

## СОСТОЯНИЕ И РАЗВИТИЕ СИСТЕМ CAD+CAE+ CAM

Абрамова И.Г.

Самарский государственный аэрокосмический университет. г. Самара

В конце 70-х годов XX столетия в нашей стране и за рубежом разворачиваются работы по созданию систем автоматизированного проектирования (САПР). За рубежом эти системы получили название CAD – Computer Aided Desigh – поддерживаемое компьютерами (автоматизированное) проектирование и конструирование. Параллельно проводились работы по созданию систем-CAM - Computer Aided Manufacturing – поддерживаемое компьютерами (автоматизированное) осуществление процесса производства, в частности, DNC – Direct Numerical Control – непосредственно числовое управление производственными работами. Эти две системы получили название CAD/CAM.

В конце 90-х годов XX столетия к аббревиатуре CAD/CAM стали добавлять составляющую CAE. Система CAE – Computer Aided Engineering – это поддерживаемая компьютерами (автоматизированная) инженерная работа. К числу таких работ относятся: анализ конструкций, симуляции движения, кинематики механизмов, имитация процессов сборки изделия, расчет прочности, теплообмена и вибраций методом конечных элементов, моделирования литья пластмасс.

Системы CAD, CAM и CAE чаще всего представляют самостоятельные программные продукты (покупаются за отдельную плату) и в литературе принято обозначение “CAD/CAM/CAE” – системы разделены чертой, что как бы подчеркивает их самостоятельность.

Принятая в литературе аббревиатура отражает скорее историческое развитие, чем последовательность содержания проектирования. В названии, как в зеркале, отражается ускоренный ход времени и потребности подготовки производства: 1) быстрый выпуск конструкторской документации, 2) ускоренная подготовка управляющей программы на станки с ЧПУ, а потом уже «вдогонку» 3) доводка конструкции и проверка соответствия конструкции требованиям инженерных знаний с возвратом к пунктам 1, 2.

Ручной традиционный процесс проектирования конструкции предполагает сначала выполнение инженерных расчетов, затем инженерная мысль воплощается на бумаге, и только тогда можно приступать к изготовлению изделия. Поэтому в компьютерном варианте порядок построения модулей должен быть «CAE+CAD+CAM», на единой информационной основе, о чем свидетельствует знак «+». Однако такую идеологию построения могут позволить далеко не все системы, а только те, у кото-

рых в основе проектирования лежат инженерные знания.

Базовым модулем всех систем является модуль построения геометрических образов. Элементная база этого модуля позволяет проводить работы по анализу геометрических форм, имитации процессов сборки и много другой инженерной работы, а в дальнейшем готовить управляющие программы на оборудование с ЧПУ. Поэтому, по мнению автора, к современным системам автоматизированного проектирования справедливо применять аббревиатуру «CAD+CAE+CAM». Справедливость этого утверждения можно рассмотреть на пирамидальной иерархии этих систем.

Все системы CAD+CAE+CAM можно разделить на три группы:

I — для автоматизации всех этапов подготовки производства (высокой стоимости, от \$ 15000);

II — для автоматизации одного или нескольких последовательных этапов (средней стоимости, от \$3000);

III — для автоматизации части операций одного из этапов подготовки производства (системы низкой стоимости, от \$ 500).

Под этапами создания изделия понимают :

- 1) общее проектирование изделия и расчет его характеристик;
- 2) конструирование деталей, сборочных единиц, узлов, инструмента, оснастки;
- 3) проектирование и моделирование технологических процессов основного и вспомогательных производств;
- 4) разработка управляющих программ для станков с ЧПУ.

Предприятия, эксплуатирующие только системы низкой стоимости испытывают ограниченность их функциональных возможностей (они ориентированы на выпуск конструкторской документации, что является лишь одним из этапов создания изделия). Системы высокой стоимости более функциональны, однако требуют установки на рабочие станции, поэтому расширение использования таких систем препятствует как раз высокая стоимость рабочих мест. Следствием сложившейся ситуации явилось развитие систем средней стоимости для персональных компьютеров, реализующих часть функций на рабочих станциях и совместимых с ранее приобретенными системами.

Несмотря на отличия, большие системы I группы обладают общими характеристиками:

1. Построены по модульному принципу. Ядром систем являются модули управления и построения трехмерных графических образов. Функциональные возможности систем значительно расширяются за счет использования дополнительных модулей.
2. Наряду с «традиционными» методами построения трехмерных

графических образов (с использованием точек, прямых, кривых, B-сплайнов, поверхностей Безье, NURBS – технологии), последние версии систем позволяют производить построение сложных геометрических образов всех видов; получать реалистическое (фотографическое) изображение трехмерной модели; производить различные операции по модификации геометрического образа; вводить параметры, бинарные отношения на элементах и осуществлять параметрическое построение; получать из трехмерной модели двухмерные проекции (чертежи) и вносить все необходимые данные (размеры, допуски, надписи и пр.). Твердотельное моделирование и параметрическое проектирование особенно важны при технологическом проектировании изделия.

3. Позволяют создавать библиотеки стандартных, типовых, нормализованных объектов, которые легко быть могут вызваны при проектировании изделия и размещены в нужном месте создаваемого образа.

Такие функциональные возможности систем полезны при обработке изделия на технологичность, проектировании заготовительной и сборочной оснастки из нормализованных элементов, создании библиотек по режущему, мерительному инструменту и в других случаях.

4. Позволяют вести единую структурированную базу данных изделия и его частей. Наличие единого математического образа необходимо при проектировании сложного изделия одновременно многими специалистами на автоматизированных рабочих местах, объединенных в сеть.
5. Дают возможность создавать конструктивно-технологические схемы членения изделия и имитировать сборку.
6. Позволяют проектировать и имитировать кинематику механизмов и устройств. Например, проектировать роботы и имитировать их движения.
7. Обладают специальными модулями-интерфейсами для обмена данными с другими системами и модулями через специальные стандарты. Например, через DXF, IGES, DVG, VDA-FS, SET, PDES/STEP.

Наиболее интересные и значимые события произошли в классе систем старшего уровня: I/EMS (Intergraph), Catia (IBM), Pro/Engineer (Parametric Technology), EDS Unigraphics, CADD5 5 (Computervision),

PE/SolidDesigner (Hewlett-Packard) и Euclid (Matra Division). Появилось значительно больше оснований называть их уже не CAD-системами, а системами CAD+CAE+CAM и PDM (PDM – Product Data Management – управление данными о продукте производства). Имеется в виду, что старый тезис интеграции всего цикла создания изделия от проектирования к анализу и подготовки производства постепенно получает реальное воплощение в программном обеспечении CAD-систем.

Задачу интеграции поставила на первое место компания Parametric Technology (PTC), изначально сделав в своем продукте Pro/Engineer (1988 год) ставку на полную ассоциативность всех видов данных об изделии на основе единой структуры базы. Аналогичные подходы применяют и другие производители (Unigraphics - IMAN).

Философию интеграции выражает компания Computervision (CV) в известном подходе EPD "Полное электронное определение изделия". Типичный для сегодняшнего высокотехнологического производства проект чаще всего охватывает "расширенное предприятие", в котором сотрудничают разработчики, поставщики, производители и заказчики. EPD предполагает замещение "компонентно-центрического" последовательного проектирования на "изделие-центрический" процесс, выполняемый проектно-производственными бригадами, работающими совместно в параллельно-согласованной среде. Поскольку многие из участников проекта и поставщики могут находиться в разных странах, становится понятно, что для обеспечения такой деятельности кроме ПК и локальной сети требуются мощные сетевые серверы, высокопроизводительные графические рабочие станции и глобальная сеть Internet.

В российских условиях возможно реализовать параллельное проектирование и вести подготовку производства, последовательно осваивая комплекс взаимосвязанных систем трех групп. В табл. 1 приведены системы в зависимости от функциональных возможностей с примерным количеством рабочих мест в каждой группе.

Пример показывает «тандем» интегрированных систем EUCLID и PRELUDE французской фирмы Matra Datavision для рабочих станций и персональных компьютеров. Здесь указана яркая особенность стратегического развития систем: фирма Matra Datavision разобрала «глыбу» системы EUCLID на мелкие «кирпичики», превратив её в EUCLID Quantum и CASE.CAD.

## Классификация систем по функциональным возможностям

Уровень функциональных возможностей	Стоимость рабочего места (с оборудованием)	Количество рабочих мест	Сложность работ	Наименование систем (пример)
CAD+CAE +CAM+ (+PDM) I уровень- Высший	от \$ 25000	>3	Концепту- альная про- работка но- вого изделия	EUCLID Quantum Designer, Machinist, Analyst, Manager, CAS CADE
CAD+CAE (+CAM) (CAD/CAM) II уровень- Средний	\$ 5000 - \$ 25000	>10 (10...100)	Детальная проработка изделия	PRELUDE Design. Manufac- turing, Analysis, Inspector. View &Mark-UP, Devel- opment
CAD III уровень- Низший	\$ 1000 - \$ 5000	>30 (30...100...)	Подготовка конструк- торской до- кументации	T-FLEX CAD 3D/2D, СИАП-ТТ Турбо-Тигрис, ГЕММА, ИНИС

Наиболее распространенные системы CAD+CAE+CAM представлены в табл. 2.

Имея общие характеристики, системы отличаются прикладными областями. В авиастроении из зарубежных систем наиболее распространены CATIA, CADAM, CADDs, UNIGRAPHICS, Pro/Engineer. Они обладают большими функциональными возможностями и могут быть установлены на больших ЭВМ и/или графических рабочих станциях типа RISC System/6000, Bull, Dec, HP, Sun Microsystems, Silicon Graphics и объединены в единую компьютерную сеть.

Системы Personal Designer, AutoCAD, Super Vision, CADKEY, КОМПАС, СПРУТ, АДЕМ, Кредо, Гемма-3D могут быть установлены на персональных компьютерах.

## Зарубежные системы CAD+ CAE +CAM, CAD/CAM

Наименование системы	Фирма разработчик
CATIA	Dassault System (Франция), IBM (США)
CADAM	Dassault System, IBM
CADDS 5	Computervision
Pro/Engineer	PTC (США)
I/EMS	Intergraf (Голландия)
EVCLID-IS	Matra Datavision (Франция)
DUCTC 5	DELCAM (Англия)
Bravo 3	Schlumberger (Германия)
UNIGRAPHICS	Electronic Data System (EDS)
Personal Designer	McDonnell Douglas (США), Computervision
Personal Machinist	Computervision
Micro Draft	Computervision
Dasign View	Computervision
AutoCAD	Autodesk Inc.

В России появление CAD+ CAE +CAM (CAD/CAM) систем было отмечено с конца 70-х середины 80-х годов XX столетия (табл. 3).

Таблица 3

## Системы CAD+ CAE +CAM российского производства

Название системы	Фирма-разработчик	Год создания
«ADEM»	«Крона» (г. Ижевск)	1978
	«Элгра» (г. Москва)	1985
«СПРУТ»	«СПРУТ-технология» (г. Набережные Челны)	1985
	«ЦИТ СПРУТ» (г. Москва)	
«КОМ-ПАС»	«АСКОН» (г. Санкт-Петербург, Москва, Коломна)	1989

Компания «АСКОН» системой КОМПАС (за 11 лет) зарекомендовала себя причастной к системам II группы (модуль управления проектно-конструкторской документацией КОМПАС –менеджер позволяет перекрывать функциональные возможности этой группы).

Система СПРУТ имеет набор интерактивных инструментальных

средств: система проектирования экранных форм SSD, интегрированная среда графического моделирования DiaCAD, генератор экспертных подсистем SKB, генератор инженерных расчетов SSE, генератор систем текст-графического документирования GDOC, подсистему управления базами данных SDB и целый набор других программ и утилит, в целом объектно-ориентированную среду для быстрой разработки приложений в области САПР для сквозного проектирования систем CAE+CAD+CAM.

Особенностью систем последнего времени является стремление создать модули для разработки приложений с минимальными трудовыми и материальными затратами и практически без профессиональных программистов. Для этого используют CASE-технологии (Computer – Aided Software/System Engineering).

Выводы:

1) Первоначальная потребность производственных предприятий в получении, хранении и сопровождении конструкторской документации и целесообразность поэтапной разработки модулей систем, отражающей коммерческую выгоду для фирм-разработчиков систем, определили исторически возникновение систем CAD, отвечающих за создание геометрического образа изделия.

2) Развитие (80-е, 90-е г.г.) систем CAD, параллельно CAM и CAE показало, что системы эффективны в комплексе CAD+CAE+CAM, использующие единую информационную основу на всех стадиях создания, изготовления и развития изделия.

3) Интеграция CAD+CAE+CAM систем осуществляется как по горизонтали созданием новых CAD, CAE, CAM приложений, так и продвигается вверх по вертикали, включая автоматизацию бизнес -функций путем создания систем типа PDM, стремясь охватить стадии жизненного цикла изделия.

4) Состояние систем позволяет выделить три характерные особенности их построения, отражающие функциональную структуру предприятия:

- модульный принцип систем;
- открытость систем для интеграции с другими программами;
- создание инструментальной объектно-ориентированной среды для быстрой разработки приложений.

Список литературы

1. Лихачев А.А. Поэтапная автоматизация подготовки производства // Автоматизация проектирования. 1997. №3.

2. Крючков А., Евгеньев Г. Еще раз о прорывных технологиях автоматизации предприятий// САПР и Графика. 1998. №4.
3. Евгеньев. Г САПР XXI века: персональному компьютеру персональное программное обеспечение// САПР и Графика. 2000. № 2.
4. Коваленко В. Системы автоматизации проектирования вчера, сегодня, завтра.М.: ИПМ РАН, 2000. kvn@spp.keldysh.ru

## ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ СИЛЬФОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Итбаев В.К., Федоров В.А.

Уфимский государственный авиационный технический университет, г.Уфа

Малоцикловое нагружение сильфонов при изгибах происходит в жестком цикле нагружения. Для описания обобщенной циклической диаграммы деформирования использован обобщенный принцип Мазинга. В качестве критерия разрушения используется деформационно-кинетический критерий

$$d_{уст} + d_{ст} = 1,$$

где  $d_{уст}$  - усталостное повреждение;  
 $d_{ст}$  - квазистатическое повреждение.

В жестком цикле нагружения, характерном для работы многослойных сильфонных компенсаторов, односторонне накопленная деформация

$$N_i(t) = \left( \frac{c(t)}{\bar{\epsilon}^{(k)}_{н\max} - \frac{\sigma_{-1}}{3G(t)}} \right)^2,$$

практически отсутствует. Поэтому принимаем условие прочности в виде  $d_{уст} < 1$ . Кривая усталости аппроксимируется выражением типа Лэнджера

$$c(t) = 0.5 \times \ln \frac{1}{1 - \psi(t)};$$

где

$\psi$  - коэффициент поперечного сужения гладкого образца;

$G(T)$  - модуль сдвига;

$\sigma_{-1}$  - предел выносливости гладкого образца;