

М.М. Колодницький, С.С. Чайковський

**ОГЛЯД ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ
ДЛЯ МАШИНОБУДУВАННЯ**

Частина 2

В 2-й частині статті продовжено систематизований огляд технічної інформації про системи автоматизованого проектування виробів для машинобудівних галузей промисловості (mechanical computer aided design, MCAD-системи).

В першій частині нашого огляду [1] було розглянуто чотири MCAD-системи: CADD5, Euclid, Unigraphics і I-DEAS.

За півроку, що пройшли з моменту публікації, в такій динамічній області, що розвивається, як комп'ютерні інформаційні технології відбувся ряд змін на ринку систем автоматизованого проектування. Найбільш значною подією стало поглинання фірми Computer Vision (CV) корпорацією Parametric Technology (PTC). Новий володар гарантував підтримку протягом 5 років систем CV/CADD5 5-Optegra, що були розглянуті в п. 1 нашого огляду [1].

Фірми EDS-Unigraphics і Intergaraph оголосили про створення підрозділу для просування на ринку своїх спільних продуктів. В склад фірми Dassault (огляд її продуктів див. нижче – п. 7) увійшла Solid Works Corporation.

Продовжимо розгляд провідних MCAD-систем далі в порядку їхнього подання в табл. 1 [1].

5. Система Pro/ENGINEER фірми PTC. Фірма PTC -- Parametric Technology Corporation (США) – в дійсний час є однією з найбільших компаній, що динамічно розвиваються, які розробляють MCAD/CAM/CAE системи “високого рівня”. Утворена в травні 1985 року, сьогодні PTC має більше 2 300 чоловік, які працюють в 150 офісах, розташованих в 32 країнах світу. В 1996 році було інстальовано 23 000 нових робочих місць (21 % об'єму продаж та перше місце серед виробників систем для машинобудування на світовому ринку), а загальна кількість користувачів досягла 71 000. Серед компаній, що придбали систему Pro/ENGINEER, – такі відомі компанії, як Ferrari, NEC Corp., Seiko Epson, Lockheed Martin, McDonnell Douglas, Volvo Truck, Rockwell International, Volkswagen AG. Починаючи з 1988 року, компанія щорічно випускає дві нові версії Pro/ENGINEER. Наприклад, 18-а версія має більше 100 відмінностей від попередньої та декілька нових модулів. Компанія пояснює свій успіх тим, що їй вдалося надати користувачам дійсно єдине середовище проектування при оптимальному співвідношенні “ціна / якість”. Потенційного користувача CAD/CAM системи “високого рівня”, безумовно, хвилює питання, чи оправдаються його інвестиції – адже ціна одного робочого місця складає 30 000 дол. і більше. Крім сучасних інтелектуальних та “швидких” технологій проектування, що забезпечують наскрізне параметричне моделювання, користувач, передусім, намагається отримати рішення конкретних прикладних задач підприємства: виготовлення прес-форм, оснастки для литва тощо. Система Pro/ENGINEER має модульну структуру, ядром якої є базовий модуль Pro/ENGINEER, до якого підключаються всі інші модулі, які охоплюють весь спектр конструкторсько-технологічних розробок.

Наведемо характерні риси та унікальні якості системи Pro/ENGINEER

Простота користування. Pro/ENGINEER спроектовано таким чином, що він використовується конструктором з самого початку роботи над виробом – з моменту визначення об'єктів та характеристик конструкції. Каскадне меню забезпечує логічний вибір та установку більшості опцій. В будь-який момент є доступною повна допомога по функції, що виконується, а також коротка підказка в нижньому рядку. Це робить систему простою у використанні навіть для невідготовлених конструкторів. Досвідчені користувачі за допомогою “макроклавіш” (для виконання послідовностей команд, що часто використовуються) і створених ними користувацьких меню значно збільшують продуктивність своєї роботи. Можливість виконувати ескізу геометрію безпосередньо на твердотільній моделі дозволяє легко та просто поміщати об'єкти (“features-фічерси”) в конструкцію моделі.

Повна асоціативність. Pro/ENGINEER ґрунтується на єдиній структурі даних з можливістю робити зміни в будь-якому модулі системи. Таким чином, зміни, внесені в якийсь момент розробки, автоматично переносяться на всі реалізовані етапи конструкторсько-технологічного процесу, забезпечуючи узгодженість інженерних розробок. Інструмент для

роботи з параметричною базою даних дозволяє успішно керувати цими синхронними процесами та проводити будь-які варіанти контролю.

Параметричне, об'єктно-орієнтоване проектування. Моделювання в Pro/ENGINEER ґрунтується на "фічерсах", таких як фаски, ребра, заокруглення, оболонки тощо; це дозволяє створювати геометрію будь-якого рівня складності. Поруч з інформацією про їх місцезнаходження та зв'язки з іншими об'єктами "фічерси" містять не геометричну інформацію, наприклад, про процес виготовлення деталі та пов'язані з ним витрати. Для розміщення "фічерсів" немає необхідності в координатній системі, оскільки вони напряму пов'язуються з уже існуючою геометрією. Внаслідок цього, всі зміни відбуваються швидко та просто і відповідають оригінальному конструкторському задуму.

Можливості зборки. Зборка компонентів (як деталей, так і підвузлів) в Pro/ENGINEER відбувається за допомогою таких операцій, як "приклеїти", "вставити", "орієнтувати". Можна швидко створювати зборки будь-якої складності. Причому компоненти "пам'ятають", як вони були зібрані, а при змінах в геометрії чи в місцезнаходженні деталі відповідним чином змінюється решта характеристик. Деталь можна проєктувати безпосередньо в збірці, визначаючи її геометрію індивідуально чи відносно геометрії існуючих деталей; при модифікації параметрів останніх автоматично поновлюються геометрія і місцезнаходження деталі.

Якість. Твердотільне моделювання в Pro/ENGINEER використовує безгранну (nonfaceted) технологію подвійної точності, що забезпечує високу точність представлення геометрії, масоінформаційних характеристик та перевірки всіх можливих зазорів та перетинів.

Незалежність від платформи. Pro/ENGINEER функціонує на всіх платформах, що працюють під керівництвом UNIX чи Windows NT. Причому інтерфейс користувача не залежить від операційної системи, тому користувачі можуть вибирати найбільш економічну конфігурацію для своїх потреб і поєднувати різні конфігурації платформ. Pro/ENGINEER гарантує легкість обміну інформацією між платформами з будь-якою архітектурою.

На початку 1996 року сімейство продуктів PTC поповнив програмний комплекс Pro/MECHANICA, призначений для скінченно-елементного аналізу машин і конструкцій на етапі проектування. Це один з новітніх програмних комплексів, в який закладені сучасні досягнення в області математичного моделювання та аналізу. В Pro/MECHANICA використовується Р-сітка скінченних елементів, що дозволяє збільшити ступінь достовірності геометричної моделі, результатів аналізу та зменшити час розрахунків. Pro/MECHANICA, як і Pro/ENGINEER, має модульну структуру, що надає користувачеві можливість конфігурувати систему за власним бажанням в залежності від задач, що вирішуються. Pro/MECHANICA забезпечує користувача сучасним інструментом для різних видів аналізу (статика, динаміка, кінематика, теплопередача, оптимізація).

Заповнити нішу CAD/CAM-систем "середнього рівня" покликана також серія продуктів під загальною назвою PT/Products, що вийшла наприкінці 1996 року. Вперше користувачу персональних комп'ютерів можуть випробувати якісно нову технологію проектування, яка реально використовує наскрізну параметризацію і забезпечує вихід на ЧПУ-верстати. Сімейство програм PT/Products відрізняється дійсно низькими цінами для продуктів такого класу. PT/Modeler, CAD-ядро пакету, постачається за ціною 6 200 дол., розширений CAD/CAM-пакет — за ціною 9 400 дол., повний пакет PT/Products Design & Manufacturing Package — 13 700 дол. і дозволяє, при необхідності, плавно нарощувати його функціональності, переходячи до систем "високого" рівня CAD/CAM/CAE/PDM фірми PTC.

На території СНГ, в тому числі на Україні, продукти PTC пропонує фірма INTERSED.

6. Система I/EMS — продукт високого рівня, що належить одному з найстаріших виробників засобів автоматизації проектування — фірмі Intergraph (США), яка на території СНГ більше відома як постачальник технічних засобів: графічних акселераторів, відеомоніторів, пристроїв виведення креслень. В США Intergraph надала тисячі робочих місць на базі системи I/EMS, в основному у військово-промисловому комплексі. У зв'язку з відомими обмеженнями такі комплекси в країні СНГ не постачались, тому ми не маємо майже ніяких даних про цей продукт фірми. Інший продукт, який відноситься до сімейства середнього рівня, — MicroStation, поширюється з 1995 року фірмою Bentley. Замість цього в 1996 році фірма Intergraph випустила систему такого ж класу під назвою Solid Edge, побудовану на ядрі геометричного моделювання ACIS. В цьому році оголошено про переробку системи на базі другого геометричного ядра — Parasolid, яке належить відомій фірмі EDS-Unigraphics (див. п.3 [1]). Створено також спеціальний підрозділ двох фірм для сумісної розробки та просування на ринку нової версії системи Solid Edge, яка є достатньо популярною в США, але у нас поки що відома лише з публікацій і ніякими фірмами на ринку не представлена.

7. Система САТІА – Computer Aided Tree-dimensional Interactive Application розроблена французькою фірмою Dassault Systemes і розповсюджується сумісно з компанією ІВМ (США), в тому числі представництвом ІВМ в Україні.

У всьому світі встановлено більше 70 тис. ліцензій системи САТІА. Її користувачами є найкрупніші автомобільні корпорації, виробники електронної апаратури та інші споживачі комп'ютерної техніки фірми ІВМ. САТІА функціонує на робочих станціях, наприклад, ІВМ RS-6000 під керуванням ОС АІХ, та на графічних терміналах мейнфреймів типу ІВМ ES-9000 в операційній системі VM/ESA (обидва варіанти реалізовано на СІМ-центрі КІП).

Відмінною рисою проектування в системі САТІА є поняття електронного цифрового макета виробу (DMU, Digital Mock-Up), який пропонує упорядковану логічну схему: історію побудови, геометрію механічні зв'язки, властивості, посилання (на стандарти, правила, технічні умови), обґрунтування (доведення) тощо. Причому властивості повинні бути чітко систематизованими на адміністративні, фізичні, технологічні, функціональні і т. п., оскільки вони представляють собою характеристики проекту, які можуть бути задокументовані, та повинні брати участь у системах управління підприємством. Саме вони стають основою розрахунків відомостей постачань, плану-графіків роботи ділянок виробництва та інших елементів управління. В САТІА мовою електронного цифрового макета забезпечується інструментарій для паралельного безкреслярського конструкторсько-технологічного виробничого циклу. Для цього в систему включені модулі, які підтримують відповідні функції:

- адміністрування, тобто планування, управління ресурсами, інспектування, сертифікація, максимальне розпаралелення робіт та документування проекту;
- моделювання з можливістю відтворити історію побудови об'єктів;
- опис механічних зв'язків між компонентами виробу та приведення їх до стану механічної взаємодії і відповідного просторового взаємопозитивування (такий опис є придатним для безпосереднього планування та розробки збірних операцій);
- автоматичний множинний аналіз геометричних конфліктів, який дозволяє контролювати зазори, контакти та взаємоперетини об'єктів незалежно від їх кількості та складності;
- напівавтоматичний аналіз властивостей монтажу /демонтажу об'єктів, який надає можливість документально довести проблему зборки виробу;
- розрахунки тривимірних допусків і посадок та аналіз можливості зборки за цими ознаками;
- швидкий та точний перевірючий розрахунок методом скінченних елементів з оптимізацією геометрії деталі за рівнями рівномірності;
- аналіз відповідності проекту діючим на підприємстві законам та правилам, які можуть бути сформульованими за схемою "якщо ..., то ...";
- програмний інструмент трасування систем комунікації (електроджгутів та трубопроводів) з виконанням заданих обмежень та логічних правил;
- асоціативність між геометрією деталі та її застосуваннями: програмою для верстата з ЧПУ, скінченно-елементною розрахунковою моделлю, графічним документом та іншими компонентами електронно-цифрового макета;
- можливість внесення змін та доповнень з мінімальними затратами в проект;
- можливість стандартизувати на рівні підприємства практично будь-який успішний результат роботи: чи то конструктивний елемент, чи технологія, чи форма документа, чи методологія, що дає суттєву економію працезатрат та машинних ресурсів;
- можливість інтеграції з багатьма іншими прикладними пакетами;
- відкритість та доступність для розробки чи інтеграції з більш ранніми версіями власних програм.

Починаючи з 1996 року основною тенденцією розвитку технологічної підсистеми САТІА є підвищення ступеня автоматизації підготовки виробництва найбільш складних, трудомістких та, відповідно, високотаргетних виробів машинобудування – штампової оснастки та прес-форм. В результаті створено два нових функціональних модулі:

- помічник (wizard – чарівник) при виготовленні деталей призматичної форми;
- помічник при виготовленні штамів та прес-форм.

Ці модулі, при використанні разом з генератором постпроцесорів та адаптивною базою обладнання, представляють можливість оптимального розподілу завдань на підготовку виробництва та виготовлення виробів. Система САТІА є єдиною високорівневою системою, що має на сьогодні такі різносторонні можливості в галузі машинобудівного виробництва.

8. Відома компанія виробник електроніки Hewlett-Packard (HP) також надала близько 70 000 робочих місць САПР під торговою маркою HP PE (Precision Engineering) на базі своїх

робочих станцій. Система складається з трьох основних частин: PE/Solid Designer – для тривимірного твердотілого моделювання; PE/Work Manager – управління розробкою проекту і PE/ME10 – для оформлення двовимірних креслень. Останній модуль може працювати також і під Windows на IBM PC-сумісних комп'ютерах, хоча і зберіг свій Motif-Unix-інтерфейс. Характерно, що вся власна продукція фірми HP в класі електромеханічних приладів: графопобудувачі, сканери, принтери є спроектованою за допомогою продуктів HP PE. Тому не дивно, що основними користувачами системи є виробники побутової техніки, такі як Bosch, Toshiba, Pioneer та інші. Розробкою CAD/CAM в корпорації Hewlett-Packard займалося відділення Mechanical Design Division (MDD), яке в 1996 році було реорганізоване в фірму Co Create. На жаль, в літературі відсутні дані про сучасний стан MCAD-продуктів цієї фірми, а ми володіємо лише демонстраційним роликком, а також Student Basket Licence – безкоштовною “студентською” версією PE/ME10 1996 року. Нам також невідомо, щоб партнери HP пропонували на українському ринку лінію MCAD-продуктів.

9. Останній рядок в таблиці провідних виробників інтегрованих систем займає фірма Autodesk [1], відома як виробник самого масового продукту для автоматизації проектування – графічного редактора AutoCAD (3 млн. легальних користувачів, більше 500 000 проданих ліцензій, п'яте місце в світі за об'ємом продаж програмного забезпечення для персональних комп'ютерів), який традиційно відносився до продуктів легкого класу. Зараз цю ринкову нішу повинен заповнювати полегшений (light, LT) продукт фірми – AutoCAD LT'97 за ціною менше 600\$. Самий останній новий програмний продукт – Autodesk Mechanical Desktop (AMD R2), що випустила фірма, належить до класу систем середнього рівня і коштує близько 6000\$. Весь інструментарій для тривимірного твердотілого параметричного моделювання, розробки збірних одиниць та моделювання поверхонь, створення геометричних образів і можливості роботи в робочих групах є інтегрованим в пакет AMD. Він поєднує нові версії декількох програмних продуктів компанії Autodesk з удосконаленими функціональними можливостями:

- AutoCAD R14 – графічний редактор;
- AutoCAD Designer 2.0 – параметричне моделювання тривимірних твердотілих об'єктів;
- AutoSurf 3.0 – моделювання однорідних та неоднорідних поверхонь;
- Assembler – засіб створення збірних одиниць;
- AutoCAD IGES – транслятор обміну файлами графічних даних з іншими системами САПР;
- новий програмний інтерфейс MCAD API – дозволяє адаптувати AMD під конкретні задачі користувача.

Інша особливість AMD – його робота в середовищі Microsoft Windows. Інтуїтивний інтерфейс користувача, плаваючі вікна, діалогові панелі, вбудований опис – все це дозволяє швидко оволодіти можливостями продукту. Ідеологія роботи в AMD базується на використанні параметричних об'єктів, що з'явилися вперше в AutoCAD Designer. Основу такого об'єкта складає ескіз, виконаний засобами AutoCAD, тобто вид виробу, що найбільш повно відображає майбутню конструкцію. В подальшому AMD відкоригує цей ескіз. Конструктору залишається лише внести додаткові логічні зв'язки між окремими елементами ескізу чи змінити ті, які система внесла сама, а також проставити необхідні розміри чи залежності. Зміна будь-якого розміру приводить до модифікації всієї конструкції, а не окремого елемента, як було в AutoCAD. Після того, як ескіз намальовано, можна приступати до розробки твердотілої моделі. “Тіло” утворюється або вдавненням ескізу, або обертанням, або його переміщенням вздовж заданої кривої.

При побудові моделі конструктор використовує діалогове вікно, яке підказує, до чого приведе вибір того чи іншого параметру. AMD пропонує простий механізм отримання окремих видів, розрізів перетинів готової твердотілої моделі, відмінною рисою якого є наявність асоціативних зв'язків між кресленням та самою моделлю. Принципово новою можливістю AMD є забезпечення взаємодії твердих тіл з поверхнями, які були отримані в AutoSurf, котрі підтримує можливості створення базових, квадратичних поверхонь та поверхонь довільної форми, в тому числі і по технології NURBS, екстраполяцію офсетних поверхонь, округлення просторових кутів та плавне спряження до чотирьох довільних поверхонь, а також розрахунок площі поверхні та об'єму.

Наступний етап – формування збірних конструкцій на основі окремих деталей. Конструктор встановлює логічні зв'язки між окремими компонентами зборки, зменшуючи кожного разу ступінь свободи деталі за допомогою різних варіантів геометричних зв'язків. Після того, як всі деталі встановлені на свої місця, конструктор отримує збірне креслення.

всього вузла в різних проекціях з необхідними розрізами та перетинами. Додатково можна створити специфікації на цей збірний вузол з автоматичним включенням всіх деталей зборки та їх кількістю. Робочі креслення можуть бути отримані в строгій відповідності з міжнародними промисловими стандартами ЕСКД, ANSI, ISO, DIN, JIS.

В рамках програми Mechanical Applications Initiative (MAI) компанія налагодила надійні зв'язки з багатьма партнерами, що розробляють додаткові застосування до AutoCAD для машинобудування. На сьогодні прикладною програмою для AutoCAD та Mechanical Desktop в області машинобудування, що найбільш широко використовується, є Genius, який випускався одноіменною німецькою фірмою, поки та не була придбана компанією Autodesk у травні 1998 року. Використання Genius є найбільш ефективним для розробки збірних та деталювальних креслень, а також для супутньої конструкторської документації. Аналогічні можливості має і інша відома надбудова над AutoCAD для машинобудівного проектування — система CADMECH Мінського НПП "ИНТЕРМЕХ" — авторизованого розробника та офіційного дилера фірми Autodesk.

В області аналізу конструкції на міцність в рамках MAI партнерами Autodesk стали фірми ANSYS та MacNeal-Shendler. Користувачу пропонуються на вибір інтегровані в середовище AutoCAD та Autodesk Mechanical Desktop пакети ANSYS/AutoFEA-3D чи MNS/NASTRAN (за назвою In/Check), які дозволяють конструктору в інтерактивному режимі оцінити міцність, жорсткість, форми, власні коливання та частоти при будь-якій модифікації початкової конструкції.

Всі названі продукти на ринку України пропонує партнер компанії Autodesk — фірма АРКАДА та її регіональні ділери.

Слід нагадати, що майже всі важкі системи мають в середньому класі своїх "побратимів" — полегшені за своїми функціональними можливостями та ціною (від 2 до 10 тис. дол. за одне робоче місце). До цього виду систем, крім згаданих вже, можна віднести UG/Creator (EDS-Unigraphics) і I-DEAS Artisan-Series (SDRC), що нещодавно з'явилися.

Як видно на прикладі компанії Autodesk, функціональна інтегрованість систем середнього рівня досягається за рахунок включення програмних продуктів розроблених, а часто і таких, що постачаються, іншими фірмами. При цьому узгодженість забезпечується на рівні передачі даних між програмами, а єдина електронна модель об'єкта на всіх стадіях проектування, як правило, відсутня.

На такий же ступінь інтегрування претендують ще деякі системи середнього класу: вже згадана MicroStation фірми Bentley (США), CADDy фірми Ziegler (Німеччина), CIMATRON (Ізраїль), нова, швидко прогресуюча розробка Solid Works одноіменної фірми, яка, правда, встигнула змінити вже двох володарів. Далі ми розглянемо основні характеристики деяких з них більш докладно.

MicroStation — торгова марка комплексу програмних продуктів, що до 1995 року розповсюджувались згаданою вище фірмою Intergraph, хоча розроблялися іншою фірмою — Bentley Systems, Inc., заснованої в 1984 році в Філадельфії братами Бенслі. В цей період в США широко використовувалася система інтерактивного графічного проектування (IGDS) фірми Intergraph на комп'ютерах DEC PDR-11. Задача полягала в створенні аналогічної системи на звичайних, в той час менш потужних, ніж сьогодні, IBM-сумісних комп'ютерах. Результат перевершив все очікування — вже друга версія програми була функціонально повною IGDS-системою на міні-комп'ютерах.

На сьогодні вже існує версія програми MicroStation 98, яка працює на всіх популярних платформах — Intel PC, Apple Power Mac, IBM Power PC, Sparc Station, RS/6000, DEC Alpha, HP-9000, Intergraph Clipper, Indigo SGI для операційних систем DOS, Windows, Windows NT, UNIX, OS/2 Warp. Завдяки єдиним форматам основних типів файлів (проектів, ресурсів, шрифтів і т.п.) для вищенаведених платформ проектувальники, працюючі спільно над різноманітними частинами одного проекту, не залежать від типу технічних засобів та операційних систем, що застосовуються кожними з них. Вбудована мережева підтримка дозволяє використати мережі, що об'єднують машини різноманітних типів. Нова розробка MicroStation/J реалізує мультиплатформність і розподілений доступ до даних на основі JAVA-технології.

В MicroStation реалізовано прямий інтерфейс не тільки з такими СУБД, як dBase, FoxBASE, Oracle, але і (через драйвери ODBC) з MS Access, MS SQL Server, Informix, що дозволяє зв'язувати графічні елементи з записами бази даних і організувати безпосередньо від MicroStation доступ до інформації за допомогою SQL-запитів. Зв'язана з елементами структурована неграфічна інформація може зберігатися не тільки в зовнішніх базах даних,

але і безпосередньо в графічному файлі MicroStation, причому є всі необхідні засоби її пошуку, перегляду, редагування і генерації звітів.

На базі MicroStation створено величезний набір програмних прикладних систем для всіляких областей проектування. Назвемо лише основні з них, що застосовуються в машинобудуванні.

MicroStation Modeler – система тривимірного моделювання (feature-based solid modeling), є також основою *MechanicalSpace* (див. нижче). Вона ґрунтується на технології ACIS фірми Spatial Technology, поєднуючи в собі потужність і ефективність твердотільної геометрії (constructive solids geometry, CSG) і простоту “граничного подання” (boundary representation, BREP). Система надає двосторонню асоціативність між моделлю і кресленням, можливість напівавтоматичного розміщення проєкцій і січень, що робить процес випуску і підготовки документації простим і ефективним. При виведенні креслення на плотер забезпечується можливість попереднього їх перегляду, додаткової настройки в процесі виведення без внесення змін в файл креслення: наприклад, визначення послідовності креслення, зміна кольору, товщини і стилю ліній. Можна навіть підключати власні програми на мові Basic-Mst в процесі обробки креслення при виведенні. Остання версія MicroStation дозволяє не тільки створювати (експортувати), імпортувати і переглядати растрові файли всіх графічних форматів (PCX, GIF, TIFF, JPEG, BMP і багатьох інших), але і редагувати їх, а також організувати ефективну спільну роботу растрової та векторної графіки. Ви можете також приєднувати растрові файли нарівні з файлами креслень, робити їх «напівпрозорими», визначати порядок прорисовки (створюючи багатошарову картинку з растровою та векторною графікою), переміщати, масштабувати, обертати і деформувати растрові образи, – система сама виконає необхідні перетворення. Додаткова програма *MicroStation Descartes* забезпечує роботу з дуже великими за об’ємом растровими файлами (наприклад, наборами карт або фотознімків) і інструментами для векторизації растрових файлів (наприклад, відсканованих старих креслень). Растрова графіка може бути виведена на плотер або принтер разом з векторною.

Система *MicroStation MasterPiece*. Повноцінна система візуалізації базується на найсучаснішій технології моделювання світлових потоків (трасування променів і розрахунку розсіяного освітлення), написана засобами програмування, що надаються MicroStation, і виконується в середовищі MicroStation на будь-якій з платформ. Вбудований редактор матеріалів дає можливість визначати ті матеріали, з яких виготовлені різноманітні елементи, і накладати фактури як із існуючої бібліотеки, так і з новоствореної. Промисловий дизайнер може продемонструвати виріб у всій красі, включаючи блиск хромованих деталей і розбитого скла. Використовуючи різноманітне освітлення, від різноманітного роду світильників до сонячного світла, яке залежить від часу доби, пори року і розташування об’єкта, що освітлюється в будь-якій точці на поверхні землі, засоби візуалізації та анімації програми дозволяють побачити проєкт ще задовго до того, як він буде втілений в життя. Фотореалістичне відображення тривимірних моделей (аж до стереозображення) виконується за алгоритмами швидкого зафарбовування Гуро і Фонга. В програмі є надзвичайно ефективний програмний графічний прискорювач QuickVision, який дозволяє оперувати зафарбованою моделлю в режимі реального часу з усуненням ефекту східчастості границь (antialiasing). Підтримується також стандарт OpenGL (під Windows NT і SGI IRIX), що дає можливість ефективно використати апаратні графічні прискорювачі.

Система *COSMOS/M* компанії Structural Research & Analysis Corporation призначена для розрахунків міцності, теплопередачі та стійкості на основі методу скінченних елементів і є повністю інтегрованою з MicroStation і MicroStation Modeler. Розрахункова модель (властивості матеріалів, навантаження, розрахункова сітка і т.д.) створюється напівавтоматично прямо в середовищі MicroStation Modeler і є асоційованою з геометричною моделлю. Результати аналізу представляються у вигляді графіків, діаграм; можна накласти карту розподілу параметру прямо на модель, створити мультиплікацію деформації деталі і т.д.. Особливість цієї системи полягає в наявності блоку швидкого розрахунку (Fast Finite Element, FFE), що дозволяє різко скоротити час розрахунку і сумістити етапи проектування і оптимізації моделі без значного збільшення робочого часу. Можливо також використання розрахункових систем ANSYS і NASTRAN, а також системи ADAMS для аналізу кінематики механізмів.

Система *MechanicalSpace* включає в себе спеціалізовані програми для верстатів з ЧПУ CamBOX фірми J&P Software GmbH, FlexiCon Topcut фірми FlexiCon GmbH, Esprit/MS і PowerFold фірми D.P. Technology та багато інших.

Система *MicroStation Teammate* – потужна інтегрована з *MicroStation* система управління технічною документацією і документообігом, розроблена фірмою *Opti Inter-Consult*, Фінляндія. Система забезпечує роботу з файлами креслень, бібліотек графічних фрагментів, текстових документів, баз даних і електронних таблиць, а також зберігання і пошук документації по великих проектах, контроль доступу до документів, управління правами доступу, контроль версій, ревізій і послідовності етапів робіт.

Продукти *Bentley Systems* в Росії пропонує, наприклад, *CAD House*. Навчально-дослідний центр при каф. САІР МГТУ ім. Баумана має статус *Synergy*-партнера, веде навчання користувачів і власні розробки, в тому числі на замовлення *Bentley Systems*.

CADdy++ Машинобудування – набір спеціалізованих прикладних програм системи *CADdy*, розробником якої є німецька фірма *ZIEGLER-Informatics GmbH*.

Система автоматизованого проектування *CADdy++* базується на ідеї об'єктно-орієнтованого параметричного твердотільного моделювання. Вона надає всі необхідні процедури моделювання об'ємних конструкцій. Наприклад, конструктору надається можливість не тільки одночасно використовувати розфарбовування і лінійну графіку, але і проводити різноманітні маніпуляції з розфарбованою моделлю в режимі реального часу. В розпорядженні проектувальника знаходяться засоби встановлення специфічних для кожного матеріалу коефіцієнтів прозорості, відбивання і т. д. Функції вибору освітленості дозволяють задати декілька джерел світла різних типів. Оскільки за графічний інтерфейс було вибрано *Open GL*, швидкість роботи навіть у випадку складних тривимірних моделей гарантована. При цьому користувач одержує всі переваги, що пропонуються ОС *Windows NT*: від управління багатозадачними процесами до забезпечення ефективної спільної роботи декількох груп конструкторів над одним й тим же проектом. Водночас, завдяки сучасній технології, в програмі оптимально підтримується створення двовимірних креслень, оскільки вони продовжують грати важливу роль в повсякденній роботі конструктора. Ця підтримка включає в себе як автоматизоване створення креслень з тривимірних моделей, так і численні функції двовимірного креслення (створення, модифікація і вилучення графічних примітивів, простановка розмірів, робота з текстовою інформацією та інше).

В основу *CADdy++* лягло *ACIS*-ядро (що вже стало стандартом на ринку *3D-CAD*-систем) в поєднанні з *feature*-технологією проектування. Саме завдяки цій технології вся необхідна інформація для конструювання, виготовлення і контролю якості об'єднується в єдиній виробничій моделі.

В *CADdy++* є п'ять різноманітних типів *features* (фічерсів – конструктивних елементів):

- геометричні;
- семантичні;
- атрибутивні;
- геометрично зв'язані;
- так звані "атомарні".

Під геометричними фічерсами в *CADdy++* розуміються геометричні об'єкти, що визначаються (примітиви креслень, тіла, отримані з контурів, а також отвори, канавки, виступи, зуби, стандартні вироби і нормалі).

Семантичні фічерси є умовами, що дозволяють створювати зв'язки між параметризованою геометрією (наприклад, відстані між елементами, паралельність осей та інші залежності).

Атрибутивні фічерси означають матеріали деталей, властивості поверхні (шорсткість, твердість) і т. п.

До геометрично зв'язаних фічерсів відносяться такі елементи зображення деталі, як фаски, округлення, галтельні переходи тощо.

"Атомарні" фічерси є своєрідними "елементарними ланками" *features*-технології. До них відносяться константи, змінні і формули, що описують елементи проекту. "Атоми" можна також використати для приєднання геометрії з інших програм в моделі, що створена за *features*-технологією.

Особливістю *CADdy++* є активне використання всіх п'яти типів *features*. Це дасть можливість конструктору включити в комп'ютерну модель виробу дані не тільки про геометрію, але і додаткову інформацію про матеріали, що були використані, дані про обробку поверхонь, засоби виготовлення і зборки. Використання *Features*-технології дозволяє системі сформулювати ієрархічне "дерево зборки", що значно полегшує конструктору орієнтацію у взаємозв'язках складної параметричної моделі виробу.

CADdy++ пропонує наступні додаткові можливості:

- об'єктно-орієнтоване управління виробами та створення специфікацій;
- використання інтегрованих, параметризованих бібліотек стандартних виробів (нормалей) для 2D/3D-конструювання;
- функції монтажу за допомогою осей (при цьому можна використати як існуючі "природні" осі тіл, так і осі, довільно задані користувачем);
- параметризація: CADdy++ дасть можливість створення повністю параметричних, частково параметричних або непараметричних креслень.

Однією з відмінних рис нової генерації CAD-систем є їх повна 2D/3D-інтеграція. Система CADdy++ повністю відповідає такому підходу. Об'ємна твердотільна модель може бути створена в ній або безпосередньо з об'ємних примітивів з використанням явних і неявних булевих операцій (об'єднання, віднімання, перетин тіл), або на основі двовимірних проєкцій деталей. Використовуючи тривимірну модель, можна отримати довільне число виглядів і розрізів. Будь-яка зміна моделі негайно і автоматично відслідковується в усіх пов'язаних з нею кресленнях. Цікавою особливістю CADdy++ є надання користувачу можливості встановлювати ступінь зв'язку двовимірного креслення за об'ємною моделлю. Наприклад, якщо на кресленні валу буде перетин виточки і немає необхідності показувати це в моделі, то легко зробити відповідні настанови.

Підсистема CADdy++, що входить в "класичну версію" системи CADdy, допомагає конструктору не тільки швидко і якісно розробляти складні проекти, але і проводити весь комплекс необхідних техніко-економічних розрахунків, а також виконувати технологічну підготовку виробництва. При цьому проєктувальник одержує першокласну документацію, що задовольняє всім вимогам ЕСКД, зручну для зберігання і подальшого вдосконалення. Двовимірний графічний редактор CADdy++Light пропонується за ціною менш 100\$, а навчальним закладам, в тому числі ЖІТІ, – безкоштовно.

Інтереси ZIEGLER-Informatics в Росії активно представляє фірма "ПОЙНТ", яка, зокрема, опублікувала ряд статей з різноманітних застосувань системи CADdy; ці статті ввійшли також у спеціальний випуск журналу "САПР і графіка".

Деякі російські виробники також пропонують інтегровані рішення для підготовки проєктної документації, але для цього треба, як у випадку з КОМПАС фірми АСКОН (Санкт-Петербург), дооснастити їх дорогими західними системами 3D-моделювання та документообігу чи придбати окремо продукти для автоматизації підготовки виробництва, як пропонує фірма Топ-Системи (Москва).

Наступний ціновий діапазон, менше 2000\$ за одне робоче місце, заповнюють численні представники систем нижнього рівня або так звані легкі системи. Оскільки їхня кількість у всьому світі навіть не підлягає точному врахуванню, розглянемо тільки найбільш відомі продукти, розроблені в межах СНД.

СФОРПІ – система формування і редагування графічної інформації, що створена в інституті кібернетики АН України для технічних засобів серії СМ (аналог DEC PDP-11). Вона була в свій час досить популярною на території СРСР. Її переклад на персональні комп'ютери затягнувся настільки, що зараз нам відомий лише один користувач, що продовжує застосовувати цю графічну систему в своїх застосуваннях.

МоноCAD – двовимірний параметричний графічний редактор, що пропонується фірмою МОНОЛОГ (м. Суми). На його базі побудована САПР виробів нафтохімічного машинобудівного об'єднання ім. Фрунзе і декількох інших підприємств України.

Українське відділення спільного підприємства BeePeTron, що знаходиться в м. Черкаси, крім згаданої вже лінії продуктів середнього рівня ізраїльської фірми CIMATRON, пропонує також систему легкого класу ADEM, відому раніше під назвою CherryCAD, що підтримується на сьогодні фірмою Omega Technology (м. Москва). ADEM має розвинуті засоби тривимірного моделювання і повністю інтегровану систему підготовки керуючих програм для 2-, 3-координатного обладнання з ЧПУ. Як засіб скінченно-елементного аналізу пропонується система ІСПА, розроблена ВТУЗом при заводі ім. Лихачова. Названі продукти активно використовуються в навчальному процесі Черкаського інженерно-технологічного інституту, функціонує спеціальний навчальний Центр, де побували і декілька співробітників нашого інституту.

Найбільш динамічно, на наш погляд, розвиває свої продукти фірма Топ-системи (Станкін, м. Москва), графічний редактор якої, що раніше був відомий як TopCAD, із-за збігу назви з іншим західним продуктом аналогічного призначення був перейменований в T-Flex CAD. Висока гнучкість (Top Flexibility) досягається за рахунок унікальної параметричної моделі креслення, що після цього була вдало інтегрована з тривимірним геометричним ядром ACIS,

за ліцензією фірми Spatial Technology (і має на сьогодні вже 4 версії). Топ-системи пропонують також власний продукт для управління інженерним документообігом T-Flex-Docs, програмне забезпечення для проектування технологічних процесів, розроблене на основі СІАП, декілька засобів автоматизації програмування обладнання з ЧПУ. Зрозуміло, що продукти фірми використовуються багатьма кафедрами її Alma-Mater – МІТУ Станкін.

Наприкінці зробимо декілька зауважень про найостанніші тенденції розвитку інтегрованих CAD/CAE/CAM-систем.

На виставці-конференції з автоматизації проектування A/E/C/ SYSTEMS'97 (США) серед таких напрямків розвитку в першу чергу виділяються Internet та Web-технології, а також перехід від реляційних до об'єктних чи об'єктно-реляційних СУБД. Так, наприклад, на стенді фірми Bentley була продемонстрована нова версія MicroStation/J, за допомогою якої інженери одночасно редагували один і той же проект, що зберігався в об'єктно-орієнтованій базі даних на Web-сервері. Розроблені таким чином моделі та креслення затверджувались електронним підписом та зберігались для доступу через Internet для сумісного використання.

Отже, можна сказати, що сучасні CAD/CAE/CAM/PDM-системи неможливі без використання Internet-технології, а подальше отримання нової сучасної інформації доцільно проводити також з використанням цих технологій. У зв'язку з цим автори в дійсний час створюють спеціалізований Web-site на Web-сервері ЖІТІ, який би служив не стільки для розміщення власних матеріалів, скільки для організації посилань на відповідні першоджерела, розміщені на серверах провідних фірм-виробників та в спеціалізованих виданнях. Основними відвідувачами цих сторінок повинні стати студенти, які навчаються по ряду дисциплін, що пов'язані із застосуванням комп'ютерів в машинобудуванні.

Головна сторінка розділу САПР Web-вузла ЖІТІ показана на рис. 1. Вона містить список розділів, що відносяться до теми автоматизації проектування в машинобудуванні, починаючи з короткого огляду для початківців та закінчуючи тематичним показником з даного предмета. Приклади використання САПР представлені відеофільмами та кресленнями в другому розділі сторінки. Для бажаючих заглибитися в тему пропонуються розділи новин та публікацій, які містять посилання на статті у спеціалізованих періодичних виданнях. Перелік провідних фірм-виробників надає доступ до коротких оглядів, переліку продуктів цих фірм, списку дилерів по Україні та СНГ, http-адресам для прямого доступу через Internet тощо.

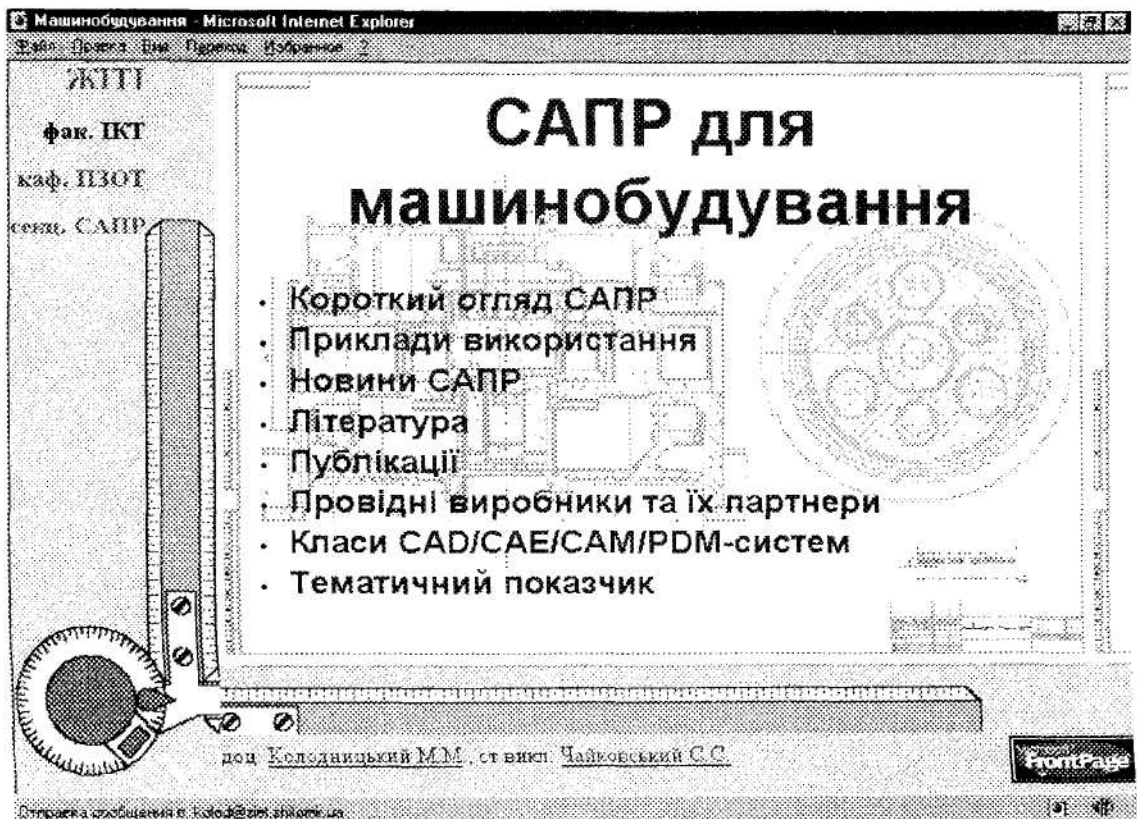


Рис. 1. Головна сторінка розділу САПР Web-вузла ЖІТІ

Застосування такої форми організації матеріалу дозволить упорядкувати використання Internet з навчальною метою, привчить майбутніх спеціалістів до сучасної технології роботи з інформацією. Сторінки по MCAD-системах на Web-вузлі ЖІТІ будуть також сприяти пропаганді передових досягнень в цій області серед потенційних користувачів – машинобудівних підприємств регіону.

Висловлюємо вдячність усім фірмам, що надали свої матеріали для підготовки даного огляду. Гадаємо, що зроблений аналіз інформації буде корисним для користувачів САПР.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Колодницький М.М., Чайковський С.С. Огляд інтегрованих систем автоматизованого проектування для машинобудування. Частина 1 // Вісник ЖІТІ, 1998. – № 7. – С. 219–229.
2. Л.Корельштейн. Mst Master Piece 5.6 // Компьютер Пресс, 1996. – № 12. – С. 29–31.
3. Лафонт С. EUCLID 3 – аксиомы успеха // Компьютер Пресс, 1997. – № 1. – С. 218–221.
4. Благодаров А. Система автоматизации проектирования высокого уровня PRO / Engineer // Компьютер Пресс, 1997. – № 2. – С. 223–231.
5. М.Бочагов. Неизвестная земля MicroStation // Компьютер Пресс, 1997. – № 3. – С. 24–28.
6. Попов Дм. AutoCAD R14: он будет вам полезен // Компьютер Пресс, 1997. – № 4. – С. 220–226.
7. Очередько С. САТІА: Проект изделия на языке электронного цифрового макета // Компьютер Пресс, 1997. – № 5. – С. 225–231.
8. Голиков А.В. Интегрированные решения моделирования подготовки и ведения конструкторской документации // Компьютер Пресс, 1997. – № 5. – С. 231–236.
9. Локтев В., Николаев А., Савушкин В. 2D + 3D = Mechanical Desktop // САПР и графика, 1997. – № 7. – С. 52–54.
10. Волков А., Мотовилов Д. PRO / Engineer: сквозной цикл подготовки производства // САПР и графика, 1997. – № 7. – С. 55–59.
11. Волков А., Благодаров А., Мотовилов Д. Autodesk – технология: эффективное вложение средств // САПР и графика. – 1997. – № 8. – С. 63–66.
12. Локтев В., Лысухин В., Николаев А., Савушкин В. Mechanical Desktop: интеграция 2D и 3D // САПР и графика, 1997. – № 9. – С. 45–53.
13. Хейман А. CADMESH Desktop – инструмент для решения конструкторских задач // САПР и графика, 1997. – № 10. – С. 18–22.

КОЛОДНИЦЬКИЙ Микола Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри ПЗОТ, докторант Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- математичне моделювання технічних систем;
- комп'ютерні інформаційні технології.

ЧАЙКОВСЬКИЙ Сергій Семенович – старший викладач кафедри ПЗОТ Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси :

- комп'ютерна графіка;
- геометричне моделювання;
- САПР в машинобудуванні.