

**МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра вагонів**

**СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО  
ПРОЕКТУВАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ**

*Конспект лекцій*

**Частина 1**

**Харків – 2016**

Меркулов В.С. Системи автоматизованого проектування рухомого складу: Конспект лекцій. – Харків: УкрДУЗТ, 2016 – Ч. 1. – 90 с

Конспект лекцій розроблено у відповідності з програмами з дисципліни «Системи автоматизованого проектування рухомого складу».

Наведено основні принципи побудови САПР, їхню класифікацію, роль САПР у виробничому циклі. Розглянуто методологію автоматизації проектування, методи створення моделей геометричних об'єктів, засоби двовимірного креслення та 3D-моделювання.

Рекомендується для студентів напряму підготовки 6.070105 «Рухомий склад залізниць» усіх форм навчання.

Іл. 28, табл. 1, бібліогр.: 16 назв.

Конспект лекцій розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри вагонів 8 лютого 2016 року, протокол № 7.

Рецензент

проф. В.І. Мойсеєнко

## СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ

Конспект лекцій

Частина 1

Відповідальний за випуск Меркулов В.С.

Редактор Буранова Н.В.

---

Підписано до друку 28.03.16 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 5,5. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,  
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

## ЗМІСТ

	ВСТУП .....	4
РОЗДІЛ 1.	ВВЕДЕННЯ В АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ .....	5
1.1	САПР як основний інструмент автоматизації конструкторських і технологічних робіт .....	5
1.2	Етапи розвитку САПР .....	9
1.3	Взаємодія САПР із іншими автоматизованими системами .....	12
РОЗДІЛ 2.	ПОНЯТТЯ ІНЖЕНЕРНОГО ПРОЕКТУВАННЯ	19
2.1	Проектування й конструювання .....	19
2.2	Системний підхід до проектування .....	20
2.3	Основні етапи проектування .....	24
РОЗДІЛ 3.	ОРГАНІЗАЦІЙНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ САПР .....	29
3.1	Склад і структура САПР .....	29
3.2	Компоненти видів забезпечення САПР .....	41
3.3	Класифікаційні ознаки САПР .....	52
РОЗДІЛ 4.	ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ НАУКОМІСТКИХ ОБ'ЄКТІВ .....	63
4.1	Роль САПР у виробничому циклі .....	63
4.2	Види виробів. Види конструкторських документів .....	69
4.3	Оформлення конструкторської документації .....	71
4.4	Інформація про виріб і процеси життєвого циклу виробу .....	73
4.5	Технологія конструкторського проектування. Послідовне проектування. Концепція паралельного проектування .....	76
4.6	Історія конструювання виробу .....	78
4.7	Повний електронний опис виробу. Системи управління виробничою інформацією .....	81
4.8	Колективне ведення проектів .....	83
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....	89

## ВСТУП

У 1990-ті роки підприємства захопилися автоматизацією бухгалтерського й фінансового обліку, корпоративного управління. Поза полем зору керівників найчастіше залишався виробничий сектор, але ж саме він є основою функціонування підприємства й найважливішим джерелом прибутку.

Діаграма часових і матеріальних витрат промислового підприємства показує, що не менше 70 % витрат припадає на виробничі функції. Саме у сфері виробничої діяльності можуть бути сховані основні резерви, що сприяють скороченню строків випуску нової продукції й підвищенню конкурентоспроможності підприємства.

А що таке виробництво? Звичайно 5-10 % часу, що приділяється для самого процесу, займає безпосередньо випуск виробу, а все інше – підготовчі роботи.

На сучасному ринку усе помітніше стають важливі структурні зміни: підприємства переходять від автоматизації розрізнених ділянок конструкторсько-технологічної підготовки виробництва до створення єдиного інформаційного простору як у рамках заводу, так і в рамках холдингових структур.

Дана тенденція, хоча й з деяким запізненням, починає відповідати загальносвітовій практиці.

Прогрес науки й техніки, потреби суспільства в нових промислових виробах обумовлені необхідністю виконання проектних робіт. Вимоги до якості проектів, до строків їхнього виконання стають усе більше твердими через збільшення складності проєктованих об'єктів. Крім того, темпи морального старіння виробів сьогодні такі, що поставлені на конвеєр нові зразки часто вже не відповідають сучасним вимогам.

Здійснення цих вимог стало можливим на основі широкого застосування інформаційних технологій на всіх етапах виробництва [3]:

- контроль проєктування, де зароджується вихідна модель виробу, технологічного проєктування;
- проєктування організації управління виробництвом з формуванням даних про матеріальні й інформаційні потоки виробництва;
- виготовлення виробів шляхом виконання операцій над матеріальним об'єктом на основі створеної на попередніх етапах інформації;
- оцінки якості виробу на основі порівняння необхідних і реальних характеристик.

# **РОЗДІЛ 1. ВВЕДЕННЯ В АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ**

## **1.1 САПР як основний інструмент автоматизації конструкторських і технологічних робіт**

САПР належать до найбільш ефективних технологій, які на сьогодні є основним інструментом автоматизації конструкторських і технологічних робіт підприємств, що спеціалізуються на виробництві елементів машинобудування і зокрема рухомого складу [5, 8, 10].

Відповідно до Держстандарту система автоматизованого проектування (САПР) — організаційно-технічна система, яка складається з комплексу засобів автоматизації проектування, що взаємодіє з підрозділами проектної організації, і виконує автоматизоване проектування.

Зараз терміном САПР позначають процес проектування з використанням складних засобів машинної графіки, підтримуваних пакетами прикладних програм для вирішення на комп'ютерах аналітичних, кваліфікаційних, економічних і ергономічних проблем, пов'язаних із проектною діяльністю.

Основна мета створення САПР – підвищення ефективності праці інженерів.

Розвиток нових технологій постійно висуває усе більш жорсткі вимоги до сучасного інженера-конструктора. Вже давно залишилися в минулому ті часи, коли всі конструкторські розрахунки, креслення й документація виконувалися вручну, а головними інструментами проектувальника були олівець і кульман. Точність таких креслень і документації залежала від багатьох суб'єктивних факторів, таких як старанність виконання графічного зображення, кваліфікація проектувальника та ін. Найгірше, що такі креслення практично неможливо було редагувати. У результаті проєктований об'єкт міг бути далекий від досконалості.

Зараз інформаційні технології докорінно змінили принципи конструювання, прискоривши при цьому процес розроблення виробу, підвищивши його точність і надійність у десятки разів.

Існує помилкова думка, що графічні й розрахункові системи – це лише цифрова заміна проектування вручну. Хоча з самого початку, звичайно, так і було.

Перші версії західних програм для роботи з інженерною двовимірною графікою були ні чим іншим, як електронним варіантом олівця й кульмана. Однак завдяки високим технологіям сфера конструювання розвивалася, і в результаті з'явилася окрема самостійна галузь – автоматизоване проектування.

*Поступово в графічних редакторах стало можливо повторно використовувати раніше спроектовані вироби, легко й швидко створювати типові елементи, самостійно оформляти креслення й іншу документацію.*

*Слідом за цим з'явився механізм параметризації графічного зображення.*

Переворотом у промисловому проектуванні стало застосування в конструюванні тривимірної графіки. Спочатку в будівництві, потім у важкому машинобудуванні, а за ними й в інших галузях почали активно шукати застосування можливостям об'ємної комп'ютерної графіки. Не можна сказати, що перехід на тривимірну графіку був безболісним. По-перше, через вимоги стандартів (Держстандарт, СНіП і т. п.), що стосуються тільки плоскої графіки й, по-друге, через негнучкість мислення багатьох інженерів, що вперто відштовхують все нове. Однак іншого шляху не було.

Проектна організація, що активно використовує сучасні системи автоматизованого проектування (САПР) і розрахункові комплекси, встигала виконати й представити кілька повноцінних рішень певного проекту, тоді як за той же час інша організація, що не застосовує САПР, навряд чи встигала підготувати один ескізний проект.

Крім кращого візуального подання проєктованих виробів, 3D-графіка на порядок підвищує точність проектування особливо складних (складових) об'єктів, дозволяє легко редагувати тривимірну модель.

У результаті її використання можна отримати справжній зразок готового об'єму, який передає всі дані про нього. Модель, створена завдяки цьому способу візуального відтворення, містить лінії, грані, текстуру і дані про об'єм і масу тіла. Хоча зображення

і займають найбільший об'єм пам'яті комп'ютера порівняно з іншими, але він повністю описує готовий об'єкт.

*Асоціативний зв'язок*, встановлюваний в інженерних 3D-системах між моделлю виробу, його кресленнями, а також документацією на виріб (наприклад, специфікацією), дозволяє при внесенні змін у 3D-модель автоматично відобразити всі ці зміни в інших документах, пов'язаних з моделлю. Саме за рахунок цього й досягається колосальна економія часу й витрат праці на проектування.

Подальший розвиток САПР дав можливість зібрати воедино всі дані про проєктований об'єкт у системах управління життєвим циклом і інженерними даними, а також гнучко управляти цими даними залежно від потреб кожного конкретного підприємства.

Іншою галуззю розвитку комп'ютерних систем для проектування є інженерні розрахунки [1]. Тривимірне подання напруг від діючих навантажень, тривимірний розподіл (поле) температур, міцнісний, кінематичний, динамічний аналіз і ще багато чого стали доступні інженерам, який використовує такі системи.

Цей клас програм почав бурхливо розвиватися з появою 3D у конструюванні й на сьогодні є дуже затребуваним.

Багато розрахунків, які раніше навряд чи можна було виконати або які вимагали висококваліфікованих фахівців, зараз легко здійснити.

### **Переваги САПР:**

1 Більш швидке виконання креслень (до 3 разів). Дисципліна роботи з використанням САПР прискорює процес проектування в цілому, дозволяє в стислий термін випускати продукцію й швидше реагувати на зміну ринкових кон'юктур. Цьому сприяє у тому числі і використання технологій паралельного проектування.

2 Підвищення якості і техніко-економічного рівня результатів проектування. Підвищення точності виконання. На кресленнях, побудованих за допомогою САПР, місце будь-якої точки визначено точно, а для поліпшення перегляду елементів є засіб, називаний наїзд (zooming), що дозволяє збільшувати або

зменшувати будь-яку частину креслення в будь-яку кількість раз. На зображення, над яким виконується наїзд, не накладається практично ніяких обмежень.

3 Зменшення собівартості проектування і виготовлення за рахунок заміни натурних випробувань і макетування математичним моделюванням; зменшення або ліквідація зростання проектувальників і конструкторів

4 Скорочення трудомісткості проектування. Уніфікації проектних рішень і процесів проектування. Можливість багаторазового використання креслення. Запам'ятоване креслення, може бути використано повторно для проектування, коли до складу креслення входить ряд компонентів, що мають однакову форму. Пам'ять комп'ютера є також ідеальним засобом зберігання бібліотек, символів, стандартних компонентів і геометричних форм.

5 САПР має креслярські засоби (сплайни, з'єднання, шари).

6 Прискорення розрахунків і аналізу при проектуванні. Існує велика розмаїтість програмних засобів, що дозволяє виконувати на комп'ютерах частину проектних розрахунків заздалегідь. Потужні засоби комп'ютерного моделювання, наприклад метод скінченних елементів, звільняють конструктора від використання традиційних форм і дозволяють проектувати нестандартні геометричні форми. Застосування методів варіантного проектування та оптимізації. Автоматизація оформлення документації.

7 Зниження витрат на відновлення. Засоби аналізу й імітації в САПР дозволяють різко скоротити витрати часу й грошей на тестування й удосконалення прототипів, які є дорогими етапами процесу проектування.

8 Інформаційна підтримка та автоматизація процесу прийняття рішень. Великий рівень проектування. Потужні засоби комплексного моделювання. Можливість проектування нестандартних геометричних форм, які швидко оптимізуються.

9 Інтеграція проектування з іншими видами діяльності. Інтегровальні обчислювальні засоби забезпечують САПР більш тісну взаємодію з інженерними підрозділами САПР.



## 1.2 Етапи розвитку САПР

На рубежі 1960-1970-х років були отримані окремі результати, які показали, що сфера проектування в принципі піддається комп'ютеризації.

Перші тиражні програми для вирішення задач аналізу схем і конструювання друкованих плат з'явилися у першій половині 1960-х років. Об'єднання розроблюваних і наявних програмних засобів призвело до створення програмно-методичних комплексів для проектування ЕОМ і їх елементної бази, що означало появу перших систем автоматизованого проектування.

Відомо, що аббревіатуру САПР вперше використав основоположник цього напрямку Айвен Сазерленд. У 1963 році за розробки у сфері автоматизованого проектування він отримав вчений ступінь у Массачусетському технологічному інституті [15].

Початок 1970-х років характеризувався бурхливим зростанням кількості організацій в СРСР і фірм далекого зарубіжжя, що займалися проблемами автоматизації технологічної підготовки виробництва. Були розроблені стандарти Єдиної системи технологічної підготовки виробництва (ЕСТПП), а також ціла група стандартів, що регламентують основні положення автоматизованого проектування

Дуже швидко застосування САПР здійснювалось в авіації, де складність проектування літаків і вертольотів (з точки зору механіки і компонування) вимагала використання детально розроблених програмних засобів. Поступово методи САПР проникали в такі сфери техніки, як автомобілебудування, архітектура, проектування електричних кіл.

На цьому етапі основним напрямком застосування ЕОМ був перехід від вирішення окремих інженерних завдань до створення численних проблемно-орієнтованих систем:

- автоматизованого конструювання виробів – AutoCad, Caddy, СФОРГІ;
- проектування технологічних процесів – Технолог, Групппроцесс, МТД, Проба, Тіппроцесс, Індпроцесс, Кисень;
- програмування обладнання верстатів з ЧПУ – АРТ (США), ЕХАРТ (Німеччина), FAPT (Японія), MODAPT (Італія), Техтран і ЕСПС-ТАУ (СРСР);

- автоматизованих систем управління виробництвом (АСУВ);
- автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП).

У 1980-х роках з'явилися мікро- і суперкомп'ютери, та САПР стали доступні навіть малим фірмам. Продовжилося вдосконалення обчислювальної техніки.

У серпні 1981 року в Wall Street Journal була опублікована інформація про те, що корпорація ІВМ вийшла на ринок персональних комп'ютерів зі своєю моделлю ІВМ РС на базі процесора Intel 8088. Закінчилася ера «динозаврів» обчислювальної техніки СМ ЕОМ і ЄС ЕОМ. Останній суперкомп'ютер «Ельбрус-2» з продуктивністю 25 млн операцій за секунду був запущений у 1984 році. Але вже до цього часу були розроблені способи опису, зберігання, імпортування та експортування графічної інформації на основі ПК. Почали швидко поширюватися програмні продукти для конструювання виробів.

У листопаді 1985 року з'явилася перша версія операційної системи MS Windows. Нові можливості обчислювальної техніки дозволили створити локальні мережеві системи. Почалося здійснюватися поступове переведення графічних робочих станцій на ПК з цією операційною системою. Операційні системи MS Windows стали домінувати у сферах проектування конструкцій виробів, технологічного оснащення, друкованих плат і механічного інжинірингу.

Відповідно до віянь часу в цей період основна увага приділялася системам автоматизованого креслення. Коли кульман кресляра замінюється дисплеєм, то різко збільшується швидкість роботи: продуктивність досвідченого кресляра підвищується в 3-3,5 разу. З'явилося 3D-моделювання: спочатку створення простих поверхонь, а потім твердотілих зображень, які мають усі атрибути реального фізичного об'єкта.

1990-ті роки – період зрілості; усвідомлено багато реальних завдань практики, виправлено велику кількість помилок, допущених при розробленні.

Найактуальнішими стали питання, пов'язані з інтеграцією різноманітних можливостей, що дозволяє вести мову про автоматизацію не окремих елементів, а всього процесу проектування, конструювання та виробництва. Бурхливе зростання функціональності САПР з одночасним ускладненням ряду функцій призвело до того, що на першому плані виявилися проблеми користувальницького інтерфейсу.

Розроблено методи відкочування назад, що дозволяють відновити коректний проект, незважаючи на допущені помилки, що відбуваються через власні неадекватні дії і через некоректні проектні дані. Акцент робиться на підвищення ступеня автоматизації всіх процесів, як проектних, так і технологічних. Для цього використовуються генетичні алгоритми, нейронні мережі і розвинені системи баз знань.

Виробники програмних продуктів стали практикувати «up-grade» – жорстку процедуру переходу на нові версії до фіксованого терміну. Після цього терміну користувачі втрачали право на оновлення і могли придбати нову версію тільки за повну вартість.

Вперше цей підхід був випробуваний фірмою Autodesk у 2001 році, коли версія AutoCAD 14 замінялася версією AutoCAD 2000. З появою у 2003 році на ринку програмних продуктів версії AutoCAD 2004 всім користувачам AutoCAD 2000 також був встановлений крайній термін на «up-grade». Так стала проводитися примусова «прив'язка» користувачів конкретного програмного продукту до його нових версій.

Можна припустити, що в недалекому майбутньому виробники, які не орієнтуються на розроблення інтегрованих програмних продуктів, поступово перетворюються на «капусту» ринку. У той же час завжди залишаться технологічні ніші, у яких будуть ефективно працювати спеціалізовані САПР.

Серед специфіки останнього 10-річчя слід відзначити більш виразне розшарування класів систем. Стало зрозуміло, що оскільки в промисловості є великі підприємства, середні і взагалі дрібні, то й автоматизація для них повинна бути різною. Зараз на ринку САПР є велика гамма пропозицій, що розрізняються за вартістю, функціональністю і рівнем охоплення проектно-технологічної та виробничої сфери підприємства [13].

### **1.3 Взаємодія САПР із іншими автоматизованими системами**

Системи управління в промисловості, як і будь-які складні системи, мають ієрархічну структуру. Якщо розглядати підприємство як систему верхнього рівня, то наступними рівнями за спадною будуть рівні заводу, цеху, виробничої ділянки, виробничого встаткування. Автоматизація управління реалізується за допомогою автоматизованих систем управління (АСУ).

Серед АСУ розрізняють автоматизовані системи управління підприємством (АСУП) і автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУТП).

АСУП охоплює рівні від підприємства до цеху, АСУТП — від цеху й нижче (на рівні цеху можуть бути засоби й АСУП, і АСУТП).

**Визначення CAD, CAM і CAE.** У складі машинобудівних САПР (MCAD - Mechanical CAD) виділяють[9]:

*1 Автоматизоване проектування (computer-aided design – CAD)* – технологія, суть якої полягає у використанні комп'ютерних систем для полегшення створення, змін, аналізу і оптимізації проектів.

Таким чином, будь-яка програма, що працює з комп'ютерною графікою, як і будь-який додаток, використовуваний в інженерних розрахунках, належить до систем автоматизованого проектування.

Конструкторські САПР загального машинобудування — САПР-К або CAD-системи – загальний термін для позначення всіх аспектів проектування з використанням засобів обчислювальної техніки. Зазвичай охоплює створення геометричних моделей виробу, а також генерацію креслярських виробів і їх супроводів.

До складу засобів CAD відносять геометричні програми для роботи з формами, а також спеціалізовані додатки для аналізу і оптимізації.

До цих засобів також відносять програми для аналізу допусків, розрахунку масо-інерційних властивостей,

моделювання методом скінченних елементів і візуалізації результатів аналізу.

Найголовніша функція САД – визначення геометрії конструкції (деталі механізму, архітектурні елементи, електронні схеми, плани будівель і т. п.), оскільки геометрія визначає всі подальші етапи життєвого циклу виробу. З цією метою зазвичай використовуються системи розроблення робочих креслень і геометричного моделювання.

У наш час найбільш широко використовуються такі САД-системи, призначені для машинобудування:

- у першій групі – AutoCAD (Autodesk); АДЕМ; ВСАД (ПроПроГрупа, Новосибірськ); Caddy (Ziegler Informatics); Компас (Аскон, С-Петербург); Спрут (Sprut Технології, Набережні Челни); Кредо (АСК, Москва);

- у другій групі – Pro / Engineer (ПТК - Parametric Technology Corp.) Unigraphics (EDS Unigraphics); SolidEdge (Intergraph); CATIA (Dassault Systemes), Евклід (Матра Datavision), CADD5.5 (Computervision, нині входить до РТС) та ін.;

- у третій групі системи, що займають проміжне положення, – Cimatron, Мікростанція (Bentley), Евклід Прелюдія (Матра Datavision), T-FlexCAD (ТопСистеми, Москва) та ін.

Зі зростанням можливостей персональних ЕОМ грані між "дорогими" і "дешевими" САД / САМ-системами поступово стираються.

**2 Автоматизоване виробництво** (*computer-aided manufacturing – САМ*) – це технологія, що полягає у використанні комп'ютерних систем для планування, управління і контролю операцій виробництва через прямий або непрямий інтерфейс з виробничими ресурсами підприємства.

Одним з найбільш широко застосовуваних підходів до автоматизації виробництва є числове програмне управління (ЧПУ, numerical control – NC).

Технологічні САПР загального машинобудування – САПР-Т або САМ-системи), інакше називані автоматизованими системами технологічної підготовки виробництва АСПВ, – загальний

термін для позначення програмних засобів підготовки інформації для верстатів з ЧПУ (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Верстат з ЧПУ

Традиційно вихідними даними для таких систем були геометричні моделі деталей, отримані з систем САД.

*ЧПУ полягає у використанні запрограмованих команд для управління верстатом, який може шліфувати, різати, фрезерувати, штампувати, згинати та іншими способами перетворювати заготовки на готові деталі. У наш час комп'ютери здатні генерувати великі програми для верстатів з ЧПУ на підставі геометричних параметрів виробів з бази даних САД і додаткових відомостей, що надаються оператором. Напрямок розвитку в цій галузі полягає у скороченні необхідності втручання оператора.*

Під терміном САМ розуміються як сам процес комп'ютеризованої підготовки виробництва, так і програмно-обчислювальні комплекси, використовувані інженерами-технологами.

Ще одна важлива функція систем автоматизованого виробництва – програмування роботів, які можуть працювати на гнучких автоматизованих ділянках, вибираючи і встановлюючи інструменти, проводячи обробку на верстатах з ЧПУ. Роботи можуть виконувати власні завдання, наприклад зварювання, збірка і перенесення устаткування і деталей по цеху.

Планування процесів може визначати послідовність операцій з виготовлення пристрою від початку і до кінця на всьому необхідному устаткуванні.

Хоча повністю автоматизоване планування процесів практично неможливе, але план обробки конкретної деталі цілком

може бути сформований автоматично, якщо вже є плани обробки аналогічних деталей. Для цього була розроблена **технологія групування**, що дозволяє об'єднувати схожі деталі в сімейства. Деталі вважаються подібними, якщо вони мають загальні виробничі особливості (вузли, пази, отвори і т. д.). Для автоматичного виявлення схожості деталей необхідно, щоб база даних САД містила відомості про такі особливості. Це завдання здійснюється за допомогою об'єктно-орієнтованого моделювання або розпізнавання елементів.

**3 Автоматизоване конструювання** (*computer-aided engineering – CAE*) полягає у використанні комп'ютерних систем для аналізу геометрії САД, моделювання і вивчення поведінки виробу для удосконалення і оптимізації його конструкції.

САПР функціонального проектування, інакше САПР-Ф або САЕ-системи, – загальний термін для позначення інформаційного забезпечення умов автоматизованого аналізу проекту, має на меті виявлення помилок (міцнісні розрахунки) або оптимізацію виробничих можливостей.

По-іншому САЕ можна назвати системами інженерного аналізу. У своїй роботі вони використовують різні математичні розрахунки.

Засоби САЕ можуть здійснювати багато різних варіантів аналізу.

Програми для кінематичних розрахунків здатні визначати траєкторії руху і швидкості ланок у механізмах.

Програми динамічного аналізу можуть використовуватися для визначення навантажень і зсувів в складних пристроях типу автомобілів.

Програми верифікації і аналізу логіки і синхронізації імітують роботу складних електронних кіл.

**4 Автоматизоване управління інформаційними потоками про виріб** (*Product Data Management – PDM*) забезпечує доступ до проектної інформації з метою управління процесами проектування.

Під загальним управлінням PDM-системи здійснюються такі дії: за допомогою САД-засобів створюється геометрична модель

виробу, яка використовується в якості вхідних даних у системах САМ і на основі якої в системах САЕ формується необхідна для інженерного аналізу модель досліджуваного процесу.

### **CAD/CAM/CAE/PDM = САПР.**

У сфері класифікації САПР використовується ряд усталених англomовних термінів, що застосовуються для класифікації програмних додатків і засобів автоматизації САПР за галузевим і цільовим призначенням [12]:

**ERP** – Enterprise Resource Planning (планування й управління підприємством);

**MRP-2** – Manufacturing (Material) Requirement Planning (планування виробництва);

**MES** – Manufacturing Execution System (виробнича виконавча система);

**SCM** – Supply Chain Management (управління ланцюжками поставок);

**CRM** – Customer Relationship Management (управління взаєминами з замовниками);

**SCADA** – Supervisory Control And Data Acquisition (диспетчерське управління виробничими процесами);

**CNC** – Computer Numerical Control (комп'ютерне числове управління);

**S&SM** – Sales and Service Management (управління продажами й обслуговуванням);

**CPC** – Collaborative Product Commerce (спільний електронний бізнес).

В наукомістких галузях загальноприйнятими є такі терміни:

**АСНД** – *автоматизовані системи наукових досліджень* – являє собою систему автоматизованого моделювання, у рамках якої досліджуються концептуальні моделі вирішення поставлених науково-технічних завдань, проводяться експериментальні дослідження, пошук нових варіантів рішень;

**ЕС (СППР)** – *експертні системи* (системи підтримки прийняття рішень) – системи накопичування, інтерпретації знань



у предметній галузі з метою генерації конструкторсько-технологічних рішень;

**САПР** – системи автоматизованого проектування різного профілю;

**САПР-П** – системи автоматизованого розроблення ескізних проектів – дозволяє проводити дослідницькі конструкторські роботи з використанням графічних систем;

**САПР-К** – системи автоматизованого проектування конструкцій – включає програмно-апаратні засоби машинної графіки для виконання повного циклу робіт зі створення геометричної моделі виробу й випуску конструкторської документації на вироби, агрегати, вузли, деталі. Підтримують конструкторські бази даних;

**САПР-ТП** – системи автоматизованого проектування технологічних процесів, у тому числі управляючих програм для встаткування зі ЧПУ (більше широкі й розповсюджені АСТПВ) ;

**АСТПВ** – автоматизовані системи технологічної підготовки виробництва – це програмно-апаратні комплекси на базі обчислювальної техніки, що забезпечують системне застосування засобів автоматизації інженерно-технічних робіт, оптимальну взаємодію людей, машинних програм і технічних засобів автоматизації під час виконання функцій технологічної підготовки виробництва;

**АСУ** – автоматизовані системи управління різного профілю;

**АСУ-ТП** – автоматизовані системи управління технологічними процесами – призначені для оперативного планування й диспетчерського управління й відстеження програми виробництва;

**АСУВ** – автоматизовані системи управління виробництвом;

**САУ, САР, САК** – локальні системи автоматичного управління, регулювання, контролю – призначені для відпрацьовування програмно-апаратного забезпечення автоматизованого управління виробничим устаткуванням.

*В умовах реального виробництва всі види систем автоматизації (СА) тією або іншою мірою повинні взаємодіяти один з одним, а САПР — безпосередньо з АСНД, АСТПВ, АСУВ.*

*Взаємодія зазначених систем здійснюється шляхом обміну інформацією, представленою у вигляді звичайних документів і в машинних кодах або записаної на машинних носіях.*

*Від АСУ всі системи автоматизації повинні одержувати керуючу інформацію планового характеру, а також інформацію про фактичну наявність ресурсів. У свою чергу, СА направляють в АСУ дані комплектуючих про виконання планових завдань, про потребу в різних ресурсах, у тому числі в матеріалах, інструментах, енергії.*

*З АСНД в САПР надходить інформація про технічні вимоги до проєктованого об'єкта, важливі технічні і конструкторські рішення, вироблені в результаті математичного моделювання об'єктів. У зв'язку з розвитком робіт з комплексного моделювання проєктованих об'єктів, границі між "чистими" дослідженнями й проєктуванням стираються.*

*Складні й трудомісткі розрахунки, здійснювані на стадії дослідницького проєктування, у багатьох випадках доцільніше виконувати на основі дослідницької моделі об'єкта й формувати дані про проєктований об'єкт для наступних проєктних робіт на машинних носіях у вигляді матриць коефіцієнтів і математичних залежностей або у вигляді чисельних значень відповідних параметрів, але більш ефективно — здійснювати у вигляді повної математичної моделі об'єкта, яку можна деталізувати, уточнювати й розвивати. З погляду ефективності автоматизації створення моделі об'єкта і її використання при проєктуванні мають бути об'єднані.*

*Системна інтеграція розроблення й виробництва виробів на основі єдиних математичних моделей дозволить у рамках великих підприємств об'єднати автоматизовані системи наукових досліджень, системи автоматизованого проєктування, автоматизовані технологічні комплекси й загальний банк даних АСУВ в інтегровану гнучку виробничу систему (ГВС). Це дасть можливість у ряді випадків обходитися без випуску традиційної проєктно-конструкторської документації, тому що результати проєктування, отримані в САПР, будуть використовуватися безпосередньо при складанні керуючих програм для верстатів з ЧПУ й роботів для виготовлення деталей і складальних одиниць.*

## РОЗДІЛ 2. ПОНЯТТЯ ІНЖЕНЕРНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

### 2.1 Проектування й конструювання

За необхідності розробити новий виріб завжди починають з його проектування.

**Проектування** (від лат. *projectus*, тобто кинутий уперед) – процес створення проекту, тобто прототипу, прообразу пропонованого або можливого об'єкта. Проектування технічного об'єкта пов'язано зі створенням, перетворенням і поданням у прийнятій формі образу цього об'єкта [11, 16].

Результат проектування – це повний комплект документації, що містить відомості, достатні для виготовлення об'єкта.

Перетворення вихідного опису ще не існуючого об'єкта в остаточне (рисунок 2.1) породжує проміжні описи, які є предметом розгляду з метою визначення закінчення проектування або вибору шляхів його продовження. Такі описи називають проміжними рішеннями.

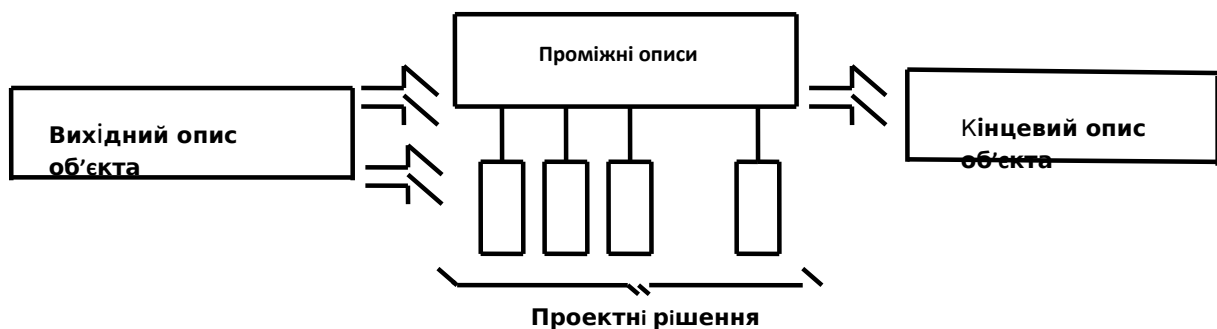


Рисунок 2.1 – Процес проектування технічного об'єкта

Всередині процесу проектування, поряд з розрахунковими етапами і експериментальними дослідженнями, часто виділяють процес конструювання.

**Конструювання** – діяльність зі створення матеріального образу об'єкта, що розробляється, йому властива робота з натурними моделями і їх графічними зображеннями (креслення, ескізи, комп'ютерні моделі). Ці моделі і зображення, а також деякі види виробів називають конструкціями.

Конструкція передбачає спосіб з'єднання, взаємне розташування частин і елементів виробу, взаємодію частин, а

також матеріал, з якого повинні бути виготовлені окремі елементи.

Наприклад, конструювання форм одягу, конструювання інтер'єрів, розроблення конструкції машини, металоконструкція, будівельні конструкції.

Конструювання може здійснюватися:

- вручну за допомогою креслярських інструментів, наприклад кульмана (креслярського столу);
- автоматизовано – за допомогою систем автоматизації проектних робіт (САПР);
- автоматично (без участі людини) за допомогою Інтелектуальної інформаційної системи.

Значущість конструювання визначається такими аспектами:

- формується концептуальний вигляд майбутнього виробу;
- створюються математично точні геометричні моделі як окремих деталей, так і всього виробу, які будуть відігравати визначальну роль на всіх наступних етапах життєвого циклу виробу [7].

Результатом проектування є проект виробу, що розробляється.

Результатом конструювання є конкретна, однозначна конструкція виробу.

## **2.2 Системний підхід до проектування**

**Системне проектування.** Основний загальний принцип системного підходу полягає в розгляді частин явища або складної системи з урахуванням їх взаємодії. Системний підхід містить у собі виявлення структури системи, типізацію зв'язків, визначення атрибутів, аналіз впливу зовнішнього середовища [4].

До кінця ХХ століття не тільки істотно зросла складність проєктованих об'єктів, але і їх вплив на суспільство і навколишнє середовище, зросли вимоги щодо якості і ціни, скорочення термінів випуску нової продукції. Необхідність обліку цих

обставин змушувала вносити зміни в традиційний характер і методологію проектної діяльності.

При створенні об'єктів їх уже необхідно було розглядати у вигляді систем, тобто комплексу взаємопов'язаних внутрішніх елементів з певною структурою, широким набором властивостей і різноманітними внутрішніми і зовнішніми зв'язками. Сформувалася нова проектна ідеологія, що отримала назву системного проектування.

*Системне проектування* комплексно вирішує поставлені завдання, бере до уваги взаємодію і взаємозв'язок окремих об'єктів-систем і їх частин як між собою, так і з зовнішнім середовищем, враховує соціально-економічні та екологічні наслідки їх функціонування.

Системне проектування ґрунтується на ретельному спільному розгляді об'єкта проектування і процесу проектування, які в свою чергу включають ще ряд важливих частин.

*Системний підхід* до проектування не пропонує нових методів вирішення технічних проблем, але вказує загальний напрямок, внаслідок якого зменшується ризик прийняття хибного рішення.

Системний підхід до проектування складається з деякого набору прийомів, що полегшують подолання основних труднощів проектування складних технічних систем в умовах багатоетапності і ітеративного характеру самого процесу проектування.

Системне проектування має базуватися на системному підході. На сьогоднішній день не можна стверджувати, що відомий його повний склад і зміст стосовно проектної діяльності, однак можна сформулювати найбільш важливі з них:

## 1 Практична корисність:

- діяльність має бути цілеспрямованою, спрямованою на задоволення дійсних потреб реального споживача або певної соціальної, вікової чи іншої груп людей;
- діяльність має бути доцільною. Важливо розкрити причини, що перешкоджають використанню існуючих об'єктів для задоволення нових потреб, виявити ключові протиріччя, що їх викликають, і сконцентрувати зусилля на вирішенні головних завдань;

- діяльність має бути обґрунтованою і ефективною. Розумним буде використання не будь-якого рішення завдання, а пошук оптимального варіанта.

## 2 Єдність складових частин:

- доцільно будь-який об'єкт, складний він чи простий, розглядати як систему, всередині якої можна виділити логічно пов'язані більш прості частини – підсистеми, єдність окремих властивостей яких і утворює якісно нові властивості об'єкта-системи;

- розробляються об'єкти, що призначені для людей, ними створюються і експлуатуються. Тому людина також має розглядатися в якості однієї з взаємодіючих систем;

- зовнішня, або як її ще називають – життєве середовище, також повинно розглядатися як система, взаємопов'язана з проєктованим об'єктом.

## 3 Змінність у часі:

- урахування етапів життєвого циклу об'єкта;
- урахування історії та перспектив розвитку та застосування розроблюваного об'єкта, а також галузей науки і техніки, на досягненнях яких базуються відповідні розробки.

Розрізняють *низхідне* (зверху вниз) і *висхідне* (знизу вгору) проєктування.

Ведення розроблення об'єкта послідовно від спільних рис до детальних називається **низхідним** проєктуванням. Його результатом будуть вимоги до окремих частин і вузлів. Можливий хід розроблення від часткового до загального, що утворює процес **висхідного** проєктування. Таке проєктування зустрічається, якщо одна або декілька частин вже є готовими (покупними або вже розробленими) виробами.

Низхідне і висхідне проєктування мають свої переваги і недоліки.

Так, при низхідному проєктуванні можлива поява вимог, які згодом виявляються нереалізованими з технологічних, екологічних чи інших міркувань.

При висхідному проектуванні можливе отримання об'єкта, який не відповідає заданим вимогам.

У реальному житті, внаслідок ітераційного характеру проектування, обидва види взаємопов'язані.

Властивості системи можна поділити на окремі групи. Така декомпозиція призводить до появи різних аспектів опису властивостей. Звичайно виділяють функціональний, конструкторський і технологічний аспекти.

Функціональний аспект характеризує основні принципи функціонування. Для відображення цих властивостей використовують принципові, структурні, функціональні, кінематичні схеми і супровідні документи.

Конструкторський опирається на результати функціонального проектування з визначенням геометричних форм і їхнім взаємним розташуванням у просторі.

Технологічний аспект пов'язаний з описом методів і засобів виготовлення проектованого об'єкта.

### ***Функціональне проектування***

Будь-який об'єкт служить лише матеріальним носієм функції, тобто функція – первинна, об'єкт – вторинний і створюється через неможливість іншими, нематеріальними, засобами задовольнити потреби людей.

Так, автомобіль потрібен для перевезення вантажів і людей, призначення ручки – писати, а книги – зберігати інформацію і т. д.

Функціональне проектування націлене, насамперед, на створення ефективно працюючого об'єкта. Виконання необхідної функції – головна мета і основа розроблення об'єкта. До уваги беруться, насамперед, функціональні показники якості та показники надійності.

### ***Оптимальне проектування***

Процес проектування завжди підпорядкований необхідності врахування інтересів двох груп людей: виробників і споживачів

продукції (товарів, робіт, послуг). Кожна з груп прагне до задоволення своїх вимог до продукції, частина з яких може бути взаємовиключною. Також процес вирішення практичного завдання завжди багатоваріантний, і перед розробником виникає проблема аргументованого вибору остаточного варіанта.

Наприклад, автомобіль повинен не тільки мати високу швидкість і потужність двигуна, але і низьку вартість, комфортабельність, екологічність, бути вигідним для виробника і т. д.

Проектування, метою якого є не тільки пошук функціонально ефективних рішень, а й задоволення різних, часом суперечливих, потреб людей, обґрунтований вибір остаточного варіанта, стали називати оптимальним проектуванням (критеріальним, варіантним).

Активно воно почало застосовуватися з другої половини ХХ століття завдяки досягненням теорії прийняття рішень і теорії дослідження операцій і широкому поширенню обчислювальної техніки, що дозволило розробити відповідні методи в доступні для огляду терміни прораховувати численні варіанти і розв'язувати складні математичні задачі.

Велике значення в оптимальному проектуванні відводиться підготовці на етапі технічного завдання повного переліку вимог до об'єкта, що розробляється, виділенню серед них показників якості та перетворенню найбільш важливих з них у критерії оптимізації.

### **2.3 Основні етапи проектування**

Розрізняють зовнішнє й внутрішнє проектування [6].

До зовнішнього проектування відносять передпроектні дослідження, розроблення, затвердження технічного завдання.

До внутрішнього проектування відносять такі стадії: розроблення технічної пропозиції, ескізного проекту, технічного проекту, робочого проекту, виготовлення, налагодження, випробування, запровадження в дію.

Стадії проектування — найбільш великі частини проектування як процесу, що розвивається в часі (рисунк 2.2).



## Процес проектування



Рисунок 2.2 – Стадії проектування технічного об'єкта

**1 ПЕРЕДПРОЕКТНІ ДОСЛІДЖЕННЯ** - проводиться обстеження предметної сфери майбутнього проектованого об'єкта.

Обстеження передбачає такі заходи:

- оцінка можливості створення об'єкта;
- збір даних, опис і аналіз існуючих аналогів об'єкта;
- збір пропозицій щодо створення об'єкта.

**2 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ (ТЗ)** є первинним, основним документом, яким керуються приступаючи до розроблення нового виробу. Воно відображує технічні, техніко-економічні характеристики майбутнього виробу, визначає основні характеристики конструкції й принципи роботи. Вимоги ТЗ ґрунтуються на сучасних досягненнях науки й техніки, на виконанні науково-дослідних і експериментальних робіт.

Після узгодження і затвердження ТЗ замовником воно стає документом, на підставі якого виконуються всі інші стадії розроблення.

Зміст технічних завдань на проектування:

- підстава для проектування;
- призначення об'єкта;
- умови експлуатації;
- вимоги до вихідних параметрів — величин, які характеризують властивості об'єкта, що цікавлять споживача.

Поряд з якісними характеристиками (поданими у вербальній формі) є числові параметри, названі зовнішніми параметрами, для яких зазначено області припустимих значень, наприклад температура навколишнього середовища, навантаження, електричні напруги та ін.

**3 ТЕХНІЧНА ПРОПОЗИЦІЯ** – початковий етап проектування. Основне завдання цього етапу – перевірка сумісності вимог ТЗ із можливостями реалізації технічних рішень. Технічна пропозиція містить аналіз можливих варіантів технічних рішень і обґрунтування пропонованого варіанта рішення.

Технічна пропозиція передбачає:

- вишукування або розроблення принципів побудови системи;
- розроблення структурної схеми;
- вибір технічних засобів;
- вибір параметрів системи;
- математичний опис об'єкта;
- математичне моделювання проектованої системи;
- проведення оптимізації;
- розрахунок;
- аналіз результатів і порівняння з ТЗ.

**4 ЕСКІЗНИЙ ПРОЕКТ** – конструкторське опрацювання оптимального варіанта виробу до рівня принципових конструкторських рішень, що дають загальне уявлення про пристрій і принципи роботи виробу. В ескізному проекті закладаються основи застосування типових, стандартизованих і

уніфікованих складових частин розробки, формуються вимоги до спеціальних комплектуючих.

Ескізний проект включає пояснювальну записку, ескізну технічну документацію, висновок про відповідність отриманих результатів вимогам технічного завдання.

Ескізне проектування передбачає:

- уточнення структурної схеми;
- уточнення складу підсистем, їх функцій, характеристик, взаємозв'язок;
- аналіз характеристик технічних засобів, проведення оптимізації, скорочення номенклатури технічних засобів;
- моделювання (математичне, імітаційне, фізичне);
- ескізну документацію (схемну, конструкторську, текстову);
- виготовлення експериментальних зразків, розроблення документації на них.

**5 ТЕХНІЧНИЙ ПРОЕКТ** — проект, у якому зафіксовано технічні рішення, технічний образ нового об'єкта у вигляді описів, схем, креслень, розрахунків. Технічний проект виконують на основі погодженого й затвердженого ескізного проекту, а в тих випадках, коли останній не розробляється, — на основі погодженого й затвердженого технічного завдання (затвердженої технічної пропозиції), а потім конкретизують у робочому проекті. Розроблення технічного проекту здійснюють відповідно до Єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД).

Технічне проектування передбачає поглиблення і деталізацію отриманих результатів в умовах, близьких до експлуатаційних, проведення випробувань.

**6 РОБОЧИЙ ПРОЕКТ** — сукупність конструкторських документів для виготовлення та випробування дослідного зразка виробу.

Розроблення робочої документації становить заключний етап проектування, завданням якого є повна деталізація проектних рішень, що забезпечує можливість здійснення всіх виробничих операцій, пов'язаних з реалізацією цих рішень і створенням виробу.

**7 ВИГОТОВЛЕННЯ НЕСЕРІЙНИХ КОМПОНЕНТІВ ОБ'ЄКТА** створення працездатного виробу, що забезпечує виконання функцій, передбачених технічним завданням:

- виготовлення компонентів об'єкта;
- автономне налагодження й випробування компонентів об'єкта.

**8 ЗАПРОВАДЖЕННЯ В ДІЮ** – забезпечення можливостей промислового функціонування виробу, визначення фактичних техніко-економічних показників виробу, відповідність його технічному завданню й вимогам нормативно-технічної документації.

У загальному випадку **процес проектування** можна уявити таким чином:

- розроблене технічне завдання видають конструкторам для пошуку рішення і розроблення ескізів виробу;
- дані ескізного проектування передають розраховувачам для виконання інженерних розрахунків і виріб перевіряють на відповідність виконуваних функцій;
- результатом цих робіт є оформлення конструкції, яка передана в групу стандартизації для проробки можливого застосування стандартних і уніфікованих вузлів і деталей, що у свою чергу потребує додаткових розрахунків;
- після виконання графічних робіт із розроблення технічного проекту перевіряють вузли на технологічність і приступають до деталювання;
- потім складають специфікації, розробляють інструкції і передають проект на розроблення технологам.

На будь-якій стадії або етапі проектування можуть бути виявлені помилковість або неоптимальність раніше ухвалених рішень і, отже, необхідність або доцільність їхнього перегляду. Подібні повернення типові для проектування й обумовлюють його ітераційний характер.

Зокрема може бути виявлена необхідність коректування технічного завдання. У цьому випадку чергуються процедури зовнішнього й внутрішнього проектування.

## РОЗДІЛ 3. ОРГАНІЗАЦІЙНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ САПР

### 3.1 Склад і структура САПР

#### *Принципи побудови САПР*

1 *Принцип людино-машинної системи.* САПР – це людино-машинна система, у якій ЕОМ зберігає й обробляє інформацію. Роль людини:

- вирішення завдань, формалізація яких не досягнута;
- вирішення завдань евристичними методами (тобто завдань, вирішення яких на основі евристичних здатностей більш ефективно, ніж вирішення за допомогою ЕОМ).

Тісна взаємодія людини й ЕОМ у процесі проектування — один із принципів побудови й експлуатації САПР.

2 *Ієрархічний принцип.* Підсистеми САПР мають бути зв'язані між собою. Побудова САПР за ієрархічним принципом полягає в співвідпорядкованості підсистем і пов'язана з принципом блочно-ієрархічного підходу до проектування.

Блочно-ієрархічний підхід до проектування заснований на поділі описів проєктованих об'єктів на ієрархічні рівні. Його варто розуміти як поєднання двох принципів:

- принцип включення — забезпечує розроблення САПР на основі вимог, що дозволяють включити цю САПР у САПР більш високого рівня;
- принцип системної єдності — полягає в тому, що при створенні, функціонуванні й розвитку САПР зв'язки між підсистемами мають забезпечувати цілісність системи.

3 *Принцип інформаційної єдності й сумісності (інформаційної погодженості).* Інформаційна погодженість означає, що всі або більшість завдань проектування обслуговуються інформаційно-погодженими програмами.

Вона проявляється в тому, що результати одного завдання будуть вихідними даними для вирішення іншого. Недостатність вихідних даних для вирішення такого завдання означає інформаційну непогодженість.

Якщо для узгодження програм потрібна участь людини (наприклад, для знаходження відсутніх параметрів; для переробки масиву інформації), то програми погано погоджені.

Принцип інформаційної єдності полягає у використанні в підсистемах, компонентах і засобах забезпечення САПР єдиних умовних позначок, термінів, символів, проблемно-орієнтованих мов, способів подання інформації (відповідних прийнятим нормативним документам).

Принцип сумісності полягає в тому, що мови, символи, коди, інформаційні й технічні характеристики структурних зв'язків між підсистемами, засобами забезпечення й компонентами повинні забезпечувати спільне функціонування підсистем і зберігати відкриту структуру системи в цілому.

*4 Принцип розвитку.* Розвиток САПР передбачає її вдосконалювання, модернізацію, поліпшення. Економічно вигідно вводити САПР в експлуатацію частинами у зв'язку зі складністю системи взаємодії. Прогрес обчислювальної техніки й математики викликає необхідність замінити старі, менш удалі аналоги.

Відповідно до принципу розвитку САПР повинна створюватися й функціонувати з урахуванням поповнення, удосконалювання й відновлення підсистем і компонентів.

*5 Принцип стандартизації.* Для зниження витрат на розроблення спеціалізованих САПР необхідно використовувати уніфіковані підсистеми (складові частини). Необхідна умова уніфікації — пошук загальних рис і положень у моделюванні, аналізі, синтезі різнорідних технічних об'єктів.

Тобто принцип стандартизації полягає у використанні уніфікованих, типових і стандартизованих підсистем і компонентів, які інваріантні (незалежні) до проєктованих об'єктів і галузевої специфіки.

## **САПР включає:**

- колектив проектувальників, що вміє працювати з новими методами проектування, спеціально орієнтованими на широке застосування обчислювальної техніки з розвинутою мережею термінальних пристроїв;
- технічні засоби: обчислювальні машини, мережі обчислювальних машин, термінальні пристрої (алфавітно-цифрові і графічні дисплеї, графопобудовники, автоматизовані робочі місця), машинні носії інформації, лінії та пристрої зв'язку, множна техніка і т. д.;
- нову організаційну структуру, пристосовану ефективно експлуатувати й обслуговувати технічні засоби і програмне забезпечення САПР;
- машинно-орієнтовані методики, інструкції і нормативні матеріали, розвинуте програмне забезпечення, операційні системи і спеціальне математичне забезпечення технічних засобів, а також спеціальні проблемно-орієнтовані мови.

**Комплекси засобів автоматизованого проектування (КЗПА).** При проектуванні всі компоненти САПР функціонують у взаємодії. Для користувача апаратні і програмні засоби виступають як єдине ціле, утворюючи інструмент проектування. Цей інструмент складний і неоднорідний, у ньому можна виділити структурні одиниці: програмно-методичні (ПМК) і програмно-технічні комплекси (ПТК), підсистеми САПР (рисунок 3.1).

ПМК – взаємопов'язана сукупність програмного, методичного та інформаційного забезпечення, необхідна для отримання закінченого проектного рішення щодо об'єкта проектування.

ПТК – взаємопов'язана сукупність ПМК, об'єднаних за деякою ознакою, і засобів технічного забезпечення САПР.

Поняття ПМК належать до програмних засобів, а поняття ПТК – до обчислювальних систем, об'єднуючих апаратні і програмні засоби.

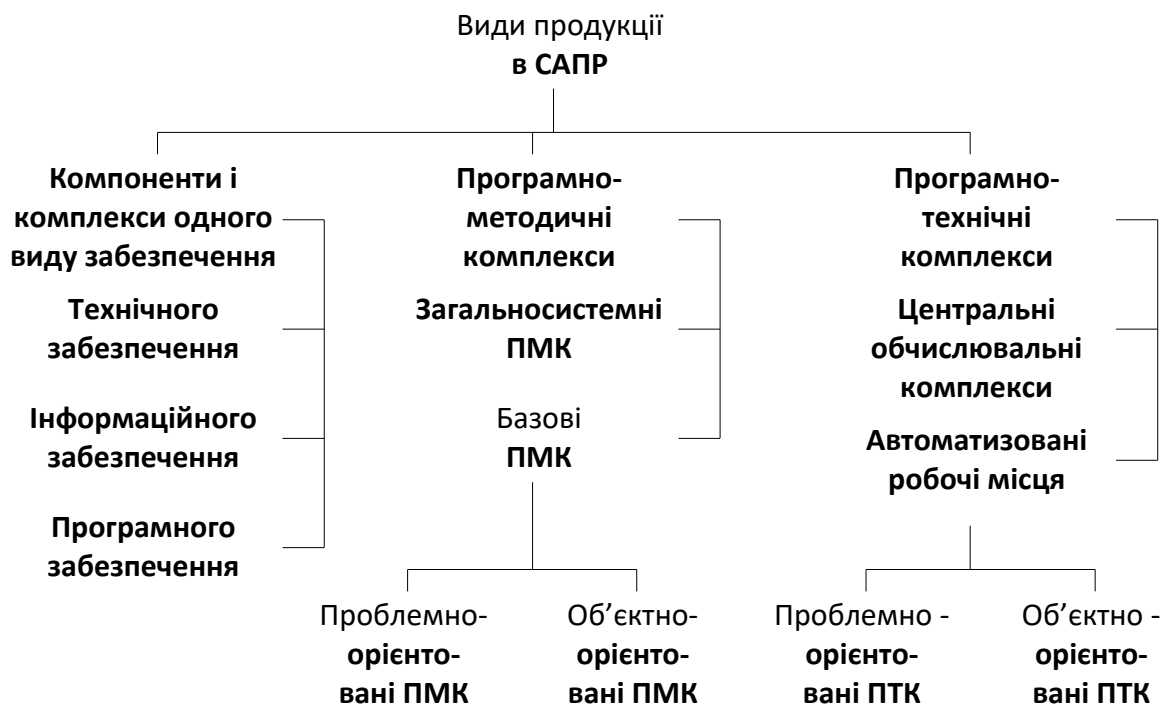


Рисунок 3.1 – Види комплексів САПР

**Програмно-методичний комплекс** являє собою взаємозалежну сукупність компонентів програмного, інформаційного й методичного забезпечення (включаючи компоненти математичного й лінгвістичного забезпечення), необхідну для одержання закінченого проектного рішення щодо об'єкта проектування (однієї або декількох його частин чи об'єкта в цілому) або виконання уніфікованих процедур.

Залежно від призначення ПМК поділяють на загальносистемні й базові.

**Загальносистемні ПМК** спрямовані на об'єкти проектування й разом з комп'ютерними операційними системами є операційним середовищем, у якому функціонують базові комплекси.

Загальносистемні ПМК містять у собі програмний, інформаційний, методичний і інші види забезпечення. Вони призначені для виконання уніфікованих процедур керування, контролю, планування обчислювального процесу, розподілу ресурсів САПР і реалізації інших функцій, що є загальними для підсистем або САПР у цілому.



## Приклади загальносистемних ПМК:

- моніторні системи;
- інформаційно-пошукові системи;
- системи управління БД;
- засоби машинної графіки;
- підсистема забезпечення діалогового режиму та ін.

1 Моніторні системи управління функціонуванням технічних засобів у САПР (монітор – це керуюча програма).

Основними функціями моніторних систем є:

- формування завдань із контролем наявності, необхідних наявних ресурсів, а також права доступу до бази даних із установленням пріоритету й номера черги;
- обробка директив мов керування завданнями, а також реакція на переривання з перехопленням керування, аналізом причин і їхньою інтерпретацією в термінах, зрозумілих проектувальникові;
- обслуговування потоків завдань із організацією діалогового й інтерактивно-графічного супроводу в умовах паралельної роботи підсистем;
- керування проектуванням в автоматичних режимах з аналізом якості виконання проектних операцій, перевіркою критеріїв повторення етапу або продовження маршруту, вибором альтернативних варіантів маршруту;
- ведення й оптимізація статистики експлуатації системи;
- розподіл ресурсів САПР із урахуванням пріоритетів завдань, планових завдань і поточних вказівок і запитів;
- захист ресурсів і даних від несанкціонованого доступу й непередбачених впливів.

2 Інформаційно-пошукові системи (ІПС) у САПР виконують такі функції, як заповнення інформаційного фонду (інфотеки) відомостями; арифметична обробка цифрових даних і лексична обробка текстів; обробка інформаційних запитів з метою пошуку необхідних відомостей; обробка вихідних даних і формування вихідних документів. Особливості ІПС полягають у тому, що запити до них формуються не програмним шляхом, а

безпосередньо користувачами й не формальною мовою, зрозумілою монітору, а природною мовою у вигляді послідовності ключових слів — дескрипторів.

3 Система управління базами даних (СУБД) — програмно-методичний комплекс для забезпечення роботи з інформаційною базою, організованою у вигляді структури даних. Він реалізує функції створення бази даних, її відновлення, зберігання, захисту й вибірки даних.

СУБД виконує такі основні функції: визначення баз даних, тобто опис концептуального, зовнішнього й внутрішнього рівнів схем; запис даних у базу; організація зберігання з виконанням зміни, доповнення, реорганізації даних; надання доступу до даних (пошук і їхня видача).

4 Програмно-методичні комплекси машинної графіки забезпечують взаємодію користувача з комп'ютером при обміні графічною інформацією, розв'язання геометричних задач, формування зображень і автоматичне виготовлення графічної інформації.

Графічна взаємодія користувача з комп'ютером (так званий графічний метод доступу) базується на підпрограмах введення-виведення, які забезпечують приймання і обробку команд від пристрою введення-виведення й видачу керуючих дій на ці пристрої.

Розв'язання геометричних задач (геометричне моделювання) зводиться до перетворення графічної інформації, що являє собою виконання в тій або іншій послідовності елементарних графічних операцій типу зсув, поворот, масштабування й т. п.

*Для геометричного моделювання використовується ПМК, у якому, крім окремих елементарних графічних операцій, можуть бути реалізовані графічні перетворення тривимірних зображень, процедури побудови проєкцій, перетинів і т. п. У ПМК графічних перетворень звичайно передбачаються засоби для формування деяких часто використовуваних зображень, управління графічною базою даних, налагодження графічних підпрограм.*

5 Діалоговий режим забезпечується програмно-методичними комплексами, що здійснюють введення, контроль, редагування, перетворення й виведення графічної й/або символічної інформації. Діалогове віддалене введення завдань

забезпечує введення й редагування завдань через канали зв'язку, виконання завдань у пакетному режимі й виведення результатів через лінії зв'язку на віддалені термінали.

**Базові ПМК** можуть бути проблемно-орієнтованими й об'єктно-орієнтованими, залежно від того, реалізують вони проектні процедури уніфіковано або специфічно для певного класу об'єктів.

- Проблемно-орієнтовані ПМК можуть включати програмні засоби, призначені для автоматизованого впорядкування вихідних даних, вимог і обмежень до об'єкта проектування в цілому або до складальних одиниць; вибір фізичного принципу дії об'єкта проектування; вибір технічних рішень і структури об'єкта проектування; оцінку показників якості (технологічності) конструкцій, проектування маршруту обробки деталей.

- Об'єктно-орієнтованими ПМК відображують особливості об'єктів проектування як сукупної предметної сфери.

До таких ПМК, наприклад, належать ті, що підтримують автоматизоване проектування складальних одиниць; проектування деталей на основі стандартних або запозичених рішень; деталей на основі синтезу їх з елементів форми; технологічних процесів за видами обробки деталей і т. п.

**Програмно-технічний комплекс** являє собою взаємозалежну сукупність компонентів технічного забезпечення.

Залежно від призначення ПТК розрізняють автоматизовані робочі місця (АРМ) і центральні обчислювальні комплекси (ЦОК). Комплекси засобів можуть поєднувати свої обчислювальні й інформаційні ресурси, створюючи локальні обчислювальні мережі.

Структурними частинами комплексів засобів є компоненти таких видів забезпечення: програмного, інформаційного, методичного, математичного, лінгвістичного й технічного.

Компоненти видів забезпечення виконують задану функцію й являють собою найменший (неподільний) самостійно розроблювальний (або покупний) елемент САПР (наприклад, програма, інструкція, дисплей і т. п.).

КЗАП обслуговуючих підсистем, а також окремі ПТК цих підсистем можуть використовуватися при функціонуванні всіх підсистем.

Складовими частинами САПР, жорстко пов'язаними з організаційною структурою проектної організації, є підсистеми, у яких за допомогою спеціалізованих комплексів засобів вирішується функціонально закінчена послідовність завдань САПР (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – Компоненти САПР (функціональна і забезпечувальна частини)

**Функціональна частина САПР** на схемі (таблиця 3.1) представлена у вигляді набору підсистем, що вирішують питання проектування технологічної підготовки виробництва, моделювання, інформаційного пошуку, інженерних розрахунків, управління, випробувань, виготовлення, машинної графіки.

Таблиця 3.1 – Функціональна частина САПР

Математичне забезпечення					
Методи опису об'єктів проектування	Математично-статистичні методи моделювання	Аналітичні, чисельні та імітаційні методи і системи моделювання		Методи оптимізації	Алгоритми вирішення завдань проектування
Програмне забезпечення					
Базові програми, операційні системи	Мови і системи програмування	Пакети прикладних програм	Бібліотеки прикладних програм	Діалогові системи	Системи управління проектами
Інформаційне забезпечення					
Інформаційно-пошукові системи	Автоматизовані системи баз даних	Системи управління базами даних		Бази знань	Експертні системи
Технічне забезпечення - технічні засоби (ТЗ)					
ТЗ програмної обробки даних	ТЗ підготовки і введення даних	ТЗ відображення і документування	ТЗ архіву проектних рішень	ТЗ периферійних пристроїв	ТЗ периферійних пристроїв
Лінгвістичне забезпечення					
Мови розроблення систем			Мови проектування		
Методичне забезпечення					
Документи, що регламентують процес розроблення САПР					
Документи, що регламентують процес розроблення САПР		Документи, що регламентують порядок виконання САПР		Документи, що регламентують процес розроблення САПР	
Організаційне забезпечення					
Положення	Інструкції	Накази	Штатні розклади	Кваліфікаційні вимоги	

Підсистема САПР - це складова структурна частина САПР, що має всі властивості системи і є самостійною системою.

Кожна з підсистем САПР може бути визначена як комплекс програмних засобів, призначених для виконання певного процесу проектування, а програмні компоненти взаємозв'язані з технічними засобами САПР.

*Складність розроблення великих комплексів взаємозв'язаних програм полягає в тому, що ефективність вирішення кожної конкретної проблеми визначається на завершальному етапі*

*роботи, коли вся або більша частина системи починає функціонувати; це зумовлює складність створення високоефективних програмних комплексів при первинному розробленні. Система стає дієвою тільки у процесі створення, випробування і удосконалення.*

**Підсистема інформаційного пошуку** – це комплекс мовно-алгоритмічних засобів, призначений для зберігання і пошуку в певній множині елементів (документів, стандартів, норм, креслень виконаних конструкцій, патентів, характеристик матеріалів і т. п.) і представлення інформації, що відповідає на запит.

**Підсистема інженерних розрахунків** разом з підсистемою машинної графіки зазвичай застосовується на початковому етапі створення САПР і є сукупністю програмних засобів, призначених для виконання різних розрахунків (геометричних, міцнісних та ін.) у режимі діалогу “людина-машина”.

Робота розвиненої підсистеми інженерних розрахунків тісно пов’язана з використанням різного роду математичних моделей проєктованих об’єктів або процесів, для автоматизованого отримання яких призначена **підсистема моделювання**.

Більшість сучасних САПР, крім обчислювальних, має широкий спектр можливостей для введення, обробки, зберігання і виведення графічної інформації, що реалізуються програмними засобами **підсистеми машинної графіки**.

**Підсистема випробувань** є комплексом програмних засобів, призначених для створення програм управління випробувальним устаткуванням, обробки результатів випробувань, проведення «чисельного експерименту» з використанням математичних моделей об’єкта проєктування і процесу його навантаження.

Чисельний експеримент дуже важливий у процесі проєктування, оскільки дозволяє визначити властивості проєктованого об’єкта без виготовлення дослідних зразків і дає змогу одразу відмовитися від безперспективних варіантів, що значно зменшує витрати часу і матеріальних засобів на створення об’єкта.

**Підсистема виготовлення** призначена підготувати

програми для верстатів і автоматичних ліній з числовим програмним управлінням.

**Підсистема технологічної підготовки виробництва**, як правило, виходить за рамки САПР і є самостійною системою (АСТПВ – автоматизована система технологічної підготовки виробництва).

**Підсистема управління** призначена для об'єднання роботи інших підсистем на різних етапах процесу проектування і виконання функцій координатора у колективному процесі ухвалення рішень.

Не обов'язково в кожній САПР має бути представлений весь набір функціональних підсистем – вони можуть поєднуватися довільно залежно від завдань, що стоять перед системою. Слід зазначити, що всі функціональні підсистеми тісно взаємозв'язані, тому часто неможливо провести між ними чіткі межі.

Так, підсистема машинної графіки може видавати результати у вигляді програми для устаткування з числовим програмним управлінням, що безпосередньо пов'язує її з підсистемами технологічної підготовки виробництва і виготовлення. А підсистема машинної графіки може видавати замість креслень розкрій листового матеріалу, що поєднує її з підсистемою виготовлення.

За призначенням підсистеми поділяють на такі, що проектують, і такі, що обслуговують.

**Підсистеми, що проектують**, реалізують певний етап (стадію) проектування або групу безпосередньо зв'язаних проектних завдань.

До підсистем, що проектують, відносять:

1) підсистему функціонального проектування. На виході цієї системи ми отримуємо функціональну схему пристрою;

2) підсистему конструкторського проектування. На виході отримуємо конструкцію пристрою і конструкторську документацію;

3) підсистему технологічної підготовки виробництва. На

виході отримуємо маршрутну карту виробничого процесу та програми для управління верстатів з числовим програмним управлінням (для управління технологічним обладнанням).

Приклади підсистем, що проектують: ескізне проектування виробів, проектування корпусних деталей, проектування технологічних процесів механічної обробки.

Підсистеми, що проектують, можуть бути *проектно-залежними (об'єктними) і проектно-незалежними (інваріантними)*.

**Проектно-залежні** підсистеми призначені для виконання проектних процедур, специфічних для даного класу об'єктів (наприклад, процедура аналізу випадкових коливань вагонів).

**Проектно-незалежні** підсистеми розраховані на виконання типових проектних процедур і можуть використовуватися для більш широкого класу об'єктів (наприклад, розрахунки на міцність).

**Обслуговуючі підсистеми** мають загальносистемне застосування й забезпечують підтримку функціонування підсистем, що проектують, а також оформлення, передачу й виведення отриманих у них результатів. Їх сукупність часто називають системним середовищем (або оболонкою) САПР.

До обслуговуючих підсистем відносять:

- 1) підсистему інформаційного пошуку;
- 2) підсистему документування;
- 3) підсистему графічного відображення об'єктів проектування.

Типовими обслуговуючими підсистемами є підсистеми управління проектними даними (PDM - Product Data Management), управління процесом проектування (DesPM - Design Process Management), користувальницького інтерфейсу для зв'язку раз працівників з EOM, CASE (Computer Aided Software Engineering) для розроблення і супроводу програмного забезпечення САПР.

**До складу систем, що проектують та обслуговують, можуть входити:**

- 1) експертні системи - містять в основі базу знань. Експертна



система дозволяє формалізувати знання експерта в певній предметній сфері з метою прийняття раціональних проектних рішень;

2) системи прийняття та підтримки прийняття рішень - дозволяють обирати ефективні проектні рішення за умови визначеності і невизначеності вихідної інформації на основі формальних методів і процедур.

### **3.2 Компоненти видів забезпечення САПР**

Забезпечувальна частина – це технічні засоби і документи на машинних і інших інформаційних носіях, які необхідні у процесі проектування.

На відміну від функціональної забезпечувальна частина повинна входити в систему всіма своїми компонентами навіть у разі різного ступеня досконалості кожної з них. За відсутності будь-якої складової забезпечувальної частини не можна говорити про існування САПР у цілому, оскільки всі компоненти тісно взаємозв'язані.

Існуючий вітчизняний і зарубіжний досвід у галузі автоматизації проектування свідчить про те, що розроблення, впровадження і ефективне використання програмних комплексів, призначених для автоматизації процесу проектування реалізованих на базі сучасних ЕОМ, вимагають комплексного вирішення широкого спектра питань: організаційних, технічних, математичних, програмних, лінгвістичних, інформаційних та ін. Вирішення цих проблем базується на відповідних видах забезпечення.

Необхідними компонентами (видами) забезпечення САПР є:

- 1) математичне;
- 2) програмне;
- 3) інформаційне;
- 4) технічне;
- 5) лінгвістичне;
- 6) методичне;
- 7) організаційне.

**1 Математичне забезпечення (МЗ)** - це формульні моделі, отримані на основі аналізу закономірностей предметної сфери:

- методи;

- алгоритми;
- математичні моделі.

Основу математичного забезпечення САПР становлять алгоритми, за якими розробляється програмне забезпечення САПР.

Елементи математичного забезпечення в САПР надзвичайно різноманітні. Серед них є інваріантні елементи — принципи побудови функціональних моделей, методи чисельного вирішення алгебраїчних і диференціальних рівнянь, постановки екстремальних задач, пошуки екстремуму.

Розроблення математичного забезпечення є найскладнішим етапом створення САПР, від якого найбільшою мірою залежать продуктивність і ефективність функціонування САПР у цілому.

За призначенням й способам реалізації МЗ САПР поділяється на дві частини:

- 1) математичні методи й побудовані на їхній основі математичні моделі, що описують об'єкти проектування;
- 2) формалізований опис технології автоматизованого проектування.

Засоби реалізації першої частини математичного забезпечення найбільш специфічні в різних САПР і залежать від особливостей об'єктів проектування.

Що стосується другої частини математичного забезпечення, то формалізація процесів автоматизованого проектування в комплексі виявилася більш складним завданням, ніж алгоритмізація й програмування окремих проектних завдань. При вирішенні цього завдання повинна бути формалізована вся логіка технології проектування, у тому числі логіка взаємодії проектувальників один з одним на основі використання засобів автоматизації.

Математичне забезпечення САПР повинне описувати у взаємозв'язку об'єкт, процес і засоби автоматизації проектування.

У процесі автоматизованого проектування можна виділити певну кількість процедур, інваріантних до об'єктів проектування.

Перспективною для вдосконалювання й типізації технології процесів автоматизованого проектування є централізоване

розроблення математичного апарату моделювання типового процесу проектування й випуск базових програмно-методичних комплексів, що реалізують такі моделі.

**2 Програмне забезпечення (ПЗ).** Програмне забезпечення містить у собі програми для систем обробки даних на машинних носіях і програмну документацію, необхідну для експлуатації програм.

Програмне забезпечення (рисунок 3.3) поділяється:

- на загальносистемне ПЗ, в складі якого Базове ПЗ;
- прикладне (спеціальне) ПЗ.

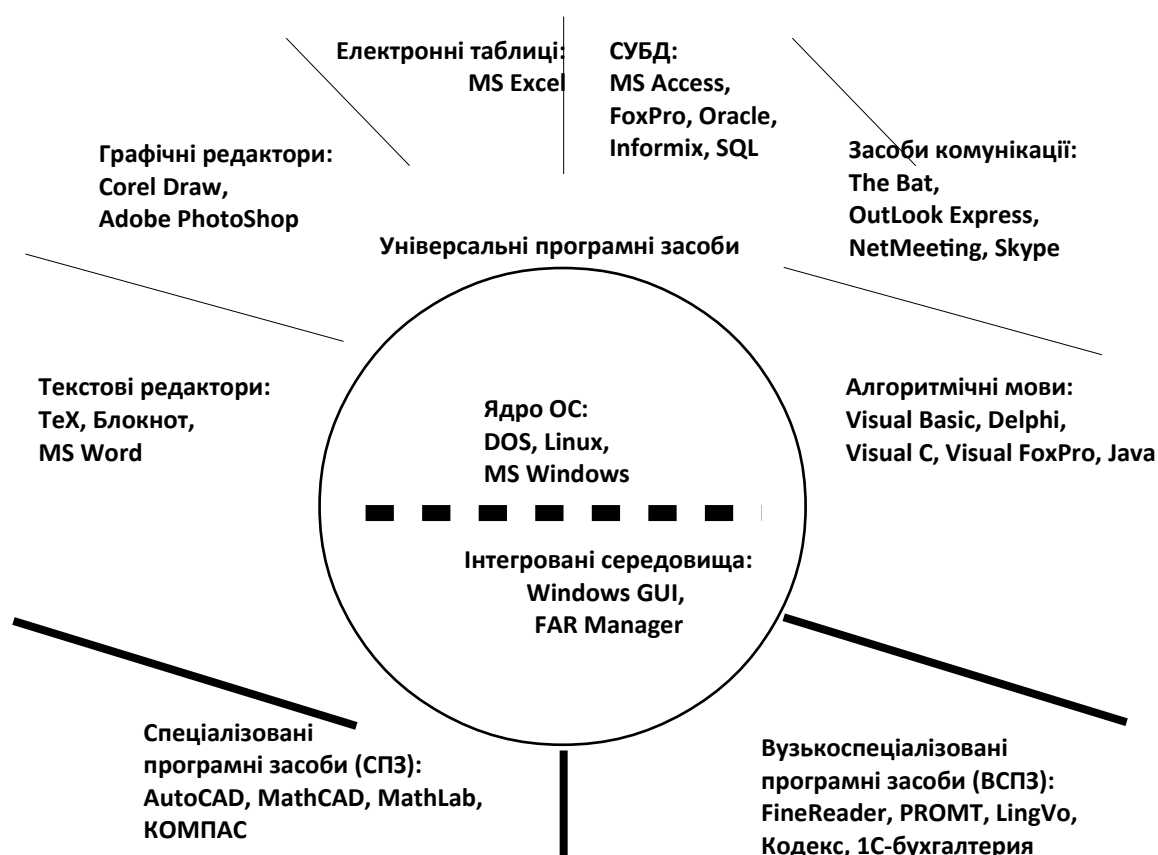


Рисунок 3.3 – Програмне забезпечення автоматизованого проектування

*Загальносистемне ПЗ* призначено для організації функціонування технічних засобів, тобто для планування й керування обчислювальним процесом, розподілу наявних ресурсів, і представлено операційними системами обчислювальних комплексів (ОК). Загальносистемне ПЗ звичайно створюється для багатьох додатків і специфіку САПР не відображує.

Базове ПЗ – інваріантні інформаційні, тестові й графічні системи різних систем управління. Прикладом може служити базове ПЗ для обробки геометричної й графічної інформації, для формування й використання баз даних.

У прикладному (спеціальному) ПЗ (рисунок 3.4) реалізується математичне забезпечення для безпосереднього виконання проектних процедур.



Рисунок 3.4 – Прикладне ПЗ

**3 Інформаційне забезпечення (ІЗ).** Основу інформаційного забезпечення САПР становлять дані, якими користуються проектувальники в процесі проектування безпосередньо для вироблення проектних рішень.

Ці дані можуть бути представлені документами на різних носіях, що містять відомості довідкового характеру про матеріали, що комплектують вироби, типові проектні рішення, параметри елементів, про стан поточних розробок у вигляді проміжних і остаточних проектних рішень, структур і параметрів проєктованих об'єктів і т. п.

При цьому дані, що є результатом одного процесу перетворення, можуть бути вихідними для іншого процесу.

Сукупність даних, використовуваних всіма компонентами САПР, становить інформаційний фонд САПР. Основна функція ІЗ САПР – ведення інформаційного фонду, тобто забезпечення створення, підтримки й організації доступу до даних.

Таким чином, ІЗ САПР є сукупністю інформаційного фонду й засобів його ведення.

До складу інформаційного фонду САПР входять:

- програмні модулі, які зберігаються у вигляді символічних і об'єктних текстів; як правило, ці дані мало змінюються протягом життєвого циклу САПР, мають фіксовані розміри й з'являються на етапі створення інформаційного фонду; споживачами цих даних є

монітори різних підсистем САПР;

- вихідні й результуючі дані, які необхідні при виконанні програмних модулів у процесі перетворення; ці дані часто міняються в процесі проектування, однак їхній тип постійний і повністю визначається відповідним програмним модулем; при організації проміжних даних можливі конфліктні ситуації в процесі узгодження між собою даних різних типів;

- нормативно-довідкова проектна документація (НДПД), що включає в себе довідкові дані про матеріали, елементи схем, уніфіковані вузли і конструкції; ці дані, як правило, добре структуровані; до НДПД належать також державні й галузеві стандарти, матеріали що керують й вказівки, типові проектні рішення, що регламентують документи (слабоструктуровані документальні дані);

- поточна проектна інформація, що відображує стан і хід виконання проекту; як правило, ця інформація слабоструктурована, часто змінюється в процесі проектування й подається у формі текстових документів.

При виборі способів ведення інформаційного фонду САПР важливо сформулювати принципи й визначити засоби ведення інформаційного фонду, структурування даних, вибрати способи керування масивами даних.

Розрізняють такі способи ведення інформаційного фонду САПР: використання файлової системи; побудова бібліотек; використання банків даних; створення інформаційних програм-адаптерів.

Використання файлової системи й побудова бібліотек широко поширено в організації ІЗ обчислювальних систем, тому що підтримується засобами ОС. У додатках до САПР ці способи застосовують при зберіганні програмних модулів у символічних і об'єктних кодах, діалогових сценаріїв підтримки процесу проектування, початкового введення великих масивів вихідних даних, текстових документів. Однак вони малоприсадибні при забезпеченні швидкого доступу до довідковим даних, зберіганні даних, що змінюються, веденні поточної проектної документації, пошуку необхідних текстових документів організації взаємодії між різномовними модулями.

Автоматизовані бази даних являють собою сукупність БД і

СУБД.

**4 Технічне забезпечення САПР.** Використання комп'ютерної техніки дозволило значно знизити трудомісткість і тривалість обчислювальних робіт. Але в процесі проектування виробів і технологічних процесів частка безпосередньо обчислювальних робіт не перевищує 15%. Автоматизація проектування зажадала випуску спеціалізованих засобів САПР.

Технічне забезпечення САПР являє собою сукупність взаємозалежних і взаємодіючих технічних засобів, призначених для виконання автоматизованого проектування.

Компоненти технічного забезпечення (рисунок 3.5):

- обчислювальна техніка;
- оргтехніка;
- засоби передачі даних;
- вимірювальні й інші пристрої.



ЗЗП – зовнішні запам'ятовуючі пристрої; ПБВВ – пристрої введення-виведення інформації; ПОЗ – пристрої оперативного зв'язку; ПМГ – пристрої машинної графіки; ППД – пристрої підготовки даних; НМД, НГМД, НМС – накопичувачі на магнітних дисках, на гнучких магнітних дисках, на магнітних стрічках

Рисунок 3.5 – Склад технічних засобів САПР  
**Функції технічних засобів (розв'язвані задачі):**

- введення вихідних даних опису об'єкта проектування (введення зображення за допомогою пристрою введення-виведення (клавіатура, миша);
- відображення введеної інформації з метою її контролю й редагування (одержання зображення на екрані);
- перетворення інформації (зміна форми подання даних, перекодування, трансляція, виконання арифметичних і логічних операцій, зміна структури даних і т. д.);
- відображення підсумкових і проміжних результатів рішення;
- документування проектної інформації (креслення оформлені відповідно до ЄСКД);
- оперативне спілкування проектувальника з системою в процесі вирішення завдання.

Будь-які обчислювальні комплекси САПР, у тому числі й АРМ, повинні включати необхідну кількість периферійних пристроїв для введення й відображення інформації: графічні дисплеї з високою розв'язною здатністю, високоточні рулонні й планшетні графопобудовники різного формату (рисунок 3.6), кодувальники векторної графічної інформації (дигітайзери), пристрої зняття растрової копії з зображення (сканери), накопичувачі на переносних магнітних і оптичних дисках і компакт-касетах, накопичувачі на жорстких дисках, функціональні клавіатури, пристрої зв'язку з іншими комп'ютерами по локальній мережі, телефонної лінії (модеми) і через Інтернет.



Рисунок 3.6 – Широкоформатний струменевий плотер

Графічні пристрої складаються з дисплейного процесора, пристрою відображення або дисплейного пристрою (монітор) і

пристроїв введення.

Дисплей є екраном, на який виводиться графічне зображення проте виведення конкретного зображення на екран виконується дисплейним процесором. Іншими словами, дисплейний процесор одержує сигнали, якими кодує графічні команди і генерує електронні пучки, направляючи їх у потрібне місце монітора та утворюючи необхідне зображення.

До складу графічних пристроїв зазвичай належать один або декілька пристроїв введення. Крім клавіатури до них відносяться миша, спейсбол, цифровий планшет, 3D-маніпулятори та інші пристрої (рисунок 3.7). Вони забезпечують інтерактивне маніпулювання формами, даючи користувачеві можливість вводити графічні дані в комп'ютер безпосередньо.

Векторні графічні пристрої з'явилися у середині 60-х років ХХ століття Вони складаються з дисплейного процесора, дисплейного буфера пам'яті і монітора. Дисплейний процесор зчитує дисплейний файл, який є послідовністю кодів, що відповідають графічним командам. Дисплейний процесор здійснює також завантаження дисплейного файлу в дисплейний буфер.



а – цифровий планшет (дигітайзер) з маніпулятором миша;  
б – спейсбол; в – 3D-маніпулятор; г – маніпулятор типу CadMan

Рисунок 3.7 – Пристрої введення графічної інформації

Растрові графічні пристрої з'явилися у середині 70-х років ХХ століття у результаті широкого розповсюдження телевізійних



технологій. Відтоді вони стали основним видом графічних пристроїв завдяки високому співвідношенню «якість-ціна». Дисплейний процесор приймає графічні команди від додатка, перетворює їх у точкове зображення, або растр, після чого зберігає растр у розділі пам'яті, який називається буфером кадру. Розміри точок визначаються встановленою роздільною здатністю.

Растрові графічні пристрої повинні зберігати у своїй пам'яті зображення у вигляді растра, на відміну від векторних, які зберігають лише дисплейні файли. Тому вимоги щодо пам'яті у цих двох видів пристроїв відрізняються, як і методи оновлення зображення на екрані.

За необхідності створення зв'язку САПР із технологічним устаткуванням до складу технічних засобів мають бути включені пристрої, що перетворюють результати проектування в сигнали керування верстатами, різними технологічними комплексами.

У перспективі передбачається перехід до магістрально-модульної архітектури АРМ, що припускає, зокрема, стандартизацію апаратно-програмних інтерфейсів, у модифікаціях АРМ буде використана стандартна конструктивна база, побудована на міжнародних стандартах.

**5 Лінгвістичне забезпечення САПР.** Це – мови опису й обміну даними. Розробляється на основі математичного забезпечення й включає:

- мови розроблення систем (найчастіше це мови програмування й мови інструментальних засобів).
- мови проектування, призначені для запису моделей предметної сфери, формування вихідних даних, діагностики процесів проектування й подання результатів проектування.

Основу лінгвістичного забезпечення САПР становлять спеціальні мовні засоби, призначені для опису процедур автоматизованого проектування й проектних рішень (рисунок 3.8). Основна частина лінгвістичного забезпечення — мови спілкування людини з комп'ютером.

Проблемно-орієнтовані мови (ПОМ) проектування аналогічні універсальним алгоритмічним мовам програмування

(ПАСКАЛЬ, СІ та ін.), але відрізняються функціональною термінологією операторів.

В одних випадках ПОМ будують таким чином, що опис будь-якого завдання для його вирішення в основному містить оригінальні терміни фізичного й функціонального змісту. Перехід від фізичного й функціонального опису завдання до комп'ютерних програм реалізується далі автоматично за допомогою транслятора.

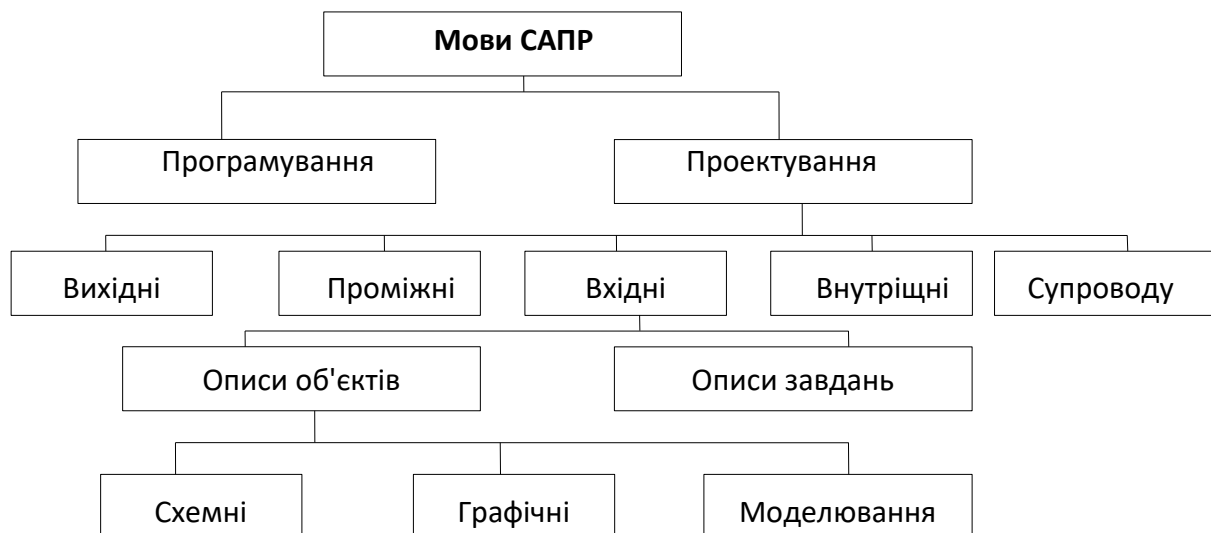


Рисунок 3.8 – Мовні засоби САПР

В інших випадках, наприклад, при розв'язанні геометричних задач інженерного типу, ПОМ з'єднує в собі засоби алгоритмічної мови високого рівня для розв'язання обчислювальних математичних задач і спеціальні мовні засоби моделювання геометричних об'єктів. Транслятор алгоритмічної мови високого рівня доповнено необхідними спеціальними програмами.

Очевидно, що ПОМ, хоча й називаються мовами, насправді являють собою комплекси лінгвістичних і програмних засобів, які повинні включати таке: набір термінальних символів ПОМ; інтерпретатор з ПОМ; засоби синтаксичного аналізу; засоби пакетування директив; бібліотеки базових функцій ПОМ; інтерфейс для зв'язку СУБД.

*Можливості ПОМ мають винятково важливе значення в автоматизованому проектуванні. Вони не тільки впливають на продуктивність і рівень автоматизації проектування, але й*

*визначають складність і характер робіт проєктувальників із засобами САПР, можуть зробити ці роботи більш привабливими або навпаки. В останньому випадку проєктувальники будуть явно й неявно протидіяти автоматизації.*

**Діалогові мови** призначені для забезпечення діалогового режиму функціонування САПР. Діалогова мова поєднує в собі вхідні, вихідні й супровідні засоби, служить для оперативного обміну інформацією між людиною й ЕОМ.

Розрізняють пасивні й активні діалогові мови, які використовують для організації відповідно пасивних і активного діалогових режимів.

У пасивному діалоговому режимі ініціатива діалогу належить ЕОМ. У заздалегідь певних точках виконання програми передбачається можливість переривання обчислювального процесу й звернення системи до користувача.

Повідомлення системи будуються таким чином, що від користувача потрібні відповіді типу «так» або «ні» або вибір відповіді з даного меню.

В активному діалоговому режимі ініціатива початку діалогу може бути двосторонньою, тобто можливості переривання обчислювального процесу належить як ЕОМ, так і користувачеві.

Активні діалогові мови можуть бути близькими до природної мови людини, але з обмеженим набором можливих слів і фраз. Разом з тим кількість різних директив, тобто приписань для обчислювальної системи, може бути порівняно великою. Для активного діалогу потрібно істотно більш складне ПЗ, ніж для пасивного.

**6 Методичне забезпечення САПР.** Під методичним забезпеченням САПР розуміють стандарти, нормативи й ін. документи, що входять до її складу і регламентують порядок її експлуатації:

- документи, що визначають порядок створення, адаптації, розвитку підсистем, засобів забезпечення і їхніх компонентів;
- документи, що визначають правила експлуатації основних підсистем.

*Причому документи, що стосуються до процесу створення САПР, не входять до складу методичного забезпечення. Оскільки документи методичного забезпечення носять в основному інструктивний характер і їхнє розроблення є процесом творчим, то про спеціальні способи реалізації даного компонента САПР говорити не доводиться.*

**7 Організаційне забезпечення САПР.** Включає положення, інструкції, накази, штатні розклади, кваліфікаційні вимоги та інші документи, що регламентують організаційну структуру підрозділів проектної організації та взаємодію підрозділів із комплексом засобів автоматизованого проектування.

Функціонування САПР можливе тільки за наявності й при взаємодії перерахованих засобів автоматизованого проектування.

### **3.3 Класифікаційні ознаки САПР**

САПР необхідно розглядати як нерозривне поєднання «користувачі –технічні засоби – ПЗ проектування». Керуючись цим принципом, основні класифікаційні характеристики систем розбито на групи.

Відповідно до Держстандарту формалізований опис САПР містить у собі коди класифікаційних угруповань САПР за встановленими стандартом ознаками класифікації; найменування класифікаційних угруповань, що відповідають наведеним кодам; вказівки, відповідно до яких класифікаторами, стандартами або методиками визначено коди кожного класифікаційного угруповання.

САПР характеризують такі ознаки (рисунок 3.9):

#### **1 Загальні характеристики:**

- цільове призначення;
- тип об'єкта проектування;
- спосіб організації інформаційних потоків.

#### **2 Програмні характеристики:**

- спеціалізація програмних засобів;
- характер базової системи;
- спосіб організації внутрішньої структури САПР;
- можливість функціонального розширення;
- можливість обміну інформацією;
- спосіб створення змінюваних прототипів;
- методи моделювання функціонування виробів.

### **3 Технічні характеристики:**

- за використовуваними засобами обчислювальної техніки;
- використовуваним периферійним устаткуванням;
- способом об'єднання технічних засобів;
- кількістю рівнів у структурі технічного забезпечення.

### **4 Ергономічні характеристики:**

- за підтримкою візуалізації;
- зручністю діалогу системи з користувачем.

### **5 Різновид об'єктів проектування:**

- складність об'єкта проектування;
- рівень автоматизації проектування;
- за ступенем формалізації вирішуваних завдань;
- комплексність автоматизації проектування;
- характер проектних документів, що випускаються;
- кількість проектних документів, що випускаються;
- кількість рівнів у структурі технічного забезпечення САПР.

Для одержання навіть загального уявлення про конкретну САПР вона має бути оцінена за усіма перерахованими ознаками.

Розглянемо їх докладніше.

Загальні характеристики визначають функціонування САПР як єдиного цілого.

**Цільове призначення.** Розрізняють САПР або підсистеми САПР, що забезпечують різні аспекти проектування:

- конструкторські САПР (CAD);
- Технологічні САПР (CAM);
- САПР функціонального проектування (CAE);
- САПР керування виробничою інформацією (PDM).

Так з'являються CAD/CAM/CAE-системи.

**Тип об'єкта проектування.** Держстандарт передбачає розподіл САПР на дев'ять груп (рисунок 3.10):

- 1 САПР виробів машинобудування.
- 2 САПР виробів приладобудування.
- 3 САПР технологічних процесів у машино- і приладобудуванні.
- 4 САПР об'єктів будівництва.
- 5 САПР технологічних процесів у будівництві.
- 6 САПР програмних виробів.
- 7 САПР організаційних систем.

Інші групи (8 і 9) є резервними й призначені для виділення й кодування САПР, що не належать до перерахованих угруповань.

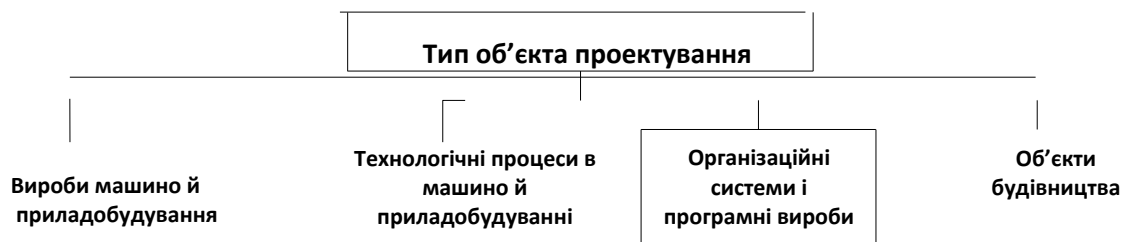


Рисунок 3.10 – Класифікація за типом об'єкта проектування

**За способом організації інформаційних потоків:**

- індивідуальні АРМ;
- розподілена однорівнева система;
- розподілена багаторівнева система;
- інтегрована багаторівнева система;
- інтегрована система управління підприємством.

Програмні характеристики розділяють системи за окремими

особливостями програмних рішень:

### **1) за спеціалізацією програмних засобів:**

- спеціалізовані системи;
- універсальні системи;
- комплексні системи;

### **2) за характером базової системи:**

- САПР на базі підсистем машинної графіки й геометричного моделювання (графічне ядро). Орієнтовані на додатки, де основною процедурою проектування є конструювання, тобто визначення просторових форм і взаємного розташування об'єктів. Тому до цієї групи систем відноситься більшість графічних ядер САПР у галузі машинобудування;

- САПР на базі СУБД. Орієнтовані на додатки, у яких при порівняно нескладних математичних розрахунках переробляється великий обсяг даних. Такі САПР переважно зустрічаються в техніко-економічних додатках, наприклад при проектуванні бізнес-планів, але мають місце також при проектуванні об'єктів, подібних до щитів управління в системах автоматики;

- САПР на базі конкретного прикладного пакета. Автономно використовувані програмно-методичні комплекси, наприклад імітаційного моделювання виробничих процесів, розрахунку міцності за методом кінцевих елементів, синтезу й аналізу систем автоматичного управління й т. п. Прикладами можуть служити програми логічного проектування на базі мови VHDL, математичні пакети типу MathCAD;

- Комплексні (інтегровані) САПР. Складаються з сукупності підсистем попередніх видів. Характерними прикладами комплексних САПР є CAE/CAD/ CAM-системи в машинобудуванні або САПР ВІС. Для управління такими системами застосовують спеціалізовані системні середовища.

### **3) за способом організації внутрішньої структури САПР:**

- нерозширювані системи;



- масштабовані модульні системи (навколо ядра);

#### **4) за можливістю функціонального розширення:**

- закриті системи;
- системи з інтерфейсом, що надбудовується користувачем;
- системи з пакетною обробкою команд (сценарії в текстовому файлі);
- системи з убудованою макромовою й бібліотекою функцій;
- системи з можливістю підключення зовнішніх модулів;
- інструменти розробника САПР (розроблення модулів і додатків).

Важливе значення для забезпечення відкритості САПР, її інтегрованості з іншими автоматизованими системами мають інтерфейси, що подаються реалізованими в системі форматами міжпрограмних обмінів. Очевидно, що в першу чергу необхідно забезпечити зв'язок між CAE, CAD і CAM-підсистемами;

#### **5) за можливістю обміну інформацією:**

- замкнені системи – зберігають дані у своєму власному внутрішньому форматі, не дозволяють обмінюватися інформацією з іншими системами;
- системи з текстовими файлами обміну інформацією – зберігають і зчитують інформацію про окремі геометричні примітиви у вигляді масивів цифр, розподілених пробілами або комами;
- системи зі стандартними засобами обміну інформацією – дозволяють зберігати і зчитувати повну інформацію про створені моделі виробів у спеціальному текстовому або двійковому форматі, що описує всі об'єкти моделі в спеціальних термінах опису графічних примітивів з відповідними їм числовими значеннями;

#### **6) за способом створення змінюваних прототипів:**

- незмінні готові блоки;

- елементи, програмно формовані в зовнішніх модулях;
- елементи, що задаються параметрично;
- адаптивно-змінювані елементи;
- комбіновані методи;

**7) за методами моделювання функціонування виробів:**

- без спеціальних методів;
- перевірні розрахунки з використанням МСЕ;
- спеціалізовані підсистеми моделювання.

Технічні характеристики визначають особливості використовуваних у САПР засобів обчислювальної техніки й периферійного встаткування;

**8) за використовуваними засобами обчислювальної техніки:**

- персональні комп'ютери;
- робочі станції;

**9) за використовуваним периферійним устаткуванням:**

- САПР мінімальної конфігурації;
- технічно розвинені САПР;

**10) за способом об'єднання технічних засобів:**

- автономні робочі станції;
- багатотермінальні ЕОМ;
- однорангова локальна мережа;
- локальна мережа з виділеним сервером;
- гетерогенна мережа зі складною структурою;

**11) за кількістю рівнів у структурі технічного забезпечення виділяють одно-, дво-, і трирівневі САПР.**

Основу **однорівневого** комплексу технічних засобів (КТЗ) становлять комп'ютери середнього або високого класу, у яких виконується програмна обробка даних і здійснюється їхнє

зберігання, і штатний набір периферійних пристроїв. При використанні обчислювальної техніки КТЗ називають АРМ.

В однорівневих САПР використовуються єдина моніторна система, бази даних і пакети прикладних програм, орієнтовані на більшість комп'ютерів. Термінальні мікропроцесори програмно сумісні з сервером і служать або для підготовки завдань до рішення на сервері, або для вирішення простих завдань за допомогою тих самих програмних і інформаційних засобів. Один з рівнів САПР становлять один чи більше комп'ютерів. Цей рівень називається центральним обчислювальним комплексом (ЦОК).

Для ефективного зв'язку користувача з САПР і вирішення великої кількості менш складних завдань доцільно мати в САПР другий рівень, називаний інтерактивно-графічним комплексом (ІГК). На кожному з рівнів ЦОК і ІГК є свої ППП для виконання подібних за змістом проектних процедур, але орієнтованих на різні вимірності задач.

**Дворівневі САПР** можуть мати радіальну й кільцеву структуру. Остання відповідає об'єднанню АРМ у кільцеву або ієрархічну обчислювальну мережу. У такий САПР функції моніторної системи й СУБД розподілено по вузлах обчислювальної мережі.

**Трирівневі САПР**, крім технічних засобів дворівневої системи, повинні включати периферійне програмно-кероване встаткування, наприклад креслярські графопобудовники, установки для виготовлення фотошаблонів, комплекси для контролю програм до верстатів зі ЧПУ.

Ергономічні характеристики – оцінюють ефективність взаємодії користувача із програмно-технічними засобами САПР:

**1) за зручністю діалогу системи з користувачем:**

- з інтуїтивним і зручним користувальницьким інтерфейсом;
- з користувальницьким інтерфейсом, що вимагає довгого вивчання;

**2) за підтримкою візуалізації:**

- двовимірні системи;

- тривимірні каркасні;
- тривимірні з видаленням схованих ліній;
- тривимірні зі світлотіньовим розфарбуванням;
- тривимірні з фотореалістичним відображенням.

## Різновид об'єктів проектування

Держстандарт не встановлює спеціальних позначень на об'єкти проектування, а вимагає їхнього зазначення й кодування відповідно до діючих у кожній галузі промисловості систем позначення документації на об'єкти, проектизовані системою.

САПР за складністю об'єкта проектування можна наведено на рисунку 3.11.

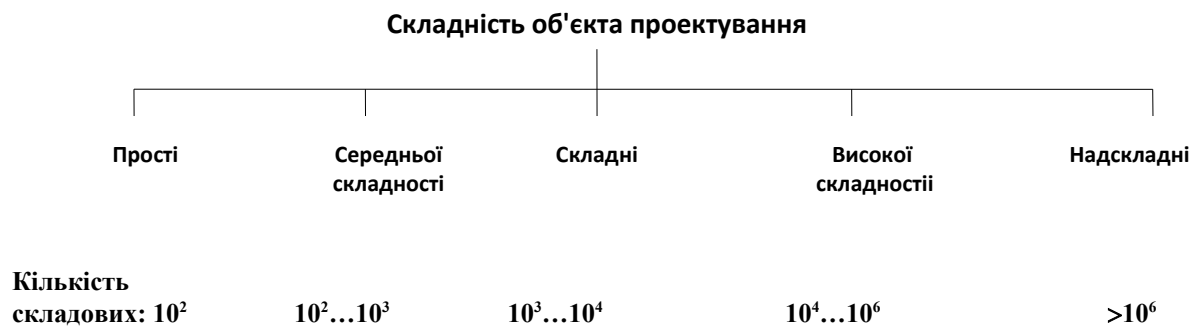


Рисунок 3.11 – Класифікація за складністю об'єкта проектування

Складовою частиною об'єкта проектування, що являє собою технічний комплекс, спорудження або виріб, є деталь. Якщо об'єктом проектування буде технологічний процес, то виділити його складові частини складніше. Існує два підходи, один із яких заснований на поділі технологічного процесу на елементарні технологічні операції, інший — на поділі об'єкта на частини умовно відповідно до номенклатури технологічної документації, що випускається.

За ступенем формалізації вирішуваних завдань САПР можуть спеціалізуватися на вирішенні:

- повністю формалізованих завдань;
- частково формалізованих завдань;
- неформалізованих завдань.

Системи побудовані на вирішенні завдань, що повністю формалізуються, для проектування складних конструкцій зазвичай не придатні, оскільки математичні моделі об'єктів проектування і процесів їх функціонування настільки складні, що повний і точний їх математичний опис на сьогоднішній день неможливий. Такі системи можуть застосовуватися тільки для вирішення простих завдань проектування.

Системи побудовані на вирішенні завдань, що не формалізуються, у даний час знаходяться у стадії досліджень і розроблення ("штучний інтелект") і для проектування також не застосовуються.

Слід зазначити, що в обох випадках процес проектування відбувається без втручання людини. Таким чином, ідеться про системи не автоматизованого, а автоматичного проектування.

Для багатьох галузей промислового виробництва на сьогодні придатні тільки системи, побудовані на вирішенні завдань, що частково формалізуються.

Безумовно, частина завдань, пов'язаних з проектуванням деяких простих елементів конструкції, може бути вирішена з використанням автоматичного проектування, але для проектування складних агрегатів і систем сьогодні повна автоматизація неможлива.

Крім того, якщо йдеться про такі поняття, як форма пристрою, деталі інтер'єру, то на їх конструкцію, крім функціональних вимог (аеродинамічні властивості, ергономіка, безпека), впливають і суб'єктивні фактори, наприклад мода, що також неможливо описати мовою математичних залежностей.

**За рівнем автоматизації проектування виділяють такі системи проектування, які наведені на рисунку 3.12.**



Рисунок 3.12 – Класифікація за рівнем автоматизації проектування

Щоб віднести САПР до третьої групи, у ній повинні бути використані методи різноманітного оптимального проектування.

**За комплексністю автоматизації проектування розрізняють такі САПР, що наведено на рисунку 3.13.**



Рисунок 3.13 – Класифікація за рівнем комплексності автоматизації проектування

Якщо система автоматизації охоплює один з етапів проектування відповідного об'єкта, то її відносять до першої групи. Під комплексною САПР розуміється автоматизація всіх етапів проектування.

**За характером проектних документів, що випускаються, встановлено п'ять класифікаційних груп САПР, що випускають документи (рисунок 3.14):**

- на паперовому носії;
- на машинних носіях;
- на фотоносіях (у вигляді мікрофільмів, фотошаблонів та ін.);

- комбіновані (виконують документи на двох носіях даних або більше);
- резервне угруповання.

За кількістю проектних документів, що випускаються розрізняють САПР, наведені на рисунку 3.14.

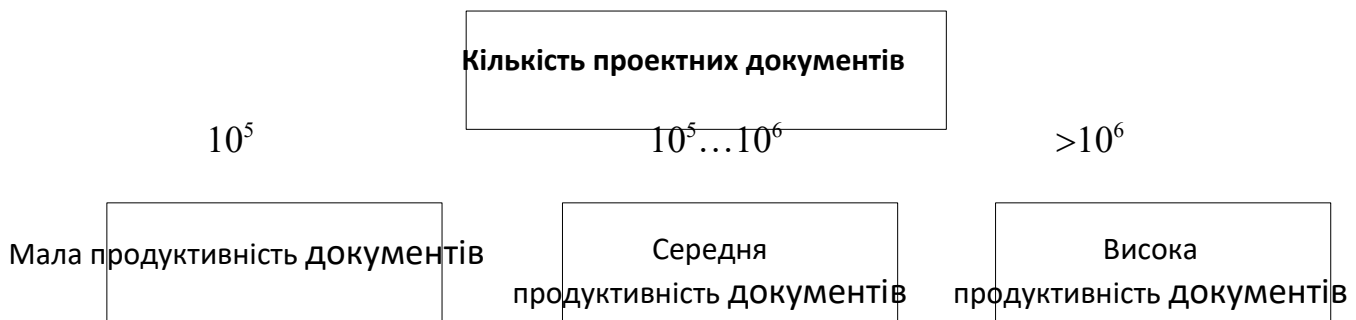


Рисунок 3.14 – Класифікація за кількістю проектних документів

При цьому кількість проектних документів у рік у перерахуванні на формат А4 коливається від  $10^3$  до  $10^6$ .

## РОЗДІЛ 4. ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ НАУКОМІСТКИХ ОБ'ЄКТІВ

### 4.1 Роль САПР у виробничому циклі

Сукупність видів діяльності й функцій, необхідних для здійснення проекту й виготовлення виробів, називається виробничим циклом. Характер цього циклу визначається замовниками виробів і потребами ринків збуту. Виробничий цикл може активізуватися різними шляхами залежно від особливостей тієї або іншої групи замовників-споживачів. В одних випадках функції проектування виконує сам замовник, а виготовлення виробу — сторонні фірми, в інших й проектування й виробництво виконує та сама фірма.

Однак, як би це не відбувалося, виробничий цикл завжди починається з вироблення концепцій нового виробу (тобто виникнення певної ідеї). Спочатку концепція нового виробу опрацьовується, потім у деталях уточнюється, аналізується,

удосконалюється й після конструктивного розроблення втілюється в план виконання нового виробу. Цей план підкріплений документацією у вигляді набору конструктивних креслень, що показують, як має виготовлятися виріб, і сукупності технічних описів, специфікацій, що відображують принципи функціонування виробу. Цим завершується діяльність по проектуванню, якщо не змінювати конструкцію виробу протягом усього життєвого циклу.

Наступним видом діяльності стає *виготовлення виробу, що починається зі складання плану, який визначає послідовність операцій, необхідних для виконання виробу*. Іноді можуть знадобитися нове обладнання, інструмент і оснащення (рисунки 4.1, 4.2).

На етапі складання графіка виробництва обирається план, відповідно до якого фірма фактично бере на себе зобов'язання випустити певну кількість виробів у конкретний термін. Після того як сформовано плани-графіки по всіх виробках, вони запускаються у виробництво і потім проходять через операції контролю якості й відвантаження замовникові [2].

Об'єктом автоматизації проектування є вся сукупність дій проектувальників, що розробляють виріб або технологічний процес, і таких, що оформляють результати розробок у вигляді конструкторської, технологічної й експлуатаційної документації.

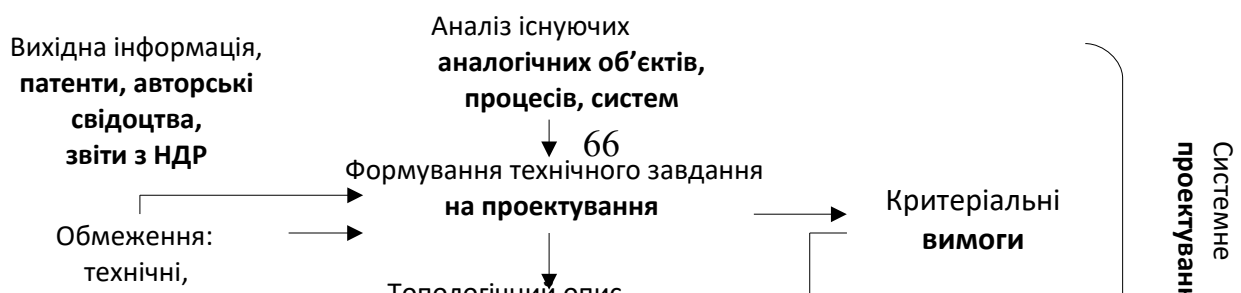
Система управління виробничою інформацією – інструментальний засіб, що допомагає адміністраторам, конструкторам та іншим фахівцям управляти як даними, так і виробничими розробками виробу на сучасних виробничих підприємствах або групі підприємств. На рисунку 4.3 як приклад наведено узагальнену схему процесу автоматизації проектування.







Рисунок 4.2 – Структурна модель САПР технологічних процесів



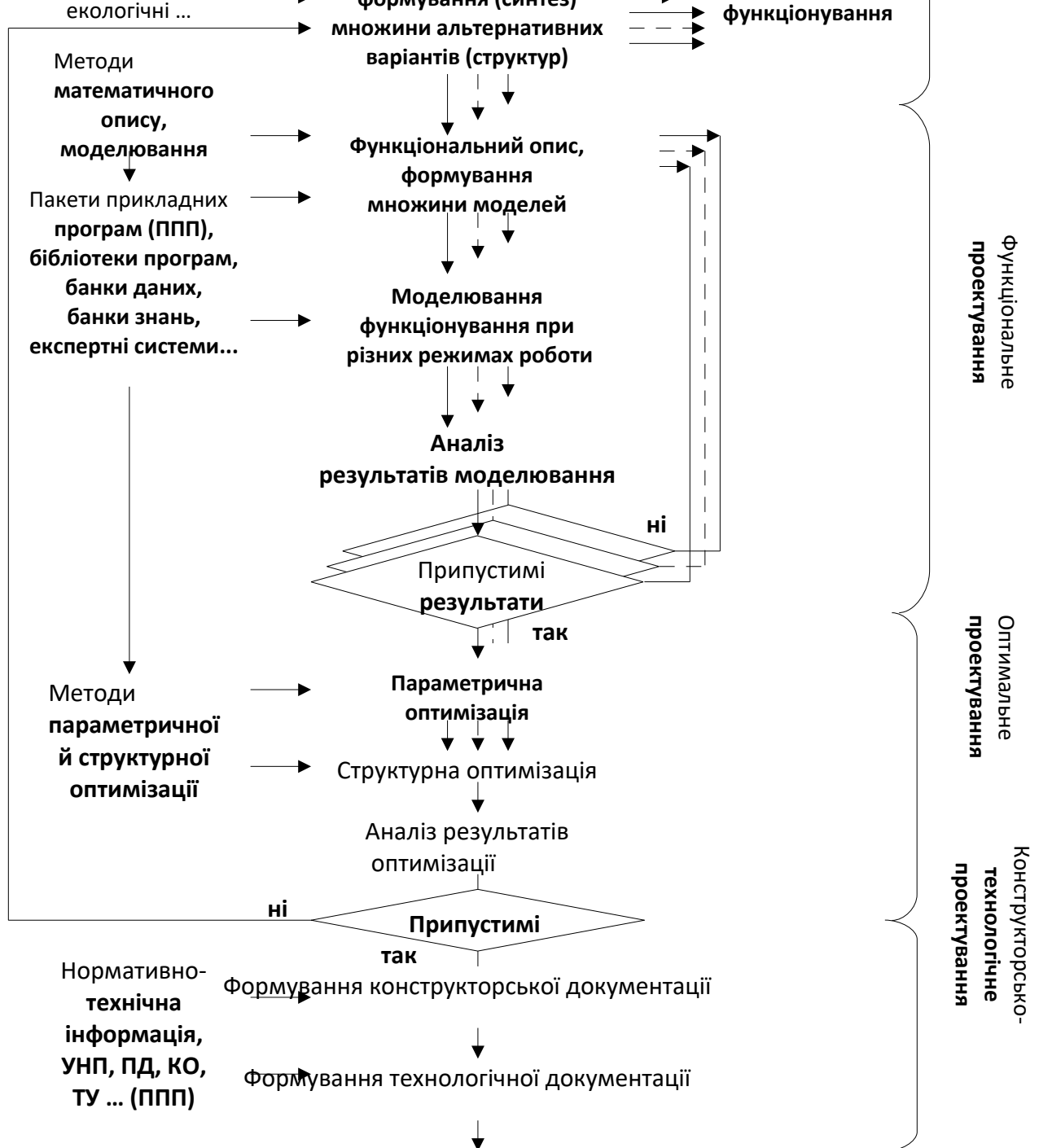


Рисунок 4.3 – Узагальнена схема процесу автоматизації проектування

у виробничій сфері зростає значущість таких факторів [15].

- технологічні бази знань, що є об'єднанням банків даних і процедур формування технологічних рішень, що дозволяють враховувати сформовані технологічні традиції, накопичувати інженерний досвід, зберігати особливості індивідуальних стратегій проектування;
- інтегроване інформаційне середовище завдяки колективному використанню даних і погодженому вирішенню окремих завдань має забезпечити створення виробів у встановлений термін і з мінімальними витратами;
- імітаційне моделювання, застосовуване при проектуванні для оперативної оцінки рішень, дозволяє виключити невиправдані витрати й втрати часу, пов'язані з прийняттям помилкових рішень.

Конкретні програмно-технічні комплекси підготовки виробництва можуть вводитися в експлуатацію або в рамках глобального проекту інформатизації виробів на основі відпрацьованої конфігурації системи, або за окремими замовленнями для вирішення тих або інших локальних конструкторсько-технологічних завдань. У кожному разі програма введення в експлуатацію конкретних систем логічно розпадається на два принципових рівні:

1 Системи високого рівня для складних виробів і процесів, що базуються на робочих станціях під OS UNIX (Sun Microsystems) і використовують технологію електронного визначення виробу.

До них належать універсальні повномасштабні CAD/CAE/CAM-системи, що призначені для комплексної автоматизації процесів конструювання й технологічної підготовки виробництва і містять широкий набір модулів різного функціонального призначення (CADD5, I-DEAS, Pro/ENGINEER та ін.).

2 Системи для виробів і процесів середнього рівня складності, що базуються на персональних комп'ютерах під MS DOS/Windows або дешевих робочих станціях. Дані системи можуть використовуватися як автономні самостійні системи, так і включатися до складу повномасштабних CAD/CAE/CAM-систем.

До таких систем можна віднести спеціалізовані програмні комплекси й CAD/CAM-системи середнього рівня (AutoCAD, T-Flex, TopCAD, Credo, PEPS та ін.).

## 4.2 Види виробів. Види конструкторських документів

На технічну систему можна дивитися з трьох сторін:

- як на виріб – складальні одиниці (СО) і деталі (умовно-монолітні деталі – МД) (рисунок 4.4). Це результат виготовлення й складання (попередметна декомпозиція);

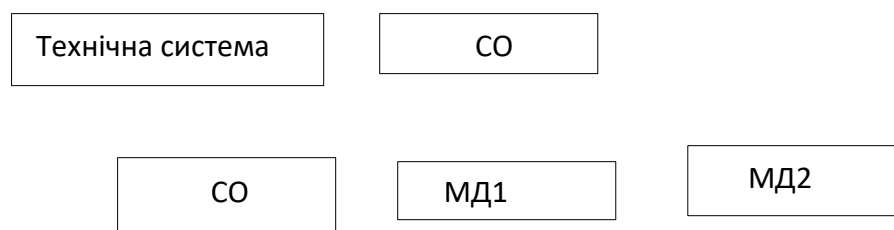


Рисунок 4.4 – Приклад структури технічної системи як виробу

- як на пристрій - об'єкт, готовий зробити корисний ефект. Доцільним є розподіл пристрою на функціональні елементи (функціональна декомпозиція) (рисунок 4.5);
- як на процес – зміна станів функціонуючої технічної системи. Це може бути функціонуюча технічна система в сукупності, що характеризується зміною станів.

Складовою частиною проєктованого виробу є деталь.

Складовою частиною технологічного процесу є елементарна технологічна операція.

**Види виробів.** Держстандарт встановлює такі види виробів:

Деталь – виріб, що не має складових частин і виготовлений з однорідного за найменуванням і маркою матеріалу без застосування складальних операцій. До деталей також належать вироби, виготовлені з застосуванням місцевого паяння, зварювання, склеювання і т. п.

Складальна одиниця – виріб, складові частини якого підлягають з'єднанню на підприємстві-виготівнику складальними операціями (згвинчуванням, зчленуванням, клепаанням, зварюванням, пресуванням, розвальцюванням і т. п.).

Комплекс – два або більше специфікованих виробів взаємозалежного призначення, не сполучених на підприємстві-виготівнику складальними операціями, але призначених для виконання взаємозалежних експлуатаційних функцій (наприклад, комплекс приладів).

Комплект – два або більше виробів, не сполучених на підприємстві-виготівнику складальними операціями і уявляючих собою набір виробів, що мають загальне експлуатаційне призначення допоміжного характеру (наприклад, запасні інструменти).



Рисунок 4.5 – Приклади пристроїв – елементів рухомих одиниць

**Види конструкторських документів.** Стандартами ЄСКД передбачено такі види графічних і текстових конструкторських документів:

- *креслення деталі* — зображення деталі і дані, необхідні для її виготовлення і контролю;
- *складальне креслення (СК)* — зображення виробу з даними, необхідними для його складання і контролю;
- *креслення загального вигляду (ВЗ)* — зображення конструкції виробу, що дає уявлення про взаємодію його складових частин і принципи роботи;
- *габаритне креслення (ГК)* — контурне (спрощене) зображення виробу з габаритними, установлювальними і

приєднувальними розмірами;

- *монтажне креслення (МК)* — контурне зображення виробу, що містить дані, необхідні для його установа (монтажу) на місці застосування;

- *схема* — умовне зображення або позначення складових частин виробу і зв'язку між ними;

- *специфікація* — склад складальної одиниці, комплексу або комплекту;

- *пояснювальна записка (ПЗ)* — обґрунтування побудови і принципу дії розроблюваного виробу, а також обґрунтування прийнятих при його розробленні техніко-економічних рішень;

- *технічні умови (ТУ)* — експлуатаційні показники виробу і методи контролю його якості;

- *програма і методика випробувань (ПМ)* — технічні дані, які підлягають перевірці при випробуванні виробу, а також порядок і методи контролю його якості;

- *розрахунки (РР)* — розрахунки величин і параметрів;

- *відомості: специфікацій (ВС), покупних виробів (ВП), документів, на які посилаються (ВД), і т. п.*

### 4.3 Оформлення конструкторської документації

Різке зростання кількості вирішуваних за допомогою комп'ютерів завдань обумовило стрибкоподібне збільшення кількості електронних документів. Чим більше документів, тим важче згадати, де лежить необхідне креслення, і чи є воно взагалі.

Важливим класом об'єктно-орієнтованих систем є системи, що засновані на мережевих технологіях і мають мету спільного доступу до документів, ведення проектів і системи управління виробництвом.

Підсистема підготовки конструкторської документації — спеціалізоване середовище, призначене для створення креслень, їхнього редагування, а також для одержання різних видів специфікацій вручну або в автоматизованому режимі.

Склад підсистеми:

- засоби розроблення конструкторських креслень;
- засоби підготовки супровідної документації.

Системи документообігу, як правило, є невід'ємною частиною універсальних CAD-CAM-CAE-систем, однак їх можна використовувати автономно від даних систем. Поряд із тривимірною геометричною моделлю виробу конструкторська документація являє собою іншу складову інтегрованої комп'ютерної моделі цього виробу.

Тенденція при наскрізному інформаційному супроводі виробів: втрата провідного місця (значущості) креслення як проміжного інтерфейсу в ланцюжку конструктор – виробниче встаткування.

Необхідність креслень обумовлюється такими причинами:

- створення додаткового архіву на паперових носіях;
- передача конструкторської документації підприємствам-суміжникам, де комп'ютерні технології застосовуються обмежено;
- забезпечення працівників наочними матеріалами, що дозволяють виконувати візуальний контроль процесу виготовлення виробу.

*Види схем* позначаються такими літерами:

Е — електрична, Г — гідравлічна, П — пневматична, К — кінематична, С — комбінована, Л — оптична, В — вакуумна, Х — газова, А — автоматизації.

*Типи схем* позначаються такими цифрами:

1 — структурна, 2 — функціональна, 3 — принципова, 4 — з'єднань, 5 — підключень, 6 — загальна, 7 — розташування, 8 — інші схеми (наприклад, схема електрична функціональна позначається Е2).

#### **4.4 Інформація про виріб і процеси життєвого циклу виробу**



Основні етапи життєвого циклу (ЖЦ) виробу (рисунок 4.6):

- маркетингові дослідження потреб ринку;
- науково-дослідні й дослідно-конструкторські роботи (НДДКР);
- підготовка виробництва виробу на заводі-виготівнику серійної продукції;
- виробництво й збут;
- експлуатація й обслуговування виробів;
- утилізація виробів.



Рисунок 4.6 – Основні етапи життєвого циклу складних технічних об’єктів

**Інформація про виріб** – це набір даних, які виникають й використовуються на всьому його ЖЦ і включають:

- інформацію про конфігурацію й структуру виробу;
- характеристики й властивості;
- організаційну інформацію (опис процесів, пов'язаних зі зміною даних про виріб, необхідні ресурси — люди, матеріали, і т. д.);

- інформацію про проведені контрольні випробування;
- документи, якими обростає виріб з моменту його проектування до його продажу й подальшого обслуговування і т.д.

1 *Конструкторські дані про виріб* — сукупність інформаційних об'єктів, що виникають у процесі проектування й розроблення виробу, що містить відомості:

- про склад виробу;
- геометричні моделі виробу;
- його компоненти і їхні технічні характеристики;
- співвідношення компонентів у структурі виробу;
- результати розрахунків і моделювання;
- допуски на виготовлення деталей і т. д.

2 *Технологічні дані про виріб* – сукупність інформаційних об'єктів, що виникають на стадії технологічної підготовки виробництва й асоційованих з інформаційними об'єктами, що описують виріб і його компоненти. Містять відомості:

- способи виготовлення й контролю виробу;
- опис маршрутних і операційних технологій;
- норми часу й витрати матеріалів;
- управляючі програми для верстатів з ЧПУ;
- дані для проектування оснастки.

3 *Виробничі дані про виріб* містять відомості про статус конкретних екземплярів виробу і його компонентів у виробничому циклі.

4 *Дані про якість виробу* – сукупність інформаційних об'єктів, що виникають при виконанні всіх видів контролю. Містять відомості про ступінь відповідності виробу заданим технічним вимогам, стандартам і т. ін.

5 *Логістичні дані про виріб* виникають у процесі проектування й розроблення, містять відомості про просторово-часову ув'язку планування взаємодії всіх суб'єктів й для

підтримки виробу на післявиробничих стадіях ЖЦ.

6 *Експлуатаційні дані про виріб* виникають у процесі проектування й розроблення, містять інструкцію з експлуатації, відомості для організації обслуговування, ремонту й інших дій, що забезпечують працездатність виробу.

Стадії життєвого циклу в загальному випадку наведено на рисунку 4.7.



Рисунок 4.7 – Стадії життєвого циклу виробу

#### 4.5 Технологія конструкторського проектування. Послідовне проектування. Концепція паралельного проектування

**Послідовне проектування.** Традиційний послідовний підхід у розробленні нових виробів включає послідовність робіт із проектування, складання, випробування, аналізу, аналізу з ітеративним повторенням циклу до одержання потрібного результату.

Виробничий цикл, що охоплює всі стадії ЖЦ, починається з вироблення концепції нового виробу. На першому етапі розробляються спеціальні основні вимоги до виробу (зовнішній вигляд, технічні характеристики). Потім опрацьовуються різні варіанти рішення, здійснюється аналіз варіантів і вибір остаточного рішення. Далі це рішення в деталях уточнюється, аналізується, удосконалюється й втілюється в план випуску нового виробу й документації.

Ітеративне повторення цього циклу дороге й забирає багато часу. До того моменту, поки почнеться промисловий випуск, проблеми розроблення досить різко координують із проблемами підготовки виробництва.

### **Концепція паралельного проектування**

Зараз паралельне проектування успішно розвивається провідними американськими й західноєвропейськими фірмами. Зокрема в США дослідницькі проекти в рамках цієї технології розробляються за замовленням перспективних військових проектів Пентагона. Відомі дослідницькі системи Gernet, DAISIE, CATIA, PRO/ENGINEER, INITGRAPHICS.

**С-технологія** — принципово новий інтегрований підхід до розроблення виробу. В основі технології лежить сполучення проектування виробу, а також планування його виготовлення й супроводу, що координуються спеціально призначеним для цього розподіленим інформаційним середовищем. Подібна технологія дозволяє використовувати проектні дані з ранньої стадії одночасно різним групам фахівців. Фактично при використанні С-технології вдається досягти перекриття практично всіх стадій ЖЦ виробів.

Розвиток С-технологій пов'язаний, насамперед, з підвищенням для споживача таких нецінових факторів конкурентоспроможності, як якість, здатність швидкого виконання індивідуального замовлення.

Використання організації проектування виробу, що орієнтоване на застосування нових інформаційних технологій і інтеграцію знань із різних сфер ЖЦ, дозволяє заощаджувати не тільки час, причому час скорочується на 20-25 %, але й економічні засоби за рахунок підвищення якості виробу, спрощення сервісного обслуговування, скорочення змін, внесених у конструкцію на стадії виготовлення.

C-технологія забезпечує усунення недоліків послідовного проектування, зокрема коли помилки проектування знезацька виявляються на останніх його стадіях. Як показує вітчизняний досвід, 50-70 % наявних дефектів готової продукції машинобудування виникають через помилки в конструкційній роботі, 20-30 % через недостатню технологічність виробу, 5-15 % — з вини працівників.

Усунення першої групи дефектів здійснюється в основному за рахунок сполучення проектування складових технологічної системи «виріб – технологія – устаткування» і раннього обліку можливих при цьому обмежень.

### **Особливості C-технологій:**

- охоплення всіх умов і факторів підвищення ЖЦ виробу;
- утворення інтегрального ефекту, більш тісний зв'язок між групами фахівців;
- C-технологія індивідуалізована, тому що її конкретна реалізація враховує особливості підприємства, на якому вона впроваджується, а також вимоги замовників;
- звичайно впроваджується в рамках уже діючого підприємства, конкретні економічні параметри якого й умови функціонування впливають на результативність її впровадження;
- постійно розвивається, що припускає необхідність розширення складу враховуючих факторів підвищення ефективності ЖЦ й узгодження їх з раніше врахованими факторами й отриманими результатами.

### **Основні складові C-технологій:**

- розподілена комп'ютерна архітектура, що забезпечує синхронізацію, оптимальне планування й обробку інформації на

окремих стадіях ЖЦ;

- сукупність інструментальних програмних засобів, які забезпечують швидке створення прототипу й багатокритеріальну оптимізацію при проектуванні, що дозволяє досягти ефективного співвідношення проекту, виробництва й ціни виробу при дотриманні життєво важливих обмежень;

- уніфіковане й всебічне подання всієї необхідної при проектуванні й виробництві інформації, що може бути різнобічно проаналізована відповідно до потреб користувача.

Найбільшу віддачу дають методи, орієнтовані на вдосконалення організації ЖЦ на початковій стадії С-технології — стадії концептуального проектування.

Витрати на концептуальне проектування становлять до 3 % загальних витрат протягом ЖЦ, і правильність прийнятих на цій стадії рішень впливає на весь проект, тому що 75 % вартості майбутнього виробу закладається саме на цій стадії.

## **4.6 Історія конструювання виробу**

Історія конструювання включає:

- опис всіх елементів (основних і допоміжних), використаних для побудови тіла й конструювання виробу в цілому;

- параметри, що визначають форму цих елементів;

- послідовність створення елементів у хронологічному порядку.

Історія конструювання має ієрархічну структуру (рисунок 4.8).

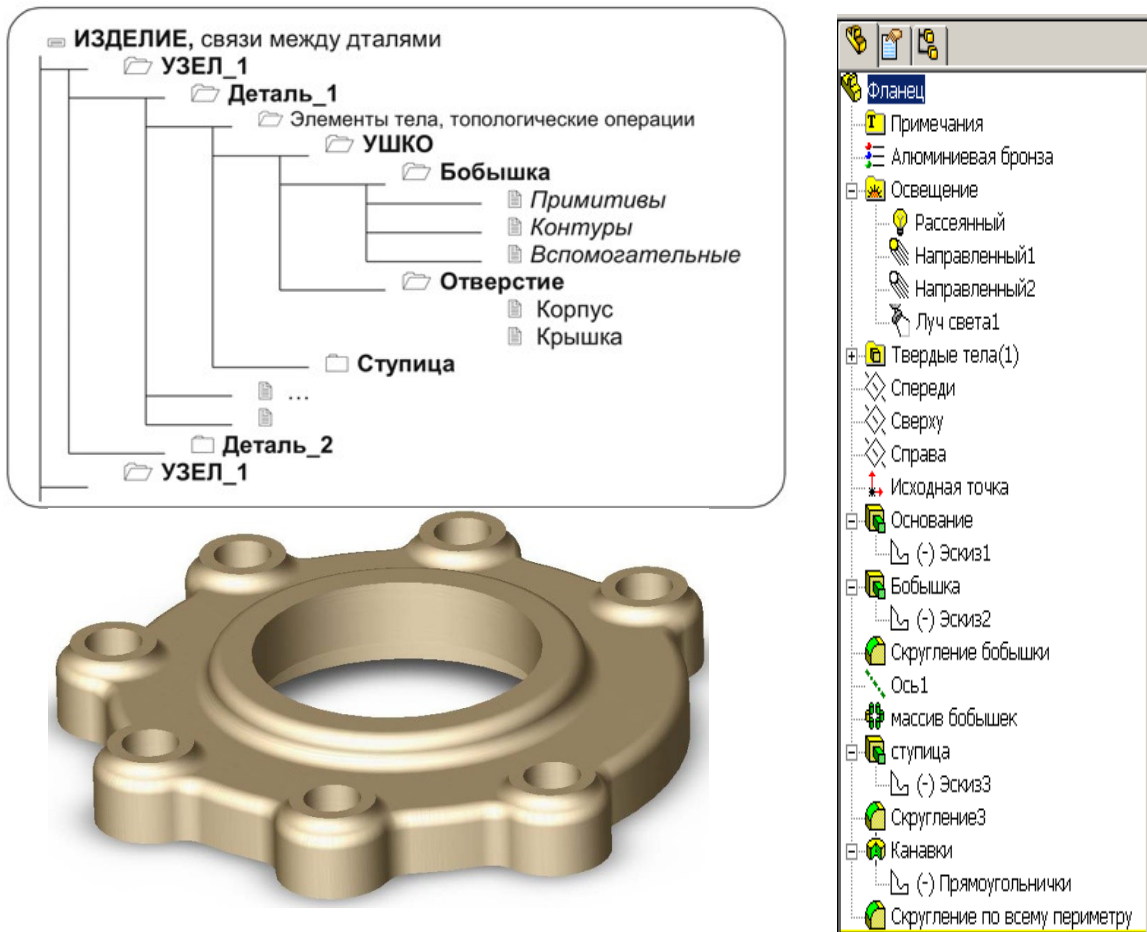


Рисунок 4.8 – Дерево конструювання моделі

Історія конструювання дозволяє:

- одержати доступ до будь-якого фрагмента тіла (виробу);
- редагувати, копіювати в інше дерево;
- одержати доступ до проміжного стану деталі (об'єкта);
- організувати колективний доступ до конструювання виробу в цілому (корпоративні проекти).

**Поняття про CALS-технології [14].** CALS-технологія – це технологія комплексної комп'ютеризації сфер промислового виробництва, мета якої – уніфікація і стандартизація специфікацій промислової продукції на всіх етапах її життєвого циклу. Основні специфікації представлені проектною, технологічною, виробничою, маркетинговою, експлуатаційною документацією. У CALS-системах передбачено зберігання, обробку і передачу інформації в комп'ютерних середовищах, оперативний доступ до даних у потрібний час і в потрібному

місці. Відповідні системи автоматизації назвали автоматизованими логістичними системами або CALS (Computer Aided Logistic Systems). Оскільки під логістикою звичайно розуміють дисципліну, присвячену питанням постачання і управління запасами, а функції CALS набагато ширше і пов'язані з усіма етапами життєвого циклу промислових виробів, застосовують і більш відповідне предметові розшифрування аббревіатури CALS-ComputerAcquisitionandLifeCycleSupport.

Застосування CALS дозволяє істотно скоротити обсяги проектних робіт, оскільки описи багатьох складових частин обладнання, машин і систем, що проектувалися раніше, зберігаються в базах даних мережесерверів, доступних будь-якому користувачеві технології CALS. Істотно полегшується вирішення проблем ремонтпридатності, інтеграції продукції в різноманітні системи і середовища, адаптації до мінливих умов експлуатації, спеціалізації проектних організацій і т. п. Очікується, що успіх на ринку складної технічної продукції буде неможливий поза технологією CALS.

Розвиток CALS-технології має призвести до появи так званих віртуальних виробництв, при яких процес створення специфікації з інформацією для програмно керованого технологічного устаткування, достатнього для виготовлення виробу, може бути розподілений у часі і просторі між багатьма організаційно автономними проектними студіями. Серед безсумнівних досягнень CALS-технології слід зазначити легкість поширення передових проектних рішень, можливість багаторазового відтворення частин проекту в нових розробках та ін.

Побудова відкритих розподілених автоматизованих систем для проектування та управління в промисловості складає основу сучасної технології CALS. Головна проблема їх побудови - забезпечення однакового опису та інтерпретації даних незалежно від місця і часу їх отримання в загальній системі, що має масштаби аж до глобальних.

Структура проектної, технологічної та експлуатаційної документації, мови її подання повинні бути стандартизованими. Тоді стає реальною успішна робота над загальним проектом різних колективів, що розподілені у часі і просторі і



використовують різні CAE / CAD / CAM-системи. Одна і та сама конструкторська документація може бути використана багаторазово в різних проектах, а одна і та сама технологічна документація адаптована до різних виробничих умов, що дозволяє істотно скоротити і здешевити загальний цикл проектування і виробництва. Крім того, спрощується експлуатація систем.

Отже, інформаційна інтеграція є невід'ємною властивістю CALS-систем. Тому в основу CALS-технології покладено ряд стандартів, що забезпечують таку інтеграцію.

Важливі проблеми, які потребують вирішення при створенні комплексних САПР, - управління складністю проектів та інтеграція ПЗ. Ці проблеми включають питання декомпозиції проектів, розпаралелювання проектних робіт, цілісності даних, міжпрограмних інтерфейсів та ін.

#### **4.7 Повний електронний опис виробу. Управління виробничою інформацією**

Концепцію повного електронного опису виробу (EPD) викликала до життя потреба сучасних великих підприємств у засобах паралельного створення, управління, поділу й кількарізного використання всієї електронної інформації, що випускається підприємством протягом усього життєвого циклу виробів з можливістю інтеграції даних про всіх учасників цього циклу (постачальників і т. д.) [15].

EPD-технологія, що інтегрує всі дані про виріб і пов'язані з ним процеси, забезпечуючи розроблення й підтримку повної електронної моделі виробу протягом усього ЖЦ, реалізується в системі керування проектними й виробничими даними.

Реалізована в серії програмних продуктів і служб концепція EPD забезпечує:

- створення інтерактивного середовища спільного розроблення, охоплення різних дисциплін;
- створення структури електронного опису виробу, що інтегрує всю інформацію і може бути використана в масштабах

розширення підприємства, у т. ч. постачальниками й сервісними організаціями;

- електронне визначення всіх етапів ЖЦ, формулювання потреб у матеріалах, концептуальне проектування, виробництво, поширення й підтримка;

- захист даних і гарантований доступ до інформації про виріб для кожного користувача з відповідними правами доступу;

- управління внесенням змін.

З метою схоронності й несуперечності даних, коли над проектом працює група користувачів, прикладні дані дублюються у вигляді метаданих, які розмежовані за місцями розміщення й за рівнями доступу. Метадані можуть бути розбиті на ієрархію папок, для навігації в які використовується спеціальний браузер. На відміну від прикладних даних, оброблюваних додатками, метадані зберігаються в окремій БД. З метаданими оперує додаток адміністратора. Права доступу до файлів і документів надаються окремим особам і групам, причому особа може входити в кілька груп. Весь процес розроблення виробу відбувається під управлінням PDM-системи, що фіксує й розміщує в сховище всі інженерні й проектні дані. Підтримується розподілене зберігання й управління документацією по мережі з прозорим доступом користувачів.

Існують три рівні зберігання:

- 1) вищий (сфера зберігання – репозиторій, що являє собою сховище, де зберігаються і підтримуються будь-які дані, найчастіше у вигляді файлів, доступних для подальшого поширення по мережі);

- 2) середній (рівень робочої групи);

- 3) нижчий (рівень користувача).

Ієрархія зберігання визначає, які документи можуть бачити окремі особи. Документи на рівні робочої групи бачать її члени. Документи в сфері зберігання бачать всі. Використання ієрархії зберігання й статус документа дозволяють управляти видимістю. Наприклад, користувач заносить файл у сферу робочої групи, і він стає видимим для групи. Це дозволяє членам бригади розробників створювати альтернативні проекти, вводячи дані зі

своїх індивідуальних сфер у проміжну сферу робочої групи, не очікують на остаточне утвердження даних. Всім членам бригади надано паралельний доступ до інформації з проміжної сфери. Користувач одержує повну волю для модифікації деталей і складань у межах групи. Як тільки дані затверджено, вони надходять у сферу сховища, завершуючи цикл перевіркою погодженості на всіх робочих рівнях.

Утиліти включають зв'язок і оповіщення, перенесення і трансляцію даних, засоби візуалізації, адміністрування. Засоби адміністрування забезпечують визначення фізичного розміщення даних, визначення логічної ієрархії даних, визначення сімейств даних, визначення користувачів і груп користувачів, забезпечення прав і контроль доступу до даних, архівування даних.

#### **4.8 Колективне ведення проектів**

Проектування виробів — прискорений процес, що вимагає швидкого доступу до великомасштабної погодженої проектно-інженерної інформації. Щоб полегшити вирішення проблем, викликаних сучасними засобами проектування й прискорити розроблення виробів, з'явилися системи PDM, що забезпечують доступ до проектно-інформації та управляють процесами проектування.

Сучасна велика корпорація, як правило, поєднує безліч різних підрозділів, які висувають свої унікальні вимоги до процесу виробництва. Два найбільш яскраві приклади — міжнародні організації, де слід дотримуватися правил локальних ринків, і транснаціональні корпорації з різних компаній, що з'явилися протягом якогось часу. Такі підприємства не зможуть зберігати конкурентоспроможність без ефективного управління своїми функціонально й географічно розрізненими підрозділами й тими значними масивами даних, які вони створюють і використовують. Для цього необхідна потужна інформаційна технологія, здатна створити віртуальний інформаційний простір даних про корпоративну продукцію. Така технологія забезпечить динамічний зв'язок всіх даних про виріб, що виникають протягом його життєвого циклу на різних етапах процесу розроблення, виробництва, супроводу — аж до утилізації.

За останні роки програми управління інформацією корпоративного рівня еволюціонували від централізованих систем на мейнфреймах до систем з архітектурою «клієнт/сервер» (рисунок 4.11).

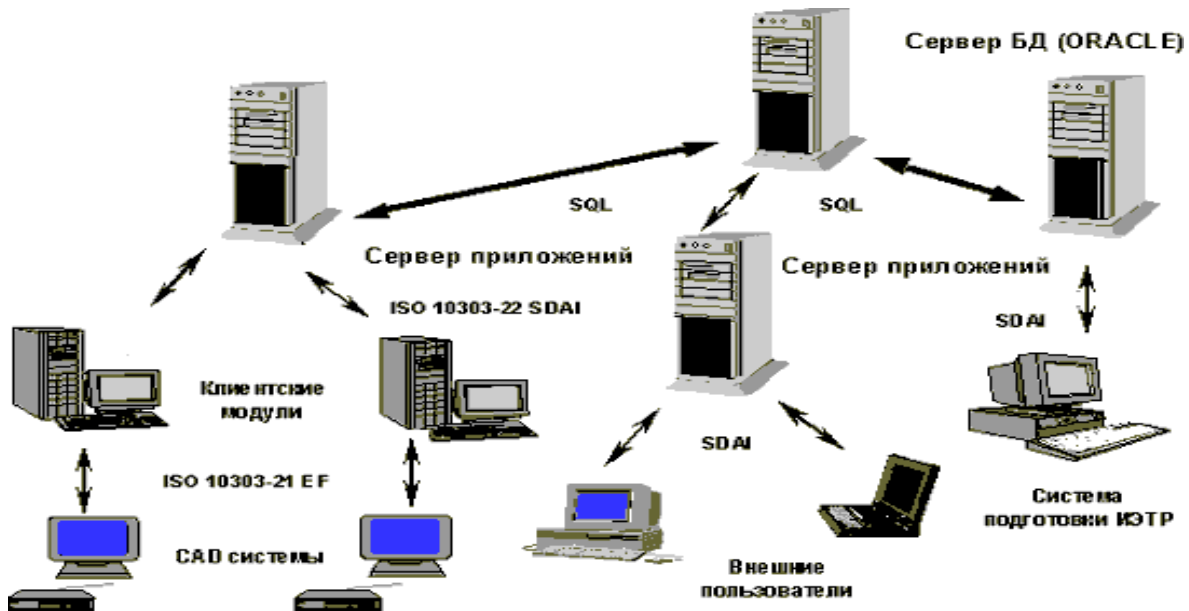


Рисунок 4.11 - Система з архітектурою «клієнт/сервер»

Однак, незважаючи на наявність великої комерційної потреби, реалізації подібних систем мали донедавна лише обмежений успіх. Будучи, по суті, зліпком з великих систем епохи «mainframe», реалізації клієнт/серверних технологій продовжують слідувати традиції цієї епохи – розроблення за методом “зверху-униз”. Отримані в результаті системи з жорстко визначеними внутрішніми зв'язками різко контрастують із вільним потоком поширення інформації й роблять очевидними властиві централізованій архітектурі недоліки. Їх важко розгортати, дорого підтримувати й складно адаптувати до постійних змін вимог корпоративного бізнесу.

Такі системи, як правило, залежать від знання часткових інструментальних засобів і ресурсів постачальника. Але головна перешкода для ефективної роботи систем корпоративного рівня – це нав'язування єдиного подання інформаційних ресурсів, тобто уніфікованої моделі даних. Хоча така модель може бути розподілена по підсистемах підрозділів корпорації, для всіх підсистем вона повинна бути повністю однаковою. У результаті

створюється однорідне об'єднане середовище, що ніяк не враховує розходження розв'язуваних задач і професійного рівня користувачів у географічно розкиданих підрозділах корпорації, а також постійної зміни вимог і умов ведення бізнесу.

У підсумку безліч PDM-розробок, що відповідали традиційним принципам архітектури клієнт/сервер, не змогли вийти за рамки наукового проекту відділу інформаційних технологій. Група, зайнята реалізацією системи PDM, звичайно витрачає роки на марні намагання побудувати загальну модель даних, що задовольнить всі вимоги всіх підрозділів корпорації. Але ця реалізація так і не доходить до повного завершення, оскільки постійно змінюються й додаються нові правила ведення бізнесу. Окупність таких проектів виявляється неприйнятно низкою.

Ситуацію кардинальним образом може поліпшити Internet.Java і інші Web-технології, що вже зарекомендували себе як ефективні інструменти для побудови висококритичних інформаційних додатків підтримки бізнесу. Рішення на базі Internet здатні успішно поєднувати як різні підрозділи усередині компанії, так і різні компанії в рамках розширеного підприємства.

Тому встає питання — чи можна знайти оптимальну комбінацію продуктивності, функціональності й потужних механізмів управління й захисту, необхідних для реальних систем PDM корпоративного рівня, і всіх тих зручностей і переваг, які має Web. Реальні переваги нового Web-світу зможуть виявити тільки ті додатки, архітектура яких безпосередньо заснована на Internet-технологіях. Цей підхід одержав назву Web-орієнтації (Web-Centric). Обчислювальна модель Web являє не тільки зовсім іншу технічну інфраструктуру, але й зовсім інший концептуальний підхід до побудови великомасштабних інформаційних систем.

Рішення на базі Web-технологій, або Web-орієнтовані рішення, забезпечать властиві Internet інтегрованість, масштабованість, простоту у використанні, керованість і гнучкість — і все це служить справі управління інформацією про корпоративну продукцію на всіх стадіях, від створення концепції до списання з виробництва.

Сучасні системи PDM або входять до складу модулів конкретної САПР, або мають самостійне значення й можуть працювати разом з різними САПР.

Використання PDM-систем полегшує глобальний доступ до даних і використання їх усюди в будь-який час, підтримує режим паралельної колективної роботи різних груп користувачів і забезпечує управління життєвим циклом виробу, починаючи від концептуального розроблення до введення в експлуатацію.

На рівні технологічної підготовки виробництва PDM-системи об'єднують технологів і конструкторів засобів технологічного оснащення (ЗТО) єдиним сітковим плануванням, що дозволить формувати й відслідковувати технологічні маршрути, витягаючи з них специфікації по необхідних матеріалах, інструменту, оснащенню, працевитратах для служб матеріального забезпечення й допоміжних виробництв.

Інтегрована база даних призначена для вирішення різних завдань, пов'язаних з обробкою даних про виріб. Зміст цих завдань і ролі людей при їхньому вирішенні припускає безліч точок зору на дані й дисципліни доступу до даних.

Наприклад, з погляду конструктора виріб має кілька варіантів складу (конфігурацій), причому до "конструкторського" складу виробу входять всі компоненти виробу, необхідні для його виготовлення.

З погляду експлуатації – до складу виробу входять тільки ті елементи, які можна демонтувати для обслуговування або заміни.

Службу забезпечення якості продукції й замовників можуть цікавити фізичні параметри конкретного екземпляра виробу. Кожна із груп користувачів працює зі своїм набором даних, логічно «вплетеними» в загальну інтегровану базу даних.

Користувач працює з базою даних, представляючи її собі у вигляді «дерева виробів» (або пересічного сімейства дерев виробів) (рисунок 4.12), гілки якого декомпонуються на складальні вузли, агрегати й окремі деталі. З елементами «дерева» пов'язані документи, дані про виконані дії, характеристики.

Одночасно з цим необхідно створити опис організаційної структури, користувачів і їхні функції (ролі). Потім – типи даних (елемент структури, документ), можливі стани документів (розроблений, затверджений, відмінений), грифи таємності, одиниці виміру й характеристики компонентів.

Введення даних здійснюється шляхом завантаження обмінного файлу із системи CAD/CAM або в діалоговому режимі: шляхом введення позначень вхідних компонентів, або встановленням посилання на вже наявні в базі дані об'єкти

(компоненти). Останнє означає, що багаторазово використовувані об'єкти, наприклад типові деталі, вузли, агрегати або ПКВ, описуються тільки один раз. Такі компоненти доцільно помістити в категорію "типові рішення" і використовувати на них посилання при створенні структури виробу.

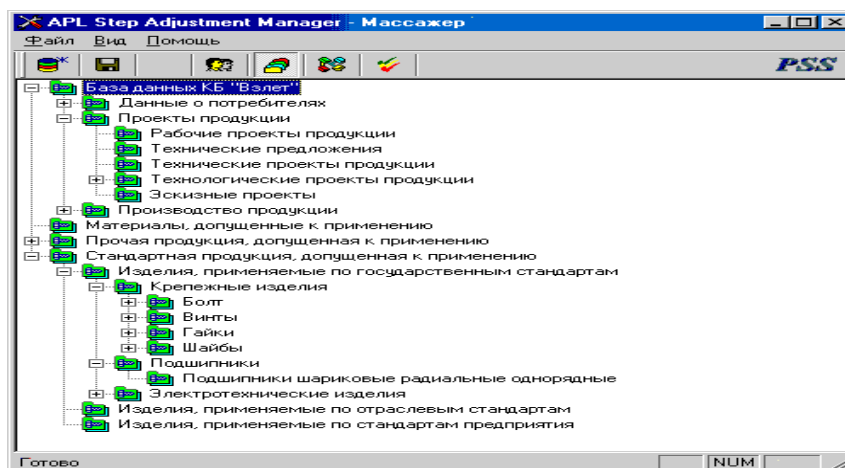


Рисунок 4.12 – База даних, представлена у вигляді «дерева виробів»

До елементів "дерева виробів" приєднуються геометричні моделі, електронні креслення або документи (растрові зображення, текстові документи або файли в інших форматах) (рисунок 4.13).

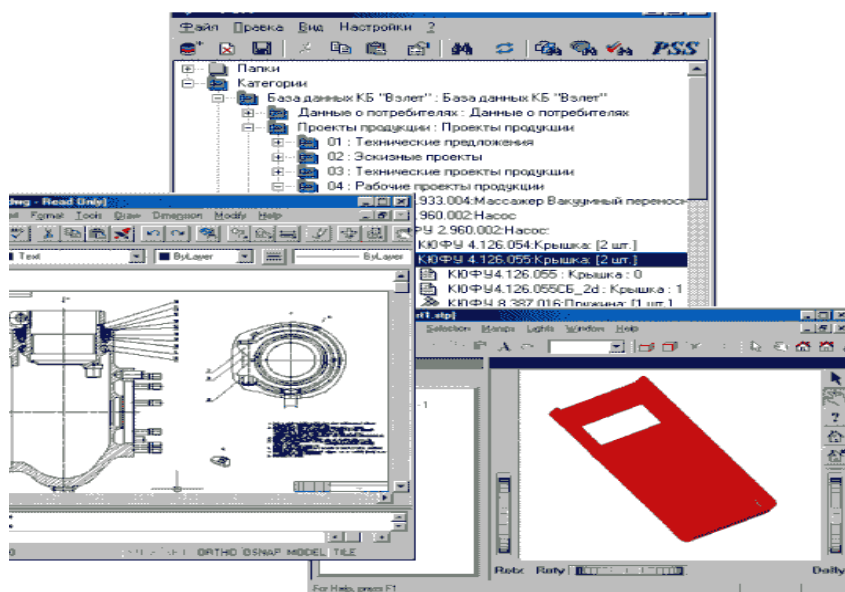


Рисунок 4.13 – "Дерево виробів", до якого приєднуються геометричні моделі та електронні креслення

У процесі колективної роботи збережений у базі даних документ, креслення або модель можуть бути взяті для подальшої доробки (створення нової редакції). У базі даних вихідна версія документа "заморожується" і позначається як така, що перебуває в процесі редагування. Після завершення редагування створюється нова версія, і зберігається разом з попередньою. При цьому запам'ятовується порядок створення версій документа, що утворює «дерево». Тобто для кожної версії документа можна визначити ту, на основі якої вона була зроблена.

Одна з версій документа є активною, тобто дійсною на даний момент. При зверненні користувача до документа розглядається саме активна версія. Але завжди можна звернутися до будь-якої конкретної версії документа.

Розроблені моделі, креслення або документи можуть бути стверджені. Інформаційний об'єкт "затвердження" (по суті підпис), приєднаний до документа, містить дані про статус затвердження й особу, що здійснила ствердження. Усі версії документів затверджуються окремо. Тобто при призначенні активної непідписаної версії документа всі підписи втрачають актуальність, а при відкаті до раніше затвердженої версії всі підписи знову стають дійсними.

PDM-системи стежать за великими постійними відновленнями машинних даних і інженерно-технологічною інформацією, необхідних на етапах проектування, виробництва або будівництва, а так само підтримки експлуатації, супроводу і утилізації технічних виробів.

PDM-системи працюють із файлами й записами БД на всіх етапах циклу розробки, виготовлення й підтримки виробу: конфігурації вироблення, опис деталей, специфікації, креслення, геометричні моделі, зображення, моделі інженерного аналізу й результату розрахунків, плани маршруту процесу виготовлення, програми виготовлення деталей, збережені в електронному вигляді документи, замітки, кореспонденція, аудіо- й відеопосилання на паперові документи, проектні плани й ін.

Таким чином, будь-яка інформація, використовувана на тому або іншому етапі життєвого циклу виробу, може управлятися системою PDM, що надає коректні дані всім користувачам і всім промисловим інформаційним системам на потребу.



Одночасно з даними система PDM управляє й проектом, тобто процесом розроблення виробу, контролюючи інформацію про виріб, стан об'єкта, дані по цьому об'єкту, затвердження внесених змін, здійснюючи авторизацію й інші операції, які впливають на дані про виріб і режим доступу до них кожного конкретного користувача.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Астанин, В.В. Основы расчетов на прочность [Текст]: учеб. пособие / под ред. Г.И. Загария. – Харьков: ЧП изд-во “Новое слово”, 2003. – 216 с.

2 Болотин, М.М. Системы автоматизации производства и ремонта вагонов [Текст]: учебник / М.М. Болотин, В.Е. Новиков. – М.: Маршрут, 2004. – 307 с.

3 Братухин, А.Г. Информационные технологии в наукоемком машиностроении: Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса [Текст] / под общ. ред. А.Г. Братухина. – К.: Техніка, 2001. - 728 с.

4 Гельмерих, Р. Введение в автоматизированное проектирование [Текст] / Р. Гельмерих, П. Швиндт; пер. с нем. Г.М. Родова; под ред. В.Н. Фролова. - М.: Машиностроение, 1990. - 176 с.

5 Горбенко, А.П.. Конструювання та розрахунки вагонів [Текст]: навч. посібник /А.П. Горбенко, І.Е. Мартинов. – Харків: УкрДАЗТ, 2007. – 150 с

6 Дементьев Ю.В. САПР в автомобиле- и тракторостроении [Текст]: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / Ю. В. Дементьев, Ю.С. Щетинин; под общ. ред. В.М. Шарипова. – М.: Издательский центр "Академия", 2004. - 224 с.

7 Жермен-Лакур, П. Математика и САПР [Текст]: пер. с фр. / П. Жермен-Лакур, П.Л. Жорж, Ф. Пистр, П. Безье - М.: Мир, 1989. - 264 с.

8 Конструирование и расчет вагонов [Текст]: учебник / под ред. П.С. Анисимова. – 2 – е изд., перераб. и доп. – М.: ФГОУ “Учеб.–метод. центр по образованию на ж.-д транспорте”, 2011. – 687 с.

9 Кунву, Ли. Основы САПР (CAD/CAM/CAE)(Principles of CAD/CAM/CAE Systems) [Текст] / Ли Кунву. – СПб.: Издательство: Питер, 2004 - 560 с.

10 Лукин, В.В. Вагоны Общий курс: [Текст]: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / В.В. Лукин, П.С. Анисимов, П.С. Федосеев. – М.: Маршрут, 2004. – 424 с.

11 Мороз, В.І. Основи конструювання і САПР [Текст]: навч. посібник / В.І. Мороз, О.В. Братченко, В.В. Ліньков. – Харків: ПП вид-во “Нове слово”, 2003. – 193 с.

12 Норенков, И.П. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии. [Текст] / И.П. Норенков, П.К. Кузьмик. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. - 320 с.

13 Системы автоматизированного проектирования [Текст]: учеб. пособие для ВТУЗов / под ред. И.П. Норенкова. – М.: Высшая школа, 1986. – Т. 1-9.

14 Соломенцев, Ю.М. Информационно-вычислительные системы в машиностроении. CALS технологии [Текст] / Ю.М. Соломенцев, В.Г. Митрофанов, В.В. Павлов, А.В. Рыбаков. – М.: Наука, 2003.- 292 с.

15 Хокс, Б. Автоматизированное проектирование и производство [Текст]: пер. с англ. / Б. Хокс - М.: Мир, 1991. - 296 с.

16 Шевченко, В.Ф. Автоматизоване проектування вагонів [Текст]: навч. посібник / В.В. Шевченко, В.Ф. Головки. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – 214 с.

## Класифікація САПР відповідно до Держстандарту

Тип об'єкта проектування	Складність об'єкта проектування	Рівень автоматизації проектування	Комплексність автоматизації проектування	Характер документів, що випускаються	Кількість документів, що випускаються	Кількість рівнів технічного забезпечення
<b>Виріб машинобудування</b>	Прості об'єкти (кількість складових до $10^2$ )	<b>Низкоавтоматизовані</b> (рівень автоматизації <25 %)	<b>Одноетапні</b> (виконується один етап проектування)	На паперовому носії На машинному носії	<b>Малої продуктивності</b> (випускає документів за рік до $10^5$ )	<b>Однорівневі</b>
<b>Виріб приладобудування включно з радіоелектроніку</b>	Об'єкти середньої складності (ількість складових від $10^2$ до $10^3$ )	<b>Середньоавтоматизовані</b> (рівень автоматизації 25-50 %)	<b>Багатоетапні</b> (виконується декілька етапів проектування)	На фотоносії Комбіновані	<b>Середньої продуктивності</b> (випускає документів за рік від $10^5$ до $10^6$ )	<b>Дворівневі</b> <b>Трирівневі</b>
<b>Технологічні процеси в машино- та приладобудуванні</b>	Складні об'єкти (ількість складових від $10^3$ до $10^4$ )	<b>Високоавтоматизовані</b> (рівень автоматизації >50 %)	<b>Комплексні</b> (виконується всі етапи проектування)		<b>Високої продуктивності</b> (випускає документів за рік понад $10^6$ )	
<b>Об'єкти будівництва</b>						
<b>Технологічні об'єкти в будівництві</b>	Дуже складні об'єкти (ількість складових від $10^4$ до $10^6$ )					
<b>Програмні вироби</b>	Об'єкти високої складності (ількість складових більше за $10^6$ )					
<b>Організаційні системи</b>						
<b>Інше</b>						

Рисунок 3.9 - Класифікація САПР





Рисунок 4.1 - Макросхема алгоритму САПР (ліворуч) і зовнішня організація даних САПР (праворуч) технологічних процесів

