

М.М. Колодницький, С.С. Чайковський

ОГЛЯД ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ДЛЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

В статті представлена в систематизованому вигляді технічна інформація про системи автоматизованого проектування виробів для машинобудівних галузей промисловості (так звані MCAD-системи). Огляд проводиться на основі публікацій періодики, а також матеріалів, зібраних на спеціалізованих виставках, конференціях та семінарах, що проводились за участю передових на сучасному ринку програмних засобів фірм-виробників.

Системи автоматизованого проектування (САПР) утворюють один із значних секторів світового ринку засобів програмно-математичного забезпечення: за оцінками американської консультативної компанії Daratech він складав 2.7 млрд. доларів у 1995 році. Перші такі системи з'явилися більше 30-ти років тому, але лише в 60-х роках були отримані перші практичні результати, у 70-х почалося впровадження САПР в найбільш передових галузях, у 80-х впровадження в промисловості вже стало масовим, і лише в 90-х з'явилися дійсно високопродуктивні та ефективні системи. Сфера застосування САПР тепер не обмежується випуском проектної документації (CAD, computer aided design – застосування комп'ютерів у проектуванні), а охоплює також проведення інженерного аналізу виробу (CAE, computer aided engineering), автоматизацію технологічної підготовки виробництва (CAM, computer aided manufacturing – в основному це розробка програм для обладнання з ЧПУ) та автоматизацію системи документообігу в конструкторсько-технологічних службах підприємства (PDM, production data management).

Розширенню ринку САПР, з одного боку, сприяло нарощення технічних можливостей комп'ютерів по збереженню та обробці інформації, а також поява відносно недорогих (менше 10 000 \$) робочих станцій (WS – workstation) та персональних комп'ютерів (PC – personal computer), що наближаються до них за своїми технічними характеристиками та обчислювальною потужністю.

З іншого боку, з'явилися нові можливості і у програмного забезпечення. Практично всі сучасні системи використовують уніфікований графічний інтерфейс, можливості багатозадачних режимів та обміну даними між програмами. Креслярські засоби (2D-моделювання) є складовою частиною повноцінної тривимірної (3D) системи, що включає твердотільне, поверхневе, а іноді також ще й параметричне моделювання, з використанням якого можуть бути створені та легко розширені бібліотеки типових конструктивних елементів. За допомогою стандартних об'єктно-орієнтованих візуальних систем програмування з використанням бібліотек (DLL в Windows), що динамічно підключаються, розроблено широкий набір прикладних САПР, що застосовуються в різноманітних областях. Для передачі даних між різними системами розроблені та реалізовані модулі обміну через стандартні формати даних (DXF, IGES, STEP). Потужностей сучасних PC тепер достатньо для динамічної напівтонової візуалізації в реальному масштабі часу або для побудови фотореалістичних зображень, що використовуються при перевірці дизайнерських рішень та при підготовці ринку збуту. Ще більші можливості надають в цьому напрямку системи швидкого виготовлення прототипів-макетів (RP, rapid prototyping), що включають спеціальні пристрої для виготовлення об'ємних моделей, і які керуються через уніфікований формат STL.

Приклади етапів розробки виробів в сучасних CAD/CAE/CAM-системах наведені на рис. 1.

Не менш важливою для виробників причиною капіталовкладення в САПР є необхідність зменшення термінів виконання та підвищення якості розробки нових виробів. В умовах конкуренції існує правило: той, хто випускає новий товар на два тижні раніше інших, може захопити до 80 % ринку. Тому, наприклад, в Польщі об'єм продаж засобів автоматизації проектування в 1995-96 роках зріс приблизно в 10 разів; подібна тенденція спостерігається зараз і в Росії. Підприємства України, які розраховують вийти на світовий ринок, також купують подібні системи. Однією з умов купівлі складної технічної продукції зарубіжні партнери часто ставлять наявність проектно-технічної документації в електронному вигляді (кораблі, енергетичні та промислові об'єкти) або перевірку рішень на комп'ютерних моделях (оснащення для литва, об'ємної штамповки і т. п.).

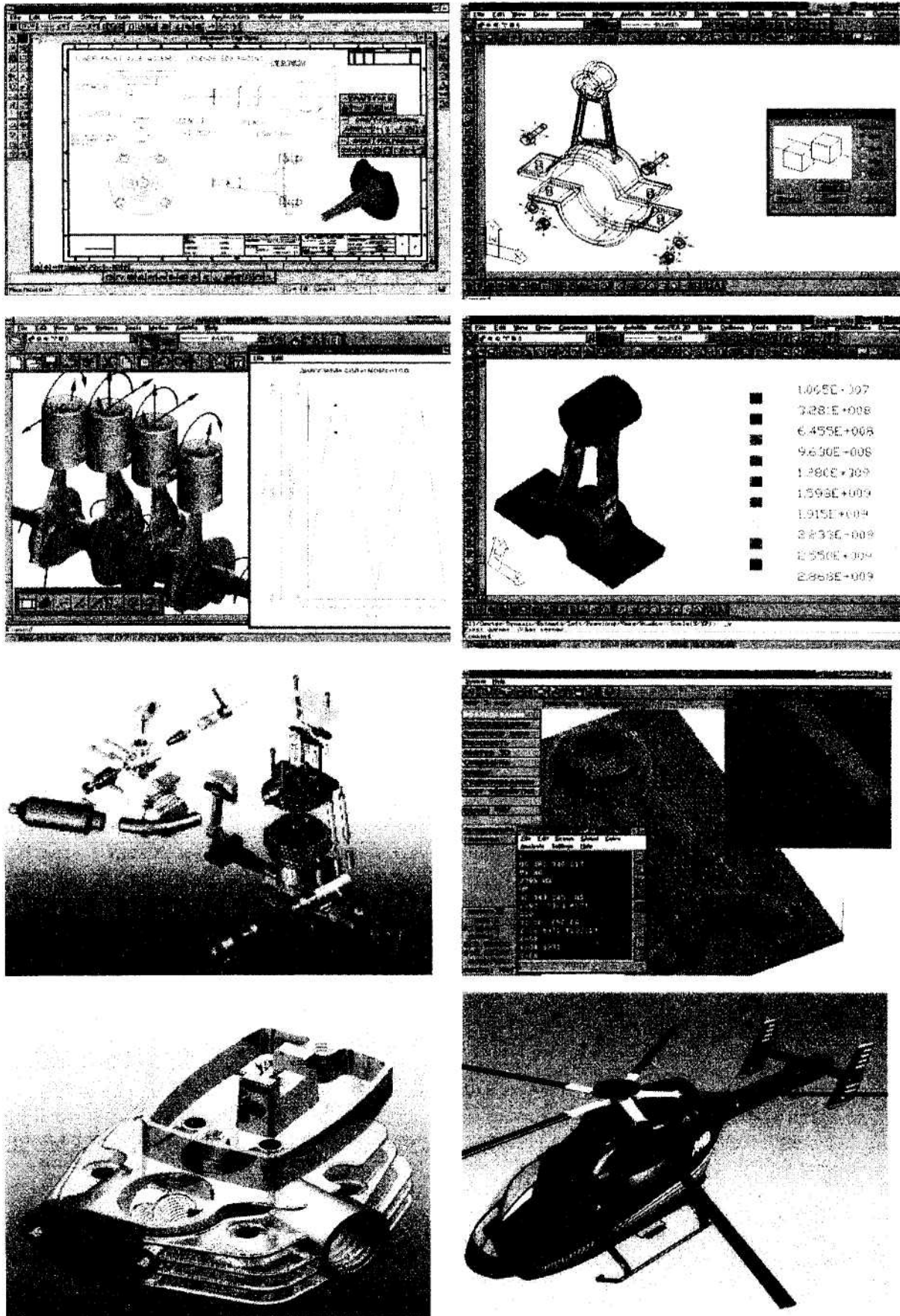


Рис. 1. Приклади кадрів сценарію роботи в CAD/CAE/CAM-системах

Для прийняття рішення про вибір базової системи автоматизації проектування спеціалістам підприємств потрібно оцінити ряд факторів. Це функціональні можливості системи, час на її опанування, вартість придбання технічних та програмних засобів, затрати на впровадження та супровід. Бажано познайомитися з досвідом експлуатації вибраної системи на аналогічному підприємстві. Для проведення таких робіт у підприємства часто немає спеціалістів, що мають необхідну кваліфікацію, недостатньо засобів чи часу.

Метою даного огляду є надання допомоги у вирішенні вказаних проблем. На основі систематизації даних з публікацій у періодиці та фірмових матеріалів, зібраних на спеціалізованих виставках (COMTEK, ComputerExpo, Enter'EX), науково-практичних конференціях та семінарах, в даному огляді представлені системи автоматизованого проектування виробів для машинобудівних галузей промисловості (MCAD/CAE/CAM), які є доступними на сучасному ринку програмних засобів України.

Всі сучасні CAD/CAE/CAM-системи в залежності від задач, що ними вирішуються, можна поділити на дві групи: спеціалізовані та універсальні.

Спеціалізовані програмні комплекси можуть використовуватися як автономно, так і включатися в склад універсальних систем. За функціональними ознаками можна виділити:

- ядро системи геометричного 3D-моделювання відомих виробників (ACIS, Parasolid, Concept Modeller, DISPLAY, SPASE та інші) чи власної розробки;
- системи для моделювання на різних рівнях фізичного представлення об'єктів, що проектуються; вони, наприклад, реалізують метод скінченних елементів (NASTRAN, NISA, ANSYS, COSMOS/M, ЗЕНИТ, ИСПА та інші) або проблемно-орієнтовані системи аналізу (ADAMS, MARC, OPTRIS, MoldFlow, SAMM, Euler);
- системи для підготовки управляючих програм для технологічного обладнання (DUCT, SurfCAM, MasterCAM, ГЕММА та інші).

Універсальні системи служать базою для побудови комплексних CAD/CAE/CAM-систем автоматизації процесів проектування, аналізу та виробництва продукції машинобудування. В залежності від функціональних можливостей, повнота яких напряду відображається на ціні базової системи, розрізняють «легкі» системи низького рівня (як правило – дешевше ніж 2 000 \$), системи «середнього» рівня (від 2 000 до 20 000 \$) та повномасштабні «тяжкі» системи високого рівня (ціна базової поставки більше 20 000 \$, а повний набір модулів на одне робоче місце може обійтися на порядок дорожче: ~200 000 \$). Провідні системи, за даними фірми GartnerGroup, яка проводить дослідження рейтингу MCAD-систем на світовому ринку за методикою CAPE, наведені в табл. 1. За оцінками тієї ж фірми, загальні витрати на розробку інтегрованої системи високого рівня складають понад 1,5 тис. людино-років. Тому не дивно, що цей клас систем представляють на світовому ринку не більше десятка виробників.

Таблиця 1

Провідні виробники інтегрованих MCAD/CAE/CAM-систем

№ п/п	Назва системи	Фірма-виробник	Партнери в Україні	Рейтинг по CAPE
1	CADDS 5	CompuerVision (США)	СИМВОЛ-ИКТ, Технополіс	7.0
2	EUCLID	Matra Datavision (Франція)	Datavision Ukraine	6.5
3	Unigraphics	EDS - Electronic Data Sitems (США)	Центр інформаційних технологій (ІНТ)	6.5
4	I-DEAS	SDRC -Structural Dynamics Research Corp.(США)	Фірма ПАЛІТРА	6.3
5	Pro/ENGINEER	PTC - Parametric Technology Corporation (США)	Фірма INTERSED	6.1
6	I/EMS	Intergraph (США)	-	5.9
7	CATIA	Dassault Systemes (Франція), IBM (США)	Представництво IBM в Україні	5.1
8	PE/Solid Design	HP - Hewlett-Packard (США)	-	4.9
9	AutoCAD	Autodesk (США)	Фірма АРКАДА	4.1

Місце різних систем автоматизації на ринку за оцінками фірми ComputerVision показано на рис. 2.

По горизонталі системи різняться між собою за повнотою моделі виробу, по вертикалі показано ступінь інтеграції проекту – від конкретної задачі, що вирішується одним проектувальником, до повного визначення проекту в рамках розширеного підприємства. В табл. 2 представлені функціональні можливості тих систем з цього списку, які мають на ринку України своїх представників. Розглянемо кожну таку систему більш детально.

Таблиця 2

Інтегровані CAD/CAE/CAM/PDM СИСТЕМИ									
	Computer/visision	Matra/Data/visision	EDS-UG	SDRC	PTC	Dassault/IBM	Autodesk		
Фірма-розробник	CADDS 5	EUCLID-3	UniGraphics(v13)	I-DEAS	Pro/Engineer	CATIA	AutoCAD(R13,14)		
Торгова марка базової САD-системи (версія)	власн. розробки	власн. розробки	Parasolid	власн. розробки	власн. розроб	власн. розробки	ACIS		
Ядро системи геометричного 3D-моделювання	Hybrid Modeler	адаптивне	UG/SolidModeling	Master Modeler	Pro/DESIGNER	параметричне	AutoCAD Designer		
С Твердоплине моделювання (Solid)	NURBS SurfModel	SolidSolver	UG/FreeformMod	Master Surfacing	Pro/SURFACE	в т ч NURBS	AutoSurf		
А Поверхневе моделювання (Surf)	Design-PostDraft	Detal Design/Draft	UG/Drafting	I-DEAS Drafting	Pro/DETAIL	двухнапр. асоцію-ть	AutoCAD R13,14		
Д Векторизація і робота з растровими кресленнями	Multipart Design	MEGAVISION	UG/AssemblyMod	Master Assembly	Pro/Scan-Tools	аналіз збірності.	RasterDesk*		
Моделювання зборки (Assembly)	HARNESSDesign	Photo	UG/Harnes	Master Assembly	Pro/ASSEMBLY	аналіз збірності.	AutoCAD Designer		
Проектування розводки кабелів та трубопроводів	Image Design	MEGAVISION	UG/Photo	Master Assembly	Pro/Cabling/Piping	з трасуванням	AutoPipe*		
Реалістична візуалізація (Photorendering)	Image Design	MEGAVISION	UG/Simulation	Master Assembly	Pro/Photorender		AutoVision		
Реалістична анімація	RP Interface		UG/GRP	Laminate	Pro/ANIMATE		3D Studio MAX		
Швидке прототипування (RP)									
Аналіз кінематики механізмів, статичні розрахунки	SystemsLab	Mechanisms	UG/Mechanisms	Master Assembly	Pro/MECHANICA				
Динамічний аналіз механічних систем	StressLab	MegaVision	UG/GFEM Plus	I-DEAS SDA	Pro/MechMotion		DDM - Dynamic		
С Розрахунок напружено-деформованого стану	StressLab	SolidSolver	UG/GFEM FEA	I-DEAS FEM	Pro/MechStructure		Design Motion*		
А Розрахунок теплового стану	ThermalLab	SolidSolver	UG/GFEM FEA	I-DEAS TMG	Pro/MechThermal		AutoFEA*		
Е Розрахунок течій суцільних середовищ			інтерфейс з ANSYS*				ANSYS*		
Розрахунок акустичних явищ							Flofran*		
							Commet Acoustic*		
Проектування технології та оснащення для виготовлення виробу:									
Механообробка на універсальному обладнанні									
С Програмування обладнання з ЧПУ	CVNC Builder	Manufacturing	UG/Genius	GenerativeMach	Pro/ProcessComp		TechCARD*		
А Моделиювання механообробки, верифікація УП	CVNC 2-5 коорд.	2 - 5 координат	UG/CAM Base	2 - 3 координат.	Pro/Manufacturing	2 - 5 координат.	HiperMill*		
М Виготовлення виробів з листового металу	CVNC Verifer	NCStimul	UG/Unisim	Pro/SheetMetal	Pro/NC-CHECK		HiperView*		
Обробка тиском, глибока витяжка	CVSheet	FoldMaster	UG/Sheet Metal	SheetMetalDesign	Pro/SheetMetal		AutoSheet*		
А Виготовлення виробів з пластмаси	PlasticsLab	StrimStamp	UG/IMF-Flowcheck *	SheetMetalDesign	Pro/DIEFACE		SolidSheet*		
Литво металів	ToolMaker	MoldMaker	MAGMA*	Mold Filling	Pro/MOLDESIGN		Genius Mold*		
Т Виготовлення деталей з композитних матеріалів					Pro/CASTING				
Зварювання металів					Pro/MOLDESIGN				
П Технологія зборки виробів	CVNC Assemblies		UG/Adv As. Model		Pro/WELDING				
Автоматизація документообігу	TotalDataManag				Pro/ProcessAssem				
Управління проектом	Optegra		IMAN PDM	Team Data Manager	Pro/PDM		Work Center		
Р Інтеграція з АСУП, обмін даними з іншими САD-системами	Optegra	Interface	UG/Manager	IGES,STEP,CAD	Pro/PDM		Work Center		
Д Апаратні платформи	WS, PC	WS	WS, PC	WS	WS, PC		IGES,STEP,CAD		
М Операційні системи	UNIX, NT	UNIX	UNIX, NT	UNIX	UNIX, NT		PC		
Інструментальні засоби розробки застосувань	Pelorus	CAS CADE	UG/GRIP/UFUNC	Open Data	Pro/DEVELOP		UNIX, AIX, VM/ESA		
Управління базами даних	Conf Management	Інтерг з SHERPA	IMAN - Oracle	Team Data Manager	Pro/PDM Toolkit		Win 95, NT		
Застосування в інших областях проектування	пром. об'єкти	AEC-пром об'єкти					ARX		
							DataExtension		
							Архитектура, ГІС		

1. Система CADD5 фірми CV (ComputerVision, США). Партнери CV в Україні – фірми СИМВОЛ-ІКТ і Технополіс. Фірма CV пропонує як комплексні рішення по автоматизації всіх етапів життєвого циклу виробу, так і окремі рішення практично в будь-якій галузі промисловості: від аерокосмічної до виробництва товарів народного вжитку. Технологія, що отримала від фірми CV назву повного електронного визначення виробу (Electronic Product Definition – EPD), забезпечує розробку та підтримку електронної інформаційної моделі виробу в рамках так званого розширеного підприємства, яке включає в себе маркетингові дослідження, концептуальне та робоче проектування, технологічну підготовку виробництва, виготовлення, випробування, експлуатацію, ремонт та утилізацію. Впровадження EPD-технології забезпечує застосування комплексу продуктів CADD5-Ortega Personal Design, що складається з 150 різних модулів. Його випуск зробив фірму CV лідером серед виробників забезпечення MCAD/CAE/CAM/PDM.

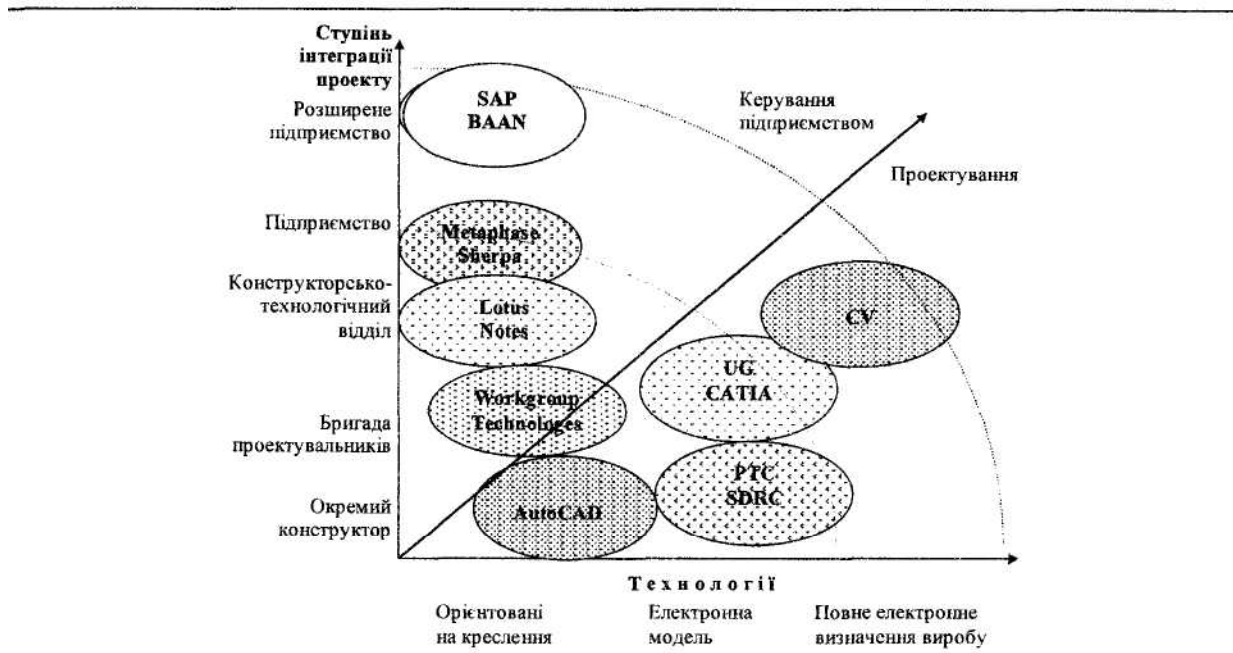


Рис. 2. Ринкові ніші різних систем автоматизації

Основу комплексу складають приблизно 90 продуктів CADD5, які підбираються в залежності від особливостей підприємства та продукції, що ним виробляється. Існує також можливість двостороннього обміну виробничою інформацією з іншими CAD/CAM-системами (наприклад, CATIA, Unigraphics, Pro/Engineer) через прями транслятори чи різноманітні стандартні формати. Підтримується стратегія паралельного інжинірингу (Concurrent Engineering), яка забезпечує одночасне узгоджене виконання різними підрозділами своїх операцій по створенню виробу в рамках єдиної інформаційної моделі.

Геометричне моделювання в CADD5 представлено рядом модулів. Модуль Parametric Design забезпечує створення геометричної моделі виробу з використанням методів каркасного, поверхневого та твердотільного моделювання, включаючи можливості варіаційної геометрії, ескізного креслення, напівтонового розфарбовування зображення. Модуль Solid Detailing забезпечує 3D-моделювання деталі. Для синтезу об'ємної моделі використовуються також комплексні технічні елементи – КТЕ (Features), які вибираються з бібліотеки КТЕ (у форматі STEP або у власному форматі). Модуль Hybrid Modeler забезпечує інтеграцію параметричних і непараметричних методів моделювання. Модуль NURBS Surface Designer забезпечує механізм побудови поверхонь будь-якого рівня складності на основі технології нерегулярних раціональних B-сплайнів. Модуль Parametric Tolerance Modeling призначений для параметричного розмірного аналізу допустимих відхилень розмірів, форми та розташування поверхонь 3-вимірних деталей. В зборках такий аналіз може бути виконано з використанням Parametric Multipart Design – параметричного багатокomпонентного моделювання, що включає в себе врахування обмежувачих умов, врахування кінематики. Генерування реалістичних зображень із завданням фактур, різноманітних ефектів переломлення та відображення світла, джерел освітленості надає модуль Image Design. Крім того, він дозволяє аналізувати кривизну скульптурних поверхонь за методом Гауса.

Робота з крупними зборками (більше 100 000 елементів) в паралельному режимі підтримується модулем SAMU (Concurrent Assembly Mock-Up). Модуль SystemsLab проводить синтез та дослідження кінематичної моделі після зборки. Модуль StressLab для аналізу міцності на базі методу скінченних елементів дозволяє вирішити задачі лінійної статичної та динамічної конструкцій візуально, у вигляді кольорової анімації, оцінити результати. Скінченно-елементні моделі можуть також бути перетворені у формат спеціалізованих програм (NASTRAN, ANSYS, PATRAN, COSMOS та інших). Модуль ThermoLab дозволяє досліджувати теплові поля в конструкціях. Модуль PlasticsLab служить для аналізу заповнення форм і оцінки технології виготовлення деталей методом інжекційного литва. Модуль Design Optimizer реалізує технологію отримання оптимальних властивостей моделі (маси, площі, моментів інерції) за допомогою виконання автоматичного ітераційного процесу при визначених користувачем змінних та умовах. Модуль роботи з креслярською документацією Drafting підтримує всі основні стандарти, включаючи ЄСКД. Є також версія для PC – Personal Design&Drafting.

Програмні продукти для автоматизації технологічної підготовки виробництва – це функціонально інтегроване середовище CVNC, яке підтримує розробку технологій для токарної обробки, свердління, електроерозії, багатокоординатну фрезерну обробку (від 2-х до 5-ти осей). Джерелом інформації для одержання траєкторії інструмента є геометрична модель виробу. Кожний модуль сімейства містить ряд спільних функцій для налагодження, редагування, вибору інструмента, візуалізації обробки – CVNC-Verifier. Існує також універсальний генератор постпроцесорів для різних моделей обладнання – CVNC-Generic Postprocessor. Модуль CVNC-Builder служить для створення бібліотек типових технологічних процесів, а CVNC-Assembly – для моделювання процесу зборки.

Система управління інженерними та проектними даними Optegra є основною складовою частиною технології EPD. За об'ємом продаж в останні два роки вона утримує першість серед систем класу PDM. Optegra є об'єктно-орієнтованим пакетом, що використовує технологію клієнт-сервер для підтримки паралельного колективного режиму роботи різних груп користувачів. Спеціальні модулі дозволяють переглядати, розміщати, зберігати технічну інформацію будь-якого типу, застосовувати методи управління потоком завдань та конфігураціями, виходячи з цілей користувачів. За рахунок відкритості Optegra може бути інтегрована в загальну обчислювальну мережу підприємства. Модуль Total Data Management (TDM) підтримує доступ та управління інженерними документами, навіть такими, які не переведені в електронний вигляд, а лише мають свої дескриптори. Workflow Management (WM) автоматизує управління будь-яким процесом, представленим у вигляді послідовності етапів. Configuration Management (CM) слідкує за всіма змінами в базі даних, надає засоби автоматизованих запитів. Сумісна робота трьох модулів забезпечує реалізацію всіх можливостей управління в рамках підприємства, в той же час кожний з них може бути використаним для вирішення своїх окремих специфічних задач.

2. Система EUCLID – система високого рівня, розроблена відділенням Datavision International французького концерну Matra.

В 1995 році вона посіла перше місце у світі по продажу системи підготовки виробництва серед інтегрованих САПР/АСТПП (10.5 % світового та 21 % європейського ринку). В цілому фірмою Matra Datavision на кінець 1996 року було продано 120 000 ліцензій на 18 500 робочих місць більше 4 700 підприємствам в 50 країнах світу. Систему EUCLID використовують фірми Aerospatiale, Daimler Benz, Bosch, BMW, Siemens, Volkswagen, Fiat, Iveco, Lotus, SAAB, Westinghouse, Bell Helicopters, Intel, Coca-Cola, Honda, Toyota, Seiko, Mitsubishi, Hyundai, LG, Daihatsu.

Розробка системи ведеться з початку 70-х років, коли у Французькому національному центрі наукових досліджень проводилися роботи по проектуванню літака Concorde. В основу модулів автоматизованого проектування розробники заклали математичний апарат, який вперше реалізовував спосіб твердотільного моделювання. Ідеологія системи підготовки виробництва була привнесена з реального виробництва компанії Renault, яка і в дійсний час впливає на технічну політику розвитку програмного забезпечення і є найкрупнішим користувачем системи – 1500 робочих місць.

Особливо потрібно відмітити, що фірма Datavision на два роки раніше найближчих конкурентів (ще в 1994 році) розробила та запропонувала користувачам системи EUCLID-3 об'єктно-орієнтоване середовище для виробництва програмного забезпечення – CAS.CADE, в якому, користуючись всіма базовими можливостями системи і технологією відкритих алгоритмів, можна будувати власні застосування будь-якого ступеня складності. На її основі в дійсний час вже створено нове покоління програмних продуктів. Все це сприяло тому, що Matra Datavision

першою в світі серед постачальників систем CAD/CAM/CAE отримала повний сертифікат на відповідність стандарту ISO 9001, тобто всі цикли виробництва продукції, а також мережа комерційної реалізації та сервісне обслуговування, запропоновані фірмою, задовольняють суворим вимогам якості стандарту. Успіх системи EUCLID пояснюється передусім вибором стратегічно правильної загальної концепції створення та подальшого удосконалення системи.

Система EUCLID зберігає разом із створеним об'єктом історію його побудови, яка містить всі топологічні операції, що виконувалися над ним, та послідовність їх виконання, що дозволяє в повній мірі реалізувати можливості адаптивного моделювання об'єктів. Побудовані тіла можна легко модифікувати, використовуючи як безпосереднє редагування розмірів тіла, так і зміну геометричних параметрів формоутворюючих елементів. Історія проектування об'єкта може бути представлена у вигляді деревовидної структури, окремі гілки якої є ієрархічно структурованими групами елементів. Ця структура легко змінюється простим копіюванням чи переміщенням груп в інше місце. Так само легко відбувається видалення, заміна чи додання об'єктів. Всі маніпуляції над структурою виробу викликають адекватну автоматичну зміну моделі і її окремих видів, оформлених у вигляді креслень.

Інший фундаментальний принцип системи EUCLID – це база паралельно-агрегатного інжинірингу, що включає основні функції технології адаптивного моделювання та управління даними. З самого початку свого створення в EUCLID було закладено ядро – об'єктно-орієнтована база даних. Всі модулі системи зберігають інформацію в стандартному форматі в єдиній базі даних, тому при переході в іншу програму не потрібно передавати побудовану модель в іншу область даних чи перетворювати її формат. Об'єктна орієнтованість бази, асоціативність даних, що зберігаються, гарантують повну адекватність побудованої моделі та креслень – всі перетворення автоматично передаються всім пов'язаним об'єктам, і, таким чином, автоматично вирішується задача “повідомлення про зміни”. Це дає можливість підрозділам фірми-розробника корегувати план-графік роботи над виробом та працювати паралельно, не чекаючи завершення робіт партнерів. При мережній організації роботи об'єкти є доступними з будь-якого вузла мережі з можливістю одночасного їх використання декількома користувачами.

Matra Datavision при створенні системи EUCLID-3 орієнтувалася на комплексне вирішення проблем автоматизованого проектування та підготовки виробництва, в результаті чого отримала сімейство програмних продуктів, що успішно вирішують всі задачі життєвого циклу виробів. Укрупнено ці задачі можна звести до наступних 5 груп:

- проектування та конструювання;
- аналіз та моделювання конструкції;
- випуск проектно-конструкторської документації;
- технологічна підготовка виробництва нового виробу та розробка управляючих програм для верстатів з ЧПУ;
- управління виробом протягом всього циклу його створення.

Задача концептуального проектування в системі EUCLID легко вирішується функціями вільного моделювання геометрії об'єктів з динамічним контролем формоутворюючих кривих. Не викликає ніяких проблем модифікація елементів та їх зборок за допомогою механізмів розмірно- чи геометрично-керованого редагування. Завдяки асоціативним зв'язкам елементів системи при зміні будь-якого розміру відбувається автоматична перебудова зв'язаних об'єктів. Нарешті, вже на самих ранніх стадіях проектування можна отримати зображення виробу за допомогою модуля фотореалістичного зображення. Об'єкту може бути задана текстура з відповідною їй властивістю поверхні до відображення світла та прозорістю матеріалу. Навколо виробу, що створюється, можуть бути розташовані декілька джерел світла різного кольору, направленості та інтенсивності. Доповнює можливості препроєктної візуалізації інтерфейс до стереолітографічного обладнання, яке дозволяє створювати масштабні макети виробів за допомогою затвердіння спеціального полімеру під дією променя лазера.

Система EUCLID має також широкі можливості для розрахунків конструкцій. Вбудований препроцесор автоматично розбиває об'єкт на сітку скінченних елементів. Для об'ємних задач передбачені тетра- та гексаедричні сітки. За допомогою препроцесора інтерактивно задаються властивості матеріалу, навантаження та граничні умови розрахунків. Використовуючи отриману сітку, розраховуються напруження та деформації конструкції, аналізуються пластичні деформації, визначаються частоти внутрішніх коливань виробу. Потужні графічні засоби відображають в об'ємі, кольорі та динаміці отримані результати.

Випуск конструкторської документації за готовою тривимірною моделлю виробу також не викликає утруднень. Передусім слід відмітити повну двосторонню асоціативність між тривимірними моделями та кресленнями. Будь-які зміни на кресленні ведуть до відповідних змін три-

вимірної моделі та навпаки, модифікація моделі змінює необхідним чином і креслення. Передбачено також і автоматичне форматування та позиціонування розмірів.

Matra Datavision обґрунтовано пишається набором модулів системи EUCLID, призначених для вирішення задач автоматизованої підготовки виробництва виробу, що створюється. В EUCLID входять модулі автоматичної підготовки управляючих програм для машин плазменної, лазерної і газової різки та електроерозійної обробки, штамповочних та згинальних процесів, п'ятикоординатних фрезерних та токарних верстатів з ЧПУ. На екрані монітора детально моделюється весь процес обробки заготовки, можна візуально визначити помилки програмування руху інструмента та можливі просторові перетини різального інструмента з технологічною оснасткою. Для різних процесів обробки є стандартні додаткові набори інструментів та оснастки, а для координатно-вимірних машин передбачено спеціальне програмне забезпечення автоматичного контролю параметрів виробів.

Запобігти “вавилонському стовпотворінню” при проектуванні виробу допомагають засоби управління процесом проектування.

Для комплексного вирішення задач конструювання нових виробів Matra Datavision пропонує три групи програмних продуктів:

- інтегровані рішення (як правило, на базі робочих станцій);
- професійні рішення (доповнені модулями аналізу та розробки застосувань);
- персональні рішення (полегшені до можливостей персональних комп'ютерів).

Для заповнення ніші персональних рішень на ринку фірма Matra Datavision в 1995 році спеціально створила на базі EUCLID систему середнього рівня Prelude, яка є повністю сумісною з рештою продуктів фірми. Prelude складається з шести основних пакетів, які надають основні засоби моделювання та підготовки виробництва. Пакет Prelude DESIGN включає модулі тривимірного твердотільного моделювання, деталювання та креслення, фотореалістичної візуалізації та обміну даними з іншими САД-системами. Така мінімальна конфігурація потрібна для оснащення робочого місця конструктора. Саме такий набір модулів був презентований ЖІТІ відділом Datavision Ukraine з метою використання в навчальному процесі.

На все програмне забезпечення надається гарантійне обслуговування, протягом якого всі нові версії та документація системи EUCLID3 поставляються безкоштовно. В СНГ діє 4 філії фірми, одна з яких — Datavision Ukraine — знаходиться в Києві. Крім того, вісім університетів в Росії та Україні навчають студентів та проводять наукову роботу з використанням САПР EUCLID3.

3. Система EDS-Unigraphics. Unigraphics (UG) — це назва системи високого рівня і одночасно назва відділення корпорації Electronic Data Systems (EDS), яка нараховує близько 90 000 співробітників в 40 країнах світу. Її річний обіг складає 12 млрд. дол. США, а сфера діяльності — інформаційні технології, системна інтеграція, складні комп'ютерні мережі з забезпеченням сумісного використання даних та ресурсів. Вона має представництво в Москві; на території України партнером EDS-UG є Центр інформаційних технологій (INT). На базі системи Unigraphics проводиться навчання студентів в Харківському авіаційному інституті.

На ринку САПР EDS-Unigraphics пропонує два рішення: інтегровану систему MCAD/CAM/CAE Unigraphics і систему ведення проекту IMAN (Information Manager), при цьому охоплюється повний спектр послуг по впровадженню, навчанню та супроводженню системи. Система Unigraphics виросла з надр авіаційної промисловості, тісно пов'язана з автомобільною та космічною промисловістю. В числі її користувачів є як міжнародні компанії General Motors, McDonnell Douglas, Pratt&Whitney, так і українські МКБ Прогрес (Запоріжжя), НПО Машпроект (Миколаїв), АвтоКрАЗ та інші. Більше сорока російських компаній використовують систему Unigraphics, маючи близько 500 робочих місць.

Концепція побудови системи Unigraphics в 90-і роки зводиться до ідеї єдиної бази даних з повною інтеграцією в рамках однієї системи чотирьох основних процесів: концептуального проектування, детального проектування, аналізу та виробництва виробу. Це досягається завдяки потужному ядру гібридного моделювання, яке дозволяє конструкторам вибирати потрібний інструментарій для своєї роботи, асоціативній базі даних, побудованій за принципом “мастер-моделі”, можливостям роботи з багатокомпонентними зборками, інтуїтивному оформленню креслень, величезному досвіду у підготовці виробництва та найтіснішій серед всіх систем, що пропонуються на ринку, інтеграції САПР з системою управління проектами. Підхід EDS Unigraphics до розробки віртуальних моделей відображає ітераційний процес, який дозволяє конструювати та аналізувати електронну модель до тих пір, поки вона не буде повністю відповідати технічним вимогам Unigraphics. Це дозволяє легко проектувати найскладніші геометричні форми. Мало які системи можуть використовувати подібні об'єкти, ще менше систем, здатних довести їх до верстата.

Модулі механообробки Unigraphics постійно випробуються в різноманітних проектах аерокосмічної, автомобільної промисловості та в машинобудуванні. Зараз системи CAM Unigraphics все більше застосовуються і в інших галузях промисловості, які переходять до складних форм поверхонь, що покращують ергономіку, естетичність та загальну привабливість продукції.

Unigraphics є лідером на ринку завдяки досвіду в області автоматизованої підготовки виробництва і наявності широкого спектра спеціалізованих модулів. В EDS Unigraphics особливу увагу приділено можливостям автоматизації таких процесів, як зведення множини операцій до однієї та внесення елементів інтелекту в користувацький інтерфейс. Такі можливості є вбудованими в Unigraphics, починаючи від етапу проектування деталей і закінчуючи виробництвом продукції. Спеціальні програми Unigraphics, включаючи GRIP – Graphics Interactive Programming – засіб програмування для користувача і вбудовані електронні таблиці Xess, забезпечують простий спосіб автоматизації трудомістких задач, таких як створення сімейств деталей та робота з ними. Сучасна відкрита архітектура САПР дає унікальну можливість збагачення системи власними знаннями: написання прикладних програм, створення бібліотек типових рішень тощо.

Unigraphics пропонує гнучкі засоби управління проектом для підтримки роботи як окремих робочих груп, так і всього підприємства в цілому. Підсистема UG/Manager працює з файлами Unigraphics в середовищі PDM і координує їх версії та доступ до компонентів в єдиному середовищі. Це покращує ефективність роботи цілих колективів спеціалістів. Unigraphics надає також повну модульну систему управління даними для всього підприємства – Information Manager (IMAN), яка має найсучаснішу в своєму класі архітектуру і найтісніше інтегрована з CAD/CAM. CAE.

З технічної точки зору Unigraphics – це повністю інтегрована система. З точки зору продаж всі її функції розбиті на модулі, які продаються окремо. Всі ліцензії розподіляються між користувачами за плаваючим мережовим принципом. Це дає можливість кожному замовнику вибрати оптимальну кількість та склад необхідних йому функцій.

4. Система I-DEAS Master Series – торгова марка популярного в США і Західній Європі набору інтегрованих засобів для вирішення задач САПР від фірми SDRC (Structural Dynamics Research Corporation): встановлено 130 000 ліцензій. Весь комплекс програмних засобів ґрунтується на єдиній базі даних або головній моделі, яка забезпечує наскрізне інтегрування всіх прикладних модулів, починаючи від стадії розробки концепції конструкції та моделювання її роботи і закінчуючи стадією деталювання та виробництва. Завдяки застосуванню інтуїтивного динамічного навігатора (Dynamic Navigator), а також множині нових можливостей, таких як ескіз на місці (Sketch-in-Place), система I-DEAS є легкою для вивчення та використання.

Нова версія має всі засоби, необхідні для створення і виконання операцій з головною моделлю. Передусім це I-DEAS Master Modeler (Головний Модельєр) – високопродуктивна система 3-вимірного проектування тіл будь-якої форми, включаючи деталі, що виготовлені шляхом механічної обробки, литвом чи інжекційним вдавненням. Модельєр базується на геометрії подвійної точності, яка описується неоднорідними раціональними B-сплайнами (NURBS) – потужним математичним апаратом, піонером застосування якого була фірма SDRC і який на сьогодні є промисловим стандартом. Результуюча головна модель включає:

- геометрію, топологію, особливості та історію конструювання;
- варіаційні розміри, геометричні обмеження та інженерні рівняння;
- правила конструювання та прикладні знання;
- стан поверхонь, допуски на їх форму та розташування, властивості матеріалів;
- креслення, результати моделювання та випробування;
- інформацію про механічну обробку, включаючи траєкторії руху інструмента при обробці на верстатах з ЧПУ;
- ієрархію зборки та взаємозв'язки між деталями.

Авторизовані зміни головної моделі відображаються у всіх прикладних задачах I-DEAS. Ця властивість отримала назву “паралельний взаємозв'язок” (Concurrent Associatively). Він дозволяє інженеру-конструктору, кресляру та технологу виконувати роботу паралельно і при цьому синхронно вносити необхідні зміни. Інформація про геометричні розміри та допуски (Geometric Dimensioning and Tolerancing – GD&T) включається в головну модель і може відображатися прямо на її аксонометричних проєкціях, що зручно при виявленні геометричних умов, які є збитковими чи яких не вистачає.

Підсистема I-DEAS Master Surfacing надає багатий набір операцій над кривими та поверхнями для створення моделей будь-якої складності. Крім того, можна використовувати засоби

варіаційної зміни елементів форми за допомогою операцій високого рівня, таких як витягування, поворот, розсування тощо.

Підсистема I-DEAS Master Assembly дає можливість реалізувати підхід до проектування "зверху-донизу", дозволяючи створювати логічну структуру виробу, який має багато рівнів ієрархії, тисячі деталей, і починаючи процес при відсутності чи недостатній кількості даних про геометрію, а потім поступово створюючи повну базу даних виробу в зборці. Можна змінювати деталі прямо в зборці і створювати в ній нові деталі. Кінематичні обмеження автоматично закладаються в модель зборки і не потребують створення для перевірки спеціальної моделі. Використовуючи варіаційні властивості системи можна досліджувати зміни розмірів на кінематику механізму і спостерігати його рух в реальному часі.

Підсистема I-DEAS Drafting дозволяє змінювати мастер-модель простим виправленням розміру на деталювальному кресленні. Елементи специфікації GD&T можуть також включатися в головну модель на будь-якому етапі розробки креслення, при цьому вони перевіряються спеціальним синтаксичним аналізатором на відповідність стандартам ANSI, ISO. Можливо також проводити пошук креслення за ім'ям файлу, заголовка блоку чи за ім'ям проекту. Програмний комплекс I-DEAS забезпечує функціональні і комунікаційні можливості, що необхідні для роботи всіх членів групи-розробників виробу, завдяки властивості паралельної взаємозв'язаності та спеціальному додатковому модулю I-DEAS Team Data Manager.

Для моделювання і аналізу в Master Series фірма I-DEAS пропонує Extended Finite Element Method (FEM), який було значно покращено за продуктивністю та простотою використання. Всі операції можуть бути виконані в стилі "натиснув та перемістив" (Click-and-Drop) з використанням піктограм та форм. Завдання граничних умов є тепер контекстно-чутливим до розв'язку; значно спрощена постпроцесорна обробка та управління моделлю за допомогою таких екранних функцій "Динамічного Навігатора", як попереднє висвітлення, динамічні мітки, гумова лінія. Передбачено навіть спеціальний "Радник по Моделюванню" – I-DEAS Simulation Advisor, який включає в себе правила створення скінченно-елементної сітки, завдання навантаження та інтерпретації результатів розрахунків. Створення геометрії, аналіз та редагування можуть бути виконані в одному місці комплексу з використанням відповідних наборів доступних засобів. Всі навантаження і закріплення можуть бути визначені безпосередньо на геометрії виробу та повністю з нею асоціюються. При будь-якій зміні деталі користувачу видається про це інформація і відповідні перерахунки можуть бути виконані автоматично.

Підсистема I-DEAS System Dynamics Analysis надає можливості моделювання складних динамічних систем, які можуть збиратися з компонентів, що визначені при скінченно-елементному чи твердотільному моделюванні, а також експериментальному дослідженні динамічних характеристик. До речі, для обробки результатів випробувань використовується унікальний набір засобів I-DEAS Test, що включає базовий модуль обробки сигналів, модуль визначення власних частот та форм коливань, модуль кореляційного аналізу та модуль відображення результатів випробувань на геометричній моделі. Програмне забезпечення I-DEAS TMG використовує сучасні методи скінченних різниць для швидкого та точного розв'язку складних теплових проблем, таких як вільна та вимушена конвекція, фазові зміни, нелінійні і перехідні теплові процеси. Модуль I-DEAS Optimizator пропонує рішення щодо зменшення ваги, збільшення жорсткості чи міцності конструкції шляхом зміни вказаних користувачем параметрів.

В області технологічної підготовки SDRC пропонує уніфіковану систему для розв'язку задач планування виробництва, підготовки оснастки та програмування верстатів з ЧПУ. Підсистема I-DEAS Generative Machining використовує електронну базу знань, а також безпосередню взаємодію з технологом для того, щоб генерувати оптимальний маршрут обробки деталі. Після кожної операції механообробки можна отримати зображення стану заготовки. Крім того, забезпечується автоматична перевірка геометрії всіх технологічних елементів (деталі, інструмента, патронів, оправок, захватів і т. п.) на відсутність зіткнень в процесі обробки. Модуль фрезкування дозволяє автоматизувати 2.5- та 3-осьову чорнову і чистову обробку. Для моделювання процесів заповнення прес-форм пропонується I-DEAS Mold Filling, який дозволяє уникнути методу проб та помилок при визначенні набору важливих параметрів. Аналогічний пакет I-DEAS Thermoset Modeling пропонується і для моделювання процесів формування реактопластів і гумової суміші. Проектування оснастки для пресування та литва під тиском полегшується каталогом уніфікованих вузлів фірм Hasco, DME і Fatuba.

Для створення власних застосувань та інтегрування їх з I-DEAS є набір інструментальних засобів відкритої архітектури Open Data, який забезпечує прямий доступ до даних – тривимірної геометрії, матеріалів, атрибутів та описів. Open Link відкриває прямий доступ до команд та результатів I-DEAS в режимі паралельної роботи. Для стикування із зовнішніми системами

підтримуються міжнародні стандарти обміну конструкторськими та інженерними даними, в розробці яких, зокрема STEP, безпосередню участь брала фірма SDRC.

Для розподілу ліцензій по неоднорідній локальній мережі (LAN), яка включає робочі станції SUN, SGI, HP чи DEC, постачається додатковий прикладний модуль.

В Україні комплекс програмних засобів I-DEAS Master Series від фірми SDRC розповсюджує група графіки фірми "ПАЛІТРА".

(Продовження у наступному випуску)

ЛІТЕРАТУРА:

1. Чайковський С.С. Впровадження в навчальний процес ЖІТІ комплексу автоматизованих систем конструкторсько-технологічного проектування "КОМПАС" // Вісник ЖІТІ, 1996. – № 4. – С. 275–280.
2. Борисенко О.Й., Музичук Ю.О. САПР машинобудування – проблеми вибору та впровадження // Львівський політехнік, 1995. – № 35. – С. 12–13.
3. Коноваленко В. Системы автоматизации проектирования: вчера, сегодня, завтра // Открытые системы, 1997. – № 2. – С. 22–28.
4. Клишин В., Климов В., Пирогова М. Интегрированные технологии Computer Vision // Открытые системы, 1997. – № 2. – С. 34–42.
5. Карташова Е. Интегрированные технологии SDRC // Открытые системы, 1997. – № 5.
6. Быков А. В. Конструкторские системы – российский вариант // Мир ПК, 1993. – № 4. – С. 52–60.
7. Тучков А., Покровский А. Продукты компании Autodesk: примеры внедрения // Компьютер Пресс, 1996. – № 10. – С. 222–227.
8. Голиков А.В. Интегрированные решения моделирования подготовки и ведения конструкторской документации // Компьютер Пресс, 1997. – № 5. – С. 231–236.
9. Волков А., Мотовилов Д. От САПР к интегрированной среде проектирования // САПР и графика, 1997. – № 8. – С. 60–62.
10. Корельштейн Л. САПР – настоящее и будущее (выставка А/Е/С SYSTEMS'97) // САПР и графика, 1997. – № 9. – С. 40–44.
11. Овсянников М., Шильников П. Глава семьи информационных CALS-стандартов ISO 10303 STEP // САПР и графика, 1997. – № 11. – 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.