

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

СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою
«Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва приладів»
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2021

Системи автоматизованого проектування: конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», спеціалізації «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; автори: К.С. Барандич, О.О. Подолян, М.М. Гладський. – Електронні текстові дані (1 файл 3,05 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 97 с.

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 2 від 09.12.2021 р.) за поданням Вченої ради приладобудівного факультету (протокол № 10/21 від 22.11.2021 р.)

Електронне мережне навчальне видання

СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

- Укладачі: *Барандич Катерина Сергіївна, к.т.н., доц.
Подолян Олександр Олександрович, к.т.н., доц.
Гладський Максим Миколайович, к.т.н., доц.*
- Відповідальний редактор: *Антонюк В.С., д.т.н., професор,
академік Академії інженерних наук України,
лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки,
лауреат Премії Кабінету Міністрів за розроблення і
впровадження інноваційних технологій.*
- Рецензенти: *Лесик Дмитро Анатолійович, к.т.н., ст. викл.
КПІ ім. Ігоря Сікорського
Лакоза Сергій Леонідович, к.т.н., доц.
КПІ ім. Ігоря Сікорського.*

Навчальний посібник призначено для підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» приладобудівного факультету, які навчаються за освітньою програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». В навчальному посібнику розглядаються основні терміни та визначення в області САПР, представлено структурований хронологічний опис розвитку САПР, основні етапи інженерного проектування, описано склад та структуру САПР, а також основні принципи їх створення. Розглянуто поняття CALS-технологій, місце автоматизованих систем на різних етапах життєвого циклу виробів та представлено аналіз функціональних можливостей сучасних САПР на етапах конструкторської підготовки виробництва.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	4
ВСТУП	6
Тема 1. Введення. Основні терміни та визначення	7
Тема 2. Історія створення та розвитку САПР.....	12
2.1. Ключові етапи створення та розвитку найбільш популярних САПР ...	12
2.2. Історія створення SolidWorks	23
2.3. Розвиток САПР на новітньому етапі	24
Тема 3. Основи автоматизованого проєктування. Інженерне проєктування та конструювання.....	27
Тема 4. Склад, структура і компоненти САПР	33
4.1. Колектив або персонал АС	33
4.2. Комплекс засобів автоматизації проєктування	37
4.3. Програмні комплекси та підсистеми	42
Тема 5. Системні принципи та властивості САПР	45
Тема 6. Системи інформаційної підтримки життєвого циклу виробів. CALS-технології	48
Тема 7. САПР – CAD/CAM/CAE/PDM/PLM-системи	58
7.1. Склад та основні функції CAD/CAM/CAE/PDM/PLM-систем.....	58
7.2. Класифікація CAD/CAM/CAE/PDM/PLM-систем	63
7.3. Критерії вибору САПР CAD/CAM/CAE/PDM/PLM-систем.....	70
Тема 8. Використання сучасних САПР на етапах конструкторської підготовки виробництва	75
8.1. Рішення від французького виробника програмного забезпечення Dassault Systèmes.....	75
8.2. Рішення від найбільшого в світі американського постачальника програмного забезпечення Autodesk, Inc.	82
8.3. Важкі САПР.....	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ	95

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

АС – автоматизована система.

САПР – система автоматизованого проєктування.

САПР ТП – система автоматизованого проєктування технологічних процесів.

КЗА АС – комплекс засобів автоматизації автоматизованої системи.

ІАС – система автоматизована інтегрована.

АСП – система проєктування автоматизована.

ЕОМ – електронна обчислювальна машина.

ПТК – програмно-технічний комплекс.

ПМК – програмно-методичний комплекс.

МЗ – математичне забезпечення.

ПЗ – програмне забезпечення.

ІЗ – інформаційне забезпечення.

МеЗ – методичне забезпечення.

ЛЗ – лінгвістичне забезпечення.

ОЗ – організаційне забезпечення.

ТЗ – технічне забезпечення.

БД – база даних.

СКБД – система керування базами даних.

АРМ – автоматизоване робоче місце.

ЖЦВ – життєвий цикл виробу.

CALS – Continuous Acquisition and Life cycle Support.

CAE – Computer Aided Engineering.

CAD – Computer Aided Design.

CAM – Computer Aided Manufacturing.

CAPP – Computer Aided Process Planing.

CAAP – Computer Aided Assembly Planing.

PDM – Product Data Management.

ERP – Enterprise Resource Planning.

MRP-2 – Manufacturing (Material) Requirement Planning.
MES – Manufacturing Execution System.
SCM – Supply Chain Management.
CRM – Customer Relationship Management.
SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition.
CNC – Computer Numerical Control.
SFA – Sales Force Automation.
IETM – Interactive Electronic Technical Manuals.
PLM – Product Lifecycle Management.
АСУП – автоматизованими системами управління підприємством.
АСУТП – автоматизованими системами управління технологічними процесами.
ЧПК – числове програмне керування.
MCAD – Mechanical Computer-Aided Design
EDA – Electronic Design automation.
ECAD – Electronic Computer-Aided Design.
AEC CAD – Architecture, Engineering and Construction Computer-Aided Design.
CAAD – Computer-Aided Architecture Design.
CADD – Computer-Aided Design and Drafting.
CAGD – Computer-Aided Geometric Design.
PTC – Parametric Technology Corporation.

ВСТУП

Одним з основних завдань підприємств приладо- та машинобудівних галузей є забезпечення конкуренто здатності своєї продукції як на ринку України, так і за її межами. На етапах конструкторської підготовки виробництва це завдання можна вирішити шляхом зменшення трудомісткості процесів проектування та підвищення якості проектних рішень за рахунок ефективного використання систем автоматизованого проектування.

В навчальному посібнику розглянуто основні терміни та визначення в області САПР у відповідності до державних стандартів. Наведено хронологічний опис історії створення САПР та їх розвиток, окреслено найбільш знакові події, особистості, рішення тощо.

Описано основні етапи інженерного проектування та показано відмінність між проектуванням та конструюванням.

Розглянуто склад, структуру, основні компоненти САПР та принципи їх створення. Детально проаналізовано використання CALS-технологій – інформаційних технологій підтримки життєвого циклу виробів, що випускаються, та їх ефективність при прийнятті проектних рішень, місце в них САПР.

Розглянуто використання найбільш популярних сучасних САПР на етапах конструкторської підготовки виробництва, їх версії, функціональні можливості тощо.

Метою навчального посібника є отримання студентами знань в області сучасних САПР, їх основних функцій, задач, які вони вирішують, для можливості прийняття рішення щодо використання тієї чи іншої системи для успішного вирішення конкретного завдання конструкторської підготовки виробництва при виконанні розрахунково-графічних робіт, курсовому чи дипломному проектуванні.

Тема 1. Введення. Основні терміни та визначення

Ускладнення конструкцій виробів, ріст вимог до їх якості і надійності, ускладнення умов експлуатації, необхідність скорочення термінів розробки нових виробів або вдосконалення вже існуючих вимагають прийняття складних рішень в мінімальні терміни [1]. При цьому на ефективність прийняття рішень, окрім кваліфікації та досвіду інженера, значний вплив будуть мати використовувані засоби автоматизації його діяльності.

Відповідно до ДСТУ 2226-93 «Автоматизовані системи. Терміни та визначення» – *система автоматизованого проєктування (САПР)* – це автоматизована система, яка призначена для автоматизації технологічного процесу проєктування виробу, кінцевим результатом якого є комплект проектно-конструкторської документації, достатньої для виготовлення та подальшої експлуатації об'єкта проєктування [2].

Цей же стандарт регламентує наступні визначення:

Автоматизація – це впровадження автоматичних засобів для реалізації процесів.

Об'єкт автоматизації – це сукупність функцій людини чи людино-машинного комплексу, що підлягають автоматизації.

Система автоматизована (АС) – організаційно-технічна система, що складається із засобів автоматизації певного виду (чи кількох видів) діяльності людей та персоналу, що здійснює цю діяльність.

Залежно від виду діяльності відповідно до ДСТУ 2226-93 виділяють наступні види АС:

- система керування автоматизована комплексна (КАСК);
- система керування автоматизована (АСК);
- система автоматизована інтегрована (ІАС);
- система наукових досліджень автоматизована (АСНД);
- система проєктування автоматизована (АСП);

- система керування технологічним процесом автоматизована (АСК ТП);
- система керування підприємством автоматизована (АСКП);
- система автоматизована технологічного готування виробництва (АС ТГВ);
- система автоматизована транспортно-складська (АСТС);
- система автоматизації адміністративної діяльності (АСАД);
- система ситуаційного керування автоматизована (АССК);
- система автоматизована контролю й випробувань (АСКВ);
- система інформаційно-пошукова автоматизована (АПС);
- система керування автоматизована службами життєзабезпечення підприємства (АСКСЖ);
- система автоматизована лексичного фонду
- система автоматизована інформаційно-термінологічного обслуговування (АСІТО);
- система оброблення інформації автоматизована.

АС складається з персоналу і комплексу засобів автоматизації його діяльності, що реалізують інформаційну технологію виконання встановлених функцій. При цьому поняття «комплекс засобів автоматизації» має на увазі всі компоненти АС, за винятком людей (користувачів автоматизованих систем).

Користувач автоматизованої системи – особа, що бере участь у функціонуванні АС або має право використовувати і використовує результати її функціонування.

Система автоматизована інтегрована (ІАС) – це сукупність двох і більше взаємопов'язаних АС, в якій функціонування однієї (кількох) з них залежить від результатів функціонування іншої (інших) так, що цю сукупність можна розглядати як єдину АС.

Система проектування автоматизована (АСП) – це АС, призначена для автоматизації технологічного процесу проектування виробу, кінцевим

результатом якого є комплект проектно-конструкторської документації, достатньої для виготовлення та подальшої експлуатації об'єкта проектування.

Комплекс засобів автоматизації автоматизованої системи (КЗА АС) – сукупність взаємоузгоджених компонентів і комплексів технічного, програмного, інформаційного та лінгвістичного забезпечень, що розробляються, виготовляються та постачаються як продукція виробничо-технічного призначення і використовуються під час створення й функціонування АС.

Автоматизоване проектування – процес, що здійснюється за спільної участі людини і засобів автоматизації [3].

Автоматичне проектування – процес, здійснюваний без участі людини [3].

Технологія інформаційна – технологічний процес, предметом перероблення й результатом якого є інформація.

Інформаційна модель – модель об'єкта, представлена у вигляді інформації, яка описує суттєві для даного розгляду параметри і змінні величини об'єкта [3].

Інформаційна модель виробу – сукупність даних і залежності між ними, що описують різні властивості реального виробу, які цікавлять розробника моделі і потенційного або реального користувача [3].

Електронний макет – електронна модель виробу, що описує його зовнішню форму і розміри, що дозволяє повністю або частково оцінити його взаємодію з елементами виробничого і/або експлуатаційного оточення, що служить для прийняття рішень при розробці виробу та в процесі його виготовлення і використання [3].

Основною метою створення САПР є підвищення ефективності праці інженерів [4, 5], а саме:

- скорочення трудомісткості проектування і планування;
- скорочення термінів проектування;

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

Досягнення цілей створення САПР забезпечується шляхом [4,5]:

- автоматизації оформлення документації;
- інформаційної підтримки та автоматизації прийняття рішень;
- використання технологій паралельного проєктування;
- уніфікації проєктних рішень і процесів проєктування;
- повторного використання проєктних рішень, даних і напрацювань;
- заміни натурних випробувань і макетування математичним моделюванням на ЕОМ;
- підвищення якості управління проєктуванням;
- застосування методів варіантного проєктування і оптимізації;
- зменшення обсягу випробувань і доведення дослідних зразків в результаті підвищення рівня достовірності проєктних рішень і, отже, зниження тимчасових витрат.

Таким чином, основною функцією САПР є забезпечення автоматизованого проєктування об'єктів або процесів та їхніх складових частин на всіх або окремих стадіях проєктування.

Контрольні питання:

1. Дати визначення системам автоматизованого проєктування.
2. Що називається системою автоматизованою?
3. Які види АС виділяють в залежності від виду діяльності?
4. Із чого в загальному складається АС?
5. Кого називають користувачем АС?

6. Дати визначення комплексу засобів автоматизації автоматизованої системи.
7. Чим відрізняється автоматизоване проєктування від автоматичного?
8. Яка мета створення САПР?
9. За рахунок чого досягається підвищення ефективності праці інженерів при використанні САПР?

Тема 2. Історія створення та розвитку САПР

2.1. Ключові етапи створення та розвитку найбільш популярних САПР

В зв'язку з низькою продуктивністю інженерної праці при обробці та аналізі інформації, в середині ХХ століття виникла необхідність в автоматизації проектних робіт, і почалися розробки, які були направлені на раціоналізацію та автоматизацію проектних робіт.

men were able to construct models o
es.



Рисунок 1 – Машина для «вирізання
файлів» Леонардо да Вінчі

Але відомо, що перші спроби автоматизації процесу створення креслеників належать Леонардо да Вінчі (1452-1519) [6], який створив машину для «вирізання файлів» (рис. 1).

Леонардо да Вінчі перш за все відомий своїми мистецькими творами, але він також був конструктором військових і провісником сучасних промислових машин. Проектна робота Леонардо була художня за своєю суттю – це більше ілюстрації, ніж інженерні кресленики.

Важливим кроком в розвитку вже сучасних методів автоматизованого проектування з застосуванням ЕОМ є розробка мови Фортран (Джоном Бекусом) в 1954-1957 рр. У 1955-1959 рр. в Массачусетському технологічному інституті під керівництвом Дугласа Т. Росса (Douglas T. Ross) була розроблена система програмування АРТ, в рамках якої і сформувалося поняття САД – computer aided design або САПР. На противагу

сьогоднішньому розумінню САПР в ті часи під цей термін означав просто використання ЕОМ з метою проектування.

Коріння сучасних технологій САПР сягають 1950-х років, і проекту SAGE ВПС США. Система SAGE, розроблена Лабораторією Lincoln Lab Массачусетського Технологічного інституту, стала основою для кількох важливих технологій, включаючи високопродуктивні комп'ютери, великі магнітні ядра та інтерактивну комп'ютерну графіку. SAGE передбачала використання дисплеїв CRT для відображення оброблених комп'ютером радіолокаційних даних та іншої інформації, наприклад розташування оборонної зброї.

Основоположником сучасних САПР (рис. 2) називають Патріка Хенретті (Patrick Hanratty) (рис. 3). Хенретті майже випадково виявив свою пристрасть до обчислювальної техніки та програмування, відповідаючи на питання газетних оголошень про пошук програмістів в його рідному місті Сан-Дієго після повернення зі служби у ВПС під час корейської війни [7].

Незважаючи на відсутність навіть освіти в коледжі, Ханратті в 1954 році успішно почав кар'єру програміста в авіабудівній компанії Convair. Після того як Ханратті почав працювати в підрозділ Convair компанії General Dynamics, він швидко освоїв програмування, без будь-якої формальної підготовки. IBM 650 була першою машиною, на якій він працював. І паралельно з цим навчився програмувати Univac Scientific 1103-A від Сперрі Ренда.

Потім він перейшов в компанію General Electric (GE), яка опублікувала в газеті оголошення про створення комп'ютерної компанії в Феніксі, де в **1957 р.** Патрік Дж. Ханратті створив свій **перший САМ-пакет PRONTO** (Programme for Numerical Tooling Operations). Це була мова системи САМ 2½ осі, що **дозволяла програмістам створювати траєкторію інструменту для обробки деталей.** Для керування верстатом була виготовлена паперова перфокарта, яка отримала премію імені Джозефа Марі Жаккарда (в 1982 році від Товариства числового контролю).

THE HISTORY OF CAD

FATHER OF CAD

PRONTO

By: Dr. Patrick Hanratty



PRONTO was the first commercial numerical-control programming system, sparked everything that is CAD. Known as the building blocks of everything CAD

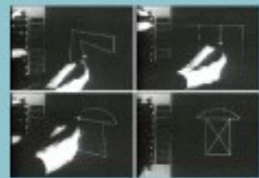
Dr. Patrick Hanratty, An American computer scientist regarded as the "Father of CAD and CAM"

1957

Sketchpad

By: Ivan Sutherland

First to ever use a total graphic user interface, users wrote with a light pen on an x-y pointer display, let users constrain properties in a drawing, created the use of "objects" and "instances"



1960

CADD

By: McDonell-Douglas

Used for parts layouts and geometry work, continued to be improved upon and customized for specific uses

1966

PDGS

By: Ford

Ford and other manufacturers started releasing internally developed CAD/CAM systems



1967

Digigraphics

By: Itek

First commercial CAD system, \$500000.00 per system, only sold 6 copies



1967

SynthaVision

By: MAGI

First commercially available 3D solid modeling program

1970

ComputerVision

By: Dr. Kenneth Versprille

Rational B-spline geometry added to CAD

1971

CADAM

Used by Lockheed, introduced CAD to aerospace design

1977

MiniCAD

Best selling CAD software for Mac computers



1978

GEOMOD

Featuring NURBS SDRC developed GEOMOD, their geometric modeling product. This model generator was based on precision and accuracy

1981

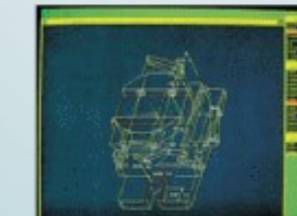
Autodesk AutoCAD

First CAD software made for PCs instead of mainframe computers

1982

Pro/Engineer (PTC Creo)

First mainstream CAD program that took the ideas of Sketchpad and made it come to life, based on solid models, history based features, and the use of constraints, this was a huge turn in CAD history



1987

Autodesk AutoCAD

Releases 13 Made the Autodesk program 3D

1994

eCATALOG

By: CADENAS PARTsolutions

CADENAS enters the native 3D CAD model market with eCATALOG solutions digital product catalogs that featured multiple Native CAD formats for the first time

1995



POPULAR CAD FORMATS

ADAM

By: Patrick Hanratty



Interactive graphics design, drafting and manufacturing system written in Fortran and designed to work on virtually every machine, huge hit that went on to be updated to work on 16 and 32 bit computers, today 80% of CAD programs can be traced back to the roots of ADAM

1971

Unigraphics

By: Siemens NX

High end easy to use software used by many corporations that set a new gold standard for CAD software at this time

1980



CADENAS Founded

Founded originally as an engineering firm but realized the potential of the engineering IT age

1992

STEP

Took over from IGES as the new format to use when transferring 3D models from one to another, 1994 was the initial release of STEP that made it an international standard for models, still the most used format

1994

SolidWorks

By: Dassault Systèmes Another software succeeded in ease of use, allowed more engineers than ever to take advantage of CAD technology

1995

So

By: Manufacturing process 2D res Sol

1995

Рисунок 2 – Історія CAD



Рисунок 3 – Патрік Хенретті (Patrick Hanratty) – піонер галузі CAD/CAM, засновник компанії Manufacturing and Consulting Services (MSC)

Приблизно в той же час Ханратті почав працювати в області комп'ютерної графіки.

У 1962 році Ханратті звільнився з GE, щоб приєднатися до General Motors Corp. (GM) (Детройт), де він став частиною команди в дослідницьких лабораторіях GM, які розташовувалися у Технічному центрі автовиробника (Уоррен, Мічиган).

В 1963 р. Ханратті розробив графіку для проєкту GM DAC (Design Augmented by Computers), вирішуючи завдання, пов'язані з трьох-, чотирьох- і п'ятиосевою обробкою поверхонь. Програма отримала назву **DAC-1** та була, в першу чергу, експериментальною роботою, а не системою для виробництва.

В якості експериментальної системи, DAC-1 була надзвичайно успішною, але розробники добре розуміли про необхідність додаткового її удосконалення, щоб зробити цей продукт став корисним для його виробничого використання. У 1967 р. проєкт DAC офіційно закрили.

У 1967 р. Патрік Хенретті працював в Astronautics Corporation. Після того, як Astronautics Corporation була поглинена McDonnell Douglas, він організував своє власне підприємство в 1970-х роках, щоб створити і продати нові рішення в області САПР.

У 1970 р. Ханратті заснував власну компанію Integrated Computer Systems ICS (пізніше переіменовану в MSC), де він і його команда розробили систему CAD/CAM для міні-комп'ютерів Redcor з використанням TPL (мова програмування). Незважаючи на високу оцінку, програмне

забезпечення **ICS INTERAPT** не стало комерційно успішним через вузьку динаміку реалізації програмного забезпечення і внаслідок того, що Ханратті написав код на мові програмування, яку він створив, компанія не проіснувала довго.

Зрештою, Ханратті домогся комерційного успіху в новій компанії під назвою Manufacturing and Consulting Services. Серед продуктів MSC такі відомі системи як INTERART, ADAM, ANVILL. Програмне забезпечення ADAM (Automated Drafting and Machining) на той час вважалося єдиною комерційно доступною системою креслення і обробки, враховувало інтегративну і адаптивну систему для графічного представлення, технічного креслення і виробництва.

У 1973 р. ADAM придбала компанія United Computing (нині Siemens Industry Software Inc.).

Ханратті написав програму на широко відомій та використовуваній мові програмування і створив її для роботи практично з будь-яким доступним обчислювальним пристроєм того часу, що, безумовно, допомогло досягти успіху. В 1980-х роках вийшли комп'ютерні термінали UNIX. MCS продовжила розробку здебільшого механічних САПР і програмного забезпечення для виробництва, спочатку з пакетом AD-2000, а потім з ПК і системами ANVIL CAD/CAM на базі UNIX. ANVIL став успішним програмним продуктом завдяки ефективному функціонуванню і подоланню обмежень у використанні, типових для продуктів на базі ПК того часу. В той час Ханратті став вже легендою, будучи блискучим і самовпевненим генієм.

Спираючись на новаторську технологію, яка набагато випереджала решту ринку, в системі ANVIL-5000 було реалізовано узгоджений користувацький інтерфейс для всіх додатків, а також базу даних подвійної точності для каркасних, поверхневих і твердотільних моделей і всіх додатків, що використовують ці дані. Одним з найбільш значних доповнень до даної системи став новий додатковий модуль моделювання твердих тіл під назвою

OMNISOLIDS, в результаті чого отримано один з перших пакетів CAD/CAM для щільної інтеграції каркаса, поверхонь і твердих тіл.

Багато фахівців стверджує, що 70% тривимірних механічних CAD-систем сходяться своїми витокami до розробок Ханратті і його програмного коду ADAM [7].

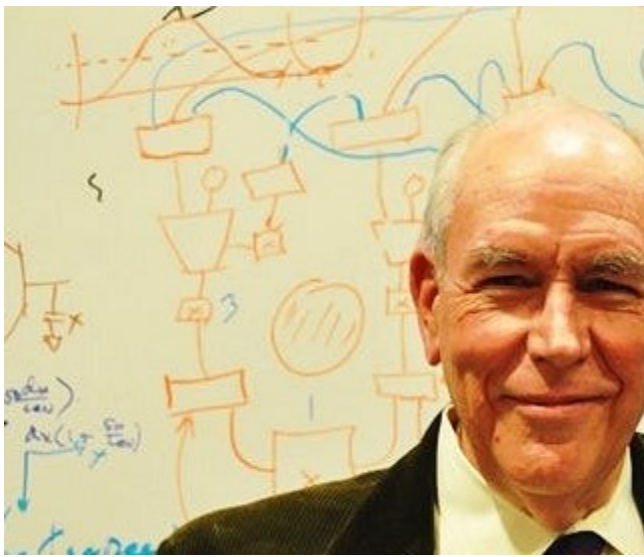


Рисунок 4 – Айвен Сазеренд

Батьком же сучасної інтерактивної комп'ютерної графіки можна назвати **Айвена Сазеренда** (рис. 4). Саме А. Сазеренд створив у **1963 р.** революційну комп'ютерну програму **Sketchpad** (рис. 5), за яку він отримав Премію Тюрінга 1988 р. і Кіотську премію 2012 р.

Програма Sketchpad стала першим програмним забезпеченням, яке започаткувало принцип взаємодії людини з комп'ютером (HCI) безпосередньо, інтерактивно – а не шляхом введення командних інструкцій. Sketchpad вважають родоначальником сучасних програм автоматизованої розробки (CAD), а також проривом у розвитку комп'ютерної графіки в цілому. Наприклад, графічний користувацький інтерфейс, відомий як GUI, бере свій початок зі Sketchpad – так само, як і найсучасніші програми, які побудовані на використанні об'єктно-орієнтованого програмування.

Основною ідеєю програми стало: створення графічного об'єкту, з якого можна створити безліч дублікатів. Якщо користувач змінював оригінал, то відбувалася автоматична зміна і у всіх його дублікатах. Програма Sketchpad створена на комп'ютері TX-2, величезній машині, яка була однією з найшвидших тогочасних систем, в Lincoln Lab Массачусетського технологічного інституту, який мав 64 тисячі 36-

розрядних слів, використовувала графічний дисплей (монітор) зі світловим пером (рис. 6) та клавіатуру для керування.

Засобами світлового пера та клавіатури створювали та редагували зображене креслеників на екрані.



Рисунок 5 – Айван Сазерленд презентує Sketchpad

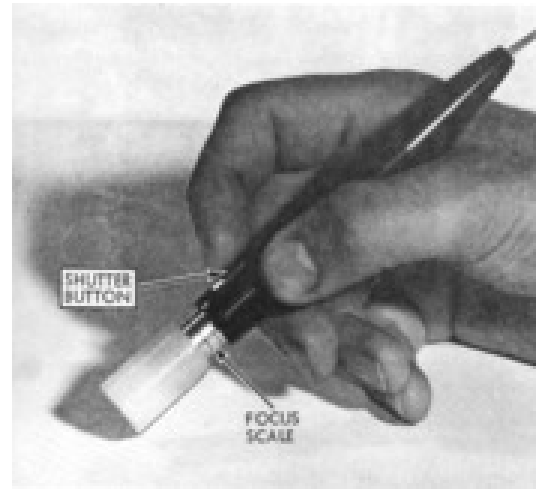


Рисунок 6 – Світлове перо

В 1960 р. на фірмі ІТЕК Corporation, що була оборонним підрядчиком США, розпочалося фінансування нового проекту з розробки інтерактивної графічної системи проектування. Базова система розроблена в **1962 р.** та отримала назву **EDM** (Electronic Drafting Machine), яка пізніше отримала назву **Digigraphics**. Системи коштували майже \$ 500 000 і її підтримали тільки кілька користувачів.

Авіаційна промисловість була одним з перших користувачів комп'ютерних систем для інженерного проектування та аналізу. Джеймс Сміт МакДоннелл та його авіабудівна компанія McDonnell Douglas були дуже активними у цьому напрямку починаючи з кінця 1950-х. Перша його виробнича частина NC виготовлена в 1958 р., а наступного року були використані комп'ютери для проектування літаків. У 1960 р. МакДоннелл вирішив використати цей досвід і розпочав бізнес комп'ютерних послуг. Того року його дочірня компанія McAuto була створена з 258 працівниками

та 7 мільйонів доларів комп'ютерного обладнання. Через п'ятнадцять років компанія McAuto стала однією з найбільших організацій комп'ютерних служб у світі з понад 3500 співробітників та комп'ютерною інфраструктурою на суму понад 170 мільйонів доларів. Компанія продовжувала зростати протягом наступного десятиліття, досягнувши понад 1 мільярду доларів доходу та 14 000 співробітників до 1985 р. Найбільшим клієнтом за цей період була група військових літаків з власної материнської компанії. Важливим проєктом протягом 1960-х та 1970-х років була розробка внутрішньої системи CAD/CAM для підтримки техніки McDonnell відома як **CADD** (Computer Aided Design and Drawing), вона вперше була реалізована на комп'ютері IBM 360/40, оснащеному дисплеєм IBM 2250, починаючи з **1966** р.

У 1997 р. McDonnell Douglas – американська авіабудівна компанія McDonnell Douglas і Boeing об'єдналися в компанію Boeing Company – найбільшу світову аерокосмічну корпорацію.

Не залишалася осторонь і автомобільна промисловість. Так, в **1967** р. Ford випускає **PDGS**. Того ж року Lockheed (американська військово-промислова корпорація) презентує **CADAM**.

Цей період можна назвати **етапом зародження галузі з розробки програмних продуктів САПР**.

В 1965 р. NASA для підтримки проєктів, пов'язаних з космічними дослідженнями, починає виконувати завдання для розробки скінченно-елементного програмного пакету. В **1970** р. такий пакет під назвою **NASTRAN** (NAsa STRuctural ANalysis) був створений та розпочалося його експериментальне використання. Вартість розробки склала приблизно 4 мільйонів доларів.

У 1969 р в Західно-Берлінському технічному університеті розпочато роботу з реалізації нової спеціальної програми «Техніка виробництва і автоматизації», в рамках якої розроблено тривимірну систему графічного моделювання.

Норвезька САПР **AUTOKOM**, створена для вирішення завдань суднобудування в **1971 р.**, була пристосована для зберігання великих обсягів даних по концепції побудови банку даних, розробленої в 1962 р Бахманом.

В Японії створена система TIPS-1, GEOMAP. В Англії розробили систему BUILD і ін.

Далі розпочалися розробки відомих та популярних сьогодні САПР. Так в **1973 р.** виходить перший реліз CAD/CAM/CAE-системи **Unigraphics**, яка зараз має назву **NX** (рис.7) компанії **Siemens PLM Software**.



Рисунок 7 – Логотип NX
(Siemens NX)

Спочатку система, яка була розроблена американською компанією United Computing, мала назву "Unigraphics". У 1976 р. компанія McDonnell Douglas (сьогодні Boeing) придбала United Computing і згодом була утворена McDonnell Douglas Automation Unigraphics Group.

NX є результатом злиття в 2002 році систем Unigraphics і I-deas, які вже на той момент вважалися лідерами серед САПР у багатьох галузях промисловості. Біля витоків Unigraphics стояли підприємства аерокосмічної галузі, а пакет I-deas, випущений в 1982 році, розвивався під керівництвом компаній автомобільної індустрії.

В даний час система NX впроваджена в більшості галузей промисловості і для багатьох компаній стала стандартизованим рішенням автоматизації процесів конструкторсько-технологічної підготовки виробництва.

В 70-х роках зароджується компанія Dassault Systèmes як відділ САПР в компанії Dassault Aviation (французька літакобудівна компанія, заснована в 1929 році Марселем Дассо). Тут виконують розробки програмного забезпечення для літакобудування.

В **1977 р.** запускається розробка нового на 100% графічного програмного забезпечення, яке має бути інтуїтивним, відображати 3D моделі

і бути простим для використання, яке отримує назву **CATIA** (англ. Computer Aided Three-dimensional Interactive Application). У 1980 р. CATIA це лише одна із близько 100 програм, які на той час розроблялися в Dassault Systèmes.

В **1981 р.** анонсується **CATIA V1**, а вже в 1984 р. The Boeing Company вибрала CATIA V2 в якості основного інструменту 3D CAD, ставши його найбільшим клієнтом.

CATIA стає першою повномасштабною 3d-системою проектування на світовому ринку, масового використання, зокрема, в аерокосмічній (в тому числі в Airbus і Boeing) і автомобільній промисловості (Peugeot - Citroën, Toyota, Mercedes Benz, Renault, АВТОВАЗ).

В **1979 р.** Майкл Ріддл створює першу в світі САПР для мікрокомп'ютерів **Interact**, яка в **1980 р.** отримала назву **MicroCAD**. Архітектура цієї системи та формат її файлів DWG (від англ. DraWinG - креслення) лягла в основу програми AutoCAD компанії Autodesk.

Історія Autodesk почалася в 1982 р., в квітні, коли група програмістів виділила з особистих заощаджень \$60 тисяч для стартапу та почала розробку декількох програм для персональних комп'ютерів. Створену компанію назвали Desktop Solutions (це була перша робоча назва компанії Autodesk). Спочатку група з 13 програмістів зосередила свої зусилля над декількома програмними продуктами, серед яких була програма MicroCAD – досить проста, але зручна система автоматизованого проектування. Але, все-таки, основну ставку співзасновники зробили на Autodesk – офісну програму для ПК, що включає календар, електронну картотеку тощо. У той час комп'ютери почали активно проникати в офіси, і розробники Autodesk мали наметі позбавити офісних працівників від кіпи паперів, за рахунок автоматизації багатьох процесів. Що ж до програми MicroCAD, спочатку, ще до створення Desktop Solutions, вона розроблялася одним із співзасновників компанії Майком Ріддлом.



Рисунок 8 – Логотип Autodesk AutoCAD 2020

Майкл Ріддл представив робочій групі прототип креслярського редактора MicroCAD, який він розробляв. Програма викликала загальний інтерес, у зв'язку з чим електронна таблиця і текстовий редактор пішли на другий план, виконувалося доопрацювання креслярської програми.

Перша демонстрація **AutoCAD** (рис. 8) відбулася в листопаді **1982 р.** для платформ CP/M і IBM PC на виставці COMDEX та мала помітний успіх [8].

В **1987 р.** компанія PTC, Inc (колишня назва Parametric Technology Corporation) – міжнародна компанія-розробник програмного забезпечення для двомірного і тривимірного проєктування (CAD САПР), управління життєвим циклом виробів (PLM), управління обслуговуванням (SLM) і управління життєвим циклом додатків (ALM) випускає першу

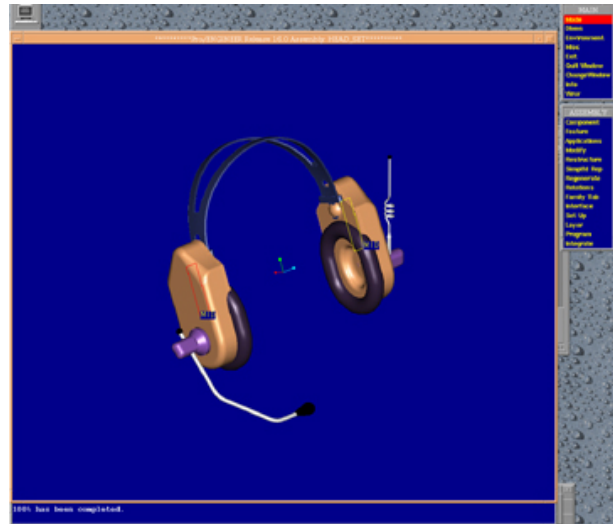


Рисунок 9 – Революційний інтерфейс Pro/ENGINEER 1987 р. [9]

версію програмного продукту **Pro/ENGINEER** (рис. 9), який зараз має назву **PTC Creo**. Заснував компанію PTC в 1985 р. Самуїл Гейзберг, професор Ленінградського університету, що емігрував до США в 1974 р.

З тих пір кількість впроваджуваних систем безперервно зростає. За оцінкою фахівців, в 1985 р кількість використовуваних систем істотно перевищує 1000 [10].

В нашій країні одна з перших САПР було розроблено в **80-х** роках спеціалістами відділу математичного моделювання та оптимального проєктування Інституту проблем машинобудування АН України та Проєктно-конструкторського бюро автоматизованих систем керування текстильної та легкої промисловості в Москві для потреб легкої промисловості [11].

В 1989 р. засновано компанію АСКОН, де створено лінійку систем автоматизованого проєктування КОМПАС з можливостями оформлення проєктної та конструкторської документації згідно стандартів ЄСКД. Назва лінійки походить від фрази "комплекс автоматизованих систем". Перший випуск КОМПАС (версія 1.0) відбувся в **1989** р. Перша версія під Windows – КОМПАС 5.0 – вийшла в 1997 р.

2.2. Історія створення SolidWorks

В 1983 р. Джон Хірштик (Jon Hirschtick) (рис. 10) отримує ступінь магістра в області машинобудування в Массачусетському технологічному інституті (МТІ) та починає роботу в лабораторії САПР МТІ та починає реалізовувати ряд бізнес-проєктів [12].



Рисунок 10 – Джон Хірштик
(Jon Hirschtick)

До початку 1994 р. у нього сформулася ідея створення недорогого САПР на основі твердотілого моделювання.

Хірштик збирає команду та організовує компанію Winchester Design Systems, яка починає розробку того, що з часом перетворилося на SolidWorks. Далі компанія стала називатися SolidWorks Corp [13].

План Хирштика був дуже простим. SolidWorks працюватиме тільки на ПК з Windows, компанія мала намір використати стандартні функції Windows по максимуму. В **1995 р.** виходить перша версія **SolidWorks**. В результаті вийшла програма, схожа на власні продукти Microsoft, такі як Word і Excel. Такий підхід значно зменшив об'єм коду, який треба було розробити. Оскільки програма мала працювати на недорогих ПК, то і ціна на неї була відповідною. Компанія встановила початкову ціну в \$ 3995. Вже в 1997 р. Хирштик продає компанію SolidWorks Corp компанії Dassault Systemes за \$310 млн.

2.3. Розвиток САПР на новітньому етапі

В **1995 р.** компанією Intergraph розроблено систему твердотілого та поверхневого моделювання **Solid Edge**. 1997 р. Intergraph купує компанія UGS Corp., а в 2007 г. концерн Siemens купує UGS Corp.

Також в **1995 р.** компанія CADENAS, яка заснована в 1992 р. в Німеччині, створює **eCATALOGsolutions** – це програмне рішення для виробників стандартних деталей і запчастин, призначене для створення, організації і продажу електронних каталогів продукції.

В **1999 р.** виходить перша версія **Autodesk Inventor** компанії Autodesk, Inc., як результат наміру компанії вийти на ринок середніх та важких САПР.

В **2012 р.** виходить перша версія Autodesk **Fusion 360**. Команда розробників Fusion 360 керувалася основними запитамі більшості користувачів і трендами в індустрії, які сформувалися в процесі розвитку технологій і збору запитів клієнтів. Вони приділили увагу таким областям, як **хмарні сервіси, віддалені сховища даних, мобільні додатки, простота застосування, прості інструменти моделювання, висока швидкість підготовки документації і підготовка моделі до випуску на верстатах з ЧПК і 3d-друку, високоякісна візуалізація. Хмарна платформа Autodesk Fusion 360** поєднує

в собі можливості повноцінного параметричного пакету САПР, хмарних технологій у вигляді сервісів Autodesk A360 і колективної роботи. Важливою перевагою застосування хмарних технологій є забезпечення високої гнучкості в управлінні програмним забезпеченням і сервісами, доступними не лише персональним користувачам, але і цілим групам, в яких кожен учасник виконує певне завдання.

В **2013 р.** в компанії **CADENAS** створюють **3D CAD App** – перший мобільний додаток для 3D моделювання.

В **2015 р.** з'являється хмарний САПР від Джона Хирштика (розробника SolidWorks) **Onshape**. Onshape – справжній хмарний САПР [14]. Для його роботи на комп'ютері не вимагається встановлювати що-небудь окрім браузеру з підтримкою WebGL (наприклад, Chrome або Firefox). Не потрібні ні спеціальний сервер, ні спеціальне Інтернет підключення, досить звичайного WiFi. Зайти в Onshape так само просто, як і в Google Docs, використовуючи лише адресу електронної пошти і пароль. Для роботи з Onshape на iOS і Android були розроблені спеціальні додатки. Версію для iOS вже можна скачати з Apple Store. У тому числі завдяки хмарній архітектурі, ці додатки стали не просто програмами-переглядачами, а повнофункціональними САПР з можливостями редагування тривимірної моделі, управлінням версіями і нотифікаціями. На серверній стороні вони використовують ті ж самі розвинені засоби тривимірного моделювання, що і браузерна версія.

Джон Хирштик визнає, що доки ще не ясно, чи стануть ці додатки затребуваними або ні. Але його команда узяла на себе ризик і багато інвестувала в розробку додатків для смартфонів і планшетів. Адже ще кілька років тому ніхто не міг уявити, що велика частина електронного листування буде виконуватися з використанням телефонів. Щось подібне може статися і з САД системами.

Компанія **CADENAS** продовжує свої розробки і наряду з eCATALOGsolutions в **2017 р.** з'являється **PARTsolutions**. PARTsolutions –

це система управління для покупних і стандартних деталей від CADENAS GmbH [15].

Багато інженерів з усього світу використовують PARTsolutions, виграючи з її допомогою час для важливих дизайнерських завдань. Цей програмний продукт надає інженерам і дизайнерам приладобудівної, машинобудівної, автомобілебудівної і будівельної галузей можливість прямого доступу до тисяч деталей із понад 700 сертифікованих каталогів від провідних міжнародних виробників. Стратегічне управління деталями PARTsolutions допомагає сучасним компаніям скорочувати і з легкістю управляти компонентами і стандартними деталями. Програмне забезпечення PARTsolutions органічно інтегрується у виробничий ланцюг і таким чином покриває увесь цикл виробництва.

Контрольні питання:

1. Які розробки вважають відправними точками в зародженні галузі створення САПР?
2. Чим відомий Патрік Хенретті?
3. Який внесок Айвена Сазеренда в розрив галузі розробки САПР?
4. Описати особливості програми Sketchpad.
5. Як авіаційна та автомобільна промисловості вплинули на розвиток САПР?
6. Який період називають етапом зародження галузі з розробки програмних продуктів САПР? Опишіть його.
7. Назвати коли та з яких САПР починаються розробки відомих та популярних сьогодні САПР? Назвіть їх.
8. З чого починається створення AutoCAD?
9. Описати історію створення SolidWorks.
10. Які особливості розвитку САПР на новітньому етапі? Опишіть найбільш характерні тенденції.

Тема 3. Основи автоматизованого проєктування. Інженерне проєктування та конструювання

В загальному процес *проєктування* – це процес створення проєкту, комплексу інформації, що описує прообраз майбутнього або можливого об'єкту або процесу [4].

Технічне проєктування – це створення, перетворення, вдосконалення і представлення в прийнятій формі образу ще не існуючого об'єкту [15]. Образ цього об'єкту може першочергово створюватися в уяві людини в результаті творчого процесу або генеруватися у відповідності до певних алгоритмів в процесі взаємодії людини та ЕОМ. В будь якому випадку інженерне проєктування має місце тоді, коли у суспільстві виникає необхідність в технічних об'єктах, якими можуть бути промислові вироби або процеси, об'єкти будівництва тощо.

Проєктування, при якому проєктні рішення отримують шляхом взаємодії людини, ЕОМ та комплексу програмних та інших засобів автоматизації діяльності, називають *автоматизованим*. Відповідно системи, які реалізують автоматизоване проєктування, називаються *системами автоматизованого проєктування*. В свою чергу, якщо проєктні рішення отримують без участі ЕОМ, то таке проєктування називається *ручним*. А якщо проєктні рішення отримують навпаки без участі людини на проміжних етапах, то таке проєктування називають *автоматичним*.

Ручне проєктування вже практично стало історією і не використовується на передових підприємствах, а автоматичне проєктування можливе лише в окремих випадках, зазвичай, для не складних об'єктів. Це пов'язано, перш за все, зі складністю створення таких автоматичних систем. Таким чином, в основному на даний час використовується автоматизоване проєктування.

Повний цикл проєктування називають науково-дослідними та дослідно-конструкторськими роботами – це комплекс заходів, що включають

в себе як наукові дослідження, так і виготовлення дослідних та малосерійних зразків продукції, що передують запуску нового виробу або системи у виробництво [4] .

Після завершення прикладних науково-дослідних робіт (вирішення конкретної наукової проблеми для створення нового виробу, отримання рекомендацій, інструкцій, розрахунково-технічних матеріалів, методик, визначення можливості проведення дослідно-конструкторських робіт) та за умови позитивних результатів переходять до дослідно-конструкторських робіт.

Основна їх задача – створення комплекту конструкторської документації для виробництва. Предметом застосування САПР є саме дослідно-конструкторські роботи.

Відповідно до ДСТУ 8634:2016 «Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Настанови щодо розроблення та поставлення на виробництво нехарчової продукції» основними дослідно-конструкторськими роботами є (рис. 11):

- розробка технічного завдання;
- технічна пропозиція;
- ескізне проєктування;
- технічне проєктування (конструювання);
- розробка робочої документації для виготовлення та дослідження дослідного зразка;
- попередні дослідження дослідного зразка;
- державні (відомчі, внутрішньокорпоративні тощо) дослідження дослідного зразка (за необхідності);
- відпрацювання документації за результатами досліджень.

У *технічному завданні* зазначається назва виробу, основне призначення, технічні характеристики виробу, який розробляється, його показники якості, техніко-економічні та експлуатаційні вимоги, вимоги до працездатності тощо.

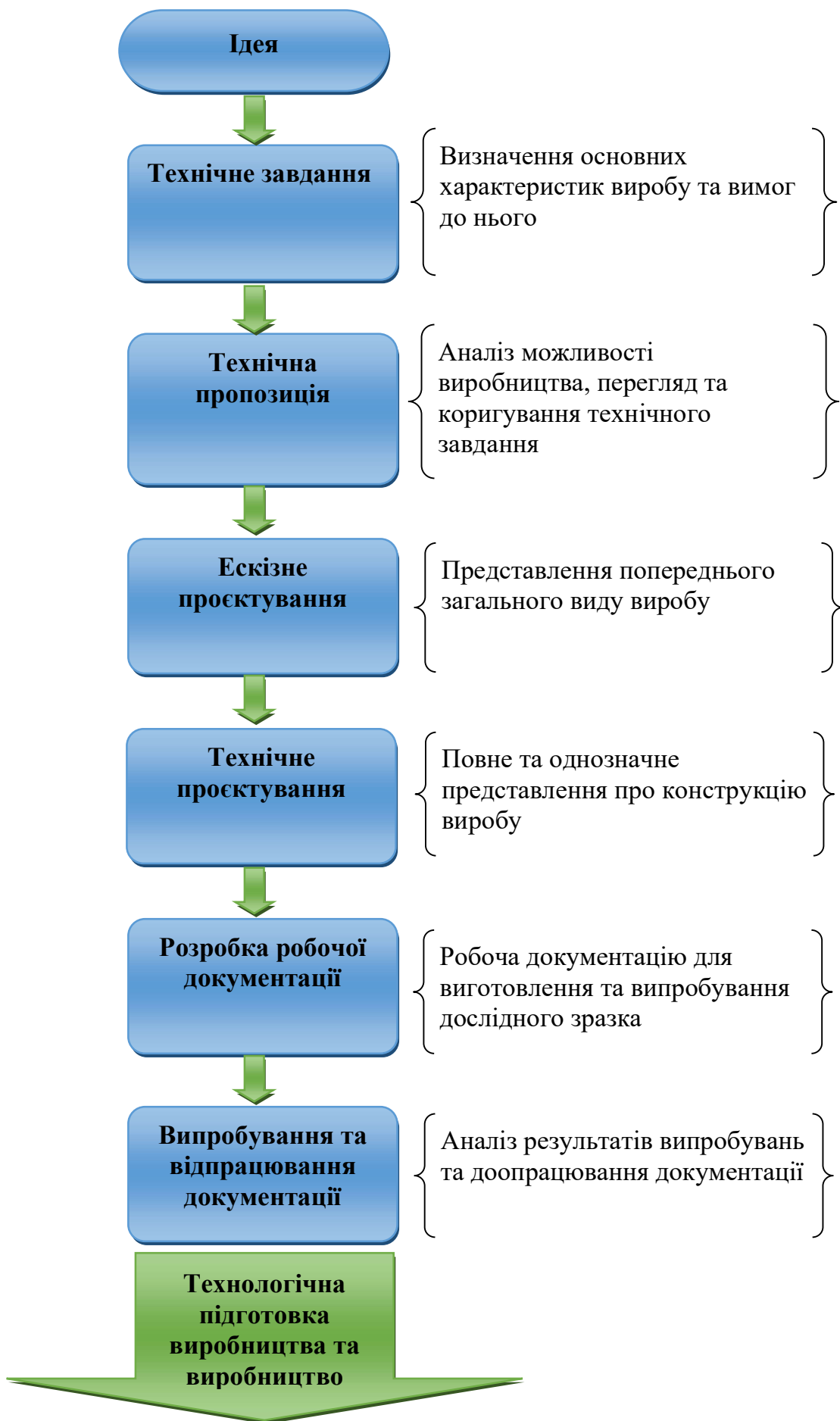


Рисунок 11 – Схема основних етапів інженерного проєктування

Технічна пропозиція є підставою для корегування технічного завдання та виконання ескізного проєкту. При розробці технічної пропозиції здійснюється виявлення додаткових або уточнення існуючих вимог до виробу, його технічних характеристик і показників якості.

Ескізне проєктування є основою для технічного проєктування.

В ході ескізного проєктування виконують такі роботи:

- вибір елементної бази;
- вибір основних технічних рішень;
- розробка структурних та функціональних схем виробу;
- вибір основних конструктивних елементів;
- метрологічна експертиза проєкту;
- розробка та випробування макетів.

Даний етап є саме **проєктуванням**, на відміну від наступного етапу технічного проєктування, який часто називають **конструюванням**.

Результатом етапу є ескізний проєкт, який розробляється з метою встановлення принципів (конструктивних, схемних тощо) рішень виробу. Ці рішення дають загальне уявлення про принципи роботи та (або) будову виробу.

На етапі **технічного проєктування** визначають остаточні технічні рішення, які дають повне та однозначне представлення про конструкцію виробу в цілому та його складові частини, виконується оцінювання його відповідності до технічного завдання, технологічність, зручність експлуатації, доцільність та можливість ремонту тощо.

Тобто завданнями, що вирішуються на етапі технічного проєктування є:

- розробка принципів електричних, кінематичних, гідравлічних та інших схем;
- уточнення основних параметрів виробу;
- проведення конструктивної компоновки виробу та (за необхідності) видача даних для його розміщення на об'єкті;

- розробка проєктів технічних вимог на поставку та виготовлення виробу;
- випробування макетів основних складових частин виробу в натурних умовах.

Існує два принципово різні підходи або методи проєктування – **«знизу вгору»** та **«зверху вниз»**. При проєктування «знизу вгору» виріб створюється аналогічно процесу складання із окремих частин та комплектуючих. Спочатку проєктуються окремі деталі, які потім об'єднуються в єдину конструкцію. При роботі в стилі «зверху вниз» спочатку створюється проєкт загального вигляду виробу, після чого він послідовно наповнюється деталізованими проєктами його елементів. Також виділяють **«змішане проєктування»**, яке має елементи як стилю (типу) проєктування «знизу вгору» так і «зверху вниз». Для складних виробів та систем віддають перевагу проєктування **«знизу вгору»**

Етап технічного проєктування завершується випуском **робочої документації**. Спочатку розробляють робочу документацію для виготовлення та випробування дослідного зразка та формування комплекту конструкторських документів в наступній послідовності:

- розробка повного комплекту робочої документації;
- узгодження її з замовником та заводом – виробником серійної продукції;
- перевірка конструкторської документації на уніфікацію та стандартизацію;
- виготовлення дослідного зразку.

Випробування та доопрацювання. Попередні випробування виконують з метою перевірки відповідності дослідного зразка вимогам технічного завдання та визначення можливості проведення остаточних випробувань. Попередні випробування, зазвичай, включають:

- стендові випробування;
- попередні випробування на об'єкті;

- випробування на надійність тощо.

Остаточні випробування проводять з метою оцінювання відповідності вимогам технічного завдання та можливості організації серійного виробництва. Після відпрацювання документації за результатами серійних випробувань і внесення необхідних уточнень та змін в робочу документацію вона передається на виробництво. **На цьому стадія проєктування завершується і починається технологічна підготовка виробництва та виробництво.**

Стадії (етапи) проєктування поділяють на складові частини, які називаються проєктними процедурами. Прикладами проєктних процедур можуть бути підготовка тривимірних моделей і робочих креслеників, аналіз кінематики, моделювання перехідного процесу, оптимізація параметрів і інші проєктні завдання. У свою чергу, проєктні процедури можна розділити на більш дрібні компоненти – операції.

Контрольні питання:

1. Що називають технічним проєктуванням?
2. Які різновиди технічного проєктування виділяють в залежності від ступення залучення людини до отримання проєктних рішень?
3. З чого складається повний цикл проєктування?
4. Яка основна задача дослідно-конструкторських робіт?
5. Перерахувати основні види дослідно-конструкторських робіт.
6. Яку інформацію зазначають у технічному завданні?
7. Які роботи виконуються на етапі ескізного проєктування?
8. Яка різниця між проєктування та конструюванням?
9. Охарактеризувати етап технічного проєктування.
- 10.Що мається на увазі під проєктуванням «знизу вгору» та «зверху вниз»?
- 11.Які види робіт виконуються на етапі розробки робочої документації?

Тема 4. Склад, структура і компоненти САПР

Аналіз наукових основ і напрямів розвитку стандартизації в області комп'ютерних технологій і систем показує виражену тенденцію до виділення загальних (інваріантних) принципів, методів і підходів створення автоматизованих систем різного призначення. Формалізація і абстрагування від специфіки предметної області характерно практично для всіх наук, особливо природничо-наукового напрямку. Це дозволяє посилити концентрацію і прогностичні можливості наукового знання [10].

Однак для практичної реалізації виявлених наукою принципів і закономірностей необхідний механізм конкретизації і розгортання абстрактних понять в сукупність предметно-орієнтованих рекомендацій та описів, які є достатніми для вирішення завдань виконавчого рівня.

Як при проектуванні виробів приладо- або машинобудування, так і при створенні нових інформаційних технологій і автоматизованих систем здійснюється багаторівневе ітераційне розширення і уточнення описів (проектів) від загальної концепції системи аж до робочого проекту, який представляється у вигляді комплексу технічної документації.

4.1. Колектив або персонал АС

Під системою автоматизованого проектування зазвичай розуміють програму для проектування приладо- та машинобудівних виробів і процесів та оформлення відповідної технічної документації. Однак таке визначення є неповним і, головне, абсолютно виключає з системи людини, що виступає в якості основного елемента – суб'єкта процесу автоматизованого проектування.

У процесах технічної підготовки виробництва завжди мають місце завдання, вирішення яких можливе тільки на основі використання творчих здібностей людини, її досвіду та інтуїції. Тому при розробці промислових

автоматизованих систем велика увага приділяється проблемі поділу функцій і організації ефективної взаємодії між людиною і комп'ютером з урахуванням їх якостей та можливостей.

За своєю суттю САПР – це людино-машинна система, що ініціюється та керується користувачем. А якщо більш точно, то цілим колективом користувачів, що становлять невід'ємну організаційну частина системи. Згідно з принципами системного підходу, пропонується розглядати САПР в процесі її функціонування в єдності і взаємному впливові всіх складових компонент системи. Досить точне і повне системне визначення САПР міститься в [3]:

САПР – це організаційно-технічна система, що входить в структуру проектної організації і здійснює проектування за допомогою комплексу засобів автоматизації проектування (КЗАП). Або «система, що складається з персоналу і комплексу засобів автоматизації його діяльності, що реалізує інформаційну технологію виконання встановлених функцій».

Тобто, *САПР* – це сукупність колективу проектувальників (персоналу) і набору (комплексу) комп'ютерних засобів і технологій, які об'єднані в рамках єдиної організаційної структури для вирішення задач розробки і супроводження виробів.

Дане визначення вказує на те, що АС слід розглядати, в першу чергу, з організаційної точки зору, враховуючи при цьому персонал, який приймає рішення і виконує керування за підтримки програмних, технічних та інших засобів (рис. 12). Поняття «персонал» відрізняється від простої сукупності людей або абстрактних користувачів АС тим, що це ретельно підібраний і підготовлений колектив фахівців, організаційно структурованих, які виконують узгоджену діяльність у відповідності зі своїми посадовими обов'язками.

Зі складу колективу АС можна виділити, перш за все, **цільовий (експлуатаційний) персонал**, до якого відносяться інженерно-технічні працівники, які виконують основні проектні операції та процедури.

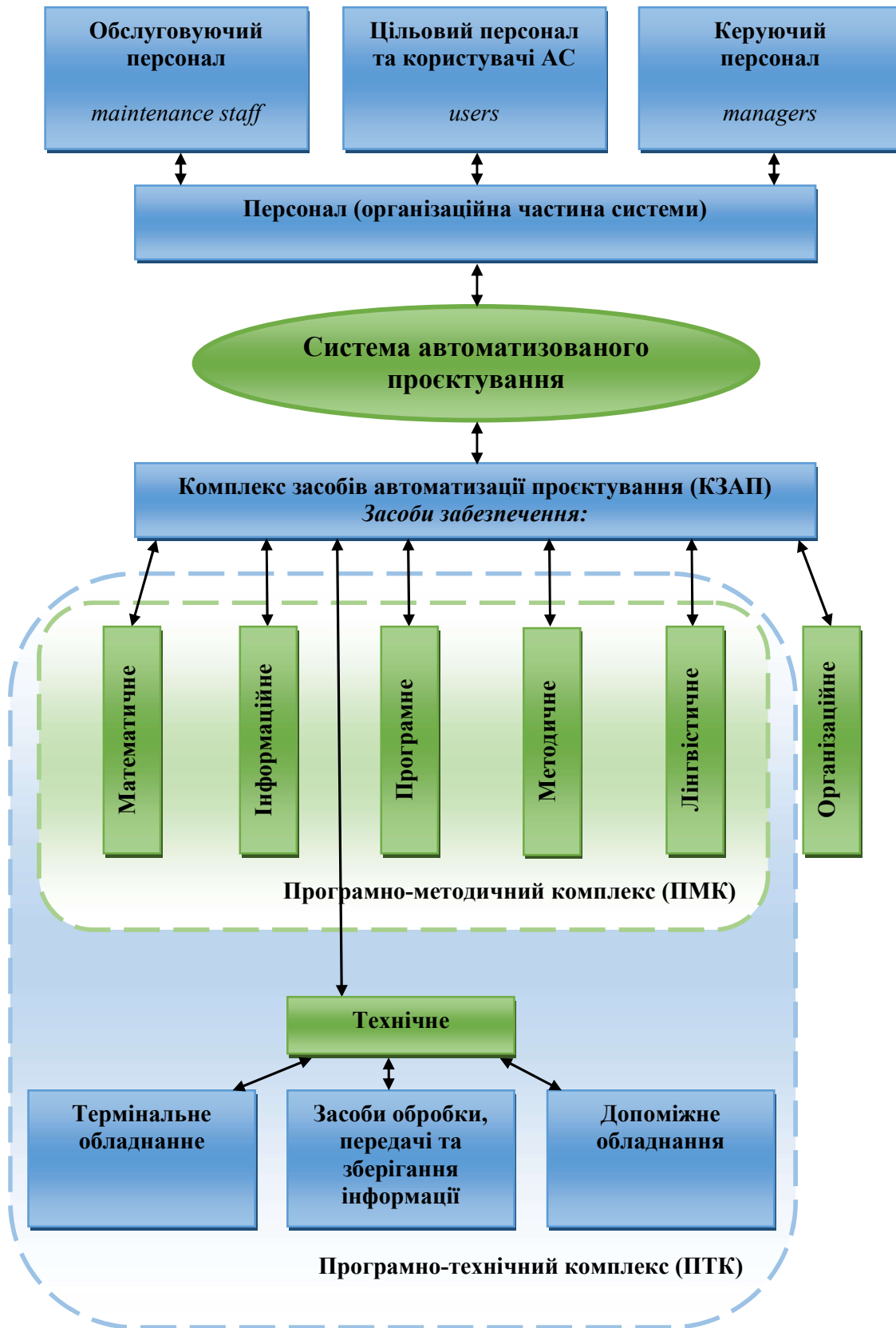


Рисунок 12 – Структура системи автоматизованого проєктування

До *користувачів* автоматизованої системи (users) можна віднести не тільки фахівців, які безпосередньо беруть участь в проектуванні та конструюванні виробів і розробці технічної документації, але й інших співробітників підприємства, що використовують електронні моделі і документи і беруть участь в операціях їх проходження і перетворення змістовної інформації. Наприклад, працівники відділу маркетингу беруть участь в розробці та узгодженні технічного завдання на виріб, робітники цеху використовують документацію, моделі, програми для верстатів і формують відомості про результати проходження виробничих процесів, служба управління якістю аналізує дані про продукцію і формує результати контролю і вимірювань тощо.

Користувачами автоматизованих систем підприємства є і керівники всіх ланок, які отримують зведені звіти та аналітичну інформацію про процеси життєвого циклу виробів і надають на основі отриманих даних своєчасні оперативні дії на відповідні їх компетенції автоматизовані процеси.

До *керуючого персоналу* відносяться керівники (менеджери), які безпосередньо керують впровадженням, функціонуванням та розвитком автоматизованої системи. Такими фахівцями можуть бути ІТ-менеджери, керівники відділів автоматизації та інформаційних технологій, системні адміністратори і адміністратори баз даних, які регламентують роботу технічних і програмних засобів, адмініструють права користувачів і управляють електронним документообігом і трафіком комп'ютерних мереж.

Обслуговуючий персонал займається так званим інформаційним обслуговуванням АС і призначений для забезпечення безперебійного функціонування, ремонту, проведення планових і регламентних робіт всіх складових комплексу засобів забезпечення. До цієї важливої категорії персоналу, без повсякденної діяльності якого неможлива підтримка АС в робочому стані, відносяться інженери-електроніки, системні програмісти, техніки, оператори, лаборанти та інші фахівці, які безпосередньо не пов'язані з проєктною діяльністю.

4.2. Комплекс засобів автоматизації проєктування

Комплекс засобів автоматизації проєктування (КЗАП) або комплекс засобів забезпечення автоматизованої системи – це сукупність взаємоузгоджених компонентів і комплексів, що розробляється, виготовляється і поставляється як продукція виробничо-технічного призначення (рис. 12).

У загальному випадку комплекс засобів автоматизації будь-якої автоматизованої системи складається з програмно-технічних (ПТК), програмно-методичних (ПМК) комплексів і окремих компонентів таких основних забезпечень:

- математичного;
- програмного;
- інформаційного;
- методичного;
- лінгвістичного;
- організаційного;
- технічного.

Математичне забезпечення (МЗ) (*mathematical support*) АС включає в себе всю сукупність математичних методів, моделей і алгоритмів обробки інформації, які використовуються при функціонуванні системи. Форма подання математичного забезпечення може бути різною, наприклад, у вигляді традиційних паперових документів: книг, статей, описів, керівництв.

Головна вимога до математичного забезпечення – це його повнота, достатня для забезпечення формалізації процесу всього проєктування в цілому, а також зручність для аналізу й обробки людиною, оскільки його практичне використання відбувається після реалізації в програмному забезпеченні. Для свідомої та успішної роботи користувачів в складі САПР велике значення має можливість вивчення та розуміння математичного забезпечення.

Програмне забезпечення (ПЗ) (software) АС є сукупністю комп'ютерних програм з відповідною програмною документацією. Згідно з вимогами, ПЗ повинно мати ієрархічну структуру та складатися із окремих модулів і підсистем. Програмний модуль повинен виконувати функціонально закінчене перетворення інформації, бути написаним на одній із стандартних мов програмування і задовольняти домовленостям про представлення даних у вигляді, що є прийнятним для даної САПР.

Виділяють загальне програмне забезпечення АС (або загальносистемне – *heavy-duty software*) як частину програмного забезпечення, що є сукупністю програмних засобів, які розроблені поза зв'язком зі створенням даної АС. Загальносистемне ПЗ складають програми, призначені для організації обчислювального процесу, і програмні рішення завдань обробки інформації, наприклад, операційні системи, системи управління базами даних, текстові і табличні редактори тощо.

Також виокремлюють спеціальне (або прикладне – *application software*) програмне забезпечення автоматизованої системи, що представляє собою сукупність програм, розроблених при створенні даної АС, і призначене для реалізації проєктних процедур, операцій та інформаційних технологій. Іноді вживають термін базове програмне забезпечення, щоб виділити найбільш важливу і часто вживану в інших програмних моделях і підсистемах частину ПЗ, наприклад, геометричне ядро або блок управління САПР.

Інформаційне забезпечення (ІЗ) (information support) АС становить сукупність різномірної інформації, яка використовується в процесах автоматизованого проєктування. ІЗ включає архів технічних документів, довідники, класифікатори, комплекс нормативної документації, набір вхідних і вихідних даних комп'ютерних програм тощо.

ІЗ переважно повинно міститися в базах даних (БД). Сукупність БД САПР має забезпечувати інформаційну сумісність і незалежність даних на логічному і фізичному рівнях, в тому числі інваріантність до програмного забезпечення. Створення, підтримка і використання БД може здійснюватися

системою керування базами даних (СКБД), що є як загальносистемною, так і спеціальною частиною ПЗ.

Методичне забезпечення (MeЗ) (*methodical support*) АС є сукупністю документів, які описують технологію функціонування АС, методи вибору і використання користувачами технологічних прийомів для отримання конкретних результатів (проектних рішень) при функціонуванні АС.

Найчастіше методичне забезпечення комерційних програмно-методичних комплексів представляється у вигляді різного роду посібників, що поставляються виробниками програмного забезпечення:

- керівництво користувача АС;
- керівництво адміністратора АС;
- керівництво системного і прикладного програміста, оператора тощо.

Багато розробників програмно-методичних комплексів включають в стандартну поставку ліцензій збірники типових рішень (*Examples*) і підручники, в яких детально описуються приклади. Наприклад, «Практичне керівництво» у АСКОН, «Керівництво інструктора для навчання використанню програмного забезпечення SolidWorks» SolidWorks.

В останні роки частою практикою стало створення вбудованих або автономних електронних підручників та інтерактивних електронних посібників, які істотно прискорюють і полегшують процес освоєння САПР користувачами.

Лінгвістичне забезпечення (ЛЗ) (*linguistic support*) АС визначається як сукупність засобів і правил для формалізації природної мови, які використовуються при спілкуванні персоналу АС з комплексом засобів автоматизації. До складу ЛЗ входить сукупність мов, які застосовуються при створенні програмного забезпечення, розробці інших засобів забезпечення, а також прийомів і способів інтерактивної взаємодії «людина – машина», що здійснюються в проектних процедурах САПР.

Це можуть бути і універсальні алгоритмічні мови програмування, і спеціалізовані проблемно-орієнтовані мови проектування. Наприклад, мова управління завданнями в пакетних режимах роботи або графічний інтерфейс користувача (GUI) при інтерактивній взаємодії, також СУБД використовуються інформаційно-пошукові мови, що забезпечують опис умов пошуку.

До складу більшості сучасних програмно-методичних комплексів входять спеціалізовані об'єктно-орієнтовані мови та засоби прикладного інтерфейсу користувача (API), що дозволяють допрацьовувати і доповнювати програмне забезпечення САПР.

Організаційне забезпечення (ОЗ) (*organizational support*) АС представляється сукупністю документів, що встановлюють організаційну структуру системи, права і обов'язки користувачів і обслуговуючого персоналу; принципи діяльності в умовах функціонування системи, а також форми представлення результатів діяльності. За формою ОЗ може складатися з положень, інструкцій, наказів, штатних розкладів, посадових інструкцій та інших організаційно-розпорядчих документів, що регламентують організаційну структуру підрозділів проєктної організації і їх взаємодію з КЗАП.

Технічне забезпечення (ТЗ) (*hardware*, або технічні засоби) АС включає сукупність всіх технічних (апаратних) засобів, які задіяні при функціонуванні АС. Компоненти ТЗ можна розділити за призначенням на декілька функціональних груп.

Термінальне обладнання включає:

- персональні комп'ютери і робочі станції, які використовуються для організації автоматизованих робочих місць (АРМ);
- стандартне периферійне обладнання введення-виведення інформації;
- спеціалізовані засоби введення і відображення графічної інформації, контрольно-вимірювальну апаратуру.

Тобто це всі цифрові пристрої, якими керує користувач і, які використовуються для організації інтерактивної роботи.

Засоби обробки, передачі і зберігання інформації складають групу засобів ТЗ, що включають:

- сервери;
- комп'ютери колективного доступу (mainframe) і комп'ютерні кластери;
- апаратуру організації та підтримки масивів внутрішньої і зовнішньої пам'яті, сховищ даних різної фізичної природи;
- обладнання локальних і глобальних комп'ютерних мереж.

Тобто ту частину комп'ютерних апаратних засобів, які не підтримують безпосередню взаємодію з цільовим персоналом.

Допоміжне обладнання використовується для забезпечення функціонування основних пристроїв, що входять в дві перші групи. Сюди можна віднести:

- пристрої безперебійного живлення (UPS);
- прилади діагностики та тестування;
- інструменти і засоби ремонту і профілактичного обслуговування;
- кондиціонери, а також інше обладнання, необхідне для підтримки здоров'я і продуктивної роботи персоналу в складі АС.

До ТЗ можна віднести і ергономічне забезпечення, що є сукупністю рішень з узгодження психологічних, психофізіологічних, антропометричних, фізіологічних характеристик і можливостей користувачів з технічними характеристиками КЗАП і параметрами робочого середовища на робочих місцях персоналу.

Програмно-методичний комплекс (ПМК) системи автоматизованого проєктування (*software-methodical complex*) – це взаємопов'язана сукупність компонентів математичного, програмного, інформаційного і методичного забезпечення, включаючи іноді компоненти лінгвістичного забезпечення,

необхідні для отримання закінченого проєктного рішення по об'єкту проєктування або виконання уніфікованої процедури.

Як правило, ПМК і є комерційними інформаційними продуктами, які розробляються фірмами-виробниками, що спеціалізуються в області САПР. При впровадженні на конкретному підприємстві ПМК оснащується організаційним забезпеченням та іншими відсутніми компонентами, а потім інтегрується до складу системи автоматизації.

Програмно-технічний комплекс (ПТК) автоматизованої системи складається з взаємопов'язаних ПМК і технічного забезпечень, які є достатніми для автоматизованого виконання певного завдання.

Наприклад, автоматизоване робоче місце користувача САПР визначається як програмно-технічний комплекс, що призначений для автоматизації діяльності певного виду; цифрова контрольно-вимірювальна машина може поставлятися разом зі спеціалізованим ПЗ в складі програмно-технічного комплексу.

4.3. Програмні комплекси та підсистеми

У відповідності з системним принципом декомпозиції АС, структурними частинами САПР, які пов'язані з її функціональним призначенням або організаційною структурою підприємства, є підсистеми, на які можна розділити комплексну автоматизовану систему [3] (рис. 13).

Підсистеми можуть функціонувати автономно (незалежно одна від одної) або бути вбудованими в основну комплексну систему. В свою чергу підсистеми можуть мати свій власний внутрішній поділ на рівні – підсистеми, для яких верхній рівень розглядається як «батьківська» система.

Наприклад, САД-, САМ-, САЕ-системи можна розглядати як підсистеми комплексної (інтегрованої) САПР, а до складу САД-системи входять підсистеми геометричного моделювання та розробки проєктно-конструкторської документації.

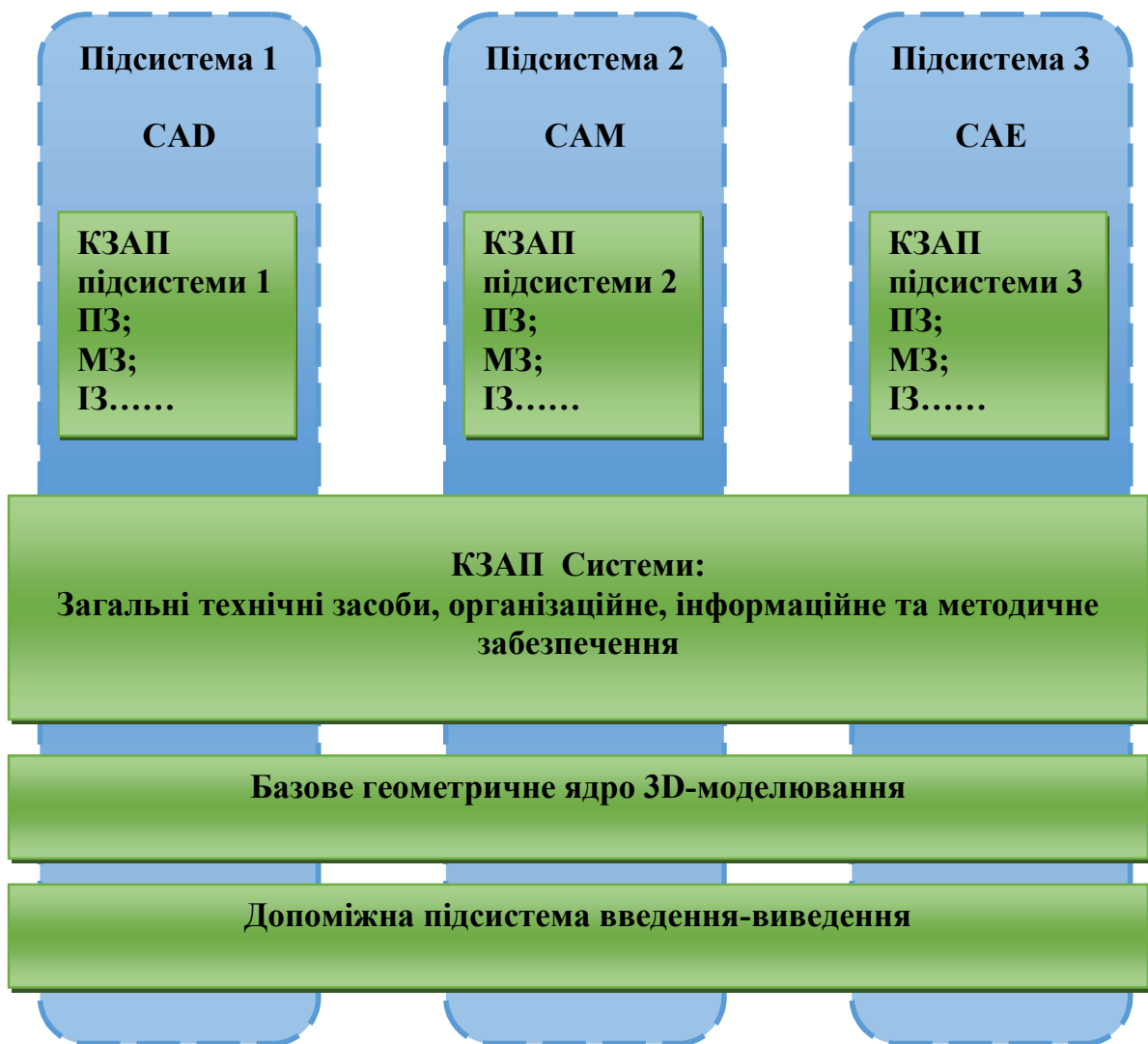


Рисунок 13 – Ієрархічна структура автоматизованої системи

За призначенням підсистеми поділяються на проєктуючі та обслуговуючі.

Проєктуючі підсистеми мають об'єктну орієнтацію і реалізують певний етап (стадію) проєктування, наприклад, підсистема проєктування деталей з листового матеріалу або підсистема розрахунку технологічних процесів механічної обробки.

Обслуговуючі підсистеми мають загальносистемне застосування і забезпечують підтримку функціонування проєктуючих (прикладних) підсистем, наприклад, це підсистеми трансляції даних, введення-виведення

файлів і друку документів, віддаленого доступу, архівування та відновлення даних тощо.

Контрольні питання:

1. Які місце персоналу в САПР?
2. Хто є користувачами АС?
3. Охарактеризувати цільовий, керуючий та обслуговуючий персонал АС?
4. Дати визначення комплексу засобів автоматизації проектування та опишіть його склад.
5. Охарактеризувати математичне та програмне забезпечення.
6. Яке призначення лінгвістичного забезпечення?
7. Описати інформаційне забезпечення.
8. Охарактеризувати методичне забезпечення.
9. Що входить до складу технічного забезпечення?
10. Дати визначення програмно-методичному комплексу.
11. Дати визначення програмно-технічному комплексу.
12. Порівняти проєктуючі та обслуговуючі підсистеми.

Тема 5. Системні принципи та властивості САПР

Узагальнення досвіду досліджень і розробки автоматизованих систем, і в тому числі САПР, дозволило сформулювати основні загальносистемні принципи їх побудови [3].

Принцип системної єдності (системності) стверджує, що система і створюється, і експлуатується як єдина сукупність взаємодіючих підсистем, робота яких підпорядкована загальній меті. Принцип системності полягає в тому, що при декомпозиції системи повинні бути встановлені такі зв'язки між структурними елементами системи, які забезпечують цілісність АС і її взаємодію з іншими системами.

Принцип сумісності (інтеграції) повинен забезпечувати спільне функціонування складових частин САПР і зберігати відкритість системи в цілому.

Принцип інтеграції полягає в тому, що при створенні в системі повинні бути реалізовані інформаційні інтерфейси, завдяки яким вона може взаємодіяти з іншими підсистемами відповідно до встановлених правил і стандартів, що має забезпечувати можливість її інформаційної інтеграції з іншими АС і комплексами підтримки життєвого циклу виробу (ЖЦВ).

Принцип тупізації (стандартизації та уніфікації) полягає в орієнтації на переважне створення і використання типових і уніфікованих елементів при проєктуванні і впровадженні системи. Цей принцип поширюється в тому числі і на проєктні рішення, пакети прикладних програм, комплекси, компоненти автоматизованих систем.

Принцип розвитку полягає в необхідності забезпечення постійного поповнення, вдосконалення, розширення та оновлення системи. Він поєднується з принципом відкритості. При створенні об'єктів автоматизації відразу повинна бути передбачена можливість проведення робіт із їх модернізації.

Принцип відкритості полягає в тому, що, виходячи з перспектив розвитку об'єкта автоматизації, АС повинна створюватися з урахуванням можливості поповнення та оновлення функцій і складу АС без порушення її функціонування.

Принцип ефективності полягає в досягненні раціонального співвідношення між витратами на створення АС і цільовими ефектами, включаючи кінцеві результати, які отримані в результаті автоматизації.

Принцип інваріантності передбачає, що по можливості система повинна бути інваріантною до об'єкту проєктування і галузі, тобто максимально предметно-незалежною, універсальною.

Принцип тиражованості та адаптації стверджує, що система повинна бути тиражованою і легко адаптуватися до можливих змін об'єкта проєктування і умов експлуатації.

Універсальна САПР характеризується своєю багатофункціональністю. Хоча її створення набагато дорожче і складніше в порівнянні зі спеціалізованою САПР, яка призначена для виконання визначених, обмежених процедур або об'єктів виробництва (наприклад, САПР ТП виготовлення деталей типу тіла обертання), але універсальна САПР набагато більш придатна для тиражування (копіювання) та поширення.

Умови експлуатації будь якої тиражованої системи можуть відрізнятися від тих, для яких вона спочатку розроблялася. Наприклад, може видозмінюватися об'єкт проєктування або середовище її використання. Якщо принцип інваріантності не було дотримано, то виникають труднощі в адаптації системи до змінених умов експлуатації та об'єкту проєктування. Тому універсальна система відрізняється наявністю великої кількості діалогових і програмних налаштувань.

Принцип живучості передбачає, що система повинна забезпечувати виконання заданих функцій при впливах зовнішнього середовища і відмовах її компонентів в заданих межах. Дотримання принципу живучості забезпечує стійкість САПР до позаштатних впливів зовнішнього середовища і відмов її

компонентів. Підвищенню живучості сприяють модульність побудови системи, дублювання підсистем, взаємозамінність окремих компонентів підсистем тощо.

Крім цього, виділяють такі *системні властивості САПР* [3]:

- інтелектуальність – можливість здійснювати цілеспрямовані раціональні дії;
- ергономічність – зручність використання, а також можливість адаптації до стану і психофізичному типу користувача;
- колективність – можливість забезпечення колективної роботи та паралельного проектування;
- модульність – можливість виділення окремих функціональних частин і підсистем;
- ієрархічність – можливість угруповання модулів за кількома рівнями;
- придатність до декомпозиції – можливість роздільного і автономного використання підсистем;
- мультиформатність – здатність сприйняття і виведення інформації в різних форматах.

Контрольні питання:

1. Охарактеризувати принципи системної єдності та сумісності САПР.
2. Охарактеризувати принципи інтеграції та типізації САПР.
3. Охарактеризувати принципи розвитку та відкритості САПР.
4. Охарактеризувати принципи ефективності та інваріантності САПР.
5. Охарактеризувати принципи тиражованості та адаптації, а також живучості САПР.
6. Які системні властивості мають САПР?

Тема 6. Системи інформаційної підтримки життєвого циклу виробів. CALS-технології

У сучасних економічних умовах ключовим фактором успішного функціонування приладо-, машинобудівних підприємств є максимально можливе скорочення термінів проектування та освоєння нової продукції [16]. Існує необхідність організації узгодженої роботи багатьох організацій, оскільки в процесі проектування, виробництва та експлуатації виробу керування здійснюється зазвичай за допомогою АС, що вимагає інформаційної взаємодії таких систем.

Крім того з розвитком техніки та технологій відбувається постійне підвищення рівня складності виробів, що обумовлює збільшення об'єму даних про виріб. Це спричиняє збільшення кількості учасників проекту, які задіяні на різних етапах ЖЦВ, що може призводити до проблем при їх комунікації та обміні інформацією (наприклад, через не сумісність використовуваних комп'ютерних систем). Також слід враховувати, що метою виробництва є створення виробів необхідної якості, що є технологічними та зручними у використанні та обслуговуванні, тому необхідна інформаційна взаємодія між виробником і споживачем продукції.

Один із шляхів вирішення такої задачі – це використання інформаційних технологій підтримки ЖЦВ, що випускаються, які мають назву *CALS-технології* [16].

CALS це абревіатура від англ. *Continuous Acquisition and Life cycle Support* – безперервна інформаційна підтримка поставок і життєвого циклу виробів або інформаційна підтримка процесів життєвого циклу виробів (рис. 14).

Відповідно до чинного ДСТУ 3278-95 «Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Основні терміни та визначення» *життєвий цикл продукції (виробу)* – це сукупність взаємопов'язаних процесів зміни стану продукції від початку дослідження та обґрунтування

розроблення до припинення експлуатації виробу, застосування (зберігання) матеріалу.

Умовно вважають, що на початкових стадіях життєвого циклу продукція існує як задум, вимоги технічного завдання, розроблена технічна документація, макети, експериментальні та дослідні зразки.

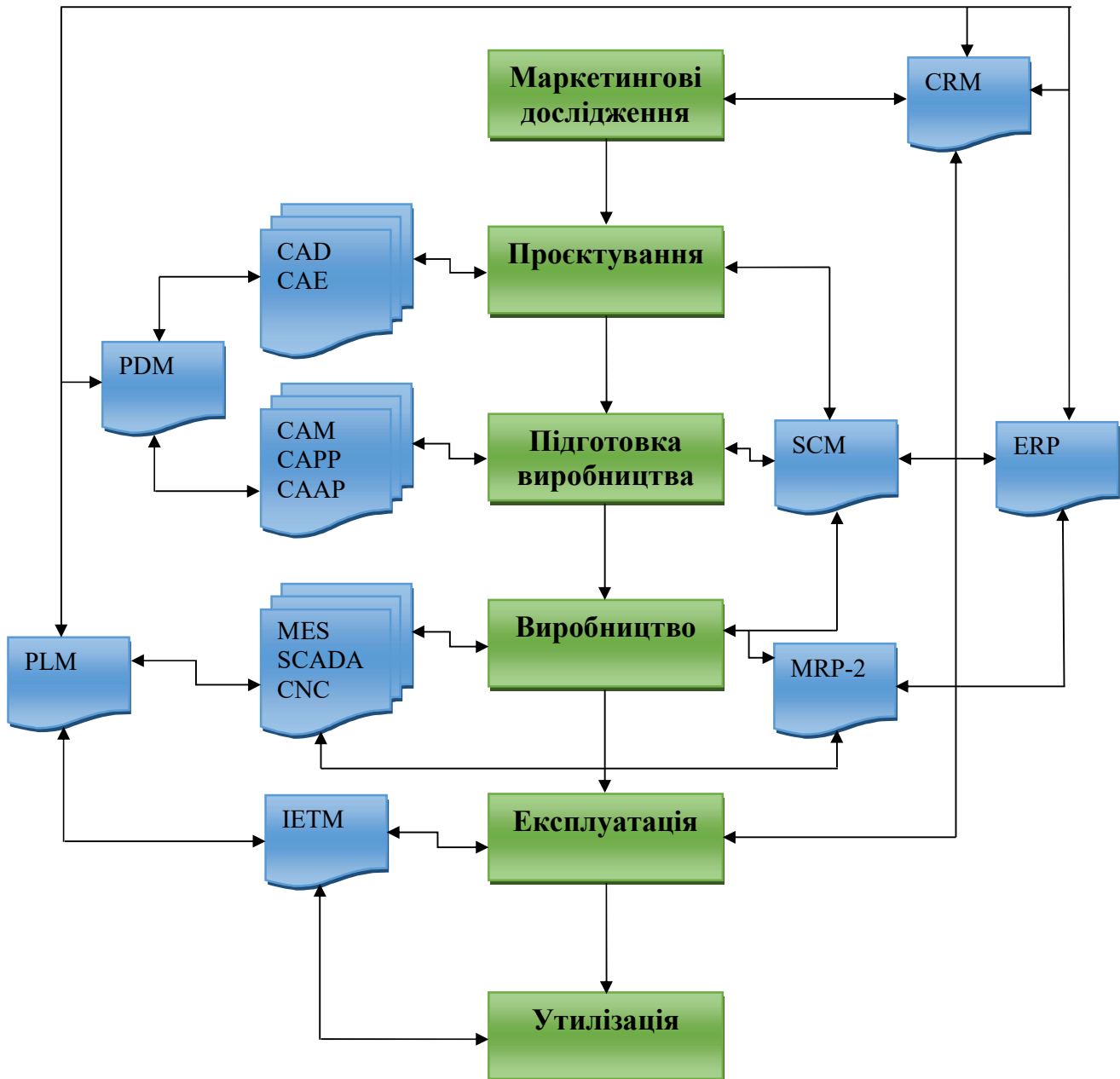


Рисунок 14 – Етапи життєвого циклу виробів та системи їх інформаційної підтримки

Також згідно з ДСТУ 3278-95 «Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Основні терміни та визначення» у життєвому циклі поштучної продукції виділяють такі стадії:

- дослідження та обґрунтування розроблення;
- процес розроблення, виробництво;
- експлуатація та капітальний ремонт (для виробів, які підлягають капітальному ремонту).

Оскільки зараз все більше уваги приділяється охороні довколишнього середовища, повторному використанню сировини, безвідходному виробництву тощо до заключної стадії (етапу) ЖЦВ відносять утилізацію.

Відповідно до даних відкритих інформаційних джерел CALS-технології – це підхід до проєктування і виробництва високотехнологічної та наукомісткої продукції, що полягає у використанні комп'ютерної техніки та інформаційних технологій на всіх стадіях ЖЦВ. Тобто це методологія створення *єдиного інформаційного простору*, що забезпечує взаємодію всіх автоматизованих систем, які стосуються вирішення як інженерних задач, так і задач планування та керування виробництвом та ресурсами підприємства.

Формування CALS-технологій почалося в 80-х роках минулого століття в оборонному комплексі США в зв'язку з необхідністю підвищення ефективності управління та скорочення затрат на інформаційну взаємодію в процесі замовлень, поставок і експлуатації засобів озброєння. За останні десятиліття термін CALS пройшов певну еволюцію, зокрема:

1985 р. – Computer Aided of Logistic Support – комп'ютерна підтримка логістичних систем;

1988 р. – Computer Aided Acquisition and Lifecycle – комп'ютерні поставки та підтримка ЖЦВ;

1993 р. – Computer Aided Acquisition and Lifecycle – підтримка безперервних поставок та ЖЦВ;

1995 р. – Commerce at Light Speed – бізнес в високому темпі;

1997 р. – Continuous Acquisition and Lifecycle Support – безперервна підтримка ЖЦВ.

На початкових етапах задачею було створення єдиного інформаційного простору, який міг забезпечити оперативних обмін даними між замовником, федеральними органами, виробництвом та споживачем продукції. Тобто з самого початку ця концепція базувалася на ідеології ЖЦВ та охоплювала етапи виробництва та експлуатації.

Застосування CALS виявилось настільки вдалим, що за коротких проміжків часу цей досвід швидко переймають представники промисловості, будівництва, транспорту тощо, а самі CALS-технології охоплюють всі етапи ЖЦВ.

Стратегією CALS є створення єдиного інформаційного простору для всіх учасників ЖЦВ. Створення єдиного інформаційного простору дозволяє подолати інформаційний хаос і комунікаційні бар'єри між учасниками ЖЦВ. Це призводить до підвищення ефективності процесів ЖЦВ та взаємодії між його учасниками. А саме, можна виділити такі переваги [17]:

- забезпечується цілісність даних;
- виконується мінімум перетворень інформації (наприклад, зміна форматів файлів) при переході від одного етапу ЖЦВ до іншого;
- зміни даних бачать всі і одразу;
- підвищення швидкості пошуку та доступу до даних;
- можливість організації географічно віддаленого доступу до даних.

Насьогодні CALS-технології є набором методів та засобів створення єдиного інформаційного простору, до них відносяться:

CAE – Computer Aided Engineering (автоматизировані розрахунки та аналіз);

CAD – Computer Aided Design (автоматизироване проєктування);

CAM – Computer Aided Manufacturing (автоматизирована технологічна підготовка виробництва);

CAPP – Computer Aided Process Planing (автоматизоване проектування технологічних процесів (ТП), яка дозволяє з різним ступенем автоматизації проектувати одиничні, групові та типові технологічні процеси з багатьох напрямків: механообробка, гальваніка, зварювання, термообробка тощо.);

CAAP – Computer Aided Assembly Planing (автоматизоване проектування процесів складання);

PDM – Product Data Management (управління проєктними даними);

ERP – Enterprise Resource Planning (планування та управління ресурсами підприємства);

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

MES – Manufacturing Execution System (виробнича виконавча система);

SCM – Supply Chain Management (управління ланцюгами поставок);

CRM – Customer Relationship Management (управління взаємовідносинами з замовниками);

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

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

SFA – Sales Force Automation (автоматизація діяльності з продажу);

IETM – Interactive Electronic Technical Manuals (інтерактивні електронні технічні керівництва);

PLM – Product Lifecycle Management (управління даними ЖЦВ).

Таким чином, відповідно до етапів ЖЦВ [18]:

- маркетингові дослідження виконуються за допомогою CRM-систем;
- проектування та аналіз виконується за допомогою CAD/CAE-систем;
- технологічна підготовка виробництва здійснюється за допомогою CAM, CAPP та CAAP-систем;

- безпосередньо виробництво виконується засобами MES, SCADA, CNC та MRP-2;
- експлуатація виробу відбувається під керуванням CRM та IETM систем;
- управління утилізацією здійснюється системою IETM.

До САПР відносять зазвичай CAE/CAD/CAM- системи. Для забезпечення спільного функціонування компонентів САПР різного призначення, тобто координації роботи CAE/CAD/CAM- систем, управління проєктними даними і проєктуванням розробляються системи, що отримали назву PDM – Product Data Management (системи управління проєктними даними). Системи PDM або входять до складу модулів конкретною САПР, або є самостійними і можуть працювати спільно з різними САПР.

На більшості етапах ЖЦВ, починаючи з визначення підприємств-постачальників матеріалів і компонентів та закінчуючи реалізацією продукції, необхідні системи управління ланцюжками постачань – SCM – Supply Chain Management. Управління ланцюгами поставок передбачає переміщення матеріального потоку з мінімальними витратами.

Координація роботи багатьох підприємств-партнерів покладається на системи управління даними в інтегрованому інформаційному просторі CPC – Collaborative Product Commerce (спільний електронний бізнес).

Інформаційна підтримка етапу виробництва продукції здійснюється автоматизованими системами управління підприємством (АСУП) і автоматизованими системами управління технологічними процесами (АСУТП). До АСУП відносяться системи планування і управління підприємством ERP (Enterprise Resource Planning), планування виробництва і вимог до матеріалів MRP - 2 (Manufacturing Requirement Planning) і згадані вище системи SCM. Найбільш розвинені системи ERP виконують різні бізнес-функції, пов'язані з плануванням виробництва, закупками, збутом продукції, аналізом перспектив маркетингу, управлінням фінансами, персоналом, складським господарством, обліком основних фондів тощо.

Системи MRP-2 орієнтовані здебільшого на бізнес-функції, які безпосередньо пов'язані з виробництвом. В деяких випадках системи SCM і MRP-2 входять як підсистеми в ERP.

Проміжне положення між АСУП і АСУТП займає виробнича виконавча система MES (Manufacturing Execution Systems), яка призначена для вирішення оперативних завдань управління проєктуванням, виробництвом і маркетингом.

До складу АСУТП входить система SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), що виконує диспетчерські функції (збір і обробку даних про стан устаткування і технологічних процесів) і допомагає розробляти програмне забезпечення для вбудованого устаткування. Для безпосереднього програмного управління технологічним устаткуванням використовують системи CNC на базі контролерів (спеціалізованих комп'ютерів, що називаються промисловими), які вбудовані в технологічне устаткування з ЧПК.

На етапі реалізації продукції виконуються функції управління відносинами із замовниками і покупцями, проводиться аналіз ринкової ситуації, визначаються перспективи попиту на плановані вироби. Ці функції покладені на систему CRM. Функції навчання обслуговуючого персоналу покладені на інтерактивне електронне технічне керівництво IETM (Interactive Electronic Technical Manuals), з їх допомогою виконуються діагностичні операції, пошук компонентів, що відмовили, замовлення додаткових запасних деталей і деякі інші операції на етапі експлуатації систем.

Управління даними в інформаційному просторі, єдиному для різних автоматизованих систем, покладається на систему управління життєвим циклом продукції, що реалізовує технології PLM (Product Lifecycle Management). Технології PLM об'єднують методики і засоби інформаційної підтримки виробів упродовж усіх етапів ЖЦВ. Характерна особливість PLM – забезпечення взаємодії як засобів автоматизації різних виробників, так і різних автоматизованих систем багатьох підприємств, тобто технології PLM

(включаючи технології CPC) є основою, яка інтегрує інформаційний простір, в якому функціонують САПР, ERP, PDM, SCM, CRM і інші автоматизовані системи багатьох підприємств.

Єдиний інформаційний простір у відповідності зі стратегією CALS не лише забезпечує вирішення конструкторських та технологічних задач, організацію та керування бізнес-процесів, фінансування, постачання, безпосередньо виробництво тощо при наскрізному управлінні ЖЦВ виключно в електронному вигляді від ідеї створення виробу до його утилізації після корисного терміну експлуатації.

Згідно міжнародного стандарту ISO 9004-1-94 схему єдиного інформаційного простору можна представити як на рис. 15.

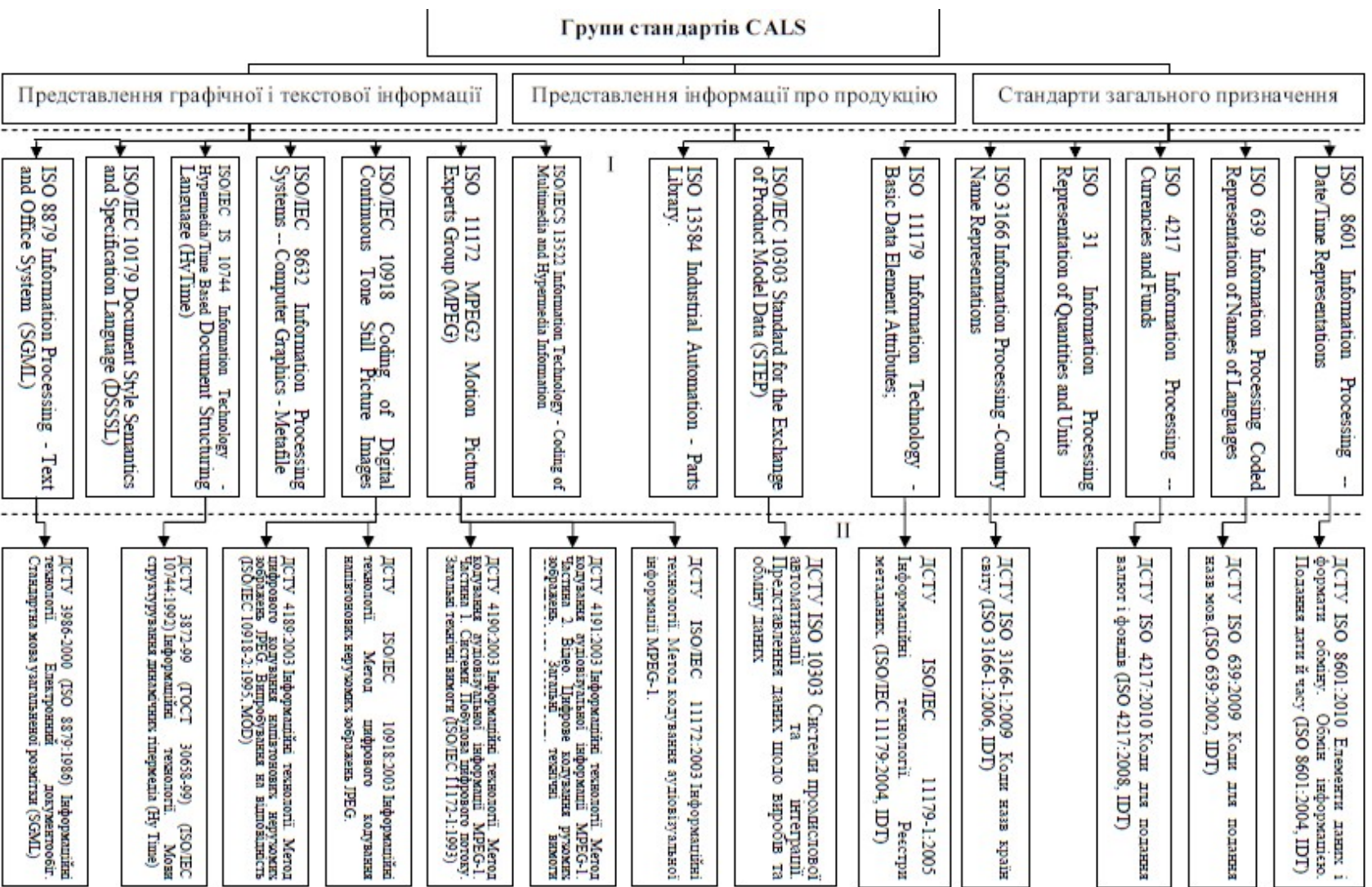


Рисунок 15 – Схема єдиного інформаційного простору

Стратегія CALS зі створення та ефективного використання єдиного інформаційного простору базується на дотриманні низки стандартів представлення інформації про вироби [19] як це показано на схемі (рис. 16). На першому рівні представлено міжнародні стандарти, на другому – відповідні ним національні.

Контрольні питання:

1. Дати визначення поняттю CALS-технології.
2. Дайте визначення життєвого циклу продукції (виробу), назвіть його основні етапи.
3. Як відбувалося формування поняття CALS-технології?
4. Назвати та охарактеризуйте системи інформаційної підтримки етапів життєвого циклу виробів.
5. Що таке єдиний інформаційний простір в контексті CALS-технологій?
6. Що є стратегією CALS?
7. За допомогою яких систем виконуються маркетингові дослідження?
8. За допомогою яких систем виконуються проектування та аналіз виробів?
9. За допомогою яких систем виконуються технологічна підготовка виробництва?
10. За допомогою яких систем здійснюється інформаційна підтримка етапу виробництва продукції?
11. Під керуванням яких систем відбувається експлуатація виробу?
12. За допомогою яких систем здійснюється управління утилізацією?



Дод. 1. Узагальнена робота з CALS стандартами

Рисунок 16 – Схема групи стандартів стратегії CALS [19]

Тема 7. САПР – CAD/CAM/CAE/PDM/PLM-системи

7.1. Склад та основні функції CAD/CAM/CAE/PDM/PLM-систем

Чим складнішим є виріб, який розробляється, тим складнішою і багатофункціональною повинна бути САПР. Все більш популярними стають інтегровані САПР – CAD/CAM/CAE-системи (більш звично вони іменуються системами автоматизованого проєктування САПР), що включають конструкторську і технологічну підготовку виробництва, а також інженерні розрахунки:

CAD-системи (*computer-aided design* – комп'ютерна підтримка проєктування) призначені для вирішення конструкторських задач і оформлення конструкторської документації. Як правило, в сучасні CAD-системи входять модулі моделювання тривимірних деталей і оформлення креслень і текстової конструкторської документації (специфікацій, відомостей тощо). Провідні тривимірні CAD-системи дозволяють реалізувати ідею наскрізного циклу підготовки та виробництва складних промислових виробів.

Сучасні системи автоматизованого проєктування зазвичай використовуються спільно з системами автоматизації інженерних розрахунків і аналізу CAE. CAE-системи (*computer-aided engineering* – підтримка інженерних розрахунків) це – великий клас систем, кожна з яких дозволяє вирішувати певну розрахункову задачу (групу завдань), починаючи від розрахунків на міцність, аналізу і моделювання теплових процесів до розрахунків гідравлічних систем і машин, розрахунків процесів лиття тощо. У CAE-системах також використовується тривимірна модель виробу, що створюється в CAD-системі. CAE-системи ще називають системами інженерного аналізу.

CAM-системи (computer-aided manufacturing – комп'ютерна підтримка виготовлення) призначені для проектування процесів обробки виробів на верстатах з числовим програмним управлінням і видачі програм для цих верстатів (багатоопераційних, фрезерних, токарних, свердлильних, ерозійних, пробивних, шліфувальних тощо). CAM-системи ще називають системами технологічної підготовки виробництва. Вони є практично єдиним засобом для виготовлення деталей складної конфігурації і скорочення циклу їх виробництва. У CAM-системах використовується тривимірна модель деталі, що створена в CAD-системі.

Загально визнаним фактом вважається неможливість виготовлення складної наукоємної продукції (космічної і авіаційної техніки, кораблів, оброблювальних центрів, різних видів промислового устаткування, приладів тощо) без застосування CAD/CAM/CAE-систем. Сучасна система CAD/CAM/CAE здатна забезпечити автоматизовану підтримку робіт інженерів на стадіях проектування і технологічної підготовки виготовлення нової продукції.

Останніми роками частина розробників САПР додає до своїх систем можливості PDM. PDM (Product Data Management) – система управління даними про виріб – організаційно-технічна система, що забезпечує управління усією інформацією про виріб. При цьому в якості виробів можуть розглядатися різні складні технічні об'єкти (космічна, ракетна і авіаційна техніка, кораблі і автомобілі, комп'ютерні мережі тощо).

Такий крок зробила, наприклад, Dassault Systèmes. Так, при використанні версії CATIA V5 (рис. 17) для управління даними про вироби (PDM) та управління життєвим циклом продукту (PLM) використовувалася окрема система ENOLIA, а в CATIA V6 (2008 р.) (рис. 18), окрім зміни графічного інтерфейсу користувача (GUI), додано систему управління даними про продукт (PDM) та систему управління життєвим циклом продукту (PLM) ENOVIA.

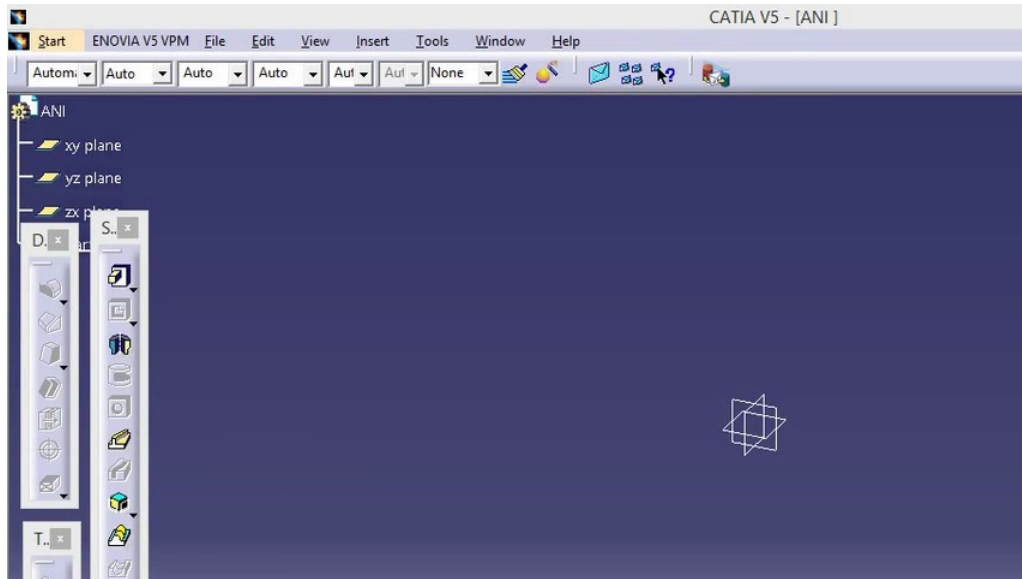


Рисунок 17 – Інтерфейс CATIA V5

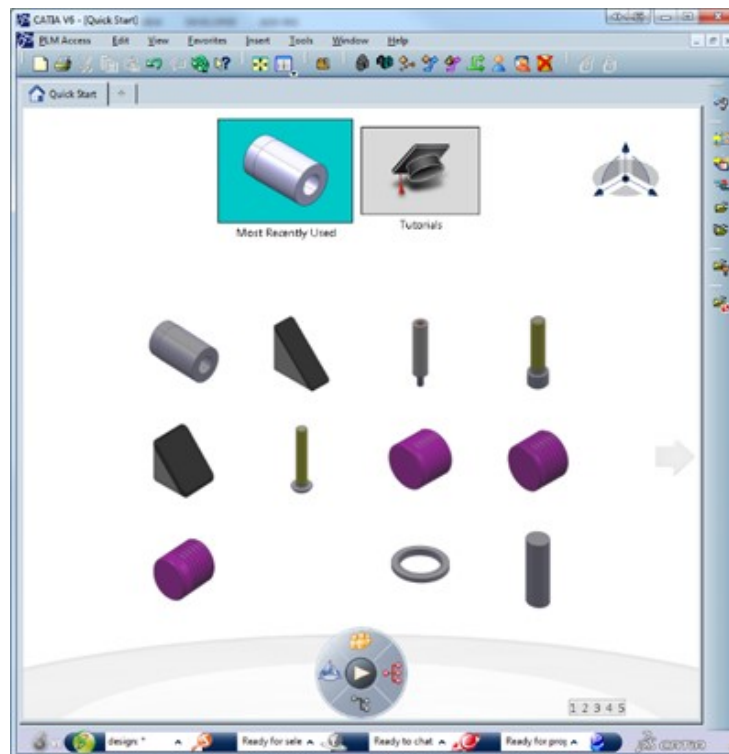


Рисунок 18 – Інтерфейс CATIA V6

У версії CATIA 3DEXPERIENCE (рис. 19) компанія Dassault Systèmes пішла ще далі. Це, по суті, нова версія, що включає ті ж переваги CATIA V6 (інтеграція з SIMULIA, DELMIA, ENOVIA тощо) і метою платформи

3DEXPERIENCE є: включити себе в інші сфери компанії, крім інженерного офісу. CATIA 3DEXPERIENCE забезпечує Web-PLM, а також можливість перегляду моделей без необхідності встановлення додаткових додатків.

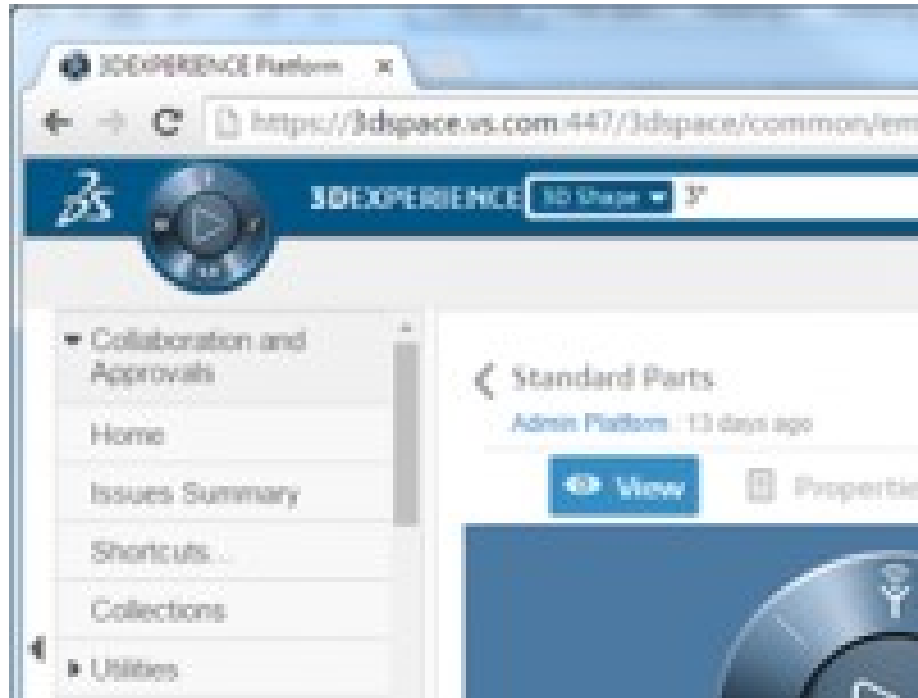


Рисунок 19 – Інтерфейс CATIA 3DEXPERIENCE

Але все ж таки в більшій мірі PDM-системи використовуються як окремі системи. За допомогою PDM-систем здійснюється відстежування великих масивів даних і інженерно-технічної інформації на етапах проєктування, виробництва, експлуатації, супроводу і утилізації виробів.

Основними функціями PDM-системи є:

- зберігання даних і документів (включаючи зміни) та забезпечення швидкого доступу до них (електронний архів документації (конструкторської, технологічної, організаційної, проєктної, нормативно-технічної));
- електронний документообіг (управління процесами проєктування; узгодження даних і документів, контроль виконання);

- управління структурою виробу (включаючи управління конфігурацією, спільна робота в робочій групі);
- комп'ютерна система менеджменту якості;
- ведення електронних класифікаторів і довідників (матеріали, стандартні вироби тощо).

Впровадження PDM-систем – це складний процес, що вимагає великого об'єму підготовчих та адаптаційних робіт. Якісна автоматизація підприємства вимагає тісної взаємодії компанії-інтегратора з представниками самого підприємства. У систему поступово закладаються усі створені дані, методики, знання, процеси, тобто все те, що напрацьовувалося роками.

PLM (Product Lifecycle Management) – технологія управління життєвим циклом виробів. Організаційно-технічна система, що забезпечує управління усією інформацією про виріб і пов'язані з ним процеси упродовж усього його життєвого циклу, починаючи з проєктування і виробництва до зняття з експлуатації та утилізації. При цьому в якості виробів можуть розглядатися різні складні технічні об'єкти (автомобілі, ракети, літаки, металообробні верстати, комп'ютерні мережі, прилади тощо). Інформація про об'єкт, що міститься в PLM-системі є цифровим макетом цього об'єкту.

Застосування PLM ґрунтується на використанні інтегрованих моделей даних про виріб і бізнес-процеси підприємства. PLM припускає нові методи роботи з інформацією про виріб, дозволяючи тісно пов'язати її з процесами, забезпечуючи одночасний доступ до даних різним категоріям співробітників, дозволяючи повною мірою реалізувати принципи паралельного проєктування виробів.

Основними компонентами PLM- системи є:

PDM-система. Система управління даними про виріб, є основою PLM, призначена для зберігання і управління даними;

CAD-система. Проєктування виробів;

CAE-система. Інженерні розрахунки;

CAPP-система (CAPP – Computer Aided Production Planning). Розробка технологічної документації;

CAM-система. Розробка програм, що управляють, для верстатів з ЧПК;

MPM-система (MPM – Manufacturing Process Management).
Моделювання і аналіз виробництва виробу.

Під PLM-системою розуміється сукупність програмних продуктів (у тому числі, від різних постачальників, хоча деякі виробники намагаються закрити усю лінійку). PLM-система повинна вирішувати завдання як створення інженерних даних (засобами CAD/CAE/CAPP/CAM/MPM-систем), так і завдання управління інженерними даними (засобами PDM-системи). Система повинна обмінюватися даними з системою управління проектами і АСУП/ERP-системою, а також, при необхідності, з інформаційними системами замовника або суміжників підприємства.

Переваги CAD/CAM/CAE/PDM/PLM-систем:

- підвищення продуктивності праці співробітників;
- скорочення термінів розробки виробів і виведення їх на ринок;
- підвищення якості продукції та міри задоволеності клієнтів;
- зниження собівартості продукції;
- супровід інтелектуальної власності підприємства;
- забезпечення даними АСУП/ERP-системи;
- відповідність підприємства вимогам ISO 9000;
- повний інформаційний супровід продукції упродовж всього її життєвого циклу.

7.2. Класифікація CAD/CAM/CAE/PDM/PLM-систем

Класифікацію програмних додатків та засобів автоматизації САПР зазвичай виконують за галузевим призначенням, цільовим призначенням та

функціональними можливостями. Але будь-яка класифікація є в більшості випадків умовною.

Отже, за *галузевим призначенням виділяють наступні види САПР*:

- МСАD (Mechanical Computer-Aided Design) – автоматизоване проєктування механічних пристроїв, приладо-машинобудівні САПР. Застосовуються в автомобілебудуванні, суднобудуванні, авіаційній та аерокосмічній промисловості з використанням параметричного проєктування на основі конструктивних елементів, технологій поверхневого та об'ємного моделювання. До таких САПР можна віднести SolidWorks, Autodesk Inventor, CATIA, NX тощо.

- EDA (Electronic Design automation) або ECAD (Electronic Computer-Aided Design) – САПР електронних пристроїв, засобів радіоелектроніки, друкованих плат тощо. Найбільш відомі це Altium Designer, OrCAD.

- AEC CAD (Architecture, Engineering and Construction Computer-Aided Design) або CAAD (Computer-Aided Architecture Design) – САПР в галузі архітектури та будівництва, що використовуються для проєктування будівель, промислових об'єктів, доріг, мостів тощо. Наприклад, це Autodesk Architectural Desktop, Piranesi, ArchiCAD тощо.

За цільовим призначенням розрізняють САПР, які забезпечують різні аспекти проєктування:

- САD – засоби автоматизованого проєктування, що призначені для двовимірного та/або тривимірного геометричного проєктування, створення конструкторської та/або технологічної документації. Для позначення цього класу також використовують термін САDД (Computer-Aided Design and Drafting) – автоматизоване проєктування і створення креслеників. Системи геометричного моделювання позначають як САGD (Computer-Aided Geometric Design).

- САЕ – засоби автоматизації інженерних розрахунків, аналізу та симуляції фізичних процесів, динамічного моделювання, перевірки та оптимізації виробів.

•CAM – засоби технологічної підготовки виробництва виробів, які забезпечують автоматизацію програмування та керування обладнанням з ЧПК або гнучких автоматизованих виробничих систем. Аналогом САМ є термін АСТПВ – автоматизована система технологічної підготовки виробництва.

•САРР та СААР – засоби автоматизації планування технологічних процесів, що використовуються на стику систем САД та САМ.

Слід зауважити, що багато САПР поєднують у собі рішення задач, які відносяться до різних аспектів проектування САД/САМ, САД/САЕ, САД/САЕ/САМ тощо. Такі системи називають комплексними або інтегрованими.

За функціональними можливостями прийнято ділити САПР на три рівні (рис. 20):

- нижній (легкий) (*Low-end*);
- середній (*Middle range*);
- верхній (важкий) (*High-end*).

Слід зауважити, що до 90-х рр. існувало тільки два протилежні полюси в розвитку інтерактивних САПР [3]. З одного боку, розвивалися універсальні, з широким діапазоном застосування (повномасштабні) системи, що працюють на спеціалізованих графічних робочих станціях (системи вищого рівня – *High-end*), які ще називають важкими.

З іншого боку, поява персональних комп'ютерів викликала розвиток найпростіших інженерних програм, що автоматизують розробку проектно-конструкторської документації, і, перш за все, двомірного кресленника (*Low-end* – низькорівневі або *Desktop* – настільні), які вважаються легкими.

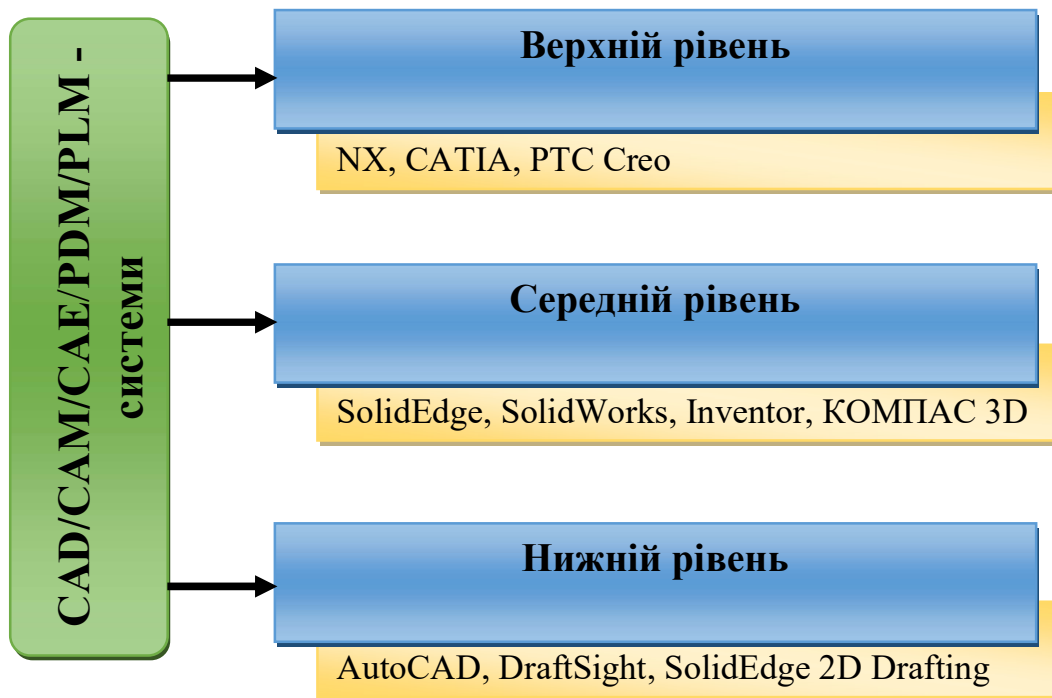


Рисунок 20 – Класифікація CAD/CAM/CAE/ PDM/PLM-систем

До середини 90-х рр. обчислювальна потужність і графічні можливості персональних комп'ютерів значно зросли і з'явилася повноцінна багатозадачна, 32-розрядна операційна система Windows (NT). Це дозволило розробникам створити САПР, які зайняли проміжне місце між важкими і легкими САПР (*Middle range* – системи середнього класу). Від перших вони успадкували можливості тривимірного твердотілого моделювання, а від других – невисоку ціну і орієнтацію на платформу Windows.

Середні системи викликали справжній переворот в світі САПР, дозволивши багатьом конструкторським і проєктним організаціям перейти з двовимірного кресленика на тривимірне моделювання. В якості особливого, четвертого класу деякі фахівці виділяють об'єктно-орієнтовані програми і системи спеціального призначення (*Special* – спеціалізовані системи).

Спеціалізованими називають САПР, які призначені для автоматизації рішення задач в конкретній предметній області, наприклад, проєктуванні атомних реакторів, лопаток турбомашин, прес-форм або конкретної інженерної задачі – трасування трубопроводів, проєктування електронних

плат, проектування листових деталей тощо. Такі системи можуть бути дуже розвиненими і складними, як, наприклад, модулі інженерного аналізу. Часто розробкою високопрофесійних спеціалізованих програмно-методичних комплексів і компонент САПР (ANSYS, FlowVision, MSC, DelCAM тощо) займаються окремі комп'ютерні фірми.

Спеціалізовані САПР можуть використовуватися як самостійно для вирішення вузьких професійних завдань, так і в якості підсистем у складі повномасштабних АС.

Важкі (повномасштабні *High-end*) системи дозволяють комплексно автоматизувати процес технічної підготовки виробництва надскладних і багатокомпонентних виробів, об'єднувати колективи розробників аж до рівня міжнародної кооперації. Всі визнані *High-end* системи представлені виключно розробками американських і західноєвропейських фірм.

Зазвичай до важких відносять інтегровані САПР, які вирішують задачу інтеграції комп'ютерної моделі виробу, що використовується на всіх етапах конструкторсько-технологічної підготовки виробництва. Вперше таку концепцію запропонувала компанія PTC в 1988 р.

Інтегровані системи, що працюють в єдиному інформаційному просторі (базі даних проєкту за термінологією PTC), дозволяють реалізувати концепцію так званої паралельної інженерії (*concurrent engineering*). При такому підході всі проєктувальники працюють з комплексною математичною моделлю, а не з набором різних моделей. Таким чином, з появою сучасних інтегрованих САПР виникла нова інформаційна технологія організації конструкторсько-технологічної підготовки виробництва, яка інтегрує всі роботи в циклі «проєктування – розрахунки – технологічна підготовка – виробництво».

При цьому з'явилася можливість внесення змін в проєкт на будь-якій його стадії. Єдина структура інформації про проєкт дозволяє організувати повну двосторонню асоціативність на всіх рівнях проєктування, що значно прискорює процеси проєктування і знижує собівартість розробок.

Наразі, в результаті злиття і поглинання одних комп'ютерних фірм іншими, провідних розробників важких САПР залишилося три:

- Siemens PLM Software (до 2007р. UGS Corp.) – розробник NX (раніше Unigraphics);
- Dassault Systemes – більше відома своїм флагманським продуктом CATIA;
- Parametric Technology Corporation (PTC) – розробляє комплекс PTC Creo (раніше Pro/Engineer).

Незважаючи на величезні функціональні можливості та технічні характеристики цих програмних продуктів, загальна кількість повноцінно функціонуючих автоматизованих робочих місць повномасштабних систем відносно невелика. Це пояснюється не тільки високою ціною, а й складністю впровадження та експлуатації таких САПР. В основному такими програмами оснащуються підприємства, які мають прямі зв'язки із західними фірмами, для полегшення вирішення проблем передачі даних. У цьому випадку вибір виробника САПР (аж до версії і комплектації) визначається корпоративними стандартами партнера. Або якщо підприємство постійно працює над розробкою складних та багатокомпонентних виробів (авіаційна, ракетно-космічна, суднобудівна галузі тощо).

Автоматизовані системи середнього класу зустрічаються значно частіше. *Middle range* САПР – це робоче місце професіонала, фахівця високого рівня. У таких продуктів більш виразно проявляється предметна спеціалізація. Хоча системи одного класу мають приблизно однаковий функціонал, їх можливості не завжди рівноцінні.

Більшість пропонованих на ринку САПР середнього рівня успішно справляються з завданнями об'ємного твердотільного моделювання і орієнтовані, перш за все, на автоматизацію праці конструктора.

Деякі середні системи мають більш розвинені технологічні блоки та підсистемами. Підготовлені з їх допомогою 3D моделі використовуються для

розробки керуючих програм для верстатів з числовим програмним керуванням.

Багаторічними лідерами середнього сегменту САПР виступають системи SolidEdge, яка була створена в 1995 р. компанією Intergraph (в 1998 р. компанію Intergraph купує UGS Corp., яку в свою чергу в 2007 р. купує концерн Siemens PLM Software) та SolidWorks (належить компанії Dassault Systemes, Франція), а також розробка компанії Autodesk, Inc. – CAD-система Inventor. Також до САПР середнього рівня відносять систему КОМПАС 3D компанії АСКОН, T-Flex фірми «Том-Системы», ADEM (Automated Design Engineering Manufacturing) групи компаній ADEM тощо.

Легкі системи в даний час є найбільш масовими. Особливо слід відзначити їх присутність на підприємства, навіть в разі комплексної автоматизації підготовки виробництва. *Desktop-CAD/CAM* – це універсальне, типове робоче місце конструктора та/або технолога. А головне його призначення – автоматизація розробки та супроводження технічної документації.

Кращі з цих прикладних програмних засобів дозволяють не тільки підвищити якість оформлення конструкторських креслеників і специфікацій, технологічних карт, різноманітних схем і відомостей, а й максимально автоматизувати всі рутинні складові творчої інженерної роботи. На етапах конструкторсько-технологічної підготовки виробництва чимало повсякденних завдань, які пов'язані зі створенням, модифікацією і змінами документів, використанням типових рішень, нормативів і багато чого іншого, що не вимагає складного моделювання, але забирає у виконавця багато часу і сил.

Найбільш популярною легкою САПР є AutoCAD (перший випуск 1982 р.) компанії Autodesk, Inc. AutoCAD досі є найбільш масовим в світі програмно-методичним комплексом САПР, який використовується мільйонами проєктувальників як інструмент для створення конструкторської документації.

До САПР нижнього рівня також відносять SolidEdge 2D Drafting (Siemens PLM Software), КОМПАС-графік (АСКОН), T-FLEX CAD-2D («Том-Системы»), DraftSight (Dassault Systèmes), nanoCAD (Нанософт), DoubleCAD XT 5 (IMSI/Design) тощо. При цьому DraftSight, nanoCAD та DoubleCAD XT 5 є безкоштовними для комерційного використання.

Як же пояснити широту і різноманітність ринку автоматизованих систем, що не бідніє з плином часу? Відповідь досить очевидна: відмінності в промислових системах все більше визначаються не рекордними досягненнями окремих фірм-розробників, а їх масштабом і предметною спрямованістю. Поки існують різні за величиною і призначенням підприємства, різні інженерні спеціальності і завдання, будуть створюватися різноманітні за характеристиками і цілями комп'ютерні інструменти. У систем кожного рівня є своя ніша – від масштабу міжнародної корпорації до локальних і вузькоспеціалізованих робочих місць САПР.

7.3. Критерії вибору САПР CAD/CAM/CAE/PDM/PLM-систем

При виборі комплексу САПР необхідно враховувати ряд найважливіших чинників [20].

1. Вартість.

Сучасні САПР відрізняються досить високою вартістю навіть для одного робочого місця.

Вартості САПР співвідносяться з рівнями наступним чином:

- нижній: \$ 0- \$ 1000 за робоче місце (AutoCAD, AutoCAD LT, Fusion 360, Компас);
- середній: \$ 1000- \$ 10000 (Inventor, Mechanical Desktop, SolidWorks);
- верхній: \$ 8000 і більше (Creo (раніше Pro/Engineering), Siemens NX (раніше Unigraphics), CATIA).

Якщо говорити про «комфортну» для потенційних споживачів вартість САПР, тобто ту ціни, яку вітчизняні підприємства потенційно готові

заплатити за оснащення робочого місця фахівця проектного та конструкторського відділу в даний момент часу, а також вважають її відносно прийнятною, то на даний момент вона становить близько півтори тисячі у.о.

Розробники САПР пояснюють таку високу вартість ліцензій систем автоматизованого проектування величезними інтелектуальними, часовими і трудовими затратами на створення таких систем.

2. Наявність кваліфікованого персоналу здатного працювати з даними програмного забезпечення.

Кожна САПР унікальна в своєму роді, але в той же час можна стверджувати, що фахівець, який має знаннями для роботи з однією з систем в сімействі, відносно легко переходить на іншу з тієї ж лінійки. Слід зауважити, що слабке поширення програмних пакетів об'ємного моделювання на вітчизняних підприємствах пов'язано не тільки з їх дорожнечою, а й з підвищеними вимогами до кваліфікації персоналу і високою складністю освоєння. І хоча вартість навчання непорівнянна з вартістю 1 робочого місця (менше в десятки разів) в сучасних реаліях підприємства не мають часу для навчання нових фахівців.

3. Інтерфейс і зручність використання.

Цей критерій багато в чому визначає, як швидко новий користувач адаптується до системи, чи складно буде на неї переключитися. Сучасні вимоги в цьому напрямку повністю орієнтуються на продукти компанії Microsoft – Windows і Office. Причина дуже проста: Windows – домінуюча операційна система, а Microsoft Office – найбільш популярний пакет для оформлення документів, в якому працюють мільйони користувачів. Головним критерієм при виборі САПР певного класу серед аналогічних систем є швидкість досягнення необхідного результату. При цьому модифікації і поліпшення стосуються, перш за все, призначеного для користувача інтерфейсу, загальної організації структури даних і механізмів вирішення конкретних завдань моделювання, наприклад, створення

складальних моделей і отримання двовимірних креслеників за тривимірними моделями.

4. Показники якості програмного забезпечення.

При виборі САПР керівники підприємства дотримуються наступних важливих критеріїв, таких як:

- надійність функціонування;
- відповідність стандартам;
- раціональність;
- зручність застосування;
- мобільність;
- можливість супроводження;
- спеціалізовані можливості.

5. Інтегрованість.

Якщо розглядати САПР в контексті об'єднання їх в єдиний інформаційний простір, то інтегрованість стає одним з найбільш важливих критеріїв. Більшість робіт з проектування вимагає узгодженої спільної діяльності декількох різнопрофільних підрозділів. В середині одного підприємства повинні досить швидко і без втрат даних передаватися великі обсяги інформації. Це досягається широким використанням засобів інтеграції, або застосуванням систем від єдиної фірми постачальника (де комплекс продуктів спочатку інтегрований в єдине ціле). При цьому кошти інтеграції можна поділити на вбудовану підтримку стандартних (STEP) і інших (ACIS, DXF, DWG, Parasolid) форматів обміну даними, а також на окремі модулі, які забезпечують обмін інформацією. Зазвичай в межах одного підрозділу вдається налагодити надійний обмін даними. Однак, крім взаємодій всередині фірми, присутня також складна система зовнішніх зв'язків – з замовниками, постачальниками комплектуючих виробів, партнерами по виконанню окремих стадій розробки тощо.

6. Новизна.

Окремо варто розглянути питання новизни. Новітні версії САПР намагаються враховувати останні тенденції, а також дозволяють підвищити якість і швидкість роботи проєктувальників. Нові версії САПР зазвичай з'являються з періодичністю 1 раз на рік. Однак багато хто вважає, що щорічне оновлення САПР не є необхідним. За даними дослідження компанії Softline (українська софтверна компанія, яка спеціалізується на розробці та впровадженні програмних продуктів для автоматизації роботи бізнесу, побудові комплексних систем захисту інформації, електронного безпаперового документообігу, ІТ-консалтингу та ІТ-аутсорсингу, а також системній інтеграції і інфраструктурних рішеннях) користувачі вважають, що САПР необхідно оновлювати:

- 52,6% - щорічно;
- 25% - досить 1 раз в 2-3 роки;
- 12,3% - не частіше, ніж 1 раз в 5 років.

Основною проблемою нових версій вважається неповна сумісність зі старими версіями програм. Але навіть якщо ця проблема усунена, то купувати нові версії САПР (якщо «старі» ще нормально функціонують) керівництво підприємства не вважає за доцільне в силу їх високої вартості. Крім того, при оновленні можуть виникнути проблеми з інтеграцією і передачею даних, як усередині підприємства, так і з зовнішніми організаціями.

7. Системні вимоги та сумісність з периферійним обладнанням.

Незважаючи на те що за останні роки комп'ютери стрімко подешевшали, перед підприємством, що вирішив придбати систему САПР, все одно постає питання, чи треба буде проводити оновлення комп'ютерної техніки або можна використовувати вже існуюче «залізо». Інші важливі питання: чи можна буде на наявному принтері / плотері нормально надрукувати документ з даної системи, чи можна працювати з планшетом тощо.

Контрольні питання:

1. Які переваги використання інтегрованих CAD/CAM/CAE САПР?
2. Яке призначення PDM систем та які їх основні компоненти?
3. За якими критеріями виконують класифікацію програмних додатків та засобів автоматизації? Назвіть та охарактеризуйте їх.
4. Які САПР та чому відносять до легких (*Low-end*), середніх (*Middle range*) та важких (*High-end*)?
5. Які комп'ютерні фірми являються провідними розробниками важких САПР? Охарактеризуйте їх програмні продукти.
6. Якими критеріями керуються при виборі САПР?
7. Як залежить вартість САПР в залежності від її функціональних можливостей? Наведіть приклади.
8. Як часто в середньому відбувається оновлення версій САПР і чи доцільним це є відповідно до вимог користувачів?

Тема 8. Використання сучасних САПР на етапах конструкторської підготовки виробництва

8.1. Рішення від французького виробника програмного забезпечення Dassault Systèmes

Першим розглянемо флагманський продукт від Dassault Systèmes CATIA, що пропонує рішення для проєктування на базі платформи 3DEXPERIENCE і розширює можливості для інновацій в компаніях будь-якого розміру і будь-якої галузі [21]:

Перш за все це стосується технічного проєктування та переваг в базовому твердотільному моделюванні (рис. 21) [22]:

Моделювання деталей:

- робота зі зборками будь-якого розміру;
- контроль над пов'язаними елементами;
- функціональне моделювання деталей і складальних одиниць;
- спільна робота з використанням PLM Compass;
- можливість спільного використання поверхневого і твердотільного моделювання;
- використання шаблонів;
- сумісність з CATIA V5.

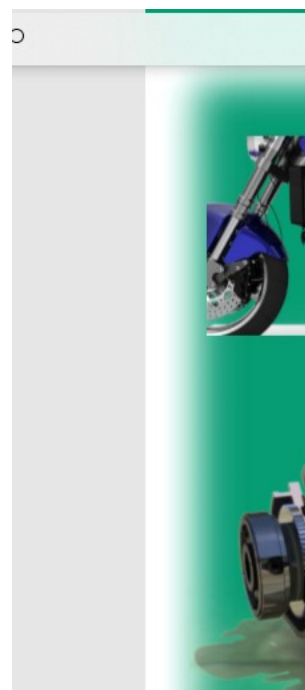


Рисунок 21 – Варіанти результатів твердотільного моделювання

Моделювання складних виробів:

- унікальні методи роботи з великими зборками;
- інструменти автоматичного створення ухилів та скруглень.

Симуляція кінематики:

- аналіз зіткнень, розрахунок відстаней, розрахунок об'єму, що необхідний для компоненту;
- спільна робота з іншими учасниками проєкту.

Мислення в 3D:

- створення попередньої форми виробу;
- моделювання за допомогою прямих маніпуляцій з об'єктами;
- інтеграція з іншими робочими середовищами САТІА.

Підхід "3D-майстер":

- створення анотацій і допусків в стилі традиційного 2D-креслення;
- управління 3D-моделями за допомогою 2D-геометрії;
- відображення і фільтрація анотацій в 3D-середовищі;
- спеціалізовані інструменти;
- можливість створення кресленника за допомогою однієї кнопки.

Вироби з композиційних матеріалів:

- розробка композитних деталей з етапу попереднього проєктування до створення робочого проєкту;
- підтримка різних підходів до проєктування (зональний, сітка, розділення тіл на шари);
- підготовка деталі до виробництва (отримання розгорток, аналіз укладання, розбиття на смуги).

При проєктуванні пластикових деталей (рис. 22), деталей, що виготовляються литтям чи формуванням є також багато особливостей, які дозволяє врахувати САТІА [22].

Розробка виробів з пластика:

- унікальний підхід до проєктування виробів з пластика;
- одночасна розробка виробу і оснащення;
- моделювання без історії побудови;
- інструменти розпізнавання існуючої геометрії;

- підготовка моделі до швидкого прототипування;
- зручні інструменти для спільного проєктування (функціональні примітиви);
- швидкий і ефективний механізм поширення змін.

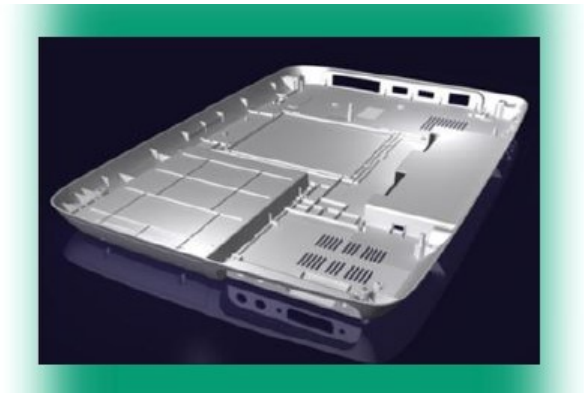


Рисунок 22 – Тримірна модель деталі з пластику

Розробка литих, формованих і кованих деталей:

- створення всіх необхідних ухилів за одну дію;
- швидка підготовка до виробництва за рахунок інструменту автоматичного створення скруглень та ухилів;
- інструменти розрахунку розділення матриці і пуансону;
- 3D-аналіз товщини стінок;
- перегляд отриманого елемента в рознесеному виді;
- скорочення часу створення складних поверхонь і каркасів.

Щодо проєктування виробів із листового матеріалу CATIA пропонує наступні рішення [22]:

Попереднє проєктування:

- створення попередньої моделі на етапі задуму без деталізації;
- швидке створення гнутих деталей за допомогою витягування граней;

Детальне проєктування:

- набір інструментів для розпізнавання технологічних примітивів (вирізи, виштамповки);
- облік корпоративних стандартів при проєктуванні;

- проектування в контексті дозволяє створювати потрібну геометрію з першого разу;
- облік виробничих обмежень на ранньому етапі проектування;
- робота з моделлю в різних станах.

Розробка виробів з листового металу для аерокосмічної промисловості:

- спеціалізовані примітиви для створення листових моделей для аерокосмічної промисловості (формування стінок деталей, елементів обшивки, підсічки, відбортовки);
- облік корпоративних стандартів при проектуванні.

Окремо слід виділити можливості поверхневого моделювання. САТІА пропонує передове моделювання поверхонь [21]. Рішення охоплюють увесь процес проектування поверхонь класу *A*, з можливостями для поверхневої обробки на базі передових технологій Iscm. Надається набір потужних і зручних інструментів для моделювання, аналізу і візуалізації естетичних і ергономічних форм, що гарантує найвищу якість поверхонь класу *A*. Якщо розглядати процес створення складних виробів поверхневим моделюванням, то його можна розділити на декілька етапів: ідея, концепт, доопрацювання поверхонь, затвердження, інженерний дизайн та готове рішення, і для кожного з цих етапів САТІА має рішення:

2D-дизайн:

- інтеграція 2D-ескіза в 3D-середовище.

3D концептуальне моделювання:

- уніфіковане середовище моделювання;
- точна візуалізація;
- інтеграція з креслярським модулем.

3D дизайн:

- технологія прямого моделювання;
- технологія моделювання із глини;
- швидке дослідження проєктних альтернатив в 3D.

Експорт в стандартних форматах: STEP, IGES або STL.

Вільні форми високої точності, пряме поверхневе моделювання:

- розробка складних поверхонь відповідно до технічного завдання;
- дизайн на основі асоціативних кривих і поверхонь;
- інструменти аналізу і діагностики поверхонь.

Глобальна деформація:

- глобальна деформація поверхонь без зміни якостей;
- дослідження проєктних альтернатив за допомогою морфінга;
- швидка зміна форми готового виробу.

Зворотне проєктування:

- імпорт/експорт хмари точок в різних форматах;
- потужний інструмент створення сітки;
- автоматичне або ручне створення поверхні на основі сітки;
- інструмент перевірки якості поверхні.

Створення і візуалізація художніх і ергономічних форм з поверхнями найвищої якості (класу А):

- інтерфейс і принцип роботи відомої системи ICEM Surf;
- явне моделювання вільних форм;
- створення моделей на основі асоціативних примітивів.

Створення поверхонь з множиною перерізів для аерокосмічної галузі:

- проєктування інтер'єру салонів літаків;
- передові засоби моделювання поверхні з множини перерізів і глобального моделювання;
- інструменти створення, редагування і аналізу складний поверхонь.

Real Time Visualization:

- швидка візуалізація для усіх користувачів;
- редагування оточення (фон, світло, тіні);

- призначення і зміна властивостей матеріалу.

Photo Studio Pro:

- технологія nVidia Mental Ray;
- використовуються алгоритму Global Illumination / final Gather /Caustics.

Live Rendering:

- технологія iRay на основі mental images;
- технологія Interactive Ray Tracing.

Наступним популярним продуктом компанії Dassault Systèmes є беззаперечно **SOLIDWORKS** [23]. Наразі остання версія – SOLIDWORKS 2020 SP 4.0 вийшла в серпні 2020 року. Комерційні ліцензії поставляються зазвичай у трьох варіантах: SolidWorks Standard, SolidWorks Professional, SolidWorks Premium.

За роки існування САПР SOLIDWORKS завоювала високу популярність в сфері проєктування, 2D і 3D моделювання [24]. Це рішення в основному вибирають промислові компанії, що працюють в сфері будівництва, енергетики, транспорту, виробництва різного устаткування і товарів споживчого призначення, промислового дизайну і навіть в авіакосмічній галузі.

За рахунок оптимальної організації роботи і зручного інтегрованого середовища SOLIDWORKS підвищує продуктивність розробки і проєктування, тим самим прискорюючи вихід нового продукту.

Крім широкого функціоналу, слід відмітити простий і зручний інтерфейс, який налаштовується індивідуально під кожного фахівця, аж до зміни розмірів значків.

Основний функціонал SOLIDWORKS:

- моделювання деталей і зборок;
- 2D кресленик;
- 3D CAD;
- повторне використання дизайну і автоматизація;

- спільна робота і обмін даними САПР;
- перевірка похибок;
- інструменти аналізу першого проходу;
- програмування CAM (SOLIDWORKS CAM);
- дизайн для виробництва (DFM);
- інструменти для підвищення продуктивності;
- розширений імпорт / експорт файлів CAD і 3D Interconnect;
- Xtended Reality (XR) Експортер.

Три пакети SOLIDWORKS відрізняються рішеннями і можливостями.

SOLIDWORKS Standard включає в себе засоби для 2D і 3D проектування, моделювання, роботи зі зборками, креслениками, деталями, листовим металом, аналізу проєктів, автоматизації виробництва (CAM), конфігурації виробів, проектування з урахуванням технологічних вимог. Також доступні інструменти для підвищення продуктивності, спільної роботи і обміну даними САПР.

SOLIDWORKS Professional містить весь функціонал стандартної версії, а також наступні можливості:

- бібліотека деталей і компонентів;
- перевірка креслеників і проєктів;
- розрахунок собівартості;
- функції спільної роботи;
- фотореалістичний рендеринг;
- додаткові інструменти для розробників електронних і механічних систем.

SOLIDWORKS Premium – пакет з найповнішим функціоналом, що містить всі засоби двох попередніх версій та доповнений розширеними можливостями для створення розгорток, зворотного проєктування і прокладання кабелів і труб. Також передбачено структурний і кінематичний аналіз.

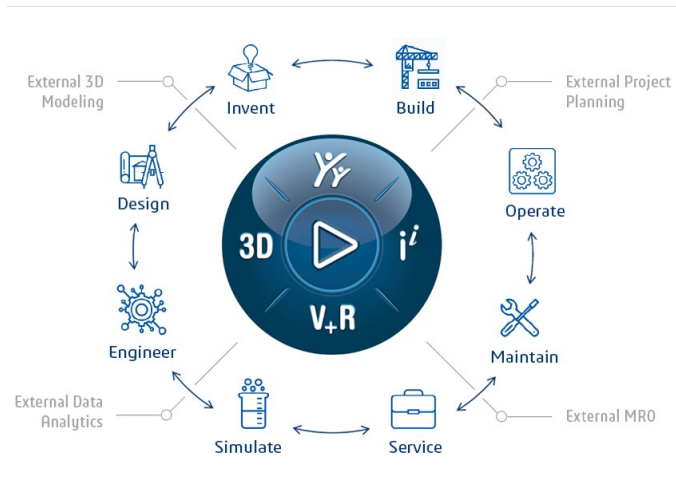


Рисунок 23 – Етапи ЖЦВ, що охоплює 3DEXPERIENCE WORKS від SOLIDWORKS

В SOLIDWORKS також пропонують рішення 3DEXPERIENCE WORKS [23], що дозволяє об'єднати фахівців, ідеї, дані і рішення в інтерактивному середовищі для спільної роботи (рис. 23), забезпечуючи зв'язок між віртуальним середовищем і реальним світом, а також комплексну візуалізацію бізнес-процесів і екосистеми в реальному часі.

3DEXPERIENCE SOLIDWORKS включає інтуїтивно зрозумілий і надійний набір інструментів для 3D-проектування, можливість управління даними, концептуального проектування і моделювання з поділом поверхонь. Також різні фахівці можуть найбільш підходящими інструментами отримувати необхідну інформацію в реальному часі і швидко приймати правильні рішення. І все це на єдиній платформі 3DEXPERIENCE – єдиному хмарному середовищі розробки виробів. 3DEXPERIENCE SOLIDWORKS також поставляється у трьох варіантах: Standard, Professional, Premium; які відрізняються функціоналом, проте будь яка комплектація обов'язково включає data management and collaboration in the cloud.

8.2. Рішення від найбільшого в світі американського постачальника програмного забезпечення Autodesk, Inc.

Американська компанія Autodesk, Inc, яка декларує себе лідером в області розробки програмного забезпечення для 3D-проектування, дизайну,

графіки та анімації, пропонує ряд рішень для розробки та промислового виготовлення виробів [25].

А саме:

- розробка та проєктування виробів (AutoCAD, AutoCAD LT, INVENTOR, MAYA, ALIAS, SKETCHBOOK);
- моделювання та аналіз (INVENTOR, INVENTOR TOLERANCE ANALYSIS, INVENTOR NASTRAN, NETFABB, MOLDFLOW тощо);
- виготовлення та промислове виробництво (INVENTOR CAM, INVENTOR NESTING, NETFABB, POWERSHAPE тощо).

Зупинимося більш детально на флагманських продуктах від Autodesk, Inc – **AutoCAD** та **INVENTOR**.

AutoCAD – це програмне забезпечення автоматизованого проєктування (САПР) (рис. 24), за допомогою якого архітектори, інженери і будівельники створюють точні 2D- і 3D-кресленик. Воно дозволяє виконувати розробку, проєктування і анотування 2D-геометрії і 3D-моделей за допомогою тіл, поверхонь і об'єктів-сіток, автоматизацію таких завдань, як порівняння креслеників, додавання блоків, створення специфікацій тощо.



Рисунок 24 – Логотип Autodesk
AutoCAD 2021

До складу програмного пакету AutoCAD 2021 входять спеціалізовані інструментарії, настільні, мобільні і Web-додатки (AutoCAD web app) для роботи над проєктами без будь-яких обмежень, а також нові функції, такі як журнал креслеників.

Таким чином, Autodesk, наряду з Dassault Systems, виконує розробки хмарних САПР. Web-додатки AutoCAD дозволяють редагувати, створювати і

переглядати кресленики САПР в web-браузері на будь-якому комп'ютері. При цьому користувач може використовувати креслярські інструменти у спрощеному інтерфейсі. Додаток можна отримати в рамках підписки на AutoCAD або AutoCAD LT.

Наразі AutoCAD 2021 має наступні основні можливості:

- створення та редагування 2D-геометрії;
- створення та редагування 3D-моделей за допомогою тіл, поверхонь і об'єктів-мереж;
- анотація креслеників за допомогою тексту, розмірів, виносок і таблиць;
- адаптація стрічки і інструментальних палітр;
- адаптація за допомогою налаштувань і API-інтерфейсів;
- вилучення даних об'єктів в таблиці;
- вставка і імпорт даних з файлів PDF;
- використання даних з файлів DGN, Navisworks і карт Bing, а також надання загального доступу до них;
- застосування і відстеження стандартів САПР.

Крім того, в рамках підписки на AutoCAD буде надано доступ до спеціалізованих наборів інструментів для проектування компонентів архітектури, механічних та електричних систем, можливість працювати над проектами на комп'ютері, через інтернет (web-додаток AutoCAD (рис. 25)) або з мобільного пристрою (доступ до Autodesk App Store, мобільний додаток AutoCAD (рис. 26)) без будь-яких обмежень.

AutoCAD LT – це «полегшена» версія AutoCAD, яку архітектори, інженери, будівельники і дизайнери використовують для створення 2D-креслеників і документації (рис. 27).

Основні можливості:

- створення та редагування 2D-геометрії;
- анотація креслеників за допомогою тексту, розмірів, виносок і таблиць;

- адаптація стрічки і інструментальних палітр;

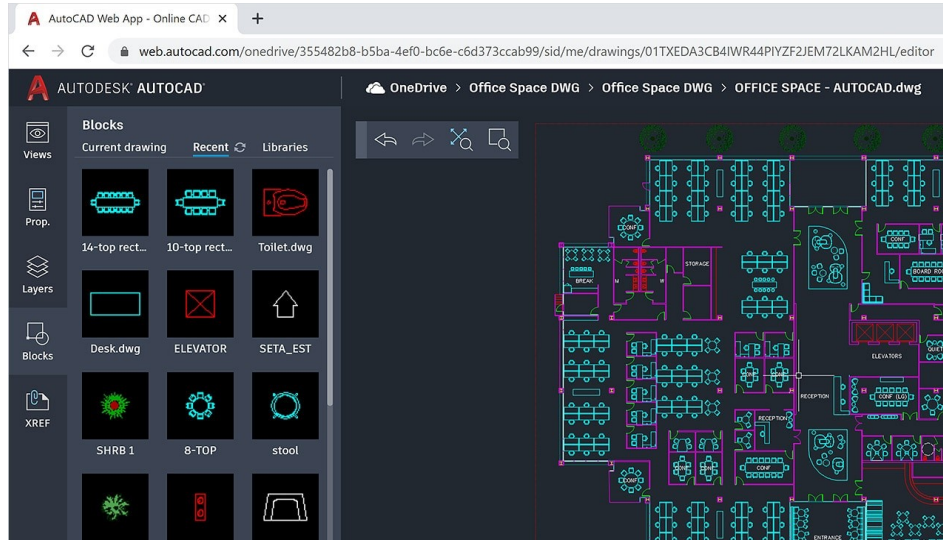


Рисунок 25 – Інтерфейс web-додатку AutoCAD [25]

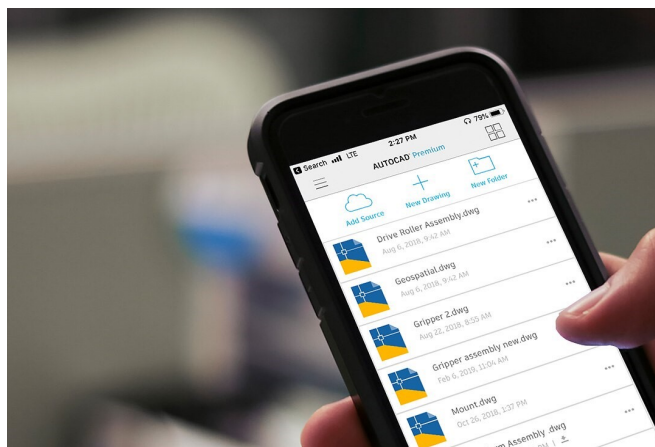


Рисунок 26 – Інтерфейс мобільного додатку AutoCAD [25]

- вставка і імпорт даних з файлів PDF;
- загальний доступ і використання даних з файлів DGN і карт Bing.

Також є можливість використовувати web та мобільний додатки AutoCAD.



Рисунок 27 – Логотип Autodesk AutoCAD LT 2021

INVENTOR – професійна 3D-САПР для проєктування і конструювання виробів [25].



Рисунок 28 – Логотип Autodesk Inventor 2021

В САПР Inventor (рис. 28) представлені професійні інструменти для машинобудівного 3D-проєктування, випуску робочої документації і моделювання виробів. Доступні набори засобів для параметричного та безпосереднього проєктування, роботи з довільними формами і конструювання на основі правил.

Якщо основна сфера застосування AutoCAD це 2D-проєктування, креслення, створення документації та 3D-моделювання та візуалізація, то Inventor (рис. 29) направлений на:

- розробку і промислове проєктування за допомогою професійних інструментів для моделювання;
- аналіз повних механічних систем за допомогою вбудованих засобів моделювання;
- створення статичних і анімованих візуалізацій виробів;
- створення промислових креслеників та інструкцій по складанню.

Щодо основних можливостей системи, вони наступні [25]:

- професійні інструменти для моделювання довільних форм, а також прямого і параметричного 3D-моделювання;
- спеціалізовані інструменти для проєктування деталей з листового металу і несучих каркасів;
- імпорт файлів сторонніх САПР і даних ВІМ без перетворення;
- автоматизація конфігурації виробів і повторюваних завдань моделювання;

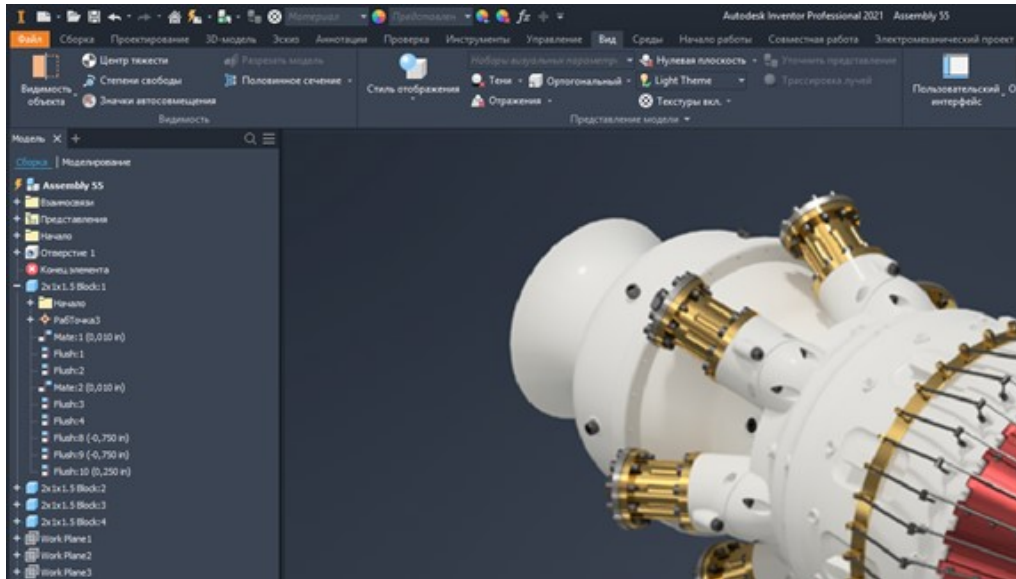


Рисунок 29 – Интерфейс Autodesk Inventor 2021 [25]

- визначення на основі моделі, створення 2D-креслеників і випуск документації;
- створення розчленованих видів і анімацій зборок;
- інтегровані засоби динамічного моделювання, аналізу напружень і модального аналізу;
- оптимізація топології для створення полегшених деталей з ефективною конструкцією;
- управління даними для контролю версій і спільної роботи;
- загальний доступ до проектних уявленням невеликого розміру для перевірки в Web-браузері.

8.3. Важкі САПР

Окрім вже описаної в пункті 8.1 САПР САТІА представниками важких САПР є **Creo** та **NX**.

Останньою версією флагманського продукту міжнародної компанії-розробника програмного забезпечення для двомірного і тривимірного

проектування, управління ЖЦВ, управління обслуговуванням і управління життєвим циклом додатків PTC, Inc є Creo 7.0 (рис. 30) [26].

Creo – це потужний, інтуїтивно зрозумілий інженерний пакет з набором всіх функцій, які потрібні для розробки в 3D CAD проектів виробів.



Рисунок 30 – Логотип Creo 7.0 [26]

Вигідні відмінності системи від конкуруючих рішень:

- ефективна робота з великими і дуже великими зборками
- моделювання на основі історії та інструменти прямого моделювання
- робота зі складними поверхнями
- можливість масштабування функціональності системи в залежності від потреб користувача
- тісна інтеграція з PLM-системою PTC Windchill.

У версії Creo 7.0 реалізовані революційні інновації в областях генеративного дизайну, проектування багатомодульних систем, адитивного виробництва і симуляції.

Модуль генеративного дизайну Creo Generative Design (рис. 31) дозволяє створювати оптимізовані конструкції виробів (рис. 32) на основі обмежень і вимог. При цьому доступна можливість одночасного створення декількох конструкцій з використанням різних матеріалів і сценаріїв виробництва, при цьому кращі варіанти виділяються для оцінки користувачу.

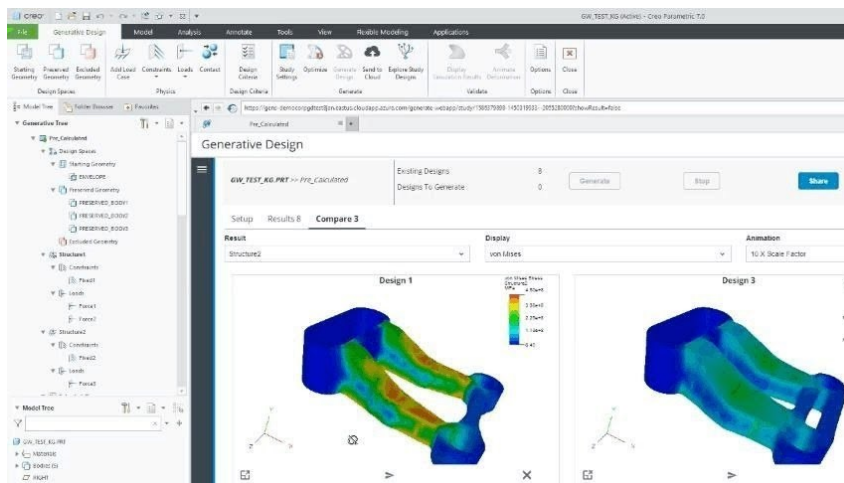


Рисунок 31 – Інтерфейс модулю генеративного дизайну Creo Generative Design

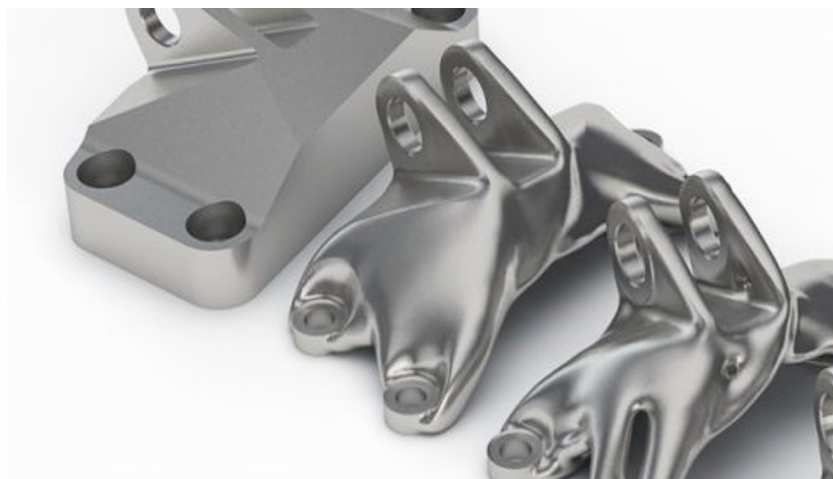


Рисунок 32 – Варіанти рішень за допомогою Creo Generative Design

Партнерство PTC з компанією Ansys забезпечило революцію в області конструювання. Це партнерство представляє Creo Ansys Simulation (рис. 33), інструмент для достовірних і високоточних симуляцій з використанням вирішувачів Ansys, впроваджений в середовище Creo.

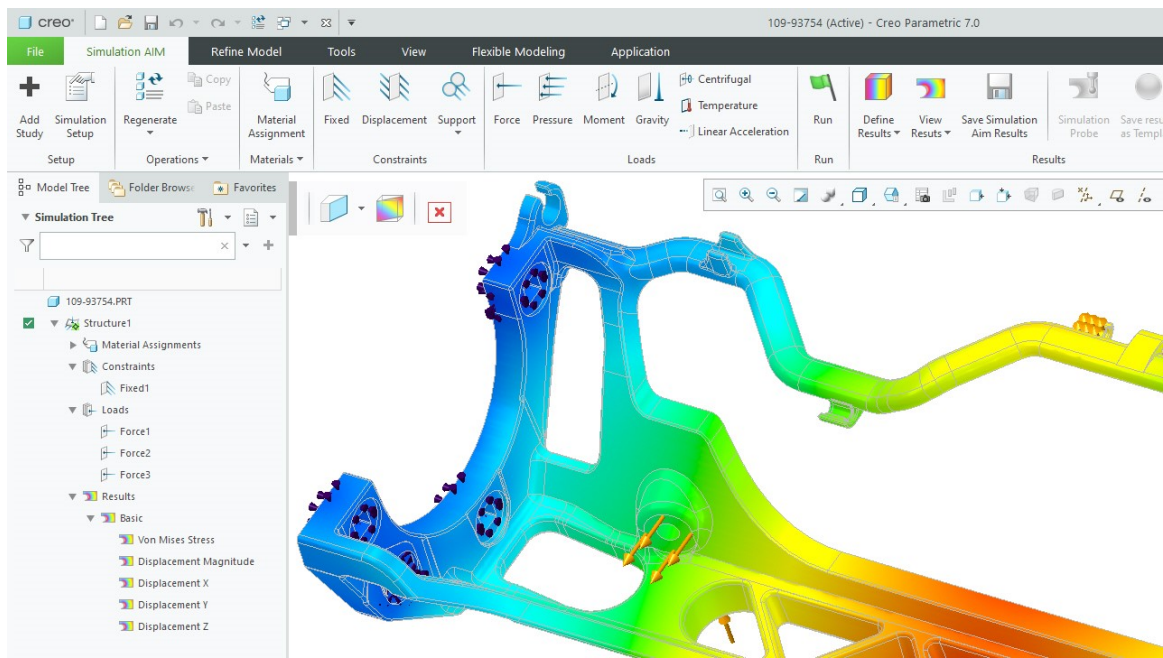


Рисунок 33 – Інтерфейс модулю Creo Ansys Simulation

Рішення Creo Ansys Simulation розроблене спеціально для інженерів, що виконують аналіз роботи 3D-прототипів до переходу до реального виробництва. Creo Ansys Simulation пропонується з повним набором функцій і в ньому використовуються можливості Ansys для теплового, структурного і модального аналізу, що дозволяє інженерам уточнювати свої конструкції.

Крім того в версії Creo 7.0 внесені удосконалення в модуль Creo Additive Manufacturing Extension. Нові функції автоматизованої технологічної підготовки виробництва (CAM) включають підтримку верстатів швейцарського типу, а також підвищення зручності роботи.

Що ж до NX – флагманської САПР виробництва компанії Siemens PLM Software, яка використовується для розробки складних виробів, що включають елементи зі складною формою і щільною компоновкою великої кількості складових частин, то остання версія NX 12 (рис. 34) з'явилася в 2017 році [27].

Програмний продукт NX – комплексна САПР, що пропонує набір рішень для задач конструкторсько-технологічної підготовки виробництва і має засоби інженерного аналізу.



Рисунок 34 – Логотип NX 12 [27]

Система NX ґрунтується на геометричному ядрі Parasolid від компанії Siemens PLM Software і є набором додатків, які розділені за наступними напрямками:

NX CAD – засоби двомірного і тривимірного проєктування деталей і складальних одиниць виробів, а також підготовки та випуску конструкторсько-технологічної документації.

NX CAM – засоби автоматизації створення програм для верстатів ЧПК, управління бібліотеками інструментів, налаштування постпроцесорів і симуляції обробки на основі створеної програми.

NX CAE – набір додатків для автоматизації інженерних розрахунків і симуляції фізичних процесів на базі електронних моделей вузлів і деталей виробу. Набір додатків, що входять в NX CAE, базується на скінченно-елементному вирішувачі NX Nastran і пропонує розширені засоби підготовки розрахункових моделей і обробки отриманих результатів.

Таким чином для проєктування виробів NX пропонує:

- забезпечення прямого зв'язку між конструкцією електричних та механічних систем;
- інструменти для прискорення проєктування 2D, створення креслеників та документації до виробу (рис. 35);
- інноваційний дизайн із найкращим у своєму класі програмним забезпеченням для автоматизованого промислового дизайну;
- включення аналітики та перевірки продукту в процес 3D-проєктування;

- підвищення інженерної продуктивності завдяки наступному поколінню виробничих систем Електричного проектування;
- проектування на основі інженерного аналізу (рис. 36);
- визначення на базі моделі (3D анотування), що дозволяє отримати повне цифрове визначення виробу в рамках 3D моделі, яке замінює традиційний кресленик (рис. 37).

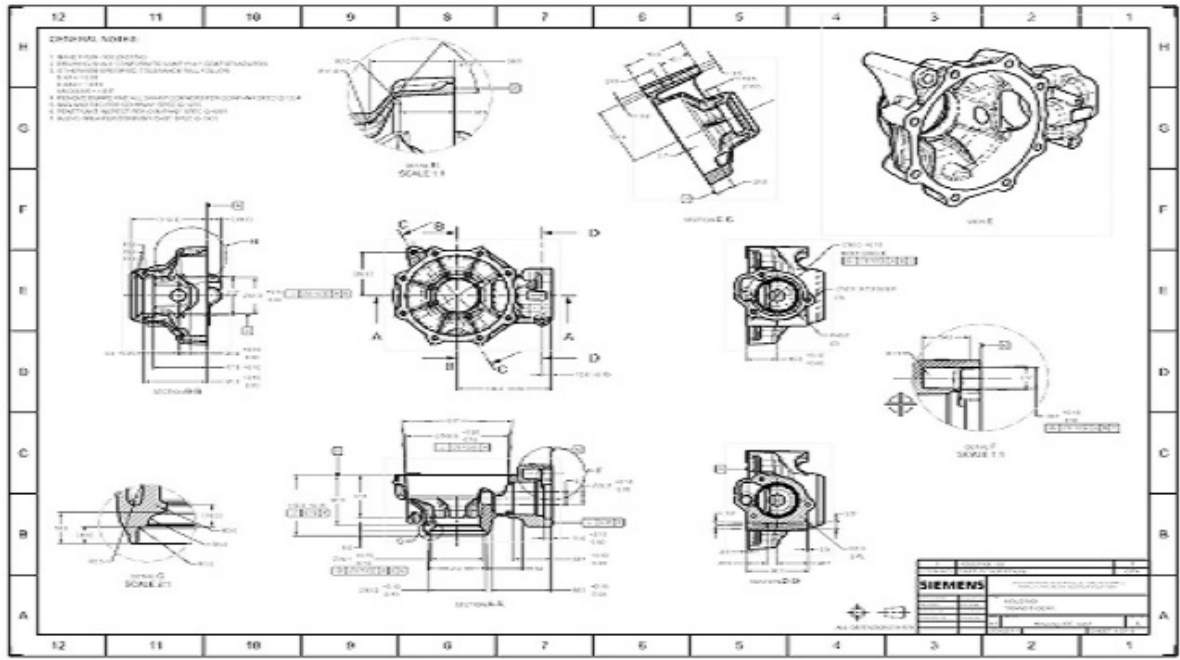


Рисунок 35 – Приклад кресленика деталі, яке виконано в NX [27]

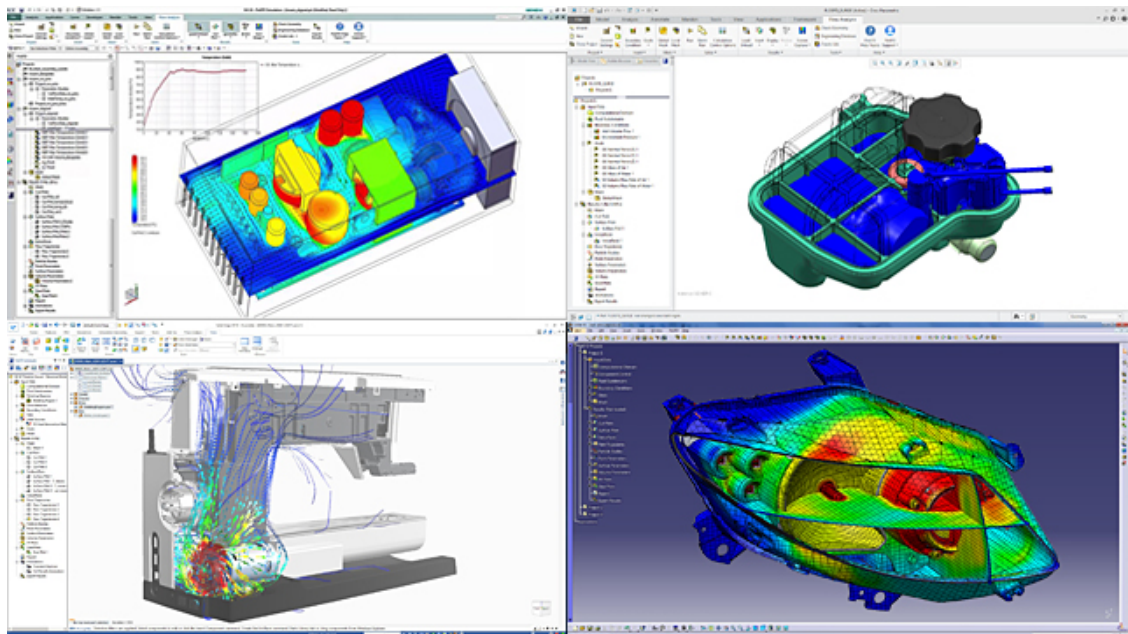


Рисунок 36 – Приклад інженерного аналізу в NX [27]

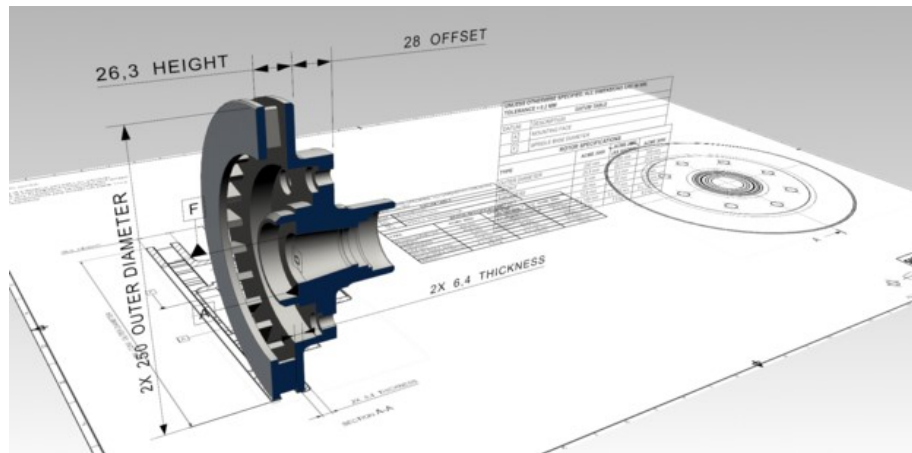


Рисунок 37 – Приклад 3D-анотування в NX [27]

NX для виробництва дозволяє підвищити ефективність всього циклу технологічних операцій та забезпечити високу точність виготовлення виробів завдяки діджиталізації, а також забезпечує цифрову трансформацію виробництва, щоб збільшити продуктивність та збільшити прибуток. Серед найбільш вагомих можливостей можна назвати такі:

- Siemens NX має потужні функції, які дозволяють виконувати весь процес адитивного виробництва від дизайну до друку. SolidEdge (рис. 38);
- потужний інструмент для оптимізації та автоматизації програмування верстатів ЧПК, які можна використовувати як при 2,5-осьовій обробці, так і при 5-осьовій;
- автоматизація контролю якості, інтеграція засобів програмування контролю оброблених деталей на координатно-вимірній машині;
- автоматизація виробництва та збільшення гнучкості за допомогою робототехніки;



Рисунок 38 – Використання Siemens NX для адитивного виробництва [27]

- проектування інструментів та оснащення із використанням вдосконаленої автоматизації та моделювання процесів.

Замовниками даного програмного забезпечення є FIAT, Bosch, NASA], Land Rover, автомобілебудівний концерн Daimler AG (Німеччина), що є виробником пасажирських і комерційних автомобілів марок Maybach, Mercedes-Benz, Smart, Mercedes-AMG, Freightliner, Mitsubishi Fuso, Setra тощо.

Контрольні питання:

1. Які функціональні можливості САПІА відрізняють її від інших систем проектування?
2. Основні можливості та сфери застосування SolidWorks.
3. Назвати та порівняйте програмні рішення в області САПР американського постачальника програмного забезпечення Autodesk
4. Які з відомих вам САПР мають модуль генеративного дизайну? Яке його призначення?
5. Описати основні можливості та сфери застосування САПР NX.
6. Пояснити поняття 3D-анотування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 3321_2003 Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять. – [Чинний від 2003-12-08]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 2005. 51 с.
2. ДСТУ 2226-93. Автоматизовані системи. Терміни та визначення. – [Чинний від 1994-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 1994. 93 с.
http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=61937
3. Черепашков А.А., Носов Н.В. Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении: Учеб. для студ. высш. учеб. заведений. Волгоград: Издательский Дом «Ин-Фолио», 2009. 640 с: ил.
4. Малюх В. Н. Введение в современные САПР: Курс лекций. М.: ДМК Пресс, 2010. 192 с.
5. Муленко В.В. Компьютерные технологии и автоматизированные системы в машиностроении: учеб. пособ для студ. по специальности «Автоматизация проектирования нефтегазового оборудования», «Автоматизация проектирования бурового оборудования». М.: РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, 2015. 73 с.
6. David E. Weisberg The Engineering Design Revolution. URL: <http://cadhistory.net/> (дата звернення 01.02.2021).
7. Эволюция 3D САПР проектирования. URL: <https://vc.ru/design/98856-evolyuciya-3d-sapr-proektirovaniya> (дата звернення 01.02.2021).
8. История бренда AutoCAD. САПР-журнал. URL: <http://sapr-journal.ru/wiki/istoriya-brenda-autocad/> (дата звернення 01.02.2021).
9. Ушаков Д. 30 лет Pro/ENGINEER: воспоминания о прошлом и размышления о будущем параметрического моделирования в САПР. URL: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=19547 (дата звернення 01.02.2021).

10. Системы автоматизированного проектирования. URL: <https://msd.com.ua/osnovy-proektirovaniya-ximicheskix-proizvodstv-i-oborudovaniya/sistemy-avtomatizirovannogo-proektirovaniya/> (дата звернення 01.02.2021).
11. История развития САПР. URL: <http://www.saprgrazia.com/history.php> (дата звернення 01.02.2021).
12. Вайсберг Д. История SolidWorks http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=14741 (дата звернення 01.02.2021).
13. Hirschtick J. Celebrating 25 Years of SolidWorks: Founding Memories From 1993. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/celebrating-25-years-solidworks-founding-memories-from-jon-hirschtick> (дата звернення 01.02.2021).
14. Снытников Н. Onshape: первый полнофункциональный облачный САПР. URL: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=17571 (дата звернення 01.02.2021).
15. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования: Учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 336 с.: ил. <https://lib-bkm.ru/load/19-1-0-196>
16. Стенін О. А., Лапковський С. В., Солдатова М. О. Використання CALS-технологій в сучасній промисловості // *Адаптивні системи автоматичного управління : міжвідомчий науково-технічний збірник*. 2011. № 18(38). С. 114–123. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/4934> (дата звернення 01.02.2021).
17. Юрчик П.Ф., Голубкова В.Б. Применение Web и CALS технологий на предприятии: учеб. пособие. М.: МАДИ, 2018. 112 с.
18. Технологии наукоемких машиностроительных производств. URL: https://ozlib.com/830841/tehnika/tehnologii_naukoemkih_mashinostroitelnyh_proizvodstv (дата звернення 01.02.2021).

19. Гонсьор О.Й. Впровадження CALS-технологій в системи управління якістю на підприємствах агропромислового комплексу // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". 2013. № 753. с.135–139.
20. Каратанов А.В. Методы и модели оценки качества систем автоматизированного проектирования в едином информационном пространстве // Системи управління, навігації та зв'язку. 2013. 3(27). с.122-128.
21. Dassault Systèmes. URL: <https://www.3ds.com> (дата звернення 01.02.2021).
22. Фатхриев В.Р. Обзор возможностей автоматизированного проектирования в 3DEXPERIENCE. URL: http://www.bee-pitron.com/files/content/obzor_vozmozhnostei_avtomatizirovannogo_proektirovaniya_v_3dexperience.pdf (дата звернення 01.02.2021).
23. SolidWorks. URL: <https://www.solidworks.com> (дата звернення 01.02.2021).
24. SolidWorks. URL: https://www.softkey.ua/catalog/sapr/solidworks/#detail_text (дата звернення 01.02.2021).
25. AUTODESK. URL: <https://www.autodesk.ru/> (дата звернення 01.02.2021).
26. PTC. URL: <https://www.ptc.com> (дата звернення 01.02.2021).
27. Siemens Digital Industries Software. URL: <https://www.plm.automation.siemens.com> (дата звернення 01.02.2021).