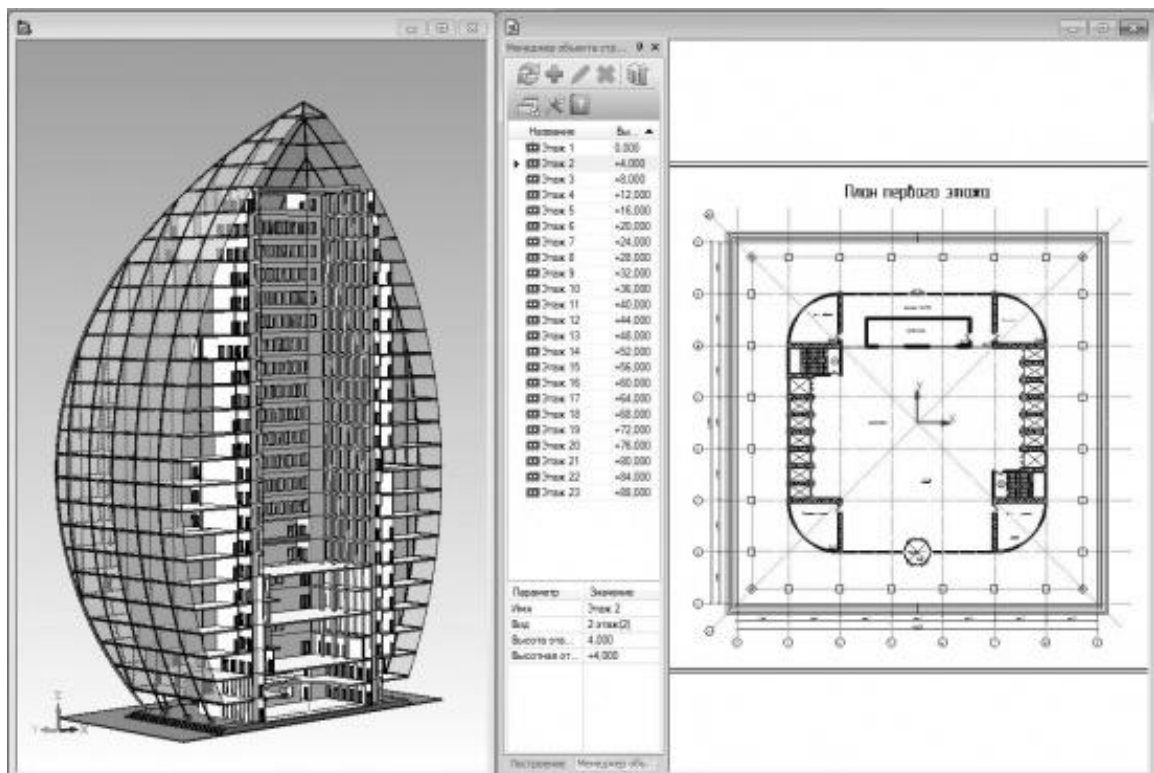


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ПАВЛА ТИЧИНИ
Факультет інженерно-педагогічної освіти
Кафедра професійної освіти та технологій за профілями

О.Г. Гервас

САПР ОБ'ЄКТІВ СЕРЕДОВИЩА

Навчально-методичний посібник



Умань 2018

ЗМІСТ

ПЕРЕДУМОВА.....	7
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ.....	9
Тема 1.1. САПР ЯК ОБ'ЄКТ ПРОЕКТУВАННЯ. ІДЕОЛОГІЯ САПР, ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ.....	9
1.1.1. Основні понятійні положення САПР: (предмет автоматизованого проектування, поняття проектування, Система автоматизованого проектування – САПР, основні особливості побудови САПР).....	9
1.1.2. Основні принципи автоматичного проектування.....	12
1.1.3. Специфічні особливості проектної діяльності.....	14
1.1.4. Основні функції САПР.....	17
1.1.5. Технології автоматизованого проектування.....	18
1.1.6. Функціональний огляд найпоширеніших САД-програм.....	20
1.1.7. Стадії автоматизованого проектування.....	23
Тема 1.2. ПРОЕКТНІ ПРОЦЕДУРИ ТА ЗАДАЧІ. СИСТЕМНИЙ ПІДХІД У ВИРІШЕННІ ПРОЕКТНИХ ЗАДАЧ.....	25
1.2.1. Основні проектні процедури та проектні задачі САПР.....	25
1.2.2. Евристичні та систематичні рішення.....	28
1.2.3. Види проектних задач.....	28
1.2.4. Ідеологія САПР. Декомпозиція проектних задач і системний підхід.....	29
Тема 1.3. ПОБУДОВА, СТРУКТУРА ТА РІВНІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ.....	32
1.3.1. Побудова систем автоматизованого проектування. Структура САПР. Рівні САПР.....	32
1.3.2. Технічні засоби САПР.....	34
1.3.3. Пристрої вводу – виводу графічної інформації.....	35
1.3.4. Математичне забезпечення автоматичного проектування.....	36
1.3.5. Класифікація математичних моделей.....	37
Тема 1.4. САПР ЯК ОБ'ЄКТ ІНТЕГРУВАННЯ.....	41
1.4.1. САПР, їх класифікація та структура.....	41
1.4.2. Порівняння різних систем автоматизованого проектування.....	61
1.4.3. Представлення даних в системах автоматизованого проектування.....	72

РОЗДІЛ 2. СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ СЕРЕДОВИЩА.....82

Тема 2.1. МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ.....82

- 2.1.1. Вимоги до математичного моделювання.....82
- 2.1.2. Класифікація математичних моделей.....86
- 2.1.3. Ієрархічна структура математичних моделей.....87

Тема 2.2. ЛІНГВІСТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САПР. АВТОМАТИЗОВАНА РОЗРОБКА ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ.....89

- 2.2.1. Мови програмування.....89
- 2.2.2. Мови проектування.....90
- 2.2.3. TURBO PASCAL – як мова програмування для САПР.....91
- 2.2.4. Автоматизована розробка виробничих процесів (автоматизовані системи розробки виробничих процесів пошукового типу, генеруючи автоматизовані системи розробки виробничих процесів).....92
- 2.2.5. Переваги автоматизованої розробки виробничих процесів.....95

Тема 2.3. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАШИННОЇ ГРАФІКИ.....97

- 2.3.1. Системи машинної графіки. Програмне забезпечення машинної графіки.....97
- 2.3.2. Функції пакета програм машинної графіки.....99
- 2.3.3. Каркасне та об'ємне моделювання.....100
- 2.3.4. Типова структура програмно-інформаційного та лінгвістичного забезпечення САПР (засоби лінгвістики, засоби інформаційного забезпечення, засоби програмного забезпечення).....102

Тема 2.4. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.....108

- 2.4.1. Основні понятійні положення теорії автоматичного керування.....108
- 2.4.2. Короткі історичні відомості про розвиток автоматики, теорії автоматичного керування та кібернетики.....110
- 2.4.3. Основні властивості та особливості кібернетики.....115
- 2.4.4. Система автоматичного керування та її елементи.....118
- 2.4.5. Принципи автоматичного керування. Комбіновані системи автоматичного керування.....121

Тема 2.5. КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ПРИКЛАДНЕ ВИКОРИСТАННЯ АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНИХ САПР.....124

- 2.5.1. Класифікація архітектурно-будівельні САПР.....124

2.5.2. Використання 3D-графіки в системах автоматизованого архітектурного проектування.....	132
2.5.3. Прикладне використання програми КОМПАС у процесі проектування виробів різноманітного призначення.....	137
ТЕСТОВИЙ КОНТРОЛЬ.....	145
ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК.....	156
ЛІТЕРАТУРА.....	161

ПЕРЕДУМОВА

Розробка нових промислових виробів та об'єктів середовища обумовлює необхідність виконання дизайнерами проектних робіт великого об'єму. Вимоги, що пред'являються до якості об'єктів проектування, термінів їх виконання, стають все суворішими а міру збільшення складності об'єктів, що проектуються. Задовольнити ці вимоги за допомогою збільшення чисельності проектантів неможливо, оскільки можливість проведення паралельних проектних робіт обмежена і чисельність дизайнерів та інженерно - технічних працівників у проектних організаціях не можна необмежено збільшувати. Вирішити проблему можна на основі автоматизації процесу проектування, широкого застосування обчислювальної техніки.

Для автоматизованого проектування характерно систематичне використання комп'ютера при раціональному розподілі функцій між оператором і комп'ютером. За допомогою комп'ютера вирішуються задачі, що піддаються формалізації, при умові, що їх машинне вирішення більш ефективне, ніж ручне. До таких задач відноситься виконання багатьох процедур оформлення проектної та технічної документації, отримання планів розміщення обладнання, рішення систем рівнянь, які описують процеси в об'єктах, які проектуються.

Грань між автоматизованим і неавтоматизованим проектуванням не може бути чіткою. Вона залежить від певних конкретних умов і змінюються в міру розвитку математики, обчислювальної техніки й теорії проектування.

Найкращої формою організації процесу проектування різноманітних об'єктів середовища можна досягнути використовуючи САПР - комплекс засобів автоматизації проектування, взаємозв'язаного з підрозділами проектної організації. В такий комплекс поряд з засобами технічного, математичного та іншого забезпечення входить програмне забезпечення. Застосування автоматизації проектування як самостійного науково-технічного та художньо-

конструкторського процесу пов'язано з тим, що постановка і методи рішення проектних задач, засоби створення мов, опис програм, банків даних, а також питання їх об'єднання в єдину проектну систему.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

Тема 1.1. САПР ЯК ОБ'ЄКТ ПРОЕКТУВАННЯ. ІДЕОЛОГІЯ САПР, ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ

1.1.1. Основні понятійні положення САПР: (предмет автоматизованого проектування, поняття проектування, Система автоматизованого проектування – САПР, основні особливості побудови САПР).

1.1.2. Основні принципи автоматизованого проектування.

1.1.3. Специфічні особливості проектної діяльності.

1.1.4. Основні функції САПР.

1.1.5. Технології автоматизованого проектування.

1.1.6. Функціональний огляд найпоширеніших САД-програм.

1.1.7. Стадії автоматизованого проектування.

1.1.1. Основні понятійні положення САПР: (предмет автоматизованого проектування, поняття проектування, Система автоматизованого проектування – САПР, основні особливості побудови САПР)

Проектування - процес складання опису, необхідного для створення в певних умовах ще не існуючого об'єкта на основі опису цього об'єкта і (або) алгоритму його функціонування. Проектування включає в себе комплекс робіт з пошуку, дослідження, розрахунку і конструювання, які мають за мету отримати опис предмета проектування, необхідний і достатній для створення нового виробу або реалізації нового процесу.

Розробка нових промислових виробів обумовлює необхідність виконання проектних робіт великого об'єму. Вимоги, що пред'являються до якості виробів, термінів їх виконання, стають все суворішими а міру збільшення складності об'єктів, що проектуються. Задовольнити ці вимоги за допомогою збільшення чисельності проектантів неможливо, оскільки можливість проведення

паралельних проектних робіт обмежена і чисельність інженерно - технічних працівників у проектних організаціях країни не можна необмежено збільшувати. Вирішити проблему можна на основі автоматизації проектування, широкого застосування обчислювальної техніки.

Для автоматизованого проектування характерно систематичне використання комп'ютера при раціональному розподілі функцій між оператором і комп'ютером. За допомогою комп'ютера вирішуються задачі, що піддаються формалізації, при умові, що їх машинне вирішення більш ефективне, ніж ручне. До таких задач відноситься виконання багатьох процедур оформлення технічної документації, отримання планів розміщення обладнання, рішення систем рівнянь» то описують процеси в об'єктах, які проектуються.

Грань між автоматизованим і неавтоматизованим проектуванням не може бути чіткою. Вона залежить від певних конкретних умов і змінюються в міру розвитку математики, обчислювальної техніки й теорії проектування.

Найкращої форми організації процесу проектування можна досягнути використовуючи САПР - комплекс засобів автоматизації проектування, взаємозв'язаного з підрозділами проектної організації. В такий комплекс поряд з засобами технічного, математичного та іншого забезпечення входить програмне забезпечення. Це програмне забезпечення розробляється не інженерами-користувачами, а спеціалістами з САПР. Незважаючи на це, інженеру - користувачу необхідно знати методи і алгоритми, реалізовані в програмах САПР. Це допоможе йому уникнути помилок при формулюванні задачі, виборі вихідних даних, і отримання вихідних результатів. Застосування автоматизації проектування як самостійного науково-технічного процесу пов'язано з тим, що постановка і методи рішення проектних задач, засоби створення мов, опис програм, банків даних, а також питання їх об'єднання в єдину проектну систему.

Предметом автоматизації проектування є формалізація проектних процедур, структурування і типізація процесів проектування, постановки, моделі і методи, алгоритми рішення проектних задач, засоби створення мов,

опис програм, банків даних, а також, питання їх об'єднання в єдину проектну систему. **Проектування** - процес складання опису, необхідного для створення в певних умовах ще не існуючого об'єкта на основі опису цього об'єкта і (або) алгоритму його функціонування. Проектування включає в себе комплекс робіт з пошуку, дослідження, розрахунку і конструювання, які мають за мету отримати опис предмета проектування, необхідний і достатній для створення нового виробу або реалізації нового процесу.

Під автоматизацію проектування розуміють такий спосіб виконання процесу розробки проекту, коли проектні процедури і операції виконуються проектантом виробу в тісній взаємодії з комп'ютером.

Система автоматизованого проектування (САПР) - це комплекс засобів автоматизації проектування, взаємозв'язаних і необхідними підрозділами проектної і організації чи колективом спеціалістів (користувачами системи), що виконує автоматизоване проектування.

Для створення САПР необхідно:

- вдосконалення проектування на основі застосування математичних методів і засобів обчислювальної техніки;
- автоматизація процесу пошуку, обробки і видачі інформації;
- використання методів оптимізації і багатоваріантного проектування;
- створення банків даних, які включають систематизовану інформацію довідкового характеру,
- необхідну для автоматизованого проектування об'єктів;

Основні особливості побудови САПР:

1. *САПР - людино-машина система.* Всі створені або створювані з допомогою КОМП'ЮТЕР системи є автоматизованими. Людина повинна вирішувати в САПР, по-перше, всі задачі, формалізація яких не досягнута, по-друге, задачі вирішення яких людиною проходить на евристичному рівні.

2. *САПР - ієрархічна система.* Вона реалізує комплексний підхід до автоматизації всіх рівнів проектування. Ієрархічний підхід відноситься не

тільки до програмного забезпечення, але й до технічних засобів САПР, що розділяються, на центральний обчислювальний комплекс і автоматизовані робочі місця проєктувальників.

3. *САПР - сукупність інформаційно узгоджених систем.*

Інформаційна узгодженість означає, що всі або більшість послідовних задач проєктування обслуговуються інформаційно узгодженими програмами. Дві програми є інформаційно узгодженими, якщо всі дані, що описують об'єкт в обох програмах, входять в числові масиви, що не потребують змін при переході від однієї програми до іншої.

4. *САПР - відкрита система і система, що розвивається*

САПР повинна бути системою відкритою, тобто мати здатність включати в себе нові методи і засоби.

1.1.2. Основні принципи автоматизованого проєктування

Можливості проєктування складних об'єктів обумовлені використанням ряду принципів, основними з яких є декомпозиція та ієрархічність описів об'єктів, принципи системної єдності, сумісності, типізації і розвитку.

Ієрархічні рівні опису проєктованих об'єктів

Описи технічних об'єктів повинні бути узгоджені за складністю з можливостями сприйняття людиною і можливостями оперування описами у процесі їх перетворення існуючими засобами проєктування. Проте виконати цю вимогу в рамках єдиного опису, не розділяючи його на складові частини, можна лише для простих виробів. Як правило, стає необхідним структурування описів і відповідний розділ уявлень про проєктовані об'єкти на ієрархічні рівні і аспекти. Це дозволяє розподілити роботи по проєктуванню складних об'єктів між підрозділами проєктної організації, що сприяє підвищенню ефективності та продуктивності праці проєктувальників.

Розділ описів за ступенем деталізації відображуваних властивостей і характеристик об'єкта лежить з основи блочно-ієрархічного підходу до проєктування і приводить до появи ієрархічних рівнів (рівнів абстрагування) в представленнях про проєктований об'єкт.

На кожному ієрархічному рівні використовуються свої поняття і системи елементів. На верхньому рівні складний об'єкт, що належить спроектувати, розглядається як система взаємозв'язаних і взаємодіючих, елементів. Кожен з елементів в опису верхнього рівня також представляє собою досить складний об'єкт, який в свою чергу розглядається як система елементів на нижчому рівні. Подібне розділення відбувається до тих пір, поки на деякому рівні отримують елементи, описи яких не підлягають подальшому діленню. Такі елементи по підношенню до вихідного об'єкта називають базовими елементами.

Таким чином, **принцип ієрархічності** означає структурування представлень про об'єкти проектування за ступенем детальності опису, а **принцип декомпозиції** (блочності) розбиття представлень кожного рівня на ряд складових частин (блоків) з можливостями окремого проектування об'єктів на кожному рівні. Принцип систематичної єдності забезпечує цілісність системи проектування окремих елементів і всього об'єкта проектування в цілому (ієрархічність проектування).

Принцип сумісності забезпечує сумісне функціонування складових частин САПР і зберігає: відкриту систему в цілому.

Принцип типізації орієнтує на пріоритетне створення і використання типових і уніфікованих елементів САПР. Типізації підлягають елементи, що мають перспективу багаторазового застосування

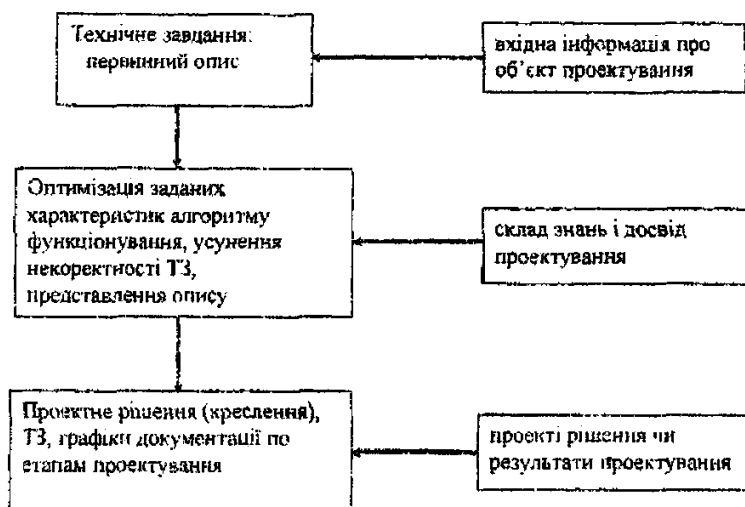


Рис. 1.1. Схема проектування

Принцип розвитку забезпечує доповнення і оновлення САПР, а також взаємодію і розширення взаємозв'язку з автоматизованими системами різного рівня і функціонування, щодо призначення.

Проектування - інформаційний процес, в якому здійснюються перетворення вхідної інформації про об'єкт, що проектується, у вихідну інформацію у вигляді проектної документації, виконаної в заданій формі, яка включає проектні рішення і результати проектування (рис.1).

1.1.3. Специфічні особливості проектної діяльності

1. Продукт проектної діяльності - упорядкована сукупність відомостей, що є знаковою моделлю об'єкта, а момент проектування реально не існуючого.

2. Способи перетворення інформації при проектуванні неможливо відобразити у вигляді математичних співвідношень (неможливо побудувати математичну модель).

3. З вигляду складності об'єктів, що проектуються, на кожному етапі розробки підключаються різні спеціалісти, що надає проектуванню характер колективної діяльності.

4. Об'єкт, що проектується, входить в упорядковану ієрархічну структуру об'єктів (з однієї сторони - частина системи вищого рангу, з іншої сторони - сукупність компонентів - підсистем нижчого рангу). В зв'язку з цим процес проектування поділяється на два стали : зовнішнє і внутрішнє.

5. Проектування, як правило, носить ітераційний і багатоваріантний характер.

6. Для прийняття проектних рішень використовують різні науково-технічні знання.

Ідеологія САПР. Декомпозиція проектних задач і системний підхід їх вирішення. Серед методологічних напрямків у проектуванні останнім часом значного розповсюдження отримав **системний підхід**.

Основні риси системного підходу:

1. Параметричний опис - вихідний рівень дослідження об'єкта; базується на емпіричних спостереженнях, опису властивостей, ознак і відношень між досліджуваним об'єктом і навколишніми об'єктами.

2. Структурний опис - виконується після виявлення параметрів; передбачає виявлення по елементної будови об'єкта. Основна задача – виявити взаємозв'язок властивостей і ознак, виявлених при параметричному описі.

3. Функціональний опис - виконується, виходячи з функціональної залежності між параметрами (функціонально-параметричний опис) та між частинами об'єкта (функціонально-структурний опис).

При вивченні об'єкта з використанням системного підходу увага звертається на структуру об'єкта (системи) і на властивості його частин, що виявляються у взаємодії. Система синтезує частини таким чином, що самотійне їх існування стає неможливим, оскільки частини складають основу даної системи.

Система - це сукупність виділених реальних або уявних об'єктів за умови, що:

- задані зв'язки, що існують між об'єктами;
- кожний з елементів всередині системи неподільний;
- з навколишнім середовищем система взаємодіє, як ціла;
- між об'єктами в різні моменти часу можна провести однозначні відповідності.

Зв'язки в системах бувають; взаємодії, побудови (структурні), функціонування.

Декомпозиція - це розбиття задачі на складові частини. Розрізняють такі рівні декомпозиції.

- системний - загальний опис призначення об'єкта і його зв'язків з урахуванням взаємодії з навколишнім штучним і природним середовищем;
- архітектурний - структурний опис об'єкта;
- функціональний - опис законів функціонування підсистем об'єкта або

рішення задачі працездатності об'єкта як системи заданої структури;

- елементний (конструктивний) - опис елементів системи.

Можливі інші, специфічні підходи, до об'єкта, що проектується, які відповідають нижче переліченим рівням декомпозиції:

- **для конструктивних об'єктів:** функціонально - структурний, просторової компоновки, кінематичної моделі, технічної моделі, робочої моделі та ін.

- **для технологічних процесів** - принципова схема технологічного процесу, маршрутного процесу, операційного технологічного процесу, технологічних наладок та ін.

При створенні та експлуатації САПР об'єкт розглядається як технічна система.

Технічна система - абстрактне відображення комплексу взаємозв'язаних технічних засобів, що забезпечують перетворення маси, енергії і інформації.

Суттєвою рисою технічних систем є існування зв'язків і перетворень. Кількість зв'язків визначає складність системи. Технічну систему можна описати:

- в блок – схемою;
- графіком;
- аналітичне;
- з допомогою матриці.

При системному підході будь-який об'єкт розглядається, як деяка система, яку можна поділити на підсистеми більш низького порядку. Підсистеми самого низького порядку є елементами, властивості їх впливають на другі підсистеми і на систему в цілому.

Ієрархія САПР відображає загальну технологію проектування різних об'єктів і систем, передбачає ряд основних стадій розробки (базові проектні процедурні).

Ієрархія САПР передбачає багаторівневий метод її побудови (рис.2).

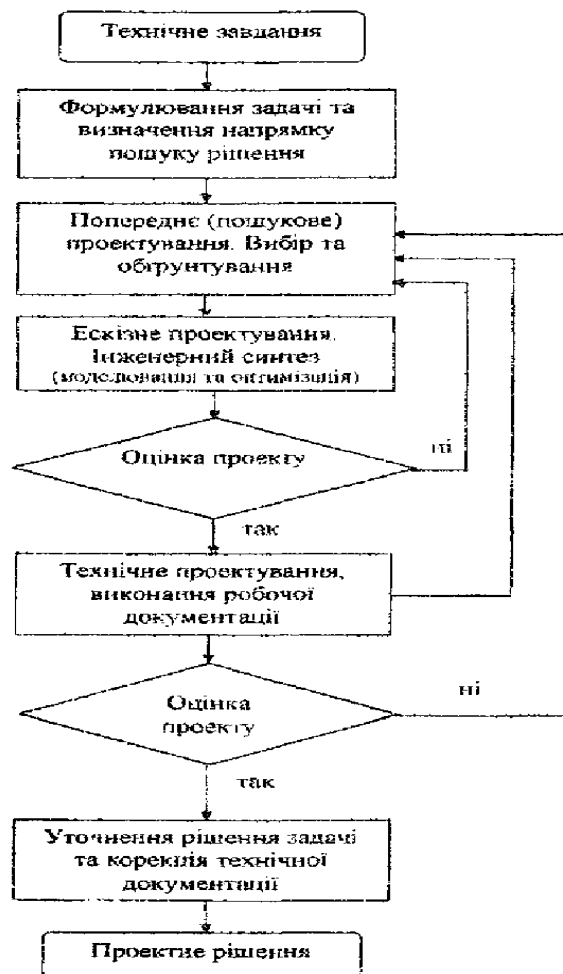


Рис. 1.2. Типова логічна схема процесу проектування

1.1.4. Основні функції САПР

Система автоматизованого проектування (САП або САПР) або **автоматизована система проектування (АСП)** — автоматизована система, призначена для автоматизації технологічного процесу проектування виробу, результатом якого є комплект проектно-конструкторської документації, достатньої для виготовлення та подальшої експлуатації об'єкта проектування.

Реалізується САПР на базі спеціального програмного забезпечення, автоматизованих банків даних, широкого набору периферійних пристроїв.

САПР виконує такі функції:

- конструкторська частина — розробка повного комплексу конструкторської документації;
- технологічна частина — розрахунок і проектування технологічних схем, технологічного оснащення, транспорту;

- архітектурно-будівельна частина — розрахунок і проектування металевих і залізобетонних конструкцій;
- санітарно-технічні системи — проектування теплопостачання, опалення і вентиляції виробничих і адміністративних корпусів, а також водопостачання і каналізації;
- електротехнічні системи — розрахунок і проектування електропостачання, електросилового устаткування, світлотехнічної частини проектів, телемеханізації електропостачання;
- гідротехнічні спорудження — розрахунок і проектування напірного і безнапірного гідротранспорту відвальних хвостів, стійкості укосів хвостосховищ;
- системи автоматизації — розробка схем зовнішніх з'єднань, електричних і трубних проводок щитів автоматики;
- кошторисна частина — складання локальних і зведених кошторисів, відомостей матеріалів, специфікацій, комплектація обладнання.

1.1.5. Технології автоматизованого проектування

CAD (англ. *Computer-aided design*) — технологія автоматизованого проектування;

- CAM (англ. *Computer-aided manufacturing*) — технологія автоматизованого виробництва;
- CAE (англ. *Computer-aided engineering*) — технологія автоматизованої розробки;
- CALS (англ. *Continuous Acquisition and Life cycle Support*) — постійна інформаційна підтримка поставок і життєвого циклу.

Система автоматизованого проектування і розрахунку — комп'ютерна система обробки інформації, що призначена для автоматизованого проектування (CAD), розроблення (CAE) і виготовлення (CAM) кінцевого продукту, а також оформлення конструкторської і/або технологічної документації.

Дані з CAD-систем передаються в САМ (англ. *Computer - aided manufacturing* — система автоматизованої розробки програм обробки деталей для верстатів з ЧПУ або ГАВС (Гнучких автоматизованих виробничих систем)).

Робота з САПР полягає у створенні геометричної моделі виробу (двовимірної чи тривимірної, твердотільної), генерацію на основі цієї моделі конструкторської документації (креслень виробу, специфікацій тощо) і його наступний супровід.

Слід зазначити, що термін «САПР» по відношенню до промислових систем має ширше тлумачення, ніж CAD — він включає CAD, САМ і САЕ.

Компоненти САПР:

- Математичне забезпечення — математичні моделі, методики та методи їх отримання;
 - Лінгвістичне забезпечення- мовне забезпечення
 - Технічне забезпечення — пристрої введення, обробки і виведення даних, засоби підтримки архіву проектних рішень, пристрої передачі даних;
 - Інформаційне забезпечення;
 - Програмне забезпечення — інформаційна база САПР, автоматизовані банки даних, системи керування базами даних (СКБД)
- Див. Програмне забезпечення САПР
- Методичне забезпечення;
 - Організаційне забезпечення.

Класифікація САПР з використанням англійських термінів

В області класифікації САПР використовується ряд усталених англомовних термінів, застосовуваних для класифікації програмних наборів і засобів автоматизації САПР за галузевим та цільовим призначенням.

За галузевим призначенням

- MCAD (англ. *mechanical computer-aided design*) — автоматизоване проектування механічних пристроїв. Це машинобудівні САПР, застосовуються в автомобілебудуванні, суднобудуванні, авіакосмічній промисловості,

виробництві товарів народного споживання, включають в себе розробку деталей і зборок (механізмів) з використанням параметричного проектування на основі конструктивних елементів, технологій поверхневого і об'ємного моделювання (SolidWorks, Autodesk Inventor, КОМПАС, CATIA);

- EDA (англ. *electronic design automation*) або ECAD (англ. *electronic computer-aided design*) — САПР електронних пристроїв, радіоелектронних засобів, інтегральних схем, друкованих плат тощо, (Altium Designer, OrCAD, див.Програми проектування електронних систем)

- АЕС CAD (англ. *architecture, engineering and construction computer-aided design*) або CAAD (англ. *computer-aided architectural design*) — САПР в області архітектури і будівництва. Використовуються для проектування будівель, промислових об'єктів, доріг, мостів та ін. (Autodesk Architectural Desktop, AutoCAD Revit Architecture Suite, Piranesi, ArchiCAD).

- CALS (Continuous Acquisition and Lifecycle Support) – постійна інформаційна підтримка поставок і життєвого циклу.

1.1.6. Функціональний огляд найпоширеніших CAD-програм

Можливості	GStarCAD2011	AutoCAD® 2011	AutoCAD® 2011 LT	ZWCAD2011	Bricscad11	ProgeCAD2010	BtoCAD2009	nanoCAD2.5
Внутрішній формат DWG та DXF	2.5~2010	R14~2010	R14~2010	2.5~2010	2.5~2010	2.5~2010	2.5~2007	2.5~2010
Команди синтаксису AutoCAD®	+	+	+	+	+	+	+	+
Публікація креслень (в DWF)	+	+	+	+	+	+	—	+
Об'єктна прив'язка	+	+	+	+	+	+	+	+
Автоматичне відновлення креслень	+	+	+	+	—	—	—	+
Калькулятор	+	+	+	+	—	—	—	-

Полярне відстеження	+	+	+	+	+	+	+	+
Підтримка True Color	+	+	+	+	+	+	+	+
Обрізання штрихування	+	+	+	+	+	+	Частково	Частково
Кольоро залежний (СТВ) друк	+	+	+	+	+	+	+	+
Диспетчер шарів, блоків та типів ліній	+	+	+	+	+	+	+	+
Необмежена кількість команд Відмінити/Повторити	+	+	+	+	+	+	+	+
Налаштування меню, аліасів та панелей інструментів	+	+	+	+	+	+	+	+
Меню AutoCAD® (файли .mnu, .mnsi .scr)	+	+	+	+	+	+	Нет данных	-
Меню AutoCAD® (CUI)	+	+	+	—	+	Нет данных	+	-
Шрифти SHX и TTF	+	+	+	+	+	+	+	+
Зовнішні посилання	+	+	+	+	+	+	Частково	Частково
Підтримка драйверів hdi	+	+	+	—	—	—	—	-
Виглядові екрани	+	+	+	+	+	+	+	+
Швидкий вибір	+	+	+	+	+	+	+	+
Вставка растрових зображень	+	+	+	+	+	+	+	+
3D-вигляди	+	+	—	+	+	+	+	+
ActiveX-редагування на місці	+	+	—	+	+	+	+	+

Майстер сценаріїв	+	+	—	+	+	+	+	+
Редагування зовнішніх посилань	+	+	+	+	+	+	Частково	Частково
Xref, редагування блоків на місці	+	+	+	+	+	+	Частково	Частково
Швидкі розміри	+	+	—	+	+	+	+	+
VBA	+	+	—	+	+	+	+	-
Операції з растровими зображеннями	+	+	—	+	+	+	+	+
Мультилінія, редагування мультилінії	+	+	—	+	—	—	+	-
AutoLISP(ввкл ючая DCL)	+	+	—	+	+	+	+	-
Object ARX	GRX/DRX	ARX	—	ZRX	DRX/BRX	—	—	-
Операції з 3D-поверхнями	+	+	—	+	+	+	+	+
Операції з твердотільним и 3D-об'єктами	+	+	—	+	+	+	+	+
Експорт блоків	+	+	—	+	—	—	Нет даних	+
Мультивиноски	—	+	+	+	—	—	—	-
Таблиці AutoCAD	—	+	+	+	—	—	—	+
Двосторонній зв'язок з MicrosoftExcel	+	+	+	+	—	—	—	+
Друк в PDF	+	+	+	+	—	+	—	-
PDF як тло	—	+	+	+	+	+	—	-
Поля	+	+	+	+	—	—	—	-
Параметричне проектування	—	+	—	+	—	—	—	-
Express Tools	+	+	+	+	—	+	Частково	-

Стрічковий інтерфейс (<i>ribbon</i>) у стилі AutoCAD®	+	+	+	—	—	—	—	-
Порівняння креслень DWG	+	+	+	+	+	—	—	-
Пакетний друк	+	+	—	+	—	—	—	-
Підсвічування об'єктів при наведенні курсора	+	+	+	+	+	—	—	-
Інформація про властивості об'єкта при наведенні курсора	+	+	+	—	—	—	—	-
Динамічний ввід	+	+	+	—	+	—	—	-
Асоціативні розміри	+	+	+	—	+	—	—	-
Динамічні блоки	—	+	+	—	Частково	—	—	-

1.1.7. Стадії автоматизованого проектування

Проектування проводиться в декілька стадій, які складаються з етапів.

- Стадія 1. *Формування вимог до автоматизованих систем (АС)*. На цій стадії необхідно провести обстеження об'єкта, сформулювати вимоги до АС.
- Стадія 2. *Розробка концепції АС*. Проводиться вивчення об'єкта проведенням необхідних науково-дослідних робіт. Аналізуються, вибираються і обґрунтовуються варіанти концепцій, аналізуються варіанти АС.
- Стадія 3. *Технічне завдання*. На основі 1 та 2 стадій затверджуються проектні рішення по всій системі і її частинах у вигляді документації.
- Стадія 4. *Ескізний проект*. Є продовженням стадії 3. В ескізному проекті розглядаються попередні проектні рішення для всієї АС і її частин, оформляється додаткова документація.

- Стадія 5. *Технічний проект*. Розробляється проектне рішення по всій АС і її частинах. Розробляється і оформлюється документація на обладнання, його розробку і комплектацію. Розробляються і оформлюються технічні завдання на розробку засобів автоматизації для проектування системи в суміжних підрозділах.

- Стадія 6. *Робоча документація*. Це та проектна документація, за якою реалізується проект, проводиться уточнення проектних рішень. Розробляється і адаптується проектне забезпечення.

- Стадія 7. *Введення в експлуатацію*. Проводиться підготовка об'єкта до введення в дію, підготовка обслуговуючого персоналу. Виконуються будівельно-монтажні роботи, пуско-налагоджувальні роботи, проводяться попередні випробування, проводиться дослідна експлуатація.

- Стадія 8. *Супроводження АС*. Проводяться приймальні випробування відповідно з гарантійними зобов'язаннями, а також післягарантійне обслуговування системи.

Тема 1.2. ПРОЕКТНІ ПРОЦЕДУРИ ТА ЗАДАЧІ. СИСТЕМНИЙ ПІДХІД У ВИРІШЕННІ ПРОЕКТНИХ ЗАДАЧ

1.2.1. Основні проектні процедури та проектні задачі САПР.

1.2.2. Евристичні та систематичні рішення.

1.2.3. Види проектних задач.

1.2.4. Ідеологія САПР. Декомпозиція проектних задач і системний підхід.

1.2.1. Основні проектні процедури та проектні задачі САПР

Процес проектування складається з проектних процедур і операцій.

Проектна операція - дія або формалізована сукупність дій, складова частина проектної процедури, алгоритм якої лишається незмінним для ряду проектних процедур.

Проектна процедура формалізована сукупність дій, виконання яких закінчується прийняттям рішення.

Проектне рішення - проміжний або кінцевий опис об'єкта, необхідний і достатній для розгляду і визначення подальшого напрямку або закінчення проектування.

Проектна процедура складається з елементарних проектних операцій з чітко встановленим порядком їх виконання і спрямована на досягнення локальної мети в процесі проектування.

Проектна процедура характеризується набором параметрів (групою), що включають в загальному випадку вхідні дані, обмеження, математичну модель, вирішуючу процедуру, проектне рішення і критерій оцінки проектного рішення.

Проектні процедури ґрунтуються на мовах проектування, які служать засобом лінгвістичного чи графічного представлення і перетворення опису при проектуванні.

Проектна процедура називається **типовою**, якщо вона призначена для багаторазового використання при проектуванні багатьох типів об'єктів.

Розрізняють **проектні процедури аналізу і синтезу**. Синтез полягає у створенні опису об'єкта, а аналіз - у визначенні властивостей та дослідженні

працездатності об'єкта по його опису, тобто при синтезі створюються, а при аналізі оцінюються проекти об'єктів.

Процедури аналізу діляться на процедури одно варіантного і багатоваріантного аналізу. При одно варіантному аналізі задані значення внутрішніх і зовнішніх параметрів, необхідно визначити значення вихідних параметрів об'єкта. Багатоваріантний аналіз полягає у дослідженні властивостей об'єктів в деякій області простору внутрішніх параметрів.

Процедури синтезу діляться на структурно і параметричного синтезу. *Метою структурного синтезу* є визначення структури об'єкта - переліку типів елементів, що складають об'єкт та способу зв'язку елементів між собою в складі об'єкта. *Параметричний синтез* полягає у визначенні числовій значень параметрів елементів при заданих структурі та умовах працездатності на вихідні параметри об'єкта.

На рис. 4. представлена типова послідовність проектних процедур на одному з етапів проектування. Проектування системи починається з синтезу початкового варіанту й структури. Для оцінювання цього варіанта створюється модель математична — при автоматизованому проектуванні, експериментальна - при неавтоматизованому проектуванні. Після вибору початкових значень параметрів елементів виконується аналіз варіанту, за результатами якого стає можливою його оцінка. Звичайно оцінка полягає в перевірці виконання умов працездатності, сформульованих в технічному завданні. Якщо умови виконуються, то отримане проектне рішення приймається і формулюється технічне завдання на проектування елементів наступного рівня. Якщо ж отримане проектне рішення незадовільне, вибирається один з можливих шляхів покращення проекту.

Сукупність процедур модифікації, аналізу та оцінювання результатів представляє собою процедуру параметричного синтезу. Якщо модифікації цілеспрямовані і підкоряються стратегії пошуку найкращого значення деякого показника якості, то процедура параметричного синтезу є процедурою оптимізації. Якщо шляхом параметричного синтезу не вдається досягти

достатнього ступеня виконання умов працездатності, то використовують шлях модифікації структури.

Новий варіант структури синтезується і для нього повторюються процедури формування моделі та параметричного синтезу. Якщо не отримують допустимого проектного рішення і цим шляхом, то ставиться питання про корегування технічного завдання, сформульованого на попередньому етапі проектування.

Зі схеми процесу проектування (рис. 4) видно взаємозв'язок проектних процедур аналізу і синтезу. Цей взаємозв'язок має характер вмісту процедури аналізу в процедуру оптимізації (параметричного синтезу) і процедури оптимізації в процедуру синтезу, що об'єднує синтез структурний і параметричний.

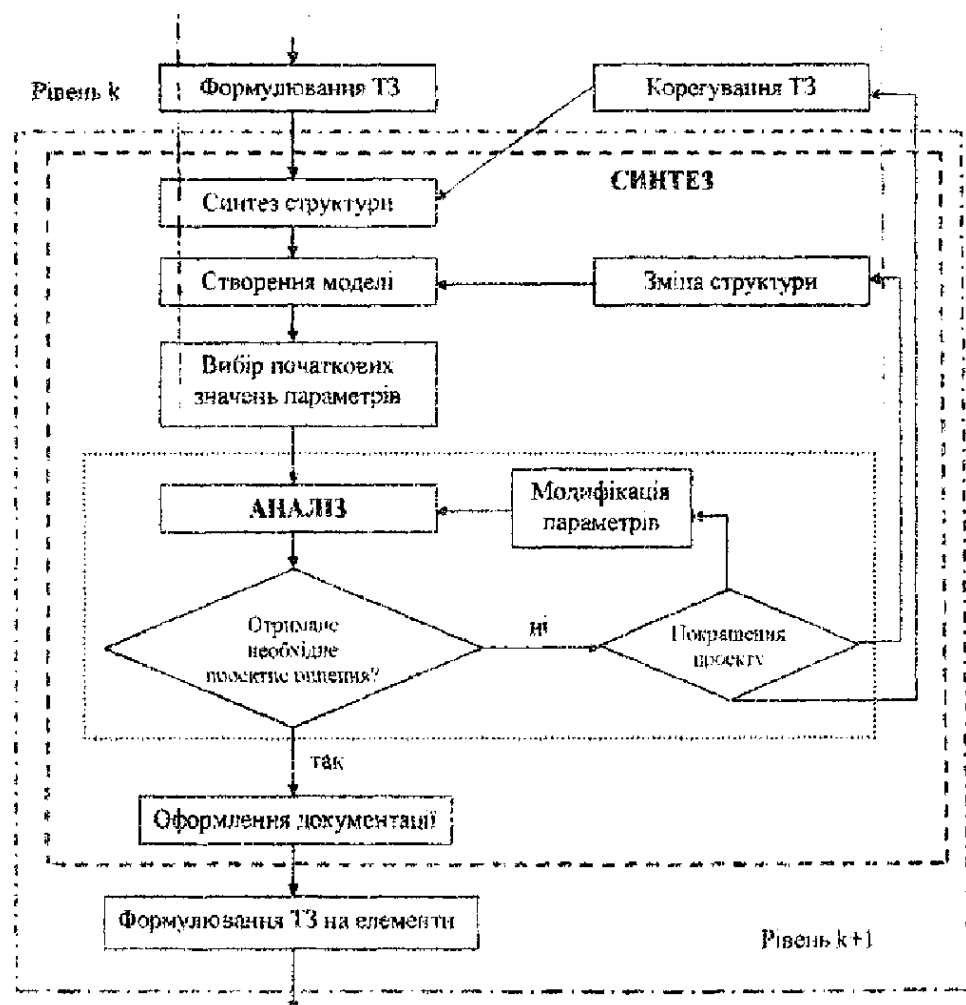


Рис. 1.3. Схема процесу проектування

1.2.2. Евристичні та систематичні рішення

Рішення творчих задач при проектуванні технічних об'єктів поділяються на: евристичні та систематичні.

Систематичні рішення отримують в результаті використання методів, «що стимулюють творчу діяльність» (алгоритм рішення винахідницьких задач, метод асоціацій, метафор, інверсії та ін.). Вони ґрунтуються на усвідомленому процесі пошуку і рішення задачі в результаті впорядкованого мислення і застосуванні методів його активації. Методи стимулювання творчої діяльності ґрунтуються на логіці і використовують раніше визначену послідовність дій і операцій (технологію проектування).

Евристичні рішення отримують в результаті такого проектування, коли важлива частина творчого процесу і отримання творчого результату проходить в голові людини і не може бути отримана з попереднього досвіду.

Евристичні рішення базуються на застосуванні евристичних методів.

Евристичні методи послідовність наказів або процедур обробки інформації, що виконується з метою пошуку більш раціонального і конструктивного рішення. Для такої послідовності немає обґрунтованого доведення і немає гарантій отримання найкращого рішення. Евристичні процедури називають евристиками або евристами, вони спрямовані на рішення задач в умовах дефіциту інформації або часу.

1.2.3. Види проектних задач

Серед можливих проектних задач характерними є 4 типи, пов'язані з об'єктами проектування:

1. Об'єкт, що проектується, можна скомпонувати з готових елементів і блоків (наприклад, проектування електронних схем з стандартних блоків та ін.). Найбільші можливості застосування комп'ютера для автоматизації процедур документування, складання специфікацій, збереження архівів, рішення задач компоновки об'єкта з готових елементів.

2. Для об'єкта, що проектується, немає повного набору готових компонентів, але існують аналогічні, в яких зміною параметра можна отримати

ті, яких не вистачає (наприклад, проектування гідросистем, в яких використовуються типова апаратура з нестандартними параметрами). Комп'ютер використовується для аналізу варіантів побудови компонент, вибору їх оптимального параметру, компоновки, деталювання та ін.

3. Для об'єкта, що проектується, немає повного набору готових компонентів, не існує аналогічних, але відомі принципи їх побудови (наприклад, проектування типового вузла машини із включенням нових елементів, що не мають аналогів), комп'ютер додатково розраховує варіанти рішення за математичною моделлю, які відповідають принципам, що закладаються в об'єкт.

4. На відміну від п.3, не відомі принципи побудови елементів об'єкта (наприклад, проектування з використанням фізичного або математичного моделювання). Комп'ютер додатково застосовується для моделювання різних фізичних процесів і явищ, обробки даних і натурних випробувань.

Важливо відмітити, що чим складніший процес проектування, тим нижчий рівень його автоматизації або, відповідно до „ закону автоматизації ", - добуток складності будь-якого технічного процесу, в тому числі і проектного, на досяжний рівень його автоматизації, є величина постійна, що не залежить від рівня розвитку виробничих сил.

1.2.4. Ідеологія САПР. Декомпозиція проектних задач і системний підхід.

Серед методологічних напрямків у проектуванні останнім часом значного розповсюдження отримав системний підхід.

Основні риси системного підходу:

1. Параметричний опис - вихідний рівень дослідження об'єкта; базується на емпіричних спостереженнях, опису властивостей, ознак і відношень між досліджуваним об'єктом і навколишніми об'єктами.

2. Структурний опис - виконується після виявлення параметрів; передбачає виявлення по елементній будові об'єкта. Основна задача – виявити взаємозв'язок властивостей і ознак, виявлених при параметричному описі.

3. Функціональний опис - виконується, виходячи з функціональної залежності між параметрами (функціонально-параметричний опис) та між частинами об'єкта (функціонально-структурний опис).

При вивченні об'єкта з використанням системного підходу увага звертається на структуру об'єкта (системи) і на властивості його частин, що виявляються у взаємодії. Система синтезує частини таким чином, що самостійне їх існування стає неможливим, оскільки частини складають основу даної системи.

Система - це сукупність виділених реальних або уявних об'єктів за умови, що:

- задані зв'язки, що існують між об'єктами;
- кожний з елементів всередині системи неподільний;
- з навколишнім середовищем система взаємодіє, як ціла;
- між об'єктами в різні моменти часу можна провести однозначні відповідності.

Зв'язки в системах бувають; взаємодії, побудови (структурні), функціонування.

Декомпозиція - це розбиття задачі на складові частини. Розрізняють такі рівні декомпозиції.

- системний - загальний опис призначення об'єкта і його зв'язків з урахуванням взаємодії з навколишнім штучним і природним середовищем;
- архітектурний - структурний опис об'єкта;
- функціональний - опис законів функціонування підсистем об'єкта або рішення задачі працездатності об'єкта як системи заданої структури;
- елементний (конструктивний) - опис елементів системи.

Можливі інші, специфічні підходи, до об'єкта, що проектується, які відповідають нижче переліченим рівням декомпозиції:

- **для конструктивних об'єктів:** функціонально - структурний, просторової компоновки, кінематичної моделі, технічної моделі, робочої моделі та ін.

- **для технологічних процесів** - принципова схема технологічного процесу, маршрутного процесу, операційного технологічного процесу, технологічних наладок та ін.

При створенні та експлуатації САПР об'єкт розглядається як технічна система.

Технічна система - абстрактне відображення комплексу взаємозв'язаних технічних засобів, що забезпечують перетворення маси, енергії і інформації.

Суттєвою рисою технічних систем є існування зв'язків і перетворень. Кількість зв'язків визначає складність системи. Технічну систему можна описати:

- в блок – схемою;
- графіком;
- аналітичне;
- з допомогою матриці.

При системному підході будь-який об'єкт розглядається, як деяка система, яку можна поділити на підсистеми більш низького порядку. Підсистеми самого низького порядку є елементами, властивості їх впливають на другі підсистеми і на систему в цілому.

Тема 1.3. ПОБУДОВА, СТРУКТУРА ТА РІВНІ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

1.3.1. Побудова систем автоматизованого проектування. Структура САПР. Рівні САПР.

1.3.2. Технічні засоби САПР.

1.3.3. Пристрої вводу – виводу графічної інформації.

1.3.4. Математичне забезпечення автоматизованого проектування

1.3.5. Класифікація математичних моделей.

1.3.1. Побудова систем автоматизованого проектування. Структура САПР. Рівні САПР

Засоби автоматизованого проектування можна групувати за видами забезпечення автоматизованого проектування.

Технічне забезпечення САПР представляє собою сукупність взаємозв'язаних і взаємодіючих технічних засобів, призначених для виконання автоматизованого проектування. Технічне забезпечення ділиться на групи засобів програмної обробки даних, підготовки ' вводу даних, відображення і документації, архіву проектних рівень, передачі даних.

Засоби програмної обробки даних представлені процесорами і запам'ятовуючими пристроями. Засоби підготовки, відображення, документування даних служать для спілкування комп'ютера з людиною. Засоби архіву проектних рішень представлені зовнішніми запам'ятовуючими пристроями

Математичне забезпечення САПР об'єднує в собі математичні моделі об'єктів, що проектуються, методи і алгоритми виконання проектних процедур.

Програмне забезпечення САПР об'єднує власне програми для систем обробки даних на машинних носіях і програмну документацію, необхідну для експлуатації програм. Програмне забезпечення (ПЗ) ділиться на загальносистемне, базове і прикладне (спеціальне). Загальносистемне ПЗ призначено для організації функціонування технічних засобів (для розподілу ресурсів пам'яті, організації взаємодії, та ін.) і представлено операційними системами комп'ютера. Загальносистемне забезпечення ПЗ створюється для

багатьох користувачів і специфіку САПР не відображає. В базове ПЗ входять програми, що забезпечують правильне функціонування прикладних програм. В прикладному ПЗ реалізується математичне забезпечення для безпосереднього виконання проектних процедур. Прикладне ПЗ звичайно має ферму пакетів прикладних програм, кожний з яких обслуговує певний етап процесу проектування або групу однотипних задач всередині різних етапів.

Інформаційне забезпечення САПР об'єднує найрізноманітніші дані, необхідні для виконання автоматизованого проектування. Ці дані можуть бути подані у вигляді документів на різних носіях і містять відомості довідкового характеру про матеріали, комплектуючі вироби, параметри елементів і т.п.

Основна складова частина інформаційного забезпечення САПР - це банк даних, що є сукупністю засобів для централізованого накопичення і колективного використання даних в САПР. Банк даних складається з бази даних і системи управління базою даних.

База даних - самі дані, що знаходяться у запам'ятовуючому пристрої комп'ютера і структуровані відповідно до прийнятих в банку даних правил.

Система управління базою даних (СУБД) - сукупність програмних засобів, що забезпечують функціонування банку даних. За допомогою СУБД, проводиться запис даних в банк даних, їх вибір по вимогах користувачів і прикладних програм, забезпечується захист даних від спотворення і від несанкціонованої доступу та ін..

Лінгвістичне забезпечення САПР представлено сукупністю мов, що застосовується для опису процедур автоматизованого проектування. Основна частина лінгвістичного забезпечення - мови спілкування людини з комп'ютером.

Методичне забезпечення САПР - складають документи, що характеризують склад, правила відбору й експлуатації засобів автоматизованого проектування.

Організаційне забезпечення САПР включає в себе положення, інструкції, штатний розклад, кваліфікаційні вимоги та інші документи, що

регламентують організаційну структуру підрозділів проектної організації і взаємодію цих підрозділів з засобами автоматизованого проектування.

Структура САПР значною мірою залежить від складу технічних засобів, що використовуються. На рис.4 представлена структура комплексу технічних засобів (КТЗ), призначеного для виконання автоматизованого проектування.

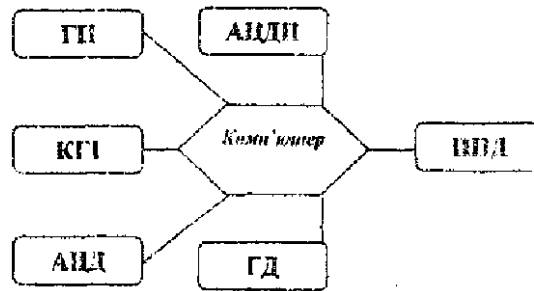


Рис. 1.4. Структура комплексу
технічних засобів

ГП – графопобудувач;

АЦПП - алфавітно-цифровий друкуючий пристрій;

АЦД - алфавітно-цифровий дисплей;

ППД - пристрій підготовки даних;

ГД - графічний дисплей;

КГ1 - кодувальник графічної інформації.

1.3.2. Технічні засоби САПР

Технічні засоби й узагальнене системне програмне забезпечення з інструментальною базою САПР. Вони утворюють фізичне середовище, в якому реалізуються інші види забезпечення САПР.

Технічні засоби в САПР вирішують задачі:

- вводу вхідних даних опису об'єкта проектування;
- відображення введеної інформації з метою її контролю та редагування;
- перетворення інформації (зміни форми представлення даних, перекодування, трансляції, зміни структури даних та ін.);
- збереження різної інформації;

- відображення підсумкових та проміжних результатів рішення;
- оперативного спілкування користувача з системою у процесі рішення задач.

Для рішення цих задач технічні засоби повинні включати процесори, оперативну пам'ять, зовнішні запам'ятовуючі пристрої, пристрої вводу-виводу інформації, технічні засоби машинної графіки, пристрої оперативного спілкування людини з комп'ютером та ін.

Номенклатура технічних засобів, ідо входять в комплекс САПР, представлена на рис. 5.

Характеристики конкретної САПР значною мірою визначаються складом комплексу технічних засобів і програмного забезпечення, то повинні забезпечувати:

- продуктивність САПР, достатню для рішення всіх проектних задач;
- можливість оперативної взаємодії користувача з ЕОМ и процесі роботи;
- прийнятний час реакції системи на запити користувача;
- простоту освоєння, експлуатації та обслуговування технічних засобів;
- відкритість технічних засобів для конфігурації та подальшого розвитку.

1.3.3. Пристрої вводу – виводу графічної інформації

Пристрої вводу

Операторські пристрої вводу застосовуються в графічних робочих станціях для забезпечення зручності і спілкування користувача з системою. Робочі графічні станції мають звичайно декілька типів пристроїв вводу даних, що дозволяє операторові вибирати різні завчасно запрограмовані функції вводу. Ці функції дають можливість формувати або змінювати зображення на екрані дисплея або вводити я систему символну інформацію В результаті на дисплеї створюється закінчене зображення деякої деталі, а в базі даних САПР появляється її повний геометричний опис.

Різні типи операторських *пристроїв вводу*, що застосовуються в САПР умовно можна розділити на три класи:

1. Пристрої управління курсором.
2. Цифрові перетворювачі.
3. Літерно-цифрові клавішні термінали.

Пристрої виводу.

В рамках САПР використовуються різні типи вихідних пристроїв:

- графопобудовувачі;
- друкуючі пристрої;
- лазерні пристрої;
- вихідні мікрофільмуючі пристрої.

1.3.4. Математичне забезпечення автоматизованого проектування

Математичне забезпечення автоматизованого проектування включає в себе математичні моделі об'єктів проектування, методи і алгоритми виконання проектних процедур.

Математичні моделі служать для опису властивостей об'єктів у процесам автоматизованого проектування. Якщо проектна процедура включає створення математичної моделі і оперує нею з метою отримання корисної інформації про об'єкт, то говорять, що процедура виконується на основі математичного моделювання.

Вимоги до математичного моделювання:

- універсальність;
- адекватність;
- точність;
- економічність.

Ступінь універсальності математичної моделі характеризує повноту відображення в моделі властивостей реального об'єкта. Математична модель відображає лиш деякі властивості об'єкта. Так, більшість математичних моделей, то використовуються при функціональному проектуванні, призначаються для відображення протікаючих в об'єкті фізичних чи

інформаційних процесів, при цьому не потрібно, щоб математичні моделі описували такі властивості об'єкта, як геометрична форма його елементів.

Точність математичної моделі оцінюється ступенем співпадання значень параметрів реального об'єкта і значень тих же параметрів, розрахованих з допомогою математичної моделі.

Адекватність математичної моделі - це здатність відображати задані властивості об'єкта з похибкою не вище заданої.

Економічність математичної моделі - характеризується затратами обчислювальних ресурсів (затратами машинного часу і пам'яті) на її реалізацію. Чим менші ці затрати, тим модель економічна.

1.3.5. Класифікація математичних моделей

За характером відображуваних властивостей об'єкта математичні моделі розділяють на *структурні* та *функціональні*.

Структурні математичні моделі призначені для відображення структурних властивостей об'єкта. Вони діляться в свою чергу на *топологічні* і *геометричні*. В топологічних моделях відображається склад і взаємозв'язок елементів об'єкта. В геометричних математичних моделях відображаються, геометричні властивості об'єкта, в них додатково до відомостей про взаємне розташування елементів містяться відомості про форму деталей.

У машинобудуванні для відображення геометричних властивостей деталей застосовують математичні моделі, представлені в аналітичній або алгебраїчній формі (прості моделі - поверхні плоскі і другого порядку, складні моделі - каркасні і кінематичні - для відображення об'єктів складних геометричних властивостей).

Функціональні математичні моделі призначені для відображення фізичних чи інформаційних процесів, що протікають в об'єкті при його функціонуванні або виготовленні. Здебільшого функціональні математичні моделі представляють собою систему рівнянь, що зв'язують між собою внутрішні, зовнішні і вихідні параметри. Залежно від місця в ієрархічній системі математичні моделі діляться на моделі:

- мікро-
- макро-
- метарівня.

Особливістю математичні моделі на *макрорівні* є відображення фізичних процесів, що протікають в неперервному просторі і часі (диференційні рівняння в часткових похідних).

На *макрорівні* використовують збільшену дискретизацію простору за функціональною ознакою, що приводить до представлення математичних моделей на цьому рівні у вигляді звичайних диференційних рівнянь.

На *метарівні* в якості елементів приймаються складні сукупності деталей.

За ступенем деталізації опису в межах кожного ієрархічного рівня виділяють **повні математичні моделі** та **макромоделі**.

Повна модель - модель, в якій відображаються фазові змінні, що характеризують стан всіх між елементних зв'язків.

Макромодель - характеризується меншим числом фазових змінних, що відповідають опису об'єкта при збільшеному виділенні елементів.

За способом отримання моделі бувають теоретичні та **емпіричні**.

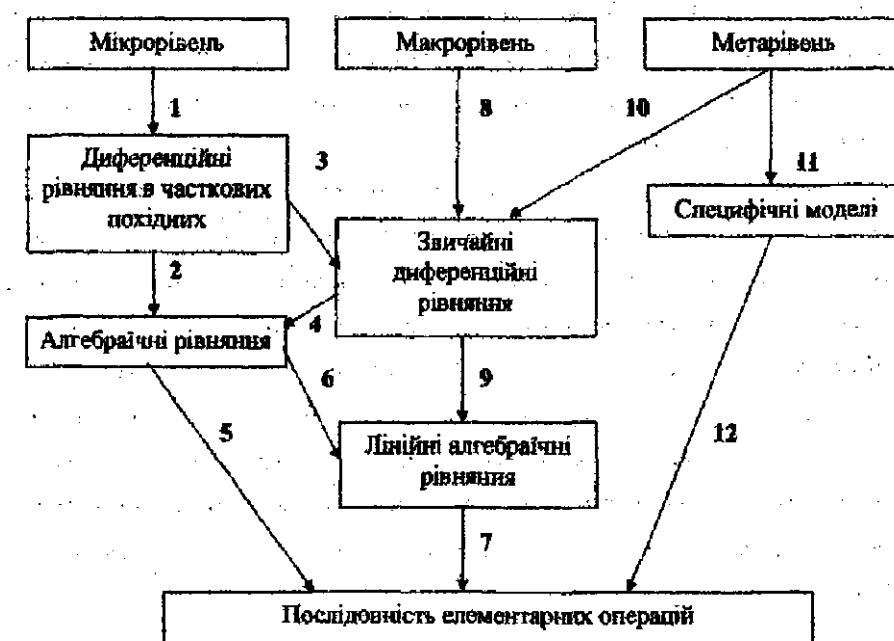


Рис. 1.5. Ієрархічна структура математичних моделей.

Реалізація таких моделей включає вибір чисельних методів рішення рівнянь і перетворення рівнянь залежно від вибраного методу. Кінцева мета перетворень - отримання робочої програми аналізу у вигляд послідовностей елементарних дій (арифметичних і логічних операцій); то реалізуються командами комп'ютера. Гілка 1 на рис. 5 відповідає постановці задачі на мікрорівні, частіше всього диференційні рівняння в часткових похідних (ДРЧП). Чисельні методи рішення таких рівнянь ґрунтуються на дискретизації змінних і алгебраїзації задачі.

Дискретизація полягає в заміні неперервних змінних кінцевою множиною їх значень в заданих для дослідження просторових і часових інтервалах; *Алгебраїзація* полягає в заміні похідних алгебраїчними рівняннями.

Якщо диференційне рівняння в часткових похідних стаціонарне (описує статичний стан), то дискретизація і алгебраїзація перетворюють ДРЧП в систему алгебраїчних рівнянь, а загальному випадку нелінійних (гілка 2). Якщо ДРЧП нестационарні (описують перемінні в часі і просторі поля змінних), то дискретизація і алгебраїзація представляється з двох етапів:

- усунення похідних по просторових координатах (гілка 3) результат-система звичайних диференційних рівнянь;
- усунення похідних по часу (гілка 4).

Для чисельного рішення звичайних диференційних рівнянь при заданих початкових умовах існує багато чисельних методів. Специфіка алгебраїзації похідних по часу обумовлює доцільність виділення для вітки спеціальних засобів математичного програмного забезпечення

Зведення задачі рішення алгебраїчних рівнянь до послідовності елементарних операцій може бути або безпосереднім (гілка 5), приклад - метод простих ітерацій, або з допомогою попередньо лінеаризованих рівнянь (гілка 6). Рішення системи алгебраїчних рівнянь в цьому випадку (гілка 7) виконується за допомогою прямих методів (наприклад, метод Гауса).

Гілці 8 відповідає перетворення вихідного опису задачі, що відносяться до макрорівня, в систему звичайних диференційних рівнянь з відомими

початковими умовами. Якщо це система нелінійних диференціальних рівнянь, подальше перетворенню проходить по гілках 4, 6, 7 чи 4, 5; якщо система лінійних диференціальних рівнянь, то доцільний перехід до системи лінійних, алгебраїчних рівнянь (гілка.9).

Для аналізу - об'єкта на метарівні застосовують або перехід до системи звичайних диференціальних рівнянь, (гілка 10), або перехід до системи логічних рівнянь, або моделі масового обслуговування (гілка 11).

Тема 1.4. САПР ЯК ОБ'ЄКТ ІНТЕГРУВАННЯ

1.4.1. САПР, їх класифікація та структура.

1.4.2. Порівняння різних систем автоматизованого проектування.

1.4.3. Представлення даних в системах автоматизованого проектування.

1.4.1. САПР, їх класифікація та структура

Система автоматизованого проектування - автоматизована система, що реалізує інформаційну технологію виконання функцій проектування, являє собою організаційно-технічну систему, призначену для автоматизації процесу проектування, що складається з персоналу і комплексу технічних, програмних та інших засобів автоматизації його діяльності. Також для позначення подібних систем широко використовується аббревіатура САПР.

Цілі створення і завдання. В рамках життєвого циклу промислових виробів САПР вирішує завдання автоматизації робіт на стадіях проектування та підготовки виробництва.

Основна мета створення САПР - підвищення ефективності роботи інженерів, включаючи:

- скорочення трудомісткості проектування і планування;
- скорочення термінів проектування;
- скорочення собівартості проектування і виготовлення, зменшення витрат на експлуатацію;
- підвищення якості та техніко-економічного рівня результатів проектування;
- скорочення витрат на натурне моделювання та випробування.

Досягнення цих цілей забезпечується шляхом:

- автоматизації оформлення документації;
- інформаційної підтримки та автоматизації процесу прийняття рішень;
- використання технологій паралельного проектування;
- уніфікації проектних рішень і процесів проектування;
- повторного використання проектних рішень, даних і напрацювань;
- стратегічного проектування;

- заміни натурних випробувань та макетування математичним моделюванням;

- підвищення якості управління проектуванням;

- застосування методів варіантного проектування та оптимізації.

Склад і структура

Відповідно до ГОСТ, в структурі САПР виділяють наступні елементи (рис. 1.1):

- *КЗАП САПР* — комплекс засобів автоматизації проектування САПР

- підсистеми САПР, як елемент структури САПР, виникають при експлуатації користувачами КЗАП підсистем САПР.

- КЗАП - підсистеми САПР - сукупність ПМК, ПТК та окремих компонентів забезпечення САПР, що не увійшли в програмні комплекси, об'єднана загальною для підсистеми функцією.

- ПТК — програмно-технічні комплекси

- компоненти забезпечення ПТК САПР

- ПМК — програмно-методичні комплекси

- компоненти забезпечення ПМК САПР

- компоненти забезпечення САПР, що не увійшли в ПМК и ПТК

Сукупність КЗАП різних підсистем формують КЗАП всієї САПР в цілому.

Підсистеми

Згідно до ГОСТ 23501.101-87, складовими структурними частинами САПР є підсистеми, що володіють всіма властивостями систем і створювані як самостійні системи. Кожна підсистема — це виділена за деякими ознаками частина САПР, що забезпечує виконання деяких функціонально-закінчених послідовностей проектних завдань з отриманням відповідних проектних рішень і проектних документів. За призначенням підсистеми САПР поділяють на два види: проектуючі і обслуговуючі.

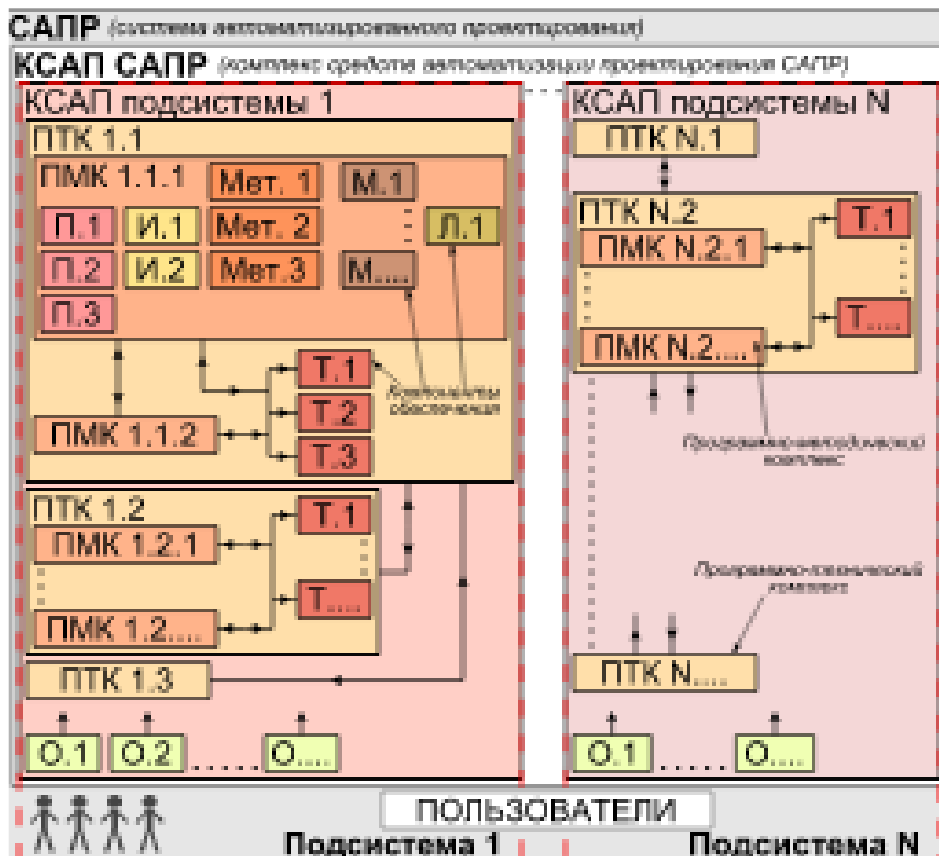


Рис. 1.6. Структура САПР.

- Обслуживающие подсистемы — объектно-независимые подсистемы, которые реализуют функции, общие для подсистем или САПР в целом: обеспечивают функционирование проектирующих подсистем, оформления, передачу и вывода данных, сопровождение программного обеспечения и т. д., их совокупность называют системной средой (или оболочкой) САПР.

- Проектирующие подсистемы — объектно-ориентированные подсистемы, которые реализуют определенный этап проектирования или группу связанных проектных задач. В зависимости от отношения к объекту проектирования, делятся на:

- объектные — выполняют проектные процедуры и операции, непосредственно связанные с конкретным типом объектов проектирования.
- инвариантные — выполняют унифицированные проектные процедуры и операции, которые имеют смысл для многих типов объектов проектирования.

Примерами проектирующих подсистем могут служить подсистемы геометрического трехмерного моделирования механических объектов, схемотехнического анализа, трассирования соединений в печатных платах [17].

Типовими обслуговуючими підсистемами є:

- підсистеми управління проектними даними
- навчальні підсистеми для освоєння користувачами технологій, реалізованих в САПР
- підсистеми графічного введення-виведення
- система управління базами даних (СУБД).

Компоненти і забезпечення.

Кожна підсистема, у свою чергу, складається з компонентів, що забезпечують функціонування підсистеми.

Компонент виконує певну функцію в підсистемі і являє собою найменший (неподільний) самостійно розробляється або покупної елемент САПР (програма, файл моделі транзистора, графічний дисплей, інструкція і т. д.).

Сукупність однотипних компонентів утворює засіб забезпечення САПР. Виділяють наступні види забезпечення САПР[27]:

- *технічне забезпечення* (ТЗ) - сукупність пов'язаних і взаємодіючих технічних засобів (ЕОМ, периферійні пристрої, мережеве обладнання, лінії зв'язку, вимірювальні засоби);

- *математичне забезпечення* (МЗ), що об'єднує математичні методи, моделі та алгоритми, використовувані для вирішення завдань автоматизованого проектування. За призначенням і способам реалізації ділять на дві частини:

- математичні методи і побудовані на них математичні моделі;
- формалізований опис технології автоматизованого проектування;

- *програмне забезпечення* (ПЗ). Підрозділяється на загальносистемне і прикладне:

- прикладне ПЗ реалізує математичне забезпечення для безпосереднього виконання проектних процедур. Включає пакети прикладних програм, призначені для обслуговування певних етапів проектування або рішення груп однотипних завдань усередині різних етапів (модуль проектування трубопроводів, пакет схемотехнічного моделювання, геометричне ядро САПР);

○ загальносистемне ПЗ призначено для управління компонентами технічного забезпечення та забезпечення функціонування прикладних програм. Прикладом компонента загальносистемного ПЗ є операційна система;

- *інформаційне забезпечення (ІЗ)* - сукупність відомостей, необхідних для виконання проектування. Складається з опису стандартних проектних процедур, типових проектних рішень, комплектуючих виробів і їх моделей, правил і норм проектування. Основна частина ІЗ САПР - бази даних.

- *лінгвістичне забезпечення (ЛЮ)* - сукупність мов, що використовуються в САПР для подання інформації про проєктованих об'єктах, процесі і засобах проектування, а також для здійснення діалогу "проектувальник - ЕОМ" і обміну даними між технічними засобами САПР. Включає терміни, визначення, правила формалізації природної мови, методи стиснення та розгортання;

○ в лінгвістичному забезпеченні виділяють клас різного типу мов проектування і моделювання (VHDL, VERILOG, UML, GPSS);

- *методичне забезпечення (МетЗ)* - опис технології функціонування САПР, методів вибору і застосування користувачами технологічних прийомів для одержання конкретних результатів. Включає теорію процесів, що відбуваються в проєктованих об'єктах, методи аналізу, синтезу систем та їх складових частин, різні методики проектування. Іноді до МетЗ відносять також МЗ і ЛЗ;

- *організаційне забезпечення (ОЗ)* - сукупність документів, що визначають склад проектної організації, зв'язок між підрозділами, організаційну структуру об'єкту і системи автоматизації, діяльність в умовах функціонування системи, форму представлення результатів проектування. В ОЗ входять штатні розклади, посадові інструкції, правила експлуатації, накази, положення і т. п.

В САПР, як системі що проєктується, виділяють також ергономічне і правове забезпечення.

Ергономічне забезпечення об'єднує взаємопов'язані вимоги, спрямовані на узгодження психологічних, психофізіологічних, антропометричних

характеристик і можливостей людини з технічними характеристиками засобів автоматизації та параметрами робочого середовища на робочому місці.

Правове забезпечення складається з правових норм, що регламентують правовідносини при функціонуванні САПР, і юридичний статус результатів її функціонування.

Класифікація

ГОСТ 23501.108-85 встановлює наступні ознаки класифікації САПР (рис. 1.2):

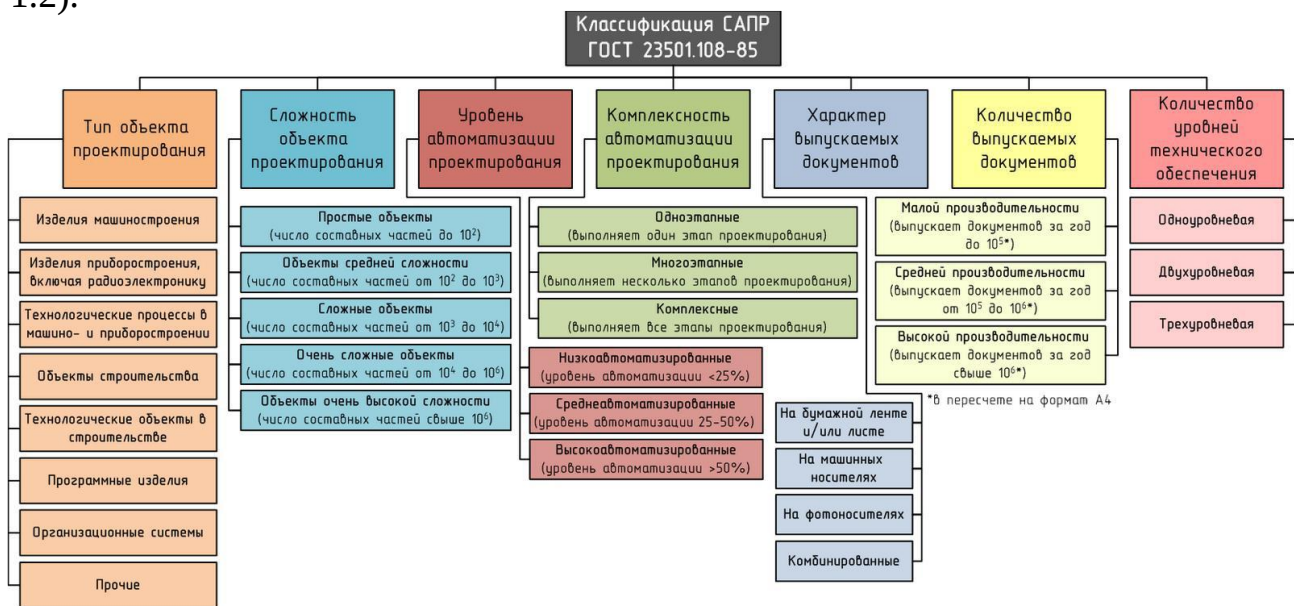


Рис. 1.7. Класифікація САПР

- тип / різновид і складність об'єкта проектування
- рівень і комплексність автоматизації проектування
- характер і кількість випущених документів
- кількість рівнів в структурі технічного забезпечення

Альтернативна класифікація САПР

В області класифікації САПР використовується ряд усталених англomовних термінів, що застосовуються для класифікації програмних додатків і засобів автоматизації САПР за галузевою та цільовим призначенням.

За галузевим призначенням

- MCAD (англ. mechanical computer-aided design) — автоматизоване проектування механічних пристроїв. Це машинобудівні САПР, застосовуються в автомобілебудуванні, суднобудуванні, авіакосмічній промисловості,

виробництві товарів народного споживання, включають в себе розробку деталей і зборок (механізмів) з використанням параметричного проектування на основі конструктивних елементів, технологій поверхневого та об'ємного моделювання (SolidWorks, Autodesk Inventor, КОМПАС, CATIA);

- EDA (англ. electronic design automation) або ECAD (англ. electronic computer-aided design) — САПР електронних пристроїв, радіоелектронних засобів, інтегральних схем, друкованих плат і т.д. , (Altium Designer, OrCAD);

- AEC CAD (англ. architecture, engineering and construction computer-aided design) або CAAD (англ. computer-aided architectural design) — САПР в галузі архітектури та будівництва. Використовуються для проектування будівель, промислових об'єктів, доріг, мостів та ін. (Autodesk Architectural Desktop, AutoCAD Revit Architecture Suite, Piranesi, ArchiCAD).

За цільовим призначенням

За цільовим призначенням розрізняють САПР або підсистеми САПР, які забезпечують різні аспекти проектування.

- CAD (англ. computer-aided design/drafting) — засоби автоматизованого проектування, у контексті зазначеної класифікації термін позначає засоби САПР, призначені для автоматизації двовимірного та / або тривимірного геометричного проектування, створення конструкторської та / або технологічної документації, і САПР загального призначення.

- CADD (англ. computer-aided design and drafting) — проектування і створення креслень.

- CAGD (англ. computer-aided geometric design) — геометричне моделювання.

- CAE (англ. computer-aided engineering) — засоби автоматизації інженерних розрахунків, аналізу та симуляції фізичних процесів, здійснюють динамічне моделювання, перевірку та оптимізацію виробів.

- CAA (англ. computer-aided analysis) — підклас засобів CAE, використовуваних для комп'ютерного аналізу.

- CAM (англ. computer-aided manufacturing) — засоби технологічної підготовки виробництва виробів, забезпечують автоматизацію програмування і управління обладнання з ЧПУ або ГАПС (Гнучких автоматизованих виробничих систем)..

- CAPP (англ. computer-aided process planning) — засоби автоматизації планування технологічних процесів, які застосовуються на стику систем CAD і CAM.

Багато систем автоматизованого проектування поєднують в собі рішення завдань, що відносяться до різних аспектів проектування CAD / CAM, CAD / CAE, CAD / CAE / CAM. Такі системи називають комплексними, або інтегрованими [21].

За допомогою CAD-засобів створюється геометрична модель виробу, яка використовується в якості вхідних даних в системах CAM і на основі якої в системах CAE формується необхідна для інженерного аналізу модель досліджуваного процесу.

На сьогоднішній день розроблено безліч САПР, які здатні вирішити практично будь-яке завдання проектування в своїй галузі застосування. Нижче наведено список САПР, які сьогодні мають широке застосування при вирішенні завдань автоматизації проектування.

САПР розроблені в країнах СНД

- PSM - САПР із зовнішніх мереж від авторизованого розробника Autodesk компанії IDEAS FOR BUSINESS;

- ADEM — САПР для конструкторсько-технологічної підготовки машинобудівних та металообробних підприємств та програмування обладнання з ЧПУ;

- AutomatiCS — багатокористувацька САПР, призначена для автоматизації проектування, реконструкції та експлуатації систем контролю і управління (КВПіА, АСУТП), обліку енергії, ланцюгів вторинної комутації. Виробництво компанії CSoft Development;

- bCAD — САПР з проектування меблів, торговельного обладнання і дизайну інтер'єрів. Існує також версія для інженерного проектування і безкоштовна студентська версія;

- DipTrace — САПР для проектування друкованих плат. У пакет включено чотири програми: Schematic - розробка принципових схем; PCB Layout -

розводка плат, ручна і автоматичне трасування; ComEdit - редактор корпусів; SchemEdit - редактор компонентів;

- ElectriCS Pro — САПР, призначена для проектування електрообладнання, що застосовується в різних галузях промисловості. Виробництво компанії CSoft Development;

- EnergyCS — комплекс програм, призначених для виконання електротехнічних розрахунків при проектуванні та експлуатації електроенергетичних систем будь-якої складності. Виробництво компанії CSoft Development;

- EnergyCS Режим - розрахунок і аналіз встановлених режимів;

- EnergyCS ТКЗ - розрахунок струмів короткого замикання і струмів замикання на землю;

- EnergyCS Потери - розрахунок втрат електроенергії в складних енергосистемах;

- GeoniCS — лінійка професійних програмних продуктів, призначених для фахівців у галузі геодезії, геології, землеустрою, проектування генпланів. Виробництво компанії CSoft Development;

- GeoniCS Дослідження (RGS, RgsPl) призначений для обробки результатів польових вимірювань;

- GeoniCS Інженерна геологія призначений для обробки даних інженерно-геологічних дослідів;

- GeoniCS Топоплан-Генплан-Мережі-Траси-Перетини-Геомодель;

- GeoniCS Plprofile призначений для проектування магістральних нафтогазопроводів;
- IndorCAD — система проектування автомобільних доріг компанії;
- InfracadCAD — САПР на основі IntelliCAD від компанії INFRASOFT;
- КЗ — система твердотільного просторового моделювання, розроблена нижегородськими вченими:
 - КЗ-Коттедж — це комплекс комп'ютерних програм для проектування дерев'яних будинків з циліндричних колод і профільованого бруса;
 - КЗ-Мебель — це комплекс комп'ютерних програм для виробництва і продажу корпусних меблів. КЗ-Меблі дозволяє автоматизувати процес прийому замовлень та підготовки виробничих завдань;
 - КЗ-Тент — комплекс комп'ютерних програм для проектування конструкцій тентів, надає конструктору гранично наочний і найбільш ефективний інструментарій для роботи з поверхнями будь-якої складності. При цьому «КЗ-Тент» забезпечує істотне скорочення термінів по знаходженню форми оболонки, візуалізації кінцевої конструкції, нанесення ліній крою та розгортки шматків на площину;
 - КЗ-Ship — це комплекс комп'ютерних програм для виробництва кораблів;
- MechaniCS — додаток до AutoCAD або Autodesk Inventor, призначене для оформлення креслень відповідно до ЕСКД та ін. Виробництво компанії CSoft Development;
- Mineframe — САПР для автоматизованого планування, проектування та супроводу гірничих робіт;
- Model Studio CS — перша російська лінійка програмних продуктів для тривимірного проектування промислових об'єктів. Кожен програмний продукт лінійки дозволяє виконувати компоновану задачу, автоматично виконує розрахунки, генерує специфікації і креслення. Поширюється на платній основі. Виробництво компанії CSoft Development:

- Model Studio CS ОРУ — програмний продукт призначений для розробки компоувальних рішень в тривимірному просторі відкритих розподільних пристроїв, виконання розрахунків гнучкою ошиновки, випуску проектної та робочої документації (креслень, специфікацій і т. д.);

- Model Studio CS ЛЭП — програмний продукт призначений для розрахунку і випуску комплекту документів при проектуванні повітряних ліній електропередачі всіх класів напруги на стадіях будівництва, реконструкції та ремонту. Реалізована унікальна система автоматичного оформлення документів;

- Model Studio CS Молниезащита — програмний продукт призначений для розробки проектів блискавкозахисту в тривимірному просторі, виконання розрахунків зон блискавкозахисту, випуску проектної та робочої документації (креслень, специфікацій і т. д.);

- Model Studio CS Трубопроводы — програмний продукт призначений для розробки компоувальних рішень в тривимірному просторі промислових об'єктів і технологічних установок, випуску проектної та робочої документації (креслень, специфікацій і т. д.);

- Model Studio CS Кабельне господарство - програмний продукт призначений для розробки компоувальних рішень в тривимірному просторі кабельних конструкцій, автоматичної розкладки кабелів і випуску проектної та робочої документації (креслень, специфікацій і т. д.);

- nanoCAD — перша вітчизняна САПР-платформа для вертикальних додатків:

- nanoCAD free - безкоштовна версія САПР-платформи nanoCAD, що містить інструменти базового проектування і випуску креслень;

- nanoCAD ВК;

- nanoCAD Геоника;

- nanoCAD Конструкції;

- nanoCAD Механіка;

- nanoCAD ОПС;
- nanoCAD СКС;
- nanoCAD СПДС;
- nanoCAD Будмайданчик;
- nanoCAD Схеми;
- nanoCAD Фундаменти;
- nanoCAD Електро;
- nanoCAD Електро ДКС;
- NCTuner — система моделювання твердих тіл для контролю і остаточної настройки керуючих програм для верстатів з ЧПУ;
- NormCAD - програма для розрахунків за будівельними нормами (БНіП) з виведенням звітів з формулами;
- Project Studio CS — лінійка програм для архітектурно-будівельного робочого проектування в середовищі AutoCAD. Виробництво компанії CSoft Development:
 - Project Studio CS СКС;
 - Project Studio CS ОПС;
 - Project Studio CS Електрика;
 - Project Studio CS Водопостачання;
 - Project Studio CS Архітектура;
 - Project Studio CS Конструкції;
 - Project Studio CS Фундаменти;
 - Project Smeta CS — інструмент для складання кошторисів на проектну документацію та вишукувальні роботи в будівництві. Виробництво компанії CSoft Development;
 - Raster Arts — растрово-векторна САПР і сучасна векторизація - для сканованих креслень, планів, схем, топографічних і картографічних матеріалів. Виробництво компанії CSoft Development;

- Rubius Electric Suite - лінійка програмних продуктів для автоматизації електротехнічних відділів:

- Rubius Electric Suite: ЛЕП 0,4-10 кВ - програмний модуль для проектування повітряних ліній електропередачі напругою 0,4 - 10 кВ;

- Rubius Electric Suite: МЗ - програмний модуль для проектування систем блискавкозахисту;

- SimOne — система моделювання електронних схем. Розробник - компанія Еремекс;

- SprutCAM — професійне рішення для розробки керуючих програм для устаткування з ЧПУ. На сьогоднішній день це єдина російська розробка і одна з небагатьох серед зарубіжних, підтримуюча у тому числі розробку КП для багатокоординатного токарно-фрезерного обладнання.

- TechnologiCS — спеціалізований програмний продукт, призначений для використання на виробничих підприємствах. Виробництво компанії CSoft Development;

- T-FLEX CAD — САПР (3D и 2D) для машинобудування. Розробник - компанія Топ-Системи. Перша в світі САПР з геометричною параметризацією;

- ТороR — САПР для проектування друкованих плат. Розробник - компанія Еремекс;

- Tronix — САПР для суднобудування, створена в Петербурзі;

- WinELSO — САПР для проектування систем силового електрообладнання і електроосвітлення, розробка фірми «Російська промислова компанія»;

- БАЗИС (САПР) — комплексна автоматизація проектування технологічної підготовки виробництва і реалізації корпусних меблів;

- ИДЕАЛ-А — безкоштовна програмна оболонка для AutoCAD, призначена для швидкого тривимірного моделювання деталей і автоматизації отримання креслень. Розробник - компанія «Інженерне Дело»;

- КОМПАС — поширена САПР компанії АСКОН у варіантах для двомірного і тривимірного проектування;
- СПЛИТ — Система проектування лінійного транспорту, програмний комплекс, розроблений компанією «НЕОЛАНТ» і призначений для автоматизації процесу проектування при новому будівництві, реконструкції та капітальному ремонті лінійної частини надземних / підземних, магістральних / промислових нафто- і газопроводів, ліній електропередач;
- САПР «Сударушка» — CAD/CAM/CAE система. Є розвитком системи Гемос (геометричне моделювання обводів літака), розробленої фахівцями російської авіапромисловості в ОКБ ім. А. С. Яковлєва в 1989-1994 р.;
- САПР-ЧПУ — САПР для проектування керуючих програм для верстатів з ЧПУ компанії «Євразія Лімітед»;
- СПДС GraphiCS — додаток до AutoCAD, Autodesk Architectural Desktop, AutoCAD Architecture, призначене для розробки проектно-технічної документації в строгій відповідності з вимогами СПДС. Виробництво компанії CSoft Development;
- САПР НТ "NORMA" — система автоматизованого проектування норм праці (БАТ «КНІАТ»). Розрахунок режимів різання і норм часу для механообробного виробництва (включаючи верстати з ЧПУ і їх багатOVERстатне обслуговування). Розрахунок норм часу зварювального, гальванічного виробництв. Розрахунок норм часу виготовлення спеціальних пристосувань, штампів холодної та гарячої штамповки, ріжучого і вимірювального інструменту;
- Середовище моделювання МАРС - вітчизняна система автоматизованого моделювання фізично неоднорідних технічних пристроїв і систем МАРС (Моделювання та автоматичний розрахунок систем), заснована на універсальному методі компонентних ланцюгів. Дозволяє моделювати процеси, що протікають в кінематичних, механічних, електричних, електронних, електромеханічних, електроенергетичних, фізико-хімічних системах і пристроях [6];

- СПРУТ — інтегроване метаінструментальне мовне середовище «СПРУТ» (Система Проектування Універсальних Технологій). Середовище для створення наскрізних САПР за принципом RAD-технології (RAPID APPLICATION DEVELOPMENT TOOLS):

- СПРУТ-ОКП — MES система оперативно-календарного планування, диспетчеризації та контролю виробничого процесу на підприємстві;

- СПРУТ-ТП — САПР система проектування і нормування технологічних процесів для будь-яких типів виробництв;

- Інформаційно-довідкові системи;

- ІСС "НАВИГАТОР" - інформаційно-довідкова система для Ленінградської АЕС

- Проектна система "Профіль" - проектує зовнішні мережі і будує профілі в AutoCAD;

- NormaCS — інформаційно-довідкова система, містить нормативно-технічну документацію, що діє на території РФ. Розробник - ЗАТ "Нанософт" ;

- Техексперт - інформаційно-довідкова система, містить нормативну-технічну документацію, що діє на території РФ;

- TDMS — система, призначена для управління інформаційними потоками і електронною документацією проектних, конструкторських, виробничих організацій і будь-яких інших підприємств, в роботі яких використовуються технічні дані і створювані на їх основі документи: креслення, плани, схеми, специфікації, відомості і т. п. Виробництво компанії CSoft Development;

- ADEM i-Ris — інформаційно-довідкова система, містить нормативну-технічну документацію для конструкторсько-технологічної підготовки машинобудівних та металообробних виробництв.

САПР іноземних розробників

Безкоштовні САПР іноземних розробників з відкритим вихідним кодом

- BRL-CAD — відкрита 3D система проектування;
- freeCAD від Aik-Siong Koh (A-S. Koh);
- FreeCAD від Юргена Райгеля (Jürgen Riegel) — відкрита 3D система

проектування;

- QCad — відкрита 2D система проектування;
- SALOME — відкрита модульна система 3D проектування;
- Electric — проектування інтегральних схем і електропроводки;
- gEDA — вільна система автоматизованого проектування електроніки;
- KiCad — комплекс для проектування електронних схем та друкованих

плат;

- Wings 3D — відкрита програма 3D-моделювання;
- Безкоштовні пропрієтарні САПР
- Medusa4 — система автоматичного проектування, безкоштовна ліцензі

для приватного користування;

- DraftSight — безкоштовна САПР для Windows, Mac і Linux від Dassault

Systèmes.

Платні САПР іноземних розробників

- 3design CAD — САПР для ювелірного і графічного дизайну;
- Інтермех;
- Cadmech — універсальна САПР в області машинобудування і

приладобудування, що розширює функціональні можливості AutoCAD, Inventor, NX, Solid Edge, Pro/ENGINEER, SolidWorks;

- CADElectro — САПР для проектування електрообладнання;
- НПП «Технікон»;

• CADElectro Energy — нова версія САПР на власній графічній платформі, з інтеграцією з ERP, великою базою УДО, автоматизацією типових задач проектування та оформлення конструкторської документації, а також контролем помилок;

- Інтех- Покрій САПР ТП — САПР для автоматизації технології розкрою листового металу;
- Експерт-СКС - САПР для автоматизації на всіх етапах проектування структурованих кабельних систем, ВОЛЗ, ЛВС, лінійних і магістральних мереж;
- Aldec Active-HDL і Riviera — продукти для введення, моделювання та верифікації проектів на мовах VHDL, Verilog, SystemVerilog, SystemC;
- Altium Designer — комплексний пакет розробки електронних систем;
- P-CAD — САПР для проектування електронних пристроїв;
- Allplan — САПР комплексного проектування, проектування всіх розділів в одній системі;
- ANSOFT — САПР електроніки, електромеханіки, систем живлення, управління, зв'язку та радіолокації;
- ArchiCAD — САПР для архітектури компанії Graphisoft; Autodesk:
 - AutoCAD — найпоширеніша САПР;
 - Autodesk Inventor — система тривимірного твердотільного проектування для розробки складних машинобудівних виробів;
 - Autodesk Revit — система тривимірного архітектурного і будівельного проектування;
- Aveva:
 - AVEVA Plant — інтегровані рішення для промислових об'єктів, що включає 3D САПР на основі PDMS;
 - AVEVA Marine — інтегровані рішення для суднобудування, що включає 3D САПР;
- Bocad-3D — модульний програмний комплекс для розробки креслень, вузлів і схем металевих і дерев'яних конструкцій в тривимірному просторі. Основним завданням Bocad-3D є деталізація креслень і специфікацій на стадіях КМ і КМД;

- BtoCAD — базова САПР на основі IntelliCAD з форматом DWG і інтерфейсом AutoCAD;

- Cadence;

- Allegro (САПР) — важка САПР для проектування електронних пристроїв;

- OrCAD — САПР для проектування електронних пристроїв;

- Specctra — трасувальник друкованих плат;

- Dassault Systèmes;

- CATIA — САПР для аерокосмічної промисловості;

- SolidWorks— універсальна САПР для машинобудування;

- Dietrichs — німецька САПР / САМ для дерев'яних будівель;

- E3.series — САПР для проектування електричних, гідравлічних і пневматичних схем, схем друкованих плат, креслень джгутів, компоновки шаф.

САПР є рішенням в областях: Електротехніки, АСУТП, Енергетики, Транспортного машинобудування (літаки, вертольоти, кораблі, автомобілі), Військово-космічного комплексу (ракети, штучні супутники Землі);

- Electric — проектування інтегральних схем і електропроводки;

- EPLAN — САПР для Електротехніки та АСУТП;

- Foran — спеціалізована суднобудівна система автоматизованого проектування, розроблена фірмою SENER для проектування і будівництва комерційних і військово-морських суден;

- GstarCAD — САПР на основі IntelliCAD, максимально наближена до колишнього інтерфейсу AutoCAD;

- IntelliCAD — DWG-сумісна платформа для САПР. Розробляється міжнародним консорціумом IntelliCAD Technology Consortium. Служить платформою для багатьох САПР, таких як BricsCAD, BtoCAD, CADian, InfracadCAD, GstarCAD, ProgeCAD, Zwcad та інших;

- IronCAD;

- Ironcad — Професійна система тривимірного твердотілого моделювання та конструювання, а також повнофункціональний 2D CAD. Виділяється серед конкурентів рядом унікальних інструментів. Має вбудований рендер;

- Inovate — Система для тривимірного моделювання та візуалізації. На відміну від IronCAD немає функцій створення креслень і роботи з листовим металом;

- Ironcad Draft — Інструмент для двомірного проектування, зі звичним графічним інтерфейсом користувача і унікальними інтегрованими можливостями роботи з 3D даними;

- Magics — САПР для швидкого прототипування;

- MicroStation — універсальна САПР компанії Bentley Systems (офф. сайт), спочатку створена за технологіями Intergraph Corporation. Основа численних програмних рішень для: ГІС, геодезії, картографії, земельного кадастру, інженерних мереж, проектування електроніки, архітектури, будівництва мостів, автодоріг, будівель і споруд, проектування промислових підприємств і заводів, машинобудування, дизайну інтер'єрів і ін. Основні формати: DGN і DWG. Є безкоштовні версії;

- Morgan MD CAD — інноваційна САПР для конструювання одягу, що включає повний спектр програмних продуктів та інструментів для відцифровки лекал, створення ескізів і проектування моделей, градації лекал, автоматичної розкладки та ін., 3D-моделювання;

- Parametric Technologies Corp. (PTC);

- Pro/Engineer — універсальна САПР для промислових компаній;

- MathCAD — інтегрована система вирішення математичних, інженерно-технічних і наукових завдань;

- CADD5 — потужний машинобудівний пакет САПР;

- PowerShape — САПР англійської компанії Delcam;

- Proteus — САПР проектування електронних пристроїв і друкованих плат;
- Rhinoceros 3D — універсальний САПР для промислового дизайну;
- NX — CAD система для різних галузей промисловості, одна з небагатьох в повній мірі підтримує «пряме» не параметричне моделювання;
- Solid Edge — 2D/3D CAD-система, розроблена Intergraph Corporation в рамках проекту Jupiter, привнесли в ПО новий рівень інтерактивності (інтелектуальний курсор, пряма робота з різними форматами без імпорту / експорту та ін.). Є безкоштовні версії;
- SmartSketch — 2D CAD-система з інноваційним інтерфейсом, розроблена корпорацією Intergraph в рамках проекту Jupiter, привнесли в ПО новий рівень інтерактивності (інтелектуальний курсор, пряма робота з різними форматами без імпорту / експорту та ін.). Деякий час поставлялася Microsoft в пакеті додаткового ПЗ Plus для Windows. «Молодший брат» системи Solid Edge. Основне призначення - швидкі начерки креслень, створення діаграм, схем, офісні оформлювальні роботи. Містить велику кількість готових компонентів графіки для самих різних областей;
- Tribon — спеціалізована САПР застосовувана в суднобудуванні, розроблена в Швеції;
- TurboCAD — універсальна САПР для архітекторів і конструкторів;
- ZWCAD — одна з САПР на основі IntelliCAD;
- Mastercam - потужна система для токарних і фрезерних 3D робіт;
- Medusa4 — система автоматичного проектування, безкоштовна ліцензія для приватного користування, комерційна ліцензія, ліцензія за комерційне використання - «Платіж за одиничне комерційне використання»;
- JULIVI — Система конструювання та моделювання одягу;
- Tebis - універсальна комплексна САПР для моделювання, обробки і вимірювань.

1.4.2. Порівняння різних систем автоматизованого проектування

Оцінка загальних властивостей різних САПР

Всі нові продукти володіють наступними загальними властивостями. *По-перше*, вони розроблялися з максимальним використанням сучасних операційних систем (Windows, Mac, Linux), що робить їх інтерфейси схожими з іншими програмними продуктами даних операційних систем. Фактично це робиться для автоматизації конструкторської праці, тому користувачі відчують себе комфортно в знайомому середовищі і швидко освоюють новий програмний продукт. Крім того, нові САПР підтримують функції впровадження та зв'язування об'єктів (Object Linking and Embedding - OLE), характерні для офісних пакетів Microsoft. Таким чином, будь-яке зображення тривимірної деталі або пристрою, створене з використанням САПР. Може використовуватися іншими програмами [6].

По-друге, в нових системах використовується компонентний підхід, згідно з яким найважливіші компоненти програмного забезпечення вибираються з доступних програм, після чого розробник системи просто об'єднує перевірені технології, зосереджуючи свою увагу на деталях, що відносяться безпосередньо до проектування. Такий підхід дозволяє скоротити час на розробку, причому користувачеві будуть надані саме ті можливості, які знадобляться йому в процесі проектування конкретного продукту [4].

По-третє нові системи засновані на об'єктно-орієнтованій технології, три аспекти якої потрібно розглянути особливо. З точки зору програмування об'єктно-орієнтована технологія означає написання модульних програм таким чином, щоб забезпечити незалежне повторне використання модулів. Типовим об'єктно-орієнтованою мовою програмування є C++. Кожна функція може бути написана на цій мові таким чином, що вона буде діяти як незалежна ціле. Об'єктно-орієнтована технологія визначає також інтерфейс між системою і користувачем. У звичайних системах CAD дані про деталі зазвичай зберігаються в кількох файлах: один файл використовується для геометричної форми, інший - для сітки кінцевих елементів, третій - для траєкторії рухів фрези

верстата з ЧПУ, і т.б. В об'єктно-орієнтованих системах всі дані, що відносяться до однієї деталі, зберігаються в одному файлі. При збереженні однакових даних у різних файлах відбувається надлишкове дублювання, а в об'єктно-орієнтованих системах цього вдається уникнути, що призводить до значної економії пам'яті[7].

По-четверте, системи підтримують або параметричне, або варіаційне моделювання. Обидва підходи дозволяють визначати форму, задаючи обмеження, а не характеристики окремих елементів цієї форми.

Таблиця 1.2. Порівняння САПР

Характеристика	CADKEY 97	Euclid Quantum 1.0	Helix Design System V4	I_DEAS Artisan Series 1.0
Ціна	\$1195	\$9995	\$5695	\$4995
Мінімальний обсяг ОЗУ, МБ	16	96	32	64
Розмір після встановлення, МБ	50	2000	150	500
Розмір файлу підкачки, МБ	20	400	120	185
Геометричне ядро	ACIS 2.1	CAS, CADE	DesignBase	Власний
Технологія моделювання	Гібридне моделювання довільних форм	Варіаційне, параметричне, об'єктно-орієнтоване	Варіаційне, параметричне, об'єктно-орієнтоване	Варіаційне, параметричне, об'єктно-орієнтоване
Використання історії	Ні	Часткове	Так	Так
Параметричне моделювання	Ні	Так	Розмірні та геометричні параметри	Так
Двосторонній зв'язок з інтегрованими програмами	Так	Так – з додатками Quantum	Можливість автоматичної розмітки	Так, з інтегрованими додатками
Підтримка конверторів	IGES, DXF, DWG, STL VRML, SAT	IGES, STEP, DXF, VDA	IGES, STL, DXF, DWG, VRML, STEP	DXF, IGES, SET, VDA, STL

Додаткові конвертори	.SAT-конвертори	Користувацькі	Користувацькі	Ні
Підтримка Інтернету	VRML	HTML, VRML	VRML	Ні
Графічний інтерфейс	Windows	Motif, Windows	Власний	Власний
Підтримка OLE 2.0	Тільки контейнер	Так	Так	Ні

Таблиця 1.2. (продовження)

Характеристика	Mechanical Desktop	MicroStation Modeler	Advanced Designer Package	SolidDesigner
Ціна	\$6250	\$5325	\$26000	\$6500
Мінімальний обсяг ОЗУ, МБ	32	32	64	96
Розмір після встановлення, МБ	62	200	400	200
Розмір файлу підкачки, МБ	64	48	128	96
Геометричне ядро	ACIS 1.6	ACIS 2.1	Власне	Розширене ACIS
Технологія моделювання	Явна, булева, варіаційна, ОО	Явна, булева, параметрична, ОО	Параметрична, ОО	Об'єктно-орієнтоване
Використання історії	Так	Так	Так	Так
Параметричне моделювання	Так	Так	Так	Так
Двосторонній зв'язок з інтегрованими програмами	Так	Так	Так	Ні
Підтримка конверторів	IGES, DXF, DWG, ACIS	IGES, STEP, DWG, ACIS SAT, CADKEY, Versacad	IGES, STL, DXF, DWG, VRML, STEP, TIFF, JPEG, CGM	IGES, SAT, STL
Додаткові конвертори	Сторонні	З використанням ACIS SAT	Catia, CADAM, STEP, IDF	STEP

Підтримка Інтернету	Так	ModelServer Publisher	HTML	HTML
Графічний інтерфейс	Windows	Motif, Windows	Власний	Motif
Підтримка OLE 2.0	Так	Так	Так	Так

Таблиця 1.2. (завершення)

Характеристика	SolidWorks	UniGraphics	Solid Edge
Ціна	\$3995	\$17000	\$5995
Мінімальний обсяг ОЗУ, МБ	48	64	32
Розмір після встановлення, МБ	25	150	75-100
Розмір файлу підкачки, МБ	64	135	150
Геометричне ядро	Parasolid	Parasolid	ACIS 2.0
Технологія моделювання	Параметричне, ОО	Явне, булеве, параметричне, варіаційне, ОО	Параметричне, ОО
Використання історії	Так	Так	Так
Параметричне моделювання	Так	Так	Ні
Двосторонній зв'язок з інтегрованими програмами	Так	Так	Так
Підтримка конверторів	IGES, DXF, DWG, SAT, STL, Parasolid Binary	IGES, STEP, DXF, ACIS SAT, VRML, Parasolid	IGES, STL, DXF, DWG, VRML, STEP, DGN
Додаткові конвертори	Стороннє	CATIA	Стороннє
Підтримка Інтернету	HTML, VRML	VRML	CGM
Графічний інтерфейс	Windows	Motif, ANSI	Windows
Підтримка OLE 2.0	Так	Так	Так

Єдина відмінність в тому, що в одному випадку обмеження враховуються одночасно, а в іншому - послідовно. Прикладом безпосередньої роботи з

елементами форми є визначення прямокутника як двох наборів паралельних відрізків, що знаходяться на конкретному відстані один від одного. Однак той же прямокутник може бути визначений за допомогою обмежень, наприклад завданням умови перпендикулярності суміжних відрізків і відстані між паралельними відрізками. Багато системи, що підтримують можливість параметричного або варіаційного моделювання, сприймають очевидні обмеження, такі як перпендикулярність і паралельність, безпосередньо з початкового ескізу користувача, дозволяючи зменшити обсяг даних, що вводяться. У цьому випадку від користувача потрібно тільки ввести розміри, після чого він зможе змінювати форму, варіюючи ці параметри. Така функція системи називається моделюванням за розмірами [6].

Нарешті, в системи вбудовується підтримка спільного проектування через Інтернет. Ця підтримка дозволяє віддаленим користувачам працювати над однією і тією ж деталлю, маючи перед очима її модель на своїх екранах. Розробники також можуть перевіряти проект в цілому, порівнювання свої деталі з деталями інших розробників. Для того щоб скористатися цією можливістю, потрібно як мінімум описати деталь у форматі VRML[5].

Оцінка вимог, що пред'являються САПР до ЕОМ

Для аналізу вимог виберемо 6 найпопулярніших CAD систем на ринку: AutoCAD;

- ArchiCAD;
- КОМПАС;
- SolidWorks;
- T-FLEX CAD;
- Nano CAD;

AutoCAD (сайт виробника - www.autodesk.ru) - двох- і тривимірна система автоматизованого проектування і креслення, розроблена компанією «Autodesk» (США) [5].

Функціональні можливості: використання елементарних графічних примітивів в області двовимірного проектування для отримання складних

об'єктів; надання широких можливостей роботи з шарами і анотативними об'єктами; використання механізму зовнішніх посилань дозволяє розбивати креслення на складові файли, а також використання динамічних блоків розширюють можливості автоматизації 2D-проектування звичайним користувачем без використання програмування; підтримка двовимірного параметричного креслення; можливість динамічного зв'язку креслення з реальними картографічними даними; управління тривимірної печаткою та підтримка хмар точок і багато іншого [7].

Останньою на даний момент версією є AutoCAD 2014, яка вийшла в 2013-му році. Для ефективної роботи з програмою AutoCAD 2014 необхідно враховувати вимоги, представлені у таблиці:

Таблиця 1.3. Системні вимоги для AutoCAD 2014

Операційна система	Microsoft Windows 8 (64-біт и 32- біт), Microsoft Windows 7 (64-біт і 32- біт), Microsoft Windows XP (64- біт і 32- біт)
Процесор	Для 32-разрядной версії необхідно: • для <i>Windows 7</i>: процесор Intel Pentium 4 або двоядерний процесор AMD Athlon з тактовою частотою 3 ГГц або вище, з підтримкою SSE2; • для <i>Windows XP</i>: процесор Pentium 4 або двоядерний процесор AMD Athlon з тактовою частотою 1,6 ГГц або вище, з підтримкою SSE2. Для 64-розрядної версії потрібно процесор AMD Athlon 64, AMD Opteron, Intel Xeon з підтримкою Intel EM64T або Intel Pentium 4 з підтримкою Intel EM64T (усі - з підтримкою SSE2).
Пам'ять	Потрібно 2 ГБ оперативної пам'яті (рекомендується 4 ГБ).
Простір на жорсткому диску	6 ГБ для повного встановлення.
Монітор	Мінімальне розширення не менше 1024 x 768 і підтримка режиму true color (рекомендовано 1600 x 1050 і вище).

ArchiCAD (сайт виробника - www.archicad.ru) — програмне забезпечення для архітектурно-будівельного проектування розробленого компанією «Graphisoft» (США).

Функціональні можливості: розробка повного набору документації по проекту в одному файлі; використання концепції віртуального будівлі; можливість вилучення різноманітної інформації про спроектованому об'єкті: поверхові плани, фасади, розрізи, експлікації, специфікації, презентаційні матеріали; підтримка взаємодії з різними інженерними програмами через формат IFC, унікальні інструменти для організації спільної роботи в рамках однієї проектної групи (вони дуже ефективні при роботі з масштабними проектами, коли, працюючи з великим комплексом завдань, проектантів істотно обмежує необхідність узгоджувати роботу, як архітекторів, так та інженерів) і багато іншого [8].

Останньою на даний момент версією є ArchiCAD 17, яка вийшла в 2013-му році. Для ефективної роботи з програмою ArchiCAD 17 необхідно враховувати вимоги, представлені в таблиці.

Таблиця 1.4. Системні вимоги для ArchiCAD 17

Операційна система	Windows 8 (64- біт) Windows 7 (64- біт) Windows Vista (64- біт)	Macintosh® OS X 10.8 Mountain Lion Macintosh® OS X 10.7 Lion Macintosh® OS X 10.6 Snow Leopard
Процесор	Потрібно 64-розрядний процесор Intel Core2 Duo або вище.	
Пам'ять	Потрібно 4 ГБ оперативної пам'яті. Рекомендується використовувати 8 ГБ і більше для складних моделей.	
Простір на жорсткому диску	Для повної установки програми потрібно мінімум 5 Гб. Додатково для роботи зі складними моделями і тривимірної візуалізації потрібно близько 10 Гб.	
Монітор	Мінімальне розширення: 1024x768. Рекомендоване розширення: 1280x1024 або вище.	
Відеокарта	Підтримка режиму OpenGL 2.0 з об'ємом відеопам'яті не менше 256 МБ. Рекомендується використання відеокарт з об'ємом відеопам'яті 512 МБ і більше	

SolidWorks (сайт виробника - www.solidworks.ru) — система автоматизованого проектування, інженерного аналізу та підготовки

виробництва виробів будь-якої складності і призначення, продукт розроблений компанією «SolidWorks Corporation» (США).

Функціональні можливості: використання гібридного параметричного моделювання; створення мультиплікації (анімації) на основі 3D моделей; оформлення креслень по ЕСКД; проектування зборок різної складності; наявність експертних систем; проектування виробів з урахуванням специфіки виготовлення; робота з імпортованою геометрією; редагування на основі параметрів та історії побудови моделі; "пряме" редагування та багато іншого[3].

Останньою на даний момент версією є SolidWorks 2014, яка вийшла в 2013-му році. Для ефективної роботи з програмою SolidWorks 2014 необхідно враховувати вимоги, представлені у таблиці.

Таблиця 1.5. Системні вимоги для SolidWorks 2014

Операційна система	Windows Vista, 7, 8 (Windows 8 тільки 64-розрядна).
Процесор	Intel і AMD процесори з підтримкою технології SSE2 (рекомендуються ОС 64bit).
Пам'ять	Потрібно мінімум 2Гб RAM або більше.
Простір на жорсткому диску	Для повної установки програми потрібно 5 Гб або більше.
Монітор	Мінімальне розширення: 1024x768. Рекомендоване розширення: 1280x1024 або вище.
Відеокарта	Рекомендуються сертифіковані графічні карти для робочих станцій з підтримкою OpenGL і протестовані драйвери до них.

КОМПАС (сайт виробника - www.kompas.ru) — система автоматизованого проектування, розроблена російською компанією «АСКОН» (Росія).

Функціональні можливості: автоматична генерація асоціативних видів тривимірних моделей (асоціація з моделлю: зміни в моделі призводять до зміни зображення на кресленні); синхронізація даних в основному написі креслення з даними з тривимірною моделі; можливість зв'язку тривимірних моделей і креслень зі специфікаціями, тобто при «належному» проектуванні специфікація може бути отримана автоматично; зміни в кресленні або моделі можуть

передаватися в специфікацію, і навпаки; наявність великої кількості додаткових бібліотек до програм сімейства, що автоматизують різні спеціалізовані завдання і багато іншого [6].

Останньою на даний момент версією є КОМПАС 3D V14, яка вийшла в 2013-му році. Для ефективної роботи з програмою КОМПАС 3D V14 необхідно враховувати вимоги, представлені у таблиці.

Таблиця 1.6. Системні вимоги для КОМПАС 3D V14

Операційна система	Windows 8, 7 SP1 і вище, Vista SP2 і вище, XP SP3 (32-розрядна).
Процесор	Pentium III з тактовою частотою 800 МГц.
Пам'ять	Потрібно 512 Мб оперативної пам'яті.
Простір на жорсткому диску	Потрібно мінімум 3 Гб.
Монітор	Мінімальне розширення: 1024x768. Рекомендоване розширення: 1280x1024 або вище.

Система T-FLEX CAD (сайт виробника - www.tfex.ru) - професійна конструкторська програма, розроблена компанією «Топ системи» (Росія).

Функціональні можливості: використання широких засобів для автоматизації проектування, спеціальних інструментів для роботи з великими збірками, єдиної документної структури; можливість вести колективну розробку; оформлення і управління непараметричних і складальними кресленнями; наявність системи підготовки специфікацій і багато іншого [70].

Останньою на даний момент версією є T-FLEX CAD 12, яка вийшла в 2012-му році. Для ефективної роботи з програмою T-FLEX CAD 12 необхідно враховувати вимоги, представлені у таблиці [8].

Таблиця 1.7. Системні вимоги для T-FLEX CAD 12

Операційна система	Windows XP, Windows 7 (64-біт), Windows 8 (64- біт)
--------------------	---

Процесор	Core i7 або аналог
Пам'ять	Мінімум 2 Гб. Рекомендований обсяг 8 Гб і більше.
Простір на жорсткому диску	Для повної установки програми потрібно 5 Гб або більше.
Монітор	Мінімальне розширення: 1024x768. Рекомендоване розширення: 1280x1024 або вище.
Операційна система	NVIDIA або AMD з пам'яттю 1Гб і вище і підтримкою OpenGL 2.0 і вище

nanoCAD (сайт виробника - www.nanocad.ru) – перша вільно розповсюджується базова САПР-платформа для різних галузей, розроблена компанією «Нанософт» (Росія).

Функціональні можливості: пряма підтримка DWG (креслення, розроблені в *nanoCAD*, можна відкрити в середовищі AutoCAD без додаткових перетворень, і навпаки, креслення, розроблені в середовищі AutoCAD, відкриваються в середовищі *nanoCAD*); включені інструменти, які дозволяють працювати з растровими підкладками (редагувати не тільки загальні параметри растра, а й усувати перекоси, вирівнювати зображення, прати частину зображення ластиком, або навпаки допрацьовувати зображення за допомогою інструменту Олівець); володіє унікальною можливістю прив'язуватися до даних на монохромному растровому зображенні і багато іншого [7].

Останньою на даний момент версією є *nanoCAD free 5.1*, яка вийшла в 2013-му році. Для ефективної роботи з програмою *nanoCAD free 5.1* необхідно враховувати вимоги, представлені у таблиці 1.8.

Таблиця 1.8. Системні вимоги для *nanoCAD free 5.1*

Операційна система	Microsoft® Windows8; Microsoft® Windows 7; Microsoft Windows Vista; Microsoft Windows XP.
Процесор	Intel Pentium 4 або аналогічний AMD Athlon або вище.

Пам'ять	Від 512 Мб, рекомендовано 2 Гб і більше при роботі з великими проектами
Простір на жорсткому диску	Для повної установки програми необхідно близько 400 Мб. Додатково для роботи необхідно 1-3 Гб.
Монітор	Мінімальне розширення: 1024x768. Рекомендоване розширення: 1280x1024 або вище.
Операційна система	Відеоадаптер з OpenGL-сумісної апаратної 3D акселерації

Таким чином, порівняльний аналіз систем проектування за основними характеристиками представлений в таблиці 1.9.

Таблиця 1.9. Порівняльна характеристика САПР

САПР в	Порівняльні характеристики				
	Фірма виробник	Розповсюдження	Простота інтерфейсу	Мова інтерфейсу	Остання версія (рік виходу)
AutoCAD	Autodesk	Ціна: 1680\$. Наявність безкоштовної версії для навчання	+	Англійська Російська	AutoCAD 2014 (2013 г.)
КОМПАС	Аскон	Ціна: 2200\$.	+	Тільки російська	КОМПАС 3D V14 (2013 г.)
SolidWorks	SolidWorks Corporation	Ціна: 4649 \$. Наявність безкоштовної версії для навчання	-	Багатомовний	SolidWorks 2014 (2013 г.)
ArchiCAD	Graphisoft	Ціна: 1000 \$.	+	Англійська Російська	ArchiCAD 17 (2013 г.)

T-FLEX CAD	Топ Системы	Ціна: 1900\$.	+	Тільки російська	T-FLEX CAD 12 (2012 г.)
nanoCAD	Нанософт	Безкоштовно	-	Тільки російська	nanoCAD free 5.1 (2013 г.)

1.4.3. Представлення даних в системах автоматизованого проектування

Дані в процесі проектування відіграють важливу роль. Проектувальник, створюючи проект, формує пов'язані набори різних даних, створюючи тим самим цілісний опис об'єкта проектування. В даний час в різних галузях проектування широке застосування отримали САПР, що полегшують і автоматизують працю проектувальника.

САПР використовуються для вирішення завдання проектування об'єктів зі структурованим представленням даних. Проектування об'єктів зі структурованим представленням даних є процесом формування пов'язаного опису об'єкта з набору стандартних і унікальних елементів. Застосування елементів накладає на процес проектування певні умови, пов'язані з визначенням зв'язків між використовуваними при проектуванні компонентами [7].

Очевидно, що процес проектування будь-якого об'єкта не зводиться до обробки виключно структурованих даних. Створення зв'язкового опису об'єкта на основі первісного загального і досить невизначеного завдання на проектування і є, власне, процесом проектування. При цьому ступінь структурованості даних зростає в ході реалізації проекту. Застосування САПР стає можливим при певній мірі структурованості проектних даних [3].

Можливі наступні критерії, відповідно до яких задача проектування може бути віднесена до класу задач з структурованим представленням даних:

- проектування об'єкту проводиться в основному зі стандартних деталей і складових;
- застосування нестандартних деталей зведено до мінімуму,

- нестандартні деталі і складові проектуються сторонніми організаціями чи групами проектувальників не пов'язаних з проектуванням основного об'єкта;
- нестандартні деталі, використовувані при проектуванні, приймаються як єдині неподільні компоненти з певними і не змінюються в ході проектування робочими параметрами.

САПР рясно застосовується на п'яти основних етапах проектування, а саме: отримання проектного завдання, безпосереднє проектування об'єкта, підготовка технічної документації, контроль монтажу та введення в експлуатацію і безпосередньо експлуатація об'єкта. В даному випадку етапи проектування становлять інтерес з точки зору використання та обробки даних на кожному етапі проектування [4].

Розглянемо як приклад завдань з структурованим представленням даних завдання проектування будь-якого промислового об'єкта. Процес проектування об'єкта зазвичай розбивається на етапи, на яких проводиться обробка різних видів даних:

1. Проектне завдання:
 - 1.1. Графічна інформація: креслення, схеми;
 - 1.2. таблиці даних;
 - 1.3. Текстовий опис завдання.
2. Проектування об'єкта:
 - 2.1. Проектування креслень і геометричне моделювання;
 - 2.2. Проведення інженерних розрахунків;
 - 2.3. Технологічна підготовка виробництва;
 - 2.4. Рішення задач оптимізації;
 - 2.5. Побудова імітаційного стенду для перевірки параметрів об'єкта.
3. Підготовка технічної документації:
 - 3.1. Проектні креслення і схеми;
 - 3.2. Таблиці результатів проектування та специфікації;
 - 3.3. Пояснювальна записка до проекту.

На першому етапі проектування виробляється формування технічного завдання. При формуванні технічного завдання проводиться збір первинної інформації про об'єкт для проектування. На цьому етапі проводиться первинне структурування даних по відповідним типам. Креслення та схеми проектованого об'єкта являють собою графічну інформацію, тобто ту інформацію, яка обробляється за допомогою засобів обробки графіки [9].

Списки устаткування що при проектуванні об'єкта являють собою табличну інформацію, тобто інформацію, оброблювану різними засобами управління баз даних (СУБД). Отже, формуються таблиці встановленого обладнання з необхідними даними для проектування об'єкта проектування. В якості допоміжних даних для проектування додаються значення деяких параметрів, використовуваних проектувальниками надалі при виконанні необхідних математичних обчислень. Ці дані відносяться до текстового типу і обробляються відповідно засобами обробки текстової інформації (текстовими процесорами) [6].

Другим етапом проектування об'єкта є безпосереднє проектування схеми з'єднання компонентів, складання схеми електропостачання, вибір комутаційної і захисної апаратури, а також системи охолодження. На даному етапі проектування проводиться безпосереднє рішення задачі проектування. Розглянемо відповідність даного завдання критеріям визначення класу задач з структурованим подання даних.

Першим критерієм відбору завдань проектування відповідають ситуації проектування, коли використовуються тільки стандартні типи конструктивних елементів, захисна апаратура та трансформатори вибираються тільки зі стандартних апаратів, вироблених на різних підприємствах. Проектування і виробництво спеціальної електричної апаратури електромонтажною проектною організацією не виконуються. Згідно з другим критерієм відбору проектні організації використовують нестандартні компоненти рідко і лише в крайніх випадках. Відповідно до третього критерієм відбору електромонтажні проектні організації замовляють нестандартні компоненти світильників у сторонніх

спеціалізованих організаціях або створюють власними силами, але процес проектування таких компонентів не включається в процес проектування об'єкта, а виконується окремо. Відповідно до четвертим критерієм відбору готові нестандартні компоненти включаються в проект нарівні зі стандартним обладнанням. З наведеного вище відповідності всім критеріям випливає висновок, що завдання проектування об'єкта з певного рівня опрацювання відноситься до класу задач з структурованим представленням даних [6].

Третім етапом проектування є підготовка технічної документації проекту. На цьому етапі проводиться формування звітів про результати проектування в електронному або паперовому вигляді. На кожному етапі проектування об'єкта обробляються креслення схем електропостачання, креслення друкованої плати, таблиці вихідних значень, довідкові таблиці, текстові описи проекту та набори математичних виразів і формул, що використовуються при виконанні розрахунків в процесі проектування [4].

При використанні САПР в процесі проектування проектна документація інтерпретується у вигляді чотирьох аспектів представлення даних:

- Графічний - графічне зображення елементів системи, що використовується для формування графічної документації;
- Табличний - таблиці і специфікації елементів системи;
- Текстовий - текстовий опис елементів системи і пояснювальні записки до проекту;
- Математичний - набір формул і виразів, що використовуються для вибору і визначення елементів системи.

Графічно аспект представлення даних виражається у формуванні креслень і схем проекту оброблюваних графічними засобами автоматизації проектування.

Табличний аспект представлення даних виражається у формуванні таблиць, специфікацій і зведених відомостей устаткування оброблюваний СУБД.

Текстовий аспект представлення даних виражається у формуванні текстового опису проекту оброблюваний різними текстовими процесорами [5].

Математичний аспект представлення даних виражається у формуванні та застосуванні різних формул і математичних виразів в процесі проектування.

Кожен аспект подання є результатом вирішення частини поставленого завдання, і в сукупності вони являють собою відображення повної картини вирішення завдання проектування [8].

Всі складові компоненти системи визначені, і система є логічно завершеною. Отже, вони мають набір вхідних і вихідних параметрів, а також механізм перетворення вхідних параметрів у вихідні. Процес проектування об'єктів даного типу являє собою зв'язування між собою всіх компонентів системи з певною функціональною залежністю. Звідси випливає: всі компоненти системи пов'язані причинно-наслідковими відносинами, що приводять до вирішення завдання.

Процес проектування являє собою завдання з відомою кінцевою метою. Причому в процесі проектування проектувальник здійснює рух до кінцевої мети проектування послідовно крок за кроком. На кожному етапі проектування проектувальник отримує дані необхідні для виконання конкретного кроку. Можливість побудови "рамкової конструкції", у розумінні її як послідовності подій, в понятті процесу проектування відсутня. Тобто, описавши початкове і кінцеве дію, початкові та кінцеві дані, а також вхідні і вихідні параметри отримати повноцінний процес проектування не можливо. Звідси випливає: всі дії процесу проектування виробляються послідовно від початкового етапу до кінцевого і призводять до кінцевої мети проектування [6].

Виконуючи процес проектування, проектувальник будує логічну послідовну ланцюжок дій. Кожна дія задовольняє першим двом принципам. Але в процесі проектування, якого-небудь об'єкта іноді виникає необхідність внести деякі зміни і доповнення в існуючі рішення. Причому дуже часто зміни кардинально змінюють структуру рішення. У такому випадку проектувальнику необхідно переконатися в тому, що будь-яка модифікація структури рішення не

руйнує причинно-наслідкові зв'язки компонентів проекту і призводить до тієї ж самої кінцевої мети проектування. Тобто не порушується перший і другий принцип повноти вирішення даного класу задач. Звідси випливає: будь-які модифікації структури рішення задачі не повинні порушувати зв'язок всіх компонентів системи [4].

Елемент проекту в процесі проектування має двоїсте опис. Декларативні дані P відображають статичний стан об'єкта, описуючи параметри і характеристики. Процедурні дані T описують можливі дії над об'єктом. Процедурна складова даних об'єкта представляє в САПР та інших засобах автоматизації власне процес створення проектної документації. T реалізується безліччю команд, використовуваних програмних процесорів.

В САПР різних типів використовуються різні формати запису даних. Наприклад, графічні дані в різних САПР записуються як у вигляді векторів (AutoCAD, Компас), так і у вигляді об'єктів (SolidWorks). Ці формати запису відображають декларативну складову проектних даних P . Таблиці, текст, математичні формули по визначенню описують об'єкт і тим самим входять в P .

$$P = P_g * P_{tb} * P_b * P_m, \quad (1.1)$$

де P_g — графічний, P_{tb} — табличний, P_b — текстовий, P_m — математичний аспекти представлення даних.

Кожен з аспектів представлення даних містить в собі сукупність даних усіх типів. Графічний формат подання поряд з векторами містить дані цілочисельного і дійсного типу. У табличному форматі представлення поєднуються всі типи даних, починаючи з цілочисельного і символьного і закінчуючи динамічними показниками на область пам'яті комп'ютера. У текстовому поданні відображаються в основному типи даних, які мають лінгвістичне уявлення, наприклад, цілочисельний або символьний тип. Хоча останнім часом багато текстові процесори мають можливість обробляти і багато інших типів, але про це трохи пізніше [6].

Кожен з аспектів представлення даних містить в собі сукупність даних усіх типів. Графічний формат подання поряд з векторами містить дані цілочисельного і дійсного типу. У табличному форматі представлення поєднуються всі типи даних, починаючи з цілочисельного і символьного і закінчуючи динамічними покажчиками на область пам'яті комп'ютера. У текстовому поданні відображаються в основному типи даних, які мають лінгвістичне уявлення, наприклад, цілочисельний або символьний тип. Хоча останнім часом багато текстові процесори мають можливість обробляти і багато інших типів, але про це трохи пізніше [4].

Оскільки компоненти проекту зв'язуються деякої розрахунково-аналітичної операцією, потрібно її опис на етапі проектування об'єкта. Розрахунково-аналітична операція являє собою відношення між собою вхідних і вихідних даних об'єкта. В основному, в даному класі задач таким ставленням є функції порівняння та математичні формули, що вживаються при проектуванні. Найкращим способом опису розрахунково-аналітичних відносин такого роду є математичний опис [6].

Математичний опис являє собою набір формул, поєднання яких представляє собою механізм скріплення об'єктів проекту через їх вхідні і вихідні дані. Причому вихідні дані об'єкта є результатом розрахунково-аналітичної операції над вхідними даними. При зв'язуванні об'єктів між собою за допомогою розрахунково-аналітичної операції вхідні дані одного об'єкта є вихідними даними іншого.

Математичний опис проекту не має свого власного формату в комп'ютерному поданні. Будь-яке математичне вираз можна записати у текстовому вигляді. Розрахунково-аналітичні операції пов'язують не узагальнене уявлення даних як графічне, табличне, текстове, а подання даних певних типів оброблюваних комп'ютером, такі як, наприклад, цілочисельний тип, дійсний тип, символьний тип і так далі [6].

Вирішуючи завдання безпосереднього фізичного зв'язування об'єктів проекту розрахунково-аналітичними операціями, слід в першу чергу

орієнтуватися не на узагальнене подання даних, а на вхідні в нього типи. Розрахунково - аналітичні операції використовують в основному цифрові типи такі, як речовинний і цілочисельний, і символні типи. Зазначені типи даних використовуються в усіх представлених даних і методи роботи з ними будуть описані трохи нижче.

Багато формати представлення даних використовуються різними програмними засобами різних виробників, і тому ці формати стали свого роду стандартними. Такі як, наприклад, dwg - формат подання графічного зображення системою AutoCAD фірми Autodesk і Компас, db і dbf формати представлення табличних даних системами dBase, Clipper, Paradox, sql формат представлення реляційних баз даних MySQL, MSSQL, doc та rtf формати представлення текстових даних в текстових процесорах Word фірми Microsoft і багато інших.

У проектуванні застосовуються засоби обробки графічних даних різних типів. Формати подання графічних даних також діляться на кілька типів [3]. Перший тип являє собою формати растрового зображення. Растрове зображення складається з набору пікселів (точок) певної величини мають певні характеристики. Кожен піксель в залежності від формату має різну величину, починаючи від розміру точки екрана монітора залежно від його дозволу.

Другий тип являє собою формати векторного зображення. Векторне зображення складається з ліній мають певні параметри. Такими параметрами є граничні координати лінії, вид лінії, а також у деяких форматах використовується і ознака напрямку лінії. Векторний тип призначений в основному для виконання будь-яких графічних побудов і твори певних операцій над об'єктами [4].

Табличне представлення даних за способом використання поділяється на два основних типи: реляційне і не реляційне. Чи не реляційна база даних являє собою одну таблицю, розміщену в одному файлі, і всі зв'язки і посилання між полями таблиці розміщуються в цьому ж файлі. Реляційна база даних являє собою набір декількох таблиць розміщуються кожна у своєму файлі і

пов'язаних між собою різними видами зв'язків (наприклад, один до багатьох, безліч до одного). Причому всі зв'язки в реляційній базі даних записуються в окремі файли, кількість яких регламентується ієрархією бази даних і кількістю файлів таблиць [3].

Ефективність використання того чи іншого типу баз даних визначається індивідуально для кожного завдання. Використання не реляційної бази даних вигідно в тому випадку, коли структура створеної таблиці ніколи не буде змінюватися, і всі дії з базою даних такого типу будуть носити примітивний характер. У такому випадку один компактний файл бази даних краще. Останнім часом, незважаючи на зазначені переваги не реляційної бази даних для ряду завдань, у світі проявилася тенденція до формування баз даних тільки реляційного типу. Дійсно в постійно прискорюється темпі роботи виникає необхідність вирішувати більш складні завдання, чому успішно сприяє архітектура реляційних баз даних.

Процедурне подання даних відображає сутність об'єкта в описі взаємозв'язку декларативного представлення даних компонентів проектного об'єкта. Опис процедурного представлення даних всіх компонентів об'єкта являє собою набір функцій і математичних залежностей, що пов'язують компоненти в єдиний об'єкт. Отже, рішенням задачі проектувальника побудови об'єкта з компонентів є зв'язування процедурного представлення даних з декларативним поданням даних об'єкта [1].

У розглянутих САПР використовуються команди побудови стандартних елементів з безлічі X , причому зазвичай формати запису аналогічних команд в різних САПР збігаються. Записи команд обробки графіки відображають процедурну складову проектних даних T . Команди обробки таблиць, тексту, математичних обчислень також входять в T .

$$T = Tg * Ttb * Tb * Tm, \quad (1.2)$$

де T_g — множина команд графічного процесора, T_{tb} — множина команд табличного процесора, T_b — множина команд текстового процесора, і T_m — множина команд математичного процесора.

Рішенням задачі проектування є побудова пов'язаної системи описів елементів схеми. Оператор K реалізує зв'язок між описами об'єктів з набору стандартних елементів X . Наприклад, стандартним елементам «точка» і «лінія» може відповідати оператор «починається», який реалізує вираз «лінія починається з точки» [1].

В узагальненому вигляді система описів об'єкта проектування виглядає наступним чином:

$$G=(P,T,K), \quad (1.3)$$

декларативних складових P проектних даних з набору X стандартних елементів. Команда програмного процесора, що реалізує побудову лінії відбивається графічним аспектом T_g процедурних складових T проектних даних з набору X стандартних елементів, з яких і формується опис проектованого об'єкта. Побудова лінії щодо інших стандартних елементів креслення регламентується безліччю операторів зв'язку P , що забезпечують взаємодію елементів креслення з набору X стандартних елементів. Аналогічно і для інших аспектів представлення даних.

Отже, в сучасних САПР для завдання даних реалізовані різні способи, адекватні проектної документації, і створені передумови для розвитку методів і засобів динамічної інтеграції даних.