі каталоги.

До папки Mechanical входять моделі ліфтів, протипожежного обладнання, систем опалення і кондиціонування (тут і сонячні батареї), а також обладнання для санвузлів – ванни, душові кабіни, унітази тощо (папка Plumbing Fixtures).

Нарешті, до складу папки 2D Elements входять позначення, що використовуються на спеціальних кресленнях та малюнках, а саме: електричні та графічні символи, позначення сантехнічного обладнання, контури людей та рослин, хмароподібні лінії, проекції автомобілів.

Бібліотека VISUALIZATION 13 складається з двох розділів:

- Site improvement;
- People and Vehicles.

До складу першого входять папки:

- Garden – параметричні моделі кімнатних рослин, кущів та дерев;
- Parkand Street – лави, пропускні пристрої, баки для сміття тощо;
- Sport – бейсбольні, баскетбольні, тенісні площадки, басейни і, звернемо увагу, сауни.

До складу другого входять папки:

- People – параметричні моделі чоловіків та жінок;
- Vehicles – моделі автомобілів, автокранів, велосипедів.

Бібліотека ADD-ON LIBRARY 13 складається з розділів Roof Maker Library (елементи каркасу крівлі) та Specialties (куди можуть розміщуватися бібліотеки користувача).

Засоби нанесення розмірів включають нанесення лінійних розмірів і висотних позначок у закладці ***Document***, а також радіальних і кутових розмірів у закладці ***More***. Розглянемо, як регулюються параметри нанесення лінійних розмірів (рис. 19.28); для інших типів це робиться аналогічно.

У закладці Typeand Font визначається тип розміру – лінійний чи висотний (слід клацнути на кнопці біля відповідного символу), тип маркеру, колір і товщина пера (вводяться кольори і числа).

Далі визначається тип і розмір шрифту (як у будь-якому текстовому редакторі), його колір та розташування тексту відносно розмірної лінії. У закладці Markerand Witness Line Options визначаються розміри маркеру та відстань між об'єктом та прив'язкою розмірної лінії.

У закладці Dimension Details вказується, чи потрібно до ширини пройми додавати ще й висоту і чи ставити розміри багатошарової конструкції по габаритам чи тільки по основному шару.

Для *ручного* нанесення розмірів (у середині приміщень або зовнішніх) слід вказати всі стіни, для надійного фіксування закінчення зручно клацнути правою кнопкою миші і у меню, що відкривається, натиснути кнопку ОК, далі слід вказати розташування розмірної лінії на кресленні і клацнути мишею.

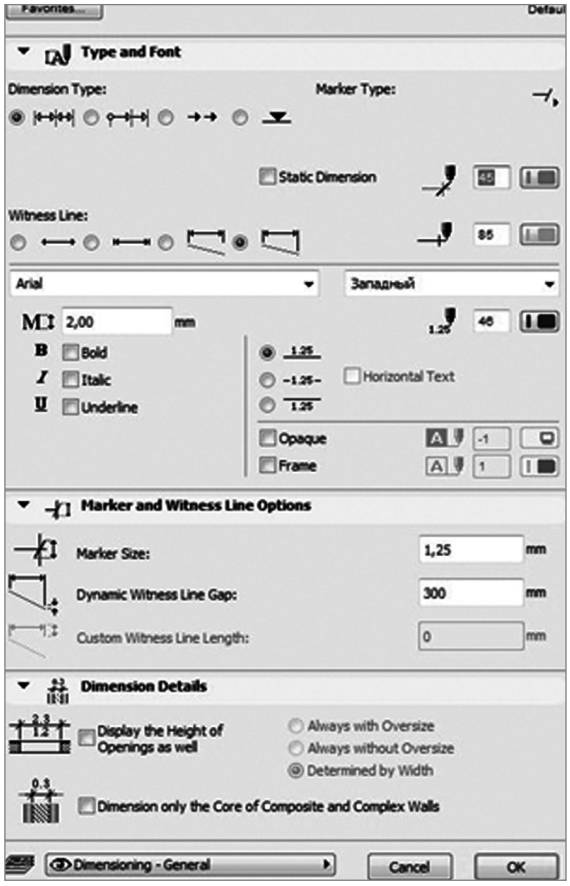


Рис. 19.28. Діалогове вікно параметрів розмірів

Лінія буде побудована у вказаному місці, всі розміри стін і приміщень будуть підраховані автоматично. Оскільки внутрішні розміри не включають товщин зовнішніх стін, слід видалитиостанні, підвівши курсор до закінчення ліній, клацнувши мишею і натиснувши клавішу Delete. У разі потреби написи розмірів можна зміщувати відносно лінії, попередньо виділивши їх.

Для *автоматичного* нанесення зовнішніх розмірів слід виділити контур зовнішніх стін, зайти до головного меню **Document** – Document Extras – Automatic Dimensioning – Exterior Dimensioning, вказати, як будуть наноситися розміри для пройм, а також відстань між лініями. Якщо активізувати опцію Place dimensionson foursides, будуть побудовані ланцюжки відразу з чотирьох боків.

Далі слід вказати на кресленні базову лінію і місце розташування першої з розмірних ліній, клацнути мишею. Розміри будуть побудовані автоматично. Слід відзначити, що у більшості випадків вони потребуватимуть коригування – видалення ліній, що повторюються, перенесення написів тощо.

Для *автоматичного* нанесення внутрішніх розмірів слід обрати об'єкти і зайти до головного меню **Document** – Document Extras – Automatic Dimensioning – Interior Dimensioning і у діалоговому вікні установити значення параметрів. Після цього мишею вказується лінія для визначення напряму розмірних ліній і після клацання на місці першої з розмірних ліній розмірні ланцюжки будуються автоматично.

Text (Напис) використовується для нанесення написів, наприклад, назви креслення, масштабу і т.д. Необхідно задати параметри шрифту (як у будь-якому текстовому редакторі), вказати на кресленні місце напису, ввести текст у полі тексту і, по закінченні, клацнути кнопкою миші за межами поля. У разі потреби переміщення поля з текстом, його слід виділити, а потім використати контекстне меню. У разі потреби зміни тексту, поле виділяється, потім усередині нього слід двічі клацнути кнопкою і внести зміни.

Label (Виносний напис) та ***Detail (Деталь)*** використовується для позначення вузлів та окремих деталей. Після регулювання параметрів у діалоговому вікні вказується місце розташування виносної лінії, її розміри, а далі у полі тексту вводиться потрібний напис.

Інструмент Fill (Штриховка) використовується для нанесення штриховки, або зафарбування плоского контуру, що залається користувачем. У цьому виникає потреба, наприклад, при нанесенні планів будівель на план місцевості і у тому подібних випадках.

Line (Лінія) та ***Poliline (Ламана)*** – інструмент проведення плоских відрізків та ламаних ліній. Можна регулювати тип, колір, товщину. Використовується, наприклад, при редагуванні розрізів, коли треба позначити гідроізоляцію лінією, більш товстою, ніж основна і т. п.

Лінії використовуються для креслення відрізків, ламаних, прямокутників. Після вибору піктограми, відкривається діалогове вікно і змінюється вигляд інформаційного табло. Після завдання параметрів в діалоговому вікні, при виділенні в інформаційному табло піктограми методів побудови слід обрати одну з чотирьох альтернатив – побудову відрізку (задаються координати початку і кінця), ламаної (послідовно вказуються всі вершини), замкненого прямокутника (визначаються протилежні кути), повернутого прямокутника (задається перший кут, кут повороту, протилежний кут прямокутника).

Для роботи з прямими існують ще три команди, доступні після вибору елементів і виконання команд Tools (інструменти) та Line Extras (операції з прямими):

- Fillet (Спряження) – виконує спряження прямих дугою із заданим користувачем радіусом;
- Chamfer (З'єднання) – з'єднання прямих хордою дуги із визначеним користувачем радіусом;
- Intersect (Перетин) – побудова перетинів прямих із їх подовженням або підрізанням.

Arch/Circle (Крива/Коло, Еліпс) будуються аналогічно: вибирається піктограма, визначаються параметри і спосіб побудови. Доступні такі можливості: за центром і радіусом, по трьом точкам; по двом дотичним і точці; еліпс, вписаний в прямокутник; вказуванням центру і головних осей; по центру, осям і куту.

Spline (Сплайн – у закладці ***More)***. Після завдання параметрів вибирається метод побудови – сплайни (задаються вершини), криві Без'є (послідовне завдання вершин і дотичних), ескізні лінії (генеруються автоматично, повторюючи траєкторію миші при натиснутій лівій клавіші миші).

Об'єкти, які є результатом описаних побудов, редагуються стандартними способами.

Section (Розріз) використовується для побудови розрізів і може бути застосований для побудови фасадів. Розглянемо основні закладки діалогового вікна цього інструменту (рис. 19.29).

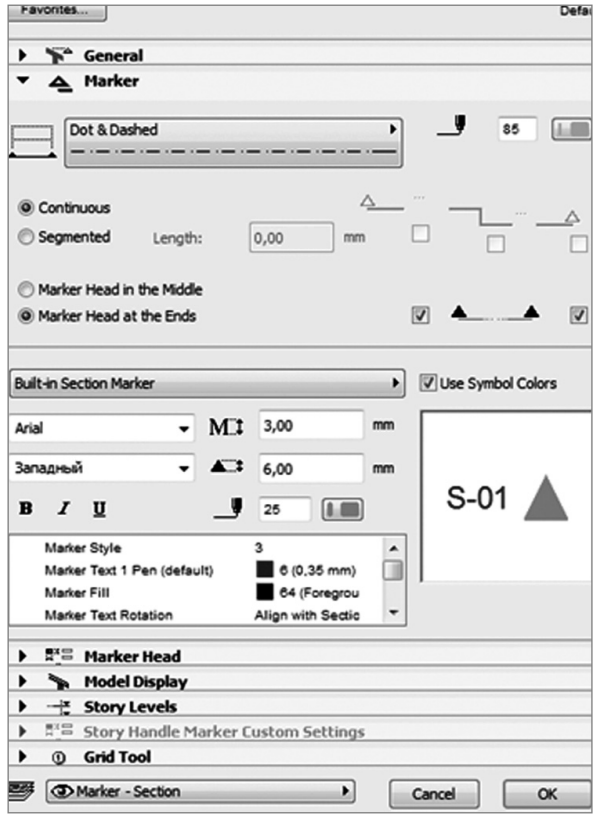


Рис. 19.29. Діалогове вікно параметрів розрізу

У закладці General слід встановити тип позначення (відображається на плані), в разі потреби обрати глибину розрізу та обмежити його верхньою і нижньою позначками. Це рекомендується робити, якщо розріз обтяжений другорядними деталями у глибині або по висоті, які не слід показувати.

Далі, у закладці Marker слід обрати тип лінії, колір і товщину пера, а, головне, чи буде розріз простим або ступінчастим (Segmented). В останньому випадку на плані спочатку вказується одна лінія, а потім, за допомогою контекстного меню, вона розбивається на кілька сегментів, що розміщуються у потрібних місцях. Також тут обирається шрифт, йогорозміри і колір.

У закладці Marker Head обирається вид позначення напряму погляду.

У закладці Model Display обирається ступінь реалістичності зображення: чи будуть конструкції зберігати свої штриховки, кольори і текстури, а також чи будуватимуться тіні і як має бути розташоване сонце. Побудова тіней може бути потрібною лише для фасадів.

Закладка Story Levels визначає відображення висотних позначок поверхів (мають службовий характер і не зберігаються при друці), а Grid Tool – порядок відображення координаційних осей.

Після визначення параметрів і розміщення лінії перетину, розріз будується автоматично у окремому вікні, дістатися якого можна через панель навігатора, або через головне меню (***View*** – Navigate – Sections – Open Section, далі вказується позначення конкретного розрізу).

Слід зауважити, що автоматично побудований розріз має бути ретельно проредагований: наносяться висотні позначки, вертикальні і горизонтальні розмірні лінії, виносні написи і позначення деталей, назва і масштаб креслення, виділяються окремі лінії тощо. Така робота проводиться у ***вікні розріз/фасад***, яке знаходиться у інтерактивному зв'язку з іншими робочими вікнами, але має ряд обмежень по створенню і модифікації елементів. Для редагування елементів можна використовувати стандартні прийоми переміщення, копіювання тощо, а також доступні команди побудов.

Для того, щоб не відображати якісь рівні або елементи (найчастіше – підземні конструкції та елементи інтер'єру), їх шари слід зробити невидимими.

Elevation (Фасад) та ***Interior Elevation (Внутрішній фасад)*** використовуються для побудови ортогональних зображень сторін будинку або окремого приміщення. У другому випадку чотири фасади автоматично визначаються і відображаються у панелі навігатора; до них можна дістатися через головне меню.

Так само як і розрізи, фасади будуються автоматично, а потім, якщо є потреба перетворити їх у робоче креслення, редагуються згідно правил ДСТУ.

Із інструментів закладки More відзначимо наступні.

Lamp (Джерела світла) зосереджені у бібліотеках Light Sources (розділи General-Light Sources, Interior Lamps, Street Lamps) та Light Works (розділ Light-Works Lights) і можуть бути введені в проект за допомогою відповідного діалогового вікна (рис. 19.30).

На відміну від попередніх випадків, коли регулювалися розміри і матеріали, тут представлені такі параметри, як регулятор кольору та сили світла. Джерела з різних розділів використовуються по-різному, а саме:

- Interior Lamps – для *основного штучного* освітлення інтер'єру;
- Street Lamps – для *основного штучного* освітлення екстер'єру;
- General Light Sources – для *додаткового* освітлення надмірно темних зон; використовуються із невеликим значенням параметру Light Intensity.

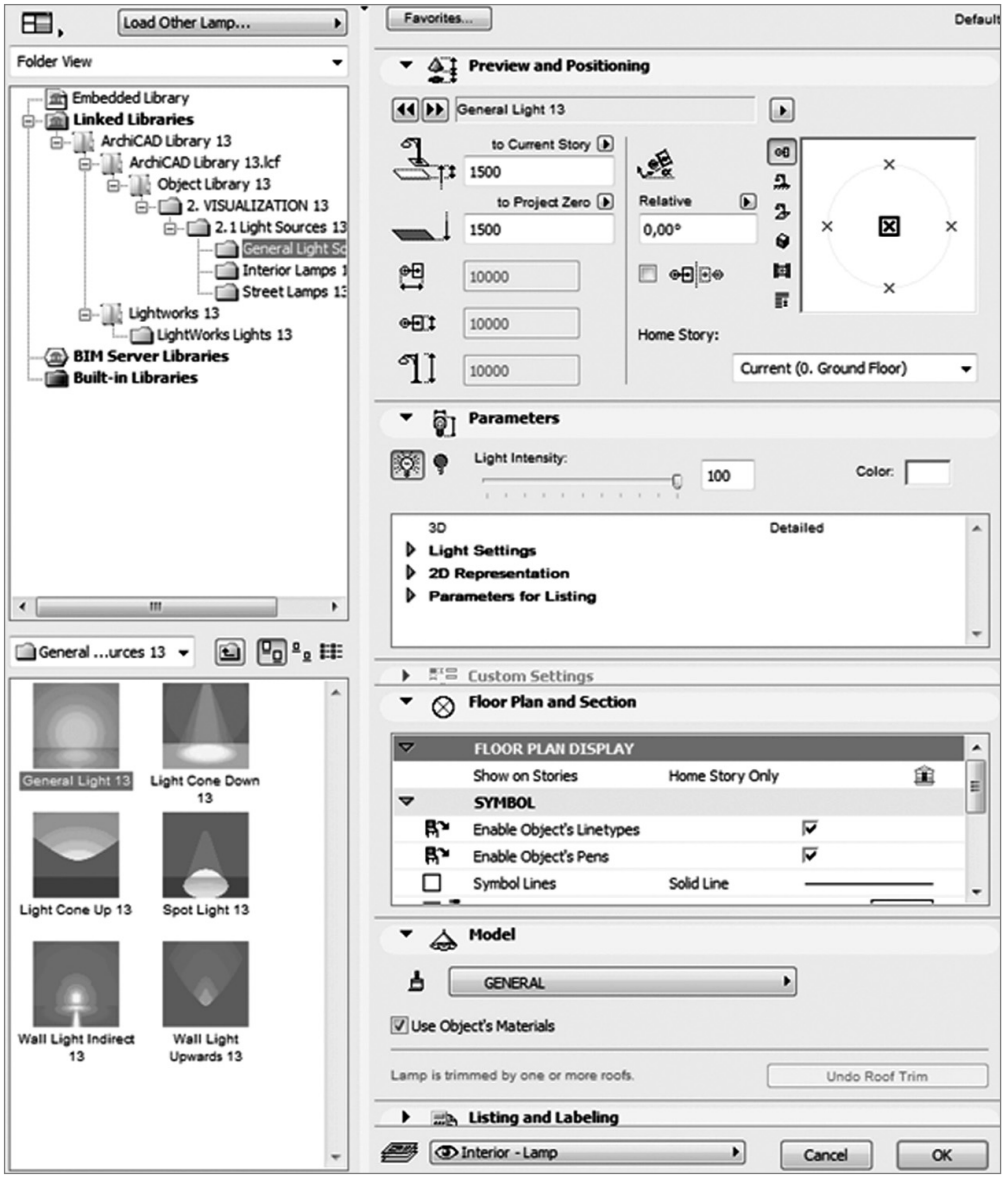


Рис. 19.30. Діалогове вікно параметрів джерел світла

У свою чергу, Light Works Lights використовується для моделювання природного освітлення екстер'єру та інтер'єру; у другому випадку символ джерела світла слід розмістити у вікні і ретельно відредагувати його параметри, перш за все, інтенсивність.

Figure (Рисунок) використовується для розміщення фонового малюнка (наприклад, плану місцевості) під планом поверху. Для цього слід у діалоговому вікні (рис. 19.31) знайти і відкрити зображення (відображається у вікні попереднього перегляду), відредагувати його розміри, формат і глибину представлення кольору, а також точку прив'язки, натиснути ОК і розмістити на плані. У разі потреби рисунок можна зберегти.

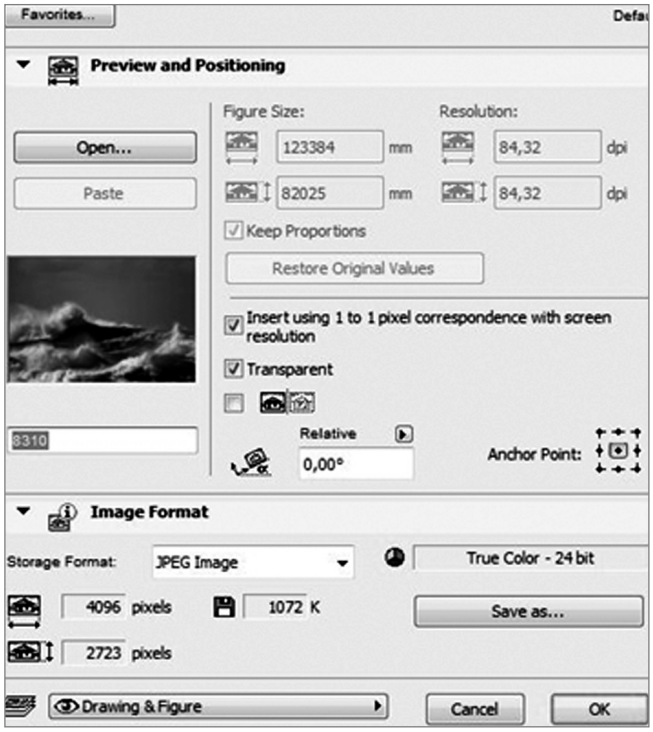


Рис. 19.31. Діалогове вікно фонових зображень

Camera (Камера) використовується для створення анімаційних роликів, в основному у презентаційних цілях. Існує три можливості роботи з камерами:

1) камери розставляються у довільному порядку, а потім автоматично формується ролик, кадри якого показують зміну вигляду будинку при переміщенні від однієї камери до іншої;

2) будинок обертається навколо камери;

3) камера обертається навколо споруди.

У діалоговому вікні (рис. 19.32) регулюються:

- вибір типу зйомки 1) –3);
- найменування, перейменування, видалення шляху переміщення між камерами;
- розташування камери (у діалоговому вікні після натиснення кнопки Path);
- розташування і параметри сонця у залежності від координат об'єкту, пори року та часу доби (у діалоговому вікні після натиснення кнопки Sun).

Для отримання анімаційного ролика слід зайти до головного меню Document – Creative Imaging – Creative Fly – Through, встановити параметри зйомки, після чого переглянути або зберегти ролик.

Окрім плану і згадуваного вікна фасадів/розрізів, для контролю проектування, а також створення різного роду презентацій, активно використовується ***3-D вікно***, що є потужним інструментом підвищення наочності (доступні аксонометричні і перспективні зображення) проектування.

В аксонометрії можливо повертати зображення в горизонтальній і паралельній площинах. В перспективі здійснюється повне управління параметрами віртуальної камери.

В 3-D вікні можливо розміщувати конструктивні і бібліотечні елементи, причому припустимо задавати не тільки габаритні розміри і розташування в плані, але й перевищення і вертикальні розміри. Оскільки відсутнє позиціонування курсору по координатній чи кроковій сітці, для забезпечення точності координати об'єктів слід задавати з клавіатури.

Доступні деякі операції редагування. Відмінними є операції редагування за допомогою курсору: слід клацнути мишею на вузловій точці чи ребрі і в контекстному меню обрати тип дії (переміщення, зміна перевищення, горизонтальне або вертикальне розтягнення), після чого задати величину зміни мишею або з клавіатури.

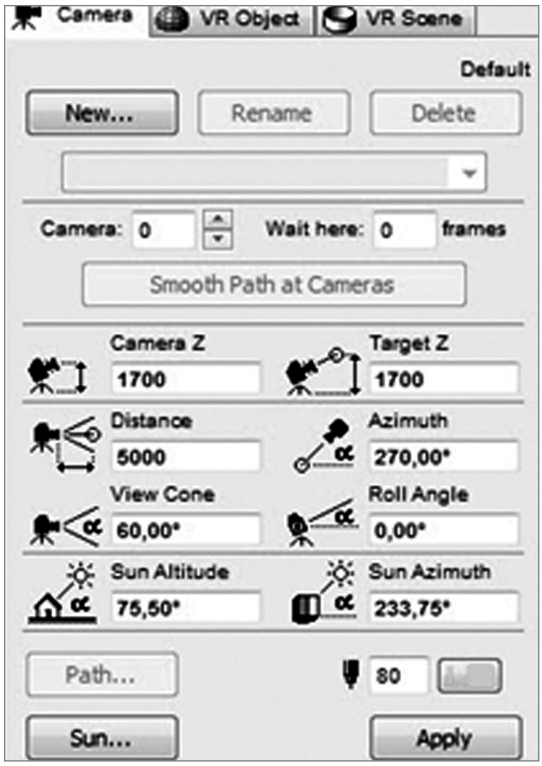


Рис. 19.32. Діалогове вікно параметрів зйомки

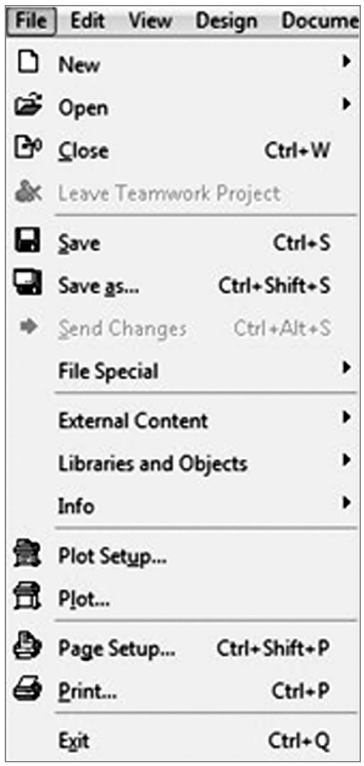


Рис. 19.33. Пункти меню File

19.3. Збереження даних, обмін з іншими програмами, вивід на друк

Для виконання вищеназваних операцій слід зайти до пункту головного меню **File** (рис. 19.33).

Для ***збереження даних*** виконуються команди Save As та Save. Першою з них слід користуватися, коли потрібно обрати каталог та формат зберігання даних, наприклад, при першому зберіганні проекту. Програма запам'ятовує шлях до каталогу та використаний формат, після чого зручніше використовувати другу команду.

Розглянемо формати збереження даних, які використовуються найчастіше (рис. 19.34).

Після закінчення роботи проект слід зберігати у форматі .pln; час від часу програма сама зберігає копію проекту у форматі .bpn.

Слід відзначити, що існує *серйозна проблема сумісності* проектів, виконаних у різних версіях ArchiCAD. Наприклад, проекти, виконані у попередніх версіях або у русифікованій версії будуть лише частково відображатись у англійській версії. Якщо планується експортувати проекти на інший комп'ютер, слід використовувати формат .pla, який надає можливості заархівувати бібліотеки елементів і матеріалів, створених у даному проекті.

У разі необхідності зберегти проект у вигляді документу для опублікування слід використовувати формат .pdf.

Проект можна перетворити у графічний мета файл, наприклад, Windows Metafile, використавши формат .wmf.

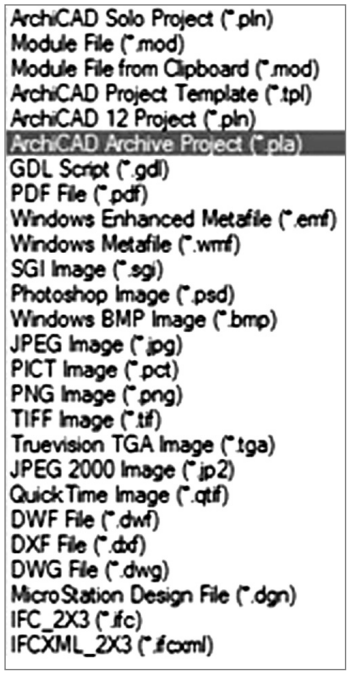


Рис. 19.34. Формати збереження даних

Досить часто використовується так звана постобробка зображення із застосуванням растрових редакторів, найчастіше Adobe Photoshop. Наприклад, перспективне зображення будинку можна зберегти як растрову картинку, а потім застосувати до неї один із багатьох фільтрів цього редактора, перетворивши на вітраж чи малюнок тушшю. У такому разі слід застосувати формат .psd.

Зберігання окремих зображень проекту у вигляді картинок є досить поширеним, наприклад, для друку на віддаленому принтері або підготовки презентації. Серед кількох можливих форматів для цього виділимо наступні:

- збереження зображення без втрати якості – формати .bmpта .tif (недолік – відносно великий обсяг файлу);
- стиснуте зображення із певною втратою якості – формат .jpg.

Анімаційні ролики, підготовлені у ArchiCADi, слід зберігати у форматах Quick Time .qtif або Truevision TGA .tga, орієнтуючись на спосіб їх подальшої обробки.

Для деяких інших програм обмін даними охоплює не тільки постобробку зображень чи роликів, але й використовується на різних стадіях проектування.

Для обміну із програмами фірми Autodesk існують наступні можливості:

- використання відкритого формату .dxf;
- використання формату .dwgдля обміну даними із програмою AutoCAD;
- використання спеціального конвертора через File Special (рис. 19.35);
- використання формату .3ds у наборі форматів для тривимірних зображень (рис. 19.36) для обміну даними із програмою обміну даними із програмою 3D Studio Max.

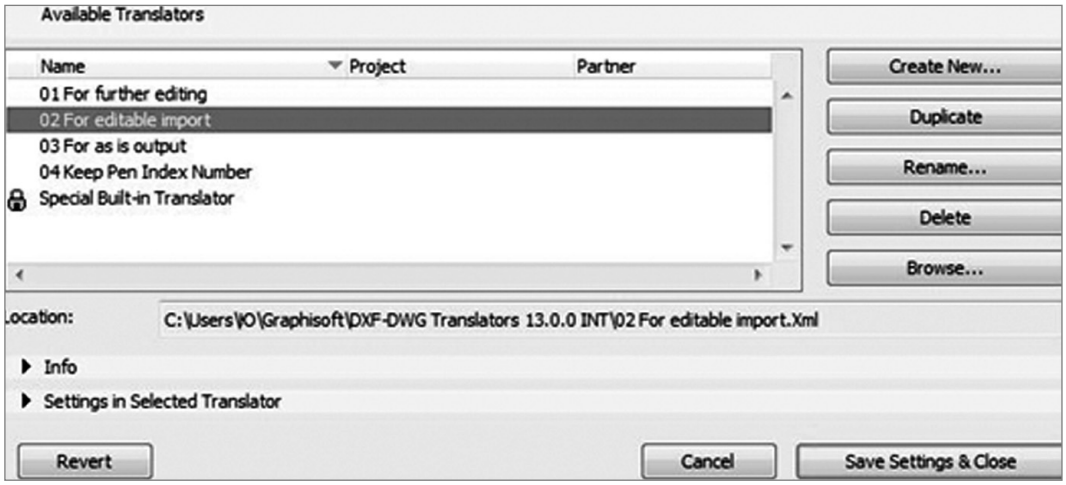


Рис. 19.35. Діалогове вікно конвертора обміну даними у форматах .dxf, .dwg



Рис. 19.36. Формати, доступні для тривимірних зображень

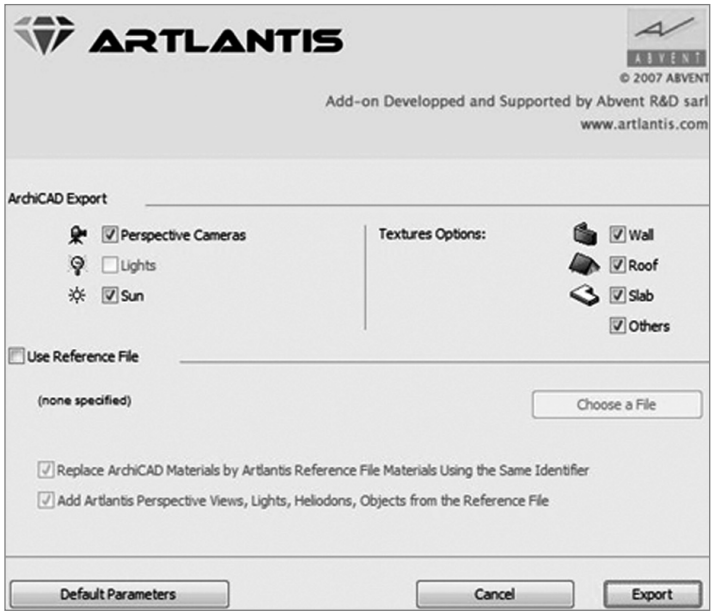


Рис. 19.37. Експорт проекту до Artlantisy

● для обміну з цією ж програмою, зокрема імпорту з неї, слід використати конвектор File Special – Import 3D Studiofile, а для експорту – спеціальний конвектор-доповнення до ArchiCADy.

Для експорту проекту до візуалізатора Artlantis слід використати останній пункт на рис. 19.36, після клацання на якому відкриється діалогове вікно (рис. 19.37), у якому слід визначити параметри конвертації і у наступних вікнах відповісти на поставлені запитання.

Для ***визначення параметрів друку*** в меню **File** існують дві групи команд, відповідальних за друк на принтері іплоттері.

Для виводу на принтер використовуються команди Print Setup та Print (рис. 19.38, 19.39) склад і настроювання параметрів яких здійснюються аналогічно до інших програм «під Windows».

Окрім вибору формату, треба вказати орієнтацію аркуша, модель пристрою та деякі інші. Відзначимо, що конкретний склад параметрів і регулювань залежить від установленого драйверу принтера.

При виводі на плоттер слід спочатку визначити параметри друку. Параметри сторінки регулюються в діалоговому вікні Plot Setup (рис. 19.40), яке з'являється при виконанні однойменної команди. Для друку слід виконати команду Plot, після чого відкривається діалогове вікно, в якому визначаються масштаб виводу, наявність чи відсутність координатної сітки, розміри текстів та маркерів.

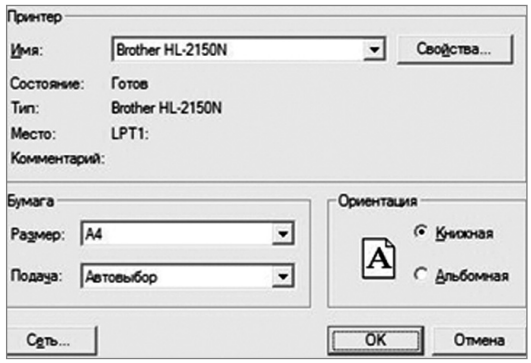


Рис.19.38. Вікно установки принтера

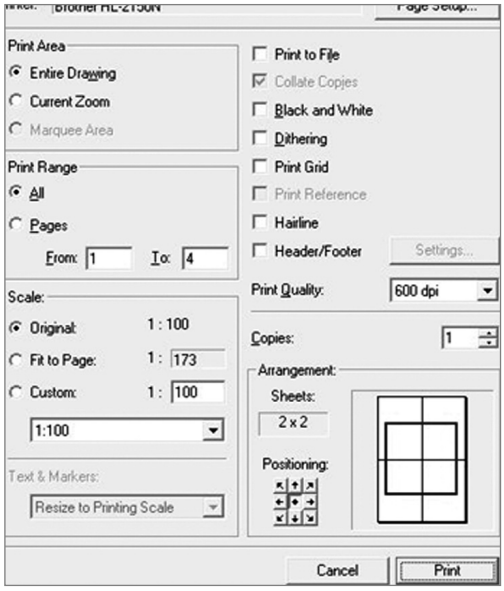


Рис. 19.39. Регулювання параметрів друку

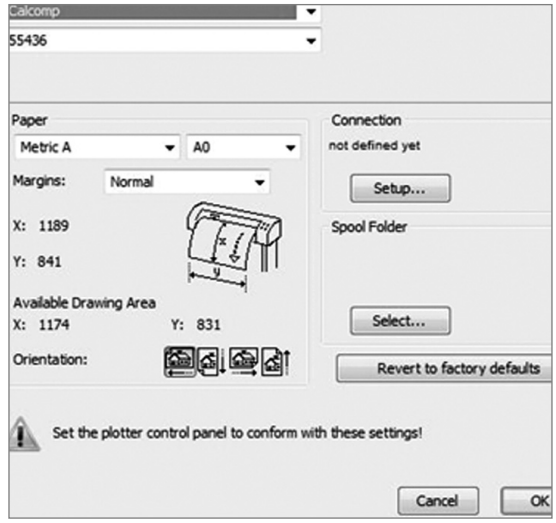


Рис. 19.40.
Вікно установки плоттеру

19.4. Бібліотеки та програми сторонніх розробників

У процесі проектування інтер'єру швидко виявляється, що кількість моделей, що входять до складу пакету, є недостатньою. Виникає необхідність використання додаткових бібліотек як фірми Graphisoft, так і сторонніх розробників. Серед найбільш популярних бібліотек слід назвати:

- People and More – близько 200 тривимірних фігур людей, тварин, рослин, транспортних засобів для надання проектам більшого реалізму;
- MAD Design – 150 тривимірних моделей меблів, посуду, побутової техніки тощо для створення дизайну інтер'єрів;
- Garden Works – 40 тривимірних моделей дерев та 50 моделей садового обладнання для створення моделей садових ділянок тощо;
- Master Library – більш ніж 400 архітектурних об'єктів (сходи, вікна, жалюзі тощо) для створення інтер'єрів
- ГОСТ-бібліотека – сукупність елементів оформлення креслень у відповідності із стандартами країн СНД.

Велику кількість безкоштовних бібліотечних елементів можна знайти у Інтернеті. Починати пошук слід із відповідного запиту. Можна також використати посилання ArchiCAD – Talk GDL Object Depository у пункті головного меню ***Help***. Ще одним джерелом є сайти виробників меблів, освітлювальних і сантехнічних приладів, де можна знайти реалістичні моделі конкретних колекцій.

Зберігати знайдені моделі можна у окремих папках, архівних проектах або у спеціальних контейнерах.

Завантаження бібліотек або окремих елементів проводиться за допомогою менеджера бібліотек у меню **File** – Librariesand Objects – Library Manager (рис. 19.41). Клацнувши на кнопці Add, слід указати спосіб представлення бібліотеки, що імпортується, а також шлях до неї, після чого завантажити бібліотеку чи окремий об'єкт.

Можливості ArchiCADy можуть бути значно розширені за рахунок програм-доповнень, яких існує кілька десятків.

Назвемо найбільш популярні; більш детальний опис деяких із них дається у наступних розділах.

Перш за все, слід згадати офіційні доповнення самої фірми Graphisoft – Archi CAD 13 Goodies, які можна завантажити через однойменний пункт меню **Help**. Ці програми є безкоштовними. До складу ArchiCAD 13 Goodies входять:

- 3D Studio In – імпорт моделей, створених у 3D Studio і збереження їх як бібліотечних елементів ArhiCADy;
- Interior Wizard – автоматизація відділки стін, стель, підлог із використанням інформації інструменту Zone;
- Accessories – моделювання, із використанням геометрії існуючих конструкцій, видо-змінених конструктивних елементів (похилі стіни, лінточні фундаменти, перекриття тощо);
- Align Elements – додаткові можливості вирівнювання елементів;
- Construction Simulation – створення простого плану-графіку будівництва (для окремих конструкцій призначаються терміни початку і закінчення зведення, після чого стає можливим створення анімаційного ролика, що ілюструє цю послідовність);
- Intersectionin Combos – тонке регулювання перетинів багатошарових конструкцій;
- Meshto Roof Tool – використання сітки Mesh для побудови дахів складної форми;
- RAL – розширення палітри кольорів;
- деякі інші програми.

Лідером серед сторонніх розробників є фірма Cigraph (ці доповнення є платними). До складу пакета входять:

- ArhiForma – створення складних геометричних форм на основі графічних примітивів ArhiCADy шляхом застосування до них різних геометричних перетворень;
- ArhiTerra – моделювання ландшафту, прокладка доріг, розміщення будівель на рельєфі;
- ArchiStair – створення сходів із тонким управлінням великою кількістю параметрів;
- ArchiWall – побудова стін складної форми, криволінійних як у плані, так по висоті;
- ArchiFacade – усунення перспективних спотворень на фотографічних зображеннях та їх конвертація як бібліотечних елементів ArhiCADy;
- ArchiTiles – створення та застосування різних видів плитки;
- ArchiRuler – автоматизація креслення (побудова паралельних ліній, спряження елементів, генерація додаткових точок тощо);
- ArchiPanel – створення конструкцій стель і підлог на основі інформації інструменту Zone;
- ArchiMap – побудова обмірочних креслень і їх перетворення на конструктивні елементи;
- деякі інші програми.

Окреме місце займають програми візуалізації.

Відзначимо пакети фірми Abvent (платні) Artlantis R (високоякісна візуалізація тривимірних об'єктів із використанням спец ефектів і можливістю заміни стандартних матеріалів і моделей на бібліотечні) та Artlantis Studio (крім цього, можливе створення анімації).

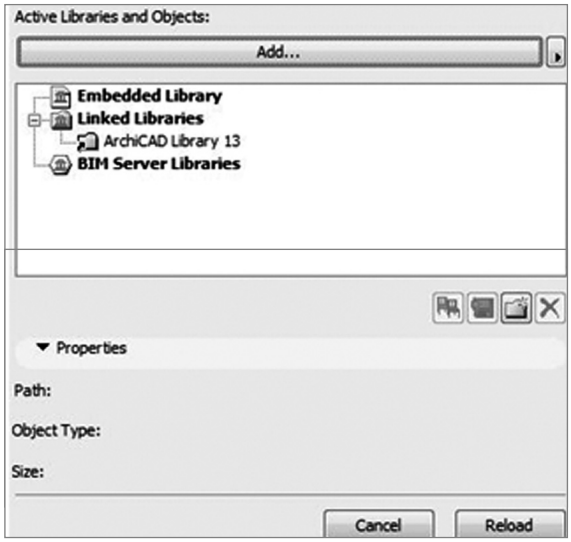


Рис. 19.41. Діалогове вікно менеджеру бібліотек

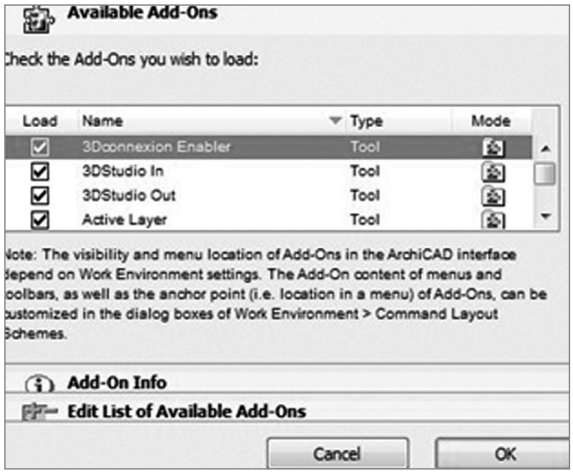


Рис. 19.42. Вікно менеджеру доповнень

Фірма Informatix Software International розробила програму Piranesi, яка дозволяє придавати тривимірним зображенням ArhiCADy вигляд малюнків, створених від руки.

Для використання розширень слід встановити їх у папку ***Add-Ons*** у кореневому каталозі ArhiCADy, після цього вони з'являються у пункті головного меню **Design** – Design Extras.

Більш гнучке управління здійснюється за допомогою менеджера доповнень (рис. 19.42), доступ до якого відкривається у пункті **Options** – Add – On Manager.

За допомогою менеджеру можна переглядати список доповнень, отримувати інформацію про кожне з них, завантажувати або вивантажувати доповнення, а також керувати їх розміщенням.

Самоконтроль. На аркуші паперу розмістить позначення основних елементів інтерфейсу ArhiCADy з урахуванням їх взаємного розташування.

Установіть легальну версію ArhiCADy. Дослідіть, які можливості надають і як працюють команди груп головного меню. Порівняйте команди роботи з файлами і команди редагування із відповідними командами інших програм, написаних під Windows. Порівняйте окремо винесені піктограми команд, зокрема, їх склад та способи реалізації.

Здійсніть кілька варіантів настроювання інтерфейсу програми.

Розберіть настроювання одиниць виміру, складу та висотних позначок рівнів, а також призначення і створення шарів.

Розберіться із параметрами і командами панелі інструментів на прикладі джерел світла.

Знайдіть елементи сантехнічного обладнання, конструкцій дерев'яних ферм, елементи оформлення креслень (розміри, висотні позначки, координаційні вісі, написи, виносні написи).

Розберіть варіанти нанесення розмірів.

Виконайте побудову різних типів дахів, а також способи їх редагування і підрізки елементів під дахи.

Назвіть основні бібліотеки елементів сторонніх розробників та опишіть їх склад.

Назвіть основні доповнення до ArhiCADy та опишіть їх призначення. Як і де треба розміщувати їх при установці? Де шукати при роботі у середовищі ArhiCADy?

Перелічіть найбільш популярні формати зберігання даних проекту та охарактеризуйте їх застосування.

20. ВІРТУАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ У ГРАФІЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ARCHICAD

Слід чітко розуміти функції графічного редактору у процесі визначення об'ємно-планувальних рішень. Програма *не може підказати ідею* (хіба що дозволяє переглянути і частково використати проекти-аналоги), або провести експертне оцінювання. Проте завдяки можливостям створення віртуального будинку можна оцінити правильність вибору компонування, призначення висотних позначок, перевірити варіанти розстановки обладнання та меблів. І це значно прискорює процес проектування і дозволяє зменшити кількість помилок. Отже, ArchiCAD є *інструментом віртуального проектування,* який допомагає візуалізувати, перевірити і деталізувати рішення проектувальника.

20.1. Настроювання робочого середовища

Створюємо каталог, де будемо час від часу зберігати проект.

Починати роботу з графічним редактором доцільно із настроювання робочого середовища. Кожен може зробити це у відповідності із власними потребами, використовуючи пункти головного меню **Options** та **Window** так, як це було описано у розділі 19. Для прикладу, внесемо наступні зміни:

- для кращого контролю розміщення вершин розмістимо додаткову панель Coordinates;
- уберемо лінії фасадів, які будуть заважати зручному приведенню розмірів зображення до розмірів вікна;
- відрегулюємо одиниці виміру.

Розміщення додаткової панелі. Заходимо до пункту головного меню **Window**, знаходимо пункт Palettes і натискуємо на трикутник справа. З'являється вікно панелей, де обираємо панель Coordinates. Клацаємо по ній кнопкою і перетягуємо у потрібне місце екрану (рис. 20.1).



Рис. 20.1. Розміщення панелі координат під панеллю управління зображенням

Тепер є можливість регулювання параметрів сітки, визначення абсолютних і відносних координат у декартовій та полярній системах, а також відображення висотних позначок поверхів без заходу до головного меню.

Прибирання зайвих ліній фасадів. Виділяємо всі лінії, утримуючи кнопку Shift, у діалогових вікнах, що з'являються, обираємо Delete View Point та Delete Anyway, після цього лінії зникають з екрана. У разі потреби х завжди можна визначити у більш зручних місцях.

Регулювання одиниць виміру потрібне для їх приведення у відповідність з ДСТУБ А.2.4-7:2009. Заходимо до пункту головного меню **Options**, обираємо Project Preferences та заходимо до його меню Обираючи, наприклад, пункт Dimensions, потрапляємо до діалогового вікна, показаного на рис. 20.2. Встановлюємо потрібні одиниці, натискуючи піктограму типу розміру і обираючи у списку Unit один із можливих варіантів. Далі, переглядаємо список у верхньому куті (виділено на рисунку), або натискуємо на кнопку Next, отримуючи таким чином доступ до інших типів розмірів (підрахунок площ, об'ємів тощо), для яких також обираємо одиниці так, як було щойно описано. Після підтвердження, обрані одиниці будуть відображатися на кресленні.

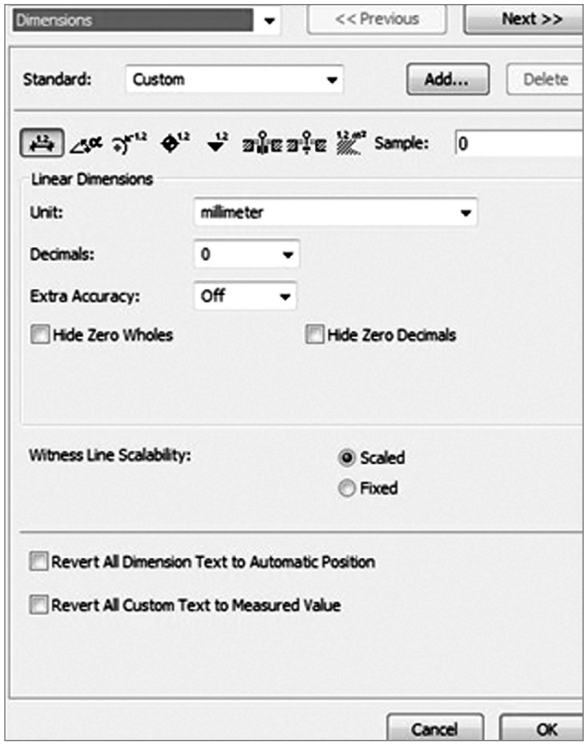


Рис. 20.2. Діалогове вікно установлення одиниць виміру

Установимо такі значення:

- лінійні розміри – мм, десятинних знаків немає;
- висотні позначки – м з точністю до тисячних;
- кутові розміри – градуси, хвилини, секунди;
- площі – м^2, з точністю до сотих;
- об'єми – м^3, з точністю до сотих.

20.2. Установлення рівнів та їх висотних позначок

Через деякі особливості роботи ArchiCADy, а також із конструктивних міркувань, поверхи не завжди тотожні рівням. Склад рівнів, а також їх висотні позначки слід продумувати заздалегідь. Для будинку, який буде використано у якості прикладу, приймаються наступні значення:

- подушка стін підвалу – позначка – 2,750;
- подушка стін фундаменту –2,150;
- фундамент –1,550;
- цоколь – 0,950;
- перший поверх – 0,350;
- другий поверх +2,750;
- мансарда +5,850.
- Нагадаємо, що позначки виміряються від рівня підлоги першого поверху. Відтак, при сумарній товщинні перекриття і підлоги 220+130=350 мм, позначка низу стін першого поверху буде –0,350; При глибині залягання фундаменту на 1,200 від рівня землі його позначка –1,550; при висоті поверху 3100, позначка другого поверху +2,750. Це ж стосується подушок, то їх позначки визначаються стандартними розмірами бетонних блоків стін фундаменту, які були використані у якості подушок.

Тепер введемо ці дані. У пункті головного меню **Design** знаходимо пункт Story Settings і, клацаючи по ньому, отримаємо доступ до діалогового вікна (рис. 20.3).

Починаємо ввід даних у такій послідовності:

- у рядку «0» замість Ground Floor набираємо Этаж 1;
- у рядку «1» набираємо Этаж2;
- у рядку «2» набираємо Мансарда;
- натискуємо кнопку Insert Below і у рядку, що з'явиться (номер –1) вводимо Цоколь;
- повторюємо цю процедуру, вводячи Фундамент, Подушка фундаменту, Подушка підвалу.

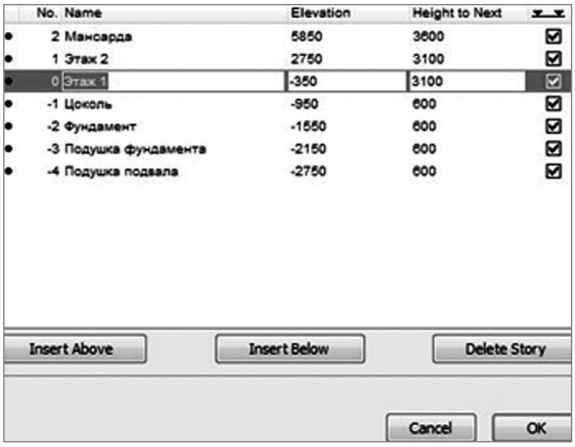


Рис. 20.3. Визначення складу і позначок рівнів

На цьому визначення складу рівнів завершується. Починаємо ввід висотних позначок.

- переходимо до рядку «0» і у стовпчику Elevation вводимо – 350, а у стовпчику Height to Next – 3100;
- для другого поверху *позначка Elevation підраховується автоматично* і не має вводитися вручну; у стовпчику Height to Next вводимо 3100;
- повторюємо ті ж дії для мансарди (Height to Next 3600);
- те ж саме робимо для цоколю, фундаменту, подушки фундаменту та подушки підвалу, вводячи кожен раз у стовпчику Height to Next 600.

Остаточний вигляд у діалоговому вікні має бути таким, як показано на рис. 20.3. Після підтвердження зроблених правок, зміниться і вікно навігатора, у якому відобразяться всі введені рівні.

20.3. Визначення шарів

У ArchiCADi існує електронний аналог класичної технології проектування за допомогою кальок. Суть цієї технології полягає у тому, що на окремій кальці креслився план поверху, а на інших, наприклад, план перекриттів, план системи опалення, план електричних мереж тощо. Така технологія допомагала уникати помилок (шляхом накладання планів можна було перевірити їх узгодженість), а також вносити правки у окремий план, не чіпаючи інших. Те ж саме доцільно зробити і для нашого прикладу.

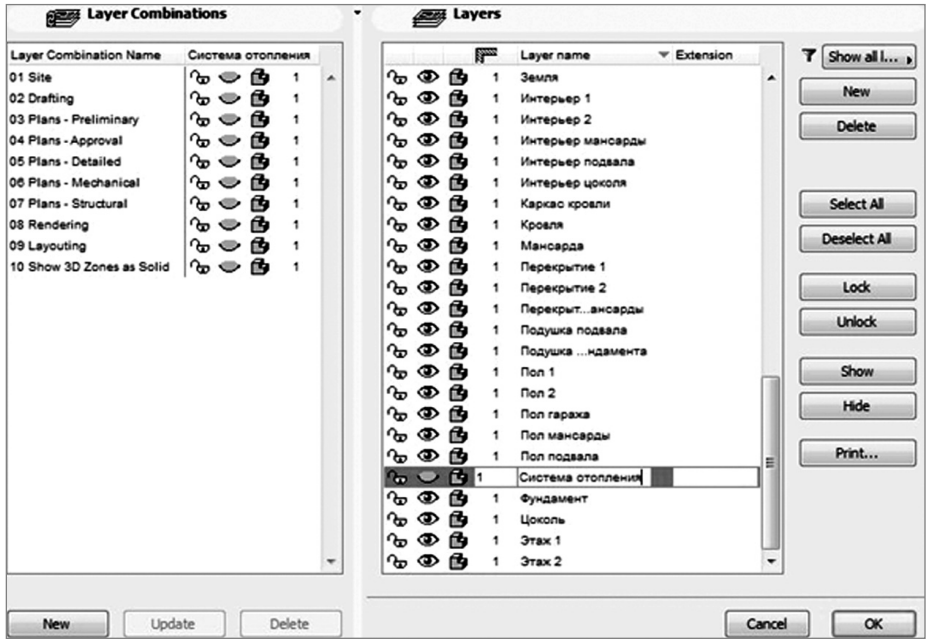


Рис. 20.4. Діалогове вікно параметрів шарів

Клацаємо мишею по піктограмі ***Wall***. У інформаційному табло клацаємо на піктограмі Layers: Setting Dialog поруч із піктограмою стіни. Відкриється вікно, показане на рис. 20.4.

Хоча для основних будівельних конструкцій за умовчанням передбачено ті чи інші рівні, проте доцільно ввести власні назви. Для цього слід натиснути кнопку New і ввести бажану назву шару. Доцільно орієнтуватися на назви ярусів, а крім того, додати шари для перекриттів, підлог, крівлі, інтер'єрів, спеціальних конструкцій, як системи опалення у даному випадку. Склад шарів для нашого прикладу показано на рисунку.

Пусті шари можна додавати або виключати у будь який момент. Для шарів, у яких поміщені конструкції, можливі такі дії: блокування можливостей редагування (треба клацнути по піктограмі замку зліва від назви шару) та невидимість (клацнути по символу ока); таким же чином можна відмінити ці дії. Використання опції видимість/невидимість корисне для позбавлення креслення зайвих деталей, які недоцільно показувати.

20.4. Проектування багатошарових конструкцій стін, підлог, крівель

На стадії пошуку оптимальних об'ємно-планувальних рішень достатнім буде обмежитися визначенням товщини стін і перегородок, але на стадії більш детальної проробки слід визначити їх конструкції. Застосування багатошарових стін у останні роки поширилося у зв'язку із значним підвищенням вимог по термоспротиву їх конструкцій. Те ж можна сказати і про підлоги, до чого додаються ще й вимоги по звукоізоляції, та крівлі (вимоги гідро- і пароізоляції).

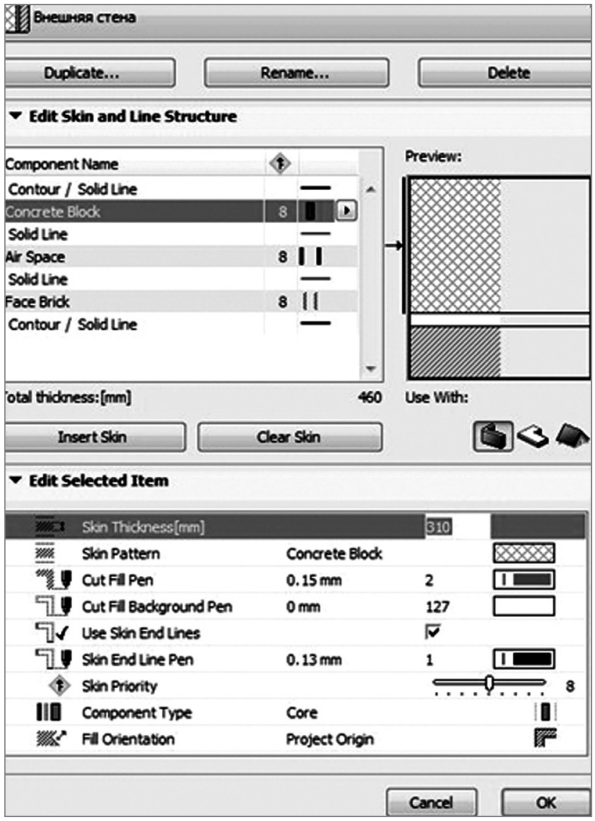


Рис. 20.5. Вікно діалогу багатошарових конструкцій

Для даного будинку застосовано двошарову конструкцію цоколю (бетонний блок і облицювальна плитка (500 і 20 мм відповідно), та зовнішньої стіни (піно-бетонні блоки 200 мм і 100 мм із 10 мм повітряним прошарком, повітряний прошарок 30 мм та облицювальна пустотна цегла 120 мм. Шари скріплені між собою монтажними сітками, а на рівні перекриттів – рядами цегли).

Для створення багатошарової конструкції слід у пункті головного меню *Options* обрати пункт Element Attributes, а у ньому обрати Composites. Відкриється діалогове вікно, показане на рис. 20.5.

Натиснувши на велику верхню кнопку, отримаємо доступ до набору шаблонів, з яких слід обрати найбільш підходящий для майбутньої стіни або підлоги.

Слід *відразу продублювати цей шаблон* (натиснувши кнопку Duplicate та ввівши оригінальне ім'я), інакше введені зміни будуть збережені під старим ім'ям, що внесе плутанину до стандартного складу шаблонів. Далі можна клацнути по піктограмі стіни, підлоги або крівлі, віднісши новий шаблон до відповідного класу конструкцій.

Після цього для кожного з шарів визначаться товщина, матеріал, тип та колір штриховки на планах та у розрізах, характеристики обвідних ліній, пріоритет, тип (основний чи шар відділка), а також орієнтація штриховки. Слід уважно поставитися до вибору пріоритету та типу шару – від цього залежить коректність перетинів стін.

У разі потреби кількість шарів можна змінювати, натискуючи кнопки Insert Skin та Clear Skin.

Після остаточного визначення шарів сумарна товщина конструкції підраховується автоматично і відображається під закладкою Edit Skin and Line Structure. Саме вона відображається у відповідному вікні інструменту ***Wall***, якщо обрати створену конструкцію у якості матеріалу стіни. Зауважимо, що редагувати товщину, а також змінювати порядок шарів *можна тільки у вікні діалогу багатошарових конструкцій.*

Багатошарові конструкції підлоги та крівлі створюються аналогічно.

Результат для зовнішньої стіни будинку із заданими характеристиками показано на рис. 20.5.

20.5. Нанесення координаційних осей

Наявність координаційних осей полегшує розміщення конструкцій будинку. Вісі мають проводитися на відстанях, що відповідають розмірам реальних будівельних конструкцій згідно Єдиної модульної системи і існуючої номенклатури виробів.

На відміну від реального будинку, віртуальний можна будувати з будь-якого поверху. Це дає можливість обрати для нанесення осей максимально зручний поверх – той, на якому вони будуть відображатися усі, а принцип визначення відстаней буде максимально зрозумілий. Для даного прикладу це може бути рівень цоколю або першого поверху, але не підвалу, де осей менше.

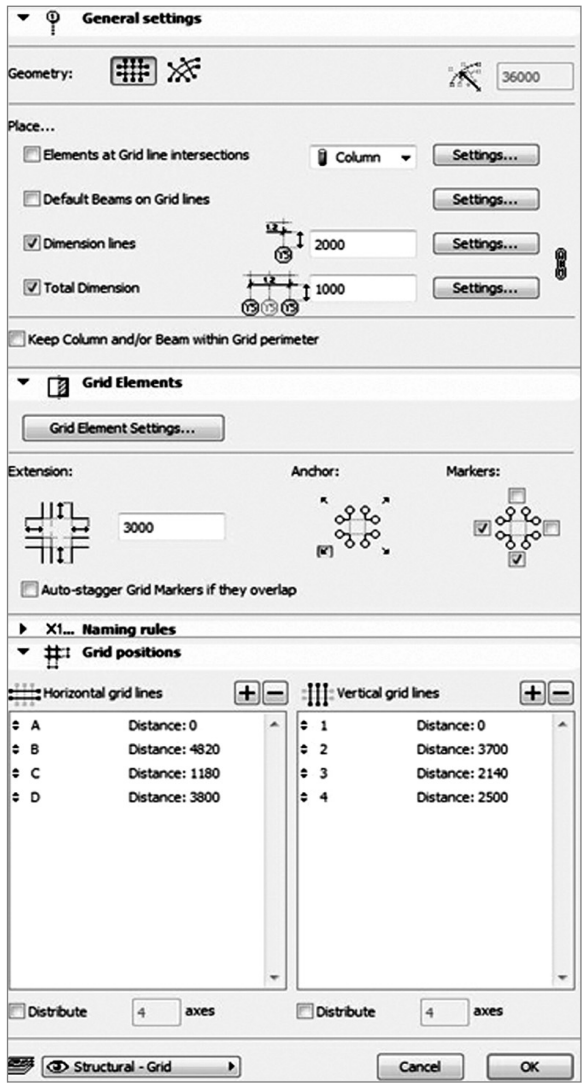


Рис. 20.6. Діалогове вікно параметрів осей

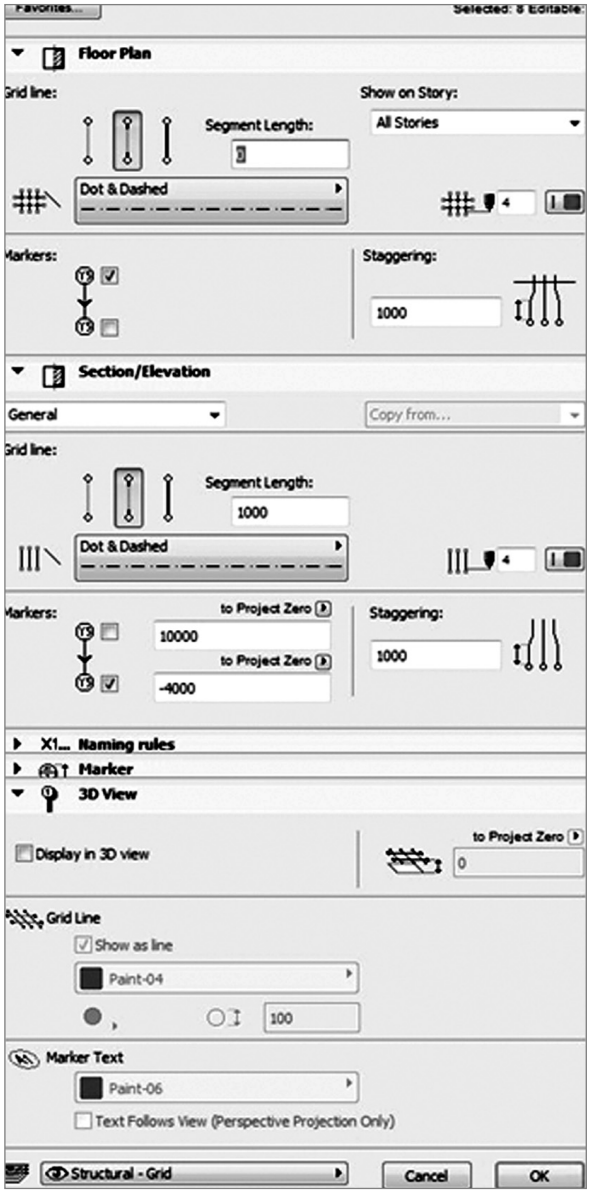


Рис. 20.7.
Діалогове вікно елементів осей

Отже, обираємо перший поверх, переключаючись у панелі навігатора на рівень Этаж 1, і виставляючи свій шар для осей, чи погоджуючись із даним по умовчанню. Далі йдемо до пункту головного меню Design – Grid System і у діалоговому вікні починаємо редагувати параметри сітки (рис. 20.6). Діалогове вікно має кілька закладок:

- у General Settings визначається тип сітки – перпендикулярні лінії чи радіальні структури, а також співвідношення із колонами та балками. Слід вказати також, чи повинні автоматично визначатися відстані між осями і як розміщу-вати розмірні лінії;
- у Grid Elements визначаться відстань від стін, прив'язка точки відліку та місця розміщення ліній відносно сторін будинку;
- у X1… Naming rules визначаються позначення осей та порядок їх зміни (згідно ДСТУ, горизонтальні позначаються заглавними літерами, вертикальні – натуральними числами; порядок нумерації – знизу вверх і зліва направо відпо-відно);
- у Grid Positions визначаються кількості горизонтальних і вертикальних осей, а також відстані між ними. При необхідності вісі додаються або знімаються за допомогою кнопок + –.

Зазначимо, що при визначенні складу і кількості осей слід враховувати правила прив'язки, а також дублювання осей у місяцях трансформаційних швів тощо. Для прикладу, що розглядається, відстані такі, як показано на рис. 20.6. Зауважимо, що вони не відповідають номенклатурі панелей перекриттів.

Після визначення параметрів сітки, позиціонуємо її відносно точки відліку плану (позначена хрестиком). Слід мати на увазі, що зручніше, коли ця точка *буде відповідати внутрішньому куту стіни першого поверху* – тоді краще буде контролювати розміри усередині будинку.

Наступним кроком є приведення виду сітки до вимог ДСТУ. Для цього у закладці More панелі інструментів обираємо піктограму Grid Element і отримуємо доступ до чергового діалогового вікна (рис. 20.7).

Закладки Floor Plan та Section/Elevation дозволяють обрати тип та зображення ліній сітки. При цьому Markers визначає, чи будуть проставлятися позначення на обох кінцях осі (для розрізів слід робити це тільки знизу). Пункт Showon Story пропонує обрати, на яких ще поверхах буде відображатися сітка (зауважимо, що All Stories слід обирати лише тоді, коли сітки на всіх поверхах однакові і ніякі зміни для окремих поверхах не плануються – інакше вони будуть відображатися на всіх рівнях).

Закладка Naming Rules пропонує створити власні правила найменування осей.

У закладці Marker можна визначити тип і розмір шрифту, якім позначаються вісі, а також діаметр кола позначення.

Нарешті, у закладці 3D View слід зняти галочку у Display in 3DView, оскільки на тривимірних документах зображати вісі не прийнято (але для зручності конструювання її можна зберегти).

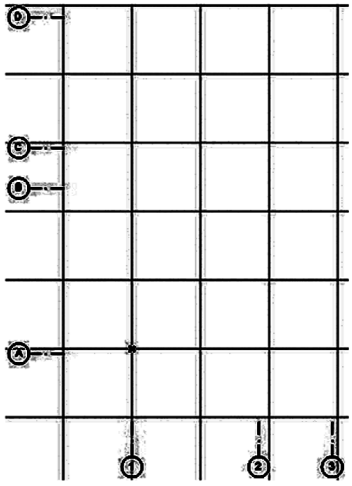


Рис. 20.8. Сітка координаційних осей на плані першого поверху

Кінцевий результат (фрагмент) показано на рис. 20.8.

У разі потреби, вісі сітки можна розгрупувати, а далі редагувати кожну із них окремо. Це корисне, якщо виявляються помилки у введенні відстаней, або, для зручності прив'язки конструкції, є необхідність позначити якусь з осей суцільною лінією.

20.6. Побудова планів рівнів, перекриттів, підлог. Розміщення сходів, обладнання, меблів

Ще раз скористаємось можливістю моделювання віртуального будинку у будь-якому порядку. У даному випадку зручно прив'язувати лівий нижній внутрішній кут зовнішньої стіни першого поверху до сітки, побудувати план, а для цоколю і фундаменту, які мають стіни іншої товщини, використовувати план першого поверху у якості фонового, що полегшить моделювання.

Побудова стін. Отже, перемикаємось на рівень першого поверху, натискуємо на кнопку ***Wall*** і у інформаційному табло виставляємо шар Этаж 1. Обираємо спосіб побудови стіни – чотирикутник. Далі заходимо до діалогового вікна параметрів стіни і у всіх закладках виставляємо параметри згідно рис. 20.9.

Звернемо увагу на деякі нюанси.

1. Висотна позначка нижнього краю стіни відображається автоматично згідно введених у Story Settings даних;

2. Після введення конструкції багатошарової стіни стає неможливим редагування її товщини, а також складу шарів;

3. Слід перевірити, чи у правильному порядку відображаються шари при обраній прив'язці (*по внутрішньому краю стіни*); якщо ні – *доцільніше змінити порядок шарів* через вікно **Options**, залишивши зручну прив'язку без зміни;

4. Для зовнішньої поверхні стіни, згідно її конструкції, обрана текстура цегли, для торців – текстура штукатурки білого кольору, що найчастіше і має місце. Для внутрішньої поверхні стіни обрана та ж сама текстура. Це умовність, обумовлена тим, що у процесі проектування дизайну приміщень вона все одно буде неодноразово змінюватись. Слід перевірити правильність окраски поверхонь стін у 3D-вікні, у разі потреби помінявши місцями внутрішню і зовнішню текстури.

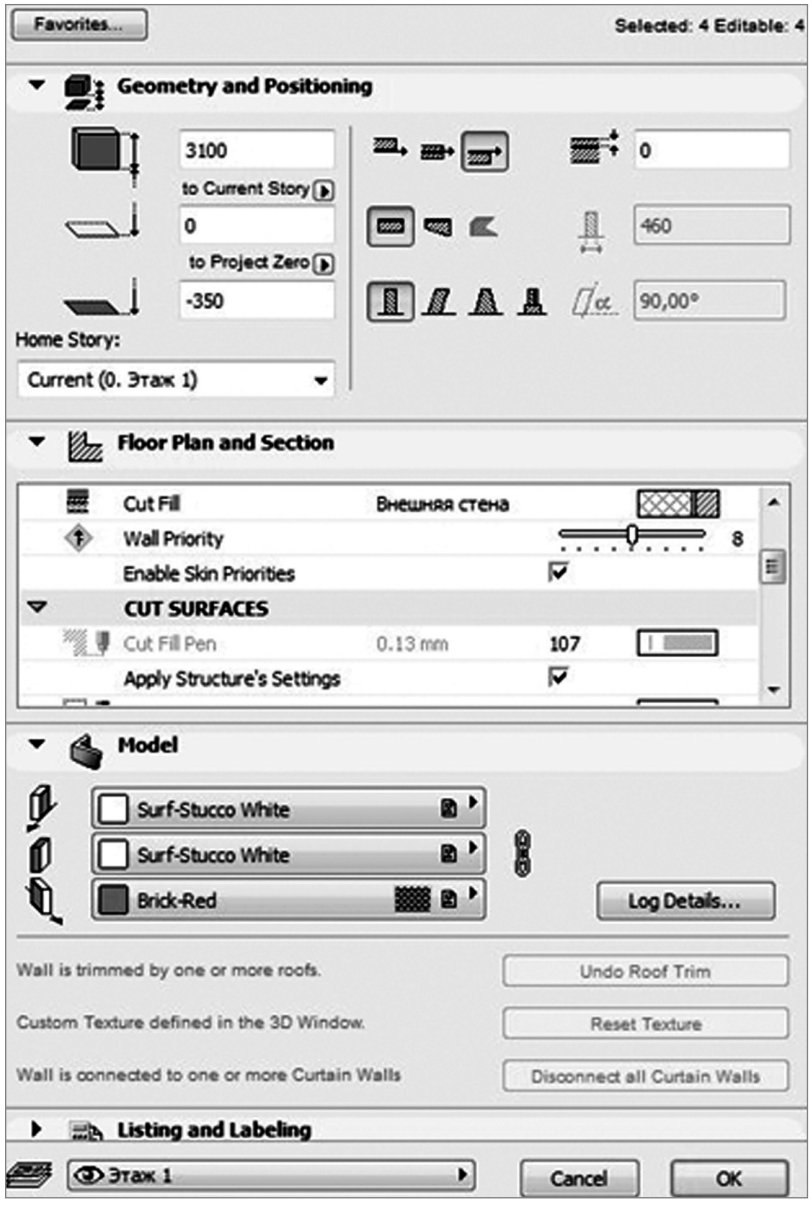


Рис. 20.9. Значення параметрів зовнішньої стіни першого поверху

Перевіривши правильність параметрів, розміщуємо стіну на плані. Виставляємо курсор наточку початку координат і розтягуємо чотирикутник стіни орієнтуючись на вісі, або безпосередньо вводячи довжини горизонтальної і вертикальної *внутрішніх* сторін у контекстному меню, що супроводжує стіну (між горизонтальними і вертикальними напрямами слід перемикатись за допомогою стрілок на клавіатурі).

Тепер будуємо внутрішню несучу стіну. Виставляємо її параметри (щоб отримати можливість зміни товщини, треба спочатку змінити матеріал), обираємо текстуру для всіх поверхонь – білу штукатурку, обираємо спосіб побудови – ламану лінію.

Далі використовуємо інструменти, що полегшують креслення. У рядку піктограм обираємо Special Snap Points (рис. 20.10; назва піктограми з'являється, якщо до неї підвести курсор і протримати його деякий час).

У меню виставляємо галочки на пунктах Distance та Along Entire Element. Якщо треба вказати відстань не вздовж всього елементу, а вже поділеної його частини, слід обрати Between Intersection Points. *Заходимо до меню ще раз* і у клацаємо на Set Special Snap Values, після чого у потрібному вікні виставляємо відстань (3550). Тепер, якщо підвести курсор до внутрішнього боку лівої стіни, висвітляться маркери на потрібних відстанях. Орієнтуючись перший від верхнього кута, вводимо стіну. Слід зазначити, що коли вводяться ламані або криволінійні стіни інколи важко заздалегідь визначити потрібні відстані або кути.

У такому випадку можна спочатку ввести стіну потрібної форми, не піклуючись про ці величини. Далі можна розгрупувати окремі фрагменти, відредагувати довжину кожного з них і розмістити у потрібних місцях. За допомогою тривимірних зображень *контролюємо правильність перетину стін* – внутрішня стіна не має перетинати зовнішніх (ознакою цієї помилки є мерехтіння – конфлікт текстур – у місці виходу внутрішньої стіни назовні). Якщо така помилка має місце, виправити її можна двома способами: або зменшити пріоритет внутрішньої стіни, або не доводити її до зовнішньої на візуально непомітну відстань – 1–2 мм.

Переходимо до стін, що огороджують сходи. Змінюємо їх товщину. За допомогою інструмента креслення, або орієнтуючись на вісі, встановлюємо відстані по нижній зовнішній стіні і вводимо стіни, починаючи від зовнішньої до внутрішньої несучої.

Тепер вводимо перегородки. Зауважимо, що на відміну від капітальних стін, вони спираються на панелі перекриття. Отже, у вікні параметрів стін слід ввести до to Current Story 220 – товщину панелі, – тоді у to Project Zero зміниться висотна позначка (буде –130) і зменшити висоту стіни на ті ж 220 мм, тобто ввести 2780 у графу висоти елементу. Далі використовуємо інструмент креслення і розміщуємо перегородки у потрібних місцях. Не забуваємо контролювати правильність перетинів.

Слід активно застосовувати і інший вид контролю – засіб вимірювання (піктограма лінійки у рядку піктограм), який дозволяє визначати відстані, кути, координати і площі.

Альтернативою є використання інструменту нанесення розмірів, описаного у розділі 19.

Розміщення вікон та дверей. Розмістимо вікна і двері за таких умов:

- для освітлення сараю, гаражу, сходів використовуємо склоблоки (провітрювання не потрібно, оскільки передбачена система витяжної вентиляції);
- для кухні використовуємо металопластикове вікно, розміщене у стіні з чвертями (1500*1200 – розмір відповідає нормативу освітлення);
- вхідні двері – металеві, 2000*900;
- міжкімнатні двері – дерев'яні із суцільним або скляним полотном, 9000*900;
- гаражні ворота 2500*2200, на висоті 200 мм від рівня землі.

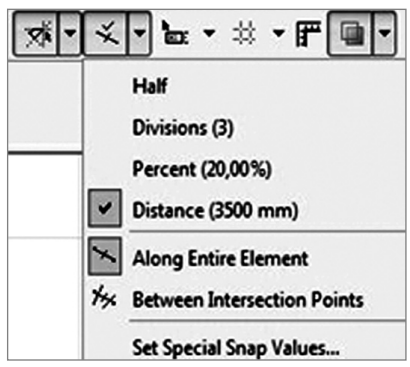


Рис. 20.10. Інструмент креслення

Розміщуємо склоблоки. За допомогою інструменту креслення ділимо стіну гаража на три частини (не забувши поставити галочка на Between Intersection Points). Клацаємо по піктограмі інструменту ***Window***, у діалоговому вікні обираємо бібліотеку Fixed Windows, а у ній елемент WGlass Block Wall. Визначаємо параметри: ширина 200, висота 1000, позначка низу 1260 (від нижнього краю стіни, тобто від підлоги буде 910), точка прив'язки – посередині. Керуючись рисками інструменту креслення розміщуємо склоблоки, суміщаючи їх із зовнішнім краєм стіни.

Використовуємо інструмент креслення з тими ж установками (висотну позначку змінимо на 2100 – має бути освітлена площадка) і розміщуємо ще дві групи склоблоків для освітлення сходів.

Змінюємо установки інструмента креслення: виставляємо відстань від краю стіни до краю лівої групи склоблоків у сараї, а для склоблоків змінюємо прив'язку на кутову. Змінюємо висотну позначку на 1260. Розміщуємо ліву групу склоблоків, а повторюючи ті ж дії справа – і праву групу.

Переходимо до розміщення вікна. Виставляємо у інструменті креслення поділ навпіл, залишаючи галочку Between Intersection Points. Обираємо у діалоговому вікні інструмента ***Window*** бібліотеку Casement Windows, а у ній – елемент W2 Casement. Призначаємо розміри і висотну позначку вікна (теж 1260, таким чином, нижній край вікна буде знаходитись на 1860 мм від рівня землі – забезпечується неможливість заглянути у вікно та певна «пасивна» безпека будинку). Виставляємо точку прив'язки посередині. Заходимо до закладки Parameters і у пункті Revealand Closure Type виставляємо Reveal (тоді вікно буде у проймі з чвертями). Далі змінюємо колір поверхонь віконного блоку на білий – у пункті Material обираємо Surface White для всіх поверхонь, крім віконного скла. У *закладці* Reveal виставляємо ширину чвертей – 120. Розміщуємо вікно, керуючись рискою інструмента креслення.

Тепер розміщуємо двері. Починаємо із вхідних. За допомогою інструмента креслення, ділимо *зовнішню* стіну навпіл. У діалоговому вікні інструменту ***Door*** знаходимо бібліотеку Metal Doors і обираємо D1 Metal.

Призначаємо розміри дверей. Виставляємо висотну позначку *340*. Поясснімо це. Позначка дверей виміряється від нижнього краю стіни. Оскільки двері розміщуються на рівні підлоги, мало б бути 350. Але тоді трапиться конфлікт матеріалів підлоги і дверного блоку. Найпростішим виходом є розміщення дверей трохи нижче, на візуально непомітній відстані 10 мм – тоді у місці дверної пройми однозначно зобразиться матеріал підлоги. Обираємо прив'язку посередині дверей.

Далі заходимо до закладки Parameters і у пункті Reveal and Closure Type виставляємо No Reveal (вхідні двері не розміщуються у проймі з чвертями – інакше їх буде незручно відкривати). У закладці Material можемо за бажанням обрати матеріал відділки зовнішньої і внутрішньої поверхонь дверей. Керуючись рискою інструмента креслення, розміщуємо зовнішні двері.

Для внутрішніх дверей послідовність дій є аналогічною. Звернемо увагу на наступне.

- слід коригувати відстані і прив'язки в залежності від конкретного розміщення;
- висотні позначки дверей у капітальних стінах – 340, а у перегородках – 120 (нагадаємо, від нижнього краю стін; перегородки стоять на перекритті);
- скляні двірні полотна слід обирати з міркувань освітлення;
- напрями відкривання обираються згідно вимог протипожежної безпеки.

Гаражні ворота слід розміщувати у цоколі. Але, щоб не було конфлікту матеріалів із стінами першого поверху, на першому поверсі слід зробити пусту пройму висотою 1790, починаючи з нульової висотної позначки (у діалоговому вікні обирається Empty Opening). Так само слід робити, коли двері або вікна переходять з рівня на рівень.

Ретельно перевіряємо всі відстані.

Результат побудови сні із розміщеними вікнами і дверима показано на рис. 20.11.

Тепер слід обрати раціональну послідовність наступних дій.

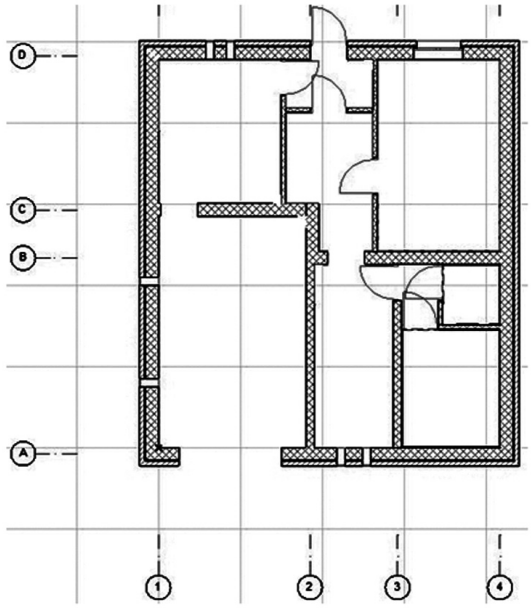


Рис. 20.11. Розміщення вікон та дверей на плані першого поверху

Якщо розташування стін, вікон, дверей і т. д. на інших поверхах несуттєво відрізняються від першого, можна продовжити роботу з планом першого поверху, визначивши перекриття, підлоги тощо, а потім скопіювати всі або частину елементів на ці поверхи. Якщо ж відмінності суттєві, і копіювання принесе більше клопотів, ніж користі, від нього слід відмовитись і просто використати план у якості фонового.

У нашому випадку право на існування мають обидві стратегії: можна скопіювати стіни першого поверху на другий, а для цоколю і фундаменту краще використати план поверху у якості фонового.

Почнемо із цоколю. У рядку піктограм клацаємо по трикутнику справа від піктограми Trace, обираємо Choose Reference та Above Current Story. Таким чином, у якості фонового буде показано поверх, який знаходиться вище. Переходимо на рівень цоколю – бачимо контур першого поверху, позначеного блідими лініями оливкового кольору. Керуючись цими лініями для кращої орієнтації, моделюємо зовнішні стіни цоколю(внутрішні сторони цих стін збігаються з внутрішніми сторонами зовнішніх стін першого поверху), не забуваючи змінити у діалоговому вікні параметри висоти, матеріалу – багатошарової конструкції цоколя – та виду поверхонь. Розміщуємо гаражні ворота, капітальні стіни, перегородки – всі у шарі Цоколь.

Щоб не повертатися до креслення цоколю згодом, доцільно розмістити і додаткові елементи – підлогу гаражу, модель автомобіля, пандус, ганок, відмостку.

Спочатку створюється багатошарова конструкція підлоги гаражу так, як це було описано для стін, а потім розміщується у відповідному місці (позначка *верхньої* грані – 200 від рівня нижньої грані стін цоколю).

Модель автомобілю обирається із бібліотеки інструменту ***Object*** (розділ 2) і розміщується на рівні підлоги гаражу.

Підлога і автомобіль розміщуються у шарах Пол гаража та Интерьер цоколя відповідно.

Для моделювання пандусу заходимо до діалогового вікна інструменту ***Stair***, клацаємо по Create Stair, далі обираємо шаблон пандусу і призначаємо параметри так, як показано на рис. 20.12 (перил пандус у даному випадку немає). Зберігаємо модель у каталозі проекту.

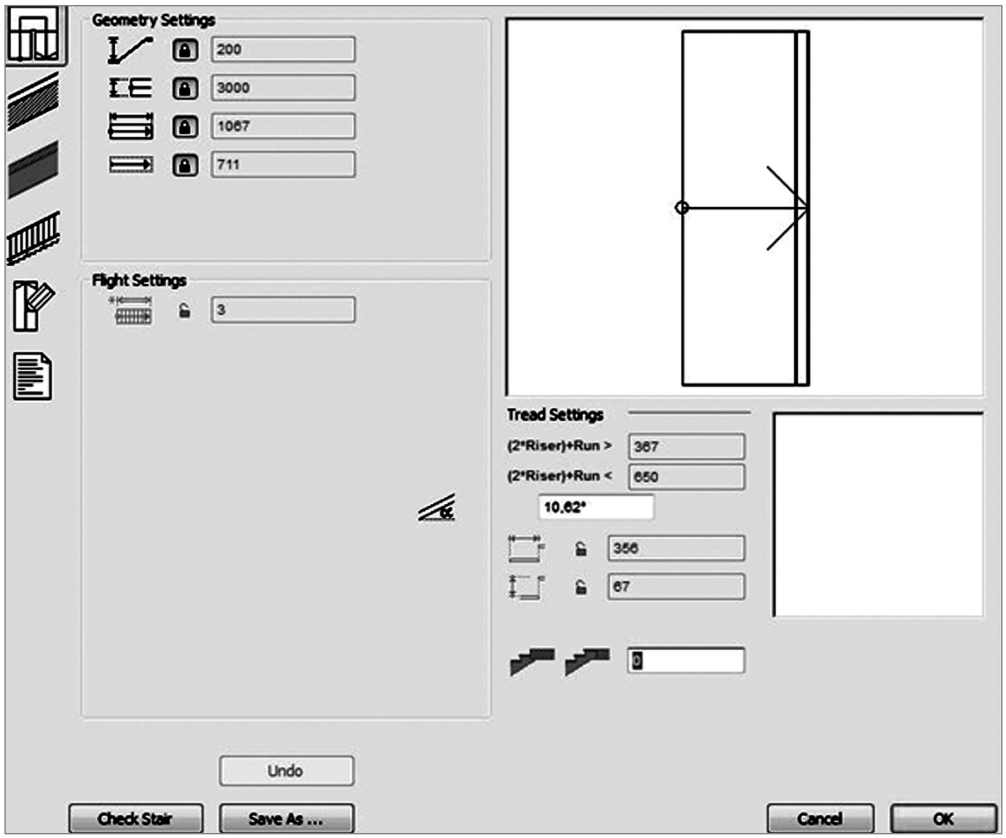


Рис. 20.12. Параметри пандусу

Використовуючи переміщення, рухаємо модель так, щоб пандус став на своє місце.

Для створення ганку можна використати інструмент ***Wall*** або ***Slab***, ставлячи одна на одну стіни (або плити), імітуючи східці та площадку ганку.

Нарешті, для створення відмостки використовуємо інструмент ***Slab*** (попередньо можна створити багатошарову конструкцію або – для спрощення – задати однорідну плиту, наприклад, з бетону). Розміщуємо плиту на позначці 50, відступаючи від стін цоколю та ганку на 800 мм. Після цього виділяємо точку у куті плити і у контекстному меню обираємо піктограми булевої операції віднімання. Обводимо контур зовнішніх сторін стін цоколю, включаючи цього контуру пандус та ганок. Виконуємо операцію, після чого з плити вирізається визначений контур, що і має бути.

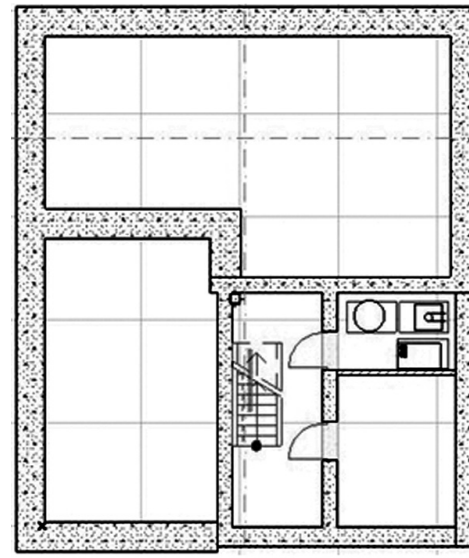


Рис. 20.13. План підвалу на рівні подушки фундаменту

Аналогічно використовує рівень, що знаходиться вище, для полегшення моделювання фундаменту та підвалу. Розміщуємо у підвалі сходи на перший поверх, підлоги різних типів, двері, фундаменти під обладнання систем опалення та водопостачання (рис. 20.13). Тепер повернемось до плану першого поверху. Його слід доопрацювати: показати перекриття, підлоги різних типів, козирок, сходи, кухонне та сантехнічне обладнання, гардеробні шафи, антресолі, полиці у сараї, нанести розміри, назви і площі приміщень, назву і масштаб плану.

Перекриття, підлоги, козирок створюються із використанням інструменту ***Slab*** так, як було описано вище. У процесі моделювання слід ураховувати такі нюанси:

1) для перекриття, якщо воно навіть складається із залізобетонних пустотних панелей, зручніше використовувати інструмент ***Slab***, а не відповідну конструкцію із бібліотек інструменту ***Object***;

2) Якщо планується розробка креслення плану перекриттів, то краще відразу змоделювати окремі типи панелей, клонувати їх та розмістити на свої місця, орієнтуючись на координаційні вісі і керуючись правилами прив'язки. Те ж відноситься і до козирка;

3) Перекриття слід розміщувати у окремому шарі;

4) Слід заздалегідь створити конструкції підлог різних типів. При їх розміщенні слід орієнтуватися на внутрішні контури стін, а також розміщення дверей – у межах однієї кімнати не має бути різних підлог;

5) Підлоги слід розмістити у окремому шарі – тоді їх легко виділяти (зробивши шар перекриттів невидимим) і редагувати, інакше весь час будуть помилкові виділення перекриттів;

6) Слід ретельно перевіряти у ***3D-вікні*** правильність призначених висотних позначок стін, дверей, перекриттів, підлог, козирків – елементи мають бути чітко скоординовані по висоті. Для цього ж зручно використовувати інструмент ***Section***.

Визначення параметрів і розміщення сходів описано у розділі 20. Відзначимо, що у тому випадку, коли планується додаткова робота з дизайну інтер'єру, можна не визначати у всіх деталях зовнішній вигляд сходів, а обмежитись визначенням їх габаритів. Для коректного розміщення сходів зручно використовувати інструмент ***Section***, переміщуючи їх на потрібне місце у вікні Section/Elevation (рис. 20.14).

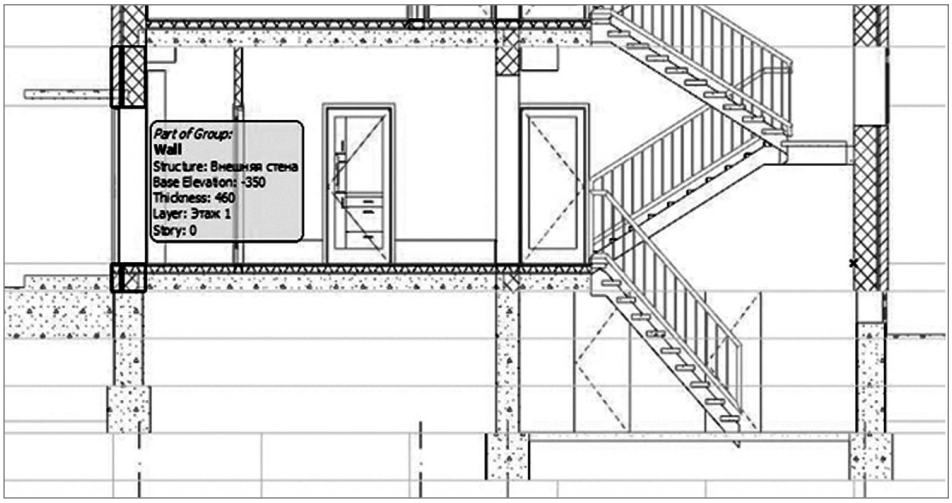


Рис. 20.14. Використання інструменту ***Section*** для контролю розташування елементів та їх редагування

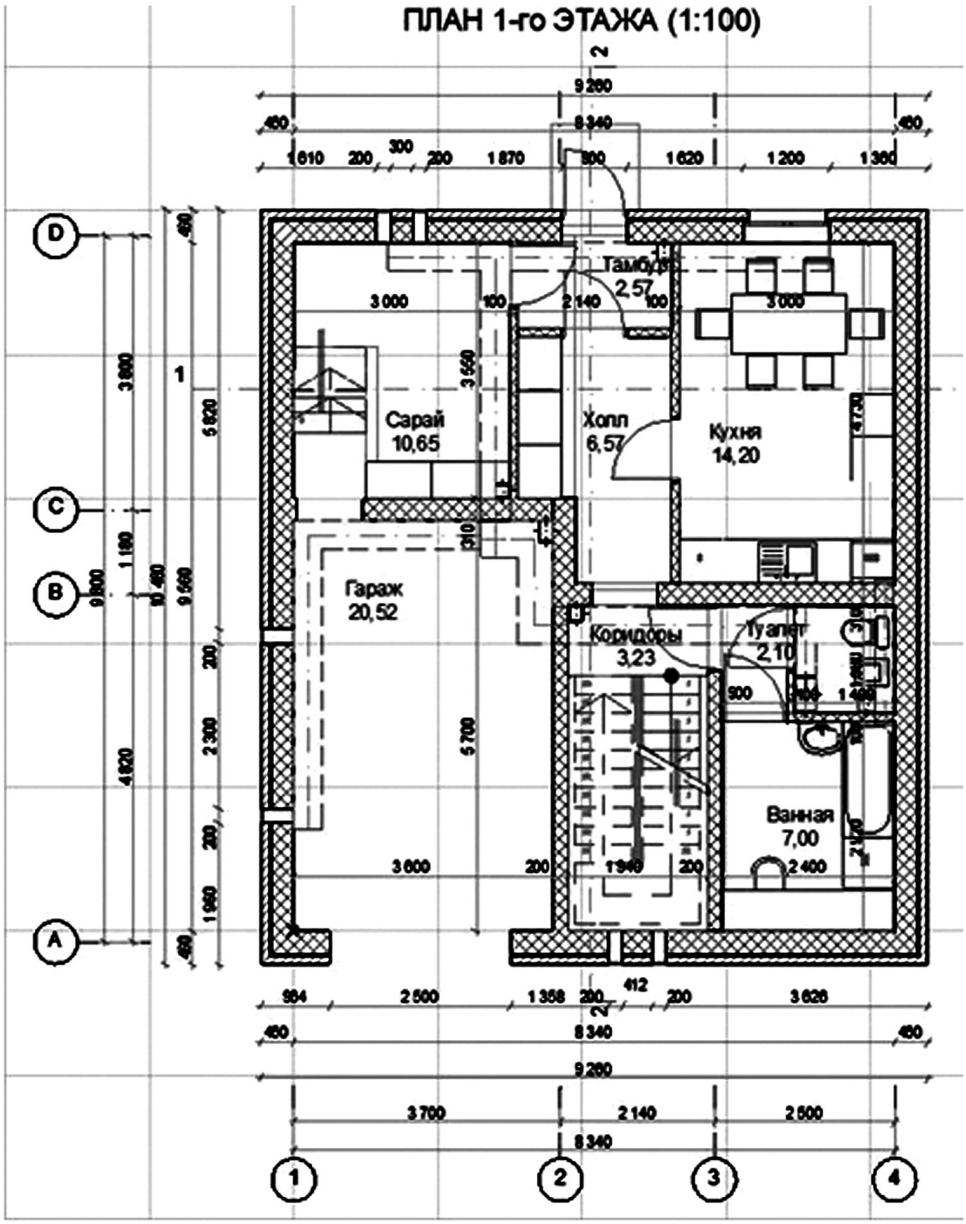


Рис. 20.15. Креслення плану першого поверху

Розміщення обладнання та меблів. Ще підбираючи розташування, форму і розміри кухні слід мати на увазі ергономічно обґрунтовану схему ***розміщення кухонного обладнання*** (лінійну, кутову, острівну), послідовність дій по приготуванню їжі, раціональні схеми систем водопостачання, газопостачання, вентиляції. Усі ці міркування мають бути відображені і при розміщенні кухонного обладнання у плані. Аналогічно, і при проектуванні санвузлів слід керуватися санітарно-гігієнічними нормами. Розміщення гардеробних шаф, антресолей, полиць також має ретельно обмірковуватися (рис. 20.15). Елементи інтер'єру слід розміщувати у окремому шарі.

Копіювання конструкції з плану першого поверху на другий. Відзначимо, що у 13-й версії процедура копіювання зазнала змін. Отже, слід на панелі навігатора виділити поверх, з якого буде проведене копіювання, та клацнути на по ньому *правою* кнопкою миші. У контекстному меню обираємо останній пункт – Edit Elements by Stories, а клацнувши по ньому *лівою* кнопкою, потрапляємо до меню, показаного на рис. 20.16.

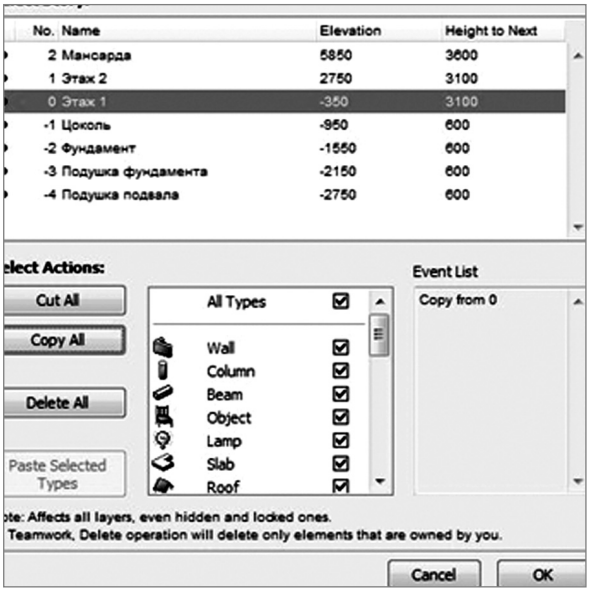


Рис. 20.16. Копіювання конструкцій та об'єктів з поверху на поверх

У списку елементів залишаємо All Types (будуть скопійовані всі елементи), або знімаємо галочку біля All Types і вибираємо тільки потрібні елементи, проставляючи галочки біля них. У нашому прикладі доцільно скопіювати стіни, вікна, двері, елементи обладнання, сходи, але не перекриття та підлоги, які відрізняються. Справа у Event List з'являється повідомлення про копіювання.

Далі клацаємо по назві другого поверху у списку рівнів. Відбувається перехід на цей рівень та активізується кнопка Paste Selected Types, після натиснення на яку всі скопійовані елементи будуть відображатись на рівні другого поверху.

Приступаючи до їх редагування, слід насамперед віднести їх до нових шарів – Этаж 2, Интерьер 2 тощо.

Для цього виділяємо окремий елемент (або кілька елементів одного шару, утримуючи клавішу Shift) і у інформаційному табло їхнього інструменту змінюємо поточний шар на той, який потрібен.

Редагуємо стіни, видаляючи одні і розміщуючи інші (можна також змінювати параметри перегородок і переміщувати їх).

Далі починаємо редагувати вікна і двері. Наприклад, щоб змінити склоблоки на металопластикові вікна на стіні над гаражем, слід виділити блоки, знайти у діалоговому вікні бібліотеку Casement Windows, а у ній – елемент W2 Casement, встановити значення параметрів (не змінюючи спосіб прив'язки) і підтвердити зроблені зміни. Склоблоки будуть замінені на вікно. Більш простим способом є такий: клацаємо по піктограмі з зображенням піпетки (Pick Up Parameters), клацаємо по вікну, клацаємо по піктограмі шприцу (Inject Parameters) та по склоблокам. Вони будуть замінені на вікно. Цим способом слід користуватися тільки тоді, коли є впевненість, що всі «взяті» параметри саме такі, які потрібні.

Те ж саме робимо із дверима; замість вхідної двері розміщуємо вікно, замість кухонного обладнання – меблі та інші об'єкти.

Результат редагування показано на плані другого поверху (рис. 20.17). Для контролю загального розміщення меблів доцільно використати аксонометричне зображення поверху (рис 20.18); для контролю розміщення по висоті – інструмент ***Section*** (рис. 20. 19), а дляперегляду з реальної точки зору – перспективне зображення (рис. 20.20).

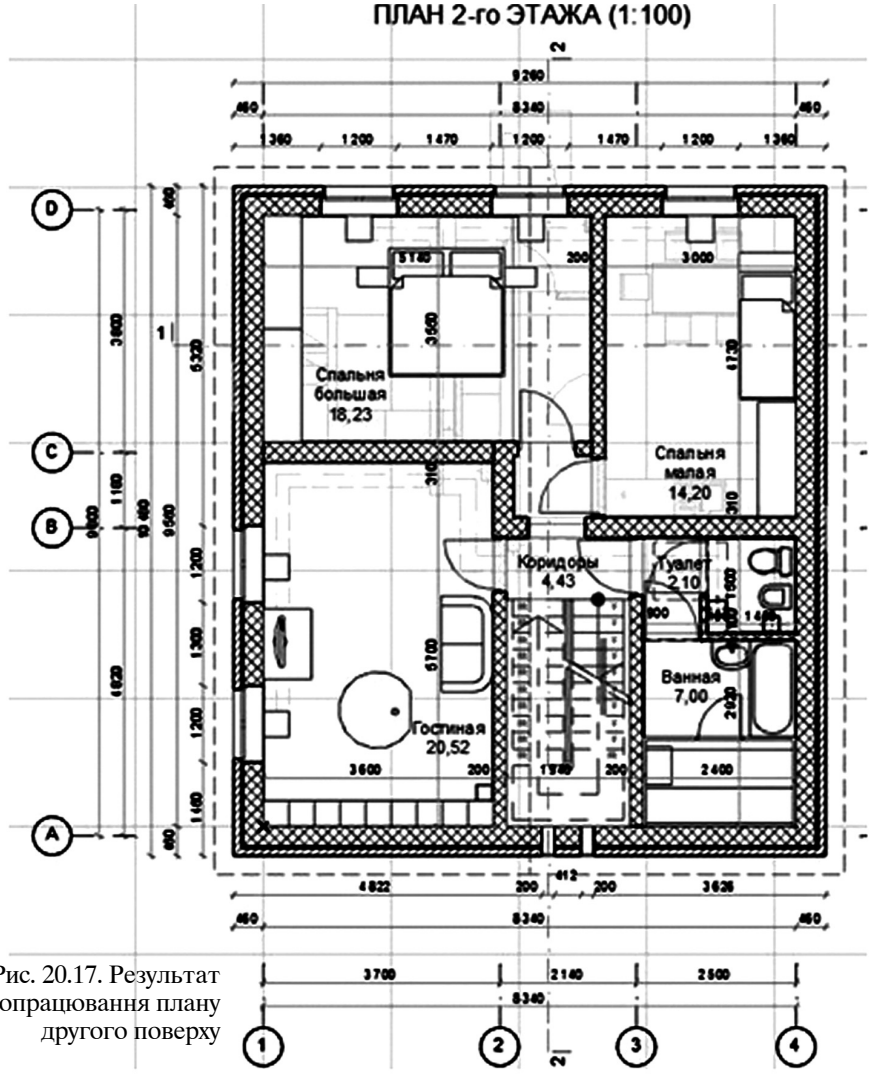


Рис. 20.17. Результат доопрацювання плану другого поверху

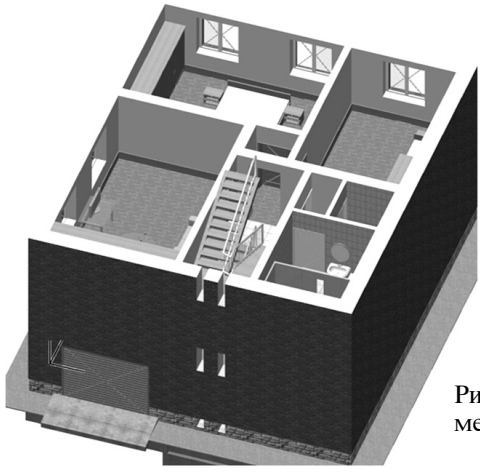


Рис. 20.18. Контроль розміщення меблів у аксонометрії



Рис. 20.19. Візуальна перевірка правильності висотних позначок – стіл на підлозі, ваза – на столі



Рис. 20.20. Візуальна оцінка компонування приміщення

Аналогічно здійснюється копіювання конструкцій та об'єктів на мансарду та їх редагування. Слід мати на увазі, що висоту стін слід збільшити до 3600.

20.7. Нанесення розмірів, написів та інші доопрацювання планів

При нанесенні розмірів слід використовувати як можливості автоматизації, так і визначення розмірних ліній та їх редагування вручну, так, як це описано у розділі 19, керуючись вимогами ДСТУ. Те ж саме стосується назви плану, різного роду текстових написів, таблиць та специфікацій.

Підготовлений таким чином документ є архітектурно-будівельним робочим кресленням (звернемо увагу, що між вимогами ДСТУ і можливостями англійської версії ArchiCADy існують певні неузгодженості, опис усунення яких виходить за межі задач підручника).

Для визначення площ та інших характеристик приміщень та їх позначення на плані існує альтернатива:

1) Використання інструменту ***Zone***, описане у розділі 2;

2) Використання інструментів ***Measure*** та ***Text Tool***.

У випадках, коли планується детальний збір інформації по проекту або використання доповнення Interior Wizard для проектування інтер'єру, доцільніше використовувати інструмент ***Zone***.

В інших випадках простіше застосувати другу можливість. Визначаємо площі приміщень за допомогою ***Measure***, та використовуємо ***Text Tool*** для введення назв приміщень і їх площ та розміщення цих даних у плані (розділ 19).

Інколи на архітектурно-будівельних кресленнях позначають системи опалення чи вентиляції (які, загалом, мають показуватися на окремих видах креслень) – якщо це потрібно для компонування приміщень чи інтер'єру. Саме це зроблено і для даного будинку. Рекомендуємо також розміщувати їх у окремих шарах щоб ати можливість у разі потреби відредагувати окремо від інших конструкцій і елементів або зробити невидимими.

Результат доопрацювання планів першого та другого поверхів показано на рис. 20.15 та 20.17.

Аналогічні доопрацювання здійснюються і для планів інших рівнів.

20.8. Побудова даху

У будинку, що моделюється, крівля двоскатна, одноярусна, з кутом нахилу 40 градусів, крита асфальтовою черепицею зеленого кольору.

Для її побудови використовуємо інструмент ***Roof***. Обираємо спосіб побудови крівлі, визначаємо параметри та матеріали і підтверджуємо свій вибір. Далі на плані вказуємо базову лінію та напрям стікання води одного з скатів. Обводимо контур скату, враховуючи наявність звісу (300 мм). Скат зображується на плані. Ті ж самі установки і дії здійснюємо для другого скату. Обидва скати мають бути симетричними, що потрібно перевірити описаними способами.

Підрізаємо стіни мансарди під дах. Для цього виділяємо обидва скати, заходимо до пункту головного меню ***Design*** та обираємо команду Trim to Roof.

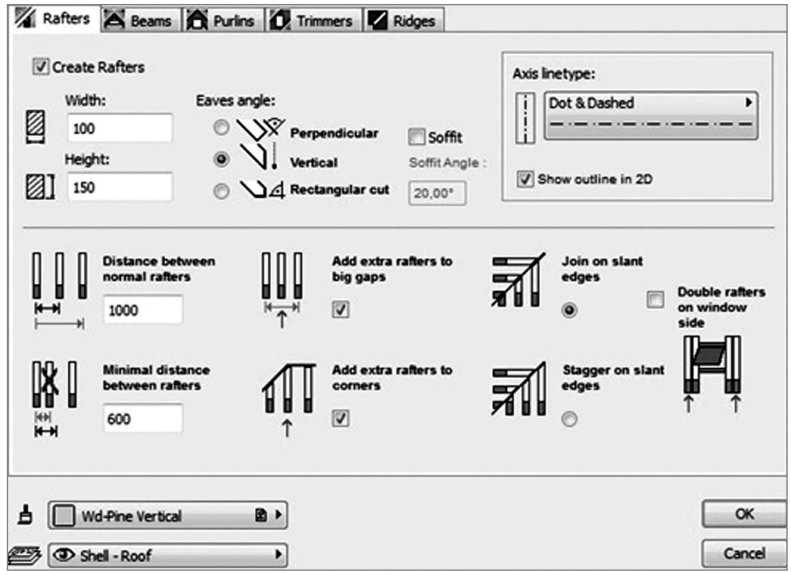


Рис. 20.21. Діалогове вікно помічника Roof Maker

У діалоговому вікні, що відкриється, у більшості випадків слід погодитися із значеннями параметрів, що пропонує програма, після чого підтвердити цей вибір. Програма автоматично підріже під рівень крівлі всі вказані елементи. Якщо треба побудувати димоходи чи якісь інші конструкції,що виступають за рівень крівлі, то це доцільно зробити *після* підрізання. У разі потреби у крівлі розміщуються мансардні вікна або світові ліхтарі.

Інколи до описаних вище побудов додають побудову каркасу крівлі, що здійснюється за допомогою помічника Roof Maker, який знаходиться у пункті головного меню ***Design*** – Design Extras (розділ 19).

Якщо запустити цю програму в режимі помічника, відкриється діалогове вікно (рис. 20.21), у якому, відкриваючи послідовно всі закладки, слід визначити параметри стропил, ригелів, підстропильних брусів та обрешітки.

Звернемо увагу на два параметри у цьому вікні:

- правильне визначення мінімальної відстані між стропилами дозволяє уникнути виходу каркасу за межі фронтонів;
- є можливість підсилити стропила у місцях розміщення вікон.

Після завдання всіх параметрів каркас будується автоматично. Після цього, у разі потреби, його можна відредагувати вручну, попередньо розгрупувавши. Результат побудови для обраного прикладу наведено на рис. 20.22.

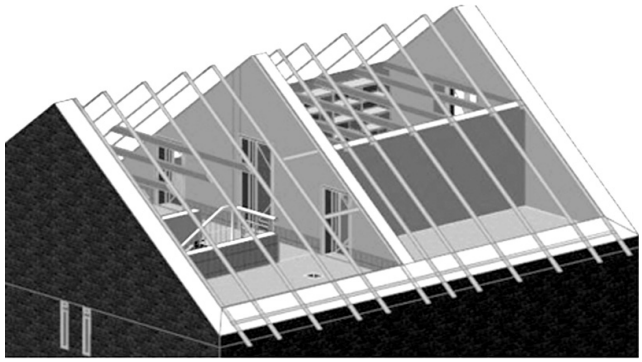


Рис. 20.22. Каркас крівлі після редагування (обрешітка не показана)

Самоконтроль. Для засвоєння матеріалів цього розділу необхідно:

Створити каталог для зберігання проекту та настроїти робоче середовище ArchiCADy.

Визначити назви та висотні позначки рівнів, а також склад і назви шарів.

Розробити багатошарові конструкції стін, підлог, крівлі.

Нанести координаційні вісі.

21. ДОКУМЕНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

У процесі документування розробляються архітектурно-будівельні креслення планів, фасадів та розрізів, спеціальні креслення конструкцій, вузлів та деталей, готуються різноманітні експлікації та специфікації. Деякі з цих документів зручніше розробляти за допомогою ArchiCADy, деякі – за допомогою інших програм, зокрема AutoCADy із наступною конвертацією до формату ArchiCADy. Потім проект структурується і виводиться на друк.

21.1. Побудова архітектурно-будівельних креслень

Побудова креслення плану описана у розділі 20.

Побудова креслення фасаду. Для виконання креслень фасадів застосовується інструменти ***Section Tool*** або ***Elevation Tool***. Слідвказати лінію, паралельну фасаду, напрям зору, а також позначити зображення. Фасад будується автоматично, а його позначення з'являється у панелі навігатора, а також пункті головного меню ***View*** (Navigate – Section або Elevation).

Якщо не убирати лінії фасадів, позначені на плані при створенні нового проекту, то чотири фасади уже будуть у панелі навігатора.

Автоматично побудований фасад потребує доопрацювання з метою приведення його у відповідність до правил оформлення архітектурно-будівельних креслень.

Необхідно зробити наступні коригування:

- зробити невидимими підземні рівні, а також моделі дерев, автомобілів тощо;
- показати штриховки матеріалів (у діалоговому вікні у закладці Model Display – Uncut Elements помітити галочками пункти Uniform Penfor Uncut Contours та Vectorial 3D Hatching);
- змінити кількість і склад координаційних осей (залишаються тільки крайні та ті, які відповідають стінам у місцях виступаючих частин фасаду. Інколи доцільно нанести відстані між осями;
- нанести вертикальні позначки (активізувати інструмент ***Dimension***, у інформаційному табло інструменту обрати піктограму висотних позначок, маркер, відповідний ДСТУ, індикатор знаків вище/нижче нуля, у діалоговому вікні відредагувати параметри шрифту. Далі вказуються точки – одна або кілька – для яких треба визначити позначки і розташування розмірної лінії);
- у разі потреби позначити окремі фрагменти фасаду (архітектурні деталі, що погано виражаються у основному масштабі, або інші особливості будівлі);
- побудувати як окремі креслення (можна поруч з основним кресленням фасаду) вищезгадані фрагменти;
- дати документу назву.

Результат показано на рис. 21.1.

Побудова креслення розрізу здійснюється аналогічно із застосуванням інструменту ***Section Tool***. Оскільки січні площини мають проходити через віконні та двірні пройми, а також сходи, лінія, що позначає розріз, скоріш за все буде ламаною (Segmented). Настроювання інструменту у такому випадку описане у розділі 20. Зауважимо, що слід настроїти також маркер та позначення розрізу.

Після настроювання інструменту та автоматичної побудови фасаду, його позначення відобразиться у панелі навігатора, а також у пункті головного меню ***View*** – Navigate – Section – Open Section.

Кількість доопрацювань для креслень розрізів більша, ніж для фасадів.

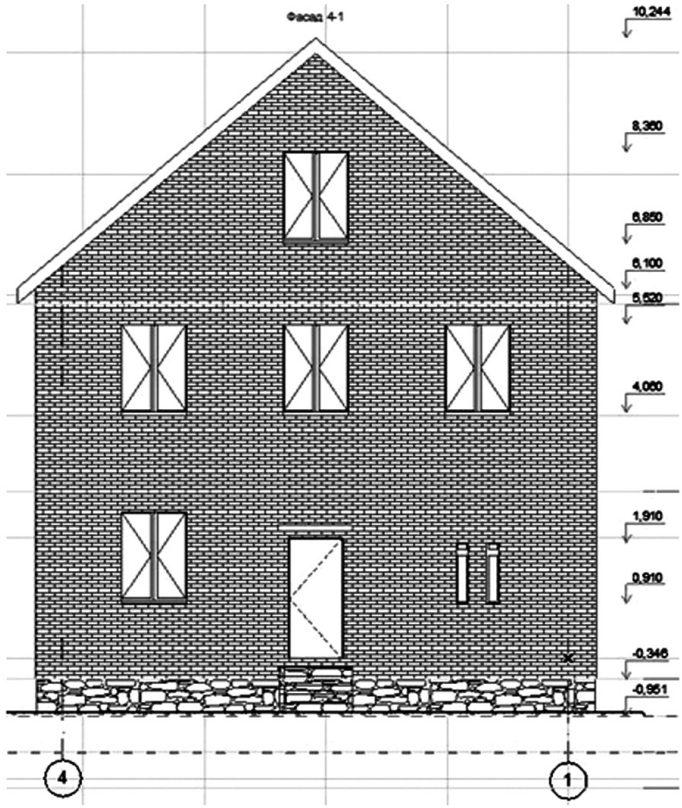


Рис. 21.1. Креслення фасаду

1) Як і для фасадів, підземні поверхи роблять невидимими (у простих випадках, як у нашому прикладі, конструкції фундаменту можна показати, щоб не робити зайвих креслень;

2) Також роблять невидимими елементи інтер'єру, другорядні деталі, моделі систем опалювання, водопостачання тощо. У деяких випадках замість цього можна обмежити глибину розрізу;

3) Залишаються всі координаційні вісі, наносяться розміри між сусідніми та крайніми осями;

4) Вертикальні позначки, окрім позначення рівнів основних зовнішніх конструкцій і пройм, наносяться також усередині: для стель і підлог, а також площадок на сходах;

5) Зовнішні вертикальні позначки дублюються вертикальними розмірними лініями;

6) Усередині наносяться розміри приміщень, стін та перегородок між ними;

7) Наносяться виносні написи, які описують конструкції підлог, перекриттів, крівель. Оскільки відповідний інструмент ArchiCADy не сповна відповідає правилам оформлення креслень, доцільно зробити це вручну за допомогою інструментів ***Line*** і ***Text***. Звернемо увагу, що при використанні типу ліній зі стрілочкою *кольори лінії і стрілочки змінюються незалежно;*

8) Позначаються вузли та деталі, які погано зображуються у обраному масштабі і потребують більш детальних креслень;

9) Будуються окремі креслення вузлів та деталей, у тому числі поруч із основними;

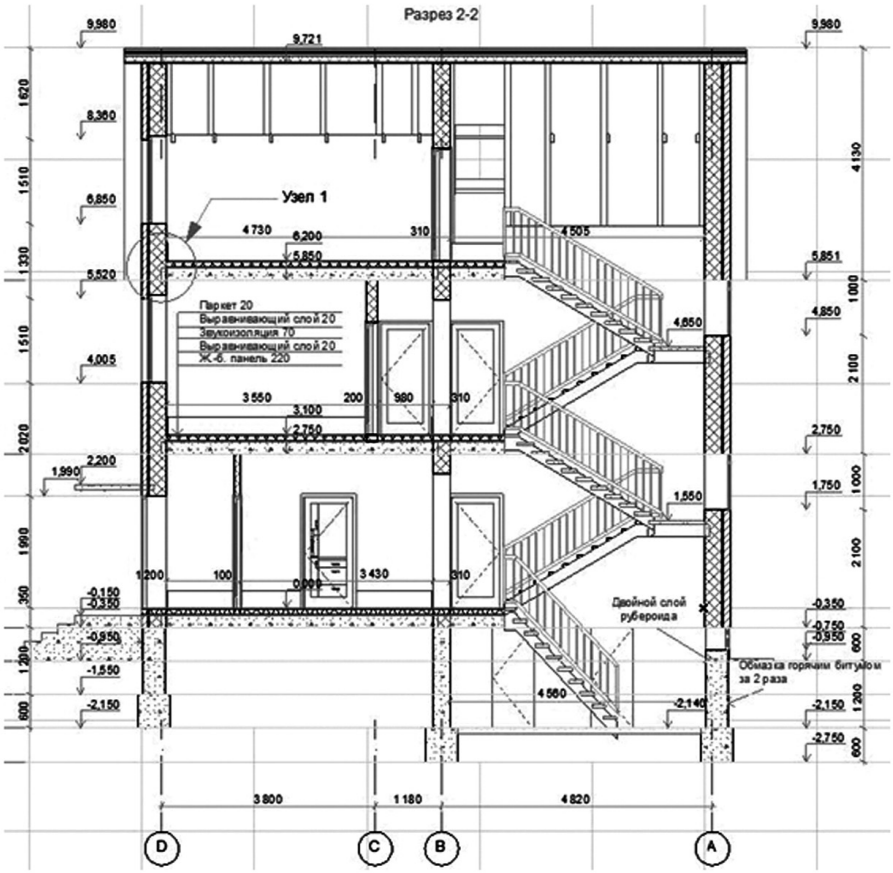


Рис. 21.2. Приклад креслення розрізу

10) Наносяться додаткові написи, наприклад, характеристики гідроізоляції, а відповідні місця позначаються;

11) Документу дається назва.

Правила оформлення креслень не вимагають виконання відмивки, проте застосування кольорових штриховок і текстур значно полегшує сприйняття креслення. Регулювати це потрібно у діалоговому вікні інструменту ***Section*** у закладці Model Display.

Результат виконання креслення розрізу показано на рис. 21.2.

21.2. Визначення показників проекту

ArchiCAD підтримує два способи визначення показників із наступною генерацією звітів: більш простий – інтерактивні діалоги і більш детальний – кошториси.

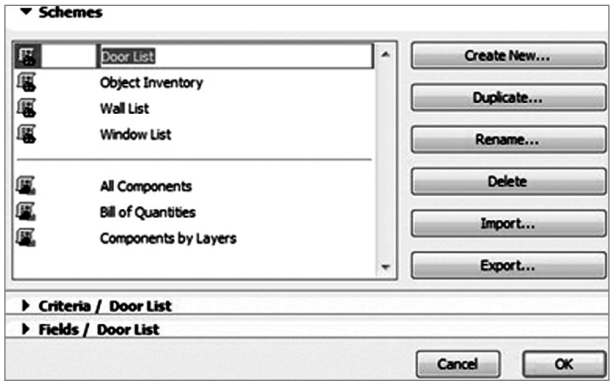


Рис. 21.3. Діалогове вікно настроювання каталогів

Інтерактивні каталоги використовуються для складання експлікацій приміщень, підрахунку площ та об'ємів приміщень, кількості елементів тощо.

Для створення і редагування інтерактивного каталогу слід зайти до пункту головного меню **Document** – Schedules and Lists – Schedules – Scheme Settings. Відкриється діалогове вікно (рис. 21.3).

Закладка Schemes містить перелік наявних у проекті каталогів (створених, або тих, що є у програмі), закладка Criteria дозволяє обрати параметри збору елементів для представлення у каталозі (кнопки Add та Additional Parameters), а закладка Fields слугує для вибору тих параметрів, які враховуються (відображаються у лівому вікні) та установки порядку їх відображення (перетягуються у праве вікно, а характеристики, що відображаються, установлюються за допомогою спеціальних кнопок). Кнопка Create New дозволяє створити власний каталог, Import – завантажити каталоги з інших проектів, а Export – збереження настроювань каталогів для їх використання у інших проектах.

Каталог відображається, якщо двічі клацнути по його назві у панелі навігатора. У окремому вікні відображаються всі елементи і всі зазначені параметри (рис. 21.4). Панель зліва використовується для уточнення параметрів каталогу (стилі, лінії, шрифти тощо).

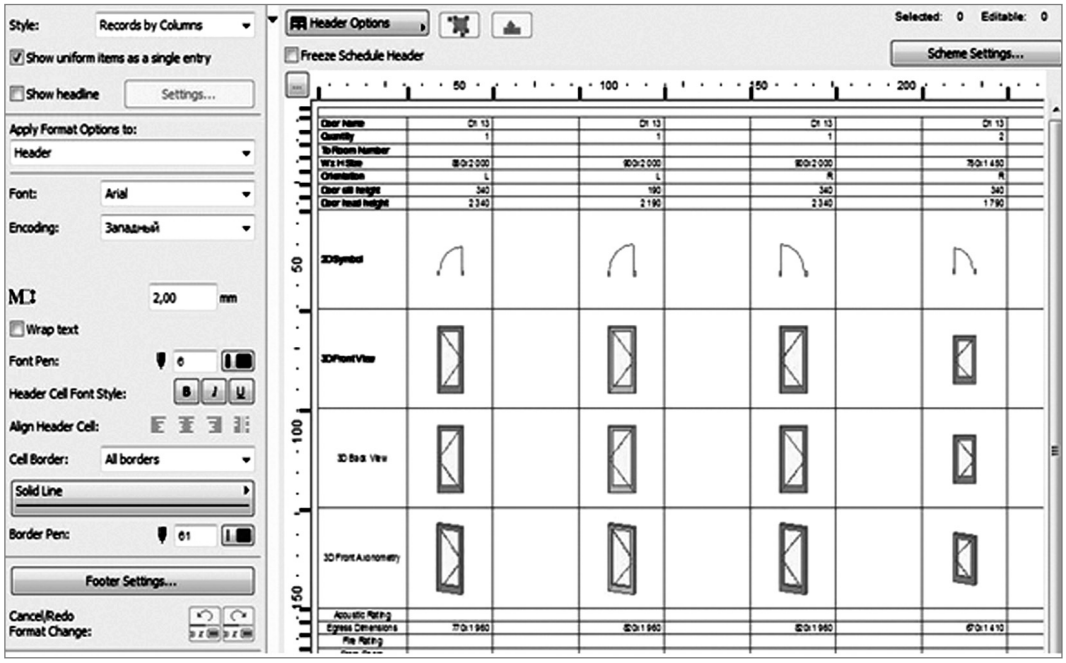


Рис. 21.4. Вигляд інтерактивного каталогу

Розглянемо застосування інтерактивних каталогів для створення експлікацій приміщень (на прикладі плану першого поверху).

Спочатку слід підготувати інформацію, для чого використовується інструмент ***Zone***. У діалоговому вікні (рис. 21.5) обирається категорія приміщення, визначається його назва; у закладці Zone Stamp визначаються представлення і склад даних, що виводяться на екран: тип, колір і розмір шрифту, назва приміщення, його площа, висота, об'єм, матеріал підлоги тощо. Для експлікації достатньо вказати назву і площу.

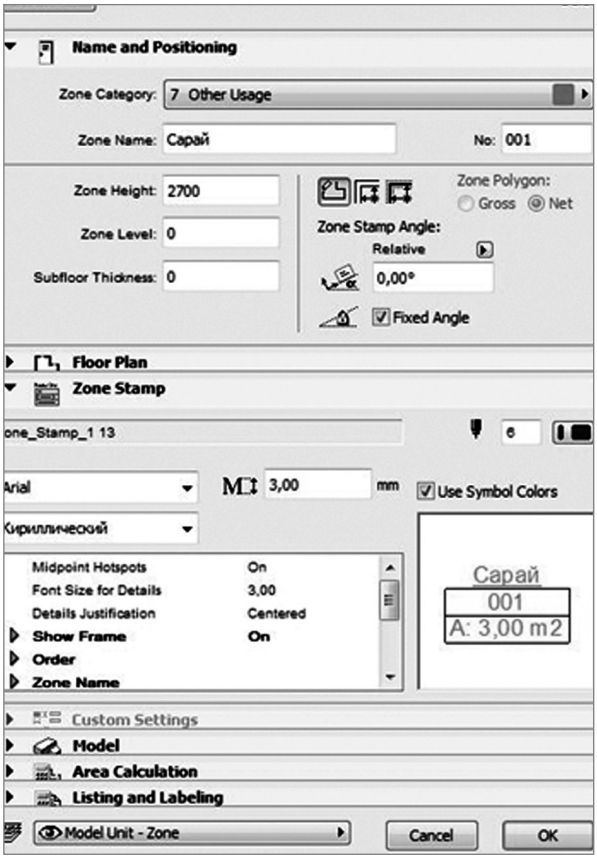


Рис. 21.5. Визначення параметрів зони окремого приміщення

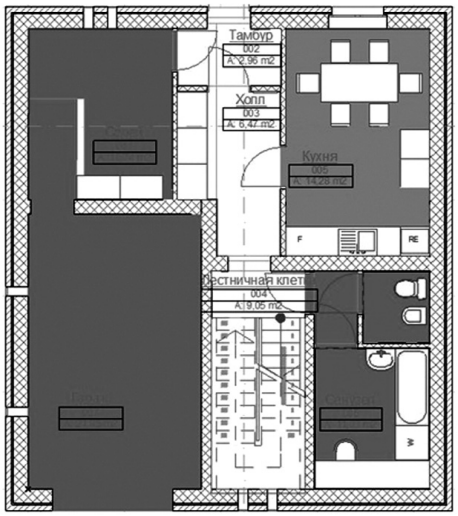


Рис. 21.6. Розташування зон для першого поверху

Далі слід для кожного із приміщень вказати його контур, що доцільно робити вручну. Після замкнення контуру слід вказати місце розташування штампу; у ньому буде відображатися назва приміщення і автоматично виміряна площа (елементи інтер'єру враховані не будуть).

Результат підготовчої роботи показано на рис. 21.6.

Тепер створимо нову схему інтерактивного каталогу, використовуючи діалогове вікно настроювання каталогів (рис. 21.7, 21.8).

Натискуємо кнопку CreateNew і у закладці Schemes набираємо назву каталогу – Экспликация помещений 1-го этажа. У закладці Criteria за допомогою кнопки Add додаємо у список критеріїв Zone та Story (не забуваємо, що перший поверх має іти під номером 0).

Переходимо до закладки Fields і у списку доступних до відображення параметрів обираємо Room Number, Room Name, Measured Area (можна обрати їх разом, притримуючи клавішу Ctrl). Переносимо їх у список параметрів, що будуть відображені, за допомогою кнопки Add. Переміщуємо їх, аби отримати правильний порядок розміщення (рис. 21.8).

Відображаємо каталог, клацаючи двічі на його імені на панелі навігатора.

Редагуємо специфікацію, змінюючи ширину та висоту граф (діалогове вікно відкривається кнопкою з трьома крапками на рис. 21.4), тип, колір та розмір шрифту, назви граф. Кінцевий результат показано на рис. 21.9.

Подібним чином формуються каталоги інших типів.

Кошториси генеруються на основі присвоєних властивостей. Для визначення виду, деталізації кошторису та відбору представлених в ньому елементів слугує спеціальне завдання.

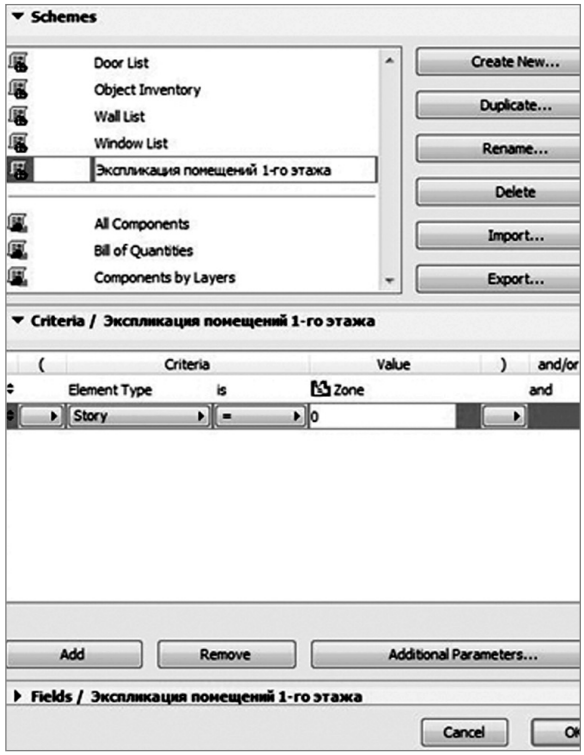


Рис. 21.7. Вибір нової схеми
та критеріїв відбору

Всього існує три види кошторисів:

- кошторис елементів;
- кошторис компонентів;
- кошторис зон.

Відповідно, існують три типи завдань для складання кошторисів.

Для отримання доступу до роботи з кошторисами слід спочатку перенести відповідні команди до головного меню. У пункті головного меню **Options** обираємо Work Environment – Menus. Відкриється вікно (рис. 21.10). Обираючи фільтр Allcomm and sbytheme та розташування Document | Schedules and Lists, із папки Calculate перетягуємо у праве вікно команди Set Up List Schemes, Edit Database, New Properties, Edit Properties, Link Propertiesto Criteria і підтверджуємо свій вибір. Тепер вони відобразяться меню **Document** – Schedules and Lists.

Розглянемо приклад створення кошторису витрат стінових матеріалів для зовнішньої стіни першого поверху.

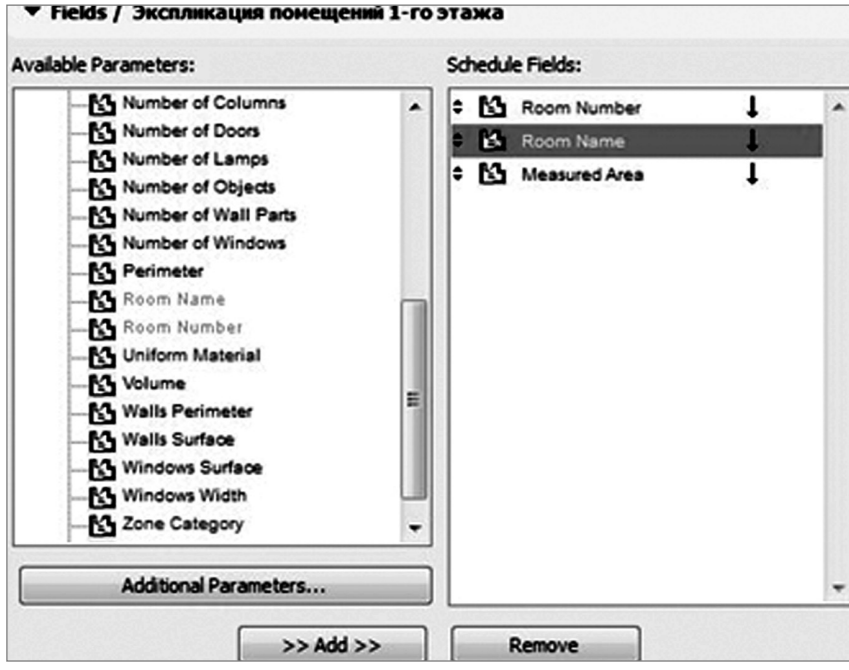


Рис. 21.8. Вибір параметрів, що відобразяться у специфікації

Экспликация помещений 1-го этажа		
№ помещения	Название помещения	Площадь, м2
001	Сарай	10,74
002	Тамбур	2,96
003	Холл	6,47
004	Лестничная клетка	9,05
005	Кухня	14,28
006	Санузел	11,03
007	Гараж	21,95

Рис. 21.9. Сформована експлікація приміщень 1-го поверху

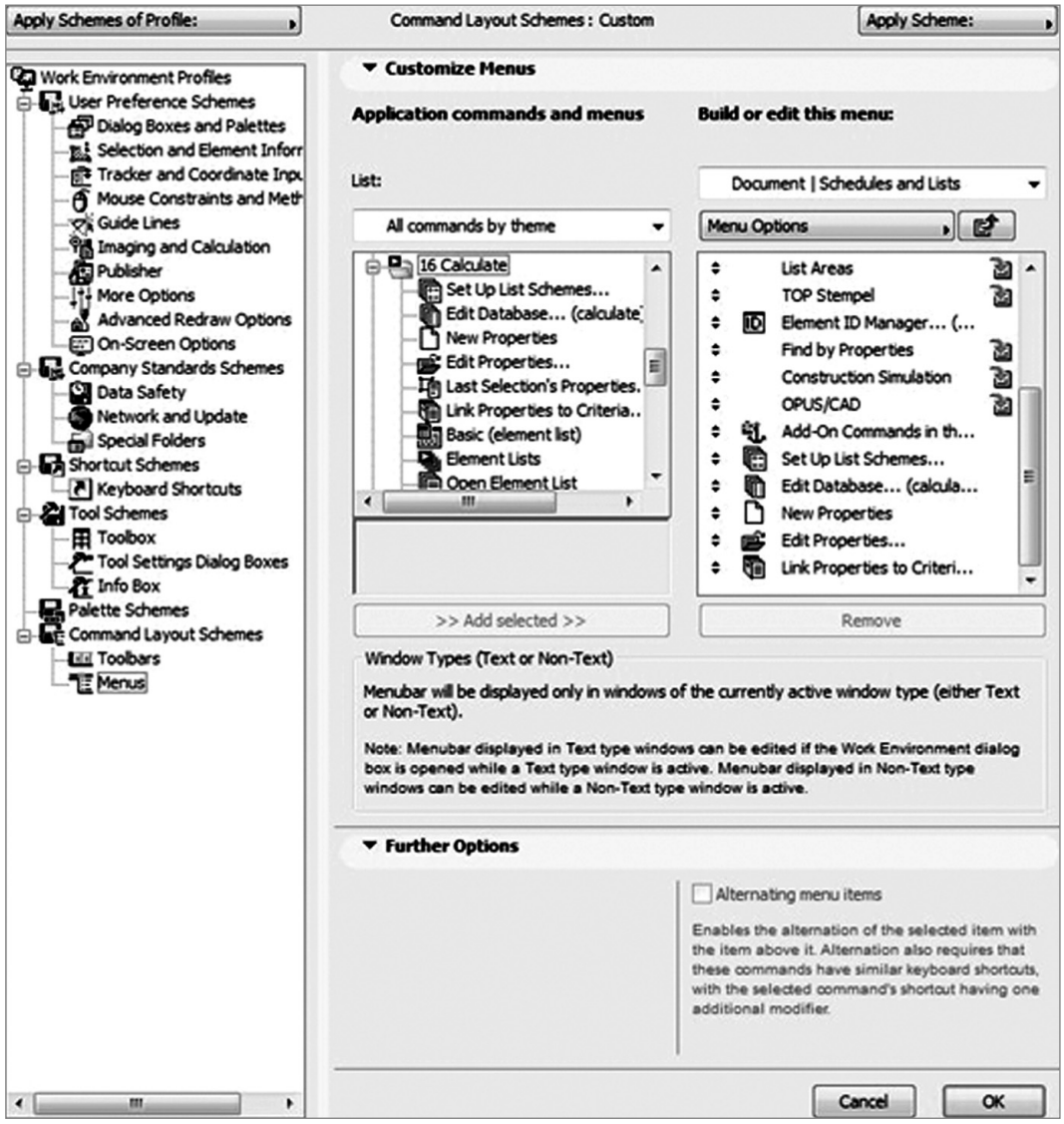


Рис. 21.10. Перенесення команд роботи з кошторисами до головного меню

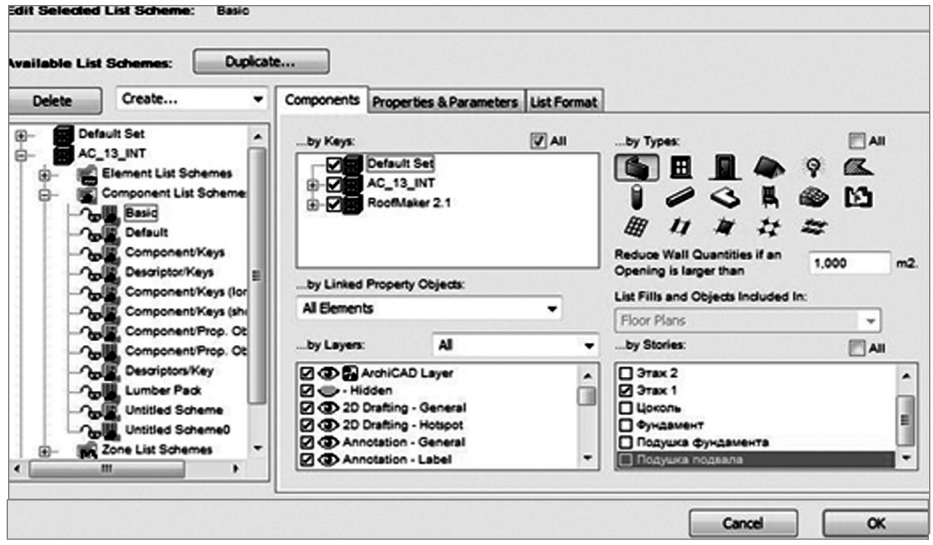


Рис. 21.11. Установлення типів компонентів, що мають відображатися

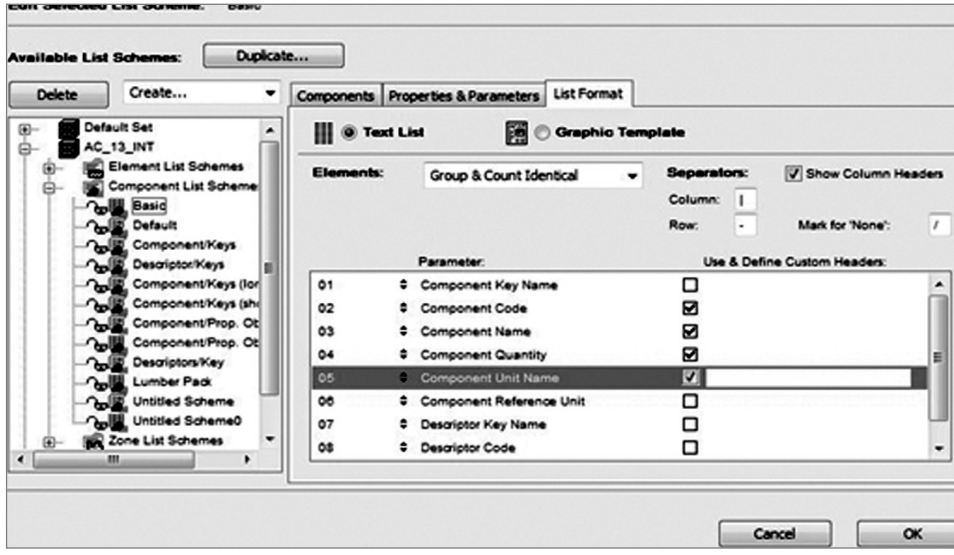


Рис. 21.12. Установка типу та граф кошторису

Настроюємо параметри завдання на формування кошторису. Виконуємо команду Set Up List Schemes у пункті головного меню **Document** – Schedules and Lists, обираємо завдання для компонентів, натискуємо на кнопку Components. Відкривається наступне діалогове вікно (рис. 21.11).

Залишаємо всі ключі, серед елементів обираємо тільки стіни, а серед поверхів – тільки перший. Натискуємо на кнопку and Parameters (залишаємо властивості по умовчанню), а потім List Format. Установки мають бути такі, що показані на рис. 21.12. Натискуємо на ОК.

Тепер створюємо специфікацію, яка буде містити норми витрат матеріалів на м^3 стіни. Це, приблизно, 140 штук цегли, та по 12 пінобетонних блоків товщини 100 мм та 200 мм.

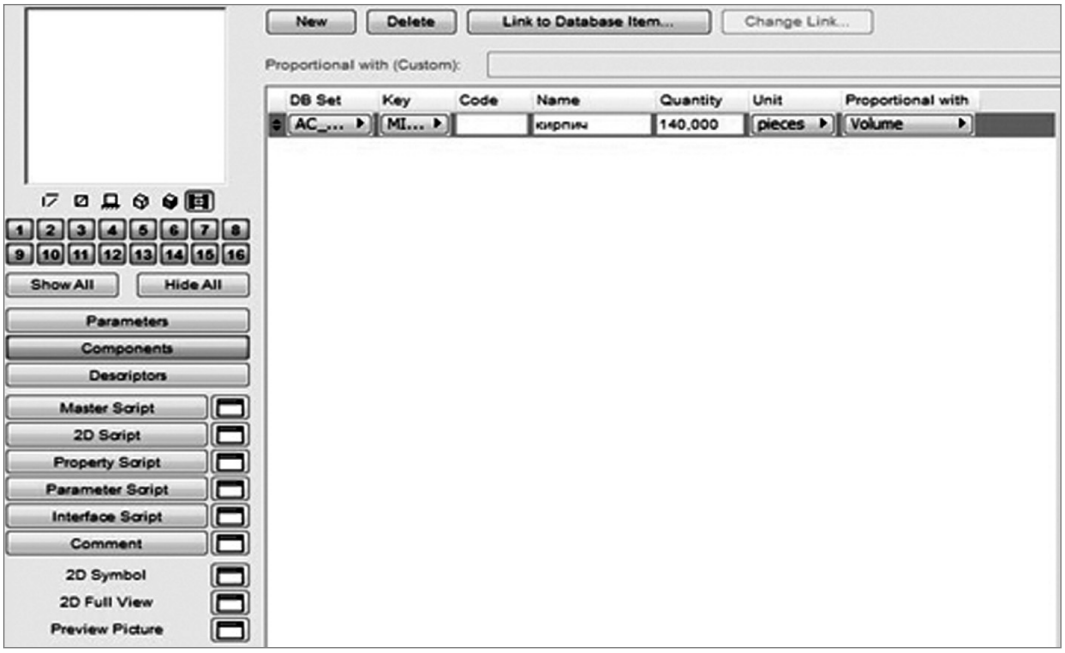


Рис. 21.13. Установлення компонентів та їх параметрів

Для цього активізуємо команду New Properties у пункті головного меню **Document** – Schedules and Lists, клацанням по кнопці New створюємо три компоненти для цегли та блоків, вказуючи базу даних, назву, кількість на м^3, одиницю виміру та прив'язку до об'єму.

Закриваємо вікно, а на пропозицію зберегти специфікацію, робимо це у паці Embedded під ім'ям «Стена внешняя». Тепер прив'яжемо створену специфікацію до стіни. На плані першого поверху виділяємо зовнішню стін; у діалозі ***Wall*** переходимо на закладку Listing and Labeling (рис. 21.13).

Знімаємо галочку на пункті By Criteria, ставимо на пункті Individually та натискуємо кнопку Choose. У вікні, що відкривається, знаходимо створену нами специфікацію і натискуємо на кнопку Link. Назва специфікації з'являється у вікні.



Рис. 21.14. Прив'язка специфікації до зовнішньої стіни

Component Name	Component Quantity	Component Unit Name	Component Reference Unit
Блок 100	599,575	pieces	m3
Блок 200	599,575	pieces	m3
кирпич	6 995,036	pieces	m3

Рис. 21.15. Витрати стінових матеріалів для зовнішньої стіни першого поверху

Після цього виводимо кошторис на екран, клацаючи по полям Lists – Components – Basic на панелі навігатора. Результат показано на рис. 21.15.

21.3. Розміщення документів на аркушах

Графічні документи, окрім креслень, містять також інформацію у вигляді текстів, таблиць, специфікацій та експлікацій, часто створених у різних графічних і текстових редакторах. Постає питання компонування такого роду даних на аркушах, як у електронному вигляді, так і при виводі на друк. ArchiCAD має кілька засобів роботи із такими складними документами, із яких опишемо лише один із можливих варіантів розміщення даних на аркуші.

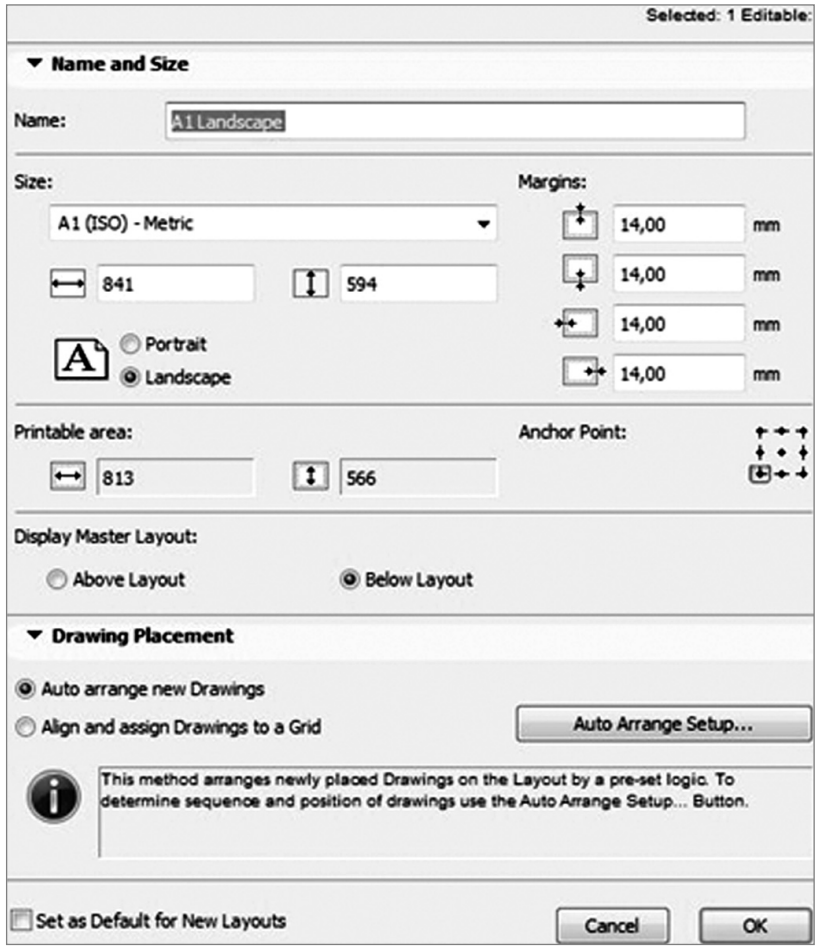


Рис. 21.16. Вікно параметрів аркушу

Припустимо, у межах одного аркушу формату А1 слід розмістити креслення фасаду, планів поверхів, один із розрізів, креслення вузла та експлікацію приміщень.

Для створення аркушу перейдемо у панелі навігатора до закладки Layout Book, а серед шаблонів аркушів у списку Masters оберемо A1 Landscape. Натиснувши кнопку Settings, переходимо у діалогове вікно (рис. 21.16), де можна відредагувати назву, розміри, поля та спосіб прив'язки документів, що розміщуються.

Натиснувши на кнопку ОК, отримаємо доступ до параметрів креслення: можна відредагувати розташування рамки, основного напису, зробити власні написи.

Для розміщення креслень переходимо у панелі навігатора до закладки Project Map і перетягуємо на аркуш креслення фасаду, розрізу 2–2, першого і другого поверхів. Рамку, у яку поміщається кожне із зображень, можна редагувати і переміщувати; разом з цим буде змінюватися і масштаб зображення, який відображається на лінії під зображенням.

Після цього розмістимо на аркуші зроблене за допомогою AutoCADy креслення вузла. Активізуємо інструмент ***Drawing***, у разі потреби коригуємо запропоновані параметри. Клацаємо по аркушу у місці, де потрібно розмістити креслення. З'являється діалогове вікно (рис. 21.17), у якому слід обрати варіант anexternal source, натиснути кнопку Browse і вказати шлях до креслення та його формат. Креслення буде вставлене; його також можна переміщувати і змінювати масштаб.

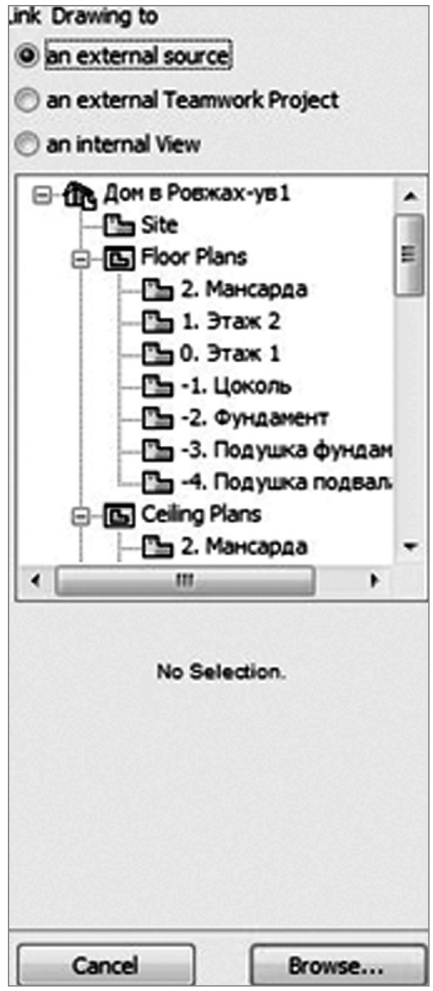


Рис. 21.17. Вибір розташування креслення

Останнім кроком є вставка експлікації, попередньо збереженої у форматі .bmp. Вставка здійснюється за допомогою інструменту ***Figure*** або ***Drawing*** як було описано вище. Кінцевий результат показано на рис. 21.18. Далі креслення можна друкувати, як описано у розділі 20.

Самоконтроль. Пригадайте правила оформлення робочих архітектурно-будівельних креслень. Які креслення входять до цієї групи? Що має бути зображено на планах? Що на фасадах? Що на розрізах? Коли доцільно робити тональне моделювання (відмивку)?

Які відомості та експлікації розробляються для робочих архітектурно-будівельних креслень?

Назвіть показники архітектурного проекту.

Як традиційно розміщуються зображення та документи на аркуші формату А0?

Як розміщується рамка, основний напис, назва проекту?

Виконайте на комп'ютері визначення показників проекту; креслення головного та торцевого фасадів, повздовжнього та поперечного розрізів із відповідними відомостями та специфікаціями.

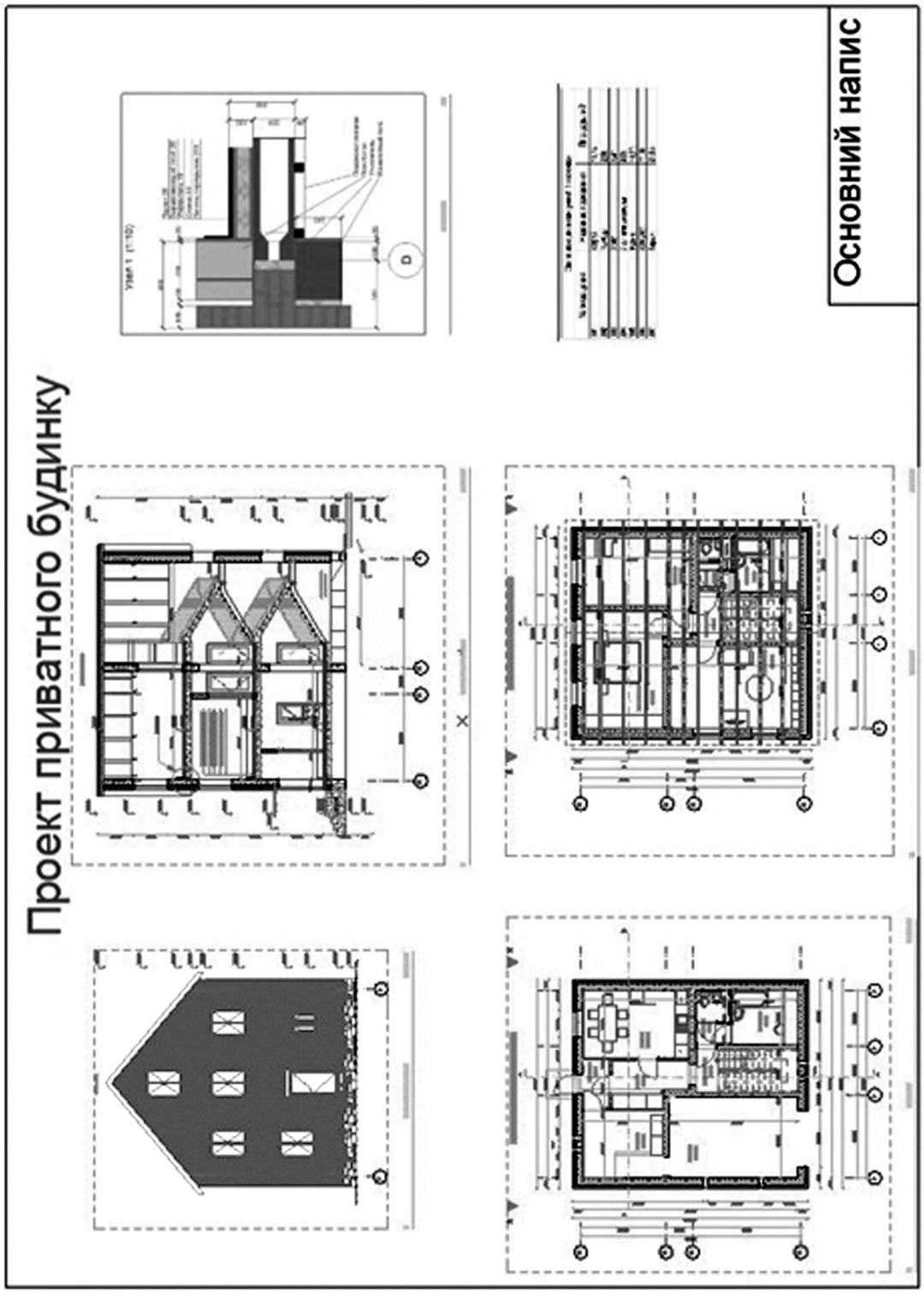


Рис. 21.18. Розміщення документів на аркуші

22. ПРОЕКТУВАННЯ ІНТЕР'ЄРІВ

Проектування інтер'єрів є досить специфічною задачею, яка потребує глибоких знань у галузях естетики, психології, ергономіки, матеріалознавства. Потрібно знати сучасні та класичні стилі і вміти комбінувати окремі їх елементи (fusion), а також створювати власні стилі. У контексті усіх цих вимог комп'ютерні технології мають інструментальний характер; вони покликані полегшити роботу проектувальника та покращити комунікативність, але самі по собі неспроможні підказати нові ідеї.

Для створення інтер'єрів засобами комп'ютерної графіки особливе значення мають дві задачі:

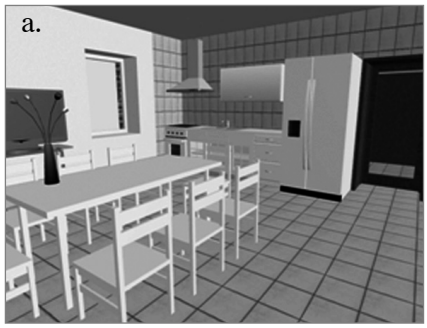
1) Моделювання покриттів поверхонь стін та предметів інтер'єру;
2) Моделювання предметів інтер'єру.

Слід відзначити, що ArchiCAD, хоча й має засоби такого моделювання, досить часто не може забезпечити потрібний ступінь реалістичності, тому поруч із ArchiCADом застосовуються доповнення ArchiTiles, Accessories та Interior Wizard, які дозволяють створювати нові текстури та полегшують оздоблення, а також 3D Studio Max, із різноманітних можливостей якого відзначимо засоби моделювання об'єктів складної форми та розвинені можливості роботи із текстурами.

22.1. Моделювання покриттів

У арсеналі покриттів ArchiCAD має дві групи моделей: *кольори*, представлені у таблиці матеріалів та у палітрі кольорів, та *текстури*, які імітують фактури реальних матеріалів на основі фотографій, представлені у тій же таблиці матеріалів, у бібліотеках, а також можуть створюватися користувачем самостійно, на основі шаблонів (карт), або завантажуватися із сторонніх бібліотек.

Рис. 22.1. Залежність зображення від алгоритму візуалізації:



а. Зображення на екрані;



б. Візуалізація за алгоритмом Internal Engine;

Використання кольорів описане у розділах 19 та 20 і немає потреби зупинятися на цьому ще раз. Кольори рідко забезпечують потрібну реалістичність. Їх перевагою є те, що як при звичайному відображенні у вікні редактора, так і при побудові фотореалістичних зображень вони виглядатимуть майже однаково, незалежно від того, який алгоритм візуалізації використовується.

Натомість вигляд текстур, забезпечуючи більш високу реалістичність, може суттєво відрізнятися при відображенні на екрані і при створенні фотореалістичних зображень, залежачи, крім того, і від використаного алгоритму візуалізації (рис. 22.1).



в. Візуалізація за алгоритмом LightWorks (саме для нього були створені використані текстури)

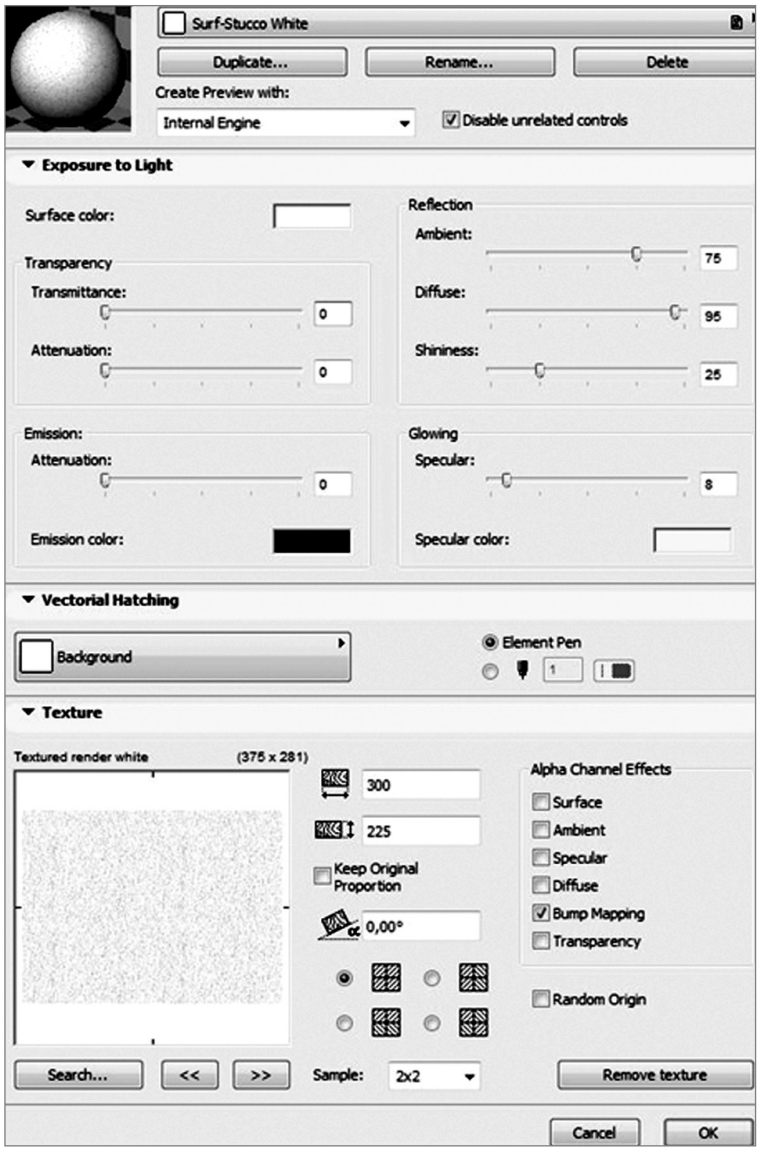


Рис. 22.2. Діалогове вікно параметрів матеріалів для Internal Engine

Це створює певні незручності у роботі: необхідно заранння визначити алгоритм візуалізації і використовувати текстури «під нього», крім того, слід весь час робити візуалізації, щоб вчасно скоригувати вигляд матеріалів.

Таким чином, слід розглянути використання текстур окремо для кожного із алгоритмів візуалізації, яких у ArchiCADi чотири – Internal Engine, Z-Buffer, Light Works, Open GL. Крім того, існує ще можливість імітації рисунка від руки – Sketch. Серед цих алгоритмів Internal Engine та Z-Buffer дають приблизно однакову якість зображення, Open GL орієнтований на професійні відеокарти, що підтримують відповідний інтерфейс, Sketch не використовується при створенні текстур, а Light Works забезпечує найвищу якість зображення. Отже, достатньо показати роботу з текстурами для Internal Engine та Light Works.

Модифікація покриттів для Internal Engine. Для роботи із матеріалами слід зайти до пункту головного меню **Options** – Element Attributes – Materials. Відкриється діалогове вікно (рис. 22.2), у якому слід обрати алгоритм візуалізації Internal Engine із списку Create Preview with:.

Для того, щоб не відображалися параметри, недоступні для цього способу візуалізації, слід поставити галочку біля Disable unrelated controls.

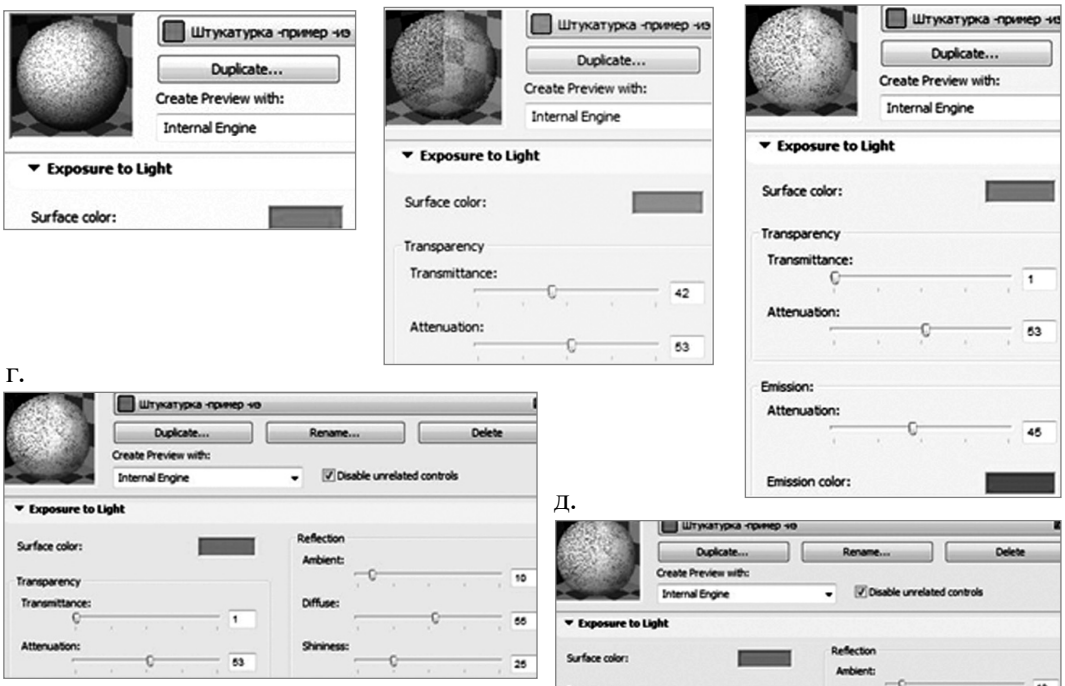
Далі слід обрати із таблиці матеріалів текстуру, що підходить до ролі прообразу для подальшого редагування (для Internal Engine немає можливості створювати нові текстури), *зробити копію* (натиснувши кнопку Duplicate) і назвати власним ім'ям. Подальші дії, щоб не змінювати стандартних текстур, слід проводити саме с копією. Зовнішній вигляд матеріалу буде відображатися у вікні попереднього перегляду.

Для редагування використовуються три закладки.

Exposure to Light дозволяє відредагувати ефекти освітлення. Щоб зміни відбивалися у вікні перегляду, слід помітити галочками Surface, Ambient, Specular, Diffuse, Transparency у закладці Texture.

Можна змінити колір поверхні, узявши додатковий з палітри кольорів, яка відкриється після клацанні на позначенні вихідного матеріалу (рис. 22.3а), відредагувати прозорість, перетягуючи повзунки (рис. 22.3б), додатковий відтінок (рис. 22.3в), а також змінити характеристики відбиття (рис. 22.3г) та блиску (рис. 22.3д).

а. б. в.



г.

д.



Рис. 22.3. Регулювання кольору поверхні, її прозорості та властивостей відбиття

Vectorial Hatching дозволяє змінити штриховку при відображенні матеріалу у розрізах.

У закладці Texture регулюються:

- вихідні текстури (їх можна замінювати на інші);
- розміри і пропорції текстурних блоків (наприклад, можна відредагувати розміри плиток);
- кути та порядок розташування текстурних блоків (якщо їх стикування є невдалим, його можна спробувати покращити за рахунок перетворень;
- ефекти альфа-каналу (окрема інформація про прозорість растрового зображення).

Сформовані покриття автоматично розміщується у алфавітному порядку у таблиці матеріалів. Їх використання нічим не відрізняється від застосування інших матеріалів. Нагадаємо, що при візуалізації слід застосовувати алгоритм Internal Engine.

Модифікація і створення текстур для LightWorks. При виборі алгоритму візуалізації LightWorks із списку Create Preview with: відкривається діалогове вікно, показане на рис. 22.22.

Слід відразу помітити галочкою Show Essential Only – тоді будуть відображатися тільки такі параметри, зміна яких вплине на зображення.

Для LightWorks доступні три способи роботи з текстурами.

По-перше, можна використати у якості основи стандартну чи модифіковану текстуру з числа розташованих у таблиці матеріалів (не забуватимемо продублювати її). У цьому випадку параметром, який буде суттєво впливати на якість зображення, є зміна кольору поверхні через виклик палітри кольорів. У вікні також можуть з'являтися інші доступні для редагування параметри.

По-друге, можна завантажити текстуру із бібліотек ArchiCADy (рис. 22.5) або із зовнішніх бібліотек після натиснення кнопки Load Settings From Archives. У цьому випадку редагування також полягає у зміні доступних параметрів.

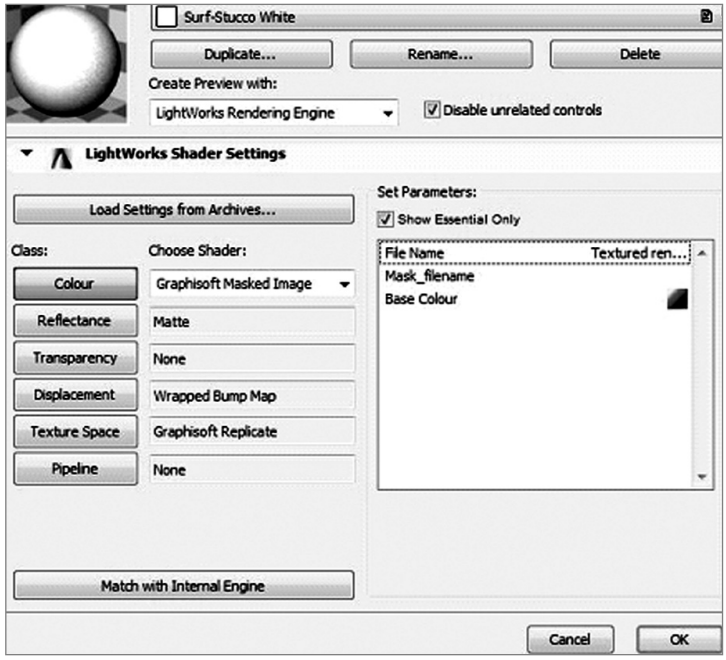


Рис. 22.4. Діалогове вікно параметрів матеріалів для LightWorks

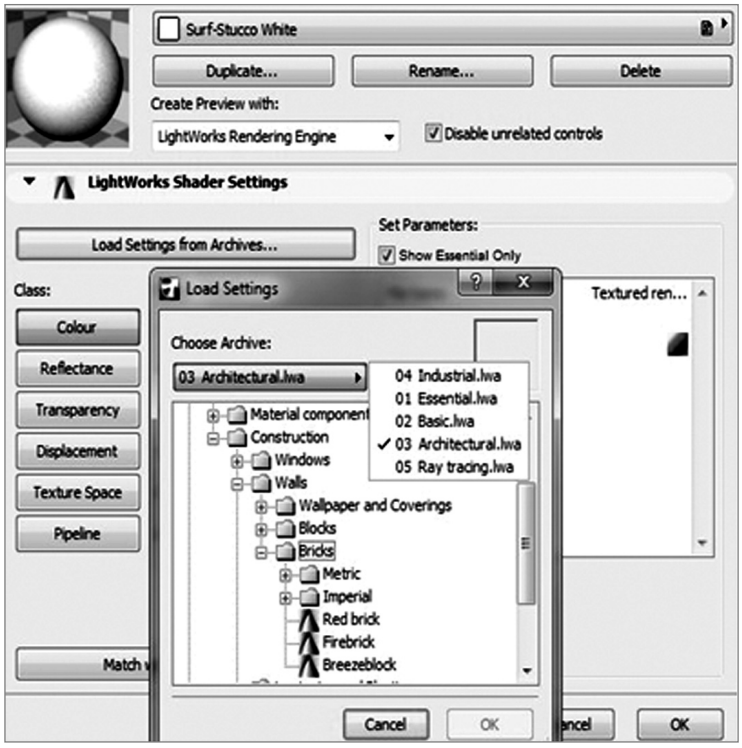


Рис. 22.5. Завантаження текстур із бібліотек ArchiCADy

Всього існує п'ять наборів бібліотек; найбільша кількість будівельних матеріалів зосереджена у бібліотеці Architectura l.lwa. Для використання слід переглянути тематичні каталоги бібліотек і обрати потрібну текстуру (для чого може знадобитися кілька спроб), клацнути по ній, і її зображення з'явиться у вікні попереднього перегляду, так само, як і доступні для редагування параметри.

По-третє, можна створити текстуру самому, використовуючи наявний у ArchiCADi набір шаблонів. Це робиться послідовним підбором шаблонів за принципом «майбутній матеріал схожий на…», що реалізується натискуванням кнопок Colour, Reflectance, Transparency, Displacement, Texture Space, Pipeline та вибором однієї із пропозицій у списках, що відкриваються після натискування кнопок, а також редагуванням доступних для кожної із пропозицій параметрів. Покажемо створення текстури блакитного мармуру (рис. 22.6).

Робимо копію і перейменовуємо текстуру, що відображається у вікні перегляду (що це за текстура – не має значення). Натискуємо кнопку Colour і обираємо шаблон мармуру. Змінюємо кольори на більш контрастні (рис. 22.6.а).

Натискуємо кнопку Reflectance і обираємо Matte (відблиск, як у матової поверхні), потім Transparency – і обираємо непрозорість None. Далі натискуємо кнопку Displacement, обираємо шаблон Blue Marble і збільшуємо імітацію рельєфу, присвоюючи параметру Displacement Altitude значення 0,08.

У Texture Space не змінюємо нічого, а у Pipeline залишаємо None (якщо обрати Displacement, рельєф стане занадто вираженим). Готова текстура зображується у вікні перегляду (рис. 22.6б).

а. б.

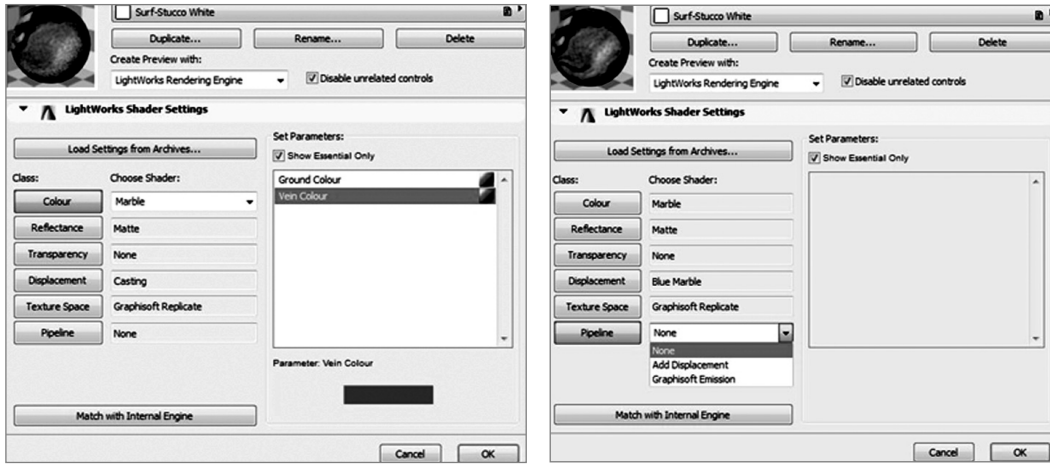


Рис. 22.6. Створення текстури мармуру

У разі, якщо планується все-таки використати алгоритм візуалізації Internal Engine (наприклад, інші текстури розроблені під нього), слід натиснути на кнопку Match with Internal Engine, тоді зображення буде максимальне схожим на цей варіант візуалізації. Сформовані покриття автоматично розміщується у алфавітному порядку у таблиці матеріалів.

22.2. Використання покриттів для оздоблення інтер'єру

Бібліотеки елементів інтер'єру ArchiCADy є досить бідними, що частково компенсується за рахунок можливості у широких межах регулювати їх параметри, роблячи їх зовнішній вигляд індивідуальним та відповідним до стилю оформлення приміщень.

Розглянемо для прикладу регулювання параметрів та використання створених покриттів для шаф – елементів найбільш бідних бібліотек, де представлено тільки два зразки шаф. Використовуємо інструмент ***Object***, знаходимо бібліотеку поличок і шаф та обираємо один із зразків – буфет. Регулюємо параметри розмірів та висотної позначки так, щоб він стояв на підлозі. Зробимо із буфету шафу для одягу і кухонну шафу.

Переходимо до закладки Cupboard Settings (рис. 22.7).

Послідовно натискуючи на кнопки Cabinet, Door, Knob та Cornice, Leg індивідуалізуємо згідно обраного призначення стилі оформлення окремих елементів та обираємо матеріали із числа створених, відповідні стилям оформлення спальної кімнати та кухні. Результати повністю стануть помітними лише після візуалізації за тим алгоритмом, під який було створено матеріали. Як бачимо на рис. 22.8, один і той же зразок вдалося перетворити на два об'єкти, суттєво різні за виглядом.

Самоконтроль. Працюючи на комп'ютері, використати і модифікувати бібліотечні елементи інтер'єрів.

Створити і використати власні матеріали.

Побудувати інтер'єри приміщень. Обґрунтувати у пояснювальній записці рішення для кожного із приміщень.

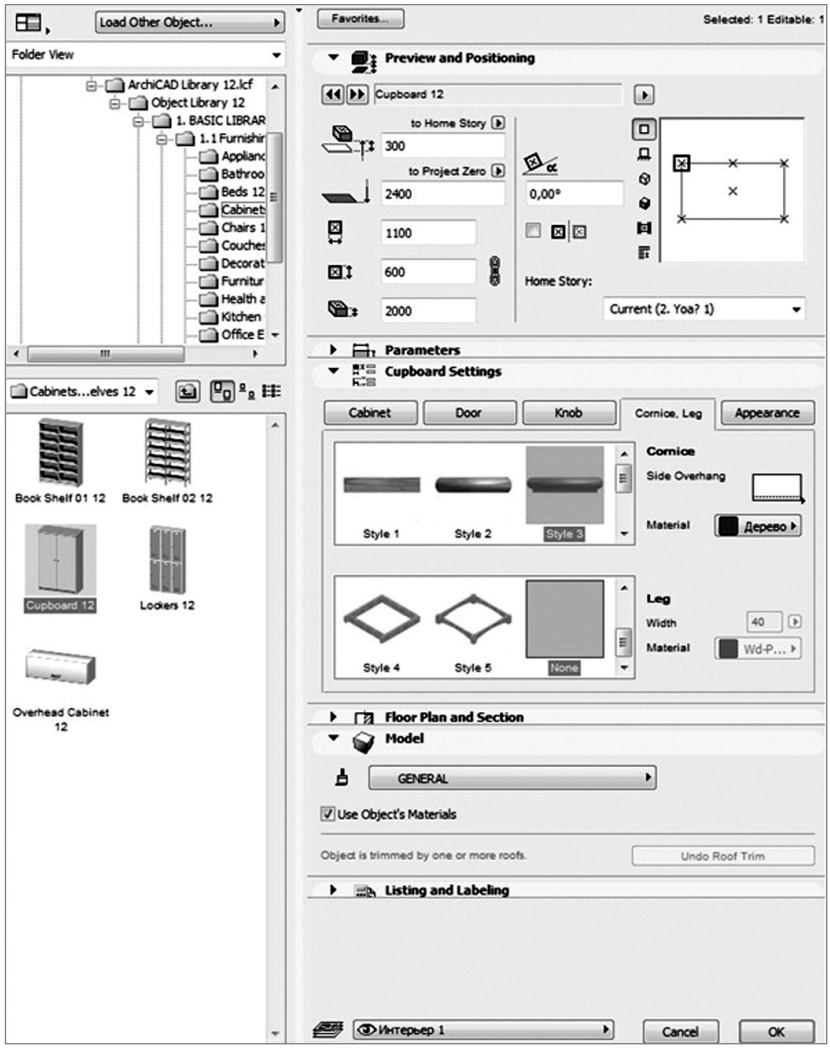


Рис. 22.7. Регулювання текстур матеріалів

а. б.

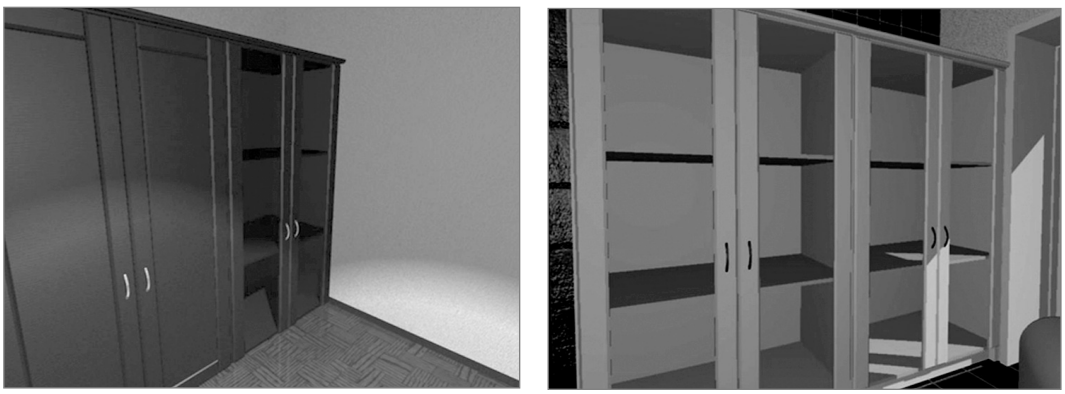


Рис. 22.8. Зміна зовнішнього вигляду зразку: а. Шафа для одягу; б. Кухонна шафа

22.3. Створення текстур плитки (ArchiTiles)



Рис. 22.9. Панель інструментів ArchiTiles

Бідність бібліотечних наборів текстур ArchiCAD особливо відчувається тоді, коли треба використати покриття з плиток – досить популярного матеріалу. У таких випадках доцільно використати доповнення ArchiTiles.

Після установки (розділ 17) і запуску ArchiTiles активізується панель інструментів цього доповнення (рис. 22.9):

- перші чотири інструменти (зверху вниз) призначені для створення плиток різної форми;
- наступні чотири інструменти – виділення контуру приміщення та визначення місць розташування плиток різних типів на різних висотних позначках та фасадах;
- далі ідуть два інструменти редагування зон розміщення плитка (вирізання різних контурів) та повороту плиток;
- останні два інструменти – розміщення плиток по підлозі чи стелі і допомоги.

Робота ArchiTiles починається із створення плиток потрібної форми – квадрату, прямокутника, правильного або довільного багатокутника. Потрібно клацнути по відповідній піктограмі і у діалоговому вікні (рис. 22.10) обрати розміри плитки та текстуру її поверхні, а потім зберегти результат. Можливе також завдання вартості плитки для подальших розрахунків. Далі, використавши інструмент Zone і виділивши відповідний контур, клацаємо по піктограмі Interior Elevation Settings і відкриваємо діалогове вікно, показане на рис. 22.11.

Клацаючи по піктограмі Tile Pattern, виділяємо кожну з цих зон та розміщуємо у ній плитку певного виду.

Наступним кроком є модифікація зон розміщення – вирізання з них певних контурів, якщо у цьому є потреба. Ця операція виконується після клацання по піктограмі Cut Tiles.

Розміщені плитки можна повертати під різними кутами. Для цього слід виділити ці плитки, клацнути по піктограмі Rotate Tiles і визначити параметри повороту.

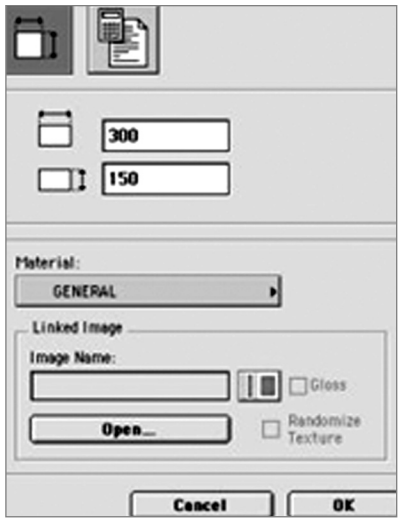


Рис. 22.10. Визначення параметрів плиток

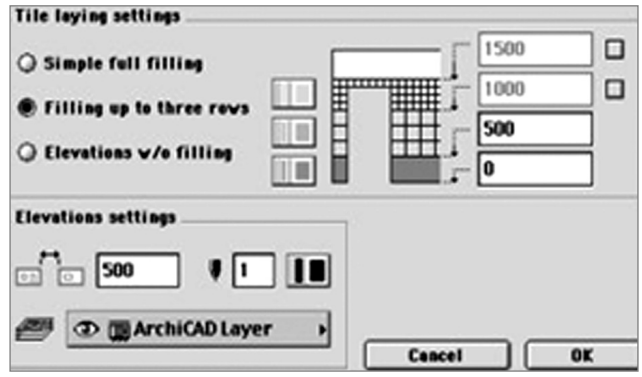


Рис. 22.11. Визначення позначок зон розміщення плиток на стінах

У разі необхідності розмістити плитки по стелі або підлозі, слід виділити за допомогою інструменту ***Zone*** контур приміщення і клацнути по піктограмі Tile Floor or Ceiling, відредагувати контур (вирізати з нього зони, у яких плитки не буде), розмістити плитку і клацнути по піктограмі Create Floor or Ceiling, щоб стеля чи підлога стала на своє місце.

22.4. Автоматизація розміщення покриттів (Accessories та Interior Wizard)

Використання створених покриттів у ArchiCADi може здійснюватися автоматизовано за допомогою доповнень Accessories та Interior Wizard.

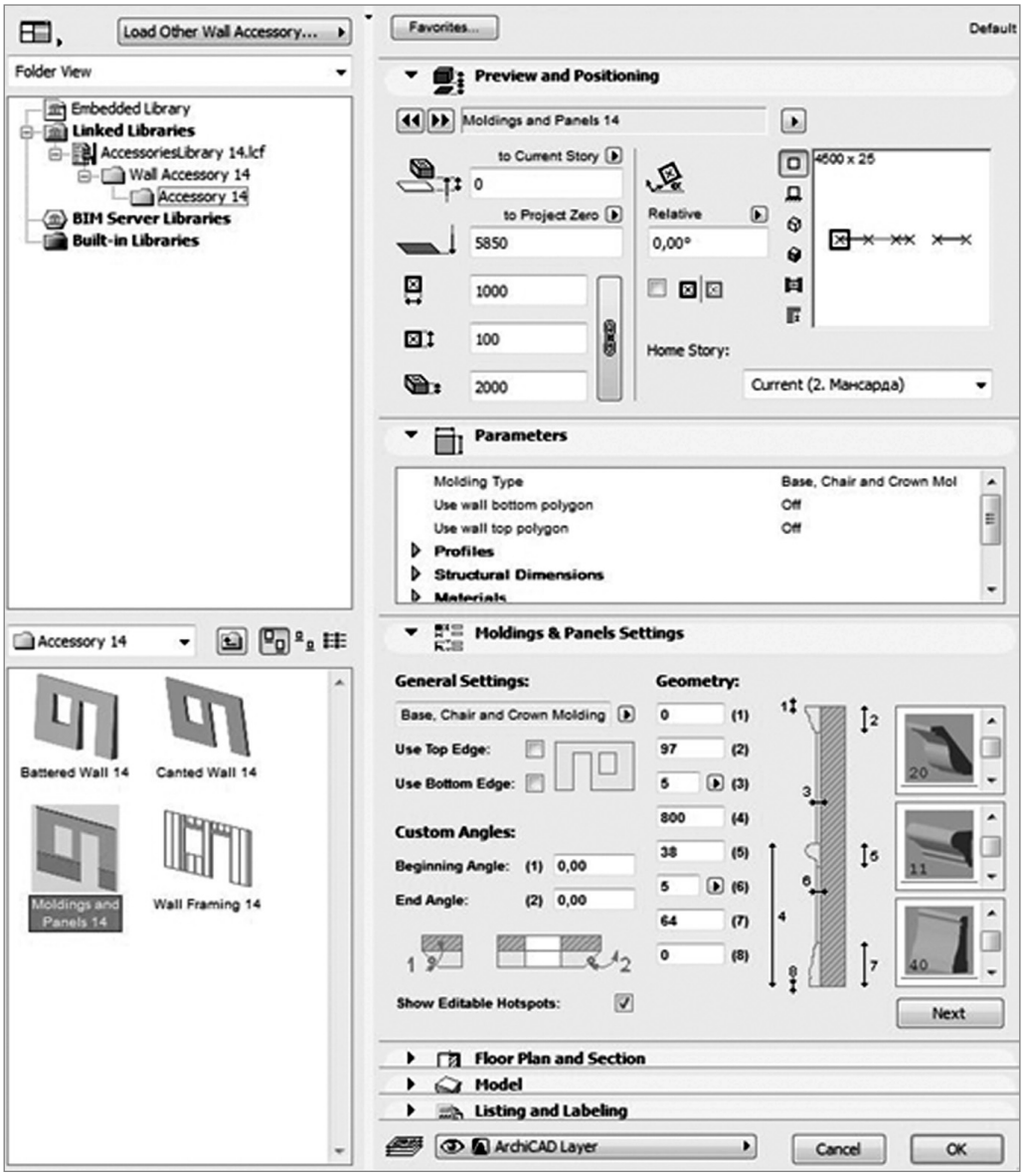


Рис. 22.12. Діалогове вікно розмірів і профілів оздоблення стін Accessories

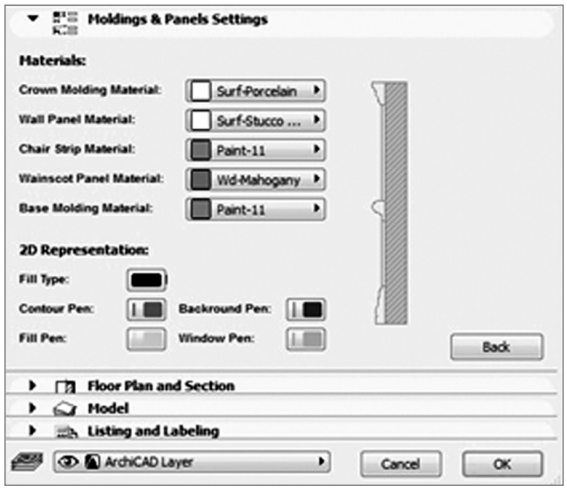


Рис. 22.13. Діалогове вікно матеріалів оздоблення стін Accessories

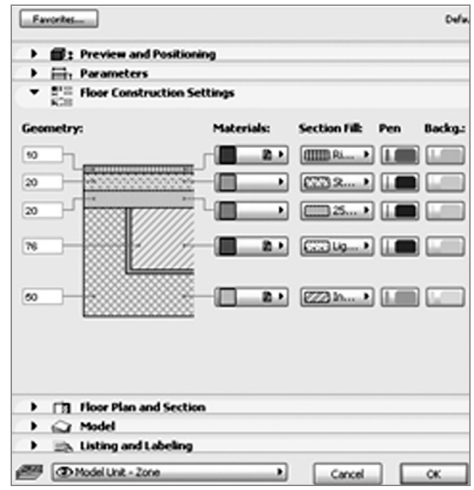


Рис. 22.14. Діалогове вікно параметрів оздоблення підлоги Accessories

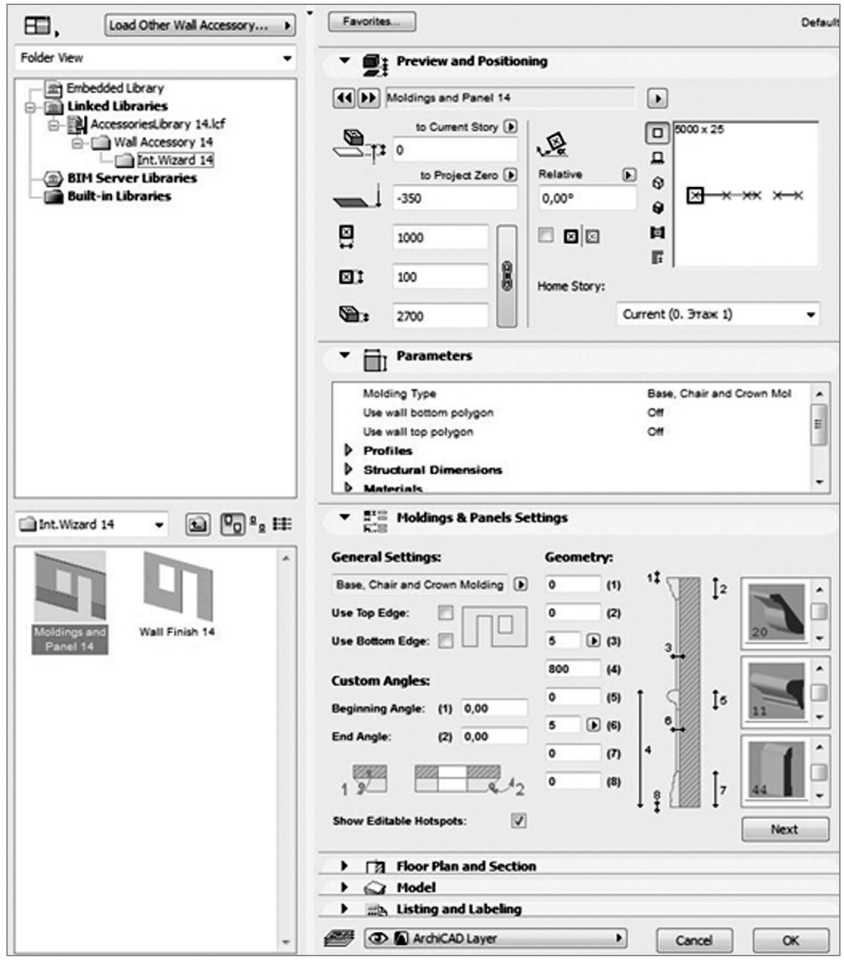


Рис. 22.15. Визначення параметрів оздоблення стін Interior Wizard

Після установки програм (розділ 19), Accessories можна активізувати через пункт головного меню ***Design*** – Design Extras. З'явиться діалогове вікно, буде запропоновано обрати подальші дії – уточнення шаблонів для стін, підлог та стель, крівель (рис. 22.12). Слід завантажити, натискуючи кнопку Load Other Accessory і переходячи до менеджера бібліотек, Accessories Library, обрати один із шаблонів у вікні з ескізами і визначити спочатку геометричні розміри і профілі, а після натиснення кнопки Next – матеріали (рис. 22.13).

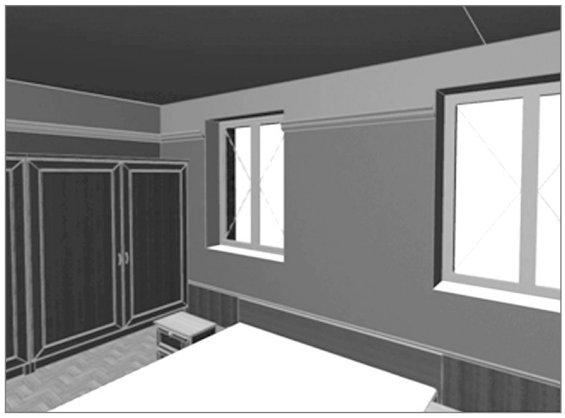


Рис. 22.16. Результат застосування Interior Wizard для оздоблення стін кімнати

Після визначення усіх параметрів, шаблон можна застосувати до виділеного конкретного елементу, або просто намалювати лінію, по якій він відобразиться.

Аналогічно визначаються шаблони для підлог (рис. 22.14) або крівель.

Якщо ж потрібно виконати оздоблення усіх стін кімнати, можна запустити, попередньо створивши принаймні один шаблон за допомогою програми Accessories, та виділивши приміщення за допомогою інструменту ***Zone***, Interior Wizard. Цю програму можна активізувати через пункт головного меню ***Design*** – Design Extras – Interior Wizard – Create Room Accessories. У діалоговому вікні, після клацання по кнопці Wall Accessory (можливі також варіанти вибору оздоблення стелі чи підлоги) з'явиться нове вікно, показане на рис. 22.15, де слід завантажити шаблон, створений у Accessories, а потім, за бажанням, змінити доступні параметри. У результаті буде побудовано покриття стін із автоматичним вирізами на місцях віконних та дверних пройм (рис. 22.16).

Аналогічно оздоблюються верхня поверхня підлоги та нижня поверхня стелі.

22.5. Моделювання предметів інтер'єру (3D Studio Max)

Графічний редактор 3D Studio Max використовується для моделювання складних геометричних форм, створення реалістичних текстур і освітлення, виробництва анімаційних роликів, розробки спецефектів, високоякісної візуалізації (для чого часто підключаються і сторонні програми візуалізації, зокрема,V-Ray). Він використовується у багатьох галузях дизайну, від індустрії комп'ютерних ігор і кінофільмів, до проектування інтер'єру та екстер'єру будинків у архітектурі.

На сьогодні, останньою версією редактора є 3D Studio Max 2012, яка випускається у 32- та 64- розрядних варіаціях, має два різновиди за наборами інструментів та матеріалів (3D Studio Max та 3D Studio Max Design), а також мовні локалізації, у тому числі російську.

Комп'ютери, які задовольняють системним вимогам, переліченим у розділі 14, є цілком комфортними і для роботи із 3D Studio Max.

Інтерфейс та інструменти 3D Studio Max нагадують інтерфейс та інструменти AutoCADy та ArchiCADy (рис. 22.17).

У верхньому рядку розташовано найбільш поширені команди роботи з файлами і кнопку доступу до решти команд такого типу.

У другому рядку зібрані пункти головного меню: редагування, інструменти, робота з групами об'єктів, регулювання вигляду об'єктів, створення нових об'єктів, модифікації об'єктів (підтримуються усі перелічені у розділі 1 способи зміни геометрії), анімація, редагування кривих, візуалізація, створення схем освітлення, настроювання робочого середовища і параметрів проекту, робота із скрипковими сценаріями, довідкова система.

У третьому рядку розташовані піктограми команд, зібраних у кілька груп:

- Зв'язок, роз'єднання, робота з деформаціями;
- фільтр зображень та виділення об'єктів;
- переміщення, обертання, розтягування;
- координатна система та прив'язка по вузлам сітки, кутам тощо;
- дзеркальне відбиття, вирівнювання, управління шарами;
- нові інструменти моделювання Graphite Modeling Tools, що з'явилися починаючи із версії 2010 (активізований на рис. 22.17);

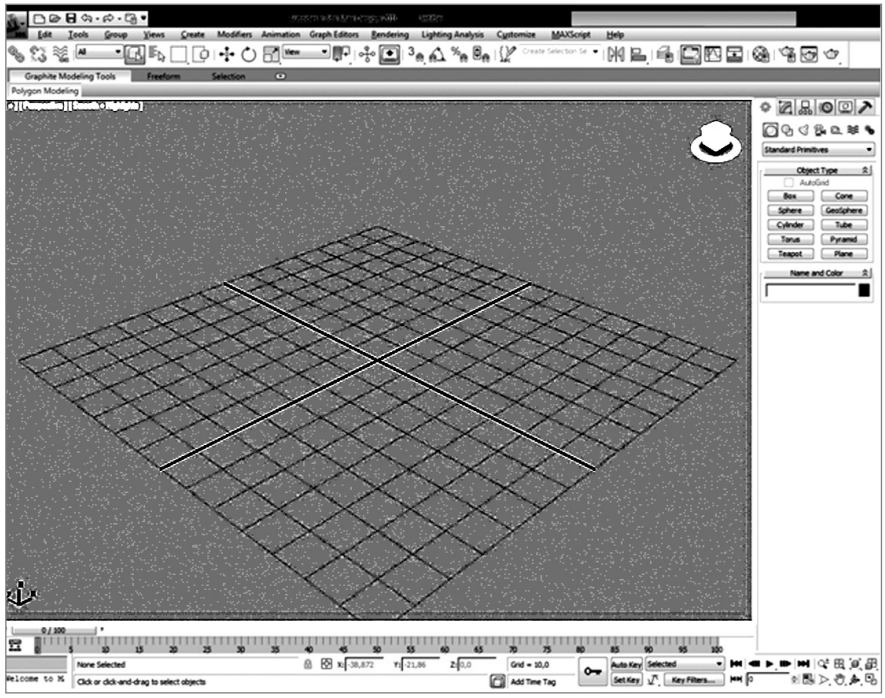


Рис. 22.17. Інтерфейс 3D Studio Max

- редактор кривих;
- представлення складних об'єктів у вигляді ієрархічних структур;
- редактор матеріалів;
- настроювання і виконання візуалізації.

Нижче розташовується вікно перспективного зображення, а справа від нього – панель інструментів та засоби доступу до регулювань та утиліт, що дублюють інструменти головного меню, яка складається із кількох закладок.

Охарактеризуємо дві найважливіші з них. До закладки Create входять наступні інструменти:

Geometry – засоби роботи із тривимірними примітивами (на рис. 22.18 показані доступні списки примітивів) – визначення їх розмірів, розташування, кольору тощо у залежності від конкретного типу примітива;

Shapes – засоби роботи з прямими та кривими лініями, а також текстами (рис. 22.19).

Із ліній можна створювати, використовуючи модифікатори, складні геометричні форми.

Lights – вибір і визначення параметрів фотореалістичних (фізичних) та абстрактних моделей джерел освітлення (рис. 22.20). Абстрактні моделі містять радіальні, циліндричні та конічні пучки променів, напрям яких може бути фіксованим або нефіксованим, модель сіяння неба, дві моделі, прив'язані до алгоритму візуалізації mental ray;

Cameras – вибір точки зору та її прив'язки до об'єктів, що спостерігаються;

Helpers – допоміжні засоби;

Space Warps – деформації простору (рис. 22.21) – зміщення, хвилі, конформні перетворення тощо;

Systems – робота із системами об'єктів.

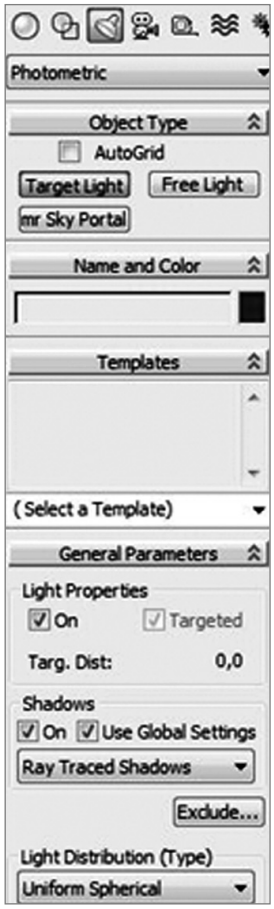


Рис. 22.18. Доступні списки примітивів

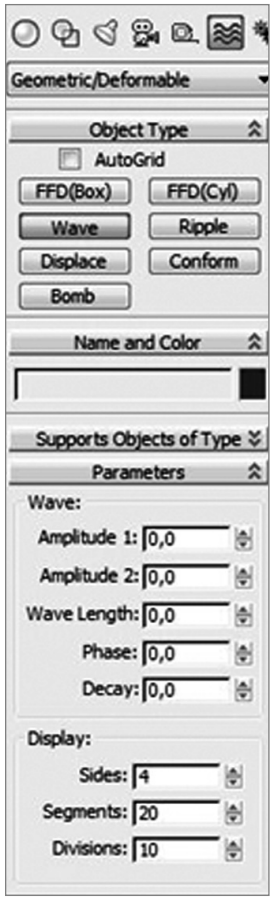


Рис. 22.19. Доступні типи відсіків

Структура діалогових вікон інструментів зрозуміла із рис. 22.20 та 22.21: із списку примітивів обирається потрібний об'єкт, а його редагування ведеться за допомогою зміни параметрів, згрупованих у окремих закладках. Склад та групування параметрів різні для різних об'єктів. Звернемо увагу на можливість *(і доцільність)* визначення оригінального імені об'єкту та кольору замість використання тих, що генеруються програмою, через параметр Name and Color (рис. 22.22).



Рис. 22.20. Вибір та редагування джерела світла



Рис. 22.21. Об'ємні деформації простору

Якщо можливостей базової палітри недостатньо, слід, натиснувши кнопку Add Custom Colors перейти до додаткової палітри, у якій, для зручності користувача, підтримуються три типи представлення кольору:

- RGB – комбінацією червоного, зеленого та блакитного кольорів;
- HSV – комбінацією відтінку, насиченості та яскравості;
- HBW – комбінацією відтінку, вмісту чорного та білого кольорів.

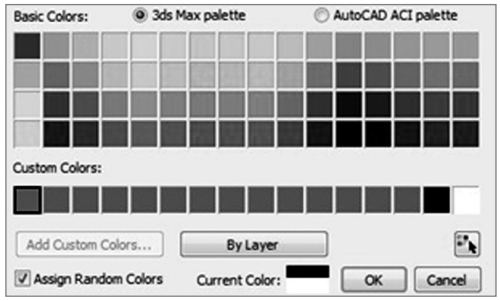




Рис. 22.22. Базова і додаткова палітри

До наступної закладки Modify входять згруповані за певними ознаками перетворення (рис. 22.23), які доступні для конкретних примітивів (а також точок, ліній та багатокутників, що складають їх моделі), за допомогою яких можна суттєво змінювати зовнішній вигляд об'єкту (рис. 22.24). Можна використовувати відразу кілька модифікаторів та управляти як їх списком, так і окремими параметрами. У порівнянні з ArchiCADом, де така можливість не підтримується, можливості проектувальника значно зростають.



Рис. 22.23. Список модифікаторів

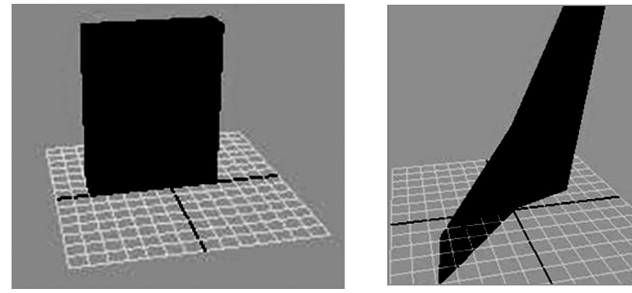


Рис. 22.24. Застосування модифікаторів

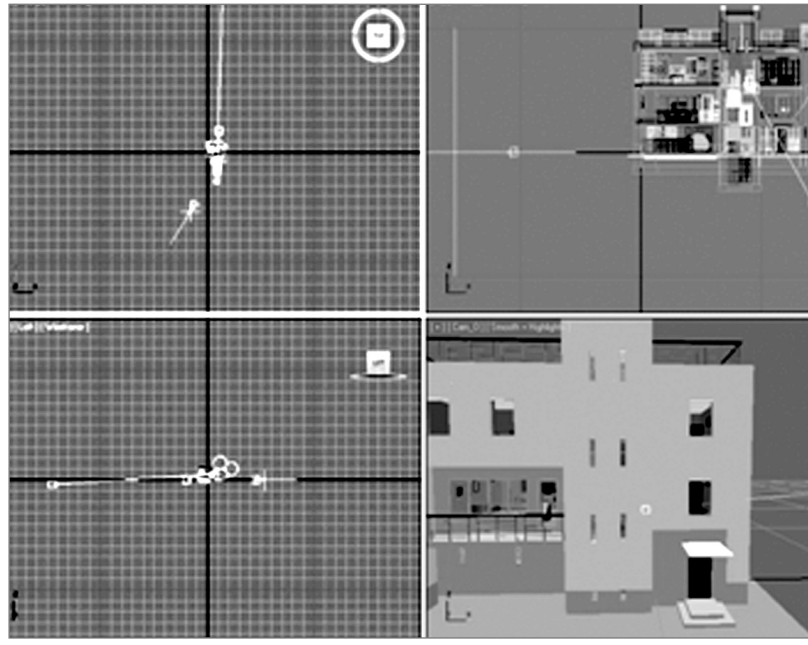


Рис. 22.25. Чотирьохвіконний режим зображення

Нижче вікна перспективного зображення згруповано засоби створення найпростішої анімації – достатньо перейти у режим створення анімації, натиснувши Auto Key, установити кількість кадрів, переміщувати і деформувати об'єкти, запам'ятовуючи кожну сцену, а потім програти ролик, використовуючи кнопки управління програвачем.

Справа від кнопок програвача розташовані піктограми управління зображенням у вікнах. У режимі виду з камери вони замінюються на інструменти управління камерою. Є можливість перейти до чотирьохвіконного режиму, коли разом із вікном перспективи відображаються види зверху, зліва і спереду, у яких, на відміну від перспективи, зображення за умовчанням будується у вигляді каркасів (рис. 22.25). Можна перемикатися між вікнами і розгортати їх на весь екран.

Розробка проектів інтер'єру у сучасних умовах найчастіше ведеться у груповому режимі. Проектувальник, який працює з 3D Studio Max, має достатньо засобів для реалізації потрібних операцій створення моделей і вибору матеріалів.

Обмін даними із програмою ArchiCAD є дещо ускладненим через те, що формати зберігання даних різні – проте він можливий у двох варіантах:

- використання геометричної моделі будинку у якості основи для подальшої роботи у 3D Studio Max;
- використання моделей елементів інтер'єру, зроблених у 3D Studio Max, для розстановки у приміщеннях, що проектується у графічному середовищі ArchiCAD.

Розглянемо перший варіант.

Спочатку, залишаючись у середовищі ArchiCADy, *слід перейти до вікна аксонометричного або перспективного зображень.* Далі у списку команд пункту головного меню File обрати команду Save as, а серед форматів зберігання, що пропонуються, обрати .3ds, назвати об'єкт і вказати місце зберігання. У процесі конвертації з'явиться діалогове вікно, показане на рис. 22.26.

Слід обрати один із варіантів конвертації та вказати відповідність одиниць виміру у обох програмах, наприклад 1мм – 1 мм, після чого підтвердити вибір, дочекатися закінчення процесу і вийти з програми.

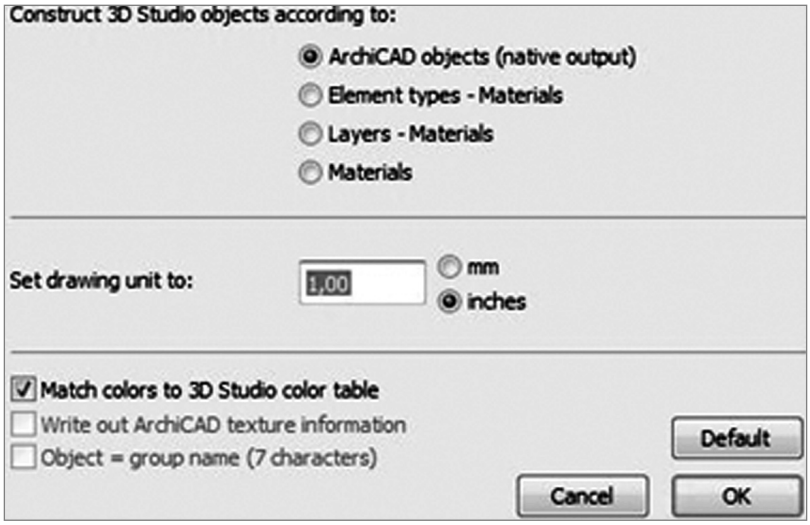


Рис. 22.26. Конвертація проекту з ArchiCADy у 3D Studio Max



Рис. 22.27. Установка одиниць виміру у 3D Studio Max

Запустивши 3D Studio Max, і установивши одиниці виміру (рис. 22.27) слід знайти збережений проект, *указуючи як критерій пошуку* All Files.

Після відкриття проекту, у вікнах 3D Studio Max з'являться його ортогональні та перспективні зображення, разом із камерою і сонцем, які можна видалити. Змінюючи масштаб та переміщуючись по вікну, а також перемикаючись між вікнами, розташовуємо зручний для нас вид зображення (рис. 22.28).

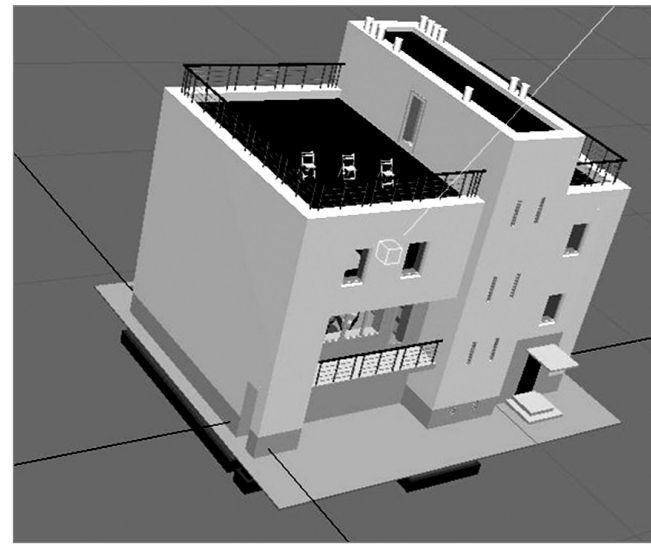




Рис. 22.28. Вигляд об'єкту після його конвертації у 3D Studio Max у вікнах перспективного зображення та виду спереду. Справа показано інструменти модифікації обраного об'єкту

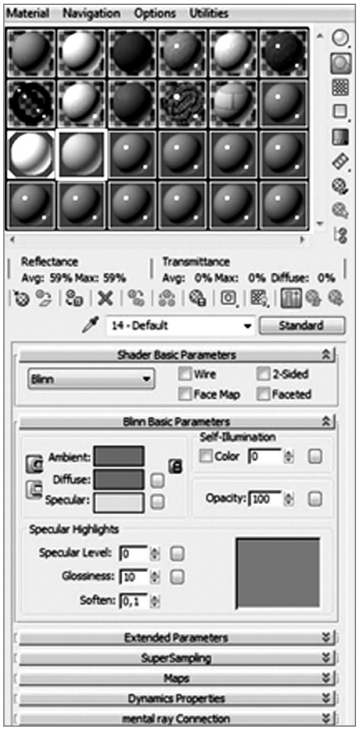


Рис. 22.29. Вікно редактору матеріалів

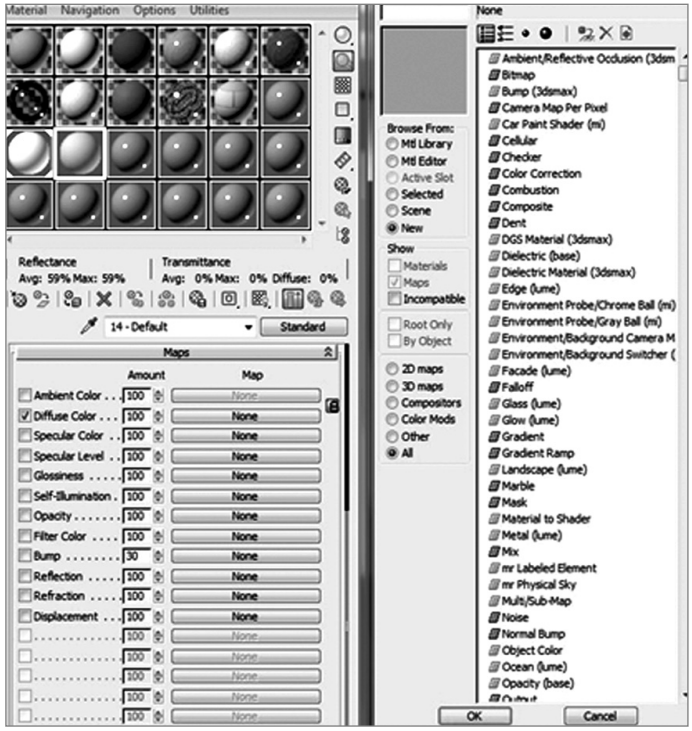


Рис. 22.30. Вибір матеріалу та редагування його властивостей

Як бачимо, текстури ArchiCADy не збереглися, що несуттєво, оскільки у 3D Studio Max є набагато повніші бібліотеки матеріалів, і саме задля їх використання і проводиться така конвертація. Покажемо, як змінити матеріал, наприклад, козирка.

Виділяємо козирок. Заходимо до редактору матеріалів, клацаючи по відповідній піктограмі. Потрапляємо до діалогового вікна, показаного на рис. 22.29, де обираємо набір матеріалів Standard і клацаємо по закладці Maps, після чого потрапляємо до вікон вибору матеріалу (карти) та зміни його параметрів (рис. 22.30).

У закладці Maps можна визначити карти (це можуть бути матеріали, кольори, імітація ефектів, заготовки для створення власних матеріалів) для кожної із характеристик поверхні об'єкту – освітленої і затіненої поверхонь, глянцевості, прозорості, внутрішнього світіння, рельєфності тощо, якщо поставити галочку поруч з нею та указати у відсотках, наскільки сильним буде вплив відповідної карти. Для простоти визначимо лише колір освітленої поверхні і оберемо бібліотеку

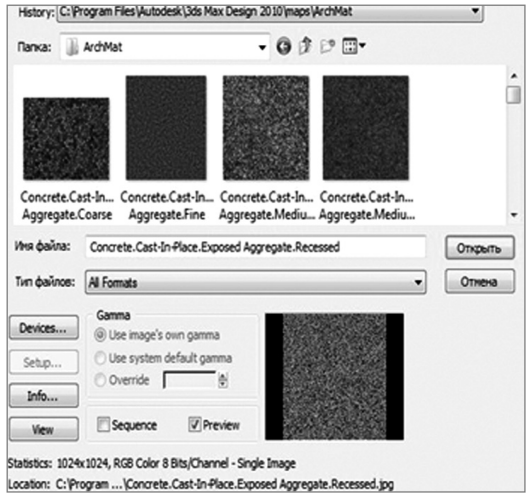


Рис. 22.31. Вибір готової текстури

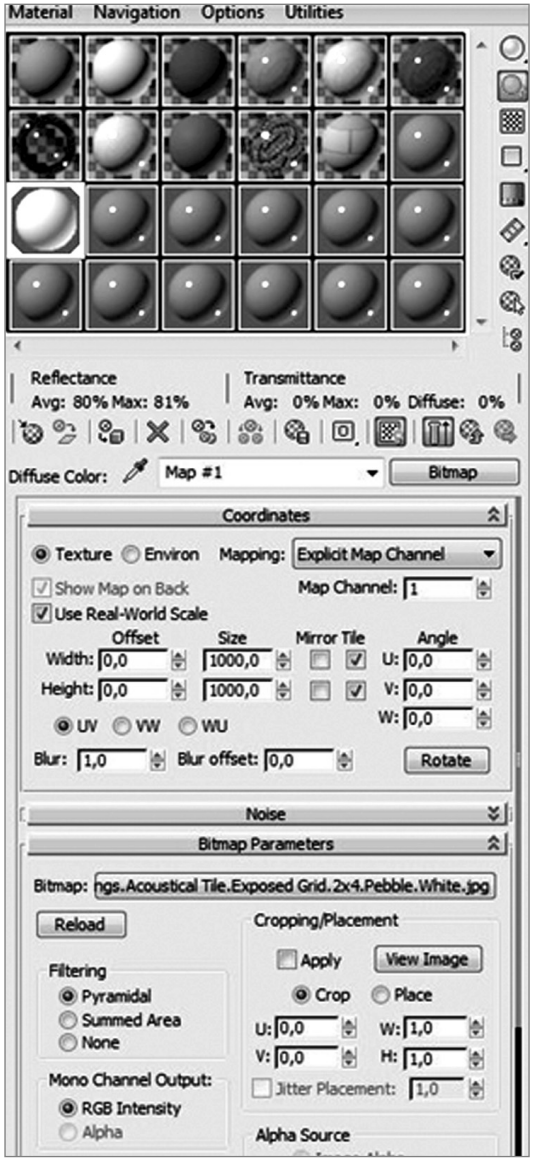


Рис. 22.32. Присвоєння об'єкту матеріалу та відображення матеріалу на екрані

карт Bitmap, як найбільшу бібліотеку готових текстур. Після підтвердження вибору відкривається діалогове вікно (рис. 22.31), де треба указати шлях до бібліотеки (показаний на рисунку), та обрати конкретний матеріал із однієї з її папок, наприклад, ArchMat. Для зручності перегляду текстур слід обрати їх представлення у вигляді великих значків, клацнувши на піктограмі списку.

Після цього у вікні редактору матеріалів відобразиться шаблон із зображенням матеріалу, а також посилання на обрану карту (рис. 22.32).

Слід зробити так, щоб матеріал був прив'язаний до об'єкту і відображався на екрані. Для цього клацаємо по піктограмам Assign Material to Selection та Show Standard Map in Viewport (як і у ArchiCADi, назви піктограм відображаються при наведенні на них курсору). Ще одна аналогія з ArchiCADом – у залежності від способу рендерингу, зображення на екрані може суттєво відрізнятися від результату візуалізації. Тому слід зробити візуалізацію (клацнувши по піктограмі Render Production) у рядку команд та перевірити кілька варіантів зміни матеріалу (рис. 22.33).

Тепер розглянемо другий варіант – створення моделей у 3D Studio Max та їх конвертація у формат ArchiCAD, узявши для прикладу моделювання пуфику у класичному стилі.

Візьмемо такі розміри: висота, глибина і ширина сидіння 470 мм. Матеріал каркасу – дерево, оббивка з тканини блакитного кольору з тисненням.

Моделювання меблів складної форми може бути здійснено багатьма способами, найбільш поширеним із яких є полігональне моделювання. Однак у даному випадку зручніше використовувати сплайнові форми і деякі модифікатори.

Першим кроком є *установлення зручних одиниць виміру* для нової сцени – сантиметрів.

Моделювання ніжок. Створюємо шаблон для моделювання ніжок пуфику – це полегшить визначення їх форми і розмірів та зробить більш наочним застосування модифікатору Loft. Обираємо вид зверху і розгортаємо його вікно на весь екран. Установлюємо список Splines. Клацаємо по піктограмі Shapes і примітиву Rectangle, малюємо прямокутник і вказуємо його розміри, задаючи параметри Wight= 40 см (довжина ніжки), Length=20 см.

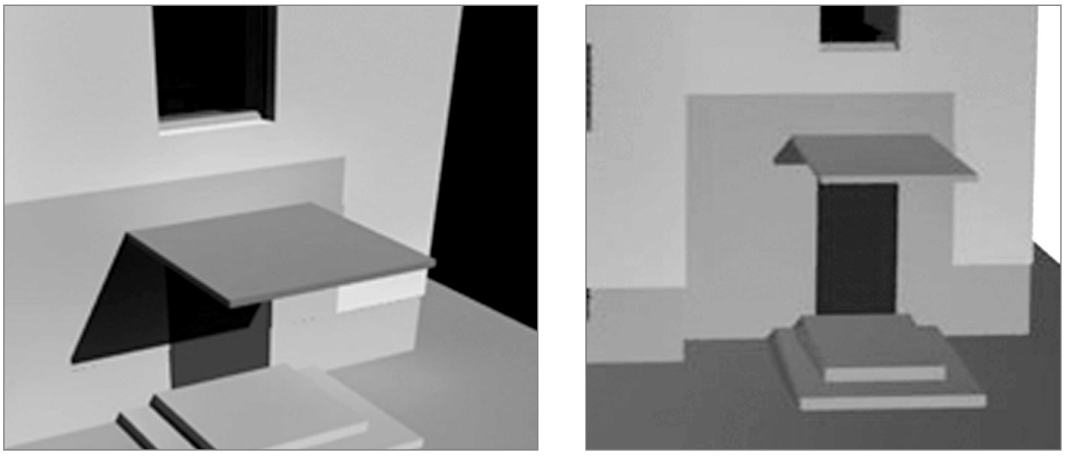


Рис. 22.33. Варіанти зміни матеріалу козирка

Далі обираємо примітив Line та, зберігаючи всі умовчання, малюємо одну із проекцій ножки пуфику. Це буде ламана лінія. Для того, щоб перетворити її у гладку, клацаємо правою кнопкою миші і у контекстному меню, що з'явиться, обираємо пункт Convert to, а потім – Convert to Editable Spline (рис. 22.34). Далі клацаємо по піктограмі Vertex, що з'явиться у панелі модифікаторів після конвертації (рис. 22.35). Тепер на контурі ножки виділяться вузлові точки. Клацаємо на кожній з них і за потребою змінюємо тип вузла Corner на Smooth або Besier у контекстному меню (рис. 22.36), а також коригуємо розташування вузлів.

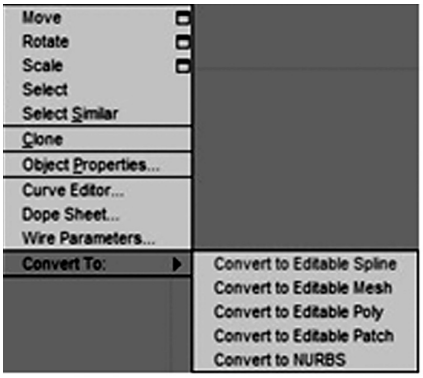


Рис. 22.34. Конвертація лінії у сплайн

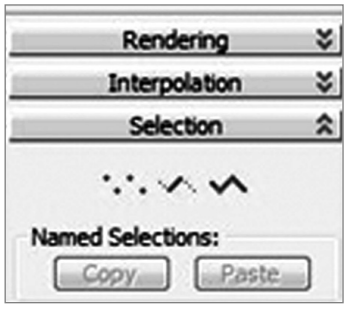


Рис. 22.35. Вибір редагування вузлів



Рис. 22.36. Змінна типу вузла

Малюємо другу проекцію ніжки і робимо ті ж операції редагування.

Малюємо пряму лінію по довжині шаблону – це буде основа застосування модифікатору Loft.

Справа від шаблону малюємо ще один чотирикутник, розмірами 3*4 см, вказуючи у параметрах також радіус округлення кутів – 0,5 см. У результаті отримаємо первинний переріз ніжки, що також буде використаний із модифікатором Loft. Результат підготовки показано на рис. 22.37.

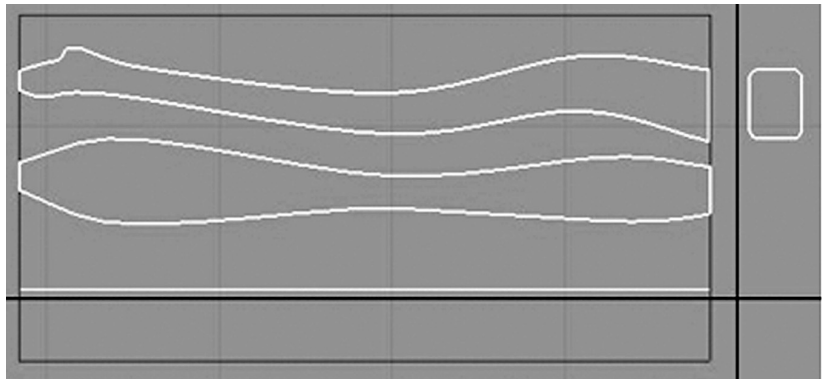


Рис. 22.37. Основа для створення ніжки



Рис. 22.38.
Діалогове вікно
модифікатора Loft



Рис. 22.39.
Діалогове вікно
Modify –
Deformations

Для застосування модифікатора виділяємо пряму і клацаємо по закладкам Create – Geometry, де знаходимо список Compound Objects. У ньому знаходимо модифікатор Loft. Після клацання з'явиться діалогове вікно (рис. 22.38). Клацаємо на кнопці Get Shape, потім виділяємо первинний переріз ніжки. У результаті автоматично будується ніжка у вигляді циліндричної поверхні, довжиною 40 см і з перерізом у вигляді чотирикутника 3*4 см із округленими краями. Клацаємо по закладкам Modify – Deformations – Fit (рис. 22.39). У діалоговому вікні віджимаємо кнопку Make Symmetrical, натискуємо кнопку Get Shape та Display X Axis і вказуємо на одну із проекцій. Ніжка буде підігнана під цей шаблон. При цьому є можливість покращити результат, переміщуючи вузлові точки (рис.22.40). Потім натиснемо кнопки Get Shape, Display Y Axis та укажемо на другу проекцію. Ніжка буде підігнана по обом проекціям (рис. 22.41). Слід зазначити, що інколи покращити результат можна, змінюючи порядок з'єднання проекцій з осями. Для цього слід зробити кілька відмін попередніх операцій, поміняти зв'язок і подивитися на результат, у разі потреби відмінивши невдалі зміни. Використання модифікатору Vertex Wield із параметром Threshold=0,25 допоможе зробити форму ніжки більш гладкою.

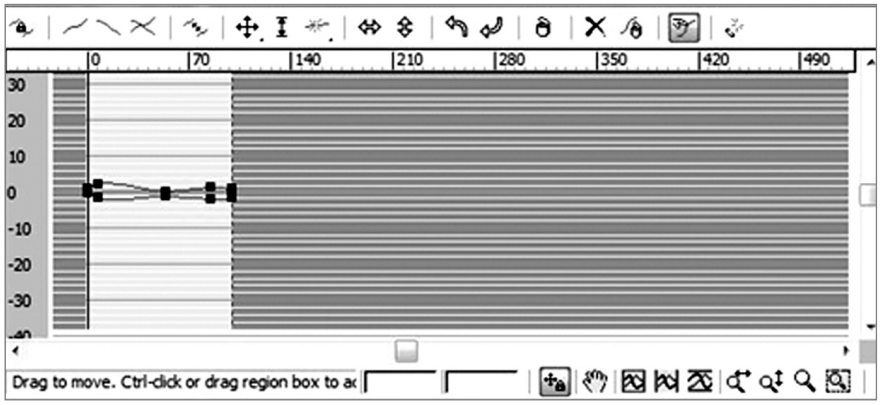


Рис. 22.40. Діалогове вікно Fit

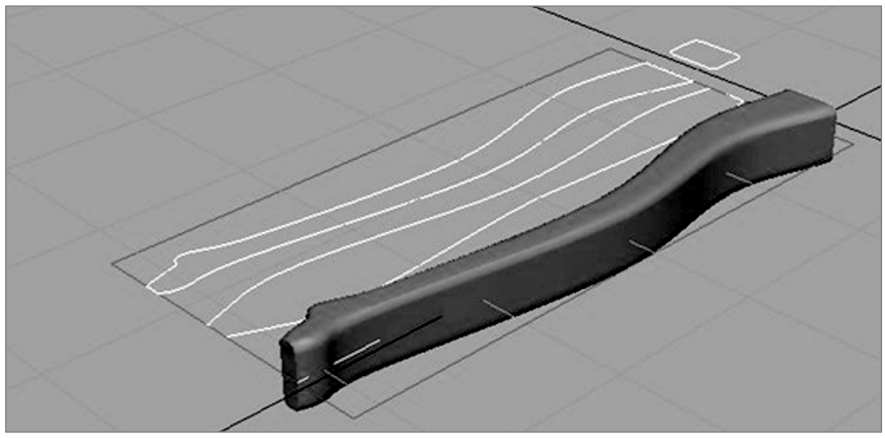


Рис. 22.41. Кінцевий результат моделювання форми ніжки пуфа

Моделювання обейчатки (опори сидіння). У вікні виду зверху формуємо новий шаблон – прямокутник з розмірами 47*47 см і відредагуємо його як сплайн з метою досягнення форми, показаної на рис. 22.42. Для цього зрізуємо фаску 4 см для нижніх кутів і перетворюємо верхні кути з типу Corner на Smooth. Скопіюємо отриману криву. Далі, знаходимо модифікатор Edit Spline, у діалоговому вікні виставляємо режим редагування кривої в цілому, натискуючи на піктограму Spline. За допомогою команди Outline закладки Geometry проводимо еквідистанту на відстані 5 см всередину від базової кривої та склеюємо її з базовою за допомогою команди Attach (рис. 22.43).

Збільшуємо довжини скосів нижніх кутів до величин, приблизно рівних значенням для базової лінії. Знаходимо модифікатор Extrude і видавлюємо форму на 4 см, установлюючи відповідне значення параметру Amount.

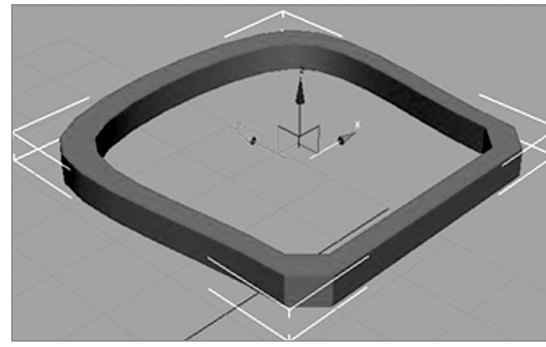


Рис. 22.42. Попередня форма обейчатки

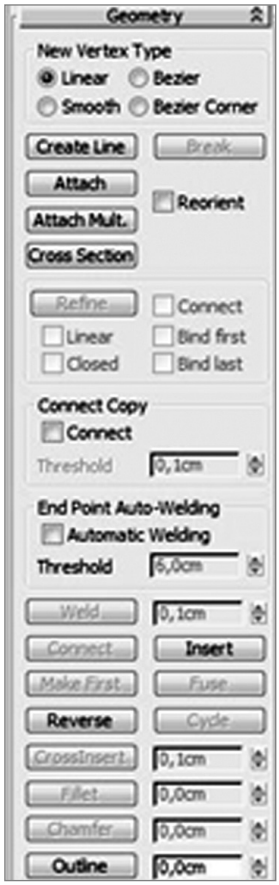


Рис. 22.43. Команди проведення еквідистанти та об'єднання з базовою лінією



Рис. 22.44. Установлення параметрів видавлювання

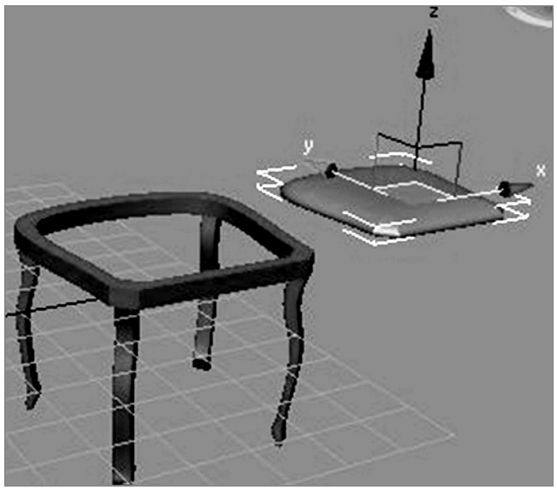


Рис. 22.45. Форма сидіння

Моделювання сидіння здійснимо дуже просто: скопійовану базову криву для обейчатки використаємо у якості основи для модифікатора Bevel, який дає можливість видавлювати контур, управляючи при цьому нахилом всередину чи назовні. Установимо значення параметрів, показані на рис. 22.44: для округлення Curved Sides візьмемо 8 сегментів, щоб воно виглядало більш природнім, а також установимо три рівня різних нахилів Level 1 – вертикальний, його висота Height=1см, а параметр нахилу Outline=0, а для інших рівнів – нахил усередину. Результат показано на рис. 22.45.

Об'єднання всіх елементів здійснюється за допомогою булевих операцій. Спочатку копіюємо ніжки пуфика. Виділяємо ніжку, клацаємо правою кнопкою, у контекстному меню обираємо Clone та обираємо варіант клонування Copy (у різних варіантах будуть зберігатися різні зв'язки між образом та його копіями), після чого перетягуємо копію на потрібне місце. Розмістивши всі ніжки по кутам обейчатки, клацаємо на закладкам Create – Geometry, обираємо у списку примітивів Compound Objects, клацаємо по кнопці Boolean і обираємо операцію об'єднання Union. Далі слід вказати, з яким об'єктом слід об'єднати вихідний, натиснувши кнопку Pick Operand B і виділивши потрібний об'єкт (рис. 22.46). Оскільки операція є бінарною, об'єднання слід повторити для кожної ніжки, додавши потім до них сидіння. Тепер пуфик є єдиним об'єктом, його можна переміщувати.

Наступним кроком є *прив'язка до сидіння та каркасу пуфика матеріалів.* Здійснити прив'язку текстур до об'єднання неможливо – разом із елементами будуть об'єднуватися кольори їх поверхонь. Спочатку за допомогою редактора матеріалів



Рис. 22.46. Вікно операції об'єднання

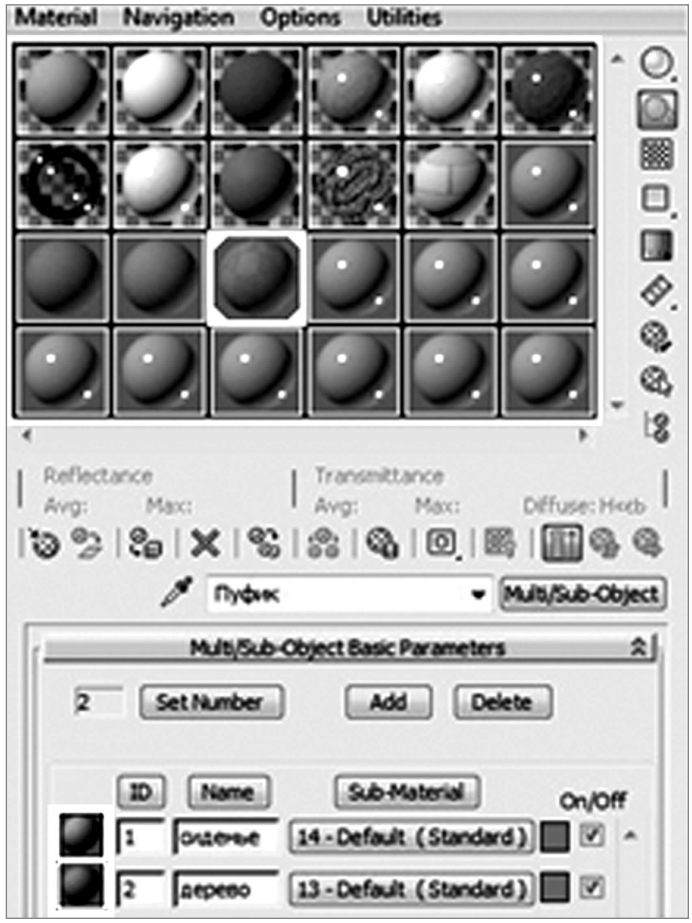


Рис. 22.47. Вікно параметрів карти Multi/Sub-Object

створюємо матеріали для сидіння та каркасу пуфика так, як було описано вище. Далі, залишаючись у редакторі, обираємо вільний шаблон і для нього використовуємо карту Multi/Sub-Object (рис. 22.47), указуючи кількість матеріалів Set Number=2, ідентифікатори ID та назви Name окремих частин об'єкту. Далі слід перетягнути зразки матеріалів на свої місця, відповідні до частин об'єкту утримуючи натиснутою кнопку миші), а замість Рис. 22.47. Вікно параметрів

Генерованих комп'ютером бажано дати їм власні назви.

Наступним кроком є визначення частин пуфика, яким будуть присвоєні матеріали Multi/Sub-Object. Для цього виділяємо пуфик, через контекстне меню перетворюємо його на Editable Poly та за допомогою рамки виділяємо полігони сидіння. У пункті головного меню Name Selection Sets вводимо назву сидіння відповідно до визначеного у Multi/Sub-Object (рис. 22.48), а у вікні параметрів полігонів вводимо їх ідентифікацію, також узяту із Multi/Sub-Object (рис. 22.49). Повторюємо це для каркасу. Після чого у вікні редактору матеріалів присвоюємо зразок Multi/Sub-Object пуфу. Слід відзначити, що кольори відобразяться тільки після рендерингу (рис. 22.50).

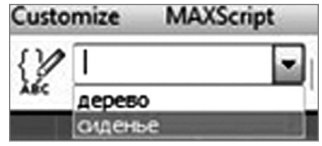


Рис. 22.48. Найменування виділених полігонів



Рис. 22.49. Ідентифікація виділених полігонів

Драпіровки, покривала, ковдри та шалі, низпадаючі долу та вкриті складками, здатні оживити геометрично правильну модель інтер'єру, створивши ефект присутності. У ArchiCADi зовсім немає відповідних засобів. Покажемо, як змоделювати *ефект створення складок у 3D Studio Max.*

Створимо підлогу, використавши примітив Box і покриємо її якимось матеріалом. Створимо тканину, яка буде стікати долу по пуфику, також застосувавши примітив Box невеликої товщини, але із суттєвою кількістю полігонів у плані (наприклад, надавши значення параметрам Length Segs та Wight Segs значення 50), а по товщині теж давши кілька клітинок (Heigh Segs=4) і присвоїмо їй власний матеріал. Заготовка показана на рис. 22.51.

Для тканини використаємо модифікатор Cloth (рис. 22.52), який імітує падіння тканини на меблі та підлогу з утворенням складок.

Визначимо фізичні властивості об'єктів та характер їх взаємодії, натиснувши кнопку Object Properties. З'явиться діалогове вікно (рис. 22.53).

Необхідно вказати, що виділена тканина – це матерія (помітити параметр Cloth) та обрати фізичні характеристики матеріалу із набору Presets, або задати власні. Далі, слід додати до списку об'єктів, що задають умови симуляції, пуфик та підлогу, натиснувши кнопку Add Objects (ось і знадобилися власні імена), та зробити помітку біля Collision Object.

Після цього повертаємось до попереднього вікна і запускаємо процес імітації, натиснувши на кнопку Simulate. У вікні із зображенням заготовки будуть відображатися змодельовані зміни, а у вікні, що відкриється – прогрес імітації. Як тільки результат стане задовільним, процес можна буде перервати. Відзначимо, що вікна 22.52 та 22.53 містять багато параметрів тонкої регуляції взаємодії тканини з оточуючими моделями, які тут не описуються.

Результат імітації показано на рис. 22.54.

Для *використання моделей, виконаних у 3D Studio Max у ArchiCADi*, слід встановити для останнього доповнення 3D Studio In (розділ 19).



Рис. 22.50. Готова модель пуфику

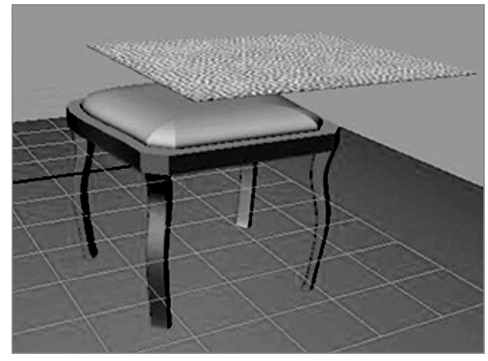


Рис. 22.51. Заготовка для імітації падіння матерії

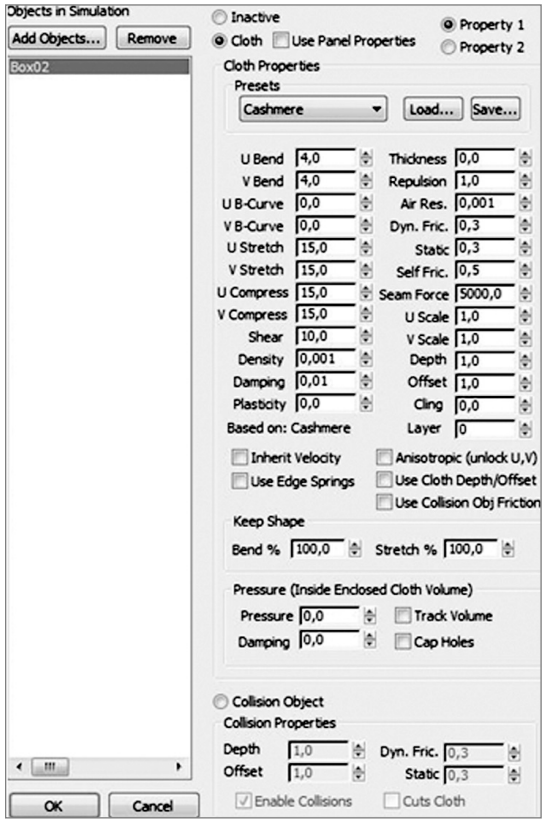


Рис. 22.52. Діалогове вікно модифікатора Cloth



Рис. 22.53. Вікно параметрів Object Properties

Доповнення активізується у пункті головного меню **Design** – Design Extras – Import 3D studio file. Після чого з'являються три команди: Options, яка відкриває вікно Convert 3ds to gsm, а також Convert 3ds to GDL object та Set Destination Folder. У вікні Convert 3ds to gsm задаються параметри перетворення файлу 3D Studio у бібліотечний файл ArchiCADy (перетворення координат, масштаб, створення вузлових точок дво- та тривимірних моделей. У вікні Convert 3ds to GDL object задаються параметри перетворення у GDL-об'єкт, а у вікні Set Destination Folder задається папка, де зберігатимуться результати перетворення.

Вкажемо декілька відомих бібліотек моделей і текстур для 3D Studio Max. До перших відносяться Arch Models та DOCSH, до других – The Essential Texture, Natural: shaders, Dark Tree. Це комерційні продукти. У інтернеті можна знайти багато безкоштовних бібліотек, окремих елементів та доповнень, які полегшують роботу із 3D Studio Max.

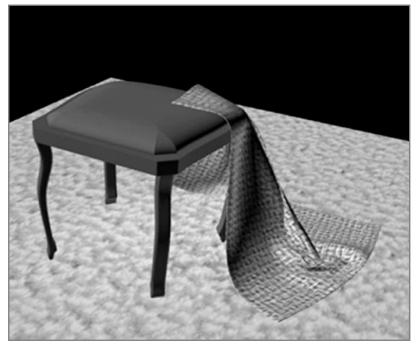


Рис. 22.54. Результат імітації сповзання тканини

Самоконтроль. Опишіть способи створення покриттів у ArchiCADi.

Назвіть можливості програми Archi Tiles. Застосуйте її при проектуванні інтер'єру.

Як конвертувати файли у формат 3D Studio Max із ArchiCADy?

Як конвертувати моделі, створені у 3D Studio Max у ArchiCAD?

23. ОСВІТЛЕННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ

Освітлення та візуалізація є фінальними стадіями розробки проекту, коли він готується до презентації. Без ретельного відтворення освітлення, краще сказати, світлового простору, неможлива якісна візуалізація; у свою чергу, побачити на екрані якісне освітлення неможливо, якщо не провести візуалізації. З цієї причини обидві задачі розглядаються разом.

Засобів освітлення і візуалізації ArchiCADy буває недостатньо у деяких випадках, і тоді застосовуються сторонні програми, зокрема, Artlantis. І все-таки, навіть після застосування програм-візуалізаторів, якість зображення може не задовольнити дизайнера. Тоді необхідна постобробка зображення, для чого частіше за все застосовується редактор растрових зображень Adobe Photoshop (розділ 24).

23.1. Організація освітлення

Інструмент і бібліотеки джерел освітлення були стисло описані у розділі 17; тут зосередимось на моделюванні ситуацій, пов'язаних із розв'язанням задач інсоляції та штучного освітлення.

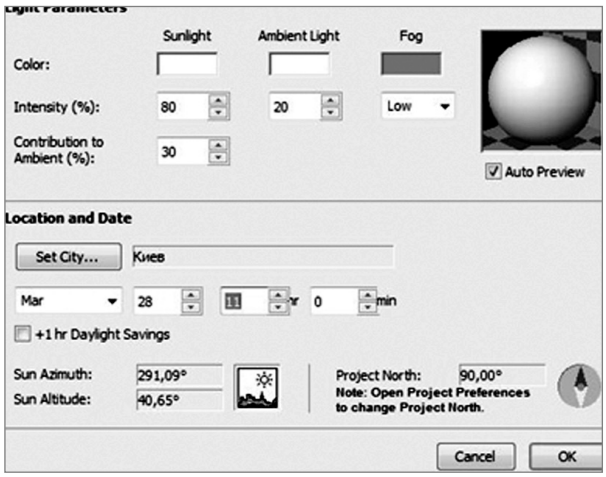


Рис. 23.1. Установка параметрів джерела освітлення, розміщення сцени, календарної дати та орієнтації по сторонам світла

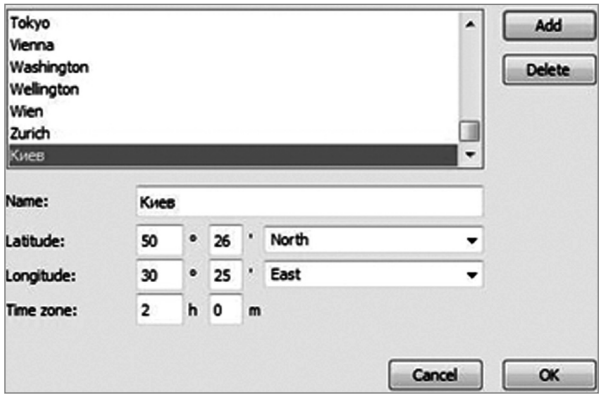


Рис. 23.2. Доповнення списку міст новим населеним пунктом

Освітлення екстер'єру природними джерелами. Основним інструментом такого моделювання є «лабораторія сонця», доступ до якої можна отримати, наприклад, натиснувши кнопку Settings, а потім – More Sun (рис. 23.1).

Змінювати параметри сонячного освітлення слід дуже обережно, щоб не втрачати його природного характеру, наприклад, при моделюванні освітлення на сході або на заході сонця. Слід також обов'язково орієнтувати головний фасад за допомогою інструменту Project North.

Для вибору розташування сцени слід натиснути кнопку Set City. Оскільки у списку міст немає, наприклад, Києва, слід у вікні, що відкриється (рис. 23.2), ввести назву міста та його географічні координати і підтвердити вибір, натиснувши кнопку Add. Київ з'явиться у списку міст.

Повернувшись до попереднього вікна, виставляємо дату і час доби.

Виконуємо візуалізацію і оцінюємо інсоляцію будинку (рис. 23.3).



Рис. 23.3. Інсоляція будинку у заданих місці, даті, годині

У ArchiCADi є також можливість простежити, як буде змінюватися освітлення протягом доби, або частки доби.

Для цього, після установки координат, дати і орієнтації будинку, заходимо до пункту головного меню **Document** та обираємо підпункти, показані на рис. 23.4, після цього потрапляємо до діалогового вікна, показаного на рис. 23.5.

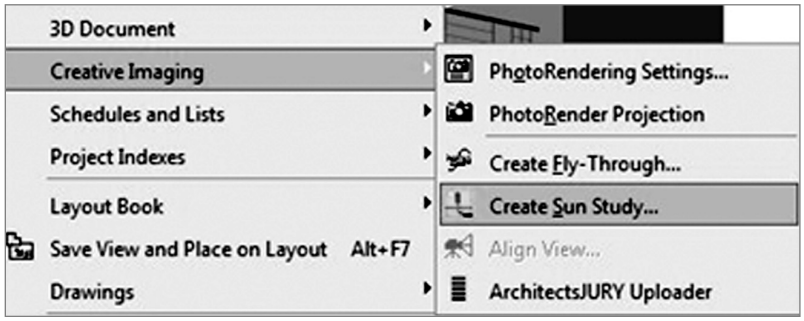


Рис. 23.4. Шлях до створення анімаційного ролика зміни освітлення

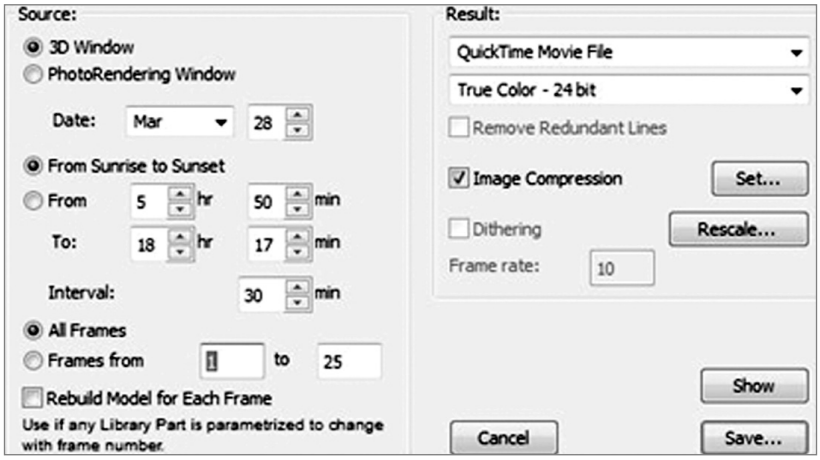


Рис. 23.5. Діалогове вікно регулювання параметрів анімації освітлення

Необхідно вказати:

- чи буде створюватися анімація у звичайному вікні, чи має будуватися фотореалістичне зображення для кожного кадру (у другому випадку підвищиться якість, але й потрібно буде набагато більше часу для розрахунків);
- діапазон зміни освітлення у часі;



Рис. 23.6.
Кадр із анімаційного ролика
зміни освітлення



Рис. 23.7.
Результат застосування
SkyObject та SunObject

- кількість кадрів;
- формат та характеристики анімаційного ролика;
- спосіб його продукування – демонстрація на екрані або зберігання.

Можна за допомогою скринсейверу зберігати окремі кадри. Наприклад, освітлення о шостій годині 20 хвилин буде виглядати так, як показано на рис. 23.6.

Якщо використовується алгоритм візуалізації Light Works, для моделювання освітлення екстер'єру можна використати додаткові джерела, які знаходяться у папці LightWorks 13 – Light Works Lights.

Два з них – Sky Object та Sun Object, що моделюють сіяння неба і сонця, можуть бути розміщені у будь-якому місці плану, третій – Window Light, який моделює освітлення через вікно, розміщується у вікні, буде розглянуто пізніше.

Ефект від застосування Sky Object та Sun Object показано на рис. 23.7.

Як бачимо, ефект освітлення значно підсилюється, аж до засвітки окремих частин зображення. Отже, слід обережно застосовувати ці додаткові джерела, регулюючи їх яскравість у діалоговому вікні параметрів. Sky Object та Sun Object можуть використовуватися як самостійно, так і з іншими джерелами освітлення.

Освітлення екстер'єру штучними джерелами здійснюється за допомогою ліхтарів, розташованих у папці Street Lamps.

Відкривається вікно плану рівня, який розташовано на землі – цоколю – і вказується місце ліхтаря. Регулювання його параметрів здійснюється у діалоговому вікні, що відкривається після виділення (рис. 23.8).

Встановлюється висотна позначка, натискуються кнопки включення чи виключення ліхтаря, а у закладці Lamp Settings – характеристики світового потоку та розміри ліхтаря (закладка General), а також матеріали та деталі його відображення у тривимірному вікні (закладка Appearance).

Бажано встановити нічний фон. Результат показано на рис. 23.9.

Візуалізація інтер'єру також моделюється з урахуванням як природних, так і штучних джерел освітлення. Можливі варіанти:

1) Освітлення через вікна без чи з використанням додаткових джерел;
2) Освітлення штучними джерелами;
3) Комбінація природних та штучних джерел.

Розглянемо послідовно усі три варіанти.

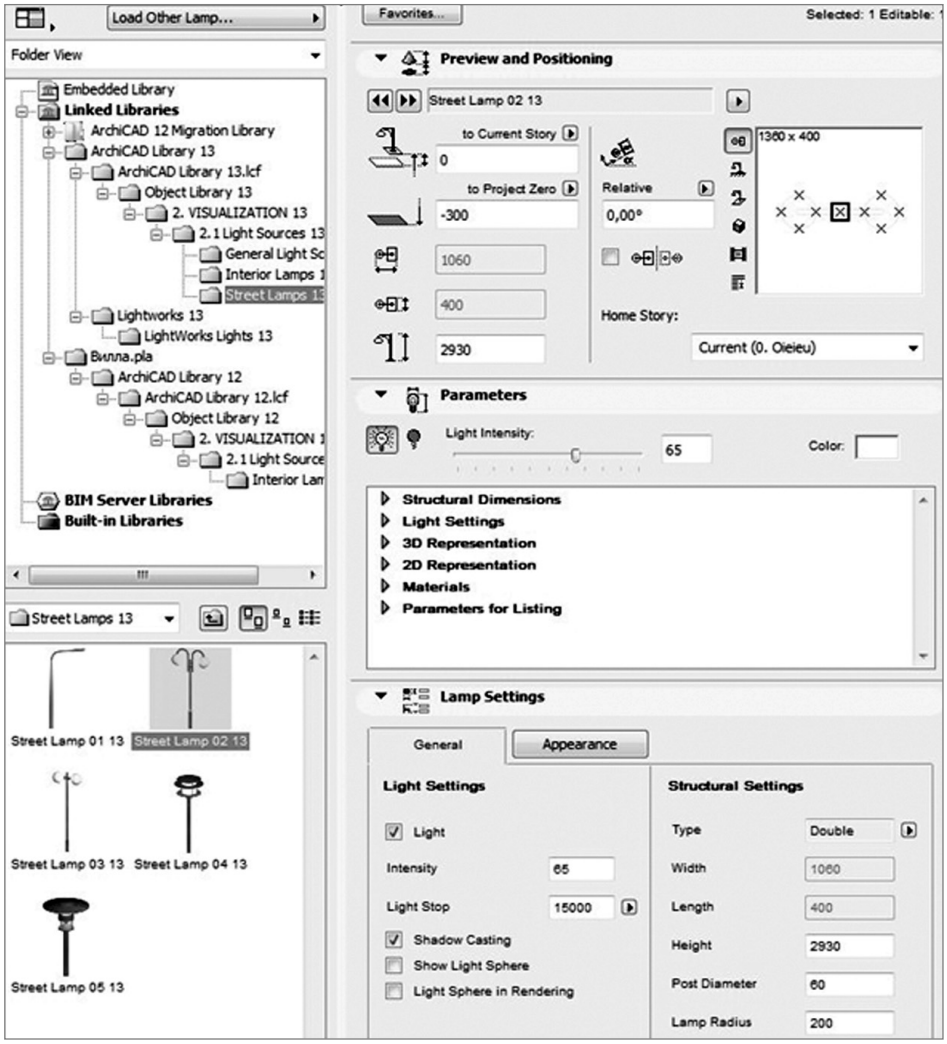


Рис. 23.8. Діалогове вікно параметрів ліхтарів

1. ***Освітлення інтер'єру через вікна*** без додаткових джерел показано на рис. 22.1 попереднього розділу. Як бачимо, при візуалізації із застосуванням алгоритму Light Works зображення виглядає достатньо темним. Скористаємося джерелом Window Light. Розмішуємо його у вікні будинку і регулюємо параметри яскравості. Результат показано на рис. 23.10 – світовий простір виглядає набагато більш природно.



Рис. 23.9. Нічне освітлення будинку ліхтарями



Рис. 23.10. Освітлення через вікно за допомогою Window Light



Рис. 23.11. Освітлення невеликих приміщень

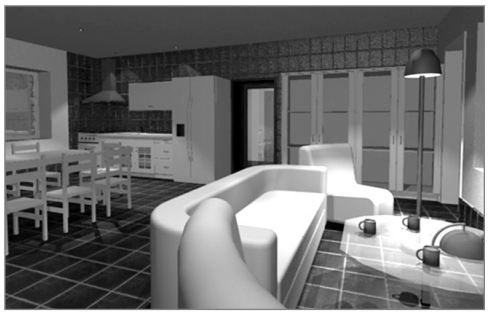


Рис. 23.12. Освітлення функціональних зон окремими групами світильників



Рис. 23.13. Комбіноване освітлення у сутінках

2. ***Освітлення штучними джерелами інтер'єру*** організується у залежності від розмірів приміщення та його загального стилю. Для приміщень невеликих розмірів припустима така схема: використовується одне основне джерело (лампа із бібліотеки), а для підсвітки темних місць – кілька не зв'язаних із фізичними моделями джерел малої (1–5%) яскравості (рис. 23.11).

У наведеному прикладі додано радіальне джерело світла яскравістю 5%, розташоване між столом та стіною на позначці 600, що дало можливість підсвітити підлогу і зробити більш контрастними тіні від стільця та столу, разом з тим не допустивши появи подвійних тіней або пересвітки.

У приміщеннях великих розмірів варто організовувати освітлення від кількох джерел середньої або малої яскравості; при цьому бажано дотримуватися і ергономічних вимог (рис. 23.12).

Наприклад, у кухні-вітальні є три функціональні зони: приготування їжі, столової та відпочинку, кожна з яких може бути освітлена своїм набором джерел – точковими світильниками на стелі та лампою на підлозі. Якщо правильно підібрати яскравість освітлення, то затінені простори між зонами будуть усамітнювати їх та створювати атмосферу інтимності. Зрозуміло, що можуть бути реалізовані і інші ідеї. Звернемо увагу, що для обраних типів джерел можна у набагато ширших межах регулювати параметри світового потоку (ослаблення по мірі віддалення від джерела, від осі променю тощо).

3. Якщо моделюється освітлення у сутінках, використовуються природні (береться реальне розташування сонця) і штучні джерела, світ яких буде менш інтенсивним, ніж увечері (рис. 23.13).

Як уже відзначалося у розділі 1, існує багато бібліотек сторонніх розробників із моделями джерел освітлення, якими варто користуватися при розробці реальних проектів.

23.2. Візуалізація

Зважаючи на подібність якості при алгоритмах візуалізації Internal Engine та Z-Buffer, розглянемо три типа візуалізації:

- із використанням алгоритму Internal Engine;
- при застосуванні Light Works;
- для імітації рисунка Sketch.

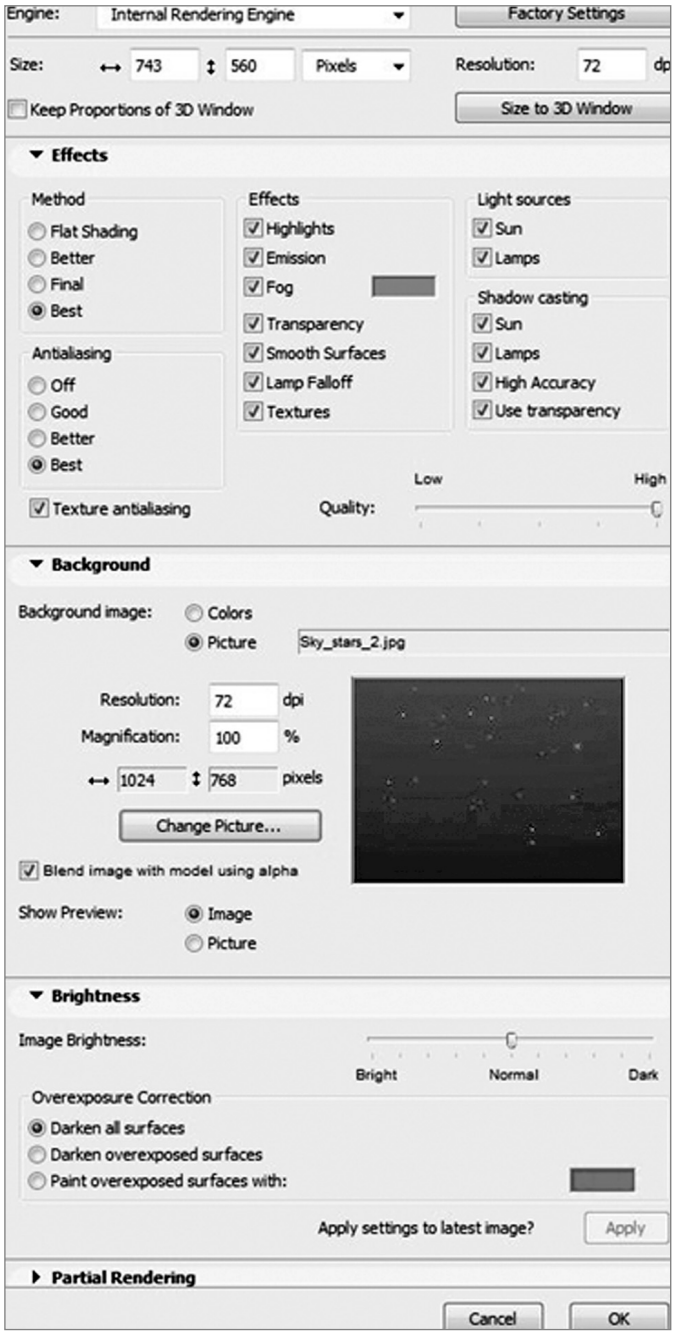


Рис. 23.14. Регулювання параметрів Internal Engine

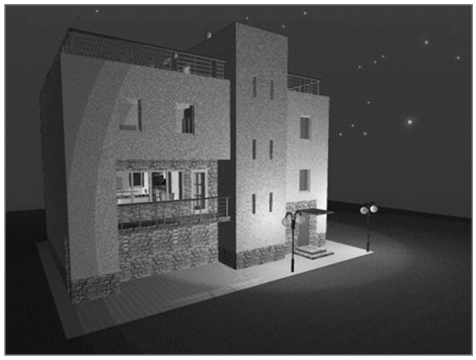


Рис. 23.15. Візуалізація за алгоритмом Internal Engine

Настроювання і використання Internal Engine. Використання алгоритму Internal Engine доцільне тоді, коли використовуються тільки стандартні текстури, або текстури, створені спеціально під цей спосіб візуалізації. Для регулювання його параметрів слід зайти до пункту головного меню Document – Imaging – Photo Rendering Settings та у списку способів візуалізації обрати Internal Engine. Діалогове вікно настроювань візуалізації набуде вигляду (рис. 23.14). Доступні:

- вибір розмірів зображення (можна автоматично розгорнути до розмірів вікна або поновити настроювання за умовчанням);
- настроювання ефектів – якості візуалізації, урахування туману, прозорості, спадання інтенсивності світла тощо;

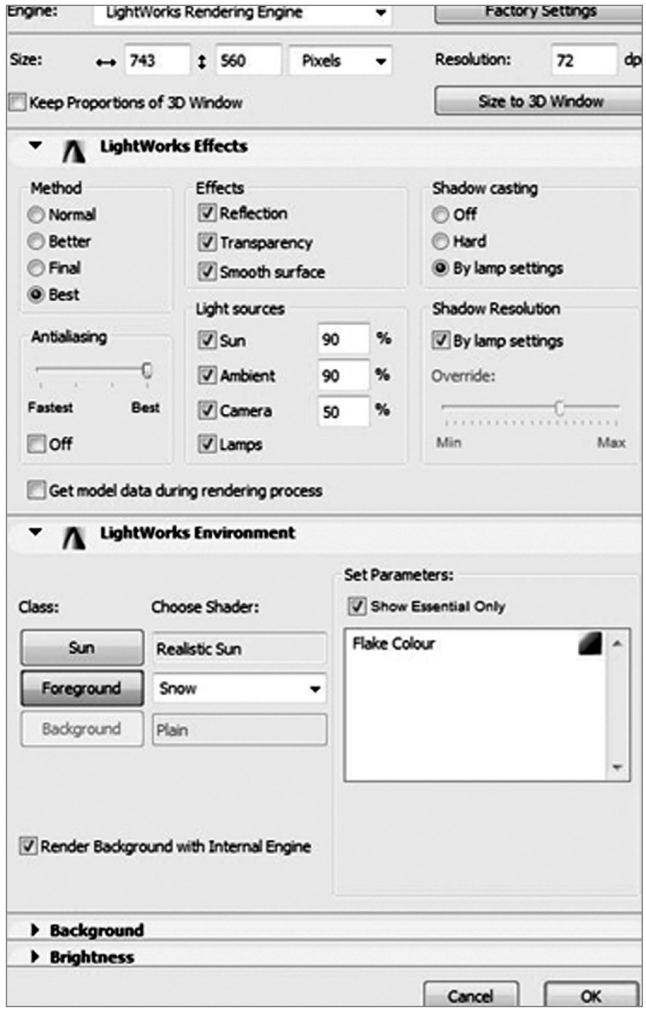


Рис. 23.16. Регулювання параметрів LightWorks



Рис. 23.17. Візуалізація Light Works із використанням спецефектів

- урахування сонця і штучних джерел;
- регулювання параметрів тіней;
- антиальясинг (розмиття зубчастості);
- вибір фону – умовного двоколірного рисунку чи картинки;
- регулювання яскравості (краще не змінювати установок без крайньої потреби);
- можливість візуалізації всієї сцени чи окремої частини.

Не слід виставляти всі параметри на максимальну якість – це призведе до дуже суттєвого зростання часу розрахунків.

Результат використання Internal Engine показано на рис 23.15.

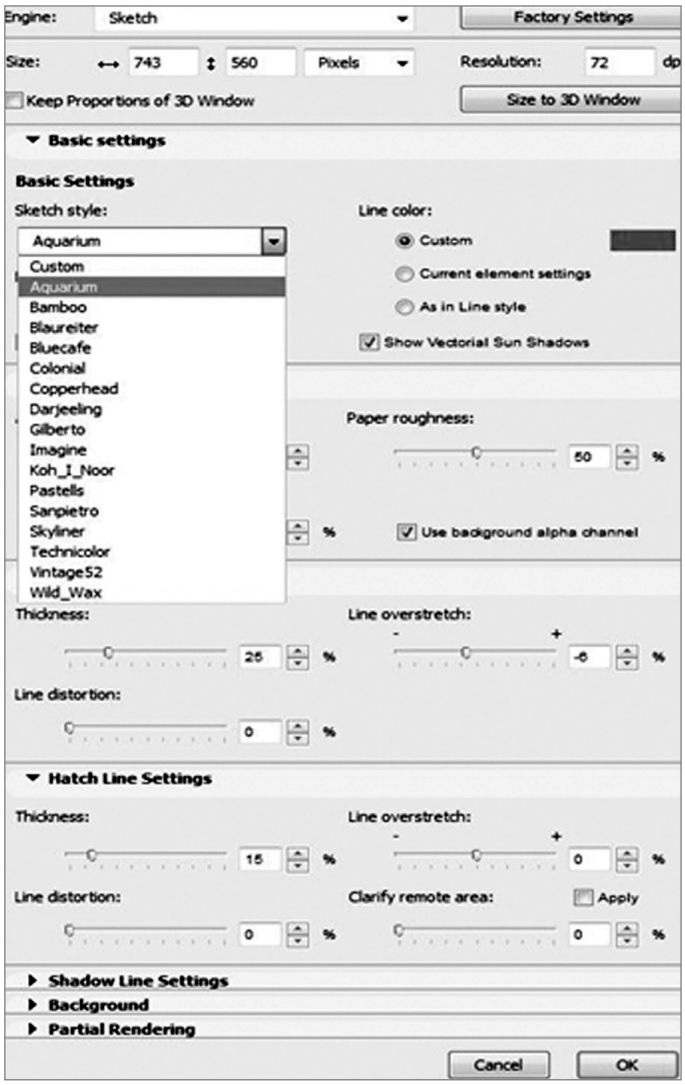


Рис. 23.18. Вікно настроювання параметрів Sketch – вибір стилю



Рис. 23.19. Малюнок інтер'єру у стилі Aquarium



Рис. 23.20. Малюнок інтер'єру у стилі Koh_I_Noor



Рис. 23.21. Екстер'єр будинку у стилі Vintage 52

Настроювання та використання LightWorks. Неважко побачити помітне зниження якості зображення, побудованого за алгоритмом Internal Engine у порівнянні із використанням алгоритму LightWorks (рис. 23.9), де краще реалізовано роботу з текстурами, світлом, тінями, відбиттями. Тому у більшості випадків застосовують саме цей алгоритм. Обравши у діалоговому вікні настроювання візуалізації LightWorks, отримаємо вигляд вікна, показаний на рис. 23.16.

Регулювання аналогічні розглянутим вище для Internal Engine. Відзначимо появу закладки LightWorks Environment, де можна покращити якість зображення за рахунок використання реалістичної моделі сонця, додаткових ефектів (наприклад, падаючого снігу тощо), регулювання фону. Результат візуалізації із додаванням таких ефектів показано на рис. 23.17.

Настроювання та використання Sketch. Імітація малюнка від руки використовується досить обмежено. Тим не менш, ця цікава можливість потрібна. При виборі такого способу візуалізації вікно параметрів набуде вигляду, показаного на рис. 23.18.

Регулювання зводяться до визначення характеристик ліній малюнку (колір, товщина, імітація взаємодії з папером тощо) – це робиться або вручну, окремо для ліній і штриховок малюнка і тіней, або шляхом вибору наперед установлених стилів. Занадто темний, у порівнянні з лініями, фон зробить малюнок непомітним, тому з фоном слід поводитися обережно, або просто його зняти.

Використання стилів Aquarium, Koh_I_Noor, Vintage 52 для зображення інтер'єру та екстер'єру будинку показані на рис. 23.19 – 23.23.

Самоконтроль. Зробити креслення квартири або будинку. Організувати освітлення.
Зробити візуалізацію окремих приміщень засобами редакторів ArchiCAD (використовуються алгоритми LightWorks та Sketch).
Приготувати презентаційний ролик.
Нагадаємо, що альтернативою алгоритму Sketch з більш широкими можливостями є програма Piranesi (розділ 19).

24. АВТОМАТИЗАЦІЯ ІНШИХ ПРОЕКТНИХ РОБІТ

Програми комп'ютерної графіки, окрім автоматизації виконання креслень, здатні розв'язувати широке коло супутніх задач, серед яких виділимо: пошук нормативної документації, роботу з електронними картами, вертикальне планування, презентацію проекту, підготовку геометричної інформації для розрахунків. Відповідні програми бувають спеціалізованими чи універсальними; в останньому випадку використовується частина їх можливостей. Виходячи з цього, будемо описувати спеціалізовані програми повністю, а універсальні лише в тих частинах, які потрібні для розв'язання задач.

24.1. Інформаційно-довідникові системи (ІДС «Зодчий»)

Сучасне проектування потребує потужної інформаційної підтримки. Важливою часткою є збір нормативної документації. Розглянемо роботу із базами даних та інформаційно-довідниковими системами (ІДС) на прикладі ІДС «Зодчий». У її базах даних представлена необхідна нормативна база для проектування і ведення будівництва: ДСТУ, ДБН, закони та постанови органів державної влади, кодекси України, довідники та методичні матеріали. Бази даних регулярно оновлюються.

Після установки програми і оновлення баз даних (з електронного носія або через Інтернет), можна розпочинати роботу з оболонкою системи. Інтерфейс ІДС «Зодчий» представлено на рис. 24.1.

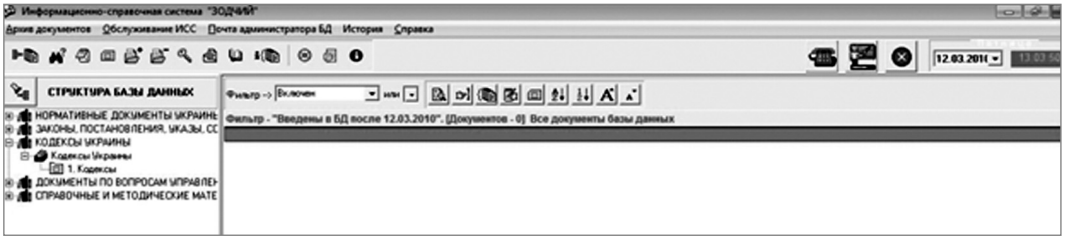


Рис. 24.1. Інтерфейс ІДС «Зодчий»

Структура інтерфейсу аналогічна інтерфейсу більшості програм, написаних «під Windows»:

- інформація про запущену програму;
- головне меню;
- рядок піктограм із найбільш задіяними командами, серед яких відзначимо засоби пошуку, календар, можливості додавання чи вилучення документів із баз даних, менеджер паролів та засоби оновлення баз даних;
- вікно структури баз даних;
- вікно відображення назв документів того чи іншого розділу баз даних.

У вікні структури бази даних перехід до обраного розділу здійснюється клацанням на його назві, після чого можна переглянути зміст розділу (рис. 24.2) та назви документів (рис. 24.3).

Пошук документів здійснюється шляхом перебору заголовківабо через тематичні фільтри.

Для отримання доступу до документу необхідно клацнути на його назві, після чого запуститься текстовий редактор (Word), у вікні якого і відкриється відповідний документ, якій можна редагувати або роздрукувати засобами редактора.



Рис. 24.2. Пошук розділу у вікні структури бази даних

Існує багато інших більш спеціалізованих або універсальних електронних баз даних по різним напрямкам проектування і будівництва. Усі вони працюють аналогічно розглянутій ІДС.

Зрозуміло, що проектувальник не може обмежитися нормативною чи методичною інформацією. Інші необхідні для ньогодані (місце розташування, гідрогеологічні дані, інженерні мережі, транспортні засоби тощо) можуть надати електронні карти. В своєму сучасному вигляді вони, власне кажучи, теж є інформаційно-довідниковими системами.



Рис. 24.3. Пошук документу за заголовком у вікні відображення назв

24.2. Електронні карти (Yar Map Киев та Google Maps)

А. Елементи інтерфейсу

Існує величезна кількість універсальних і спеціалізованих електронних карт із більш чи менш розвиненими базами даних і засобами запитів. Для розгляду типових елементів інтерфейсу електронних карт використаємо безкоштовну карту Yar Map Киев (рис. 24.4).

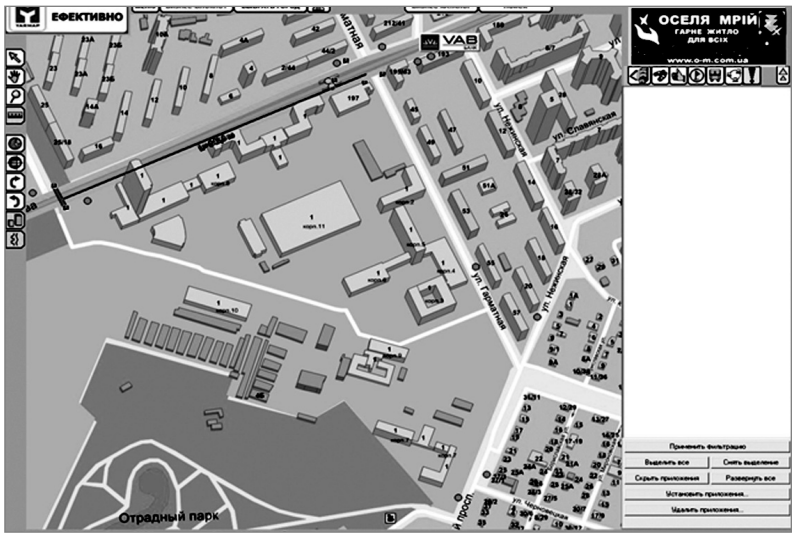


Рис. 24.4. На електронній карті відображено територію Національного авіаційного університету

На карті відображено вулиці, будинки, споруди (позначаються різними кольорами у залежності від призначення), зупинки транспорту, ті чи інші заклади і установи, парки, водні джерела, назви вулиць, номера будинків. Існує можливість виміру відстаней та прокладання маршрутів (чорна лінія вздовж проспекту Комарова; значення відстані показане у лівому нижньому куті). На цій карті не відображаються рельєф чи інженерні комунікації, проте такі дані є на спеціалізованих картах.

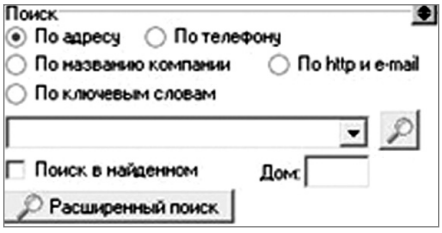


Рис. 24.5. Засоби пошуку електронної карти

Зліва показані інструменти роботи з картою – виділення, переміщення, масштабування, вимірювання, показу всього міста, регулювання представлення будинків. Далі, карта має засоби пошуку по декільком фільтрам (рис. 24.5).

Можна, наприклад, ввести назву вулиці, номер будинку, назву компанії, її телефон або електронну адресу – відповідне місце буде позначено на карті.

Можна також використати піктограми у правій частині карти (рис. 24.6), які дають доступ до усіх баз даних, або деяких, за тематичними критеріями чи ключовими словами. У результаті пошуку, наприклад, представництв авіакомпаній буде виведено їх повний список.

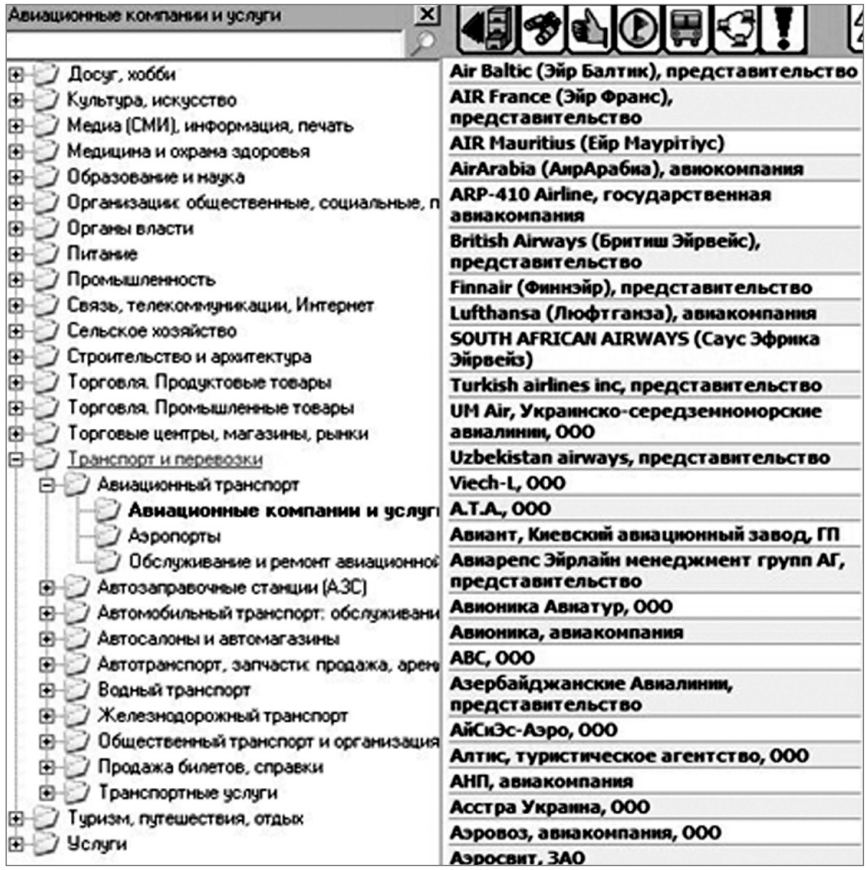


Рис. 24.6. Використання піктограм для пошуку даних та відображення його результатів

Важливою є можливість оновлення як самої карти, так і її баз даних, а також завантаження доповнень. Такі операції можна здійснити при запуску оболонки, обравши адрес фірми-розробника.

Для процесу реального проектування важливою є можливість завантажувати окремо як спеціалізовані карти (наприклад, зелених насаджень чи мереж водопостачання), так і детальні карти рельєфу. Розробники надають такі можливості.

Б. Розв'язання задач із використанням електронних карт

Задача 24.1. *Прив'язка до місцевості із використанням електронних карт Google Maps* (рис. 24.7, 24.8).

Існує інтернет-ресурс http://maps.google.com.ua, де зібрані електронні карти України. Покажемо, як розв'язується задача прив'язки будинку до місцевості – берегів озера Інтеграл у парку «Відрадний» у місті Києві поблизу території Національного авіаційного університету.

На території України знаходимо місто Київ. Масштабуючи карту і переміщуючись по ній, знаходимо потрібне місце (рис. 24.7).

Звертаємо увагу на масштаб карти у лівому куті знизу. Зберігаємо потрібний фрагмент карти у форматі .jpg, застосувавши команду визначення контуру будь-якого скринсейвера, наприклад, безкоштовного Screenshot Capture.

Запускаємо ArchiCAD. Будуємо контур споруди або використовуємо уже розроблений план. Використовуємо інструмент ***Figure*** (розділ 19) для розміщення фрагменту карти у якості малюнку основи. Використовуючи масштаб карти, приводимо розміри будинку у відповідність до масштабу та переміщуємо будинок на потрібне місце. Результат показано на рис. 24.8 (будинок позначено темним кольором).

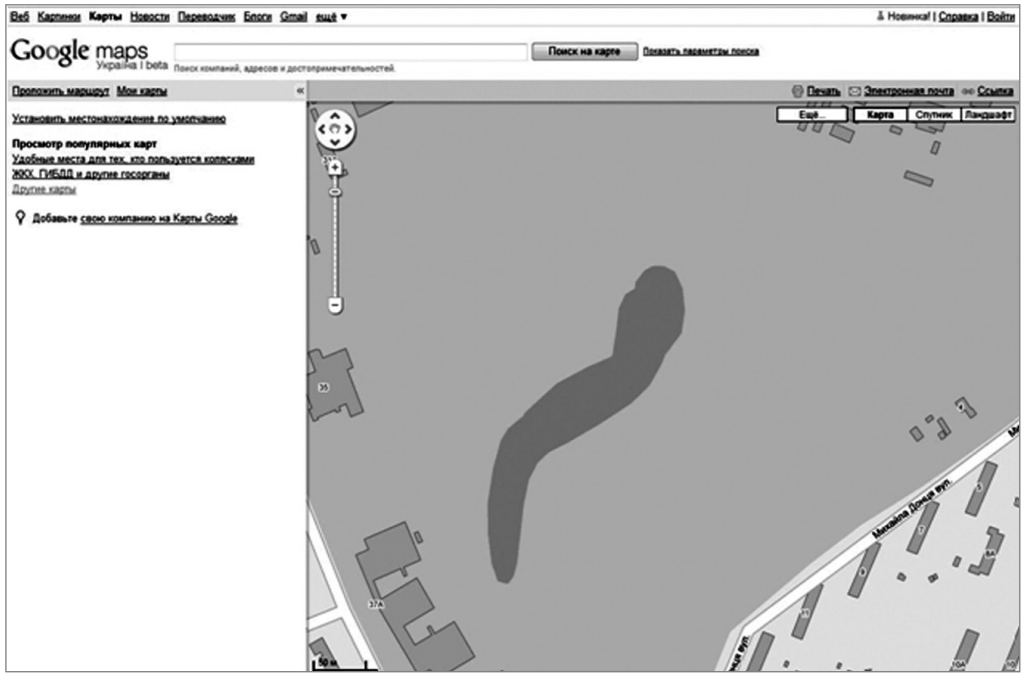


Рис. 24.7. Знаходження місця розташування будинку на електронній карті

Відзначимо, що скориставшись кнопкою **Ландшафт** у верхньому правому куті карти, можна завантажити топографічну карту місцевості (щоправда, недосить детальну), а також знімок місцевості із космосу (кнопка **Спутник**).

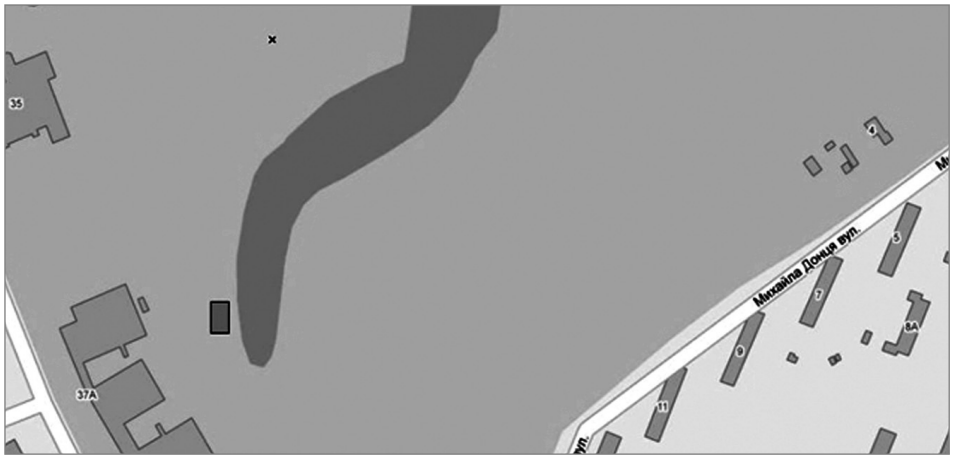


Рис. 24.8. Прив'язка будинку до місцевості

Задача 24.2. *Вписування будівлі у міське середовище із використанням знімків з космосу і фотографій Google Earth* (рис. 24.9 – 24.12)

Продовжимо задачу 24.1, поставивши нове завдання: оцінити, як буде вписуватися будинок у міське середовище.

Для вирішення завдання використаємо космічні знімки місця розташування будинку. Для знаходження космічних знімків використаємо іншу програму – Google Earth, яка дозволяє також знайти звичайні фотографії місцевості і надає іншу інформацію. Інтерфейс програми показано на рис. 24.9.

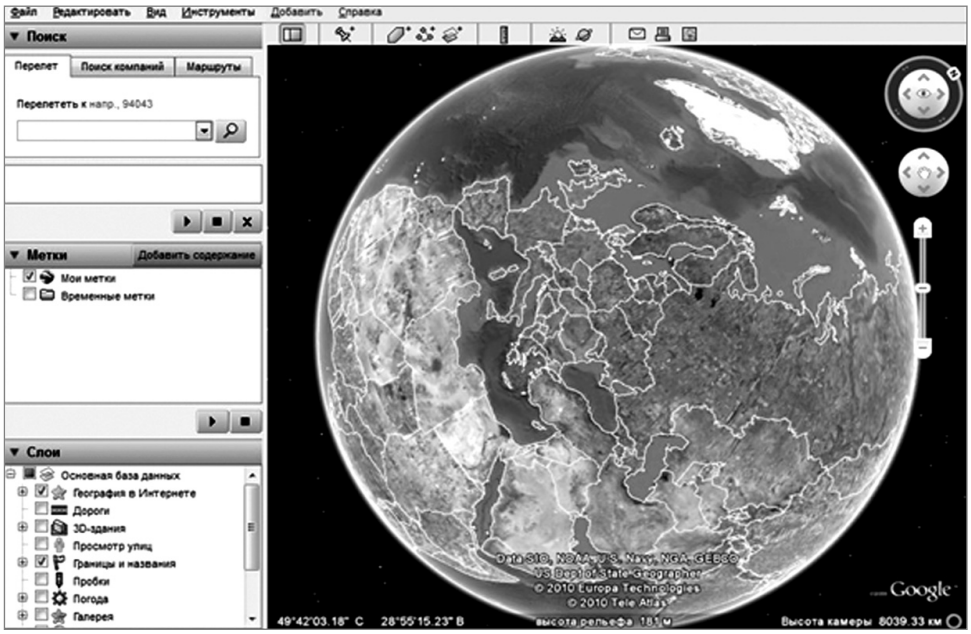


Рис. 24.9. Інтерфейс програми Google Earth

Обертаючи і масштабуючи земну кулю, знаходимо територію України та Києва. Переміщуючись по карті міста, знаходимо місця розташування будинку. Зберігаємо карту, а далі виконуємо всі дії, описані при розв'язанні задачі 24.1. Результат показано на рис. 24.10.



Рис. 24.10.
Прив'язка будинку до місцевості
із використанням космічного знімку

У випадку, коли планується більш детальне моделювання середовища – зображення дерев, природних кольорів оточуючих споруд і доріг тощо, знадобляться також звичайні фотознімки, які уточнюють характер місцевості і споруд. «Пошукавши» курсором по космічному знімку, можна знайти кілька точок, з яких зроблено фотографії берегів озера (рис. 24.11). Збережемо ці фотографії, а одну з них використаємо у якості фонового рисунку при візуалізації будівлі.

Для цього слід, попередньо побудувавши перспективне зображення споруди у графічному редакторі ArchiCAD, зайти до пункту головного меню **Document** і обрати Creative Imaging – Photo Rendering Settings. У закладці Background обрати Picture і вказати Load Other Object, а потім визначити From File Dialog Box. У вікні, що відкриється, слід вказати шлях до зберігання знімку. У вікні попереднього перегляду можна переміщувати знімок так, щоб будинок «сів» на землю, а у вікні перспективи збільшувати чи зменшувати зображення і підбирати правильну точку зору. Для цього знадобиться декілька візуалізацій, які запускаються послідовним натисненням кнопок Document – Creative Imaging – Photo Render Projection.





Рис. 24.11. Береги озера Інтеграл (знімки з Google Earth)



Рис. 24.12.
Візуалізація будинку
на реальній місцевості

Ще однією корисною опцією Google Earth є визначення координат обраної місцевості (відображаються знизу знімку 24.9), що важливо для моделювання сонячного освітлення. Результат візуалізації із використанням фотографій берегів озера показано на рис. 24.12.

24.3. Задачі вертикального планування (ArchiTerra)

Однією з програм, здатних вирішувати такі задачі, є доповнення до ArchiCADy – ArchiTerra. Після установки (розділ 19) вона стає доступною у пункті головного меню **Design** – Design Extras.

А. Панель ArchiTerra (по рядкам зверху вниз) включає (рис. 24.13):

- Text File – експорт/імпорт текстових файлів та Dxf File – імпорт файлів .dxf фірми Autodesk;
- Point та Construction tool – інструменти точок та з'єднання;
- Outline, Contour – побудова контурів та еквідистант;
- Terrain, Show Depth – інструменти рельєфу та фарбування;
- Plateau, Pavement – вертикальне планування та тротуари;
- Road, Road Longitudinal Section – дороги та профілі доріг;



Рис. 24.13. Панель інструментів

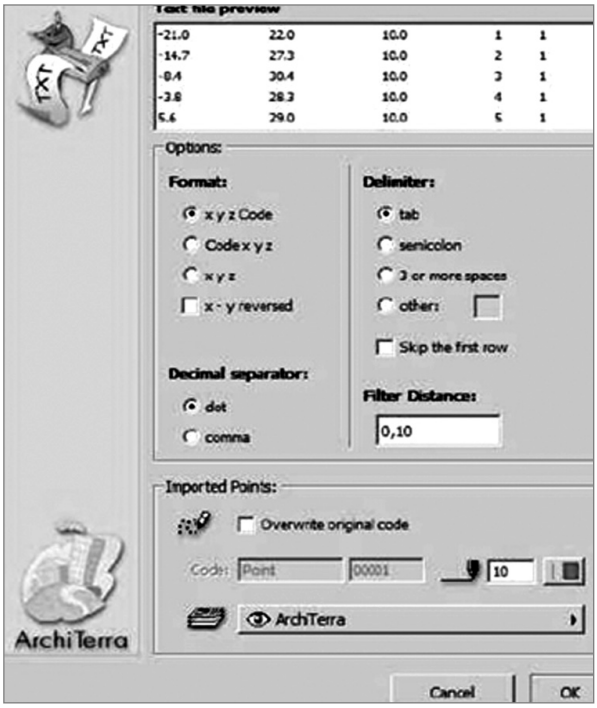


Рис. 24.14. Діалогове вікно
імпорту/експорту файлів

- Terrain, tree and rock generation, Basin tool генерація пагорбів, каміння, дерев, водоймищ;
- Building tool, Coloured Area – посадка будинків на рельєф та фарбування ділянок рельєфу;
- Wall, Retaining Wall – інструменти стін та підпорних стін;
- Calculate, Unlink – підрахунків та роз'єднань;
- Show/Hide Layers, Modify coordinates – шари, зміна координат;
- Data Update, Spot Heights – оновлення та установлення висотних позначок;
- Gravityon Terrain, Camera – «гравітація», «камера»;
- Default settings, Help – установки по умовчанню, підкази.



Рис. 24.15.
Введення висотних позначок

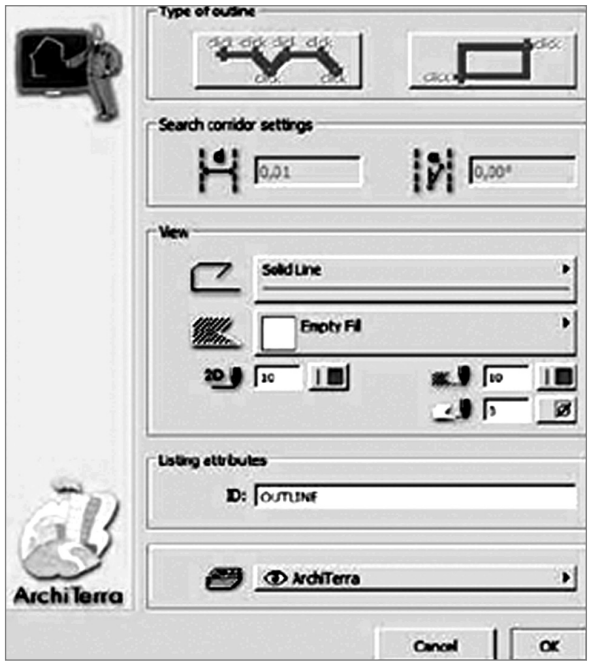


Рис. 24.17.
Діалогове вікно границь рельєфу

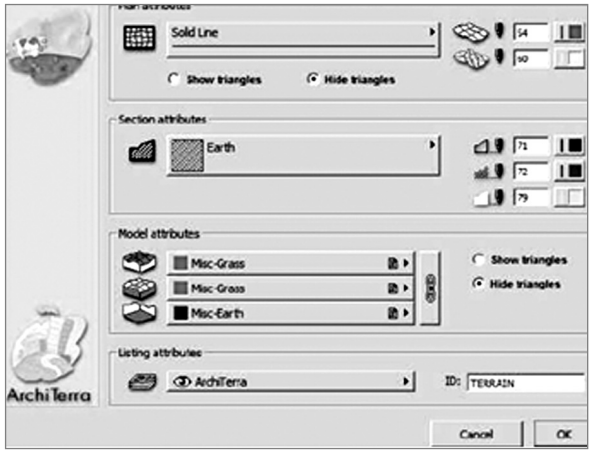


Рис. 24.18.
Визначення кольорів і штриховок
поверхонь рельєфу

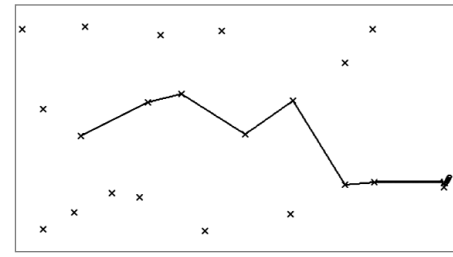


Рис. 24.16. Об'єднання точок

Б. Моделювання рельєфу починається із введення координат опорних точок. Це можна зробити імпортувавши текстовий файл із координатами (рис. 24.14). У вікні параметрів слід встановити формат, спосіб і точність виводу даних, а також фільтр відстані (для запобігання злиття точок). Імпортовані координати виводяться у верхньому вікні.

Другим способом є імпортування даних програм Autodesk.

Третім способом є використання даних самого ArchiCADy.

Використовуючи інструмент Hotspot, автоматично визначаємо координати у плані. Для введення висотних позначок використовується спеціальне вікно (рис. 24.15).

Наступним кроком є об'єднання точок у лінії для створення тріангуляційних сіток чи проведення ліній. У діалоговому вікні вказуються параметри лінії, а на плані – точки, що об'єднуються (рис. 24.16).

Далі за допомогою інструменту побудови контуру визначаються границі плану, на якому будуватиметься рельєф (рис. 24.17), після чого визначаються кольори та штриховки поверхонь, що обмежують рельєф (рис. 24.18).

Відзначимо можливість прямої конвертації точок інструменту Mesh у ArchiTerra Terrain.

Тепер можна відрегулювати зафарбування поверхні рельєфу у залежності від висотної позначки (як це робиться на звичайних географічних картах); результат показано на рис.

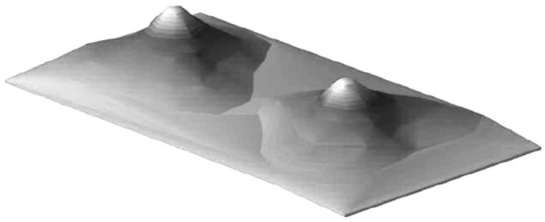


Рис. 24.19. Зафарбування рельєфу у залежності від висоти

В. Вертикальне планування

Задача 24.3. *Утворення площадок і планування схилів* (рис. 24.20, 24.21).

Спочатку на плані указується контур площадки, який може мати досить складну форму. Далі у діалоговому вікні встановлюється тип площадки і параметри схилів(рис. 24.20). Після підтвердження площадка і схили будуються автоматично (рис. 24.21).

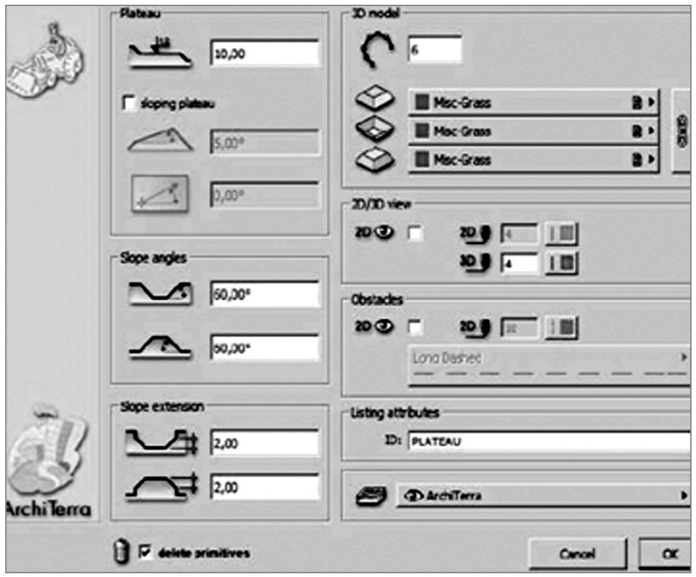


Рис. 24.20. Визначення параметрів площадки та схилів

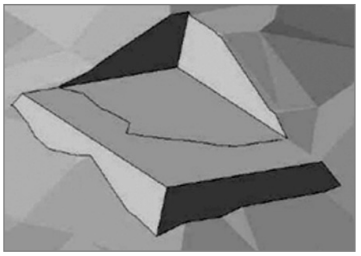


Рис. 24.21. Результат побудови площадки та схилів

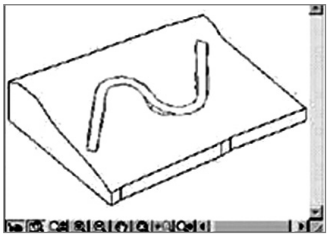


Рис. 24.23. Результат побудови дороги на рельєфі

Задача 24.4. *Прокладання тротуарів і дорігна місцевості* (рис. 24.22, 24.23).

Спочатку, із використанням інструментів проведення ліній ArchiCADy, наприклад, Polilіne, проводиться лінія тротуару чи дороги.

Потім у діалогових вікнах (рис. 24.22) визначаються параметри їх профілів та матеріали покриття.

Після підтвердження введених величин дорога будується на рельєфі (рис. 24.23).

Схили насипів/виїмок також будуються автоматично, причому визначаються і їх перетини з рельєфом. Інші інструменти дозволяють коректно будувати перехрестя доріг, а також їх повздовжні профілі.

Задача 24.5. *Генерація мікрорельєфу та рослинності* (рис. 24.24 – 24.26).

Визначається контур, далі обирається, що саме треба генерувати – пагорби, каміння чи дерева (рис. 24.24).

Після натиснення, наприклад, першої кнопки, відкривається діалогове вікно (рис. 24.25), де визначаються спосіб генерації та параметри. Результат генерації при різних способах показано на рис. 24.26.

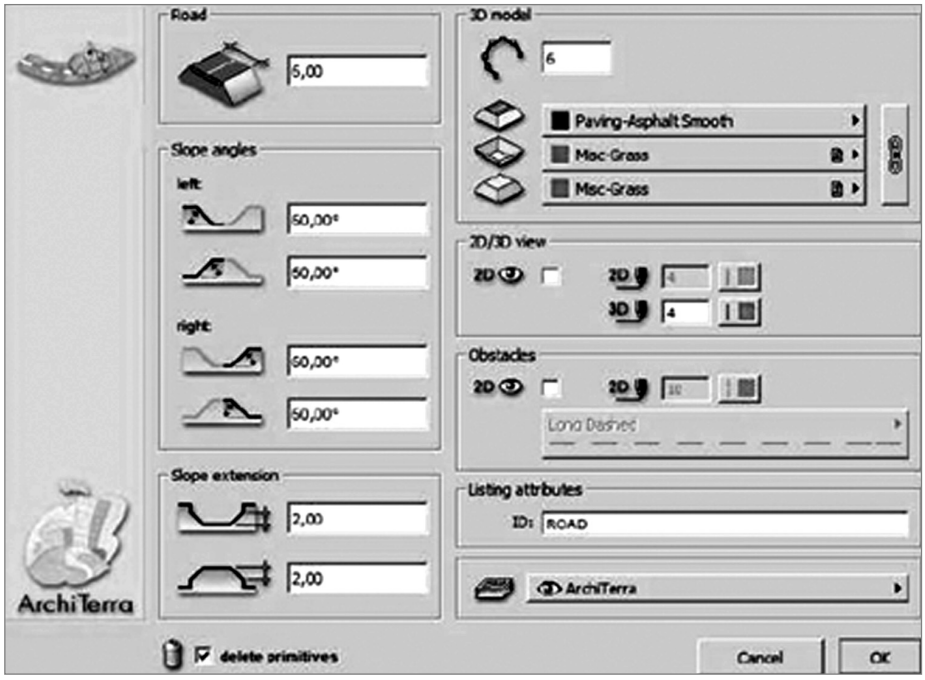


Рис. 24.22.
Діалогове вікно
параметрів доріг

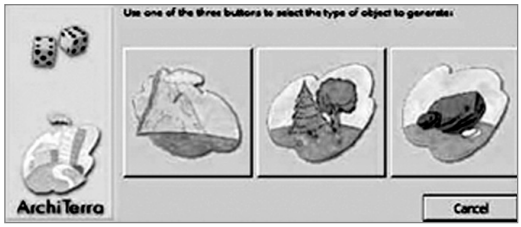


Рис. 24.24.
Вибір варіанту генерації
мікрорельєфу

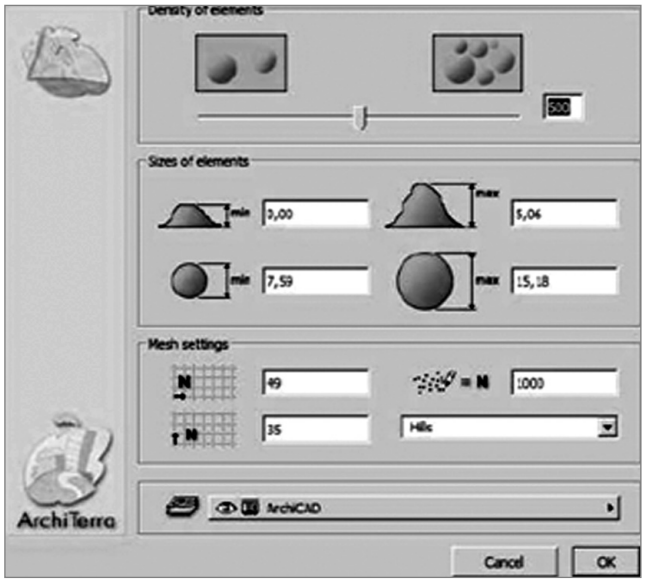


Рис. 24.25. Вікно діалогу генерації пагорбів

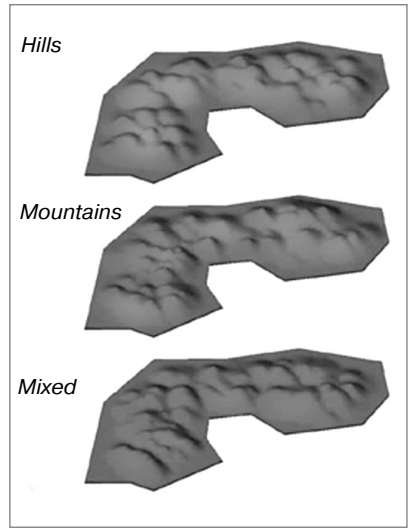


Рис. 24.26. Результати генерації

Каміння, а також дерева створюються аналогічно.

Задача 24.6. *Створення відкритих водоймищ* (рис. 24.27, 24.28).

Водоймища створюються за допомогою спеціального інструмента. Після натиснення відповідної кнопки та виділення сітки рельєфу, відкривається діалогове вікно (рис. 24.27), де задаються параметри ліній обводу водоймища, а також колір води. Рівень водоймища задається курсором, при цьому автоматично визначається позначка обраної точки і розраховується контур (рис. 24.28).

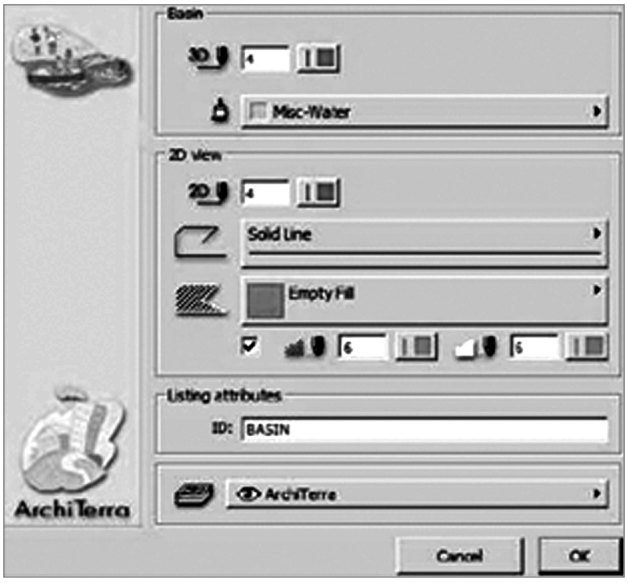


Рис. 24.27. Діалогове вікно параметрів водоймища

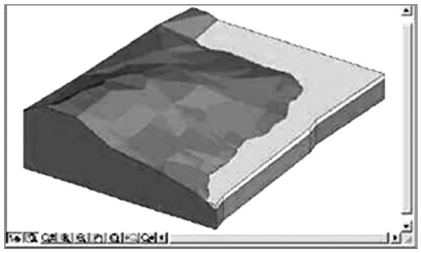


Рис. 24.28. Результат побудови водоймища

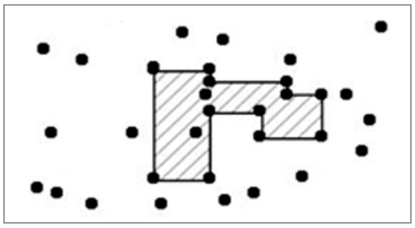


Рис. 24.30. Вказування контуру будинку

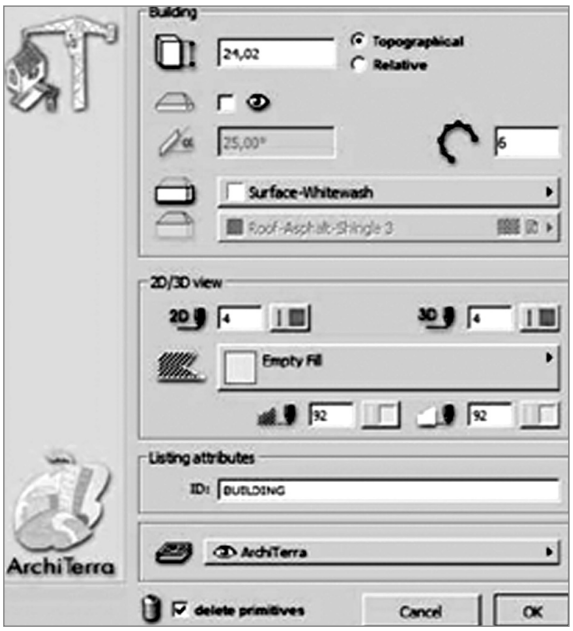


Рис. 24.29. Визначення параметрів будинку

Задача 24.7. *Прив'язка споруди до рельєфу* (рис. 24.29 – 24.31).

Необхідно вказати (рис. 24.29) висоту будинку (абсолютну чи відносно рівня землі), обрати, чи має будуватися крівля, а якщо буде, то вказати її параметри, а також задати параметри ліній контуру і штриховки.

Далі слід вказати, де має бути розташований будинок (рис. 24.30).

Результат побудови показано на рис. 24.31.

Окремі стіни та підпорні стіни розміщуються на рельєфі аналогічно за допомогою спеціальних інструментів.

ArchiTerra також має інструмент «камера», який допомагає створювати ролики, що ілюструють переміщення по рельєфу.

Серед спеціалізованих програм вертикального планування та підготовки креслень ГП та ГТ відзначимо програму професійного класу **CREDO**.

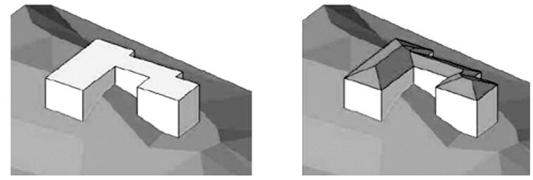


Рис. 24.31. Зображення будинку на рельєфі

Самоконтроль. Завантажте із Інтернету з ресурсу maps.google.com.ua електронну карту м. Києва. Перейдіть до варіанту топографічної карти. Визначте розташування на карті власного будинку і розмістить його на цьому місці.
Відтворіть, використавши карту у якості підоснови, ситуаційний генеральний план території поблизу вашого будинку. Позначте дороги, зелені насадження, огорожі тощо.
За даними топографічної карти охарактеризуйте рельєф поблизу вашого будинку.
Установіть ліцензійну програму ArchiTerra. Промоделюйте її засобами рельєф, охарактеризований вище.
Розмістить на рельєфі елементи ситуаційного генерального плану.
Здійсніть вертикальне планування, розмістивши на рельєфі дитячий майданчик.

24.4. Підготовка проекту до презентації (Artlantis та Adobe Photoshop)

А. Візуалізація

Перехід від реалістичності зображення до художнього вимагає більш м'яких переходів кольорів, природнішого освітлення і тіней, точнішого урахування відбиттів і більшої кількості текстур та моделей, ніж може забезпечити ArchiCAD. Тоді, коли це дійсно потрібно, застосовується програма Artlantis у версіях R або Studio (остання дозволяє створювати анімаційні ролики). Конвертація даних з ArchiCADy до Artlantisy подана у розділі 19; тут ми зупинимось на описі роботи програми.

Програма Artlantis Studio працює із конвертованими файлами. Після запуску програми та відкриття потрібного файлу, інтерфейс програми набуває вигляду, представленого на рис. 24.32.

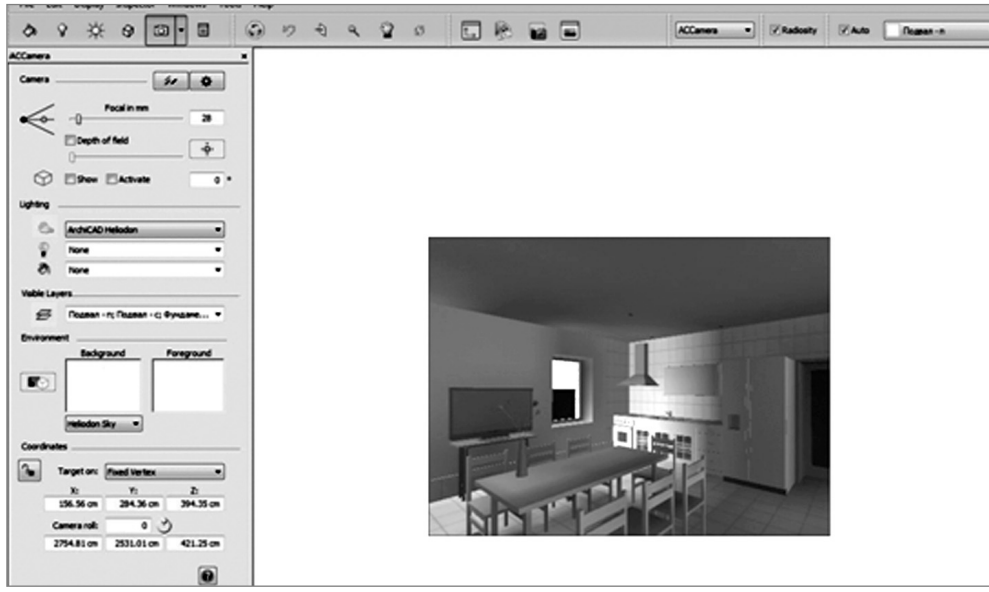


Рис. 24.32. Інтерфейс програми Artlantis Studio



Рис. 24.33. Панель настроювання параметрів програми

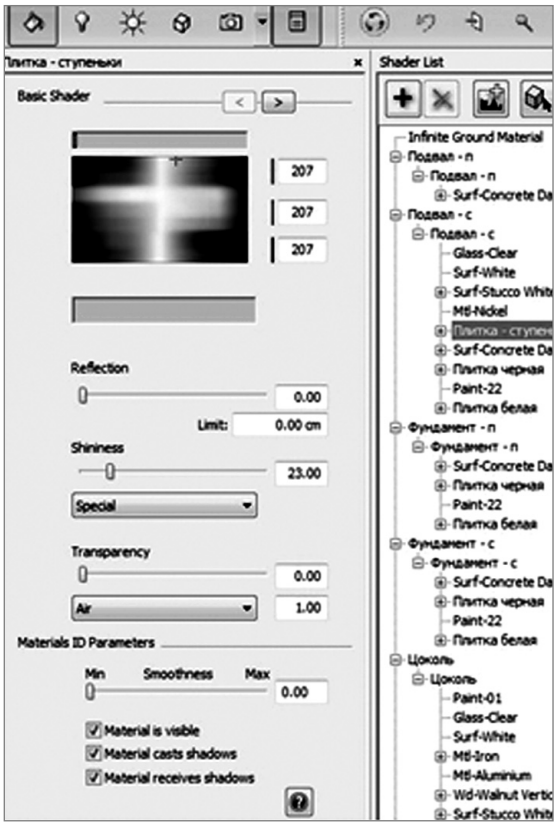


Рис. 24.34. Коригування кольору матеріалу

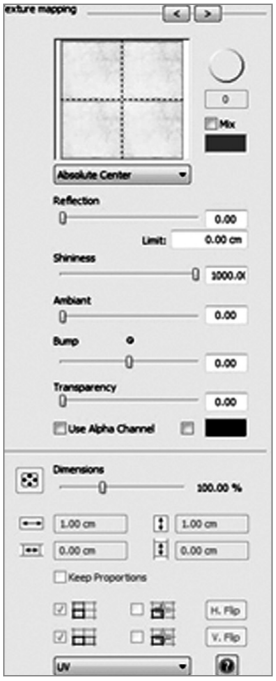


Рис. 24.35. Коригування базової текстури

Верхній рядок містить пункти головного меню.

У пункті головного меню **File** знаходяться команди відкриття і зберігання файлів та виводу на друк.

У пункті **Edit** містяться команди відміни або поновлення дій, роботи з камерою, а також настроювання (рис. 24.33).

У пункті головного меню **Display** розташовано команди управління вікном зображенням (зміна розмірів, перехід до двовимірного зображення із вибором однієї з проекцій), а також розміщенням панелей інструментів.

У пункті **Inspector** представлено команди управління проекційними системами зображення, у тому числі анімацією, моделями, текстурами, джерелами освітлення та сонцем, а також рендерингом.

У пункті **Window** відображаються дані про ті панелі і бібліотеки, які у даний момент відображаються на екрані, а також інформація про значення параметрів рендерингу і сцени.

У пункті **Tools** знаходяться засоби створення власних текстур (шейдерів у термінах програми) та карток.

У пункті **Help** міститься довідкова система, посилання на інтернет-ресурси, навчальна система та інформація про програму.

Наступний рядок представляє панель інструментів (натиснення піктограму якогось із них розкриває діалогове вікно параметрів нижче і зліва), а також засобів управління зображенням і рендерингом.

Справа і знизу знаходиться вікно попереднього перегляду зображення.

Ще нижче – місце для бібліотек.



Рис. 24.36. Зміна матеріалів покриттів. Помітна недосконалість освітлення

Розглянемо *команди панелі інструментів*.

Інструмент ***Shader***, призначений для редагування текстур, доцільно використовувати із списком ***List*** (рис. 24.34). У такому разі у списку відобразяться усі текстури відкритого файлу. Можливі два режими редагування – корекція параметрів кольору (на рис. 24.34), або редагування базової текстури (рис. 24.35).

Замінимо матеріали і текстури стін, підлоги, меблів та кухонного обладнання, телевізору та вази у базовому зображенні. Результат коригування показано на рис. 24.36.

Інструмент ***Light*** необхідний для зміни параметрів штучних джерел освітлення (рис. 24.37). Його також зручно застосовувати разом із списком ***List***, де тепер будуть відображатися джерела світла. Зменшимо для обраних джерел (для кожного окремо; джерело, що редагується, буде підсвічуватися жовтою крапкою у вікні перегляду) яскравість, змінимо конуси променів, чіткі тіні замінимо на розмиті. Завдяки цьому вдалося уникнути пересвітки та виникнення неприродних тіней. Результат показано на рис. 24.38.

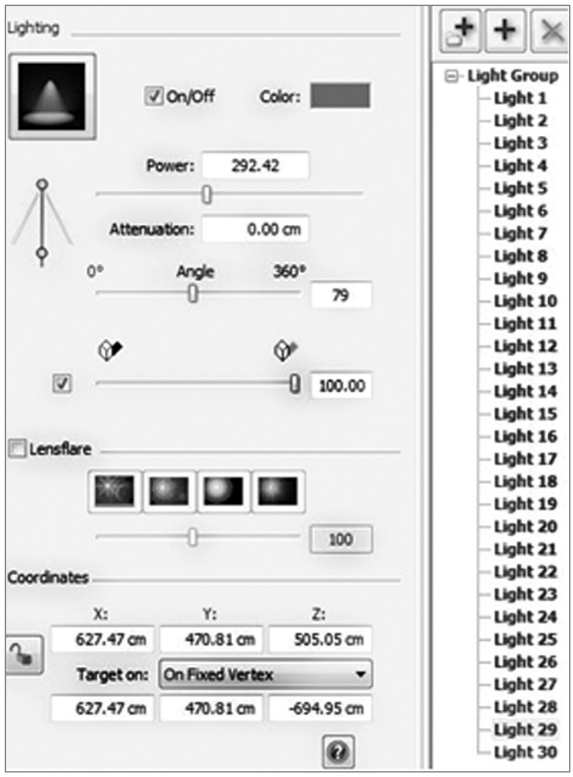


Рис. 24.37. Інструмент Light



Рис. 24.38. Результат зміни параметрів освітлення – якість покращилася

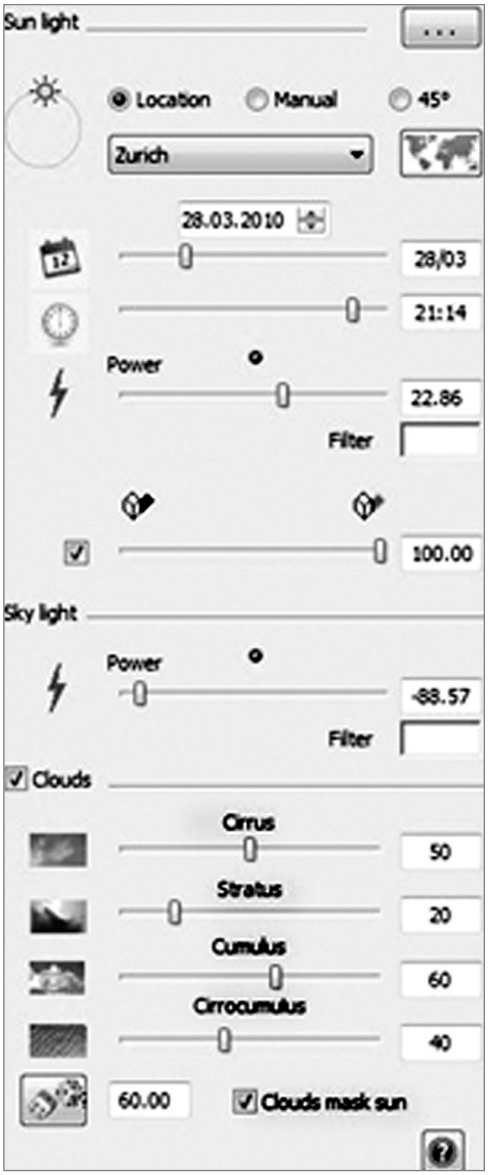


Рис. 24.39. Регулювання параметрів сонця



Рис. 24.40. Урахування зовнішнього освітлення

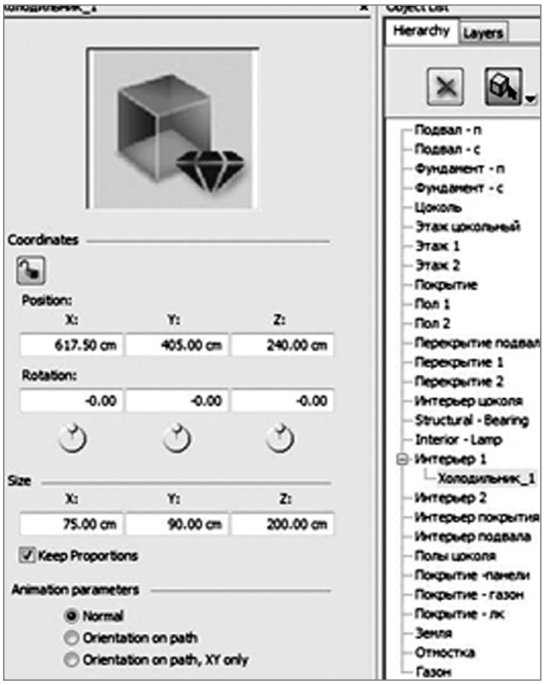


Рис. 24.41.
Створення нового об'єкту

Інструмент ***Heliodon*** призначений для регулювання параметрів сонця (рис. 24.39).

Звернемо увагу на можливість працювати з хмарами. Змінимо місце розташування будинку, час і сіяння сонця і неба. Результат показано на рис. 24.40.

Інструмент ***Object*** дозволяє працювати з моделями об'єктів (рис. 24.41); при активізації списку ***List*** буде показано перелік усіх доступних об'єктів. Використаємо цей інструмент для корекції текстури холодильника. Цей об'єкт виділяються тільки разом із стільцями, кухонним обладнанням та столом; відповідно усі ці об'єкти стали дерев'яними при заміні матеріалу.

Розірвати цю залежність можна, якщо перейти у режим виділення об'єктів (натиснути на піктограму Activate the Poligon Selection), виділити потрібні полігони і дати їм нове ім'я – холодильник, а потім замінити матеріал цього нового об'єкту. Результат показано на рис. 24.42.



Рис. 24.42. Зміна матеріалів об'єкту



Рис. 24.43.
Регулювання параметрів камери

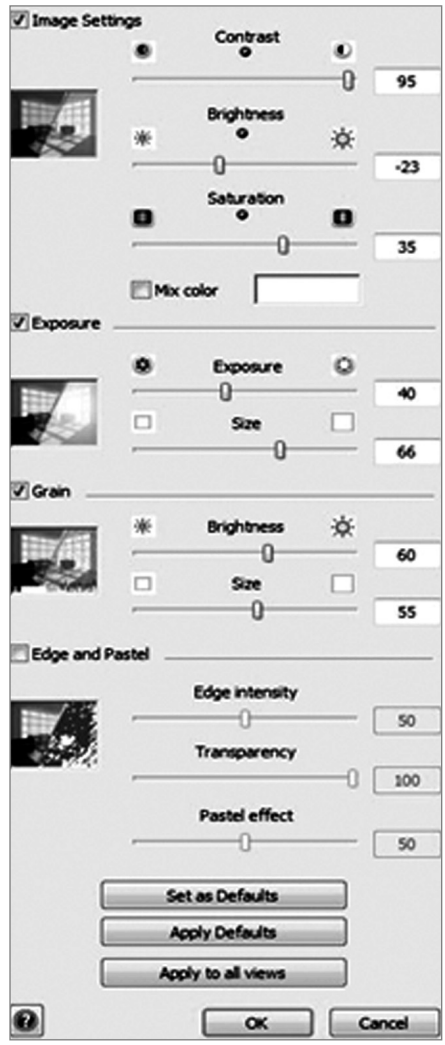


Рис. 24.44. Параметри постобробки



Рис. 24.45. Приклад постобробки зображення

Інструмент ***Perspectives*** дозволяє змінювати проекційну систему, а також настроювати параметри камери, враховувати чи не враховувати сонце, штучні джерела, шейдери, змінювати фон, працювати із шарами (рис. 24.43). При натисненні кнопки Editthe Post Process Parameters стає доступним вікно регулювання процесів постобробки зображення (зміна яскравості, контрасту, витримки тощо, рис. 24.44). Приклад такої обробки показано на рис. 24.45.

Натиснення кнопки Edit The Rendering Parameters активізує вікно настроювання візуалізації (рис. 24.46). Регулювання цих параметрів суттєво впливає на якість результату, а також час розрахунків. Рекомендується не виставляти максимальних параметрів якості у процесі редагування, а лише при остаточній візуалізації. При роботі з ***Perspectives***, у списку ***List*** виводяться імена і піктограми відкритих зображень.

Наступні піктограми дозволяють виконувати різного робу переміщення і масштабування зображення, повертатися у вихідне положення і орієнтувати камеру відносно стін (рис. 24.47).

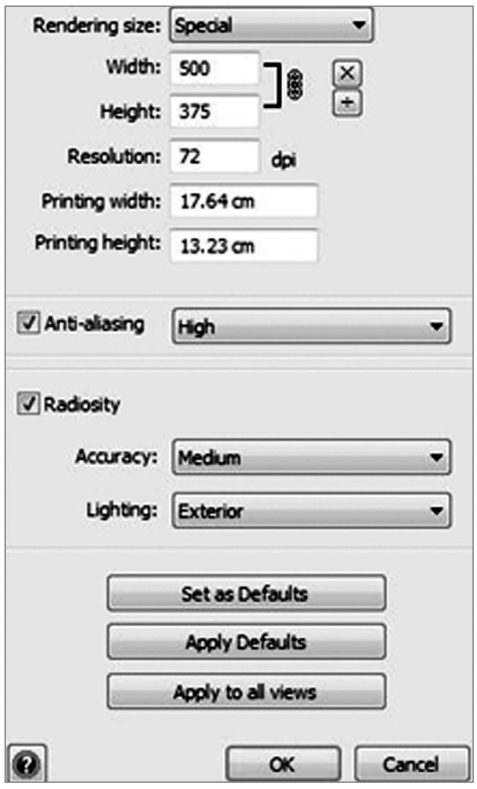


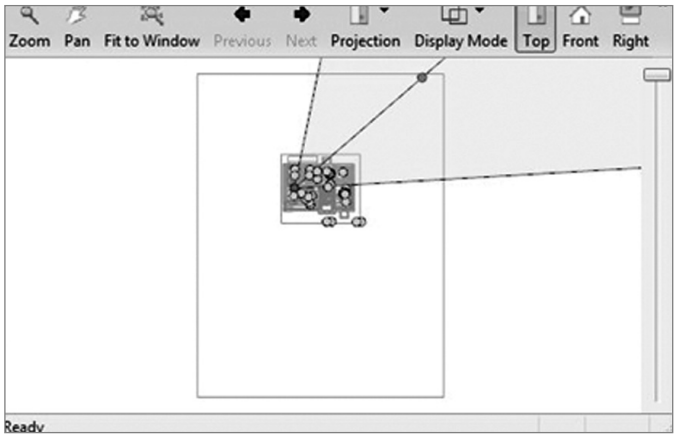
Рис. 24.46. Настоювання параметрів візуалізації



Рис. 24.47. Орієнтація камери по стіні

Остання група піктограм надає можливість працювати із проекційними зображеннями (рис. 24.48), каталогами, запускати процес рендерингу, обрізати зображення, регулювати параметри рендерингу.

Розглянемо роботу з каталогами. При клацанні по піктограмі Catalog у нижній частині екрану з'являється бібліотека оступних елементів – фонових рисунків, моделей об'єктів, карток, текстур (рис. 24.49).



Для використання елементу його необхідно перетягнути на потрібне місце, а потім відредагувати за допомогою розглянутих вище інструментів. Результат застосування та редагування текстур, моделей, фону показано на рис. 24.50.

Рис. 24.48.
Робота з проекційними зображеннями

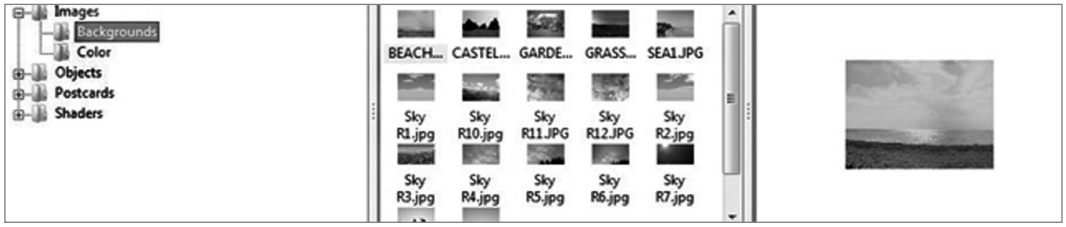


Рис. 24.49. Відображення бібліотечних елементів

Д. Постобробка зображень



Рис. 24.50. Приклад використання бібліотек Artlantis Studio

Підготовлена у ArchiCADi або Artlantisi візуалізація інколи потребує корекції кольорів або тіней, інколи – зміни стилю і т.п. без зміни матеріалів або точки зору та умов освітлення. Оскільки у зображення вже не вносяться конструктивні або ситуаційні зміни, є можливість застосовувати для його редагування растрові графічні редактори, лідером серед яких на протязі багатьох років залишається Photoshop, розроблений фірмою Adobe.

Актуальною на сьогодні є 11 версія редактору, яка розповсюджується самостійно або у складі пакету Adobe Creative Suite 5. Системним вимогам буде цілком задовольняти конфігурація комп'ютера, описана у розділі 14. Програма працює із багатьма форматами растрових зображень (зокрема, .jpg, .tif, .bmp); є також можливість конвертації форматів векторної графіки. Інтерфейс програми (рис. 24.51) схожий на розглянуті вище.

У верхньому рядку розташовано піктограми найбільш поширених команд; до деяких команд можна дістатися, натиснувши кнопку Ps.

У другому рядку ідуть пункти головного меню, із яких ми скористаємось пунктом **Фильтр**.

Далі розташований рядок із варіантами роботи обраного на панелі зліва інструменту.

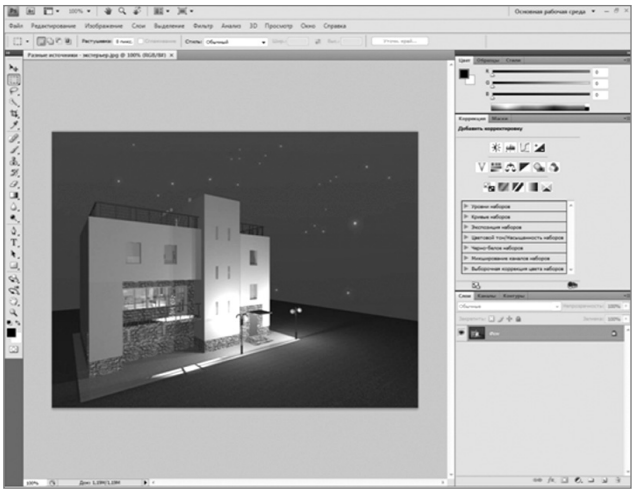


Рис. 24.51. Інтерфейс редактора растрових зображень Photoshop



Рис. 24.52. Інтерфейс, налаштований для використання галереї фільтрів

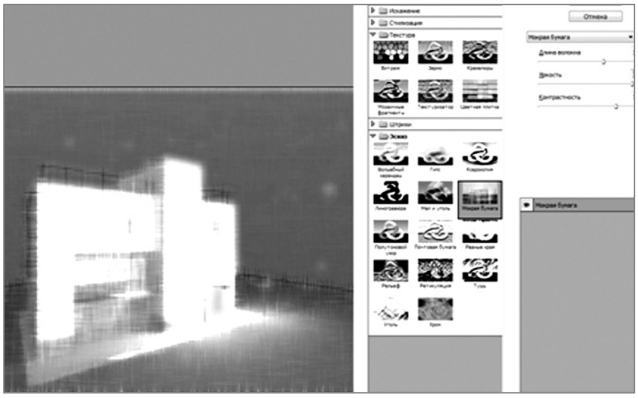


Рис. 24.53. Зміна параметрів фільтру Мокрая бумага

Нижче йдуть назви відкритих файлів.

Зліва від робочого поля редактора розташовано панель інструментів, а справа – засоби роботи з кольорами та шарами.

У останньому рядку відображається інформація про представлення зображення на екрані.

Зовнішній вигляд інтерфейсу можна регулювати у широких межах.

Після завантаження зображення (через пункт головного меню **Файл** указується шлях, а при необхідності – параметри імпорту), малюнок з'являється на екрані. Відкриємо галерею фільтрів через пункт головного меню **Фильтр**. Інтерфейс набуде вигляду, налаштованого для застосування цього інструменту (рис. 24.52).

Після цього залишається обрати один із фільтрів, змінити у бажаний бік доступні параметри (рис. 24.53), і, якщо результат задовольняє, підтвердити свій вибір.

Відфільтроване зображення буде показано у головному вікні, де його можна редагувати, застосовуючи різні інструменти, а потім зберегти.

У процесі зберігання у спеціальному вікні можна задати формати та параметри стиснення (рис. 24.54). Кілька прикладів застосування фільтрів показано на рис. 24.55 – 24.59.

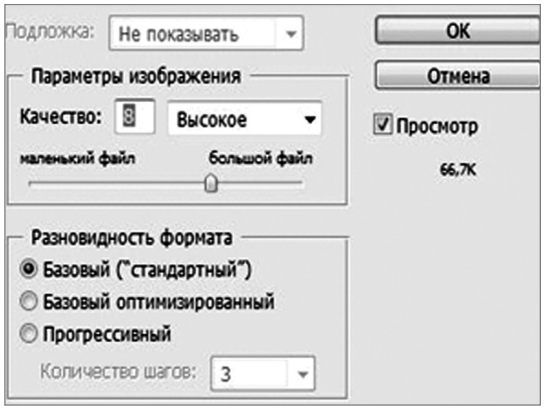


Рис. 24.54 Установка параметрів зберігання



Рис. 24.55. Фільтр Акварель



Рис. 24.56. Фільтр Светящиеся края

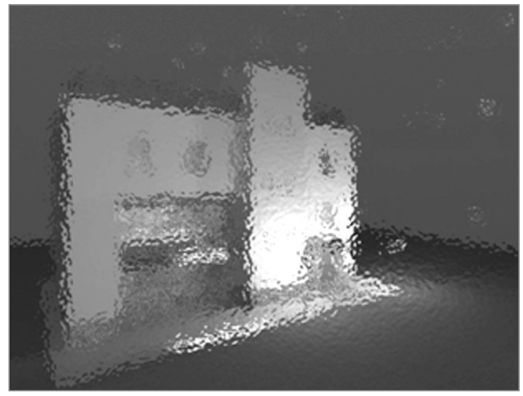


Рис. 24.57. Фільтр Стекло

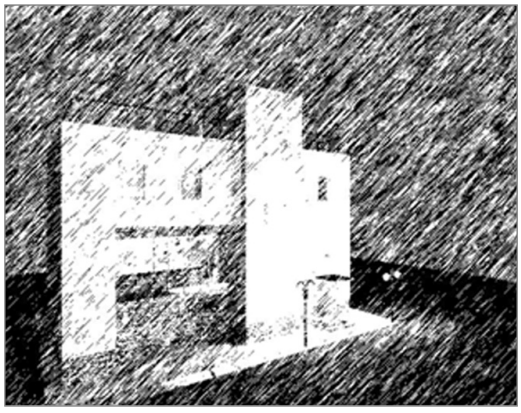


Рис. 24.58. Фільтр Тушь

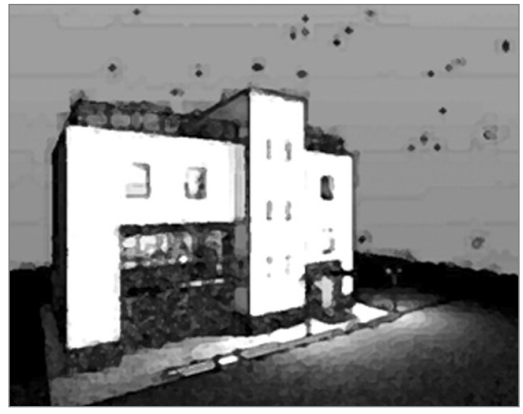


Рис. 24.59. Фільтр Фреска

Самоконтроль. Використати графічний редактор 3D Studio Max для моделювання предмету інтер'єру.
Використати графічний редактор Artlantis для візуалізації.
Використати графічний редактор Adobe Photoshop для постообробки зображення.

24.5. Взаємодія з програмами розрахунку (САПР САПФІР та ЛІРА)

А. Стисла характеристика BIM-технології

Як було показано у попередніх розділах, проектування будинків здійснюється у кілька етапів. В ході ескізного проектування архітекторами за допомогою спеціалізованих програм розробляються концептуальні моделі, що дозволяє знайти виразну форму споруди, визначити геометрію, створити профілі і т.д. Після завершення ескізного проектування модель звичайно експортується у формат традиційної САПР (DXF, DWG і ін.), а потім імпортується у спеціалізовані програми для розрахунків,розробки кошторисної документації тощо.

Недоліки роз'єднаного процесу створення схематичної й детальної моделей очевидні. Насамперед, необхідно постійно переходити від однієї моделі до іншої. Імпорт і експорт файлів може відняти багато часу й супроводжуватися помилками. Губиться важлива інформація про будинок, отриманий на стадії ескізного проектування; особливо це стосується архітектурного задуму. При зміні ескізу на стадії детального пророблення (таке трапляється, коли замовник раптово хоче щось змінити) доводиться виправляти ескізну модель, імпортувати її в детальну модель і намагатися синхронізувати їх вручну або видаляти елементи, яких торкнулися зміни, і проектувати їх заново, втрачаючи всі уже підготовлені креслення і візуалізації.

Змінити це становище на краще дозволяє технологія ***інформаційного моделювання будинків*** (BIM) – процес, заснований на використанні точних і скоординованих даних на всіх етапах від розробки концепції будинку до його зведення і здачі в експлуатацію.

При цьому більшість інформації, необхідної для виконання розрахунків, обліку нормативних вимог і підготовки до сертифікації, береться із самої моделі, забезпечуючи тим самим економію часу й засобів. Архітектори одержують доступ до надійної, погодженої інформації про проектований будинок. Це допомагає більш успішно взаємодіяти з партнерами. BIM-технологія допомагає проектувальникам систем опалення, водопостачання, каналізації, електричних і санітарно-технічних систем передбачати кінцевий результат проектування ще до того, як почнеться будівництво.

Тривимірна модель споруди пов'язана з інформаційною базою даних, у якій кожному елементу моделі можна привласнювати додаткові атрибути. Особливість такого підходу полягає в тім, що будівельний об'єкт проектується фактично як єдине ціле. Протягом життєвого циклу будинку, інформація може змінюватися, доповнюватися й поєднуватися. Таким чином, інформація, що описує поточний стан будинку з історією змін є своєрідним «віртуальним» будинком.

BIM технологія має дві головних переваги перед CAD-технологіями:

1. Моделі і об'єкти тепер не просто графічні об'єкти, а інформація, яка дозволяє автоматично створювати креслення та звіти, виконувати аналіз проекту, моделювати графік виконання робіт, враховувати експлуатацію об'єктів і т. д. Наявність такої інформації надає колективу будівельників необмежені можливості для ухвалення найкращого рішення з урахуванням усіх наявних даних;
2. Різні системи проектування можуть ефективно й спільно використати інформацію протягом усього життєвого циклу будинку, що виключає повторне уведення й втрату даних, помилки при їхній передачі й перетворенні.

Б. Реалізація BIM-технології у САПР САПФІР

Розглянемо, як відбувається введення даних, побудова архітектурних та аналітичних моделей.

Як і у ArchiCADi, у САПФІР використовується параметрична модель будинку, але вона містить усі дані, необхідні для подальших деталізацій: використаються матеріали з реальними фізико-механічними властивостями (для розрахунку), з реальними текстурами (для візуалізації) (рис. 24.60), із даними для обчислення фізичних обсягів робіт при переході до складання кошторисів.

Проектувальник може в будь-який момент перетворити окремі грані формотворчих елементів у компоненти стіни, даху, перекриття, стінових огороджень і т.д. Хоча ці компоненти моделі в загальному випадку не повторюють розташування граней, САПФІР встановлює зв'язок між геометрією концептуальної моделі та будівельних компонентів, які з неї формуються. Таким чином, зміни у концептуальній моделі можуть переходити в детальну проектну модель і навіть у робочу документацію.

Однією з найбільш важливих переваг BIM-технологій є тісний інформаційний взаємозв'язок між архітектурною й аналітичною моделями. Архітектурна модель містить всі основні елементи, що визначають експлуатаційні якості й технологію функціонування об'єкта: призначення й взаємне розташування приміщень, стін, колон, балок, вікон, дверей, сходів тощо (рис. 24.61). Аналітична модель включає тільки конструктивні елементи: несучі стіни, колони, пілони, балки, плити перекриттів, фундаментні плити, тобто елементи, які відповідають за міцність і стійкість спорудження (рис. 24.62).

Такий інформаційний взаємозв'язок не тільки визначає адекватну побудову аналітичної моделі, але й у процесі проектування допомагає досягти компромісу між архітектором і конструктором.

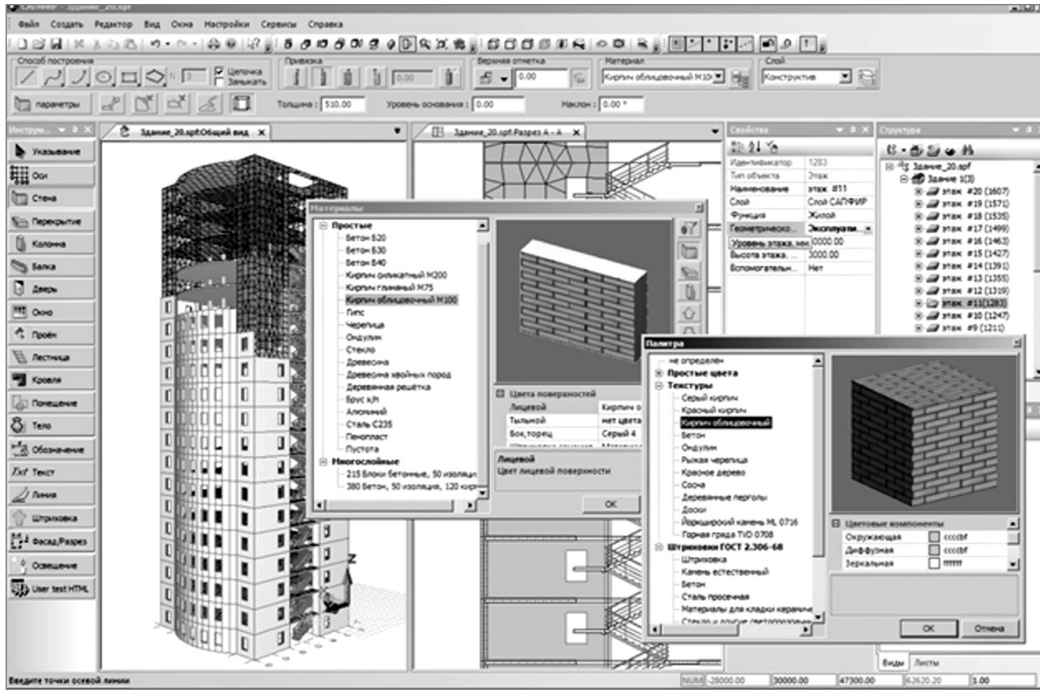


Рис. 24.60. Діалогові вікна завдання матеріалів

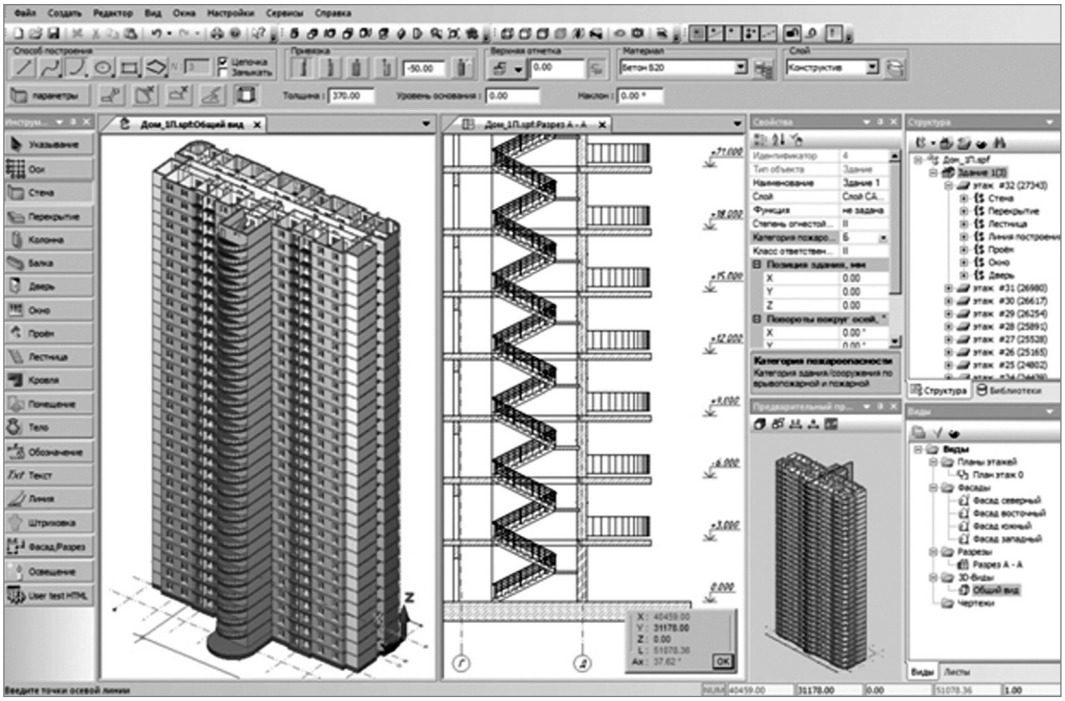


Рис. 24.61. Архітектурна модель

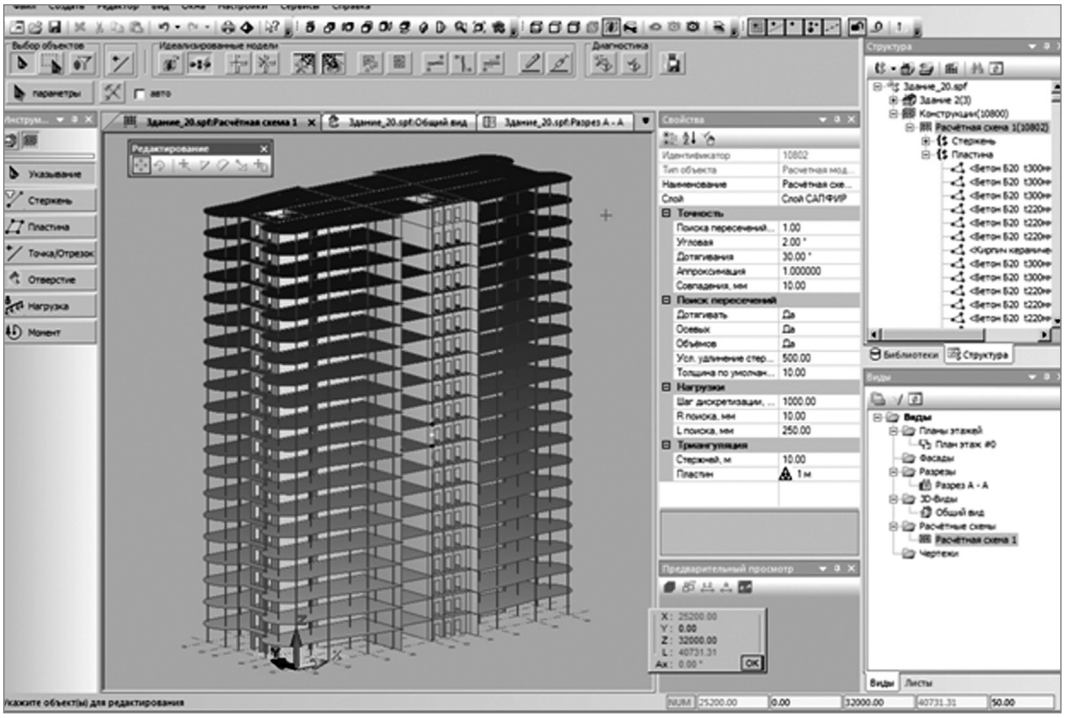


Рис. 24.62. Аналітична модель

Аналітична модель вирішує два важливих питання:

- передається в розрахунковий комплекс і доповнюється засобами розрахункового програмного комплексу;
- забезпечує адекватний зв'язок архітектурної й розрахункової моделі з розвиненою візуальною й змістовною діагностикою, наприклад, на рис. 26.63 показано фрагмент аналітичної моделі відображеної на архітектурній моделі, як на підкладці.

Отже, програма САПФІР крім архітектурного проектування будинків і споруджень та документування проектних рішень дозволяє виконати підготовку моделей для розрахунків на міцність.

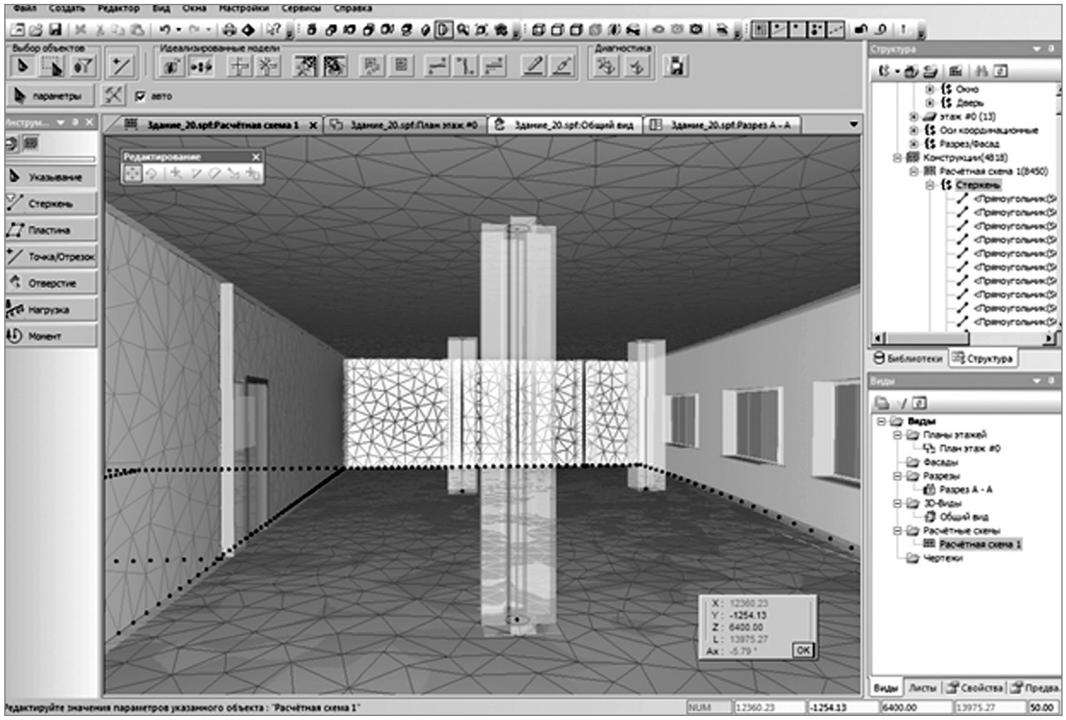


Рис. 24.63. Візуалізація фрагмента аналітичної моделі

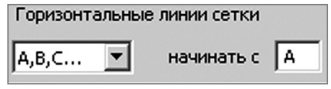
Барабаш М.С., Ковальов Ю.М. Реалізація BIM-технології у САПР САПФІР//Прикладна геометрія та інженерна графіка.

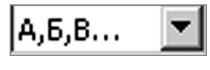
В. Побудова просторової моделі каркаса будинку відбувається у кілька етапів:

1. Побудова сітки осей:

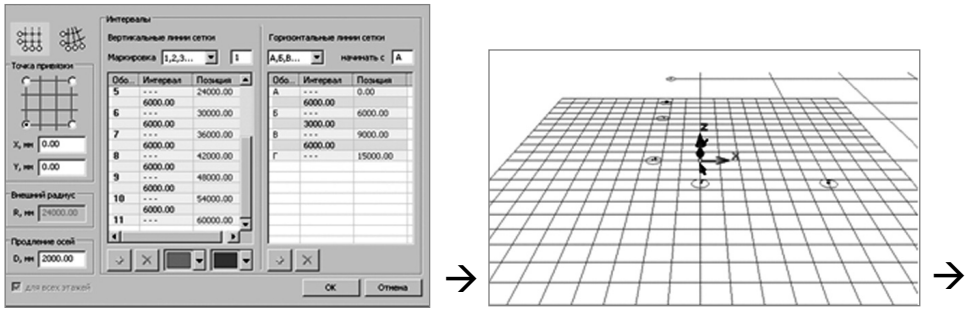
Обираємо 

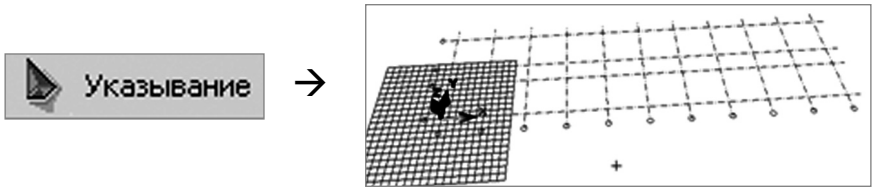
→ 

→ маркування горизонтальних осей кирилицею 

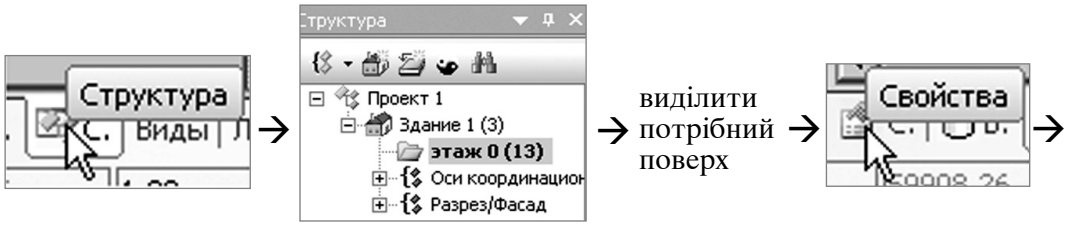
→ 

→ додавання інтервалів по горизонталі або вертикалі  →



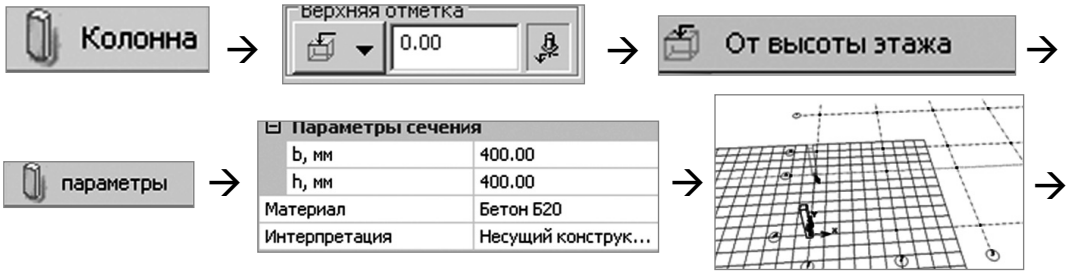


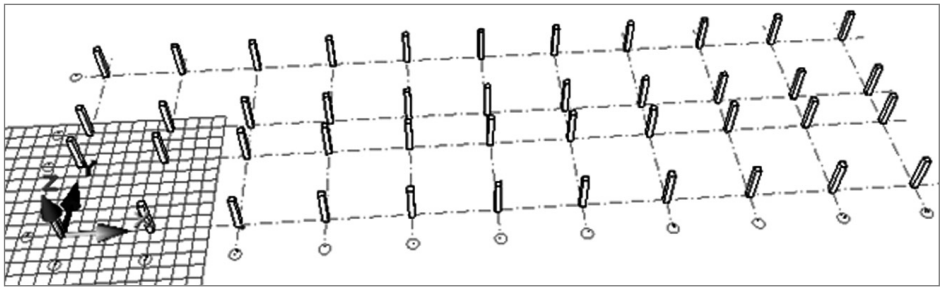
2. Завдання висоти поверху:



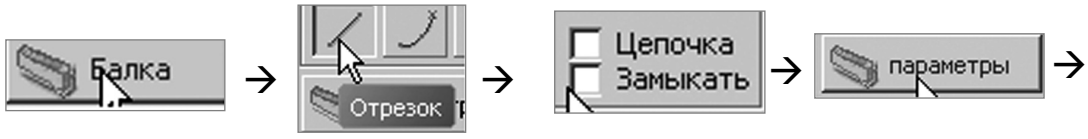


3. Побудова колон:

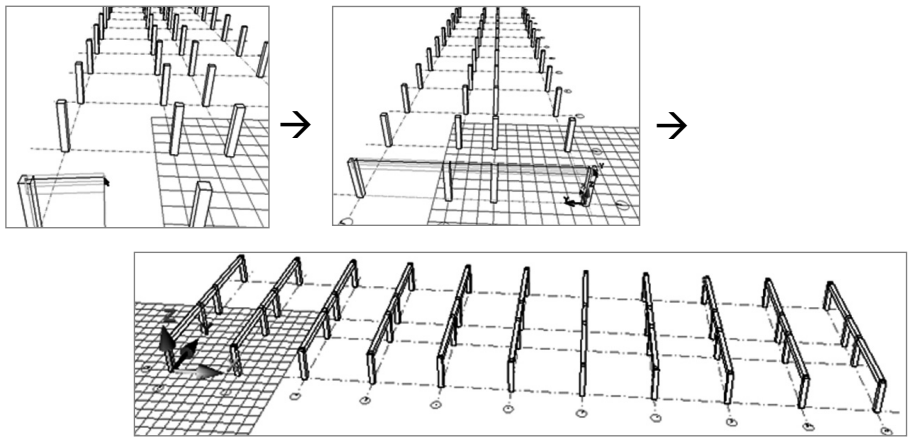




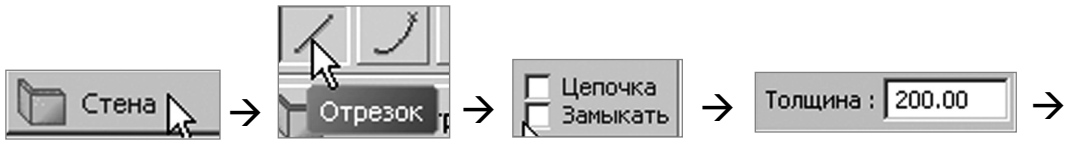
4. Побудова ригелів:



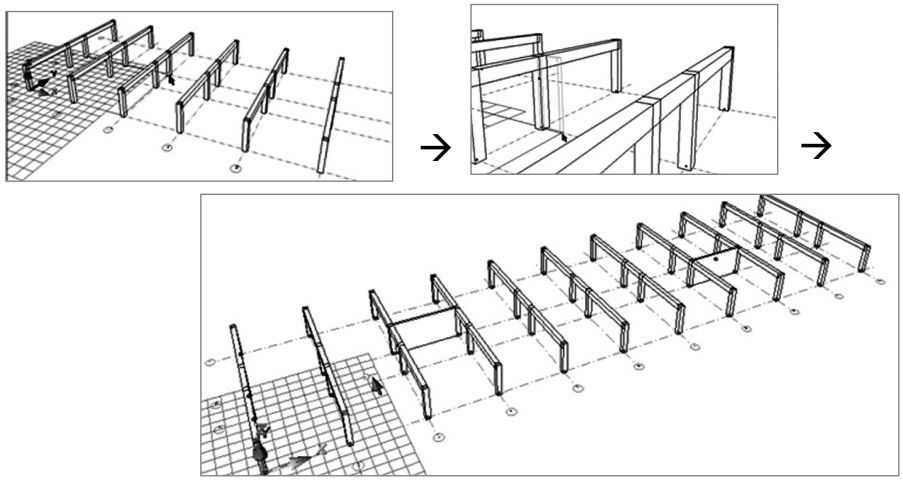




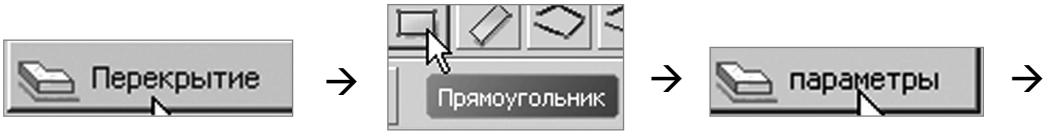
5. Побудова діафрагм:



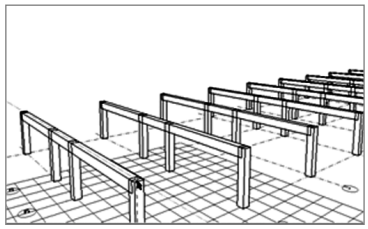


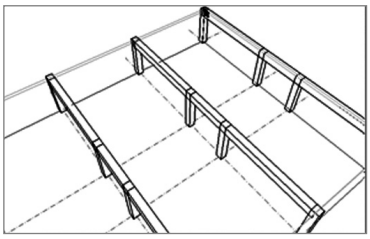


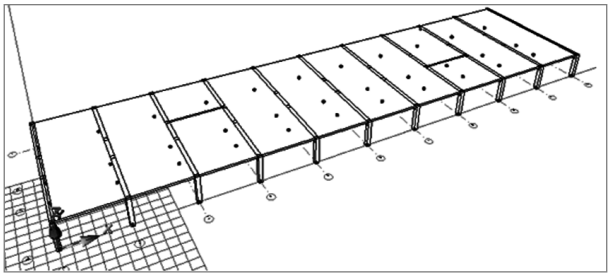
6. Побудова перекриттів:



Интерпретация	Несущий конструктив
Цвета	
Цвет граней	f0f0e0
Цвет линий	505040
Толщина, мм	200.00
Верхняя отметка	
Высотная привязка	От верха этажа
Возвышение, мм	0.00



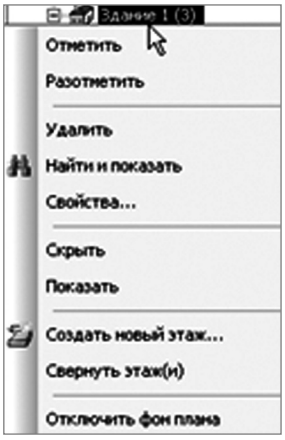


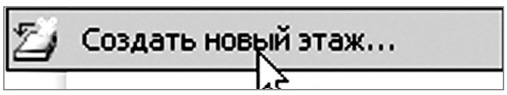


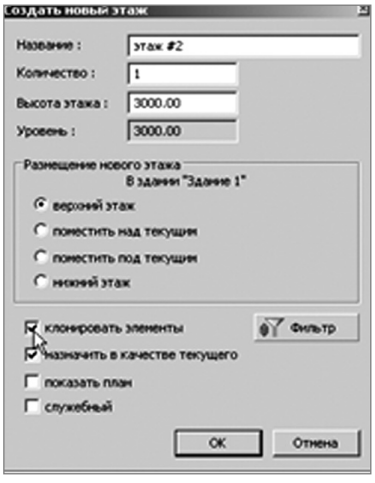
7. Копіювання поверхів:

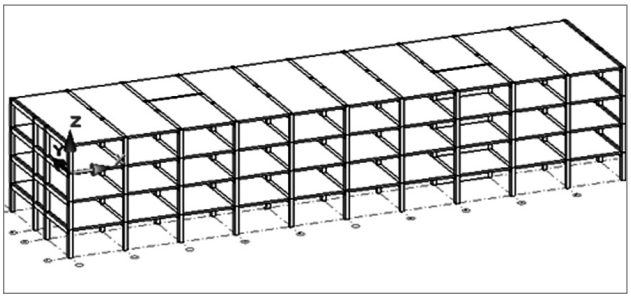


(права кнопка миші)





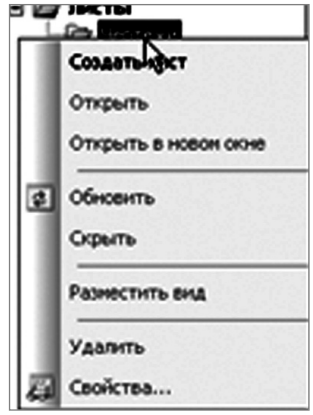




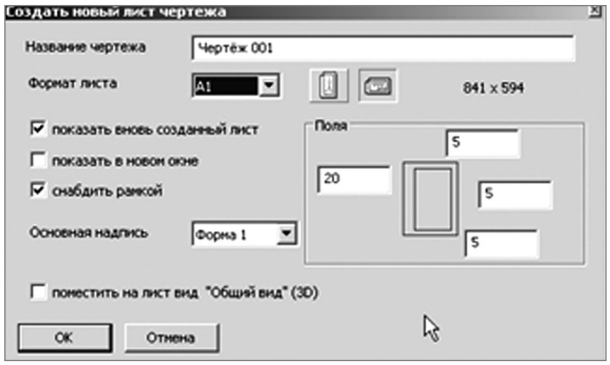
8. Створення креслення:



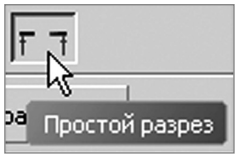
(права кнопка миші)



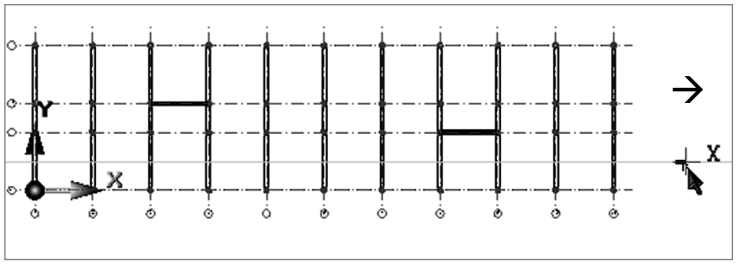


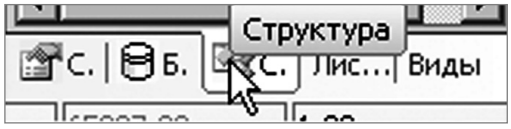




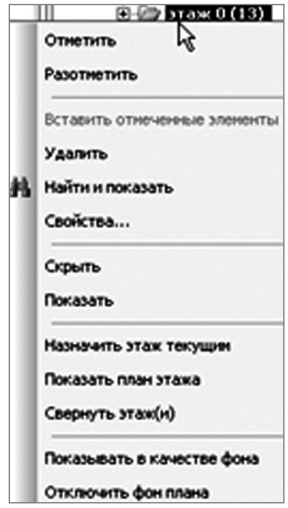




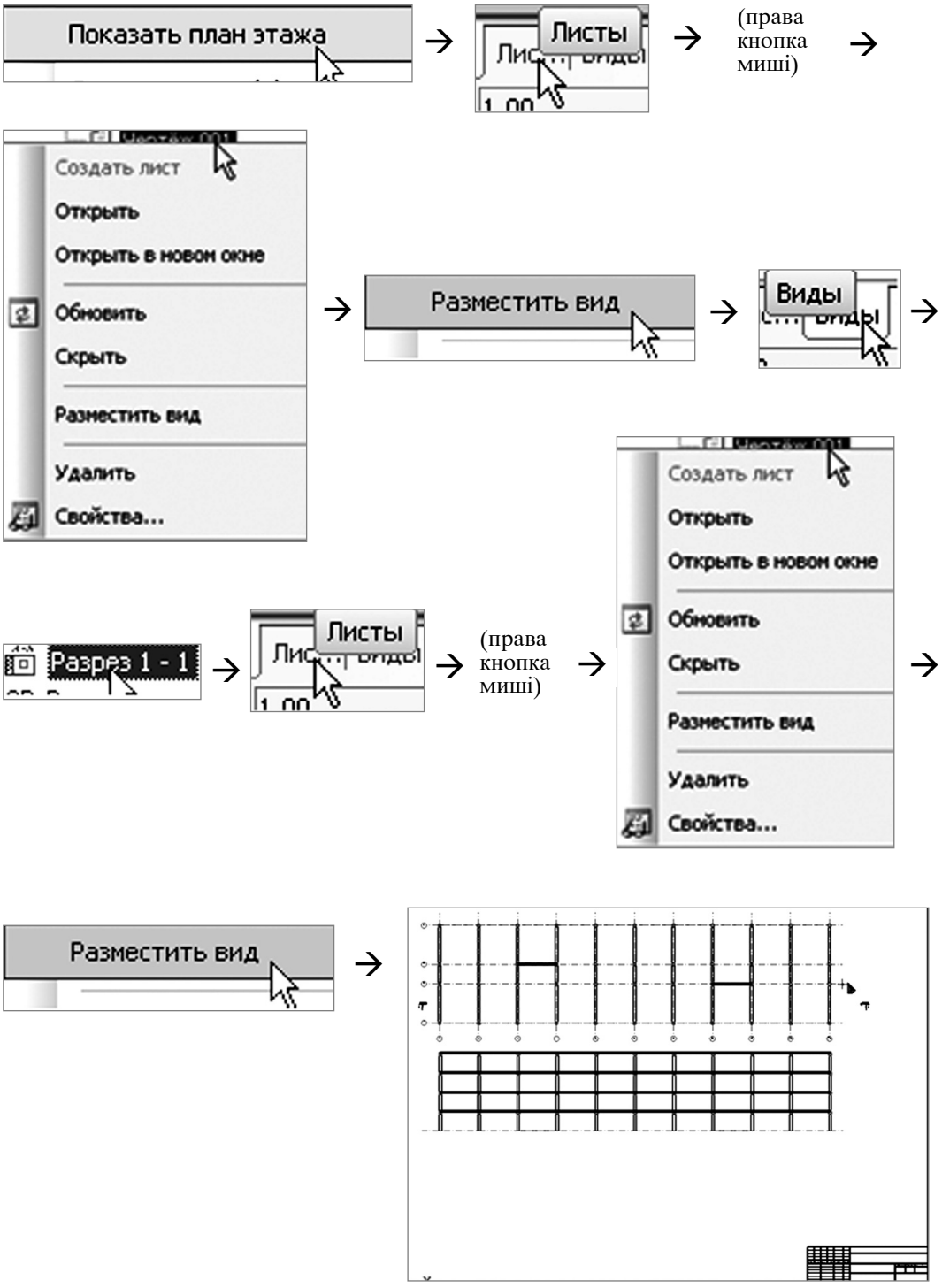


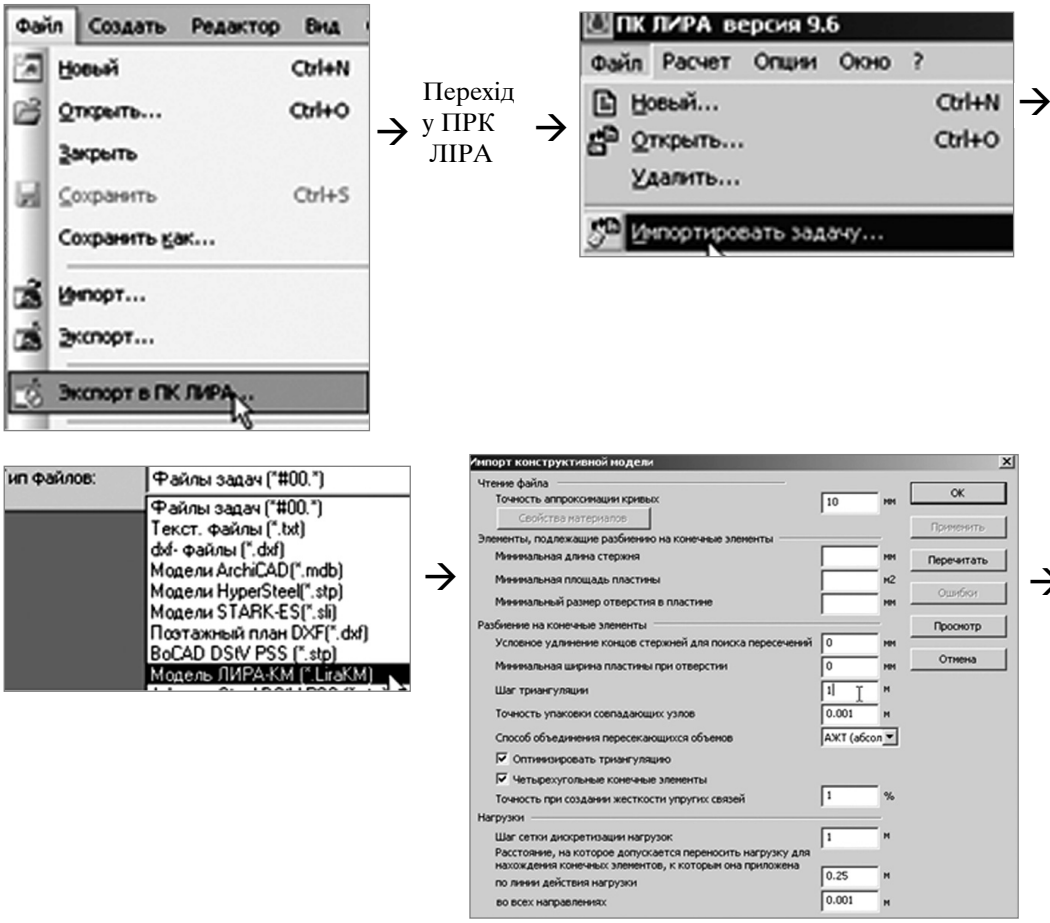


(права кнопка миші)



Г. Експорт моделі в розрахунково-програмний комплекс ЛІРА





Самоконтроль. У чому полягає ідея BIM-технології і у чому її переваги? Порівняйте призначення, функціональні можливості та звязки із сторонніми програмами ArchiCADy, AutoCADy та САПФІР.

ЧАСТИНА ТРЕТЯ

СУЧАСНІ НАПРЯМИ

Чимало навчальних дисциплін засновані на положеннях,
здобутих наукою ще в XIX столітті.
Спробуйте, наприклад, підрахувати скільки лекцій відводиться на викладання
класичної механіки і скільки – ядерної фізики чи теорії відносності.
Замисліться, чому це так – і перечитайте розділ 1.
Автори вважають, що слід обов'язково дати поняття про зміст
сучасних досліджень, бо тільки так можна скласти адекватне уявлення
про прикладну геометрію.
Ми відібрали чотири, як нам здається, найбільш актуальні
і практично значущі напрями.
Це багатовимірна геометрія, через її зв'язок із задачами
багатокритеріальної оптимізації.
Це моделювання складних систем – напрям, пов'язаний як з основами геометрії,
так із всебічним дослідженням людини як провідного компонента
ергатичних та організаційних систем, а також – що важливо для архітекторів
та будівельників – систем «людина – житло – середовище».
Це дослідження динамічних систем та процесів – від рухомих деталей машин
до розповсюдження фронтів лісних пожеж.
Це, нарешті, розпізнавання образів – основа геоінформаційних
та діагностичних систем.
Слід розуміти, що наведені матеріали є не більше, ніж вступом до серйозних
наукових досліджень – для повного уявлення слід перечитати багато томів
монографій, дисертацій та наукових збірок – але для когось
це стане першим кроком життя, присвяченого науці.

25. БАГАТОВИМІРНА ГЕОМЕТРІЯ

Багатовимірна геометрія є одним з найабстрактніших витворів людського розуму – і тим не менш вона знаходить чимало конкретних і дуже важливих застосувань.

25.1. Приклади і узагальнення

Розглянемо просту економічну задачу. Слід вибрати процесор для персонального комп'ютеру так, щоб він був найкращим з точки зору співвідношення продуктивності і ціни. Задачі такого типу називаються оптимізаційними. Їх розв'язання припускає нескладну геометричну інтерпретацію. Введемо на площині систему координат «ціна – продуктивність» і зобразимо процесори, які випускаються на момент написання підручника. Це буде дискретна множина точок (рис. 25.1).

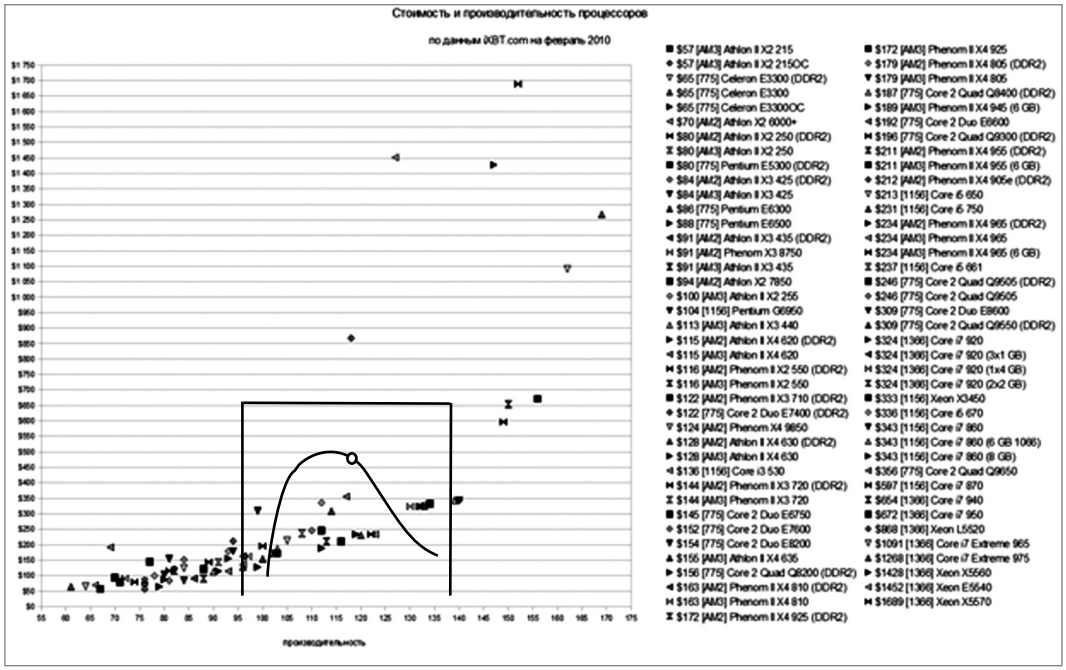


Рис. 25.1. Оптимізація вибору процесора

Введемо додаткові обмеження максимальних і мінімальних продуктивності і ціни, виходячи з реальних потреб і можливостей (товсті лінії на рис. 25.1). Така оптимізація називається ***умовною***. Неважко побачити, що неможливо досягти одночасного покращення ціни і продуктивності і треба шукати певний компроміс (це – ***оптимізація за Парето***). Компроміс виражається у вигляді ***узагальненої цільової функції*** (крива на рис. 25.1), екстремальному значенню якої в зоні обмежень відповідає оптимальний вибір. В нашому випадку це процесор фірми AMD. Можемо врахувати додаткові показники, наприклад, вірогідність відмови процесору на протязі терміну експлуатації, ціну материнської плати, енерговитрати. Щоб їх виразити знадобиться 5-тивимірний простір і 5 координатних осей; цільова функція зобразиться як ***гіперповерхня*** в цьому просторі. Отже, природне узагальнення двовимірної задачі привело до багатовимірного простору.

Наведемо ще кілька прикладів. Рівновага процесів в ході хімічних реакцій залежить від кількох факторів і виражається гіперповерхнею багатовимірного простору. Стан технічної системи описується інколи сотнями чи тисячами параметрів і може бути виражений багатовидом багатовимірного простору. Простір-час в теорії відносності виражається як чотиривимірний псевдоевклідовий простір Мінковського. Існує теорема Нетер, яка пов'язує закони збереження з симетріями простору-часу. Фізики підрахували, що для вираження відомих законів збереження необхідним є 11-вимірний простір. Отже, цілком можливо що ми, навіть того не підозрюючи, живемо в просторі з 11 вимірами!

Концепцію багатовимірного простору можна простежити ще в працях античних філософів (Діофант, III ст.) і середньовічних авторів. Проте творцями багатовимірної геометрії вважаються А. Келі, Г. Грассман, і Л. Шлефлі, які публікували свої дослідження в середині XIX століття. Півтори сотні років розвитку позбавили багатовимірну геометрію містичного забарвлення і узагальнили її положення на неевклідові (в тому числі, проективний і афінний простори) та простори нецілої і від'ємної розмірності, про що вже згадувалося в розділі 1.

Не вдаючись до сучасних складних уявлень розберемо хід побудови багатовимірного евклідового простору, способи зображення, а також деякі нескладні властивості.

Самоконтроль. Наведіть власні приклади задач, які припускають інтерпретацію в просторах великої розмірності.

25.2. Аксіоми і властивості

В принципі, аксіоматика багатовимірного простору є узагальненням системи аксіом Гілберта. Так само виконуються п'ять груп аксіом: належності, порядку, конгруентності (або рухів), неперервності та паралельності.

Вісім аксіоми належності фіксують відношення «належності» для точок, прямих, площин, наприклад: для будь-яких двох точок існує пряма, що проходить через них; для двох відмінних точок існує не більше однієї прямої, що проходить через кожну з цих точок і т. д. Не виконується сьома аксіома – якщо дві площини мають спільну точку, то вони мають ще принаймні одну спільну точку. Аксіома є визначальною для тривимірного простору; якщо ж існують дві площини лише з однією спільною точкою, то простір, як мінімум, чотиривимірний. Отже, в групі залишається сім аксіом.

Чотири аксіоми порядку визначають відношення «між», наприклад, якщо т. В лежить між точками А і С, то А, В, С – різні точки однієї прямої і т. В також лежить між точок С і А; серед будь-яких трьох точок прямої існує не більше за одну точку, яка лежала б між двома іншими і т. д.

П'ять аксіом конгруентності описують відношення «конгруентності», наприклад, якщо для двох трикутників ABC і $A^1B^1C^1$ маємо $AB \equiv A^1B^1$, $AC \equiv A^1C^1$, $\angle BAC \equiv \angle B^1A^1C^1$, то $\angle ABC \equiv A^1B^1C^1$ і т. д. Заміна цих аксіом, що реалізуються при повороті і паралельному переносі, на аксіоми, що відповідають афінним чи проективним перетворенням, означає перехід до афінної чи проективної багатовимірної геометрії.

Дві аксіоми неперервності встановлюють відношення «неперервності». Так, нехай АВ і СЕ – два відрізки. Тоді на прямій АВ існує кінцева множина точок A_1, A_2, ..., A_n таких, що т. A_1 лежить між точками А і A_2, т. A_2 лежить між точками A_1 і A_3 і т.д., причому відрізки AA_1, A_1A_2, ..., $A_{n-1}A_n$ конгруентні відрізку СЕ

і т. В лежить між А і A_n. Прийняття іншої аксіоми є ознакою багатовимірної неархімедової геометрії.

Одна аксіома п'ятої групи задає відношення «паралельності»: нехай дані пряма *a* і т. А, що не належить *a*. Тоді в площині, що визначається прямою *a* і т. А, існує не більше за одну пряму, що проходить через т. А і не перетинає *a*. Твердження про існування двох паралельних прямих задає багатовимірну геометрію Лобачевського.

Таким чином, маємо наступне визначення.

Визначення 25.1. ***Багатовимірною евклідовою геометрією*** *називається розділ геометрії, що вивчає форми і відносини простору, для якого виконуються наведені вище аксіоми.*

Існує рівнозначне визначення багатовимірного простору в термінах векторної алгебри.

Визначення 25.2. ***Скінченновимірним евклідовим простором*** E^n *називається векторний простір, в якому існує базис з n лінійно незалежних векторів; будь-який n+1 вектор є лінійно залежним; визначений скалярний добуток 2-х будь-яких векторів, причому скалярний квадрат ненульового вектора є додатним.*

З невиконання сьомої аксіоми належності випливає, що цікавих властивостей слід чекати там, де перетинаються підпростори різної розмірності. Наведемо приклади.

Властивість 25.1. *Якщо в* E^n *перетинаються підпростори* $П^m$ *і* $П^k$*, то результат залежатиме від їх співвідношення з n: якщо* $m+k \geqslant n$*, результатом є підпростір* $П^l, l=m+k-n$*; якщо* $m+k<n$*, підпростори не перетинаються, а знаходяться в просторі* $П^p$*,* $p=m+k+1$*.*

Так, для E^4 *маємо:*

$П^2 \cap П^2 \to 0$ *(перетином площин є точка);*

$П^3 \cap П^3 \to П^2$ *(перетином гіперплощин є площина);*

$П^1 \cap П^2 \to П^4$ *(пряма і площина не перетинаються, визначаючи новий чотиривимірний простір).*

Багаточисельні твердження тривимірної геометрії припускають узагальнення на багатовимірний випадок, а їх виведення зводиться до простої індукції. Наприклад, якщо зафіксувати розмірність вершин, ребер і граней як P^0, P^1, P^3 відповідно і продовжити цей ряд на об'єкти P^4, ... P^n простору E^{n+1}, то формула Ейлера (розділ 5) для багатогранників легко трансформується.

Властивість 25.2. *Різниця сум двоїстих елементів багатогранників простору* E^{n+1} *дорівнює*

$$P^0-P^1+P^2-\ldots+(-1)^{n-2}P^{n-2}+(-1)^{n-1}P^{n-1}=1+(-1)^{n-1}$$

Самоконтроль. Перевірте, чи існує в п'ятивимірному просторі багатогранник з характеристиками: $P^0=12$, $P^1=8$, $P^2=12$, $P^3=16$, $P^4=12$.

Інколи зміна розмірності кардинально змінює властивості. Наприклад, кількість правильних багатогранників для E^3 дорівнює 5 (розділ 5). В чотиривимірному просторі їх 7, але індукція не спрацьовує: в просторі п'яти і більше вимірів існує тільки по 3 правильних багатогранника (аналоги тетраедра, куба і двоїстого йому октаедра).

В багатовимірному просторі досить часто можна застосовувати узагальнення формул аналітичної геометрії. Так, наприклад, відстань між точками А $(x^1, x^2, \ldots x^n)$ і В $(y^1, y^2, \ldots y^n)$ в просторі E^n обчислюється за звичною формулою

$$AB = \sqrt{(x^1 - y^1)^2 + ... + (x^n - y^n)^2}$$

Гіперплощина (підпростір розмірності на одиницю менший, ніж простір) в E^4 виражатиметься рівнянням

$Ax^1 + Bx^2 + Cx^3 + Dx^4 + E = 0,$

або, в матричній формі і якщо площина проходить через точки з координатами $(x^1, ... x^4)$, $(y^1, \dots y^4)$, $(z^1, \dots z^4)$, $(t^1, \dots t^4)$:

$$\begin{vmatrix} x^1 & y^1 & z^1 & t^1 & 1 \\ x^2 & y^2 & z^2 & t^2 & 1 \\ x^3 & y^3 & z^3 & t^3 & 1 \\ x^4 & y^4 & z^4 & t^4 & 1 \end{vmatrix} = 0$$

Мають місце й інші аналогії.

Самоконтроль. Запишіть формулу гіперплощини п'ятивимірного простору, що проходить через точки A (0, 0, 0, 20, 20), B (10, 10, 10, 30, 30), C (1, 12, 24, 12, 13), D (20, 20, 20, 30, 30) і E (40, 20, 30, 10, 0). Знайдіть відстань між точками A і E.

25.3. Епюри і зображення

При побудові ***нарисної геометрії багатовимірного простору*** виникає та ж проблема оборотності креслення, що й для тривимірного випадку: проекційні системи повинні надавати можливість відтворення об'єкту за плоскими зображеннями. Крім того, простір доповнюється невласними елементами з відповідною зміною аксіом; причини і наслідки цього також описані в розділі 2. Розглянемо кілька проекційних систем, що найчастіше застосовуються для зображення об'єктів багатовимірного проективного простору.

А. Векторіальні (федорівські) проекції

Слід домовитись, паралельно до яких ліній відкладаються вектори, що відповідають третій, четвертій, п'ятій і т. д. координатним осям. Точка буде зображатись проекцією і сукупністю векторів. Так, точка п'ятивимірного простору A^5 буде зображатись як (A_1, *a, b, c*), де *a, b, c* – вектори, що відповідають координатам (x^3, x^4, x^5) (рис. 25.2). Такий спосіб є зручним, проте не досить наочним.

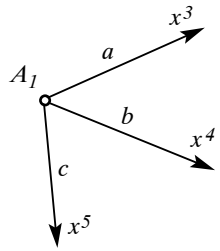


Рис. 25.2. Точка E^5 в векторіальних проекціях

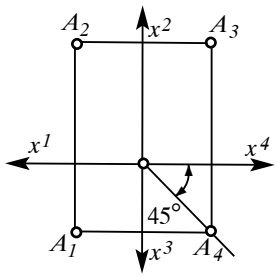


Рис. 25.3. Точка E^4 на епюрі Шуте

Б. Епюр Шуте

Епюр Шуте є своєрідним узагальненням епюру Монжа. Слід домовитись про напрями координатних осей. Проекційні зв'язки перпендикулярні до осей. Проекції точки чотиривимірного простору будуються так, як показано на (рис. 25.3).

В. Епюр Гумена

Цей епюр був запропонований професором М.С. Гуменом. Від попереднього він відрізняється напрямом осей і зв'язків. Проекції точки чотиривимірного простору показані на рис. 25.4.

Г. Креслення Радищева

Ідея цього епюру полягає в суміщенні координатних осей і поділі площин проекцій на окремі зони, відповідні відрізкам координатних осей. При цьому зберігається звичний характер проективних зв'язків, але щезає можливість відкладати великі значення координат. Проекції точки чотиривимірного простору показані на рис. 25.5.

Відомі ще кілька епюрів, що мають ті чи інші переваги.

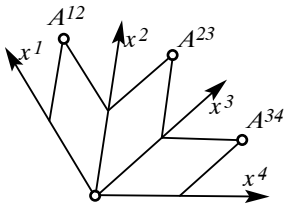


Рис. 25.4.
Точка E^4 на епюрі Гумена

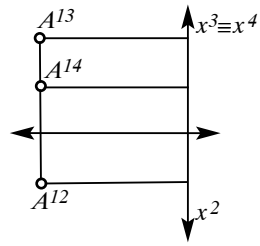


Рис. 25.5.
Проекції точки E^4 на кресленні Радищева

Д. Прості фігури

Для прикладу наведемо визначення і зображення багатогранників.

Визначення 25.3. N-вимірним багатогранником *(або n-багатогранником) називається замкнена обмежена область в E^n, границя якої складається з кінцевої кількості (n–1)– багатогранників.*

Так, призма заповнюється паралельними відрізками, проведеними з усіх точок (n–1) – багатогранника основи; піраміда – відрізками, проведеними з окремої точки до всіх точок (n–1) – багатогранника основи. N-куб є прямою призмою, гранями якої є (n–1) куби, тощо.

Об'єми багатовимірних багатогранників узагальнюються за допомогою індукції: V^1 – довжина, V^2 – площа, V^3 – об'єм і т. д.

Наприклад, об'єм призми

$V=Sh,$

де S – (n–1) – об'єм основи; h – висота.

Об'єм піраміди

$V=Sh/n,$

де n – розмірність багатогранника.

Найпростішою фігурою, яка, проте, має важливе теоретичне значення, є симплекс – фігура, визначена n+1 точкою простору E^n загального розташування. Так, симплексом E^1 (прямої) буде відрізок, E^2 (площини) – трикутник, E^3 – тетраедр і т.д.

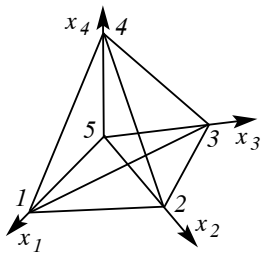


Рис. 25.6. Симплекс E^4

Задача 25.1. *Зобразити симплекс чотиривимірного простору (рис. 25.6).*

Симплекс E^4 буде задаватись п'ятьма точками. Визначивши напрями осей, відкладемо ці точки (процедуру слід робити ретельно, а координати можна брати довільно). Результат – 4-піраміда, кожною з граней якої є 3-піраміди – показано на рис. 25.6.

Самоконтроль. Який з описаних вище епюрів використано? Побудуйте симплекс E^5, взявши довільні координати вершин, і підрахуйте його об'єм.

26. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

Поняття ***складної системи*** було введено в науковий обіг Л. фон Берталанфі у 50-ті роки. З позицій прикладної геометрії системи першим почав досліджувати професор К. І. Вальков на межі 70-років. У 90-ті роки проблемами моделювання та оптимізації складних систем зацікавився Ю. М. Ковальов. Наведені нижче результати – аксіоми хвильової моделі С-простору, сценарії теорії самоорганізації, класифікація і способи побудови моделей, моделі «людина – середовище», «ергатична система», «людина – житло – середовище», «технологічна система», теорії сприйняття, прийняття рішень, пояснення гомеостазу, виникнення хвороб, адаптації до зовнішніх впливів, методики оцінки стану та підготовки оператора, стратегії оптимізації ергатичних та технологічних систем, концепцій психологічного комфорту, динамічного житла, застосування до дослідження природних мов – є наслідками його досліджень.

26.1. Приклади і узагальнення

З методичних міркувань будемо проводити паралелі з багатовимірною геометрією (розділ 25).

Всесвіт є складною системою, що містить у собі компоненти, які здебільшого теж відносяться до складних систем. Задачі дослідження, проектування, та експлуатації складних систем відносяться до найпоширеніших. Звідси випливає важливість проблеми створення математичного апарату, адекватного властивостям таких систем.

Щоб проілюструвати це, розглянемо уважніше задачу багатокритеріальної оптимізації. Навіть у описаному в розділі 25 простому випадку мали місце певні натяжки – якісно відмінні фактори ціна і продуктивність, що мають власні одиниці виміру, вводилися до складу єдиного рівняння цільової функції за допомогою суб'єктивно заданих коефіцієнтів. Для систем, що описуються великою кількістю різнорідних параметрів, питання коректного визначення аргументів, коефіцієнтів і обмежень цільових функцій, приведення їх до однорідної форми, визначення розмірності і метрики простору, труднощі пошуку екстремумів функцій *практично унеможливлюють оптимізацію.*

Натомість, оптимальність природних складних систем, таких, як біологічні співтовариства, виражена як пристосованість до зовнішніх умов, є результатом не формальних процедур, а еволюції, тобто зовсім іншої стратегії оптимізації. Аналізуючи приклади живих організмів, суспільств, геологічних і космічних утворень, констатуємо наявність відкритості, цілісності, незвідностідо окремих складових (це називається *емерджентністю і неадитивністю), гомеостазу, регенерації, еволюції і самоорганізації,неоднорідності, непорівнянності, незвідності, зміни якості і кількості компонентів, розвитку і старіння, «стріли часу», вибірковості, нелінійності, порогового ефекту взаємодій.*

Найбільш принциповим підходом у цій ситуації є створення нової парадигми у складі геометричної системи $G=(E,O,R)$, де E – непорожня множина геометричних об'єктів, O – сім'я операцій o_i: $E^{ni} \to E(i \in I)$ і R – сім'я відношень $r_j \subseteq E^{mj}(j \in J)$, заданих аксіомами, адекватними властивостям складних систем, відповідних засобів опису та методів дослідження. Для практичного застосування потрібні й інші компоненти – теорія самоорганізації, засоби відображення, моделі – а також фундаментальні дослідження з метою інтерпретації і пояснення відомих фактів в рамках нової парадигми.

26.2. Аксіоматична хвильова модель С-простору

Введемо поняття, які характеризують концепцію *С – простору (Сп,°).*

Сп розуміється як результат розпаду універсуму *(У)* на частини, названі суб'єктом *(С)* та об'єктом *(О)*[1], і, в силу свого граничного положення, є одночасно апаратом, який забезпечує настроювання конкретного С на конкретний О, і моделлю С або О. Відповідні С – відображення називаються: тернарною зв'язкою *(ТЗ)*, внутрішнім *(вР)* і зовнішнім *(Рз)* розщепленням. Зв'язок елементів Сп задається Г– операторами (аналіз, синтез, проекціювання, ототожнення). Необхідність задовольнити якостям складних відкритих систем приводить до наступної структури аксіоматичної моделі.

Аксіоми першої групи задають структуру простору та визначають роль зовнішніх впливів в його еволюції.

1.1. *Спостереження переводить С-простір у стан актуального існування:*

Н,° А,

де *Н* позначає вплив С і О[1], модальність *А* – актуальне існування Сп.

1.2. *С-простір є носієм потенційно існуючих множин, що містять потенційно існуючі елементи – хвилі і солітони:*

° ⊃(□(П(∪•П)),

де □ – позначення С – множин, ∪ і • – хвиль і солітонів (їх вибір як елементів Сп пояснюється необхідністю відобразити мінливість або незмінність компонентів); модальність ***П*** визначає можливість існування конкретного Сп.

1.3. *Спостереження С – простору ініціює його розшарування на актуально існуючі С множини:*

Н°Р□А,

де *Р* – розшарування, тобто диференціація Сп в ході його еволюції.

1.4. *Спостереження С множини ініціює його розшарування на актуально існуючі С-елементи:*

Н□Р∪•А

1.5. *Спостереження С елементів ініціює перехід від хвиль до солітонів і навпаки; його припинення – зникнення елементів:*

Н∪•А→(∪А↔•А)

∪•А→∪•П↓

де ↔ – позначення переходу хвиль у солітони і навпаки; модальність стану ↓ вказує на припинення існування елементів.

Аксіома другої групи визначає координацію всіх змін Сп.

2.1. Хід розшарування С-простору визначає структуру С-множин і модальність стану С-елементів – збудження (⟨) або згасання (⟩); стан елементів характеризує структуру С – множин і спрямованість змін Сп:

°Р(□А((∀∪•А(∪•⟩∨∪•⟩)))

Аксіоми третьої групи встановлюють набір припустимих операцій (абстракції відомих хвильових взаємодій).

3.1.Суперпозиція ***С*** *актуально існуючих однокомпонентних хвиль переводить їх в однокомпонентні хвилі з лінійно зміненими характеристиками:*

С(∪А//)→∪,

де // позначає паралельні хвилі.

---

[1] С і О не мають визначеного семантичного навантаження (як змінні *х* і *у* у класичній математиці).

3.2. *Коінциденція* ***К*** *актуально існуючих перпендикулярних С-елементів переводить їх в елемент, кількість перпендикулярних компонент котрого дорівнює сумарному числу перпендикулярних компонент вихідних хвиль і солітонів:*

$\boldsymbol{K}(\cup \bullet \boldsymbol{A} \perp) \cup' \bullet \boldsymbol{K}$,

де $\perp$ позначає хвилі, розташовані в перпендикулярних площинах.

3.3. *Інтерференція* ***І*** *актуально існуючих хвиль переводить їх у хвилі зі зміною числа хвиль і компонент і нелінійною зміною характеристик:*

$\boldsymbol{I}(\cup \bullet \boldsymbol{A}) \rightarrow \cup'$

3.4. *Дифракція* ***Д*** *актуально існуючих С-елементів переводить: хвилі – у хвилі зі зміною кількості хвиль і компонент і нелінійною зміною характеристик; солітони – в солітони зі збереженням набору компонент і зміною напряму руху:*

$\boldsymbol{Д}(\cup \bullet \boldsymbol{A}) \rightarrow \cup'$

$\rightarrow \bullet$

3.5. *Не існує такої послідовності двох або більше суперпозицій, яка переводила б С-елементи в їх вихідний стан:*

$\boldsymbol{CC}^{-1}(\cup // \boldsymbol{A}) \rightarrow \cup''$

3.6. *Не існує такої послідовності двох або більше коінциденцій, яка переводила б С- елементи в їх вихідний стан:*

$\boldsymbol{KK}^{-1}(\cup \boldsymbol{A} \perp) \rightarrow \cup'' \boldsymbol{K}$

3.7. *Не існує такої послідовності двох або більше інтерференцій, яка переводила б хвилі в їх вихідний стан:*

$\boldsymbol{II}^{-1}(\cup \boldsymbol{A}) \rightarrow \cup'$

3.8. *Не існує такої послідовності двох або більше дифракцій, яка переводила б хвилі в їхній вихідний стан:*

$\boldsymbol{ДД}^{-1}(\cup \bullet \boldsymbol{A}) \rightarrow \cup'' \bullet$

3.9. *Існує принаймні одна послідовність двох дифракцій, яка переводить солітони в їхній вихідний стан:*

$\boldsymbol{ДД}^{-1}(\bullet \boldsymbol{A}) \rightarrow \bullet \boldsymbol{A}$

Аксіоми четвертої групи описують процедуру вимірювання.

4.1. *Спостереження дифракції координатної системи Кс й актуально існуючої хвилі простору, що вимірюється, призводить до зміни координатної системи – результату вимірювання – і зміни хвилі, що вимірюється:*

$\boldsymbol{НД}(\boldsymbol{Кс} \wedge \cup \boldsymbol{A}) \rightarrow (\boldsymbol{Кс}' \wedge \cup' \wedge \boldsymbol{Рс})$

4.2. *Спостереження дифракції координатної системи й актуально існуючого солітону простору, що вимірюється, призводить до зміни координатної системи – результату вимірювання – і зміни руху солітону:*

$\boldsymbol{НД}(\boldsymbol{Кс} \wedge \bullet \boldsymbol{A}) \rightarrow (\boldsymbol{Кс}' \wedge \bullet' \wedge \boldsymbol{Рс})$

Повнота, несуперечливість, невивідність аксіом для певного класу задач перевіряється в ході побудови теорії самоорганізації.

На сьогоднішній день розробку аксіоматики завершено.

Самоконтроль. З'ясуйте, наскільки аксіоми відображають наведені в 26.1. властивості. Порівняйте їх з аксіомами Гілберта (розділ 15), знайдіть якомога більше відмінностей.

26.3. Самоорганізація С-простору

Наведемо основні результати теорії самоорганізації Сп під впливом одного О і одного С (існують складніші сценарії).

Утворення С-множин *(розшарування)* обмежують *симетрія С і О відносно Сп і цілісність У.*

Властивість 26.1. *Припустимими є такі розшарування, які зберігають косу симетрію Сп.*

Відтак, розрізнюється суб'єктна (Сп$^+$) й об'єктна (Сп$^-$) половини. Розшарування відбувається за сценаріями з утворенням тільки рівнобіжних, перпендикулярних, або тих і других елементів.

Властивість 26.2. *Нехай для P_i існує M груп симетрії і для S_{ik} виконується $S_{ik}=S_{jl}$. Тоді утворення перпендикулярних структур припиниться, коли кількість реалізованих груп симетрій для кожного шару $L=M$, і надалі можливе утворення тільки рівнобіжних структур.*

Існує зв'язок між законами зберігання і групами симетрії, аналогічний теоремі Нетер.

Властивість 26.3. Припустимими є тільки ті розшарування, характеристики С-елементів і С-множин поточної стадії яких знаходяться в гармонійному відношенні з характеристиками елементів і множин попередньої стадії, з коефіцієнтом, рівним характеристиці «золотого перерізу»:

$$\Phi=\frac{\sqrt{5}-1}{2}$$

Кількість елементів n, в залежності від розшарування m:

$$n\approx\frac{1}{\sqrt{5}}((\Phi+1)^m+(\Phi+1)^{-m}),$$

тобто виражається числами Фібоначчі (1, 1, 2, 3, 5, 8, ...).

В ході розшарування змінюється тип і стан елементів; впливи С і О є обов'язковими умовами.

Властивість 26.4. *При розшаруванні С-множини з потенціалом π кожному елементу передається потенціал π_n^2:*

$$\pi_n = \frac{\pi\Phi}{n},$$

де n – індекс поточного шару.

Звідси **властивість 26.5.** *Всі пов'язані з потенціалом характеристики шару різнооб'ємні характеристикам наступних шарів і не можуть бути виражені ними, тобто відрізняються якісно. Навпаки, для характеристики наступних шарів можуть використовуватися характеристики поточного шару.*

Важливим є наслідок: Шеннонівська оцінка кількості інформації, кодованої з використанням С-елементів, повинна проводитися для кожного шару окремо.

Потенціал π^2 хвилі з довжиною l і амплітудою A визначається з:

$$\pi = f(l/2, A),$$

де f – експериментальна функція пропорційності.

Довжина l_k хвилі шару k відносно попереднього шару:

$$l_k = \frac{l_{k-1}}{2n},$$

якщо шари включають елементи одного типу, знаменник дорівнює n.

У якості одиниці виміру часу t приймається час, рівний періоду хвилі. Кожний шар k має свою t_k:

---

[2] Під ***потенціалом π*** розуміється характеристика здатності до взаємодій та змін, «захоплена» частина У. Потенціал є інтуїтивною характеристикою, як, наприклад, енергія, маса, заряд; потенціал множин та елементів виражається в умовних одиницях відносно потенціалу Сп.

$$\frac{t_k}{t_{k-1}} = \frac{l_k}{l_{k-1}},$$

де k – номер шару.

Існує обмеженість розшарування у часі, обумовлена скінченністю часу існування першої хвилі Сп – процеси розшарування і ***згортки*** (процес переходу структур Сп від актуального до потенційного існування) мають сумарну тривалість, рівну часу існування першої хвилі. Відтак, час С-простору характеризується розшаруванням і «стрілою часу», що виражає необоротність еволюції.

До характеристик елементів відносяться: потенціал, довжина, амплітуда, частота, фаза, період, модальності стану і існування, ознаки паралельності і перпендикулярності, міри нелінійності і відношення довжин, відношення потенціалів.

Деякі з цих характеристик пов'язані між собою. В залежності від їх співвідношення, виводяться *умови реалізації С-операцій і їх окремих випадків.* При цьому використовується спеціальна система умовних позначень. Наприклад, для коінциденції маємо **умову 26.1**: *Нехай для розшарувань* {*P*}*, що відповідають* {*O**}*, існує упорядкований набір хвиль і солітонів:*

$$l_1 \perp l_2 \perp l_3 \ldots \perp l_n,$$
$$l_1 > l_2 > l_3 \ldots > l_n.$$

де n – кількість розшарувань у {P};

Тоді необхідними і достатніми умовами коінциденції для однокомпонентних елементів буде виконання:

$$l_n/l_1 = m_{11},\ l_n/l_2 = m_{12},\ \ldots,\ l_n/l_{n-1} = m_{1n-1}$$
$$l_{n-1}/l_1 = m_{21},\ \ldots,\ l_{n-1}/l_{n-2} = m_{2n-2}$$
$$\ldots$$
$$l_2/l_1 = m_{n-11}$$
$$\forall \Delta\pi_i = \sum_{j=1}^{n} \Delta\pi_j,\ i \neq j$$
$$\{\cup \vee \backslash\} \vee \{\cup \vee /\}$$
$$d < d^*,$$

де m, k, l – цілі числа, $\Delta\pi_i$, $\Delta\pi_j$ – зміни потенціалів.

Вводиться список характеристик, які можуть бути виміряні, описуються вибір координатної системи і процедури вимірювання.

Визначаються інші сценарії самоорганізації:

Таблиця 26.1.

Класифікація сценаріїв розшарування-згортки

Ознака	**Сценарії**			
кількість {C} і {O}	1C, 1O	1C, {O}	{C}, O	{C}, {O}
компенсація втрат π	відсутня	неповна	повна	надлишкова
$\|\|$чи $\perp$ елементів	тільки $\perp$	тільки $\|\|$	$\|\|$ і $\perp$	

Можна констатувати, що описані сценарії є основою для моделювання явищ та процесів, які не можуть бути формалізовані по-іншому. Передусім це відноситься до проблеми «людського фактору». Що ж до невирішених проблем, то це проробка сценаріїв, дослідження розмірності С-простору (припускає ірраціональні та від'ємні значення), а також умов нелінійності хвильових процесів.

Самоконтроль. Як бачимо, хвильовий С-простір не є хаотичним, як могло б здатися на перший погляд. Навпаки, він демонструє тенденції до закономірної самоорганізації, параметри якої визначаються характером зовнішніх впливів. Порівняйте наведені закономірності з даними в 26.1 властивостями складних систем і зробіть висновок про адекватність моделі.

26.4. С-відображення і графічні моделі С-простору

Доцільність побудови цієї теорії, яка є нічим іншим, як *нарисною геометрією С-простору,* обумовлена необхідністю дотримання певних вимог до представлення даних при застосуванні обчислювальної техніки і обробці експериментальних даних. Першим кроком є визначення ***калібрувальних інваріантів*** (властивості, незалежні від природи систем) і ***калібрування*** (прив'язки відносних одиниць до фізичних одиниць виміру). Потім обґрунтовуються ***об'єктні моделі*** (ОМ) С-простору. В залежності від інваріантів, які залишаються незмінними, виділяються: $ОМ_3$ *– калібровані моделі* (зберігаються абсолютні значення параметрів); $ОМ_2$ *– динамічні моделі* (зберігається динаміка розшарування-згортки); і, нарешті, найпростіші $ОМ_1$ *– статичні моделі* (зберігаються належність і послідовність утворення елементів, кількості елементів і операцій; розмірність, групи і порядки симетрії, розподіл відносних величин π і t_0), рис. 26.1.

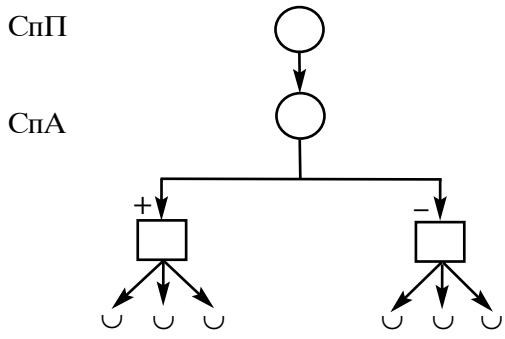


Рис. 26.1. $ОМ_1$ у вигляді орієнтованого С-графу (РЗ-діаграми)

Провадиться класифікація, визначення схемта можливостей застосування різних С-відображень. Зокрема, робиться висновок, що *ТЗ доцільно використовувати при моделюванні інтуїтивних, вР – підсвідомих і Г-оператори – аналітичних форм розпізнавання і прийняття рішення; Рз – для побудови ОМ.*

Зупинимося на останньому докладніше. Оскільки інваріанти $ОМ_1$ є топологічними і проективними, для їх відтворення необхідні дві групи відображень.

Властивість 26.6. *Сім'я {Рз} включає підсім'ї топологічних {ТРз} і проективних {ПРз} відображень. Кожне Рз є результатом послідовного здійснення:*

*Рз=ТРз*ПРз.*

Наслідок. *Відображення сім'ї {Рз} є функторами.*

Властивість 26.7. *Нехай функтор $T:p_i \rightarrow K^1$ забезпечує взаємно однозначне відображення С-елементів у вершини, а послідовності розшарувань – у ребра лінійного комплексу так, що одному шару відповідає одна зірка. Тоді $T \in \{ТРз\}$.*

Так обґрунтовується можливість графічного моделювання у вигляді С-графів і РЗ-діаграм. Для сценаріїв, де фігурують кілька С або О, внаслідок чого мають місце взаємодії елементів і зміни топології, ця властивість узагальнюється.

Властивість 26.8. *Нехай функтор $T_i:\{p_i\}\to K^1{}^*$ забезпечує взаємно-однозначне відображення С-елементів у вершини, а розшарувань – у ребра K^1 так, що одному шару кожного розшарування відповідає не менше, ніж одна зірка, а кожній операції, що змінює сценарій, – один простий цикл. Тоді $T_i\in\{TPз\}$.*

Пропонується показувати розподіл π – за допомогою площ вершин графу (l і A можуть зображуватися як довжини сторін прямокутника-вершини), а t – довжин ребер (це називається ***метризацією*** графу чи діаграми). Модальності стану можна зображувати різними кольорами.

Досліджуються можливості збереження цих угод для різних сценаріїв самоорганізації.

Властивість 26.9. *Нехай $p \to C^*$-граф і нехай проведена метризація за потенціалом (часом) така, що співвідношення довжин ребер дорівнюють співвідношенням потенціалів (одиниць виміру часу). Тоді ортогональне проекціювання зберігає їх.*

Відтак, послідовність побудови графічних ОМ така:

1) визначення актуальної розмірності простору;
2) побудова С-графу в E^n за умови збереження інваріантів;
3) топологічні перетворення кривих у відрізки прямих для спрощення зображення;
4) проведення локальних розгорток;
5) побудова зображення;
6) метризація;
7) доповнення графічної ОМ текстовими поясненнями, аналітичними залежностями тощо.

Як показала практика, графічні ОМ здебільшого задовольняють практичні потреби. Проте можливі інші моделі, дослідження яких являє теоретичний інтерес, а застосування є корисним у деяких випадках.

Ковалев Ю. Н. Геометрическое моделирование эргатических систем: разработка аппарата. К.: КМУГА, 1996. – 134 с.

26.5. Дослідження «людського фактору»

Взаємодії людини з оточуючим середовищем лежать в основі побудови ергатичних систем, визначення меж фізичної та психічної адаптації, класифікації особистості за психотипом, від чого залежать умови психологічного комфорту житла. Тому логічно почати дослідження із побудови моделі взаємодій людини із оточуючим середовищем.

А. Модель взаємодій людини з навколишнім середовищем (МЛС).

Аналіз фактичних даних призводить до висновку про те, що має місце найбільш загальний випадок організації, тобто Сп формується в результаті взаємодії {С} і {О}, а умови цілісності набувають вигляду:

$$У\to(\{C\}_o,\ Сп,\ \{O\}_p)\to CP\vee CP^*\vee CP^{**},$$

Причому

$$CP\to n(\{C\}_{i=1,\dots,n},\ \square_{xy},\ \{O\}_{i=1,\dots,n})$$

$$CP^*\to (m-n)(\{C\}_{i=n+1,\dots,m},\ \square_{ixy},\ \{O\}_{m-n})$$

$$CP^{**}\to (o-m)(\{C\}_{o-m},\ \square_{i=o-m,\dots,o,j=p-m,\dots,pxy},\ \{O\}_{p-m}),$$

де CP відображають тип сценарію;

$n, m, o, p, o>p$ – кількості C і O;

i, j – порядкові номери розшарувань Сп, що відповідають взаємодіям різноманітних C і O;

x, y – номери шарів і їх С-елементів і С-множин.

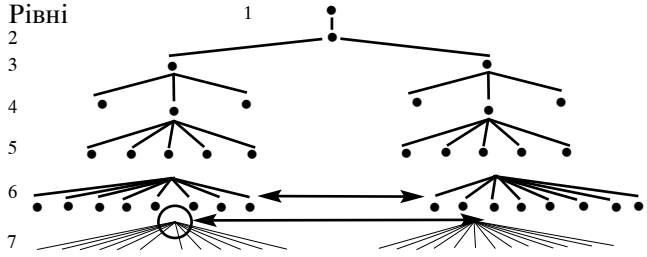


Рис. 26.2. Взаємодії в системі людина – середовище

Розшарування за таким сценарієм моделюється показаним на рис. 26.2 С-графом, який відображає загальні принципи побудови системи взаємодій (деякі деталі не показані). Визначаються і розраховуються:

- рівні організації, послідовність і пріоритети їх виникнення. Встановлюється їх відповідність з фізичними, психічними, фізіологічними та анатомічними структурами;
- вагові коефіцієнти для кожного з рівнів (пропорційні потенціалам);
- кількості елементів кожного з рівнів і кількості незалежних характеристик (похідні від чисел Фібоначчі);
- межі змін характеристик, що не ведуть до порушення організації системи (з умови недопущення подальших розшарування-згортки);
- механізми обмінів (з умов симетрії та законів зберігання).

Б. Механізм виникнення зв'язків і обмінів

Нехай в результаті зовнішнього впливу ушкоджується один з елементів, для визначеності, ***i***-того шару Сп$^+$(позначений кружком на рис. 26.2). Тоді:

1. Оскільки порушиться цілісність, система припинить існування або відновить цілісність за рахунок перерозподілу потенціалів між шарами Сп$^+$. Цей перерозподіл відповідає явищам регенерації, авторегуляції і втоми. Для шарів із номерами, меншими ***i***, вплив зовнішнього подразнику буде менше суттєвим. Для Сп$^-$, у силу симетрії, відбудуться аналогічні зміни. Потенціал Сп зменшиться.

2. У процесі перерозподілу змінюватимуться модальності існування і стану, відбуватимуться перетворення $\bullet\rightarrow\cup$ і $\cup\rightarrow\bullet$ та взаємодії С-елементів. Це призведе до випромінювання хвиль і переміщення солітонів, тобто обмінів між людиною і середовищем ($\leftrightarrow$). Оскільки якісні характеристики шарів різні, якісно різними будуть процеси обміну і зміни шарів з номерами i та $i+1$ для Сп$^+$ і Сп$^-$.

3. Різні обміни і зміни (зберігання динамічної рівноваги, відновлення або деструкція систем і органів) можуть бути описані операціями ***{ДІКС}***, адекватними характеристикам цих процесів. Наприклад, нормальна, парадоксальна й ультрапарадоксальна реакції нервової системи на зміну величини подразника інтерпретуються як окремі випадки *С*. Оскільки реалізація операцій обумовлена обмеженнями, пов'язаними з потенціалами, це призводить до розшарування взаємодій відповідно до розшарування Сп. У межах кожного з шарів виконуються закони зберігання, обумовлені властивою йому симетрією.

4. Найбільш чуттєвими будуть взаємодії на резонансних частотах. Їхня компенсація потребує перерозподілу найбільшої частки потенціалу, а вплив буде відчуватися для кількох найближчих шарів. Цей ефект пояснює механізм дії несприятливих впливів одного типу на різні системи організму.

Звідси випливають: **твердження 26.1.** *Причиною існування: гомеостазу і регенерації; прямих і зворотних зв'язків; якісних розбіжностей процесів обміну між компонентами системи «людина – середовище» в умовах неврівноважених зовнішніх впливів є необхідність зберігання її цілісності та твердження 26.2.*

Сприятливими слід вважати такі впливи зовнішнього середовища, які сприяють відновленню цілісності Сп⁺; несприятливими – впливи, що порушують цілісність Сп⁺.

В. Межі саморегуляції системи визначаться, виходячи з необхідності підтримки динамічної рівноваги організації, що формалізується як недопущення розшарування або згортки. Маємо **твердження 26.3.** *Межі зміни показників одного рівня не повинні перевищувати відношень, рівних 1:Ф для сценарію, описаного у 26.3.*

Коли процес адаптації захоплює кілька рівнів, маємо **твердження 26.4.** *Якщо для останнього з задіяних у процесі адаптації рівнів припустимі межі зміни показників задовольняють твердженню 10, то для попередніх (1, 2,... , k, рахуючи від останнього) вони розраховуються за формулою:*

$$\frac{\pi_{i,n} \cdot i_n}{\Phi^k \cdot i_{n-k}} \div \frac{\pi_{i,n} \cdot i_n}{\Phi^{k-1} \cdot i_{n-k}},$$

де i – кількість елементів останнього шару n.

Звідси безпосередньо випливають: **твердження 26.5.** *Умовами виникнення патології є перевищення розрахованих щойно меж* та **твердження 26.6.** *Умовами регенерації є зовнішні впливи, що дозволяють повернути потенціали показників життєдіяльності у розраховані вище межі.*

Г. Модель сприйняття (МС)

Дамо психологічну інтерпретацію показаних на рис. 26.2 взаємодій.

Рівень 1 – єдність. Людина і середовище не виділені як окремі частини, але можливість цього існує як певний «вільний потенціал». Єдність сприймається інтуїтивно.

Рівень 2 – відокремлення. Виникає усвідомлення людиною себе як самодостатньої та відокремленої від світу. Самодостаність виражається усвідомленням власного «я», унікальними закономірностями будови людського тіла і константністю параметрів внутрішнього середовища організму (гомеостаз). Так само і Всесвіт є цілісністю, що регулюється законами природи, а не просто сукупністю окремих об'єктів.

Рівень 3 – впливи та реакції. Існування зовнішнього світу, впливів та зворотних реакцій, які можуть бути сприятливими або несприятливими, що виражається у категоріях «добре» та «погано», є предметом розсудливості. Природна необхідністю виконувати рішення породжує волю. Для цього рівня характерні бінарні поділи: для людини – тілесна та психічна складові, права та ліва половина, жіноча та чоловіча стать; для Всесвіту – речовина і поле, тяжіння та відштовхування тощо.

Рівень 4 – простір і час. За виникненням впливів та реакцій йде упорядкування по двом категоріям, які називають простором і часом. Виходячи із сценарію самоорганізації, кожній із них слід приписати по три параметри. Так і є: простір є тривимірним, час ділиться на минуле, сучасне і майбутнє. Троїсті поділи характерні для людського розуму.

Рівень 5 – рецептори та відчуття. Із сценарію випливає наявність трьох груп органів почуттів з п'яти елементів. Дійсно, розрізнюють інтерорецептори, пропріорецептори та екстерорецептори. Точно невідомо, скільки є внутрішніх чи граничних відчуттів, але екстерорецепторів точно п'ять.

У природі також існують явища та процеси, що мають п'ятиричний поділ, наприклад, п'ять станів речовини, п'ять фундаментальних взаємодій і т. д.

Рівень 6 та наступні – тони та нюанси. Для кожного з рецепторів має бути по вісім розрівнювань одного відчуття (не виникають окремі органи). Це задовольняється приблизно. Наприклад, розрізнюється 7 кольорів (у ергономіці додається восьмий – жовто-зелений), 7 звукових тонів і т. д. Відомі числа Мілера (7–9) – кількість однорідних предметів, що може одночасно сприймати пересічна людина. Отже, можна констатувати, що система за межами 6 рівня ще формується, відтак немає необхідності у подальшому розвитку моделі.

Зведемо ці інтерпретації у таблицю 26.2.

Таблиця 26.2

Узгодження моделі сприйняття

Шар	Елементи	Предмет сприйняття	Вид сприйняття
1	1	єдність із світом	інтуїція
2	1	власна самодостатність (его та гомеостаз)	плюс свідомість
3	2	бінарна оцінка впливів та реакцій	плюс воля та розсудливість
4	3	тернарна організованість простору-часу	плюс розум
5	5	сенсорні подразники: світло і т. д.; рівновага; втома і т. д.	плюс рецептори (3 групи)
6	8	головні кольори, звуки і т. д.	те ж
7	13	градації кольору, звуку, тощо	те ж

Тепер зробимо важливий відступ. Відомо, що фізичні коливання мають неперервний спектр частот. Чому ж вони сприймаються як окремі кольори чи тони, якщо для цього немає фізичних підстав? Очевидно, що це обумовлено виключно закономірностями самоорганізації. Отже, ці закономірності, виражені на рис. 26.2, і є тим гештальтом, який визначає усе розмаїття взаємодій з оточуючим середовищем, і як сприйняттів, і як розпізнавань.

Самоконтроль. Усвідомивши закономірність структури людських сприйняттів, поверніться до розділу 1 і краще зрозумійте історію зображення простору у різні історичні епохи.

Далі визначається оцінка відносної ваги різних видів сприйняття p, яка враховує: область дії – за сумою потенціалів задіяних рівнів; значущість для фахової діяльності (k_1); умови сприйняття (k_2); зв'язок з розпізнаванням і прийняттям рішення:

$$p = \frac{\sum_{j=i_1}^{i_n} \pi_j k_1 k_2}{i_i - i_n + 1}$$

Ця формула, як буде показано нижче, лежить в основі організації систем відображення інформації, визначення відносної ваги психологічного комфорту, оцінювання архітектурних та дизайнерських рішень з точки зору їх комфортності тощо.

Д. Модель розпізнавання і прийняття рішення (МРР) конкретизується як сукупність обмінів МЛС, що набувають специфічних *форм інтуїтивно обумовлених реакцій, рефлексів та обдумування.* Будується концептуальна МРР. Вводяться специфічні визначення *компактності образу, інформативності і подібності зображень, коректності кодування, надійності розпізнавання* і дати варіанти розв'язання задач: 1. Виявлення механізмів природжених переваг розпізнавання – гештальтів, виходячи з послідовності формування образу і пріоритетів ознак згідно МРР; 2. Проектування прогностичних систем (на основі реалізації ОМ2 пропонуються засоби візуалізації та інтерпретації тенденцій розвитку).

Є. Модель дій управління (МУ) будується у вигляді предметно-функціонального зваженого графу. На її основі даються рекомендації щодо вибору органів управління, вводяться показники оптимальності компонування *(міри відхилення, ефективності, узгодженості).*

Наведемо декілька прикладів впровадження розглянутого апарату.

26.6. Моделювання та оптимізація ергатичних систем

Моделювання та оптимізація ергатичних систем проводиться на основі розглянутих моделей, а також загальних сценаріїв самоорганізації.

А. Визначення структури системи

Схема взаємодій ЕС показана на рис. 26.3.

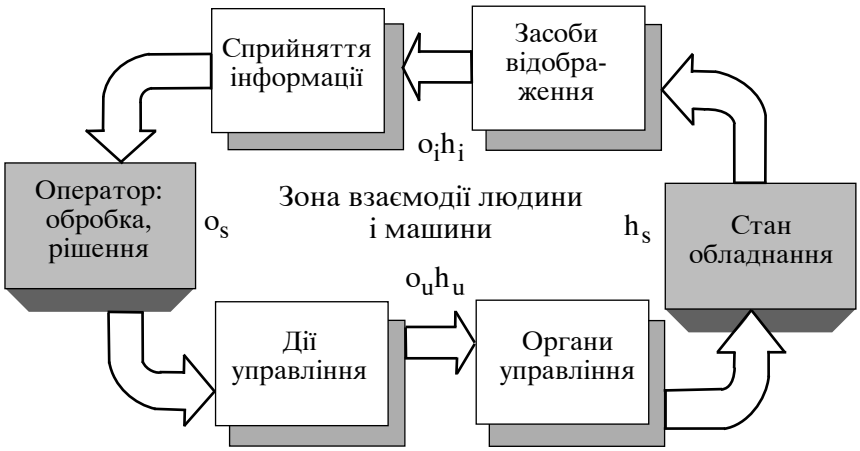
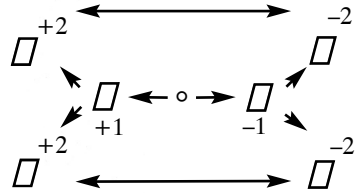


Рис. 26.3. Зв'язок людського і машинного компонентів ЕС

Структура інтерпретується у відповідності з формальними схемами, які відповідають різним ступеням інтеграції компонентів, наприклад, для цілісності маємо:



Набори характеристик для кожного шару і компоненту $\{o_i, o_u, h_i, h_u\}$ визначаються за формулами, наведеними в 26.3 безпосередньо, або з поправками, в залежності від сценарію самоорганізації. Найбільш загальний випадок інтерпретується як взаємодія множини $\{C\}_j$ із множиною $\{O\}_{z+w}$; умови цілісності виражаються як

$$\rightarrow \{(C_1, \square_{k1}A, O_1)... \}... \{... (C_1, \square_{mn}, O_{i+n})\}$$
$$C^{**} \rightarrow CP \rightarrow ...$$
$$\rightarrow \{(C_j, \square_{xy}, O_y)... \}... \{... (C_j, \square_{vw}, Oz_{+w})\},$$

де кількість C дорівнює j, кількість $O - z+w$;

індекси k, m і l, n позначають кількість шарів і елементів шарів, необхідних для утворення i+n об'єктів, що беруть участь у взаємодії;

A – модальність актуального існування множин і елементів Сп;

C^{**}– С-граф, що відповідає даному варіанту;

CP – С-графи, що відповідають взаємодії кожного з C з усіма O.

Далі обґрунтовуються ергономічні рекомендації щодо:

- компенсації негативних зовнішніх впливів на стан оператора (з умов реалізації окремих випадків коінциденції);
- вибору оптимальної кількості операторів і підсистем ЕС (за сценаріями розшарування);
- компонування систем відображення інформації (СВІ) (вибір схеми, виходячи з сценаріїв самоорганізації; визначення пропорцій згідно з розподілом потенціалів шарів).

Розрахунок розмірів компонентів СВІ інтерпретується як реалізація калібрування. Для цього використовуються нормативні дані та вимоги техніки безпеки, які забезпечують антропометричну, біомеханічну та інформаційну сумісність; для інших розрахунків використовуються припустимі значення температурних, вібраційних, електромагнітних та інших впливів.

Б. Загальна стратегія оптимізації

Метою оптимізації є побудова ефективної, безпечної і надійної ЕС. Відповідно до ГОСТ 16.035-81 і ДСТУ 2429-94, успішність оцінюється за гігієнічними, антропометричними, психофізіологічними, психологічними, біомеханічними, інформаційними та естетичними показниками. Отже:

1) склад цих показників для конкретної системи, що проектується, попередньо визначає кількість аргументів оптимізації $x=\{x_i\}^n_{i=1}$;

2) провадиться групування x_i за рівнями МЛС, виходячи з кількісних і якісних характеристик шарів, визначається кількість розшарувань Сп і уточнюється кількість n аргументів, виходячи з прогнозованої для кожного з шарів;

3) виходячи з прогнозованої кількості операторів і підсистем, а також ступеню забезпечення сумісності як цілісності або інтеграції, визначається сценарій самоорганізації;

4) групи і порядки симетрій, а також розмірність Сп визначаються з попередніх даних і уточнюються в ході самоорганізації;

5) розподіл потенціалів та інших характеристик розраховується і виражається, з точністю до калібрувальних інваріантів, у вигляді ОМ. Ця модель є формальним виразом *мети оптимізації.*

6) визначаються обмеження – зміни параметрів не повинні призводити до *необоротного порушення цілісності системи*, що дозволяє розрахувати припустимі межі змін при неповних або неточних даних.

7) цільові функції (ЦФ) відбивають відхилення від мети оптимізації. Вагові коефіцієнти приймаються пропорційними значенням потенціалів шарів. Враховуються умови сприйняття пріоритетність рецепторів. Найкращому варіанту відповідає екстремум узагальненої цільової функції. Даються рекомендації щодо оптимізації дій проектувальника і розрахунку ЦФ. Наприклад, для оцінки компоновки вводиться *міра відхилення від оптимального компонування* Φ_1:

$$\Phi_1 = \sum_{i=1}^{m} \gamma_i |n_i - k_i|,$$

де m – номер останнього шару; n і k – розрахункова і фактична кількості елементів.

Найкращому варіанту відповідає мінімальне значення Φ_1.

Для оцінки оптимальності пропорцій і розмірів вводиться Φ_2:

$$\Phi_2 = \sum_{i=1}^{m} \gamma_i |s_{1i} \cdot s_{2i} \cdot s_{3i} \cdot \pi_{ni} - \pi_{ki}|,$$

де π_{ni} і π_{ki} – потенціали для фактичних і розрахункових пропорцій;

s_1, s_2, s_3 – поправки на умови освітленості, сприйняття, забарвлення.

Найкращому варіанту відповідає мінімальне значення Φ_2.

Оцінка засобів кодування Φ_3:

$$\Phi_3 = \sum_{i=1}^{m} \gamma_i |n_i - k_i| \cdot |s_{1i} \cdot s_{2i} \cdot s_{3i} \cdot \pi_{ni} - \pi_{ki}|,$$

де значення параметрів і коефіцієнтів та їхня відповідність шарам визначаються тільки для інформаційних символів. Найбільше значення Φ_3 відповідає найкращому рішенню.

8) остаточна оцінка готового виробу визначається методом експертних оцінок. При цьому застосування МЛС і МС дозволяє провести ранжирування показників ергономічності і провести їх кореляцію з естетичними якостями. Описана стратегія застосовується для оптимізації як проектних рішень, так і процесу проектування як такого.

В. Професійний відбір, контроль продуктивності праці, розрахунок показників, програма підготовки операторів. Будується *графічна ОМ суб'єктивного простору оператора* (рис. 26.4) та вводяться квазіметричні відношення, як зв'язки психологічних характеристик. Наприклад, відстань d вводиться якміра збіжності:

$$d = l + |sign_k \cdot \pi_k - sign_i \cdot \pi_i|,$$

де l – кількість переходів між шарами елементів k та i вздовж С-діаграми; π_k, π_i – їх потенціали; $sign = \{+,$ модальність $\langle ; -,$ модальність $\rangle ; 0,$ модальність $\downarrow\}$

Визначаються і ранжируються професійні якості, а також добираються методи психологічного тестування. Результати зведено в табл. 26.3. Описуються інструкції, вимоги до матеріалу, процедури обробки, графічного представлення психологічного портрету, висновку про професійну придатність.

Рівень	1		2		3		4		5		6		7…
Всього елементів	1	×	1	×	2	×	3	×	5	×	8	×	13

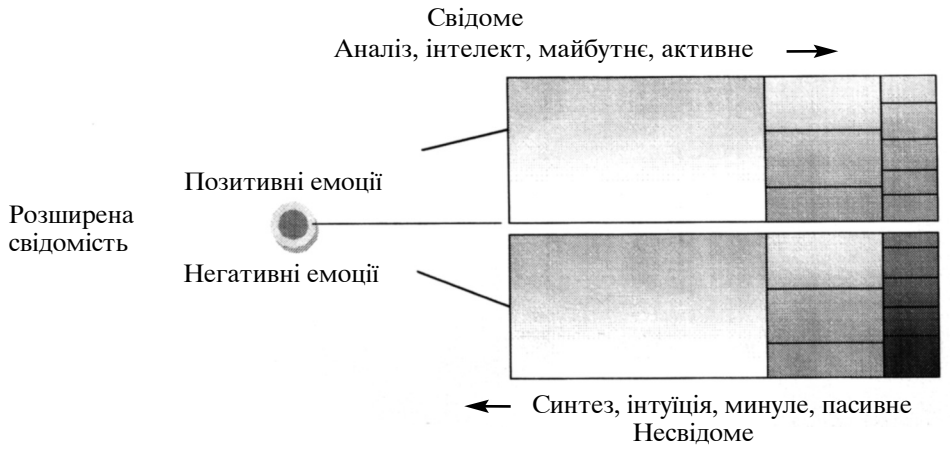


Рис. 26.4. Об'єктна модель суб'єктивного простору

Таблиця 26.3.

Контрольовані професійні якості оператора та методи їх визначення

Рівень	Оцінки	Властивість	Методи
1	100–162	відчуття єдності форми й змісту і визначення тенденцій їхнього розвитку	Незакінчені розповідь чи малюнок
2	62–99	виділення головного, відкидання другорядного	Роршаха
3	38–61	адекватність і точність реакції на порушення цілісності	«Виправити малюнок»
4	24–37	відчуття організованості у просторі-часі	«Дерево», «Слон», «Будинок»
5–7	15–23	стійкість до «колірного шоку», розрізняння основних кольорів і відтінків	Роршаха, «Виправити малюнок», кольорові таблиці

Контроль продуктивності праці: організація вимірювань повинна задовольняти аксіомам 4.1, 4.2; кількість і вага вимірюваних показників – відповідати МЛС, можливе скорочення кількості вимірювань, за умови врахування кореляції різних показників згідно МЛС. Наводяться приклади розрахунку ергономічних параметрів; моделювання розвитку стресу та патологічних змін; планування ергономічних заходів.

МЛС використовується також для *планування підготовки оператора* (рис. 26.5). Навчання розглядається як сукупність обмінів і зв'язків Сп, що згортається до стану $^{\circ}\boldsymbol{П}$ *(С, ТЗ, О);* оператор – як $Сп^{+}$, «середовище навчання» – як $Сп^{-}$.

Кількість стадій навчання, виходячи з кількості рівнів СВІ – 5-7. Визначення цілей навчання на кожній стадіївідповідає їх ролі в забезпеченні цілісності. Перехід від попередньої стадії навчання до наступної інтерпретується як реалізація кроку згортки; при цьому необхідний інтуїтивний «пошук змісту» засобів, поточного етапу навчання. Визначення характеристик і показників навчання провадиться згідно табл. 26.3 у ході тестування.

Деякі із згаданих розробок (інтуїтивна система відображення інформації, методика визначення професійних якостей операторів) знайшли своє впровадження; інші проекти (прогностична система, прилад заходу літака на посадку) залишаються на рівні ідей і ще чекають свого втілення.

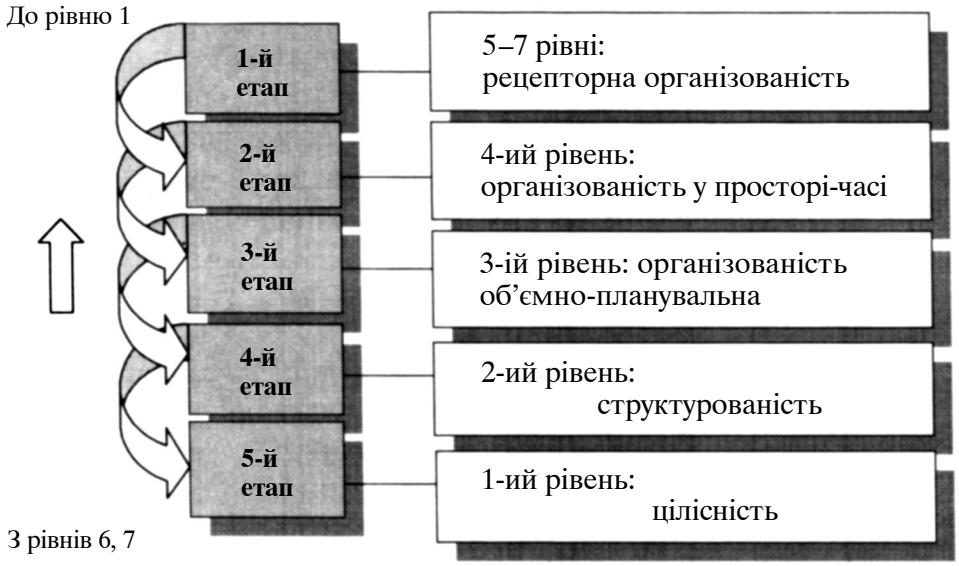


Рис. 26.5. Визначення цілей навчання і послідовності підготовки

Самоконтроль. Спробуйте реалізувати ці ідеї для оптимізації власної підготовки, знайшовши співвідношення між загальнонауковими і спеціальними курсами, аудиторною і домашньою роботою.

Ковалев Ю. Н. Эргономическая оптимизация управления на основе моделей С-пространства. – К.: КМУГА, 1997. – 152 с.

26.7. Проектування комфортного житла

А. Визначення стану комфорту

Комфортним будемо називати стан людини в системі ЛЖС при наявності наступних ознак:

- цілісність системи;
- психосоматична цілісність людини;
- наявність достатнього потенціалу для адаптації;
- наявність запасу часу існування системи.

Відповідно, дискомфортний стан, характеризується протилежними ознаками. Психологічна складова комфорту й дискомфорту характеризується інтегральними показниками для 1 й 2 рівнів, а також окремими показниками для 3-го й наступних рівнів організації. Вони корелюють із видами сприйняттів і станами свідомості (табл. 26.4).

Таблиця 26.4

Кореляції показників психологічного комфорту та дискомфорту

Рівень	Показники комфорту/дискомфорту
1	відчуття удачі, сприятливого ходу подій, гармонії з навколишнім середовищем / відчуття «чорної смуги», невдачливості, дисгармонії
2	відчуття самодостатності, здоров'я, спокою, оптимізму, віри в майбутнє /відчуття конфлікту, хвороби, невдоволення, песимізму, швидкої смерті, потворності пейзажу й людей, тлінності світу
3	відчуття волі, переваги, упевненість у досяжності мети / відчуття пригніченості, тривоги, занепокоєння, непевності, слабкості
4	відчуття просторово-часової впорядкованості, «правильності» зовнішнього й внутрішнього світу, їх інтелектуальне усвідомлення як закономірних / відчуття хаосу зовнішнього й внутрішнього світу, їх інтелектуальної непізнаваності
5	відчуття врівноваженості, сили, сенсорного комфорту, «гармонії стихій», на рівні інтелектуальних побудов і безпосереднього сприйняття світу / почуття неврівноваженості, виснаження, сенсорного стомлення, «ворожнечі стихій»
6-7	відчуття здорових зору, слуху і т. д. / відчуття поганого зору, слабкого слуху й т. д.

Локальність або глобальность показників комфорту/дискомфорту оцінюються як сума потенціалів задіяних рівнів МЛС, виражена відносно потенціалу першого шару. Для розрахунків його зручно прийняти рівним 162 одиницям і використати умовні одиниці з округленням до цілих чисел. Значимість показника виражається коефіцієнтом k_1, для кожного із задіяних шарів у границях $0 \div 1$. Коефіцієнт умов сприйняття k_2 виражає ступінь утрудненості сприйняття; для кожного із шарів він перебуває в границях $0 \div 1$. При підсумовуванні показникам варто приписувати знак «+», якщо вони відповідно є показниками комфорту, і знак «–» у противному випадку. Тоді «формула комфорту» набуде вигляду:

$$p = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m_i} \pi_{ij} \cdot k_{1ij} \cdot k_{2ij},$$

де n – кількість рівнів, m_i – кількість показників i-го рівня.

Кращому комфорту тут відповідає більше значення p.

Дамо *кількісні оцінки ваги кожного із рівнів.* Відзначимо, що сума потенціалів 2-6 рівнів – 1,472 – більше, ніж потенціал першого рівня –1, на основі якого відбувається самоорганізація. Це пояснюється згідно аксіомам першої групи тим, що самоорганізації неможлива без зовнішніх впливів. Величина потенціалу, що поповнюється завдяки впливам на кожному рівні (позначена темно-синім кольором) підпорядковується закону гармонійного відношення (рис. 26.6).

Звідси випливають вагові коефіцієнти кожного з рівнів – вони мають бути пропорційні ряду 1, 0,618, 0,382, 0,236, 0,146, 0,09. Оскільки потенціал попереднього рівня більше, ніж у елементів наступного, існує якісна відмінність їх характеристик, що дає можливість застосовувати різнопланові дані у рамках однієї моделі.

Отримані вагові коефіцієнти зручно використовувати не тільки для оцінки показників комфорту, але й якості проектних рішень – як для будівлі в цілому, так і для окремих рівнів її організації.

Б. Концепція динамічного житла

З табл. 26.4 безпосередньо випливають умови, які мають бути забезпечені при проектуванні і будівництві житла:

- гармонія із зовнішнім світом (рівень 1). Якщо розглядати дизайн та архітектуру як холістичну символічну мову, то сукупність виразних засобів конкретної споруди є дискурсом з метою «настроювання» людини на єдність з Всесвітом. Цьому сприяє характерна для традиційних культур «вписаність» житла в ту чи іншу міфологему. Гармонізація біоритмів людини з ритмами природи є ще однією метою на цьому рівні;
- самодостатність і безпека житла (рівень 2) включає не тільки наявність незалежних джерел водо- чи енергопостачання чи розвинених засобі безпеки. Головним є впевненість у спосібності житла до адаптації до будь-яких зовнішніх змін. Необхідною є наявність комунікацій зі світом і різними пристроями (цифровий чи розумний дім), що надає житлу нові, системні якості;
- свобода самореалізації (рівень 3). Людина повинна мати можливість у відповідності до своїх потреб змінювати склад і кількість приміщень;
- змінність форм, пропорцій, розмірів приміщень (рівень 4) є логічним продовженням попередньої умови, що потребує, однак, специфічних конструктивних рішень;
- варіативність колористичних, акустичних та інших рішень (рівні 5-7) забезпечує управління станом і настроєм людини.

Звідси виходить, що умовою комфорту є наявність гнучкого управління усією сукупністю виразних і технічних засобів житла. Розуміння цього природнім шляхом приводить до *концепції динамічного житла.* При сучасному розвитку будівельних технологій реалізувати цю концепцію можна лише частково. Але прагнення до її реалізації саме по собі може дати потужний імпульс до розвитку технологій і пов'язаних з будівництвом наук.

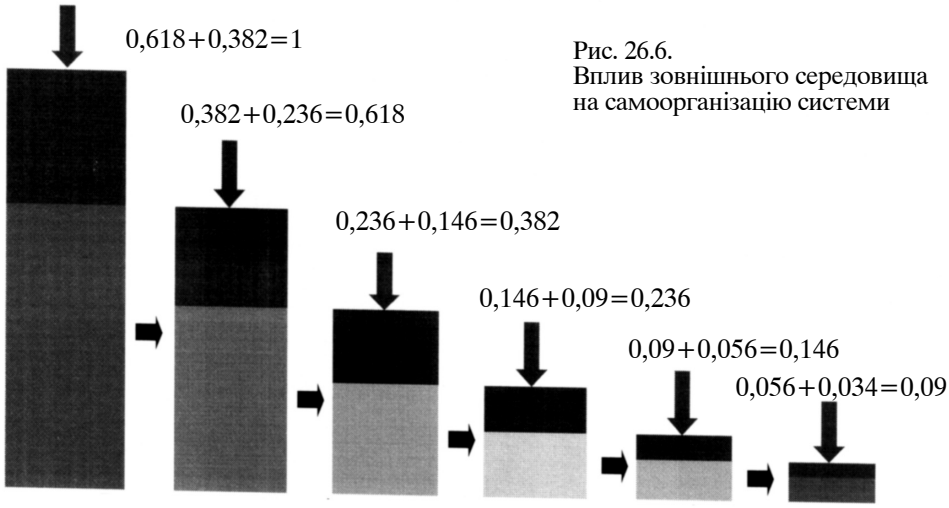


Рис. 26.6.
Вплив зовнішнього середовища на самоорганізацію системи

Екстраполюючи сучасні тенденції, наважимось на наступний прогноз розвитку пріоритетних напрямків:

- розрахунок конструкцій із змінною геометрією та фізичними властивостями;
- теорія динамічного інтер'єру, з системним урахуванням впливу різноякісних факторів на стан людини;

- координація споруд в рамках містобудівної концепції;
- розробка і виробництво нових будівельних матеріалів;
- розробка принципово нових будівельних технологій;
- розв'язання економічних проблем будівництва та експлуатації.

В. Індивідуальне настроювання житла

Однією із пріоритетних цілейпри проектуванні житла є забезпечення індивідуального комфорту. Прогрес досліджень та розвиток технологій веде до того, що забезпечення фізіологічної складової комфорту перестає бути складною задачею, а акценти зміщуються у галузь психології. Розглянемо модель особистості людини, поклавши в її основу МЛС та МС.

Модель особистості людини. Структура, послідовність та характеристики сприйняттів корелюють з рівнями самоорганізації. Сприйняття відбувається не тільки від ознак до узагальнення, але й у зворотному порядку – сприйняття перших рівнів утворюють контекст, у якому сприймаються окремі ознаки. Під однією назвою криється багато характеристик, що відбивають різні ступені сприйняття, і усвідомлюються як комфортні або дискомфортні, як наприклад на рис. 26.7.

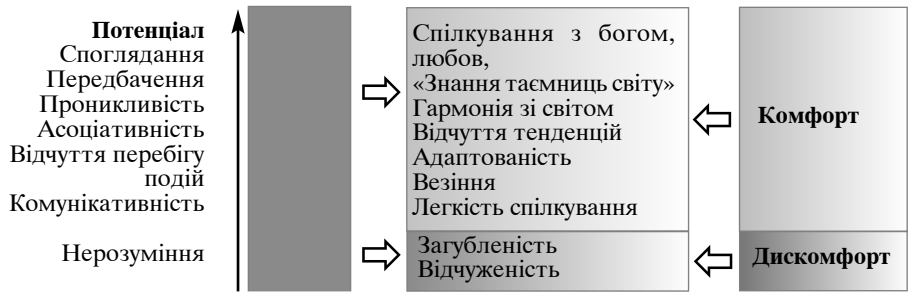


Рис. 26.7. Інтуїція (рівень 1)

Такі ж зони визначаються і для всіх інших рівнів.

Темперамент та вік. Темперамент також можна зв'язати з величиною потенціалу. Вплив темпераменту на стан комфорту/дискомфорту показано на рис. 26.8.

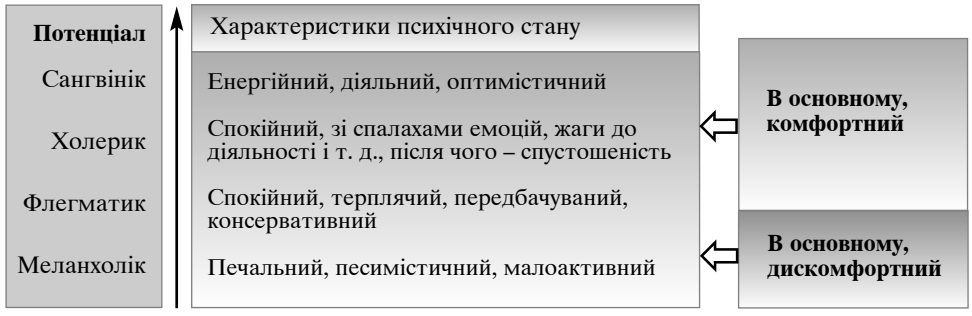


Рис. 26.8. Вплив темпераменту на стан комфорту/дискомфорту

Ті ж закономірності простежуються і при вікових змінах – дітям, молодим, зрілим та похилого віку людям відповідають риси сангвініка, холерика, флегматика та меланхоліка.

Ієрархія потреб. Згідно А. Маслоу, групи потреб утворюють піраміду з п'яти рівнів:

1. Фізіологічні;
2. Потреба у безпеці;
3. Потреба в коханні;
4. Потреба в визнанні;
5. Потреба самоактуалізації (самовиразу).

Відповідність до рівнів сприйняття наступна:

1) фізіологічним потребам відповідають чуттєві сприйняття, тобто, фізіологічний комфорт відноситься до 5-6 рівнів;

2) потребі у безпеці відповідає відчуття невпорядкованості, тривоги, хаосу. Це – рівень інтелекту. Коли ці відчуття змінюються протилежними, стан стає комфортним;

3) потребі самовиразу відповідають воля та розум. Тут дискомфортними є протидії самореалізації, чи то у формі конфліктів з людьми, нестачі ресурсів, неможливості трансформації житла;

4) потреба в визнанні – досягненні могутності, слави, поваги, із усвідомленням своєї значущості та сили відноситься до рівня усвідомлення его;

5) потреба у коханні неоднорідна. З одного боку, вона явно відноситься до інстинкту продовження роду. З іншого, тяга до споглядальності, що супроводжується самозреченням та любов'ю, має бути віднесена до вищих, містичних взаємодій. І між ними знаходиться потреба в дружбі, визнанні, соціальній адекватності, тобто єдності зі світом на «побутовому» рівне. Всі вони відповідають градаціям інтуїції.

Мотивації та емоції. Розрізнюють мотивації, необхідні для правильного функціонування організму, і такі, без яких він може існувати. Теорії біологічних потреб, оптимальної активації, когнітивна намагаються пояснити ці відмінності. Очевидно, що вони акцентують увагу на різних сторонах негармонійного розподілу потенціалу між рівнями, а також порушення симетрій і законів збереження між компонентами системи. У залежності від позитивної чи негативної оцінки, емоції можну групувати попарно. Деякі з них бажані для суб'єкту, інших він намагається уникнути. Цей поділ вказує на мотиваційну роль емоцій у створенні відчуття комфорту/дискомфорту.

Типи особистості. В основу класифікації покладемо взаємодії з оточуючим середовищем – сприйняття. Маємо шість типів:

1. «Збалансована особистість» (рис. 26.9). Тут розподіл потенціалу по рівням є ідеальним, така людина не відчуває внутрішніх конфліктів та проблем зі здоров'ям; вона пред'являє до житла різноманітні і чітко структуровані вимоги. Можна сказати, що побудовано відповідно до них житло також буде ідеально збалансованим, що допоможе відстежити весь ланцюг зв'язків між сприйняттями, мотиваціями, потребами та вимогами до житла, а також вивести «формулу комфорту».

2. «Споглядач». Тут, як і для інших типів, баланс між рівнями вже порушений. Оскільки загальна величина потенціалу незмінна, посилення одних якостей буде відбуватися за рахунок інших – у даному випадку, інтуїції за рахунок его та волі. Тому споглядачі схильні до спокійного життя, а їх вимоги до житла мінімальні – воно має знаходитися у тихій, красивій, по можливості, безлюдній місцевості, та забезпечувати біологічні потреби.

3. «Егоїст». Посилення его, волі та розсудливості відбувається за рахунок інтуїції і, в меншому ступені, інтелекту та почуттів. Це потенційно небезпечно для здоров'я. Пріоритетами для житла будуть престиж, самодостатність та, почасти, трансформованість.

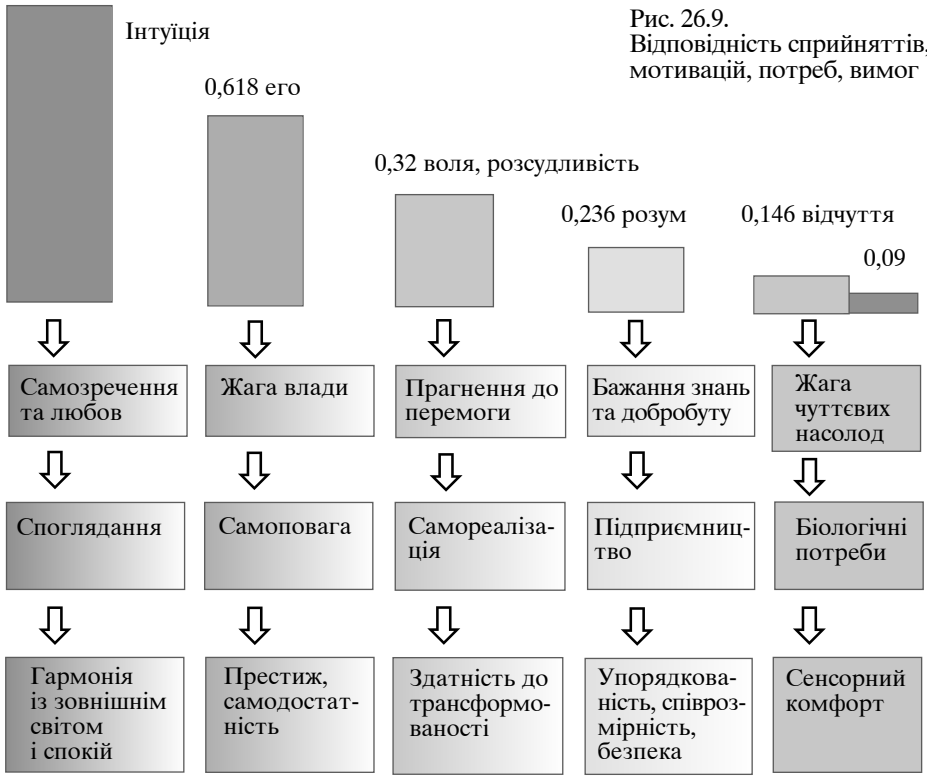


Рис. 26.9.
Відповідність сприйняттів, мотивацій, потреб, вимог

4. «Борець» характеризується підвищеною тягою до першості, конфліктністю та агресивністю (воля сильніше за розум), що не може не призвести до фізичних та и психічних розладів, оскільки пригніченими стають інтуїція, его та розум. Різноманітна та енергійна діяльність висуває підвищені вимоги до трансформованості житла. Відповідний емоційний настрій також має стимулюватися.

5. «Винахідливий дослідник» не схильний до ескапад, він більше полюбляє передбачуваність, упорядкованість, стабільність. Але у цих межах він може бути достатньо енергійним, діяльним та розумним (розум сильніше за волю) як у бізнесі, так і у науці. Зростання інтелекту відбувається, в основному, за рахунок почуттів. Вимоги до житла – консервативний стиль, зрозумілі та перевірені часом рішення, спокійні тони інтер'єру – але маніфестація добробуту та соціального статусу обов'язкова.

6. «Богемна особистість» схильна до екзальтованості, культивування емоцій та чуттєвих переживань, що може суміщатися із граничною меркантильністю. Іноді такі люди мають непогану інтуїцію, хоча частіше схильні приймати за істину різні забобони. Посилення сенсорних відчуттів відбувається за рахунок розуму (аналітичної його частини) та волі. Житло може містити екстравагантні, навіть епатуючі рішення, за умови забезпечення тонкого сенсорного комфорту.

Тестування психологічного типу містить: комплексну оцінку особистості; виявлення розвиненості сприйняттів; визначення поточного психологічного стану. Використовуються дані опитувань та проективні тести. Зручно показувати результати у порівнянні з «збалансованою особистістю». Наприклад, результат для людини, що відноситься до психотипу «Егоїст» може виглядати приблизно так, як показано на рис. 26.10.

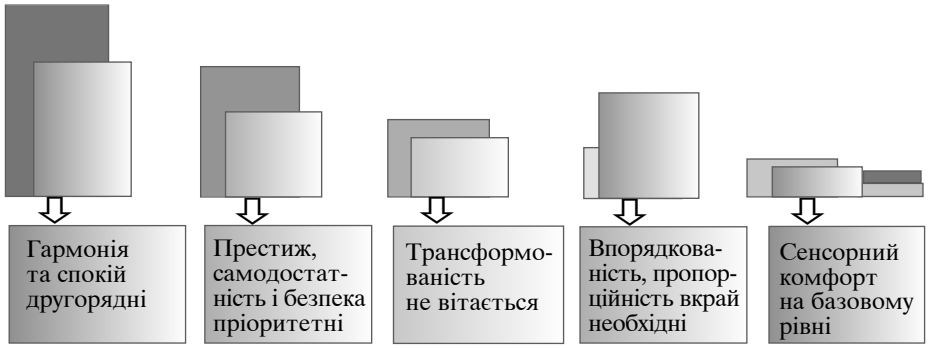


Рис. 26.10. Представлення результатів дослідження особистості

Кореляція показників комфорту з умовами будівництва, функціями житла, естетичними принципами та геометричними особливостями форм.

Спираючись на ці дані, визначимо мету, умови та функції, вимоги до естетики та геометрії психологічно комфортного житла для психотипу «споглядач» (рис. 26.11).

Наведемо приклад подальшої деталізації умов та функцій, показавши зв'язок вимоги відповідності до релігійної, культурної та соціальної традицій, тектоніки і фрактального принципу організації архітектурного середовища. Ідею підкажуть планування стародавніх міст.

Для міст давніх країн Переднього сходу та Індії досить поширеною була така організація. Місто розташовувалося на рівнині, мало форму квадрата або чотирикутника, орієнтованого за сторонами світу, та розділялося головними вулицями на чотири квартали (роздільною лінією могла бути ріка) і присвячувалося головному богу[3]. Сторонам світу відповідали власні боги. Таким чином, місто відтворювало структуру як сакрального, так і реального Всесвіту. Далі, у кожному із кварталів, під «охороною» свого бога селилися різні верстви населення: жерці – у кварталі верховного бога (там же будувався храм), цар і воїни – у кварталі бога війни, так само торгівці і ремісники. Тобто соціальна структура відтворювала небесну, а планування міста відповідало ще й структурі суспільства. Будинки теж мали прямокутну чи квадратну форму, були орієнтовані по сторонам світу, мали систему оберегів і сакральних місць, тобто теж були моделями Всесвіту. Нарешті, те ж саме повторювалося у приміщеннях, функціональне призначення яких відповідало їх орієнтації. Самоідентифікація людини у «координатах» реального і сакрального світів підтримувалося релігійними і магічними ритуалами, які мали добові, місячні, сезонні та річні цикли, прив'язуючись до плину часу. Так забезпечувалася гармонія між внутрішнім світом людини, Всесвітом і соціумом, а також захист від ворожих – за стінами міста чи власної оселі – проявів будь якої природи. Маємо реалізацію всіх перелічених у групі «психологія» на рис. 26.11 умов комфортного проживання. Прикладом досить повного виразу цієї схеми був Вавилон (рис. 26.12).

Існували і інші схеми організації міст (лінійна, радіальна і т. д.) і навіть цілих країн (п'ятини Ірландії із вираженою центральною частиною, суї імперії інків тощо), але незмінною була «вписаність» цих схем у уявлення про Всесвіт або ті чи інші міфічні події, добре відомі усім мешканцям.

[3] Схожий опис навіть увійшов до Апокаліпсису: 21,10 – 27.



Рис. 26.11. Інтерпретація умов комфорту у категоріях функціональності, естетики та геометрії

Таким чином, маємо дуже чітко виражений, «прозорий» принцип організації архітектурного середовища, який оснований на самоподібності міста, кварталів, будинків, кімнат – тобто фрактальності, характерній, до речі, для об'єктів природного походження. Таким чином знімається протиріччя між природним середовищем за стінами міста і штучним усередині його. Відзначимо також, що фрактальність тут слід розуміти дуже узагальнено – не тільки у вузько геометричному сенсі, а, так би мовити, і в духовному, культурному і соціальному.

Тепер порівняємо описану вище організацію із плануванням сучасних міст-метафор – Бразілії – «птаха» О. Німейера та Л. Кости (рис. 26.13) і «пальми» у Об'єднаних Арабських Еміратах (рис. 26.14), які по праву відносяться до кращих зразків сучасної архітектури.

Цілком очевидною є відсутність кореляцій із будовою Всесвіту, нівелювання сакрального боку (метафори не можуть замінити міфи), відсутність циклічних ритуалів, локальність захисту, порушення фрактальної організації. Таким чином, незважаючи на незрівняно вищі технічні можливості, ці міста слабко гармонують як з навколишнім світом, так і внутрішнім світом людини. Отже, сучасним архітекторам є чому повчитись у стародавніх, творчо переосмислюючи їх підходи у відповідності із сучасним рівнем науки, культури і суспільної організації.

Аналогічно визначаються умови комфорту і для інших психотипів.



Рис. 26.12. Історичне планування міста Вавилон



Рис. 26.13. О. Німейер та Л. Коста. Місто Бразіліа, Бразилія



Рис. 26.14. Острів Пальма 1 (Джумейра), м. Дубай, ОАЕ

Ковальов Ю.М., Чемакіна О.В., Дувалкіна О.Є. Психоемоційний стан людини і архітектурна форма //Прикладна геометрія та інженерна графіка . – К.: КНУБА, 2010. – Вип. 83. – С. 36 – 45.

Ковальов Ю. М., Гірник Н. О., Калашнікова В. В. Забезпечення психологічного комфорту при проектуванні житла на основі теорії самоорганізації С-простору // Праці ТДАТА, 2010. – Вип. 4. Прикладна геометрія та інж. графіка. – т. 46. – С. 58 – 67.

27. МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ

Динаміка штучних та природних систем характеризується або поступовою зміною їх характеристик (***параметрів***) у часі, або раптовими і різкими змінами параметрів. Прикладами останніх є явища биття, резонансу, флаттеру, наслідками яких досить часто є руйнування машин, механізмів або будівель. Зрозуміло, що виявляти співвідношення параметрів, при яких виникають подібні явища, потрібно ще на стадії проектування – і тут на допомогу математиці приходить геометрія, здатна забезпечити наочність відповідного дослідження.

27.1. Загальні положення і поняття

Введемо кілька визначень.

Фазовим простором називається багатовимірний простір, у якому представлена множина всіх станів системи таким чином, що кожному із можливих станів системи відповідає окрема точка. Еволюція системи описується як переміщення точки у фазовому просторі. Координати фазового простору інтерпретуються в залежності від природи системи. Наприклад, для механічної системи з N ступенями свободи координати розуміються як усі *узагальнені координати* q_i та *узагальнені імпульси* p_i (i=1, 2, ..., N), тобто фазовий простір має розмірність 2N. Стан системи у такому просторі зображується точкою з координатами q_1, p_1,..., q_N, p_N, а зміна стану у часі – як рух точки уздовж лінії, яка називається ***фазовою траєкторією***. Рух точки у цьому випадку визначається ***рівняннями Гамільтона***. Для статистичного опису стану системи, яка складається із множини часток вводиться поняття ***фазового об'єму*** та ***функції розподілу системи*** – ймовірності знаходження точки, що зображує стан системи, у будь-якому елементі фазового об'єму.

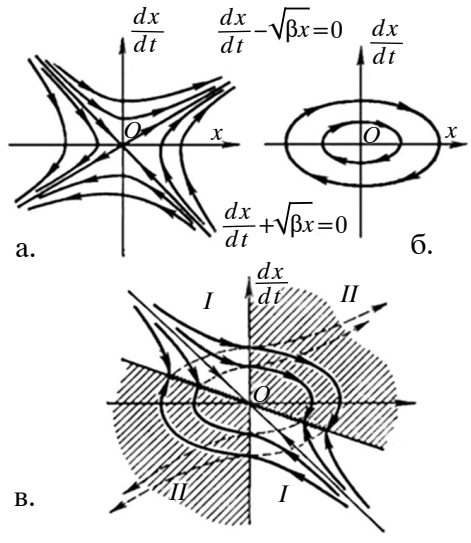


Рис. 27.1. Фазові портрети систем автоматичного управління:
а. З позитивним зворотнім зв'язком (структура I); б. З від'ємним зворотнім зв'язком (структура II); в. Зі змінною структурою; I – область руху системи із структурою I; II – область руху системи із структурою II; 0 – початок координат; *x* – величина, якою керують; *t* – час.

Для динамічних систем поняття фазового простору є більш загальним: його розмірність не завжди парна, а еволюція не завжди описується рівняннями Гамільтона.

Фазовим портретом називається графічне зображення системи на фазовій площині або у багатовимірному просторі, де по координатним осям відкладені значення величин параметрів системи.

Еволюція системи для різних початкових умов буде описуватися окремими фазовими траєкторіями, а сукупність траєкторій для усіх початкових умов і буде фазовим портретом (рис. 27.1).

Аттрактором називається компактна підмножина фазового простору динамічної системи, до якої наближуються усі траєкторії з деякого околу при збільшенні часу еволюції системи до безкінечності.

Наприклад, для руху маятника у повітрі (враховується тертя) аттрактором є недвижна точка.

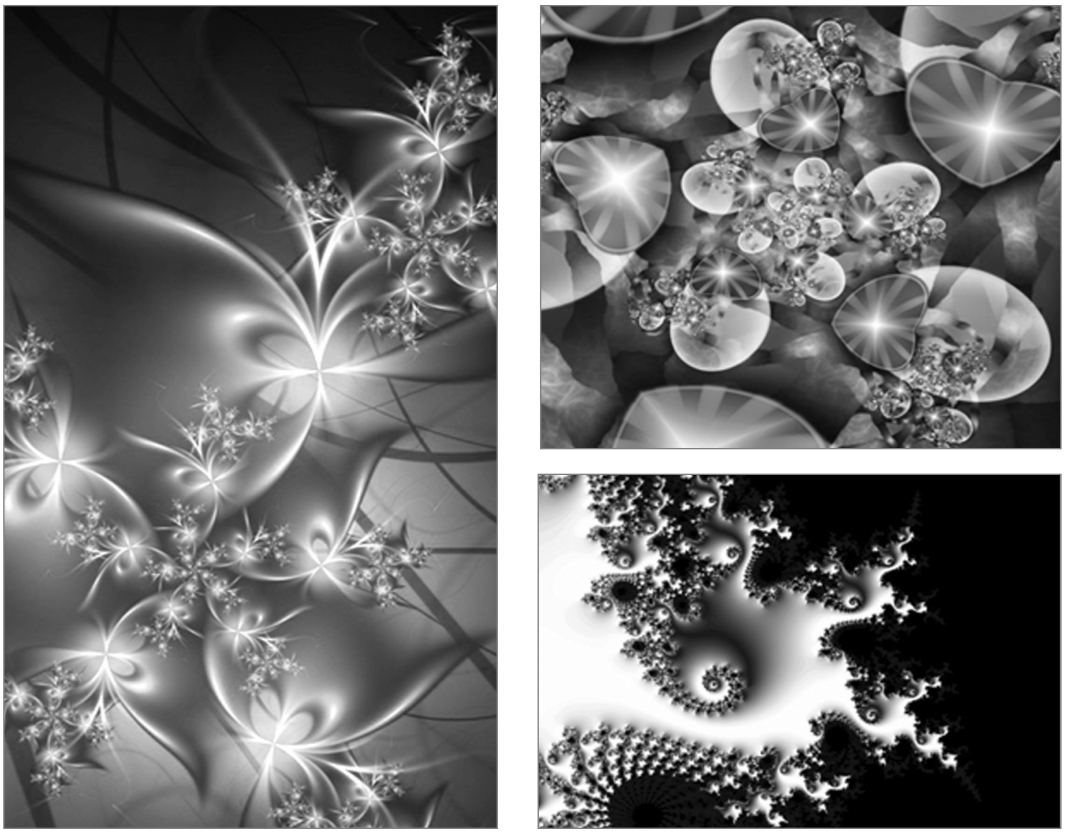


Рис. 27.2. Алгебраїчні та статистичні фрактали

Аттрактори класифікують за:

- формалізацією поняття наближеності (максимальний аттрактор, не блукаюча множина, аттрактор Мілнора, центр Біркгофа, статистичний аттрактор, мінімальний аттрактор);
- регулярнісю самого аттрактора (регулярні: недвижна точка, періодична траєкторія, багато вид; нерегулярні або дивні (фрактальні, хаотичні);
- локальністю та глобальністю;
- а також за іменами дослідників (Лоренца, Пликіна, Смейла-Вільямса, Боуена і т. д.).

Еволюція складних систем, таких, як людський організм, біоценоз, суспільство, досить часто тяжіє до дивних аттракторів. Серед дивних аттракторів часто зустрічаються хаотичні аттрактори, для яких прогнозування траєкторії, що потрапляє до аттрактору, ускладнено, оскільки мала неточність у початкових даних через певний час може привести до суттєвого розходження прогнозованої та реальної траєкторій. Цю непередбачуваність називають динамічним хаосом, на відміну від стохастичного, який виникає у стохастичних динамічних системах. Серед дивних аттракторів зустрічаються такі, хаусдорфова розмірність яких є відмінною від топологічної розмірності і є дрібною. Одним із найбільш відомих аттракторів такого типу є згадуваний аттрактор Лоренца.

Виникнення нецілої розмірності можна проілюструвати, моделюючи самоорганізацію С-простору у вигляді С-графу (розділ 26). Топологічна розмірність моделі n, за умови коінцидентності кожного хвиль наступного шару по відношенню до хвиль попереднього, буде дорівнювати кількості ребер графу, тобто цілому числу. Так, для сценарію 1–1–2–3–5: n=1+1+2+3*2+5*3*2=40. Але хвилі окремих шарів не є однаковими, їх потенціал, амплітуда, довжина закономірно зменшуються. Якщо врахувати це і ввести іншу розмірність, пов'язавши її, наприклад, з потенціалом, то розмірність за тих же умов буде: n=1+0,618+ +0,616/2+0,616/6+0,618*30=2,056.

Інтерпретуючи нелінійний ітераційний процес як поведінку дискретної динамічної системи у фазовому просторі, можна у деяких випадках отримати дивні аттрактори, які описуються як алгебраїчні фрактали (***фракталом*** називається структура, яка складається з частин, у певному сенсі подібних цілому). Аналогічно, можна отримати стохастичні фрактали, якщо у ітераційному процесі випадковим образом змінювати деякі параметри. Отримані у цьому випадку фрактали дуже схожі на природні об'єкти – дерева, контури хмар, берегові лінії тощо – і використовуються для моделювання біологічних об'єктів та рельєфу місцевості. Приклади алгебраїчних та стохастичних фракталів наведено на рис. 27.2.

У комп'ютерній графіці існує чимала кількість програм, у яких використовуються фрактали. Наприклад, це відомий генератор пейзажів Bryce 3D. Оскільки зображення фракталів досить часто є естетично довершеними, проводяться відповідні конкурси, у яких, можливо, і вам доведеться перемогти...

У прикладній геометрії уперше апарат фазового портрету із побудовою аттракторів був використаний І. О. Кузнєцовою для дослідження поведінки судна на хвилях. У подальшому цей напрям розвивався в основному зусиллями вчених Харківської школи – Л. М. Куценка, О. В. Шоман, С. В. Росохи та їх учнів (вигоряння палива у ракетних двигунах, розповсюдження лісових пожеж, фільтрація (перколяція), роторні двигуни, маятникові системи, коливання та автоколивання). При цьому у якості засобу моделювання найчастіше використовується математичний процесор Maple. Наведемо кілка прикладів використання цього апарату.

27.2. Маятникові коливальні системи

Маятникові коливальні системи широко застосовуються в машинах і механізмах, наприклад, у сільськогосподарських молотарках, у гасителях вібрацій, у віброустаткуванні, у церковних дзвонах тощо. На ефективність функціонування перерахованих пристроїв істотно впливають їх експлуатаційні параметри, у тому числі геометричні. Особливо це стосується багатоланкових маятникових механічних систем. При дослідженні цього різновиду пристроїв бажано передбачувати варіанти нестійкості (хаотичності) коливань, що робиться за допомогою фазових портретів коливань. Оскільки процес коливань описується диференціальними рівняннями Лагранжа другого роду, процес побудови фазових портретів відбуваться у такій послідовності:

1) для процесора Maple розробляється метод автоматичного визначення системи диференціальних рівнянь Лагранжа;

2) складається програма розв'язання цієї системи за заданими початковими умовами;

3) вводиться фазовий простір та будуються фазові портрети коливальних маятникових систем за різними початковими умовами. Візуалізація здійснюється за допомогою пакету WinSet;

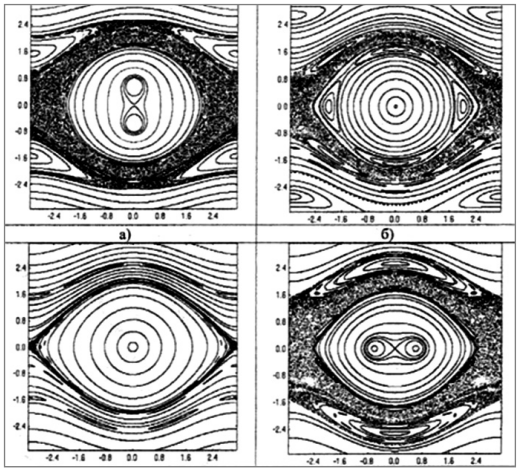


Рис. 27.3. Фазові портрети для параметричного маятника

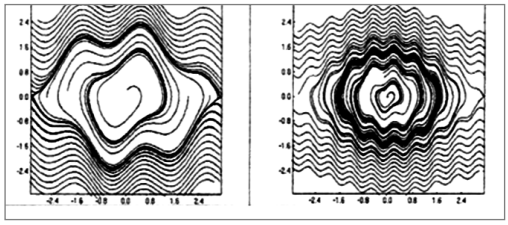


Рис. 27.4. Фазові портрети для маятника генератора циклів

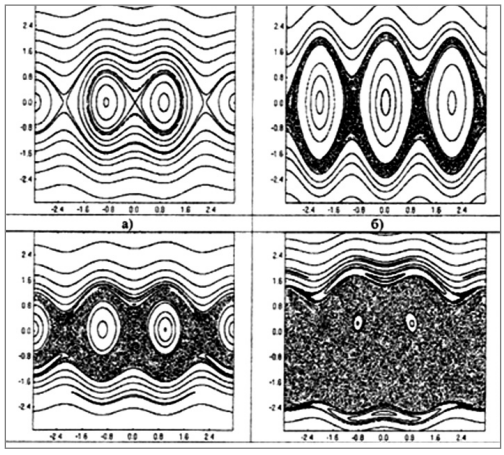


Рис. 27.5. Фазові портрети для полігармонійного маятника

4) проводиться візуальний аналіз поведінки таких систем, у результаті чого визначаються області хаотичності коливань і даються рекомендації по їх усуненню.

На рис. 27.3–27.5 наведено приклади фазових портретів.

Адашевська І. Ю. Геометричне моделювання коливань багатоланкових маятникових механічних систем /Автореферат дис… к. т. н. Х.: АЦЗ України, 2006. – 20 с.

27.3. Роторно-планетарні механізми

Розвиток роторно-планетарних механізмів у значній мірі визначається геометричною досконалістю їх робочих поверхонь. Останнім часом прикладна та обчислювальна геометрія та комп'ютерна графіка досягли успіхів у поданні обводів та поверхонь різних технічних деталей. Це дозволяє перейти від розгляду окремих варіантів задач профілювання їх елементів до геометричного моделювання всього робочого об'єму, залежно від відношення радіусів ділильних кіл зубчатої передачі планетарного механізму, тобто реалізовувати системний підхід до створення машин різною конструктивного оформлення. Ключовим елементом у цьому є побудова анімації взаємного переміщення профілів роторно-планетарних машин із наступним аналізом фаз цього процесу. Побудова анімації здійснюється у наступній послідовності:

1) точно описуються профілі корпусів і роторів як взаємно спряжених кривих;

2) визначається закон зміни об'єму між корпусом і ротором залежно від кута повороту ротора;

3) розробляється спосіб врахування зубчатої передачі внутрішнього зчеплення арочного типу: яка входить до роторно-планетарного механізму;

4) створюється математична модель коливання ротора і корпуса гідронасоса залежно від кута повороту планетарного механізму;

5) проводиться розрахунок динаміки роторно-планетарної гідромашини;

6) розробляється алгоритм анімації переміщення профілів роторно-планетарних машин.

Аналіз таких переміщень визначає адекватність та ефективність конкретних профілів.

На рис. 27.6 – 27.8 наведено фази, що визначають характер переміщень у роторно-планетарних машинах.

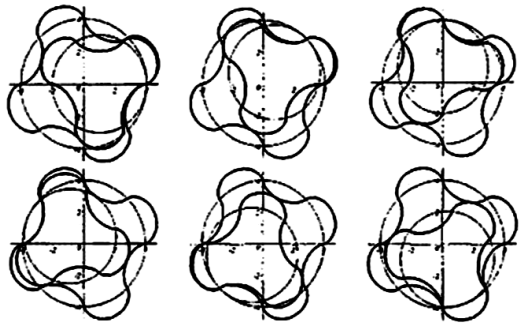


Рис. 27.6. Фази руху роторно-планетарного епігіпотрохоїдного механізму для ділильного радіуса великого кола R = 3

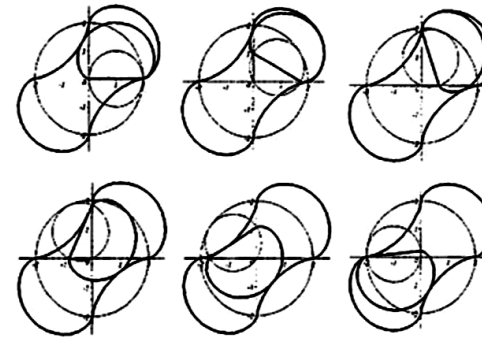


Рис. 27.7. Фази руху роторно-планетарного епігіпотрохоїдного механізму для ділильного радіуса великого кола R = 2

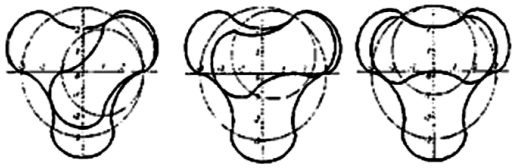


Рис. 27.8. Фази руху роторно-планетарного епігіпотрохоїдного механізму для ділильного радіуса великого кола R = 4

Росоха С. В. Компютерно-геометричні моделі роторно-планетарних трохоїд них гідромашин /Автореферат дис… д. т. н. Х.: УЦЗ України, 2009. – 40 с.

Лінчевський Є. А. Геометричне моделювання епітрохоїд них профілів роторно-планетарних машин /Автореферат дис… к. т. н. Х.: УЦЗ України, 2010. – 20 с.

28. РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ

Розпізнавання образів – це відносно молодий науковий напрям, що розглядає теорію і методи класифікації і ідентифікації предметів, явищ, процесів, ситуацій, сигналів тощо. Геометричні дослідження тут направлені на удосконалення попередньої обробки візуальних та інших даних тарозробку деяких методів розпізнавання. Теорія самоорганізації складних систем (розділ 24) використовується для уточнення деяких теоретичних положень та побудову інтуїтивних систем відображення інформації із їх специфічними способами кодування та розпізнавання.

28.1. Загальні положення та поняття

Розглянемо основні поняття і задачі розпізнавання образів у їх класичній постановці.

Поняття образу виражає відношення між елементами двох множин, одна з яких є моделлю іншої, тобто може бути рефлексивним (якщо воно має місце між об'єктом і ним самим $x \to x$, «x схожий на x»), симетричним ($x \to y$, $y \to x$, з «x схожий на y» випливає «y схожий на x»), транзитивним (якщо з $x \to z$, а $z \to y$ випливає $x \to y$, «x однаковий з y», але не «x схожий на y»). Виконання усіх трьох відношень називається ***еквівалентністю***, а перших двох – ***толерантністю***. Відтак, об'єкти, між якими існує відношення еквівалентності, або, принаймні, толерантності, у сукупності утворюють ***образ***.

До початку дослідження будь-якого явища або процесу слід мати про нього певну інформацію. Такою інформацією є відбиття характеристик об'єкта на органах сприйняття системи розпізнавання. Відбиття об'єкту на органи сприйняття називається ***зображенням***, а множини таких зображень і є ***образами***. Інколи зображення називається ***станом***, а сукупність усіх станів – ситуацією. Отже, зображення і стан – це конкретна характеристика об'єкту, а образ і ситуація – певна множина зображень або станів, пов'язаних деякими спільними властивостями.

Відтак, ***розпізнаванням образів є визначення приналежності даного об'єкту до одного із заздалегідь виділених образів***. Об'єктами можуть бути предмети, явища, процеси, ситуації, сигнали, описані сукупністю основних характеристик (ознак, властивостей) $X = (x_1 ..., x_i ..., x_n)$, де i-а координата вектора X визначає значення i-ої характеристики, і додатковою характеристикою S, яка вказує на приналежність об'єкту до деякого класу (образу). Набор об'єктів, що заздалегідь класифікуються, тобто таких, в яких відомі характеристики X і S, використовується для виявлення закономірних зв'язків між значеннями цих характеристик і тому називаються ***навчальною вибіркою***. Ті об'єкти, в яких характеристика S невідома, утворюють ***контрольну вибірку***. Окремі об'єкти навчальної і контрольної вибірок називаються ***реалізаціями.***

Суттєвим є виділення істотних ознак, що характеризують об'єкти, із загальної маси несуттєвих даних, від чого прямо залежить успіх розпізнавання. Ще однією умовою є коректність попередньої класифікації. Третьою умовою є вибір правила (вирішальній функції) D, відповідно до якого за значенням контрольній реалізації X встановлюється її приналежність до одного з образів, тобто вказуються найбільш правдоподібні значення характеристики S для даного X. При цьому використовуються закономірні зв'язки між характеристиками X і S, що виявляються на навчальній вибірці, і деякі додаткові апріорні гіпотези, наприклад, що характеристики X для реалізацій образів є випадковими вибірками з нормальним розподілом; реалізації образу розташовані *компактно* (в деякому розумінні); ознаки в наборі X незалежні тощо.

Окрім згадуваних, у процесі розпізнавання розв'язуються задачі подання зображень у растровій або векторній формі, перетворення зображень у коди, їх опису за допомогою формальних мов, визначення інформативності та схожістю, надійності розпізнавання.

Традиційно розпізнавання образів відноситься до задач штучного інтелекту.

Можна виділити два основних напрями досліджень у галузі розпізнавання:

- вивчення способів розпізнавання, притаманних живим істотам, їх пояснення та моделювання;
- теоріяі методи побудови пристроїв, призначених для розв'язання окремих задач у прикладних цілях.

У подальшому будемо розглядати лише другий із них.

До традиційних задач цього напряму відносяться:

- розпізнавання символів (літер, штрих-кодів, автомобільних номерів тощо);
- розпізнавання текстів;
- розпізнавання осіб;
- розпізнавання статичних зображень об'єктів природного та штучного походження (у галузях картографії, медицини, військової справи тощо);
- розпізнавання локальних ділянок земної кори за ознаками наявності родовищ корисних копалин;
- розпізнавання динамічних образів.

Вапник В. Н., Червоненкис А. Я. Теория распознавания образов. – М.: Наука, 1974. – 416 с.
Форсайт Дэвид А., Понс Джин. Компьютерное зрение. Современный подход. – М.: «Вильямс», 2004. – 928 с.

28.2. Методи розпізнавання образів

Існує декілька десятків універсальних та спеціалізованих методів розпізнавання, і цей арсенал постійно поповнюється. Тому коротко охарактеризуємо лише найбільш популярні з них.

До найбільш простих методів відносяться *суміщення з еталонами, маркірування, квазітопологічний метод розпізнавання*. Перевагою цих методів є простота, недоліком – надмірна спеціалізація. Втім, для конкретних умов вони можуть бути достатньо ефективними.

Натомість, універсальним методом розпізнавання є моделювання гіпотетичних процесів, що відбуваються у нейронних мережах людського мозку, за допомогою запропонованих Ф. Розенблаттом пристроїв, які називаються *перцептронами*. Перцептрон складається із сукупності чуттєвих елементів, які сприймають вихідні зображення. Ці елементи випадковим чином з'єднані з асоціативними елементами, вихід з яких є відмінним від нульового, тільки за умови збудження достатньо великої кількості з'єднаних з ним чуттєвих елементів. Асоціативні елементи з'єднані із вихідними елементами зв'язками, які мають змінні коефіцієнти підсилення. Величина цих коефіцієнтів визначається у процесі навчання. Зважена комбінація виходів асоціативних елементів і є реакцією перцептрона на певний образ.

При застосуванні *методу потенційних функцій* можливою є геометрична інтерпретація задачі навчання – зображення представляються у вигляді векторів у просторі вхідних сигналів; визначається, виходячи з додаткових даних, функція $f(X)$; у процесі навчання для точок X пред'являються значення функції у цих точках. Тоді задача зводиться до апроксимаційної – потрібно по заданим значенням відновити $f(X)$ у всьому просторі. Багато з відомих методів розпізнавання, зокрема, і перцептрони, припускають подібну інтерпретацію.

Задачу розпізнавання можна також інтерпретувати у рамках запропонованого А. Г. Івахненко *методу групового урахування аргументів*, який спочатку використовувався для моделювання складних систем на основі невеликої кількості експериментальних даних (що часто трапляється і у задачах розпізнавання). Суть методу полягає у реалізації принципу самоорганізації – є процедура генерації математичних моделей, які перевіряються на відповідність вихідним даним і так званому критерію селекції, після чого деякі з них відбраковуються, а ті, що пройшли перевірки, становляться основою для синтезу більш складних і точних моделей аж до отримання єдиної моделі оптимальної складності. Задача розпізнавання при застосуванні цього методу припускає таку геометричну інтерпретацію. Нехай інваріантною властивістю зображень одного образу є деяка функція $f(X)$, яка є приблизно однаковою для усій сукупності цих зображень, утворюючи поверхню у багатовимірному просторі ознак. Додаючи до цього простору ще одну координату – значення $f(X)$ – отримуємо ситуацію, коли різним образам відповідають незв'язні відрізки на вісі f, що і є ознакою, за допомогою якої можна розрізнювати різні образи.

Ще однією ідеєю розпізнавання образів є використання лінгвістичних структур, які складаються із словника і правил конструювання фраз, що описують конкретний образ (граматики). Цей метод називається *структурним* або *лінгвістичним*. Слід відзначити, що цей метод використовується не тільки для задач розпізнавання текстів, але й для розпізнавання будь яких образів, за умови можливості складання для них формалізованих описів.

Васильев В. И. Распознающие системы. Справочник. – К.: Наукова думка, 1983. – 422 с.

28.3. Розпізнавання образів у прикладній геометрії

А. Задача розпізнавання зображень, одержаних аерокосмічними засобами зондування

Зображення цього типу важливі для діагностики фізичного стану матеріальних об'єктів, екологічного моніторингу, землекористування, геоінформаційних систем тощо. Провідне місце серед апаратних засобів у сучасних аерокосмічних системах займають багатоспектральнісканувючі пристрої – оптико-електронна апаратура, що фіксує електромагнітне випромінювання (відбите або власне) об'єктів в оптичному та інфрачервоному діапазонах. Як сенсори в такій апаратурі використовуються фотоприймачі на основі приладів із зарядовим зв'язком, скомпоновані у лінійні масиви, кожний з яких чутливий до певного спектрального діапазону випромінення.

Основними факторами, які зумовлюють інформаційну значущість отримуваних багатоспектральних зображень є просторова, радіометрична та спектральна розрізненості – відповідно мінімальні розміри матеріального об'єкту, які можуть бути розрізнені на зображенні, максимальна кількість градацій його яскравості таінтервали довжин хвиль електромагнітного випромінювання, які реєструють сенсори. Найбільш істотним є спектральне розрізнення, тому що матеріальні об'єкти візуалізуються різними просторовими розподілами яскравості на зображеннях, отриманих у різних спектральних діапазонах.

Геометричні моделі формування зображень з достатньою точністю описуються проективними відображеннями просторових форм поверхонь об'єктів зондування на площини відповідних проекцій (рис. 28.1).

Суттєвий вплив на характеристики розрізненості мають фізичні закономірності формування зображень, обумовлені сканерним режимом їхнього формування, за якого зображення фіксується послідовною зйомкою смуг огляду, кожна з яких на момент фіксації має дискретизований характер.

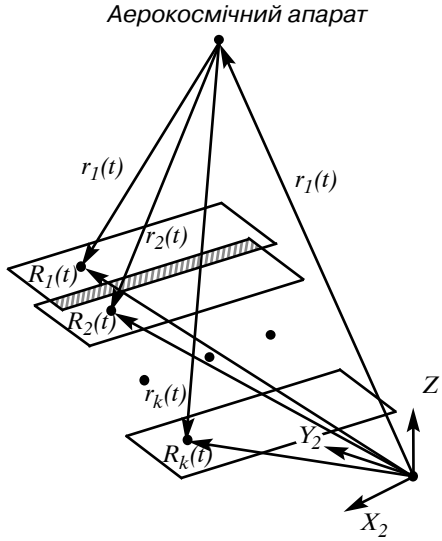


Рис. 28.1. Геометрична модель сканерної зйомки

Просторові нестабільності оптико-механічних систем багато-спектральних сенсорів, неминучі у реальних умовах зйомки (порушення компланарності лінійних масивів фоточутливих сенсорів, девіації взаємного просторового розташування об'єкту зондування та йот сенсору) спричиняють геометричні та радіометричні спотворення сформованих зображень, що зменшує їхню інформативність та графічне подання, проявом чого є порушення рівномірності розподілу яскравості та «розриви» спостережуваної сцени уздовж лінії стику скапів. На відміну від обробки кадровихзображень, математичні моделі яких сформувалися та успішно застосовуються, технології обробки сканерних цифрових аерокосмічних знімків потребують розвитку нових геометричних моделей їхнього формування як основи для методів корекції спотворень. Отже, розробка нових геометричних моделей формування та попередньої обробки сканерних зображень і на цій основі – автоматизованих процедур перетворення первинних зображень, направлених на підвищення їх просторового і спектрального розрізнення з метою забезпечення розпізнавання, є актуальною проблемою.

Б. Вибір класифікаційних ознак

Визначенню класифікаційних ознак присвячені роботи В. М. Корчинського, В. В. Гнатушенко та їх учнів, у яких досліджуються дані про фізичний стан об'єктів за допомогою зображень, отриманих безконтактними засобами фіксації власного або відбитого електромагнітного випромінювання.

Формоутворення зображень проекційної природи, отриманих у короткохвильових діапазонах електромагнітного спектра, з достатньою точністю представляється в рамках теорії дифракції, а саме: просторові розподіли яркостей відображуваної сцени є результатом згортки власної яскравості сцени у фіксованому спектральному діапазоні й функції розсіювання. При цьому під функцією розсіювання розуміється оптична передатна характеристика системи формування зображення. Отже, просторовий розподіл яскравості зображення можна обчислити за допомогою формули:

$$I(\mathbf{r}) = \int_{\Omega} P(\mathbf{r}-\rho) I_0(\rho) d\rho,$$

де Ω – поле зору датчика, $\mathbf{r}$ – радіус-вектор крапки зображення, $I_0(\rho)$ – просторовий розподіл яскравості сцени, $P(\mathbf{r})$ – функція розсіювання.

За основу системи інформаційних ознак приймаються семіінваріанти просторового розподілу яскравості зображення, які обчислюються за допомогою формул

$$S_{nm} = \frac{1}{i^{n+m}} \frac{\partial^{n+m}}{\partial u_1^n \partial u_2^m} \ln F(\mathbf{u})\big|_{u=0},$$

де $F(\mathbf{u})$ – перетворення Фур'є від функції просторового розподілу яскравості зображення, $\mathbf{u}=(u_1, u_2)$ – коваріантний вектор просторових частот зображення, n, m – цілі числа, сума яких означає порядок семіінваріанта, i – уявна одиниця.

Щоб забезпечити аффінну інваріантність інформаційних ознак, вводяться безрозмірні комбінації семіінваріантів S_{nm} просторового розподілу яскравості, які мають вигляд

$$Z_i=S_{i,N-i}\exp\left(-\frac{N}{2}S_{00}\right),\ i=0,...,N.$$

Якщо $N\geqslant 2$, то величини Z_i є інваріантними при паралельному перенесенні площини. При стисканні площини в напрямку осей декартової системи координат Z_i перетворяться згідно виразів:

$$\overline{Z}_i=Z_i k_i^{\frac{N-2-2i}{2}},\ \overline{Z}_i=Z_i k_2^{\frac{2i-2-N}{2}},$$

де k_1, k_2 – коефіцієнти стискання уздовж горизонтальної й вертикальної осей координатної системи зображення. При зміщенні площини в напрямку осей декартовой системи координат перетворення Z_i виражається формулами:

$$\overline{Z}_i=\sum_{k=0}^{i} C_i^k(-1)^{i-k}\,a^{i-k}Z_k,$$

$$\overline{Z}_i=\sum_{k=0}^{i} C_{N-i}^k(-1)^{N-i-k}\,a^{N-i-k}Z_k,$$

де a, b – коефіцієнти зміщення площини уздовж горизонтальної й вертикальної осей координатної системи зображення. Перетворення величин Z_i при обертанні площини на кут α має вигляд

$$\overline{Z}_i=\sum_{k=0}^{i} C_i^k(-1)^{i-k}\cos^k\alpha\,\sin^{i-k}\alpha\,Z_k.$$

За допомогою виразів, що описують аффінні перетворення площини зображення, утворяться наступні комбінації величин Z_i, інваріантних до аффінних перетворень, при парних значеннях N

$$F_n=Z_n^2-2\sum_{k=0}^{n-1}(-1)^k\frac{(\mathrm{n}!)^2}{(n-k-1)(n+k+1)}Z_{n-1}Z_{n+k+2}.$$

де $\mathrm{n}=N/2$.

Таким чином, величини F_n можна розглядати як аффінно-інваріантні інформаційні ознаки зображення. При цьому класи об'єктів визначаються як множини зображень, які відрізняються від еталонного зображення аффінними перетвореннями, а вирішальне правило полягає у порівнянні інформаційних ознак різних порядків N, обчислених для зображення, що аналізується, з їх еталонними значеннями. Зазначимо, що із збільшенням порядків N інформативність даної системи інформаційних ознак підвищується.

В. Збільшення просторового розрізнення цифрових спектральних зображень здійснюється за допомогою їх сполучення з напівтоновими зображеннями на основі ***вейвлет-технологій*** обробки двовимірних інформаційних сигналів. Вейвлет-перетворення полягає в поданні розподілу яскравості зображення у вигляді розкладання по певному функціональному базису, у рамках якого даний розподіл представляється двома складовими: апроксимуючої й деталізуючою. При цьому апроксимуючий компонент у свою чергу може бути піддано такому ж розкладанню шляхом процедури, яку називають вейвлет-декомпозицією. Таким чином, розподіл яскравості зображення можна представити у вигляді

$$I(\mathbf{r})=I_N^{(a)}(\mathbf{r})+\sum I_k^{(d)}(\mathbf{r}),$$

де $I_N^{(a)}(\mathbf{r})$, $I_k^{(d)}(\mathbf{r})$ – відповідно апроксимуюча й детализирующая складові, **r** – радіус-вектор точки зображення, N – максимальний рівень декомпозиції.

Застосування вейвлет-декомпозиції для збільшення просторового розходження цифрових спектральних зображень обумовлюється тим, що апроксимуюча й детализирующая складові містять відповідно великомасштабні й дрібномасштабні компоненти розподілу яскравості, причому масштаб компонентів з низькими просторовими розходженнями збільшується з ростом рівня вейвлет-декомпозиції. При цьому компоненти, що деталізуються, беруться з первинного напівтонового зображення, щомає істотно більше лінійне розходження, чим вихідне спектральне зображення. Зазначимо, що синтезоване зображення не тільки збільшує просторове розходження, але й зберігає спектральну й радіометричну інформацію, присутню на первісному спектральному зображенні.

Для оцінки інформативності зображень, отриманих при сполученні спектральних і напівтонових зображень, пропонується інформаційна характеристика, яка називається сигнальною ентропією. Передбачається, що просторовий розподіл яскравості описується залежністю $z=I(\mathbf{r})$ у координатній системі, пов'язаній із площиною зображення. Тоді сигнальна ентропія представляється у вигляді

$$E=-\int_0^Z p(z)\log_2 p(z)dz\,,$$

де $p(z)$ – щільність розподілу яскравості по площині зображення.

Для цифрових зображень даний вираз має вигляд

$$E=-\sum_{n=0}^{M-1} p_n \log_2 p_n\,,$$

де $p_n=nN_n\Big/\sum_{m=0}^{M-1} mN_m$, N_n – кількість пікселів з рівнем яскравості n, M – кількість цілочислених рівнів яскравості, присутніх у зображенні.

При цьому визначення оптимального значення рівня вейвлет-декомпозиції здійснюється за критерієм максимуму сигнальної ентропії.

Приклади застосування вейвлет перетворень для обробки зображень показані на рис. 28.2.



Рис. 28.2. Зображення, обримані за допомогою звичайних (ліворуч) та пакетних (праворуч) вейвлет перетворень

Гнатушенко В. В. Геометричні моделі формування та попередньої обробки цифрових фотограмметричних зображень високого просторового розрізнення /Автореферат дис. д. т. н. – Дніпропетровськ: ДНУ, 2009. – 44 с.
Дмитрієва І. С. Геометрчні моделі формування та корекції фотограмметричних даних цифрової стереозйомки /Автореферат дис. к. т. н., 2008. – 21 с.
Гордінко О. М. Математичні моделі підвищення інформативності багато спектральних фотограмметричних цифрових зображень/Автореферат дис. к. т. н., 2009. – 18 с.

Г. Методи підвищення якості низкоконтрастних зображень

До такого роду зображень відносяться медичні радіологічні зображення, зображення геодезичних полів, оптичні мікроскопічні зображення тощо.

Один із методів ґрунтується на інтерференційних перетвореннях досліджуваних зображень і передбачає перехід із простору дійсних яскравостей зображення в площину комплексних яскравостей, причома амплітудна (яскравістна) модуляція зображення заміняється його фазовою (кутовою) модуляцією у комплексній площині:

$$A(x,y)=\exp\left[i\frac{\pi I(x,y)}{\lambda}\right]=\mathrm{Re}\{A(x,y)\}+i\mathrm{Im}\{A(x,y)\},$$

де $I(x,y)$ – просторовий розподіл яскравості вихідного зображення, – довжина хвилі віртуального когерентного оптичного випромінювання.

Метод істотно поліпшує якість зображення, але результуюче зображення є інверсним відносно вихідного, що утрудняє його зорове сприйняття.

У роботах Л. М. Куценко запропоновано застосування центральних моментів до розпізнавання зображень. Відзначається, що дослідження змін центральних моментів другого порядку при обертанні центрованного зображення дозволяє визначити тільки його центральні осі. Застосування функцій Фур'є з відповідними лінійними перетвореннями враховує контур зображення. Центрування зображень із їх наступним стиском виділяє геометричні характеристики, не враховуючі інваріанти центральних моментів. Для рішення розглянутих проблем пропонуються інваріантні ознаки, що дозволяють дати математичну оцінку змінам центральних моментів з урахуванням орієнтації об'єкта. Запропонований метод центральних моментів можна застосувати до обмеженого класу чорно-білих зображень, що включають симетричні об'єкти.

Д. Використання фрактального аналізу для розпізнавання об'єктів за низькоконтрастними зображеннями

Виявлення малоконтрастних геометричних об'єктів, наприклад, бронхів, уражених туберкульозом, є однієї з найбільш складних задач розпізнавання образів. Особливістю рентгенівських знімків легенів людини є те, що бронхи утворюють геометричний об'єкт, що має деревоподібну структуру з ознаками самоподібності. Це пояснює вибір фрактальної геометрії для класифікації низькоконтрастних зображень, що містять геометричні об'єкти з нечіткими границями. При цьому ключовим є питання, чи є фрактальна розмірність зображення інваріантною до введення об'єктів із меншою або рівною фрактальною розмірністю.

Доведемодві теореми, на які спирається аналізі фрактальних розмірностей медичних зображень.

Теорема 28.1. *Якщо до зображення, що містить об'єкт із деякою фрактальною розмірністю D_1, додати об'єкт, обмежений гладкою лінією з фрактальною розмірністю, що дорівнює її топологічної розмірності $D_2=1$, фрактальна розмірність зображення не зміниться $D=D_1$.*

Нехай об'єктом, обмеженим гладкою лінією, є пряма лінія, побудована за визначеними правилами. Візьмемо відрізок прямої лінії одиничної довжини. Поділимо відрізок прямої на три рівні частини. Побудуємо ламану пряму лінію, що складається з трьох відрізків, довжини яких складають третю частину вихідного відрізка прямої лінії. Побудуємо на кожному відрізку отриманої ламаної прямої лінії таку ламану пряму лінію, що складається з чотирьох відрізків, довжини яких складають третю частину основного відрізка прямої лінії. Продовжимо процес ітеративного ділення одиничного відрізка прямої лінії до нескінченності й у межі одержимо ламану пряму лінію, що складається з нескінченого числа відрізків.

Звідси випливає, що кількість відрізків ламаної прямої лінії і їх довжина на n-ому кроці ітерації обчислюються за формулами:

$$N_n=3^n;\ \delta=\left(\frac{1}{3}\right)^n.$$

Тоді довжина ламаної прямої лінії на n-ому кроці ітерації дорівнює добутку числа її відрізків на їх довжину і визначається за допомогою виразу

$$L_n=N_n\delta_n=\left(\frac{3}{3}\right)^n=1.$$

Обчислимо фрактальну розмірність ламаної прямої лінії, точки якої після нескінченого числа ділення збігаються з точками вихідного відрізка прямої лінії:

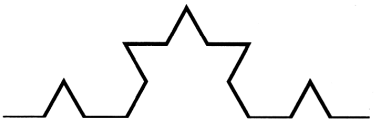
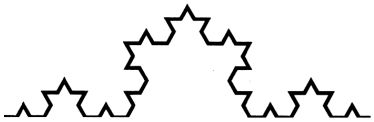
$$D_2=-\lim_{n\to\infty}\frac{\ln N_n}{\ln\delta_n}=-\lim_{n\to\infty}\frac{\ln 3^n}{\ln\left(\frac{1}{3}\right)^n}=\frac{\ln 3}{\ln 3}=1.$$

Нехай зображення містить лінію Коха, побудовану за правилами, наведеними у табл. 28.1. Застосуємо метод визначення фрактальної розмірності зображення, заснований на підрахунку числа клітинок, що покривають об'єкт. Тоді фрактальна розмірність зображення дорівнюватиме фрактальній розмірності цієї лінії Коха

$$D=D_1=\frac{\ln 4}{\ln 3}.$$

Таблиця 28.1.

Побудова лінії Коха з фрактальною розмірністю $D=\ln 4/\ln 3$

Порядок ітерації	Число відрізків	Довжина відрізка
	$N_1=4$	$\delta_1=\frac{1}{3}$
	$N_2=4\cdot 4=4^2$	$\delta_2=\frac{1}{3}\cdot\frac{1}{3}=\left(\frac{1}{3}\right)^2$
	$N_3=4\cdot 4^2=4^3$	$\delta_3=\frac{1}{3}\cdot\left(\frac{1}{3}\right)^2=\left(\frac{1}{3}\right)^3$

Введемо в зображення гладку лінію, складену з нескінченого числа відрізків прямої лінії. Обчислимо фрактальну розмірність зображення в припущенні, що підрахунок числа клітинок, що покривають лінію Коха і гладку лінію, рівносильний підрахунку відрізків, що належать цим лініям

$$D=-\lim_{n\to\infty}\frac{\ln(N_n^1+N_n^2)}{\ln\delta_n}\,.$$

Оскільки обидві лінії будуються за тими самими правилами, порядок ітерацій, необхідних для їх побудови, однаковий. Підставимо число N_n відрізків, що належать кожній лінії, та їх довжину δ_n в останній вираз і після перетворень отримаємо

$$D=-\lim_{n\to\infty}\frac{\ln(4^n+3^n)}{\ln\left(\frac{1}{3}\right)^n}=\lim_{n\to\infty}\frac{\ln(4^n+3^n)^{\frac{1}{n}}}{\ln 3}=$$

$$=\lim_{n\to\infty}\frac{\ln\left(4\left(1+\left(\frac{3}{4}\right)^n\right)^{\frac{1}{n}}\right)}{\ln 3}=\frac{\ln 4}{\ln 3}+\lim_{n\to\infty}\frac{1}{n}\,\frac{\ln\left(1+\left(\frac{3}{4}\right)^n\right)}{\ln 3}=\frac{\ln 4}{\ln 3}\,.$$

Таким чином, фрактальна розмірність зображення, що містить лінію Коха, подану в табл. 1, і гладку лінію, дорівнює фрактальній розмірності зображення, що містить одну лінію Коха, узяту з тієї ж таблиці, $D=D_1$.

Неважко помітити, що це твердження справедливо для всіх ліній, довжина яких змінюється за степінним законом $L_n = \left(\frac{3+N}{3}\right)^n$, де N – будь-яке натуральне число. Це випливає з аксіоми індукції [8], що стверджує, що якщо деяке твердження вірно як при $N=1$, так і при будь-якому натуральному числі N, то це твердження вірно і при числі $N=N+1$. Тому це твердження вірно для всіх натуральних чисел N.

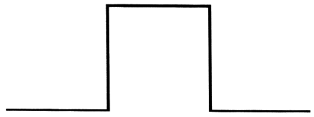
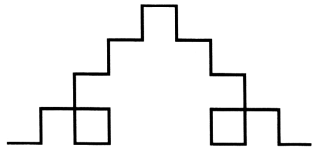
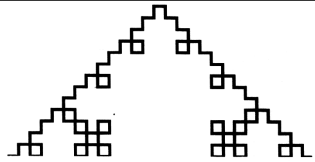
Звідси випливає, що якщо до зображення, що містить ділянку даного кольору і має контур, заданий фрактальною лінією, додати ще одну ділянку того ж кольору і з контуром, заданим гладкою лінією, фрактальна розмірність зображення не зміниться.

Теорема 28.2. *Якщо до зображення, що містить об'єкт із деякою фрактальною розмірністю D_1, додати об'єкт, фрактальна розмірність якого більше фрактальної розмірності першого об'єкту $D_2>D_1$, то фрактальна розмірність зображення дорівнюватиме фрактальній розмірності об'єкта з більшою фрактальною розмірністю $D=D_2$.*

Нехай перший і другий об'єкти є лініями Коха. Виберемо в якості першого об'єкта лінію Коха, подану в табл. 28.1. Нехай другим об'єктом також є лінія Коха, побудована за визначеними правилами. Візьмемо відрізок прямої лінії одиничної довжини. Поділимо відрізок прямої на три рівні частини. Побудуємо ламану пряму лінію, що складається з п'ятьох відрізків, довжини яких складають третю частину вихідного відрізка прямої лінії. Нехай початкова і кінцева точка ламаної прямої лінії збігаються з початковою і кінцевою точкою вихідного відрізка прямої лінії. Побудуємо на кожному відрізку отриманої ламаної прямої лінії таку ламану пряму лінію, що складається з п'ятьох відрізків, довжини яких складають третю частину основного відрізка прямої лінії. Продовжимо процес ітеративного ділення одиничного відрізка прямої лінії до нескінченності й у межі одержимо неперервну лінію, що не має неперервної похідної в жодній точці. Покажемо послідовність дій з побудови другої лінії Коха в табл. 28.2.

Таблиця 28.2

Побудова лінії Коха з фрактальною розмірністю $D=\ln 5/\ln 3$

Порядок ітерації	**Число відрізків**	**Довжина відрізка**
	$N_1=5$	$\delta_1=\frac{1}{3}$
	$N_2=5\cdot 5=5^2$	$\delta_2=\frac{1}{3}\cdot\frac{1}{3}=\left(\frac{1}{3}\right)^2$
	$N_3=5\cdot 5^2=5^3$	$\delta_3=\frac{1}{3}\cdot\left(\frac{1}{3}\right)^2=\left(\frac{1}{3}\right)^3$

Як випливає з табл. 28.2, кількість відрізків ламаної прямої лінії і їх довжина на n-ому кроці ітерації обчислюються за формулами:

$$N_n=5^n;\quad \delta_n=\left(\frac{1}{3}\right)^n.$$

Довжина ламаної прямої лінії на n-ому кроці ітерації дорівнює добутку числа її відрізків на їх довжину і визначається за допомогою виразу

$$L_n=N_n\delta_n=\left(\frac{5}{3}\right)^n.$$

Фрактальна розмірність цієї лінії Коха також визначається як граничне відношення логарифма числа її відрізків до логарифма їх довжини при наближенні числа ітерацій до нескінченності

$$D=-\lim_{n\to\infty}\frac{\ln N_n}{\ln\delta_n}.$$

Обчислимо фрактальну розмірність лінії Коха, поданої в табл. 2

$$D_2=-\lim_{n\to\infty}\frac{\ln 5^n}{\ln\left(\frac{1}{3}\right)^n}=\frac{\ln 5}{\ln 3}.$$

Нехай зображення містить тільки одну лінію Коха, побудовану за правилами, наведеними у табл. 1. Застосуємо метод визначення фрактальної розмірності зображення, заснований на підрахунку числа клітинок, що покривають об'єкт. Припустимо, що сторона квадрата сітки визначається за тим ж правилом, що і довжина відрізка ламаної прямої лінії, що утворює лінію Коха. Тоді число клітинок, що покривають лінію Коха, дорівнює числу відрізків, що належать цієї лінії, а фрактальна розмірність зображення дорівнюватиметься фрактальній розмірності цієї лінії

$$D=D_1=\frac{\ln 4}{\ln 3}.$$

Введемо в зображення ще одну лінію Коха, побудовану за тими ж правилами, що і попередня лінія, і з тією ж фрактальною розмірністю. Обчислимо фрактальну розмірність зображення в припущенні, що підрахунок числа клітинок, що покривають першу і другу лінії Коха, рівносильний підрахунку відрізків, що належать цим лініям

$$D=D-\lim_{n\to\infty}\frac{\ln(N_n^1+N_n^2)}{\ln\delta_n}.$$

Оскільки обидві лінії будуються за тими самими правилами, порядок ітерацій, необхідних для їх побудови, однаковий. Підставимо число N_n відрізків, що належать кожній лінії, і їх довжину δ_n в останній вираз і після перетворень отримаємо

$$D=-\lim_{n\to\infty}\frac{\ln(4^n+5^n)}{\ln\left(\frac{1}{3}\right)^n}=\lim_{n\to\infty}\frac{\ln(4^n+5^n)^{\frac{1}{n}}}{\ln 3}=$$

$$=\lim_{n\to\infty}\frac{\ln\left(5\left(1+\left(\frac{4}{5}\right)^n\right)^{\frac{1}{n}}\right)}{\ln 3}=\frac{\ln 5}{\ln 3}+\lim_{n\to\infty}\frac{1}{n}\,\frac{\ln\left(1+\left(\frac{4}{5}\right)^n\right)}{}=\frac{\ln 5}{\ln 3}\ .$$

Таким чином, фрактальна розмірність зображення, що містить дві лінії Коха, дорівнює фрактальній розмірності лінії Коха, що має більшу фрактальну розмірність і є наведеною у табл. 28.2, $D=D_2$.

Неважко помітити, що це твердження справедливо для всіх ліній, довжина яких змінюється за степінним законом , $L_n=\left(\frac{3+N}{3}\right)^n$, де N – будь-яке натуральне число. Це випливає з аксіоми індукції, що стверджує, що якщо деяке твердження вірно як при $N=1$, так і при будь-якому натуральному числі N, то це твердження вірно і при числі $N=N+1$. Тому це твердження вірно для всіх натуральних чисел N.

Звідси випливає, що якщо до зображення, що містить ділянку даного кольору і має контур, заданий фрактальною лінією, додати ще одну ділянку того ж кольору і з контуром із більшою фрактальною розмірністю, фрактальна розмірність зображення збільшиться.

Ніцин О. Ю., Ніцин Д. О. Фрактальна розмірність групи об'єктів із різною фрактальною розмірністю // Праці Таврійського державного агротехнологічного ун-ту, 2010. – Вип. 4. Прикладна геометрія та інж. графіка. – т. 46. – С. 50–57

Ковалев Ю. Н. Геометрическое моделирование эргатических систем: разработка аппарата. К. : КМУГА, 1996. – 136 с.

Ковалев Ю. Н. Эргономическая оптимизация управления на онове моделей С-пространства К. : КМУГА, 1996. – 152 с.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Барышников А. П.* Перспектива. – М.: «Искусство», 1955. – 200 с.
2. *Берже М.* Геометрия. – М.: Мир, 1984. – тт. 1, 2
3. *Бондаренко С. В. Бондаренко М. Ю.* Adobe Photoshop CS4. Самоучитель. – Диалектика, 2009. – 320 с.
4. *Бубенников А. В.* Начертательная геометрия. – М.: Высшая школа, 1985. – 288 с.
5. *Вальков К. И.* Лекции по основам геометрического моделирования. – Л., 1970. – 239 с.
6. *Вольберг О. А.* Лекции по начертательной геометрии. – М.: Учпедгиз, 1947. – 348 с.
7. *Гильберт Д.* Основания геометрии. – М.: ОГИЗ, 1948. – 491 с.
8. *Иванов Г. С.* Теоретические основы начертательной геометрии. – М.: Машиностроение, 1998. – 158 с.
9. *Кейтс С., Абрамс С., Мугамян Д.* Adobe Photoshop CS4. Библия пользователя. – Диалектика, 2009. – 994 с.
10. *Климачева Т. Н.* AutoCAD 2010. Полный курс для профессионалов. – Диалектика, 2009. – 1088 с.
11. *Ковальов С. М.* Параметричний аналіз в геометрії. – К.: КДТУБА, 1999. – 82 с.
12. *Ковальов Ю.М.* Основи геометричного моделювання. Навчальний посібник. – К.: Вища школа, 2003. – 232 с.
13. *Ковальов Ю. М., Матющенко Н. В., Шевель Л. В.* Інженерна графіка. Виконання архітектурно-будівельних креслень у графічному середовищі ArchiCAD. Навчальний посібник. – К.: НАУ, 2010. –186 с.
14. *Короев Ю. И.* Начертательная геометрия. – М.: Стройиздат, 1987. – 320 с.
15. *Короев Ю. И.* Строительное черчение и рисование. – М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.
16. *Кузнецов Н. С.* Начертательная геометрия. – М.: Высш. шк., 1981. – 262 с.
17. *Лециус Е. П.* Построение теней и перспективы ряда архитектурных форм. – М.: Ахитектура-С, 2005. – 144 с.
18. *Монж Г.* Начертательная геометрия. – М.:Изд. Академии наук СССР, 1947. – 291 с.
19. *Михайленко В. Є., М. Ф. Євстіфєєв, С. М. Ковальов, Кащенко О. В.* Нарисна геометрія. – К.: Вища школа, 2004. – 302 с.
20. *Михайленко В. Є., Найдиш В. М.* Тлумачення термінів з прикладної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки. – К.: Урожай, 1998. – 198 с.
21. *Михайленко В. Є., Найдиш В. М., Підкоритов А. М., Скидан І. А.* Інженерна та комп'ютерна графіка. – К.: Вища школа, 2000. – 342 с.
22. *Михайленко В. Є., Ванін В. В., Ковальов С. М.* Інженерна та комп'ютерна графіка. – К.: Каравела, 2010. – 360 с.
23. *Мэрдок К. Л.* 3DStudioMax 2010. Библия пользователя. – Диалектика, 2010. – 1300 с.
24. *Ніцин О. Ю.* Технологія геометричного моделювання. Конструювання кривих ліній. Навчальний посібник. – Х.: Видавництво «Форт», 2008. – 136 с.
25. *Соболев Н. А.* Общая теория изображений. – М.: Архитектура-С, 2004. – 672 с.
26. Справочник по машинной графике /*В.Е. Михайленко, В. А. Анпилогова, Л. А. Кириевский* и др. – К.: Будівельник, 1984. – 184 с.
27. Справочное руководство по ArchiCAD 13(электронный документ pdf). – Graphisoft, 2009. – 2054 с.
28. *Тевлин А. М., Иванов Г. С., Нартова Л. Г.* и др. Курс начертательной геометрии на базе ЄВМ. – М.: Высшая школа, 1983. – 175 с.
29. *Титов С.* ArchiCAD 13: справочник с примерами. – Минск: Фолиант, 2010. – 544 с.
30. *Филиппов П. В.* Начертательная геометрия многомерного пространства и ее приложения. – Л.: ЛГУ, 1979. – 320 с.
31. *Фокс А., Пратт М.* Вычислительная геометрия. Применение в проектировании и производстве. – М.: Мир, 1982. – 304 с.
32. *Фоли Дж., вэн Дэм А.*– Основы интерактивной машинной графики. – М.: Мир, 1985, тт. 1,2.
33. *Четверухин Н. Ф.* Проективная геометрия. – М.: Просвещение, 1969. – 368 с.
34. *Финкельштейн Э.* AutoCAD 2010 и AutoCAD LT 2010. Библия пользователя. – М.: Вильямс, 2010. – 1360 с.
35. ArchiTerra ver. 3.0 User Guide (електр. документ pdf). – Cigraph Factory C.r.l, 2006.–159 p.
36. ArchiTiles ver.1.0 User Guide (електр. документ pdf). – Cigraph Factory C.r.l, 2001.– 61 p.
37. Rodriguez S. Artlantis Studio. – Archicad-lab (електр. документ pdf), 2008. – 20 p.

СЛОВНИК ТЕРМІНІВ

Автоматизоване проектування	**А**втоматизированное проектирование	**C**omputer-aideddesign, CAD
Аксіома	аксиома	axiom
Аксонометрія	аксонометрия	axonometry
Алгоритми видалення невидимих ліній	алгоритмы удаления невидимых линий	algorithm ofinvincible lines removal
Аналітична геометрія	аналитическая геометрия	analytic geometry
Анімація	анимация	animation
Аппарат проекціювання	аппарат проецирования	apparatus ofprojection
Апроксимація	аппроксимация	approximation
Архімедова спіраль	архимедова спираль	spiral of Archimedes
Афінна геометрія	аффинная геометрия	affine geometry
Афінне перетворення	аффинное преобразование	affine transformation
Багатовимірна геометрія	**М**ногомерная геометрия	**P**olymeasure geometry
Багатогранник	многогранник	polyhedron
Багатокутник	многоугольник	polygon
База даних	база данных	database
Безьє криві	Безье кривые	Besier curves
Бінормаль	Бинормаль	binormal
Бісекторна площина	Биссекторная плоскость	bisector plane
Бісектриса кута	биссектриса угла	bisectrix of angle
Бічна поверхня	боковая поверхность	lateral surface
Блок-схема	блок-схема	flowchart
В-сплайн	**В**-сплайн	**B**-spline
Вектор	вектор	vector
Векторна алгебра	векторная алгебра	vector algebra
Велика вісь еліпсу	большая ось эллипса	big axis of ellipse
Вершина	вершина	vertex
Взаємно однозначна відповідність	взаимно-однозначное соответствие	one-to-one correspondence
Візуальні ефекти	визуальные эффекты	visual effects
Вікно	окно	window
Визначник	определитель	determinant
Вимірність простору	размерность пространства	dimensionof space
Випуклий багатокутник	выпуклый многоугольник	convexpolygon
Висота	высота	height
Відображення	отображение	mapping
Відповідність	соответствие	correspondence
Відрізок	отрезок	line segment
Відстань	расстояние	distance
Відтинок площини	отсек плоскости	segment of plane
Вісь симетрії	ось симметрии	axis of symmetry
Вузлова точка	узловая точка	nodal point
В'язка	связка	bundle
Гармонійна четвірка точок	**Г**армоническая четверка точек	**H**armonic four points
Гаусова кривина	Гауссова кривизна	curvature of Gaussian
Гвинтова лінія	винтовая линия	screw line
Гвинтова поверхня	винтовая поверхность	screw surface
Гексаедр	гексаэдр	hexaedron
Геометрична модель	геометрическая модель	geometric model
Геометрична фігура	геометрическая фигура	geometric figure
Геометрія	геометрия	geometry

Геометричне перетворення	геометрическое преобразование	geometric transformation
Геометричні побудови	геометрические построения	geometric construction
Гіпербола	гипербола	hyperbola
Гіперболічний параболоїд	гиперболический параболоид	hyperbolic paraboloid
Гіперплощина	гиперплоскость	hyperplane
Гладка крива	гладкая кривая	smooth curve
Головна нормаль	главная нормаль	principal normal
Головні кривини	главные кривизны	principal curvatures
Головні осі	главные оси	principal axis
Горизонталь	горизонталь	horizontal
Горизонтальна площина	горизонтальная плоскость	horizontal plane
Горизонтально-проекціююча площина (пряма)	горизонтально-проецирующая плоскость (прямая)	horizontal-projection plane (straight)
Грань	грань	face
Граф	граф	graph
Графік	график	graph
Графопобудувач	графопостроитель	plotter
Двовимірні перетворення	**Д**вумерные преобразования	**2D**-transformation
Двогранний кут	двугранный угол	dihedral angle
Двоїстості принцип	двойственности принцип	duality principle
Дезарга теорема	Дезарга теорема	Dezarg theorem
Декартова система координат	Декартова система координат	Cartesian coordinate system
Дизайн	дизайн	design
Диметрія ортогональна	диметрия ортогональная	dimetry orthogonal
Директриса	директриса	directrix
Дискретизація	дискретизация	discretization
Диференціальна геометрія	дифференциальная геометрия	differential geometry
Діагональ	диагональ	diagonal
Діаметр	диаметр	diameter
Довжина	длина	length
Додекаедр	додекаэдр	dodecahedron
Дотична	касательная	tangent
Друкуючий пристрій	печатающее устройство	printer
Евклідів простір	**Е**вклидово пространство	**S**pace of Euclidian
Евклідова геометрія	Евклидова геометрия	Euclidian geometry
Евольвента	эвольвента	evolvent
Еволюта	эволюта	evolute
Еквідистанта	эквидистанта	equidistant
Екран	экран	screen
Екстраполяція	экстраполяция	extrapolation
Елемент	элемент	element
Еліпс	эллипс	ellipse
Епюр	эпюр	epure
Засоби графічні	**С**редства графические	**G**raphical means
Звичайна точка	обычная точка	normal point
Звороту точка	возврата точка	cuspidal point
Зображення	изображение	image
Золотий переріз	золотое сечение	gold section
Зрізаний конус	усеченный конус	truncated cone
Зсув	сдвиг	shift
Ізометрія	**И**зометрия	**I**sometry
Ікосаедр	икосаэдр	icosahedron
Інваріант	инвариант	invariant
Інтерполяція	интерполяция	interpolation
Інтерактивне проектування	интерактивное проектирование	interactive projecting

Кадрування	**К**адрирование	**W**indowing
Каналова поверхня	Каналовая поверхность	channel surface
Каркас	каркас	frame
Картинна площина	картинная плоскость	view plane
Катет	катет	side
Квадрант	квадрант	quadrant
Квадрат	квадрат	square
Коло	окружность	circle
Конгруентність	конгруэнтность	congruence
Конус	конус	cone
Конічні перерізи	конические сечения	conicsections
Конкуруючі точки	конкурирующие точки	concurrent points
Коноїд	коноид	conoid
Координатні площини (осі)	координатные плоскости (оси)	coordinates planes (axis)
Косокутна проекція	косоугольная проекция	oblique projection
Кривадругого порядку	кривая второго порядка	conic
Кривина	кривизна	curvature
Куб	куб	cube
Куля	шар	ball
Кут	угол	angle
Ламана лінія	**Л**оманая линия	**P**olygonal line
Лінійчаста поверхня	линейчатая поверхность	linearsurface
Лінія найбільшого нахилу	линия наибольшего уклона	line of maximal inclination
Масштабування	**М**асштабирование	**Z**oom
Медіана	медиана	median
Меню	меню	menu
Метод скінченних елементів	метод конечных элементов	finite-elements method
Метод скінченних різниць	метод конечных разностей	finite-differences method
Метрична задача	метрическая задача	metric problem
Мимобіжні прямі	скрещивающиеся прямые	crossinglines
Множин теорія	множеств теория	set theory
Мова програмування	язык программирования	programming language
Монжа метод	Монжа метод	Mongle method
Набір перетворень	**Н**абор преобразований	**S**et of transformations
Напрям	направление	direction
Нарисна геометрія	начертательная геометрия	descriptive geometry
Невласні елементи	несобственные элементы	improper elements
Неевклідова геометрія	неевклидова геометрия	non-Euclidian geometry
Нормаль	нормаль	normal
Нормальна площина	нормальная плоскость	normalplane
Обвідна	**О**гибающая	**E**nvelope
Об'єднання	объединение	union
Об'єкт	объект	object
Об'єм	объем	volume
Образ	образ	image
Обчислювальна геометрія	вычислительная геометрия	computational geometry
Однорідні координати	однородные координаты	homogeneous coordinates
Окіл	окрестность	neibourhood
Октаедр	октаэдр	octahedron
Октант	октант	octant
Опукла крива (поверхня)	выпуклая кривая (поверхность)	convex curve (surface)
Ортогональна проекція	ортогональная проекция	orthogonal projection
Основи геометрії	основы геометрии	basis of geometry
Особлива точка	особая точка	singular point

Парабола	**П**арабола	**P**arabola
Паралелепіпед	Параллелепипед	parallelepiped
Паралелограм	параллелограмм	parallelogram
Паралельне перенесення	параллельный перенос	parallel transformation
Паралельні прямі	параллельные прямые	parallelstraight lines
Параметр	параметр	parameter
Параметризація	параметризация	parametrization
Паскаля теорема	Паскалятеорема	Pascaltheorem
Перегину точка	перегиба точка	point of inflection
Переріз	сечение	intersection
Перетворення координат	преобразование координат	coordinatetrans formation
Перпендикуляр	перпендикуляр	perpendicular
Перспектива	перспектива	perspective
Піраміда	пирамида	pyramid
Плоска крива	плоская кривая	plane curve
Площина	плоскость	plane
Поверхня	поверхность	surface
Повне зображення	полное изображение	complete image
Подвійна точка	двойнаяточка	double point
Подібність	подобие	similitude
Позиційна задача	позиционная задача	position problem
Полігональна сітка	полигональная сеть	polygonal network
Польке-Шварца теорема	Польке-Шварца теорема	theorem of Polke-Shwarz
Примітив	примитив	primitive
Похила	наклонная	inclined straight line
Початок координат	начало координат	origin of coordinates regular
Правильний багатогранник (багатокутник)	правильный многогранник (многоугольник)	polyhedron (polygon)
Призма	призма	prism
Проективна геометрія	проективная геометрия	projective geometry
Проективний простір	проективное пространство	projective space
Проективні координати	проективные координаты	projective coordinates
Проекція	проекция	projection
Просте відношення трьох точок	простое отношение трех точек	simple ratiothree points
Пряма	прямая	straight line
Радіус	**Р**адиус	**R**adius
Растр	растр	raster
Регенерація зображення	регенерация изображения	regenerationof image
Редактор графічний	редактор графический	graphic editor
Рівні фігури	равные фигуры	equal figures
Розгорнута поверхня	развертываемая поверхность	involutive surface
Розгортка	развертка	involute
Ромб	ромб	rhomb
Рух	движение	motion
Самодотику точка	**С**амокасания точка	**S**elf-tangency point
Самоперетину точка	самопересечения точка	Self-intersection point
Сегмент	сегмент	segment
Сектор	сектор	sector
Симетрія	симметрия	symmetry
Сім'я ліній	семейство линий	famile of curves
Січна	секущая	secant
Сканер	сканер	scanner
Скрут	кручение	torsion
Слід	след	trace
Спіраль	спираль	spiral
Сплайн	сплайн	spline
Спряжені діаметри	сопряженные диаметры	adjoint diameters

Спрямна площина	спрямляющая плоскость	rectifying plane
Стична площина	соприкасающаяся плоскость	osculating plane
Структура даних	структура данных	data structure
Сфера	сфера	sphere
Сцена тривимірна	сцена трехмерная	3Dwindow
Твірна	**О**бразующая	**G**eneratrix
Теорія поверхонь	теорияповерхностей	theory of surfaces
Топологія	топология	topology
Точка	точка	point
Точка сходу	точка схода	collection of point
Трансцендентні криві	трансцендентные кривые	transcendental curves
Трапеція	трапеция	trapezium
Тривимірне моделювання	трехмерное моделирование	3D modelling
Тригранник супровідний	трехгранник сопровождающий	moving trihedral
Трикутник	треугольник	triangle
Тріедр	триэдр	trihedral
Угнутість	**В**огнутость	**C**oncavity
Управління сегментами	Управление сегментами	controlof segments
Файлзображення	**Ф**айл изображения	**F**ile of image
Фігура	фигура	figure
Фокальний радіус	фокальный радиус	focal radius
Фокус	фокус	focus
Форма геометрична	форма геометрическая	geometrical form
Фрагмент	фрагмент	fragment
Фрагментація	фрагментация	fragmentation
Фронталь	фронталь	frontal
Функція	функция	function
Хорда	**Х**орда	**C**hord
Центр	**Ц**ентр	**C**enter
Центр кривини	Центр кривизны	Center of curvature
Центрсиметрії	центр симметрии	center of symmetry
Циклоїда	циклоида	cycloid
Циліндричні координати	цилиндрические координаты	cylindrical coordinates
Центральний кут	центральный угол	centralangle
Циліндрична поверхня	цилиндрическая поверхность	cylindrical surface
Циліндроїд	цилиндроид	cylindroid
Штриховка	**Ш**триховка	**H**atcing (shading)

Навчально-методичне видання

КОВАЛЬОВ Юрій Миколайович, ВЕРЕЩАГА Віктор Михайлович

ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ

Підручник для студентів вищих навчальних закладів

У авторській редакції

Художнє оформлення та комп'ютерна верстка *Павлюк С. І.*

Підписано до друку 30.04.12. Формат 70x100/16.
Гарнітура Dutch801Cyril BT. Папір офсетний. Ум. друк. арк. 38,05.
Тираж 500 пр. Зам.

Віддруковано в друкарні ПП «Омега-Л»
м. Київ, вул. Новопольова 85-А.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

Ю.М. КОВАЛЬОВ, В.М. ВЕРЕЩАГА

ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ

НАРИСНА ГЕОМЕТРІЯ

ІНЖЕНЕРНА ТА КОМП'ЮТЕРНА ГРАФІКА

СУЧАСНІ НАПРЯМИ

ПІДРУЧНИК

Затверджено
Міністерством освіти і науки,
молоді та спорту України
як підручник для студентів
вищих навчальних закладів

КИЇВ ● 2012