

## **ЛЕКЦІЯ № 2. ФУНКЦІОНАЛЬНІ МОЖЛИВОСТІ СУЧАСНИХ САПР ВИКОРИСТОВУВАНИХ У МАШИНОБУДУВАННІ**

**План лекції.** Загальні відомості про автоматизоване проектування. Інтегровані CAD/CAE/CAM - системи. Твердотільне моделювання. Поверхневе й гібридне моделювання. Робота зі складаннями та в режимі креслення. Обмін графічною інформацією між програмами. Спеціалізовані програми 3D-моделювання.

**Література:** [4], [5], [11], [16] - [22], [32], [75]-[82].

Автоматизувати виробництво людство прагнуло завжди. Але до середини 20-го століття це були спроби вдосконалення механізмів і технологій. Перші спроби використання систем автоматизації почалися після Другої Світової Війни. Назвати проривом застосування електронних пристроїв для потреб ВПК у США наприкінці 1940-х, початку 1950-х не можна. Потужності обчислювальних машин були тоді недостатні. Серйозні успіхи прийшли тільки в 1970-ті роки, коли з'явилися електронні пристрої, здатні працювати з великим масивом інформації. Цей період прийнято називати першим етапом розвитку автоматизованих систем проектування. Була доведена ефективність використання ЕОМ у вирішенні виробничих завдань.

В 1980-ті почався другий етап електронної революції. До цього часу розмір обчислювальних пристроїв помітно зменшився, а швидкість роботи суттєво зросла. Серйозною причиною вибухового росту став випуск персональних комп'ютерів, за допомогою яких збільшилося коло користувачів.

Серед безлічі шляхів розвитку й декількох великих виробників став вимальовуватися лідер - компанія ІВМ. Архітектура пристроїв з мікропроцесором Intel x86 виявилася найбільш вдалою для використання в автоматизації проектування. Тоді ж почали зароджуватися CAD і CAM системи в машинобудуванні, наукомістких виробництвах.

Методи просторового моделювання дозволили прораховувати складні процеси, створювати основу технології програмування для верстатів з ЧПУ. До середини 1980-х намітився спад у розвитку попу-

лярності продуктів Apple, Motorola. Однак графічні станції під керуванням ОС Unix утримували лідерські позиції. Але вже на початку 1990-х програми на платформі Windows обігнали конкурентів. Пропоновані системи для верстатів, устаткування були зручніші, продуктивніші й головне дешевші. Методи просторового проектування виявилися затребувані в енергетиці, виробництві побутової техніки, автомобілебудуванні, космонавтиці.

Активніше стала використовуватися технологія в машинобудуванні. Програми для токарських верстатів, підвищили якість продукції, скоротили час виробництва. Виникла необхідність створення окремих напрямків у цифровій графіці. Остаточно оформилися терміни CAD, CAM, CAE, їхнє призначення й особливості.

Існує *кілька тлумачень терміна САПР*, які можна зустріти в різній літературі. САПР – це система автоматичного проектування. Поняття «автоматичний» тут має на увазі, що система функціонує самостійно, без участі людини. Однак це не так: у САПР частина функцій виконує людина, а автоматичними є тільки окремі проектні операції й процедури. Термін «автоматизація» лише підкреслює обмежену участь людини в процесі проектування, а не повну його відсутність. Тому таке тлумачення САПР є невірним.

Сам термін САПР "Система автоматичного проектування" (в англійській нотації - CAD) з'явився наприкінці п'ятдесятих років XX ст. А вже перші CAD-системи з'явилися лише через десять років.

**Прийняте на сьогодні у вітчизняній інженерній практиці визначення САПР** (Система Автоматизованого Проектування) – означає комплекс засобів автоматизації проектування, взаємозалежних з необхідними підрозділами проектної організації або колективом фахівців (користувачем системи), що виконує автоматизоване проектування; тобто більш коротко й зрозуміло - поняття САПР містить у собі всі можливості програмного проектування.

**Проектування** - це процес створення опису, необхідного для побудови в заданих умовах ще не існуючого об'єкта.

**Основна функція САПР** – виконання автоматизованого проектування на всіх або окремих стадіях проектування об'єктів та їх складових частин. САПР поєднує технічні засоби, різні види забезпечення, параметри й характеристики яких вибирають, враховуючи особливості завдання інженерного проектування об'єктів.

Функціонування САПР визначає нову прогресивну технологію

проектування, засновану на взаємодії людини та ЕОМ. Залежно від ступеня участі людини й використання ЕОМ розрізняють режими проектування. Однак все-таки зручніше користуватися англomовними версіями, що описують види й технології виконуваних робіт більш детально. Найбільш популярні терміни означають:

**CAD системи** - означає комп'ютерну підтримку проектування (Computer Aided Design). Програми з пакетом модулів для створення тривимірних об'єктів з деталізацією їх особливостей та можливістю одержання повного комплексу конструкторсько-проектної документації.

**CAM системи** - переводиться як комп'ютерна підтримка виробництва (Computer Aided Manufacturing). Це прикладні програми за допомогою яких прописують алгоритми роботи верстатів з ЧПУ. При цьому в якості основи використовується тривимірна модель (3D), зроблена у CAD-системі.

**CAE системи** - клас продуктів для комп'ютерної підтримки розрахунків та інженерного аналізу (Computer Aided Engineering). Поява можливості створювати твердотільну модель вимагала детального її опису, прогнозування експлуатаційних навантажень, включаючи вплив температури, опору середовища. Тому були розроблені спеціалізовані програми CAE, які сьогодні використовуються або як окремі вбудовані CAE-модулі у САПР, або як окремі розрахункові комплекси, такі як ANSYS, IDEA StatiCa, CalculiX, OpenFOAM, ELCUT тощо.

Автоматизовані системи проектування в процесі еволюції розділилася на окремі напрямки, у рамках яких вирішувалися вузькоспеціалізовані завдання. Розширювався й арсенал інструментів для досягнення мети. Тому сьогодні можна на кожному етапі виробництва вибрати систему, найбільш підходящу в конкретному випадку.

По традиційній класифікації всі САПР підрозділяють на три рівні:

- **нижній, або легкий рівень.** Представниками цього рівня є такі САПР, як AutoCAD, Caddy, CADMECH Desktop, Mastercam, T-flex, OmniCAD, Компас. Ціновий діапазон цих САПР становить 500-2000 доларів за робоче місце;
- **середній рівень.** Представниками цього рівня є такі САПР, як Solid Edge, SolidWorks, Autodesk Inventor, Cimatron, Form-Z, CAD Solidmaster і, що усе ще продовжує розбудовуватися,

Mechanical Desktop, Designspace. Ціновий діапазон цих САПР становить 2000-20 000 доларів за робоче місце;

- **верхній, або важкий рівень.** Представниками цього рівня є такі САПР, як ADAMS, ANSYS, CATIA, EUCLID3, Steo (Pro/ENGINEER), NX (Unigraphics). Ціна цих САПР становить більше 20 000 доларів за робоче місце.

### **Легкі САПР.**

Програми даної категорії служать для двовимірного креслення, тому їх звичайно називають електронною креслярською дошкою. До теперішнього часу вони поповнилися деякими тривимірними можливостями, але не мають засобів параметричного моделювання, які мають важкі й середні САПР. Ці програми дозволяють скоротити час проектування й поліпшити якість документації тільки за рахунок усунення ручної праці. При цьому вони не захищають від помилок, характерних для ручного проектування - за допомогою кульмана, олівця й ластику. Відносно невисока й вартість таких програм, тому вони користуються попитом, незважаючи на нинішню економічну кризу. Саме через їхню простоту й дешевину, "легкі" системи стали найпоширенішим продуктом автоматизації проектування, свого роду "робочою конячкою" світу САПР. І якщо ви не виконуєте складних проектів і вас не "підтискають" строки, то ваш вибір можна обмежити такими програмами.

**AutoCAD** - найпоширеніший продукт, виготовлений компанією Autodesk. Він являє собою автоматичну систему універсального проектування, яка містить у собі необхідні елементи дворівневого креслення й тривіневого моделювання. Розроблена в 1982 році, автоматизована система AutoCAD заслужено одержала найширше поширення й популярність серед проектувальників всіляких галузей промислової індустрії. Одержавши безперечну перевагу перед іншими автоматизованими системами через порівняно невисоку ціну, цей програмний продукт досить швидко одержав заслужену популярність.

AutoCAD не тільки впливає на час інженерно-проектних робіт, але й на якість цих робіт у плані неухильної точності. На основі проектних обстежуваних моделей можна швидко виконувати проекції, місцеві розрізи, а також створювати взаємозалежні блоки креслень і цілеспрямовано залежно від виконуваних завдань дистанційно ними управляти й групувати по відповідних до категорій, розділів основно-

го проекту, архівувати інженерно-проектну документацію, а також вчасно організовувати співробітництво різних категорій фахівців. Крім того, програма унікальна тим, що на самих ранніх етапах проектних робіт може встановити неточності й вади, запобігаючи тим самим можливі наступні помилки.

У програмі AutoCAD використовується формат DWG, який сьогодні є стандартом при інженерному проектуванні в будь-якій галузі промисловості, але це - не єдино можливий варіант. Файловий формат pdf, наприклад, успішно використовується різними фахівцями при необхідності обміну даними.

Можливості програми AutoCAD, що постійно розширюються, свідчать про її актуальність і популярність. Зокрема з'явилася можливість виявляти й позначати параметричні внутрішні зв'язки між об'єктами, створювати, змінювати й редагувати об'єкти довільної форми. Крім того, для деяких галузей промисловості створені спецпрограми AutoCAD: для дорожнього будівництва, галузі машинобудування, землевпорядження, будівельної архітектури, електротехніки. Для виконання інженерно-конструкторських робіт, не пов'язаних з 3D графікою, створена полегшена версія програмного продукту, яка використовується при створенні двовірних креслень (версія AutoCAD LT).

Програма Autodesk дозволяє організувати результативне співробітництво різних фахівців: інженерів, конструкторів, дизайнерів, технологів на самому первісному етапі процесу проектування, оскільки автоматизований продукт надає можливість працювати із цифровими прототипами.

***AutoCAD Mechanical*** - системний продукт, заснований на платформі AutoCAD, застосовується в промисловому виробництві і являє собою частину цифрових характеристик програми Autodesk. Зберігаючи отриманий раніше досвід і корисні наробітки з підготовленої раніше програми AutoCAD, цей системний продукт дозволяє суттєво прискорити процес виконання проектних робіт. Крім того, він є найбільш точним, оскільки містить у своїй бібліотеці всі необхідні параметри, задані вимогами ДСТУ.

### **САПР середнього рівня.**

Програми даної категорії дозволяють не тільки виключити помилки, можливі при проектуванні за допомогою програм "нижнього" рівня, але й виконати різні перевірочні розрахунки деталей і складань

виробу, порахувати їх вагові характеристики та ін., що характерно для програм "важкого" рівня. Усе це стає можливим завдяки переходу від двовимірного проектування до тривимірного, "об'ємного" моделювання. Застосування таких програм при розробці виробів середньої складності дозволяє значно скоротити час розробки й зменшити кількість помилок у конструкторській документації.

Такі пакети з'явилися у світі САПР зовсім недавно — у середині 1990-х років. До цього існувало тільки два полюси — на одному потужні (читай, "важкі") системи, що працюють на Unix-станціях (втім, тоді їх було набагато більше, чим зараз), а на іншому - прості (читай, "легкі") програми двовимірного креслення для персонального комп'ютера. Але як тільки персональний комп'ютер здобув достатню потужність, а Windows стала багатозадачною і більш стійкою операційною системою, розроблювачі змогли створити системи автоматизованого проектування, які зайняли проміжне положення між "важкими" і "легкими" продуктами. Від перших вони успадкували можливості тривимірного твердотілого й поверхневого моделювання, а від других — невисоку ціну, зручний графічний інтерфейс і орієнтацію на платформу Windows. Новинки зробили справжній переворот у світі САПР, дозволивши багатьом конструкторським і проектним організаціям перейти на тривимірне моделювання.

Важливу роль у становленні середнього класу зіграли два ядра твердотілого параметричного моделювання - ACIS і Parasolid, які з'явилися на початку 90-х років і зараз використовуються в багатьох ведучих САПР. Геометричне ядро служить для точного математичного представлення тривимірної форми виробу й керування цією моделлю. Отримані з його допомогою геометричні дані використовуються системами CAD, CAM і CAE для розробки конструктивних елементів, складань і виробів. У цей час Parasolid належить фірмі EDS, а ACIS — компанії Dassault, які продають ліцензії на їхнє використання всім бажаючим. Таких бажаючих чимало — ці ядра складають основу більше сотні САПР, а число проданих ліцензій перевищило за мільйон. Успіх зрозумілий — адже використання готового ядра рятує розроблювачів системи від вирішення трудомістких завдань твердотілого моделювання й дозволяє зосередитися на користувацькому інтерфейсі та інших функціях. Втім, це не означає, що всі САПР середнього класу побудовані на базі цих механізмів. Багато компаній цінують незалежність і воліють розробляти власні "движки".

У числі лідерів "середнього" сегмента — система SolidWorks однойменної компанії (у цей час — вона підрозділ Dassault Systemes), пакет Solid Edge (розроблений фірмою Intergraph, тепер належить EDS), а також програма Inventor від Autodesk. Крім них у даному сегменті працює безліч компаній, у тому числі й російських. Їхня популярність серед користувачів постійно росте, і завдяки цьому дана область динамічно розбудовується. У результаті по функціональних можливостях середній клас поступово доганяє своїх більш дорогих конкурентів. Наприклад, будучи початково засобами твердотільного моделювання, ці системи в ході еволюції здобули функції поверхневого моделювання, підготовки виробництва, інженерного аналізу й навіть керування інженерними даними. Однак далеко не всім користувачам потрібна така різноманітність можливостей. Очевидно, саме цим пояснюється те, що перехід із двовимірних систем на тривимірні ще не завершився, і багато користувачів дотепер віддають перевагу програмам легкого класу.

**Solid Edge** - це автоматизована система, призначена для геометричного проектування й моделювання деталей і збірних вузлових комплексів. Ця система дозволяє використовувати засоби й базові операції в самому широкому спектрі (на відміну від традиційних автоматичних систем CAD, які орієнтовані на розробку й проектування окремих деталей).

**SolidWorks** - це САПР, яка дозволяє проектувати інженерні об'єкти в трьох вимірах, функціонує під управлінням програми Microsoft Windows. Через свій простий інтерфейс програма стала досить популярною, фактично ця програма є альтернативним рішенням двовимірних програмних забезпечень.

Вперше ця програма була створена в 1993 році й стала конкурентоспроможною в порівнянні з такими програмами, як AutoCAD, Solid Edge, SDRC I-DEAS, Pro/ENGINEER та ін.

Програмне забезпечення SolidWorks має інструменти для виконання тривимірного просторового моделювання, для виконання інженерних креслень і конструкторських складань, роботи зі звареними несучими конструкціями й листовими металевими продуктами, а також неоднорідними поверхнями різних довільних форм. Програма має у своєму розпорядженні можливість імпортування досить великого числа файлів 2D і 3D. З'явилася можливість програмування в Visual Basic і C++, а також передбачена програма аналізу за принципом кін-

цевих елементів початкового рівня Cosmos.

### **Важкі САПР.**

Програми даної категорії дозволяють реалізувати проект складного технічного пристрою, виконати необхідні розрахунки й перевірки й одержати на виході конструкторську, технологічну документацію й програми для верстатів із числовим програмним управлінням для виготовлення деталей. Такі програми є великоваговими й у ціновій категорії.

У цей час на ринку залишилися лише три САПР верхнього цінового класу — NX компанії Siemens, CATIA французької фірми Dassault Systemes (яка просуває її разом з IBM) і Creo (Pro/Engineer) від PTC (Parametric Technology Corp.). Раніше потужних системи було більше, але після низки злиттів і поглинань компаній, кількість систем скоротилася. Головна особливість "важких" САПР — великі функціональні можливості, висока продуктивність і стабільність роботи — усе це результат тривалого розвитку.

Усі названі програми включають засоби тривимірного твердотілого й поверхневого моделювання, а також модулі структурного аналізу й підготовки до виробництва, тобто є інтегрованими пакетами CAD/CAM/CAE. Крім того, усі три постачальники пропонують для своїх САПР системи керування інженерними даними (PDM - Product Data Management), що дозволяють управляти всією конструкторсько-технологічною документацією й надавати додаткові дані, експортовані з інших корпоративних систем, з довідників і нормативних джерел. Незважаючи на те, що важкі системи коштують значно дорожче своїх більш "легких" побратимів, витрати на їхнє придбання окупаються швидко, особливо коли мова йде про складне виробництво, наприклад, машинобудування, двигунобудування, авіаційної й аерокосмічної промисловості.

**NX Siemens** - це дуже потужна комплексна CAD/ CAM/ CAE/ PLM система, сьогодні широко використовується в автомобільній і авіаційній промисловості. Архітектура програмного забезпечення NX була повністю перероблена, внаслідок цієї переробки стало можливим підключення багатьох спеціалізованих нових функцій I-DEAS.

Система автоматизованого проектування I-DEAS (Integrated Design and Engineering Analysis Software) - була одною з перших CAD систем твердотілого моделювання, розроблена Structural Dynamics

Research Corporation в 1982 році і використовувалася в основному в автомобілебудуванні. Особливо популярною I-DEAS була у компаній Ford Motor Company і General Motors.

**CATIA** - це система автоматизованого проектування, яку виготовила фірма Dassault Systemes (Франція). Перша версія програми CATIA V1 була представлена в 1981 році. У сучасних умовах користувачі успішно застосовують дві версії програми (V5 і V6). Це - різні версії. Вперше у 1993 році була представлена програма CATIA V4 і знайшла своє застосування в Unix-подібних системах. Програма CATIA V5 була випущена через 5 років, в 1998 році, і з'явилася першою програмою, що працювала під управлінням програми Microsoft Windows. Програма V5 була створена на зовсім новій базі й сконцентрувала в собі всі наявні в цьому напрямку наробітки САПР початку 21 століття.

Для стимулювання більш активного переходу до програми CATIA V5, компанія Dassault Systemes приготувала й запропонувала концепцію PLM (Product Lifecycle Management), яка стала затребуваною всією індустрією САПР.

В 2008 році була створена версія програми CATIA V6 компанією Dassault Systemes, яка за задумом виробників повинна підтримувати програми моделювання всіх інженерних конструкцій і супутні процеси, що відбуваються з виробами. Суть нової концепції, що одержала назву "PLM 2.0 на платформі V6" - у тривимірному моделюванні й можливості спільної роботи декількох співробітників одночасно. Різні фахівці, що перебувають у момент виконання роботи в різних точках планети, могли тепер спілкуватися за допомогою Web.

Безумовно, це стало великим проривом в машинобудівній індустрії, оскільки кожний зі співробітників, що працюють над проектом, міг у реальному часі безперешкодно оперувати реальними й віртуальними об'єктами, використовуючи нові можливості онлайнового спілкування й взаємодії. Користувачі дали високу оцінку новому підходу у вирішенні конструкторських завдань. PLM-рішення програми V6 включають :

- систему CATIA для автоматизації проектування;
- для керування колективною роботою при вирішенні інженерних завдань передбачена програма ENOVIA;
- для розв'язку завдань системного аналізу - програма SIMULIA;

- для виробництва цифрового матеріалу - програма DELMIA.

Над програмою PALM V6 працюють кілька компаній. Зокрема, це філія ізраїльської фірми Dassault Systemes Israel (SMARTEAM).

**Creo (колишній Pro/Engineer)** - є системою високого класу й має у своєму розпорядженні можливості для інженерного проектування зварених несучих конструкцій. Ця система містить модулі для базисного твердотільного моделювання й конструкторських збірних вузлів.

Одержати докладний і повний огляд можливостей всіляких систем CAD/CAM/CAE останніх версій, оцінити розподіл впливу учасників ринку систем САПР, причини переходу з однієї системи на іншу - можна безпосередньо на сайтах розробників САПР, або за допомогою спеціалізованих ресурсів у мережі Internet, таких як наприклад <http://www.cad.dp.ua>. На ньому зібрані не тільки огляди різних САПР, але й різні статті, поради й посилання на сайти розроблювачів даних систем.

Слід пам'ятати, що сьогодні всі компанії-розроблювачі САПР, на своїх сайтах викладають не тільки останні релізи своїх програм, але й різні довідкові матеріали по своїх програмних продуктах. Оскільки вони зацікавлені в усе більшому поширенні й використанні саме своїх версій САПР.

Так лідер ринку компанія Autodesk дає ліцензію для студентів на три роки при використанні своїх програм. По функціоналу "студентська" версія програми конструювання майже така ж, як дорога професійна версія, але коштує в рази дешевше. Причому вартість базового пакета Autodesk для одного користувача (одне робоче місце) завелика навіть для діючого, високооплачуваного «західного» інженера. Тому САПР важкого рівня (CATIA, Creo, NX) закуповують тільки підприємства, при цьому у вартість ліцензії входить і навчання співробітників даної версії програми.

Перш ніж розглядати можливості спеціалізованих програм моделювання, слід розібратися із самими базовими поняттями, на основі яких побудована робота всіх програм 2D і 3D моделювання - а саме поняття векторної й растрової графіки, хоча окремо називають ще й фрактальний тип відокремлення зображень, говорити про який ми не

будемо.

Для роботи з будь-якими зображеннями на екрані комп'ютера необхідні спеціальні програми, які прийнято називати графічними редакторами.

**Графічний редактор** – це спеціальна програма для створення, редагування й перегляду графічних зображень. Графічні редактори можна розділити на дві категорії - растрові й векторні, залежно від того з яким типом графіки вони працюють.

**Векторна графіка** - представляє собою набір геометричних примітивів, наприклад: точки, прямі, окружності, прямокутники. Головна особливість векторної графіки в тому, що вся інформація про графічні об'єкти, зберігається в пам'яті комп'ютера у вигляді різних математичних формул. А це дає можливість зміни розмірів зображення без втрати якості картинки.

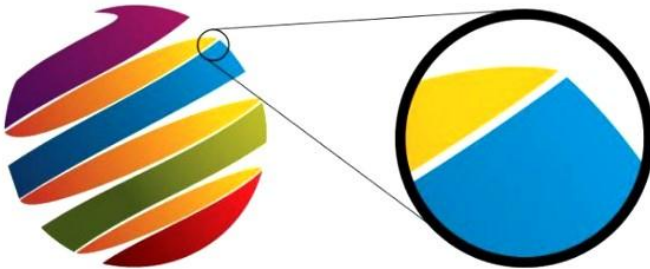


Рисунок 2.1 - Малюнок векторної графіки

При масштабуванні векторних зображень відбувається перерахування цих формул і такі візуальні елементи, як лінія, окружність або будь-яка інша геометрична фігура, залишаються незмінними. Такою ж залишається і якість картинки в цілому. Це значно спрощує роботу із графікою й підвищує якість кінцевого результату.

Крім того, розмір файлів, у яких утримуються векторні зображення, значно менший, чим файли з растровою графікою такої ж якості, навіть якщо мова йде про зображення значного розміру з гарною деталізацією. Доповнює переваги векторної графіки робота як з окремими примітивними об'єктами, так і наявність можливості поєднувати їх у групи, зливати, обрізати й виконувати ще дуже велику кількість різних дій. Зображення при цьому є пошаровим, як і в будь-якому растровому редакторі, наприклад Adobe Photoshop.

### ***Недоліки векторної графіки:***

- відсутність можливості створювати реалістичну картинку, близьку по якості до світлини, це значно зменшує застосування векторної графіки;
- велика бібліотека фільтрів, які створюють найцікавіші ефекти при роботі з растровими картинками, у випадку роботи із векторними кривими стає абсолютно даремною;
- на відміну від растрових зображень, файли, що містять картинку у векторі, можна редагувати тільки в тій програмі, у якій вони були створені початково; але із цього правила є виключення, існують універсальні формати, вони змінюються в більшості векторних редакторів.

Самі популярні «векторні» програми - CorelDraw, Adobe Illustrator, Xara Designer, Adobe Fireworks, Inkscape, SK1.

**Растрова графіка** — завжди оперує матрицею пікселів. Кожному пікселю зіставляється значення яскравості, кольору, прозорості або комбінація цих значень. У растровому виді представимо будь-яке зображення, однак цей спосіб зберігання має свої недоліки: більший об'єм пам'яті, необхідний для роботи із зображеннями, втрати при редагуванні. Растровими зображеннями є будь-які світлини, скановані картини й зображення.

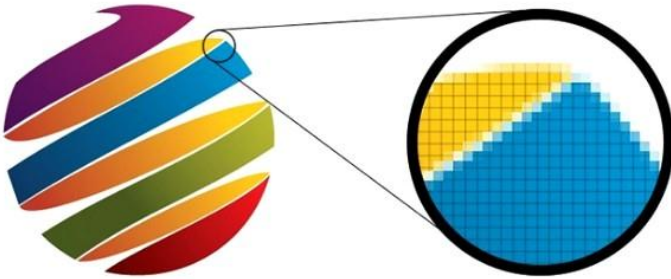


Рисунок 2.2 - Растрова графіка (при збільшенні стає видна матриця пікселів)

Звідси виникає таке поняття як "Розмір (Разрешение)" - це величина, що визначає кількість точок (елементів растрового зображення) на одиницю площі (або одиницю довжини). Його прийнято вимірювати в пікселях (англ. pixel, pel - скорочення від pictures element).

Чим більше пікселів на одиницю площі містить зображення, тим

більше воно детально. Максимальна деталізація растрового зображення задається при його створенні й не може бути збільшена. Якщо збільшується масштаб зображення, пікселі перетворюються в крупні зерна. За допомогою інтерполяції ступінчастість можна згладити. Ступінь деталізації при цьому не зростає, тому що для забезпечення плавного переходу між вихідними пікселями просто додаються нові, значення яких обчислюється на підставі значень сусідніх пікселів вихідного зображення.

Кожний піксель растрового зображення — це об'єкт, що характеризується певним кольором, яскравістю й, можливо, прозорістю. Один піксель може зберігати інформацію тільки про один колір, який і асоціюється з ним (у деяких комп'ютерних системах колір і пікселі представлено у вигляді двох роздільних об'єктів, наприклад, у відеосистемі ZX Spectrum).

Більшість форматів графічних файлів дозволяють зберігати дані про бажаний масштаб при виводі на друк, тобто про бажаний дозвіл в dpi (англ. dots per inch - ця величина говорить про кількість точок на одиницю довжини: наприклад 300 dpi означає 300 точок на один дюйм). Це винятково довідкова величина. Як правило, для одержання роздруківки світлини, який призначений для розглядання з відстані порядку 40 - 45 сантиметрів, досить розміру 300 dpi.

Найбільш популярні графічні редактори, у яких використовуються растрова графіка, це: Microsoft Paint, Adobe Photoshop, Corel Photo-Paint, Adobe Fireworks, GIMP і т.д.

### ***Переваги растрової графіки.***

Растрові редактори є найкращим засобом обробки світлин і малюнків, тому що забезпечують високу точність передачі градацій кольорів та півтонів.

### ***Недоліки растрової графіки.***

Зображення, створювані в растрових програмах, завжди займають багато пам'яті. Із цієї причини інформація у файлах растрового формату зберігається, як правило, у стислому виді.

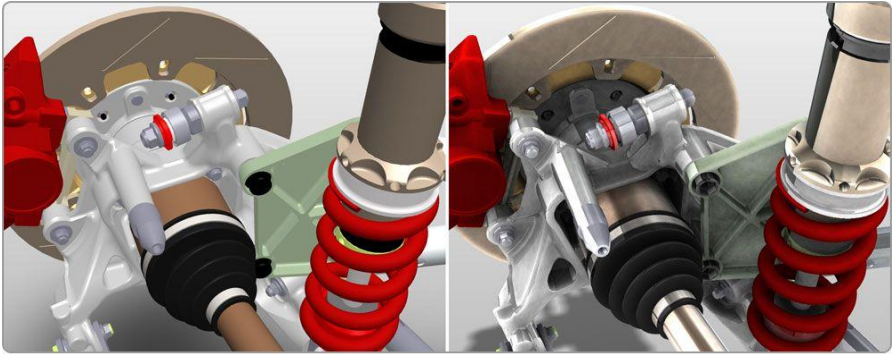
Растрові зображення неможливо збільшувати для уточнення деталей. Тому що зображення складається із точок, то збільшення приводить до того, що точки стають крупніше, що візуально спотворює ілюстрацію. Цей ефект називається пікселізацією.

Векторний і растровий формат зображення відрізняються один від одного не тільки особливостями обробки й редагування. Застосу-

вання векторної графіки обмежене в основному областю поліграфії: логотипи, ілюстрації, технічні малюнки й схеми. Растрова ж графіка застосовується значно ширше.

Усі програми САПР і 3D-графіки (Maya, 3ds Max, Zbrush, Cinema 4D, Lightwave, Rhinoceros тощо) початково працюють (створюють об'єкти) у векторному форматі. А потім, для одержання фото-реалістичного зображення, у спеціальних модулях проводиться процес називаний растровуванням (растерізація).

Так наприклад в SolidWorks для додаткового зафарбовування в реальному часі, включаючи відкидання тіні й відбиття сцени, застосовується спеціальний інструмент Realview (рис. 2.3).



Without RealView

With RealView and  
Ambient Occlusion

Рисунок 2.3 - Застосування інструмента Realview в SolidWorks

Застосовуючи Realview під час моделювання, ви одержуєте цілком реалістичне зображення моделі, або складання, на екрані комп'ютера, таке як у реалії, за допомогою натискання всього лише однієї кнопки, швидко й зручно.

Аналогічно, коли ви скануєте якесь креслення (малюнок, зображення), ви одержуєте растровий малюнок. Для подальшого використання відсканованого креслення в CAD-системі, необхідно провести його векторизацію - тобто перевести зображення з растрової форми у векторну - це процес, зворотний rasterизації.

Основним інструментом усіх векторних редакторів є інструмент - Криві Безьє, він дозволяє створювати прямі, ламані й гладкі криві, що проходять через вузлові точки, з певними дотичними в цих точках.

Цей інструмент моделювання з'явився в арсеналі конструкторів досить давно. Вивченням принципів опису складних тривимірних об'єктів зайнялися ще в 50-х роках минулого століття. Необхідність удосконалення процесу й інструментів моделювання була викликана потребою створення більш складних форм, чого досягти за допомогою лінійок, циркулів і лекал було неможливо. Крім того, математичні моделі були потрібні й для верстатів з ЧПУ.

Тому наприкінці 1950-х відразу дві французькі автомобільні компанії "Рено" і "Сітроен" паралельно запропонували способи математичного опису поверхонь. Працівники цих компаній П'єр Безьє й Поль де Кастельжо розробили процедуру опису поверхонь, створених із кривих, які можна контролювати в проміжних точках (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 - Citroen і утворюючі форму криві

Незважаючи на те що Поль де Кастельжо із "Сітроен" розробив свій метод на пару років раніше (в 1959 році), криві й засновані на них поверхні одержали назву на честь П'єра Безьє, оскільки його дослідження було опубліковано в 1962 році, а інформація про Поля де Кастельжо з'явилася тільки в 1970-х.

Криві Безьє — це вдосконалені Ермітові криві. Якщо Ермітову

криву не можна контролювати в проміжних точках, а задається тільки її поведінка на початку й кінці, то поведінку кривої Безьє можна контролювати на всіх ділянках за допомогою проміжних точок.



Рисунок 2.5 - Приклад Кривої Безьє у вікні САПР під час моделювання

Ступінь кривої визначає кількість контрольних точок. Дві контрольні точки означають, що крива має перший ступінь і безперервна на одній ділянці, п'ять контрольних точок свідчать про четвертий ступінь на чотирьох безперервних ділянках.

Однак криві Безьє мають ряд обмежень. Зокрема, їх розрахунки ускладнюються з ростом кількості контрольних точок, що суттєво утрудняє застосування таких кривих. Саме тому розвиток математичного апарату для опису кривих і поверхонь не зупинився на роботах Безьє.

У якості альтернативи кривим Безьє прийшли **сплайни** - складні криві, що складаються із простих сегментів, гладко сполучених один з одним. Як різновид сплайнів у комп'ютерному моделюванні закріпилися NURBS-поверхні, описані в 1975 році Кеноном Версприлом.

Ключова відмінність NURBS від кривих Безьє - можливість створення точки вставки (Knot), що розбиває складну криву на складові. Це дозволяє гладко з'єднати дві криві Безьє в одну NURBS-криву. При використанні таких кривих як каркасів створюються поверхні. Залежно від складності, поверхня може мати або криві, що просто граничать (у простому випадку), або деяке число проміжних кривих (рис. 2.6), які дозволяють управляти поверхнею на всіх ділянках.

Вказані інструменти моделювання Криві Безьє, NURBS-поверхні та сплайни - є основою сучасних систем поверхневого моделювання. Вони дозволяють не тільки створювати й контролювати складні поверхні, але й гладко з'єднувати їх між собою таким чином,

щоб людське око не змогло відрізнити, де закінчується одна й починається інша поверхня.



Рисунок 2.6 - NURBS-поверхня

У більшості САПР та програм 3D графіки ці інструменти дозволяють з'єднувати криві й поверхні з безперервністю по розташуванню ( $G_0$ ), дотичній ( $G_1$ ) і кривизні ( $G_2$ ). І тільки Autodesk Alias створює ще більш гладкі з'єднання по  $G_3$  і  $G_4$ .

У таких з'єднань також є свій математичний опис. Більш докладно довідатися про історію NURBS і ролі, які вони відіграють у сучасних САПР, можна у спеціалізованій літературі. А щоб наглядно зрозуміти математику цих кривих і сполучень, треба запустити будь-яку САПР і розпочати роботу цими інструментами.

Серед усіх спеціалізованих програм 3D-моделювання використовуваних у автомобілебудуванні при розробці дизайну нових автомобілів слід виділити **Autodesk Alias Automotive**.

Програму **Alias Automotive** сьогодні успішно використовують в усьому світі провідні автомобільні дизайн-студії, оскільки вона містить повний набір інструментів і рішень, необхідних для розрахунків і візуалізації всіляких форм і поверхонь.

Програмне забезпечення, у якому намагалися добитися математично точних поверхонь, з'явилося ще 30 років тому, але тільки зараз воно стало невід'ємною частиною дизайнерського пророблення й конструкторської підготовки виробництва.

Лідером у цій області по праву вважається лінійка продуктів Alias від компанії Autodesk, але в СНД дані технології ще не одержали широкого поширення з ряду причин. Так, багато виробників не усві-

домлюють, що, крім зовнішніх характеристик, математично точні поверхні допомагають досягти цілого ряду переваг по експлуатаційних характеристиках.

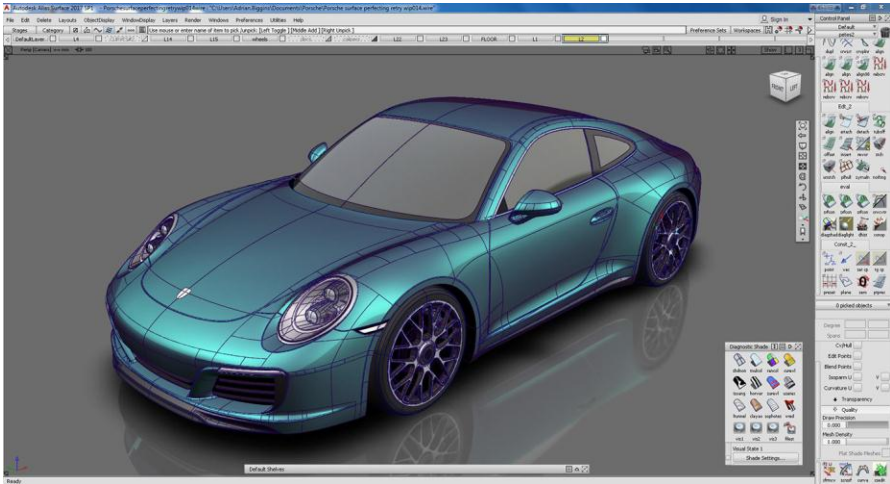


Рисунок 2.7 - Porsche 911 розроблений у Autodesk Alias Automotive

Наприклад, поверхні класу А (поверхні кузова автомобіля) мають більший коефіцієнт запасу міцності при статичних навантаженнях, що, у свою чергу, дозволяє заощаджувати на матеріалі. А відсутність кваліфікованих фахівців гальмує впровадження подібного роду ПО на підприємствах та інтеграцію із уже звичними всім машинобудівними САПР. Autodesk Alias охоплює всі етапи дизайну виробу: створення начерків та ескізів, одержання тривимірної моделі виробу на їхній основі й фотореалістичну візуалізацію (рис. 2.8-2.11).

Набір інструментів для створення ескізів дозволяє працювати з імпортованими зображеннями або створювати начерк з нуля. Autodesk Alias надає можливості повнофункціонального графічного редактора. Також Autodesk Alias дозволяє працювати за допомогою графічного планшета, що ще більше спрощує процес пророблення зовнішнього вигляду виробу.

На основі ескізів створюється тривимірна модель, яка складається з безлічі «шматків» — патчей (patch), що представляють собою одиночні NURBS-поверхні, які «натягають» на NURBS-криві, як на каркаси. Патчи сполучаються один з одним, утворюючи patch layout.

Ту саму форму можна змоделювати по-різному, створюючи різні комбінації патчей. Те, яким образом з'єднані патчи, і характеризує якість поверхні. Autodesk Alias дозволяє створювати безперервність (continuity) від G0 до G4. Безперервність G3 і G4 забезпечують найбільш плавний перехід поверхонь.

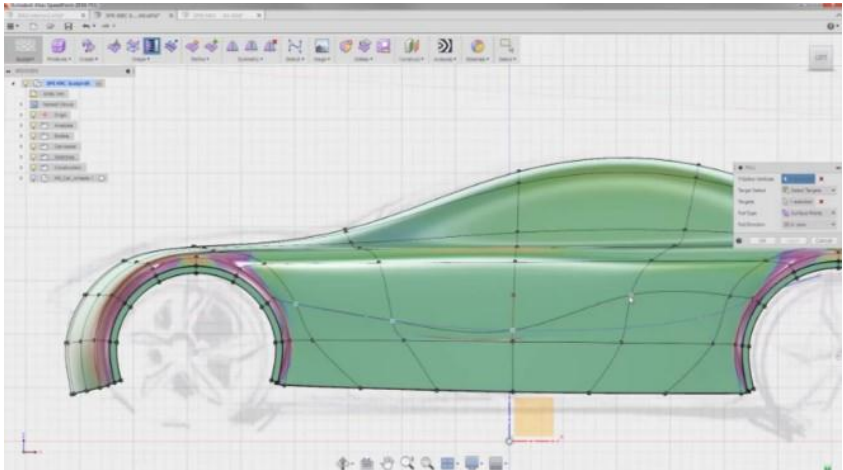


Рисунок 2.8 - Робота в полі ескізу у Alias Automotive

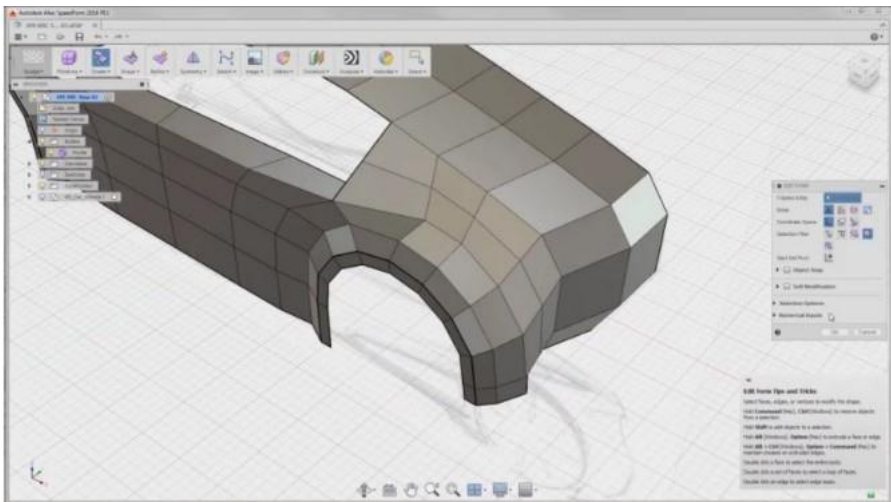


Рисунок 2.9 - Робота з NURBS-поверхнями у Alias Automotive

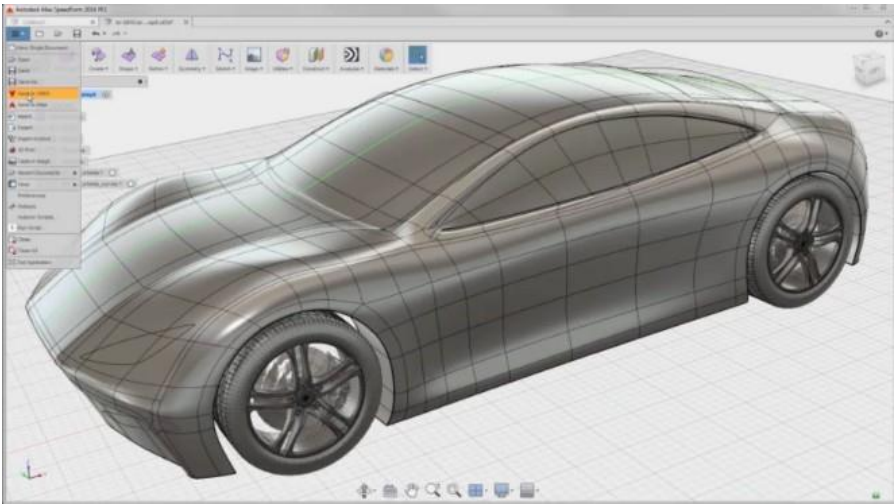


Рисунок 2.10 - Перетворення сітчастої моделі в поверхневу в Alias



Рисунок 2.11 - Фотореалістична візуалізація моделі Porsche 911 розробленої у Alias Automotive із додаванням фону

З найперших кроків пророблення концепції виробу Autodesk Alias надає великий набір як стандартних, так і зовсім унікальних інструментів, дозволяючи дизайнерам проектувати поверхні класу А в найкоротший термін. Комбінування 2D- і 3D-геометрії дає можливість вільного редагування складних поверхонь, враховуючи функціональне призначення виробу. Autodesk Alias допомагає скоординувати роботу різних служб і відділів шляхом проставлення особливих позначок на моделі (рис. 2.12).

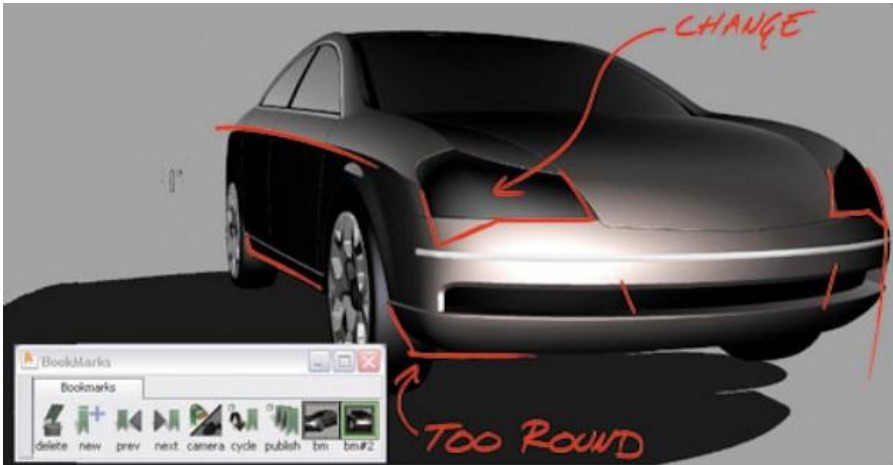


Рисунок 2.12 - Нанесення позначок на моделі у Alias Automotive

Швидка й надійна передача даних в інші САПР можлива завдяки використанню нейтральних форматів (IGES і STEP), а також транслятора даних Autodesk Directconnect, який дозволяє безперешкодно обмінюватися даними з різними САПР (CATIA V5/V6, NX, імпорт із SolidWorks, Creo).

Протягом усіх етапів проектування Autodesk Alias дає можливість стежити за всіма змінами моделі й представляти варіанти проєктованого виробу у вигідному світлі завдяки вбудованим засобам візуалізації, які дозволяють створювати фотореалістичні зображення й відеоролики. Величезна бібліотека шейдерів і налаштування висвітлення дозволяють виконувати всі роботи пов'язані з візуалізацією, безпосередньо в Autodesk Alias, а можливість експорту в Autodesk Showcase забезпечує можливість інтерактивної демонстрації виробу.

Autodesk Alias - це універсальний комплекс і головний інструмент сучасного промислового дизайну, що вирішує всі завдання моделювання: створення ескізу, проєктування тривимірної моделі й візуалізацію концепції виробу. Сумісність із основними CAD-системами зводить до нуля ризик викривлення дизайнерського задуму при передачі моделі конструкторам.

Працювати в Autodesk Alias можна без знання основ CAD-проєктування, що дозволяє залучати до розробки промислових виробів людей, що не мають спеціальної технічної освіти. До складу сі-

мейства входять Autodesk Sketchbook Designer, Autodesk Alias Design, Autodesk Alias Design for Inventor, Autodesk Alias Surface і Autodesk Alias Automotive, що дозволяє споживачеві вибрати продукт із необхідним для нього функціоналом.

### **Питання для самоперевірки**

1. Яка основна мета використання систем САПР?
2. Як класифікуються системи САПР?
3. Коли з'явилися перші автоматизовані системи проектування?
4. Які основні функції САМ-систем?
5. Що таке хмарні САПР і які переваги їхнього використання?
6. Що таке твердотільне моделювання?
7. Яка основна функція САПР?
8. Що розуміють під проектуванням?
9. Які функції виконують системи САЕ?
10. Які функції САПР легкого рівня?
11. До якого рівня відносять САПР CATIA, NX, Creo?
12. Що таке графічний редактор?
13. Що таке векторна графіка та які її переваги й недоліки?
14. Що таке растрова графіка та які її переваги й недоліки?
15. Навіщо потрібна векторизація?
16. Для чого потрібен інструмент Крива Безьє?
17. Що таке сплайн?
18. Розкажіть про використання поверхонь типу NURBS.
19. Назвіть спеціалізовані програми 3D-моделювання використовувани у автомобілебудуванні.
20. Що таке візуалізація і для чого вона потрібна?
21. Який процес зворотній векторизації і навіщо він потрібен?
22. Які переваги САПР середнього рівня?
23. Яка головна особливість важких САПР?