

Поняття САПР

Система автоматизованого проєктування – автоматизована система, що реалізує інформаційну технологію виконання функцій проєктування

Являє собою організаційно-технічну систему, призначену для автоматизації процесу проєктування, яка складається з персоналу та комплексу технічних, програмних та інших засобів автоматизації його діяльності

Підсистеми САПР як автоматизованої інтегрованої інформаційної системи(АІІС)

Підсистема збору

Підсистема зберігання даних (база даних або експертна система)

Підсистема обробки даних (моделювання)

Підсистема представлення інформації

Телекомунікаційна підсистема

Поняття САПР

- систем автоматизації проєктних робіт
- система автоматичного проєктування
- програмний засіб для автоматизації проєктування
- cad, cae, cam (англ. Computer-aided design), передбачає використання комп'ютерних технологій в проєктуванні

Цілі створення САПР

- зменшує трудомісткість проєктування та планування;
- скорочення строків проєктування;
- зменшення собівартості проєктування та виготовлення, витрат на експлуатацію;
- підвищення якості техніко-економічного рівня результатів проєктування;
- зменшення витрат на натурне моделювання та випробування.

Основні задачі САПР

- автоматизація оформлення документації
- інформаційна підтримка та автоматизація процесу прийняття рішень
- використання технологій паралельного проєктування
- уніфікація проєктних рішень та процесів проєктування
- повторне використання проєктних рішень, даних та напрацювань
- заміна натурних випробувань та макетування математичним моделюванням
- підвищення якості управління проєктуванням
- застосування методів варіантного проєктування та оптимізації

Системний підхід до проєктування

Система – сукупність елементів, об'єднаних єдністю цілей та ієрархією взаємовідношень.

САПР – складні людино-машинні багатоконтурні, багатовимірні системи управління зворотнім зв'язком, що потребують збору, передачі, переробки та використання інформації для досягнення цілі проєктування.

Проєктування – це комплекс робіт з дослідження, розрахунку та конструюванню нового виробу або нового процесу. В основі проєктування лежить первинний опис – технічне завдання (ТЗ). Без технічного завдання проєктування ніколи не здійснюється, бо невизначені його цілі.

Види проєктування

- **неавтоматизоване** – процес проєктування, здійснюється людиною вручну (без використання комп'ютера)
- **автоматизоване** – всі проєктні рішення або їх частину отримують шляхом взаємодії людини з комп'ютером
- **автоматичне** – виконання окремих обчислювальних операцій, процедур, що здійснюються засобами обчислювальної техніки згідно закладеним у них програмам, без втручання людини

Автоматизоване проектування (computer-aided design –CAD)

- технологія, що полягає у використанні комп'ютерних систем для полегшення створення, зміни, аналізу та оптимізації проєктів
- будь-яка програма, що працює із комп'ютерною графікою, так і будь-який додаток, що використовується у інженерних розрахунках
- системи розробки робочих креслень та геометричного моделювання

Автоматизоване виробництво (computer-aided manufacturing – CAM)

- технологія, що полягає у використанні комп'ютерних систем для планування, управління та контролю операцій виробництва через прямий або опосередкований інтерфейс із виробничими ресурсами підприємства
- програмування роботів, що можуть працювати на автоматизованих ділянках, обираючи та встановлюючи інструменти та деталі, що оброблюються, на станках з ЧПУ

Автоматизоване конструювання (computer-aided engineering – CAE)

Технологія, що полягає в використанні комп'ютерних систем для аналізу геометрії CAD, моделювання та вивчення поведінки об'єкта для вдосконалення та оптимізації його конструкції:

- програми для кінематичних розрахунків, що здатні визначати траєкторії руху та швидкості ланцюгів у механізмах
- програми динамічного аналізу для визначення навантажень та переміщень у складних пристроях
- програми верифікації та аналізу логіки та синхронізації

Комп'ютеризоване інтегроване виробництво (computer-integrated manufacturing – CIM)

- використання комп'ютерної бази даних для більш ефективного управління усім підприємством, а саме бухгалтерією, плануванням, доставкою та іншими задачами, а не тільки проектуванням виробництва, яке охоплювалось системами CAD, CAM та CAE

Стадії проєктування

- ✓ Передпроектне дослідження
- ✓ Розробка технічної пропозиції
- ✓ Розробка технічного завдання
- ✓ Ескізне проєктування
- ✓ Технічне проєктування
- ✓ Результат
- ✓ Робоче проєктування

Передпроектне дослідження

- ✓ Аналіз потреб зовнішнього середовища (ЗС) у новому виробі
- ✓ Пошук можливого аналога, тобто може бути зроблено висновок про необхідність модернізації й існуючого виробу
- ✓ Результатом є документ вихідних вимог, у якому відображається інформація про наявність та характеристики виробу

Розробка технічного завдання(ТЗ)

- ✓ Містить основні характеристики виробу: габарити, вагу, енергоспоживання тощо
- ✓ Проводиться уточнення структур, функцій, режимів роботи майбутнього виробу, описуються вимоги до дизайну, економічним показникам
- ✓ ТЗ вимагає уточнення виконавцем або розроблюється спільно із замовником та виконавцем до повного узгодження и досягнення ясності поставлених задач проектування

Розробка технічної пропозиції

- ✓ Розробляє виконавець проєкту, де відображає своє бачення проблеми
- ✓ Результатом є документ, який підписується виконавцем та замовником

Ескізне проєктування(ЕП)

- ✓ Моделюються окремі принципові вузли майбутнього виробу
- ✓ Відпрацьовуються математичні моделі поведінки
- ✓ Аналізується та доказується реальна можливість створення майбутнього виробу
- ✓ Проводяться багатоваріантні випробування
- ✓ Будуються фізичні або віртуальні моделі
- ✓ Уточнюються техніко-економічні характеристики, принциповий склад вузлів, деталізовані опрацювання найважливіших складових частин (схеми, креслення, макети)

Технічне проєктування (ТП)

- ✓ відпрацьовуються повністю усі компоненти виробу: дизайн корпусу, розробляються всі частини проєкту
- ✓ містить результати повної параметричної оптимізації, усі креслення, схеми вузлів, повний опис функціонування виробу, опис режимів роботи
- ✓ Результат – повна конструкторська документація і, як правило, експериментальний зразок

Робоче проєктування (РП)

- ✓ Робочий проєкт – повний комплекс документів для промислового випуску (масовий випуск виробу).

Підсистеми САПР за призначенням

- ✓ Функціональні
 - Об'єктні
 - Інваріантні
- ✓ Обслуговуючі
 - Підсистеми управління проєктними даними
 - Підсистеми, що навчають
 - Підсистеми графічного вводу-виведення
 - Система управління базами даних

Обслуговуючі підсистеми

- об'єктно-незалежні підсистеми, що реалізують функції загальні для підсистем або САПР в цілому: забезпечують функціонування проєктуючих підсистем, оформлення, передачу та виведення даних, супровід програмного забезпечення тощо, їх сукупність називають системним середовищем (або оболонкою) САПР.

Функціональні підсистеми

Об'єктно-орієнтовані підсистеми, що реалізують певний етап проєктування або групу пов'язаних проєктних задач

У залежності від відношення до об'єкту проєктування, поділяють на:

- об'єктні – що виконують проєктні процедури та операції, безпосередньо пов'язані із конкретним типом об'єктів проєктування (спеціалізовані)
- інваріантні – що виконують уніфіковані проєктні процедури та операції, та мають сенс для багатьох типів об'єктів проєктування (універсальні, об'єктно-незалежні)

Елементи САПР

- КЗАП – комплекс засобів автоматизації проектування САПР
- ПТК – програмно-технічні комплекси
- ПМК – програмно-методичні комплекси
- компоненти забезпечення САПР, що не увійшли до ПМК та ПТК

Види забезпечення САПР

- ✓ Апаратно-технічне
- ✓ Математичне
- ✓ Програмне
- ✓ Інформаційне
- ✓ Лінгвістичне
- ✓ Інструктивно-методичне
- ✓ Організаційно-технологічне
- ✓ Ергономічне
- ✓ Правове

Апаратно-технічне забезпечення

• сукупність взаємопов'язаних та взаємодіючих технічних засобів для вводу, збереження, переробки, передачі програми даних (ЕОМ, периферійні пристрої, мережеве обладнання, лінії зв'язку, вимірювальні засоби):

- ✓ Обчислювальний модуль
- ✓ Графічний пристрій
- ✓ Дисплейний процесор
- ✓ Дисплейний пристрій
- ✓ Пристрій вводу
- ✓ Пристрій виведення

Конфігурація апаратних засобів

- мейнфрейм (mainframe) та множина графічних пристроїв
- автоматизовані робочі місця проєктувальників (робочі станції – workstations), об'єднані у мережу
- персональні комп'ютери, автономні або об'єднані в мережу

Математичне забезпечення (МЗ)

Сукупність математичних моделей, методів розв'язання алгоритмів для розв'язання задач САПР, а також сукупність спеціалістів, що можуть застосовувати ці методи або здатні розробляти нові методи.

За призначенням та способам реалізації поділяють на дві частини:

- математичні методи та побудовані на їх основі математичні моделі
- формалізований опис технології автоматизованого проєктування

Обслуговуюча складова математичного забезпечення САПР містить засоби:

- опис графічних образів, накопичення бібліотек типових зображень, редагування, перетворення, що називаються математичними засобами машинної графіки
- обробки інформаційних масивів – методи сортування, пошуку елементів, перетворення структур та пошуку даних
- забезпечення обчислювального процесу САПР
- збір та статистики параметрів отриманих рішень

Лінгвістичне забезпечення(ЛЗ)

Сукупність мов, що використовуються в САПР для представлення інформації про проєктуємі об'єкти, процес та засоби проєктування, а також для здійснення діалогу «проєктувальник – машина» та обміну даними між технічними засобами САПР:

- терміни, визначення
- правила формалізації природної мови
- методи стискання та розгортання
- різні типи мов програмування, проєктування та моделювання (VHDL, VERILOG, UML, GPSS)

Програмне забезпечення (ПЗ)

Сукупність програм на машинних носіях та відповідної документації, що реалізують задачі САПР.

- **загальносистемне ПЗ** – призначене для управління компонентами технічного забезпечення та забезпечення функціонування прикладних програм
- **базове ПЗ** – комплекс програм, що управляють прикладним ПЗ
- **прикладне ПЗ** – реалізує математичне забезпечення для безпосереднього виконання проєктних процедур (пакети прикладних програм, призначені для обслуговування певних етапів проєктування або розв'язання груп однотипних задач всередині різних етапів).

Інформаційне забезпечення (ІЗ)

Сукупність будь-яких відомостей, вихідних та довідникових даних, необхідних в даній предметній області для виконання проєктування

- опис стандартних проєктних процедур
- опис типових проєктних рішень
- опис складових частин (комплектуючих, виробів) та їх моделей
- опис правил та норм проєктування

Інструктивно-методичне забезпечення (ІМЗ)

Сукупність документів, що характеризують склад, функціонування та правила експлуатації САПР

Містить у собі:

- опис технології функціонування САПР, методів вибору та застосування користувачами технологічних прийомів для отримання конкретних результатів
- теорію процесів, що відбуваються у проєктуємих об'єктах
- методи аналізу, синтезу систем и їх складових частин
- різні методики проєктування

Організаційно-технологічне забезпечення (ОТЗ)

Сукупність документів, що регламентують взаємодію проєктної організації з комплексом засобів автоматизованого проєктування:

- склад проєктної організації,
- зв'язок між підрозділами,
- організаційна структура об'єкта та системи автоматизації,
- діяльність в умовах функціонування системи,
- форма представлення результатів проєктування.

Ергономічне забезпечення об'єднує взаємопов'язані вимоги, спрямовані на узгодження психологічних, психофізіологічних, антропометричних характеристик та можливостей людини із технічними характеристиками засобів автоматизації та параметрами робочого середовища на робочому місці.

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

Основні процедури розробки САПР

- ✓ Пошук
- ✓ Синтез
- ✓ Аналіз
- ✓ Випуск проєктної документації

Признаки класифікації САПР

- ✓ Тип/різновид та складність об'єкта проектування
- ✓ Рівень та комплексність автоматизації проектування
- ✓ Характер та кількість документів, що випускаються
- ✓ Кількість рівнів у структурі технічного забезпечення

За складністю САПР

✓ Легкі

- autocad, компас-графік

✓ Середні

- solid works, solid edge, компас-3d

✓ Важкі

- catia, pro/engineer, nx

За сферою застосування

САПР для застосування у галузях загального машинобудування

Автоматизоване проектування механічних пристроїв

MCAD —англ. *Mechanical computer-aided design*

Пакети: solidworks, autodesk inventor(autocad), компас, catia

САПР для радіоелектроніки

Автоматизоване проектування електронних пристроїв, радіоелектронних пристроїв, інтегральних схем, друкованих плат тощо.

EDA або ECAD — англ. *Electronic design automation*

Пакети: altiumdesigner, orcad, autodesk inventor(electroniccad-p-cad)

САПР в області архітектури та будівництва

Автоматизоване проєктування в області архітектури та будівництва

AEC CAD або CAAD — англ. Architecture, engineering and construction computer-aided

Пакети: autodesk architectural desktop, autocad revit, bentley microstation, piranesi, archicad

За цільовим призначенням

Конструкторські САПР – засоби, призначені для автоматизації дво- або тривимірного геометричного проєктування, створення конструкторської та технологічної документації

- CAD (англ. Computer-aided design) — загальне проєктування та конструювання
- CADD (англ. Computer-aided design and drafting) — проєктування та створення креслинь
- CAGD (англ. Computer-aided geometric design) — геометричне моделювання

Технологічні САПР — засоби технологічної підготовки виробництва

- CAM (computer-aided manufacturing)

САПР функціонального проєктування — засоби автоматизації інженерних розрахунків, аналізу та симуляції фізичних процесів, що здійснюють динамічне моделювання

- CAE (computer-aided engineering) — проведення всіх необхідних розрахунків в процесі аналізу виконаної конструкції.
- CAA (англ. Computer-aided analysis) — підклас засобів, що використовуються для комп'ютерного аналізу.

САПР інформаційної підтримки виробництва — автоматизована система технологічної підготовки виробництва (АСТПВ)

- PDM (product data management) — управління проєктними даними
- CAM (англ. Computer-aided manufacturing) — засоби технологічної підготовки виробництва виробів, забезпечують автоматизацію програмування та управління обладнання з ЧПУ та інше.
- CAPP (англ. Computer-aided process planning) — засоби автоматизації планування технологічних процесів, що застосовуються на стику систем CAD та CAM.

За масштабом

- ✓ Окремі програмно-моделюючі комплекси (ПМК)
- ✓ Системи програмно-моделюючих комплексів
- ✓ Системи із унікальними архітектурами не тільки програмного, але й технічного забезпечень

За характером базової підсистеми

- ✓ САПР на базі підсистеми машинної графіки та геометричного моделювання
- ✓ САПР на базі СУБД
- ✓ САПР на базі конкретного прикладного пакета
- ✓ Комплексні (інтегровані) САПР

Напрями розвитку САПР

З'являються багаточисельні спеціалізовані програми з організації будівельного виробництва, планування робіт, електричних розрахунків, оптимізації транспортних задач, розрахунків мережеских графіків та календарних планів, проектування доріг, геодезичних розрахунків, технологічного проектування трубопроводів тощо.

Підвищення кваліфікації користувачів: удосконалення програмних засобів випереджає кваліфікацію спеціалістів, що використовують їх у своїй роботі.

Корпоративний захист: використання піратських копій програмних продуктів не підтримує регулярного оновлення програм, технічної документації та кваліфікованого навчання.

Попередні дослідження підприємства для правильного вибору програмних засобів, які не тільки б вирішували поставлені задачі, але й забезпечували повну комплексну автоматизацію.

Тісна інтеграція з програмами суміжних напрямів, що дозволяє автоматизувати у єдиному інформаційному просторі усі стадії розробки моделей, проектування і створення об'єктів.

САПР НА ОСНОВІ МЕТОДУ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

На сьогодні розроблено значну кількість як вітчизняних так і зарубіжних САПР, які надають засоби для чисельного аналізу об'єктів машинобудування та будівництва. Серед цих систем найбільш популярними є ANSYS, NASTRAN, PATRAN, ABAQUS, LS-DYNA, CATIA, PRO / ENGINEER, COSMOS, LIRA тощо.

Широко поширеною є система ANSYS, яка дозволяє розв'язувати значний клас задач інженерного аналізу. Серед них задачі дослідження напружено-деформованого стану при статичному і динамічному навантаженнях, механіки руйнування, переносу тепла, течії газів і рідин тощо. Інструментарій дозволяє використовувати лінійні і нелінійні скінченні елементи, бібліотеку матеріалів і вибирати процесор методу скінченних елементів (МСЕ). Зокрема, як процесор МСЕ в системі ANSYS доступний LS-DYNA, який дозволяє розв'язувати задачі динамічної взаємодії твердих тіл, задачі удару, захисту лопаток, штампування та виливки.

Система MSC NASTRAN дозволяє скінченно-елементний аналіз напружено-деформованого стану, запасу міцності, власних частот і форм коливань, стійкості, усталені та несталі динамічні процеси, задач теплопередачі, акустичних явищ тощо. Цю систему використовують для скінченно-елементного аналізу композитів, ламінатів, аерокосмічних матеріалів тощо. Ця САПР дозволяє використовувати високопродуктивні обчислення.

САПР Patran є інтегрованою для систем інженерного аналізу, моделювання та проектування. Дана САПР забезпечує можливість інтегрування систем геометричного та скінченно-елементного моделювання, обробки результатів обчислень, дослідження міцності у лінійній та нелінійній постановках, задач динаміки тощо.

Скінченно-елементний програмний комплекс ABAQUS можна розглядати як САПР функціонального проектування (CAE). Ця система є вельми гнучкою, вона підтримує розширення на мові програмування Python. Її використовують для розв'язання задач контактної взаємодії, механіки руйнування, композитних матеріалів, переносу тепла тощо.

До типу CAE також відноситься система COSMOS, в основу якої покладено МСЕ. Ця САПР дозволяє розв'язувати статичні та динамічні задачі механіки твердого тіла, досліджувати процеси переносу тепла, динаміки газів і рідин тощо.

Вітчизняні програмні комплекси (ПК) ЛІРА та МОНОМАХ, які розроблені під керівництвом професора О. С. Городецького, є відомими САПР будівництва та машинобудування. ПК ЛІРА призначений для проектування та розрахунку (у тому числі дослідження міцності та стійкості) конструкцій будівництва та машинобудування. ПК МОНОМАХ – для автоматизованого проектування багатоповерхових і каркасних залізобетонних конструкцій. В основу підсистем інженерного аналізу обох ПК покладено МСЕ (метод переміщень).

Інший вітчизняний ПК MIRELA+, розроблений під керівництвом професора Киричевського В.В. Цей ПК дозволяє автоматизувати скінченно-елементний аналіз конструкцій з еластомерних матеріалів.

САПР FORTU-FEM базується на використанні об'єктноорієнтованої мови FORTU-3 для формалізації скінченно-елементних моделей технічних об'єктів і процесів. Водночас користувач може самостійно визначити функціонал, машинізація якого буде відповідати стану системи, що моделюється.

Комп'ютерна система «POLYE-RL» призначена для розв'язку крайових задач математичної фізики з використанням теорії R-функцій, у тому рахунку на об'єктах фрактальної геометрії.

Потрібно зазначити, що розроблено також інші САПР, засновані на МСЕ. Серед них можна виокремити, наприклад, ADINA, HyperWorks, COMSOL

Multiphysics, а також системи з відкритим вихідним кодом: MFree2D, FreeFem++, Elmer тощо. Популярність МСЕ у системах САЕ доводить актуальність вирішення проблеми підвищення ефективності проектування об'єктів машинобудування шляхом збільшення точності скінченно-елементного аналізу.