

мыкин и др.; Под ред. О. В. Таратынова, Ю. П. Тарамыкина. — М.: Высш. шк., 1991. — 423 с. 6. Илюхин С. Ю., Доронин А. В. Концептуальная модель профилирования поверхностей // СТИН. — 2000. — №11. — С. 23–25.

УДК 621.75.002:658.012.011.56

**С.И. Романюк**

## **ПРОБЛЕМЫ ВЫБОРА CAD/CAM-СИСТЕМЫ**

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

В настоящее время компьютеризация охватила практически все стадии создания изделия: начиная от проектирования и кончая планированием поставок. Подход к производству изделия, при котором различные компьютерные программы обеспечивают в рамках единого информационного пространства управление жизненным циклом изделия на всех стадиях его существования (проектирование, производство, эксплуатация и реализация), в настоящее время принято обозначать термином «CALS-технологии». Аббревиатура CALS на русский язык может быть интерпретирована как «компьютерное сопровождение и поддержка жизненного цикла изделия» [1].

Ядром CALS-технологий является CAD/CAM-система. CAD/CAM-система обеспечивает проектирование и моделирование изделия, технологическую подготовку его производства, создание управляющей программы для обработки детали на станке с ЧПУ и другие возможности. В последнее время к задачам, решаемым CAD/CAM-системой, добавились автоматизированные расчеты и анализ трехмерной твердотельной модели, решаемые CAE-системами.

Современный рынок CAD/CAM-систем характеризуется разнообразием и высокой конкуренцией. Десятки фирм предлагают системы различного уровня, отличающиеся как по функциональным возможностям, так и по ценам. В такой ситуации выбор CAD/CAM-системы — задача непростая.

Проблема выбора традиционно начинается с изучения технической характеристики и сопоставления возможностей различных изделий. Учитывая высокую стоимость и существенную разницу в ценах CAD/CAM-систем, такой подход к их выбору особенно оправдан. Однако необходимо констатировать, что в настоящее время наблюдается дефицит информации о техни-

ческих возможностях и сравнительных данных различных CAD/CAM-систем (при явном избытке информации рекламного характера). Зачастую предприятие вынуждено приобретать собственный опыт по возможностям различных CAD/CAM-систем, затрачивая на это время и средства. Наиболее рациональным является выбор, основанный на независимом экспертном анализе.

Сравнительный анализ возможностей различных CAD/CAM-систем, вероятно, как ни одного другого программного продукта, нуждается в максимально независимой экспертизе: очень высока цена экспертных решений. Можно привести общедоступные данные по суммарному объему продаж CAD/CAM-систем [2]. В 2000 году он достиг 1,27 млрд. \$ США (при этом прирост составил 4,4%), в 2001 году снизился до 1,19 млрд. \$ США, в 2002 году — до 1,06 млрд. \$ США. Доходы некоторых компаний в 2002 году составили более 100 млн. \$ США. Таким образом, с одной стороны, рынок CAD/CAM в денежном выражении достаточно крупный, с другой, наметившаяся тенденция снижения продаж заставляет разработчиков активизировать усилия по продвижению своего продукта. Все это еще более осложняет задачу объективного сравнения.

На протяжении последнего десятилетия рынок CAD/CAM-систем (с основным акцентом на САМ часть) отслеживает консалтинговая компания CIMdata Inc. (США). Однако ее многостраничные отчеты с рейтингами, статистическими данными и сопоставлениями примерно 40 ведущих компаний и САМ-пакетов стоят довольно дорого (например, 216-страничный отчет за 2002 год стоит 3,5 тыс. \$ [2]). Лишь небольшая часть этих отчетов, иногда с существенной задержкой во времени, становится общедоступной. Т.о., потребность в доступном независимом сравнительном анализе возможностей CAD/CAM-систем весьма высока, т.к. такой анализ существенно облегчает выбор.

Важными аспектами выбора CAD/CAM-системы являются распространенность системы и экономическая устойчивость разработчика. Под распространенностью будем понимать термин, характеризующий число проданных лицензий и число инсталляций (установок первоначальных версий, в отличие от обновлений установленных версий).

Отметим, что распространенность программного средства зависит от большого числа факторов, среди которых технические и пользовательские возможности отнюдь не главенствующие. Большое значение на распространенность оказывает маркетинговая политика производителя. Зачастую именно этот фактор оказывается решающим в коммерческом успехе продукта, даже, если он имеет какие-то технические изъяны. Показательным в этом отношении является общеизвестный пример с операционной системой Windows,

которая, несмотря на серьезные технические недостатки, стала стандартом «де-факто», благодаря в том числе и блестящему маркетингу компании Microsoft.

В конечном итоге при выборе CAD/CAM-системы наряду с ее возможностями необходимо учитывать маркетинговую политику разработчика (продавца). Для любого покупателя весьма важно, в какой мере разработчик сопровождает CAD/CAM-систему, т.е. насколько оперативно он реагирует на возникшие потребности производства и как быстро устраняет обнаруженные недостатки, а также какие льготы предоставляет разработчик.

В частности маркетинговая политика разработчика имеет решающее значение для университетов, включающих в учебные планы CAD/CAM средства моделирования деталей и создания управляющих программ для станков с ЧПУ. Перед университетом, только начинающим преподавать эти аспекты производства, тоже стоит проблема выбора. Однако университеты не располагают денежными средствами, какими располагают предприятия. Поэтому на их выбор основное влияние оказывает возможность максимально льготного приобретения полноценной CAD/CAM-системы. Основания для такой постановки, на наш взгляд, достаточно веские и остановимся на них подробнее.

На рынке CAD/CAM еще нет системы, которая была бы признана стандартом «де-факто». В такой ситуации любой акцент на той или иной системе, который становится достоянием общественности, несомненно, становится актом рекламирования. Преподавание, как деятельность, направленная на формирование мнения у студентов, в известном смысле рекламирует фирмы, торговые марки, отдельные изделия и т.п., если они произносятся или характеризуются на аудиторных занятиях. В процессе преподавания формируются предпочтения молодых людей, которые затем окажут влияние на выбор того или иного продукта. Можно привести в пример фирму Siemens. Ее политика привлечения преподавателей ВУЗов на курсы повышения квалификации, всестороннее ознакомление со своими изделиями и прочее дают ей реальные выгоды: преподаватели рассказывают на занятиях об изделиях фирмы, все больше студентов воспринимают их и в свое время сделают выбор в пользу именно этой фирмы.

Однако не все осознают такой аспект информирования и ознакомления со своей продукцией. Это относится и к разработчикам CAD/CAM. В целом их подход к взаимоотношениям с образовательными учреждениями нельзя назвать заинтересованным. При всех льготах цены лицензий для университетов обычно не опускаются ниже 10–25% цены промышленных лицензий [3]. Учитывая полную стоимость, исчисляемую тысячами долларов США, цены все равно остаются непомерными. Высокая стоимость, а также непре-

доставление бесплатной технической (не рекламной) информации, отсутствие бесплатного обучения преподавателей — все это аспекты проигрышной маркетинговой политики в отношениях с образовательными учреждениями. В конце концов, в учебные программы CAD/CAM-системы войдут, но войдут те, на которые ВУЗом будет затрачен минимум средств. Учитывая рекламный аспект процесса преподавания и отсутствие коммерческой выгоды от приобретения CAD/CAM-системы, ВУЗы вправе ожидать от их поставщиков максимально льготной (если не сказать безвозмездной) маркетинговой политики.

Прежде чем перейти к вопросу о возможностях отдельных CAD/CAM-систем, следует дать их наиболее общую характеристику — возможность сквозного проектирования. Смысл сквозного проектирования состоит в использовании единого программного пространства на стадиях проектирования, разработки управляющей программы для станка с ЧПУ, отладки программы и ее исполнения (рис. 1). При этом конструктор, технолог и оператор станка работают с одним конструкторско-технологическим документом (CAD/CAM-файлом). Достоинства такой организации следующие: автоматическое или полуавтоматическое внесение изменений в технологию или в геометрию при выявлении неполадок на любой из стадий; ни одно изменение, сделанное, например, оператором, не будет потеряно ни технологом, ни конструктором; сокращение «бумажной» работы — не нужны ни чертеж детали, ни маршруты обработки, ни список инструментов и т.д.; существенное уменьшение затрат на подготовку, отладку и запуск управляющей программы.

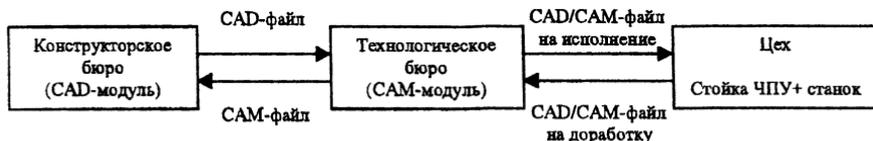


Рис. 1. Структура сквозного проектирования

Перейдем к анализу возможностей различных CAD/CAM-систем. В общем случае CAD/CAM-система, как программный продукт, представляет собой некоторую структурированную систему, имеющую определенные способы представления входной и выходной информации, способы кодирования информации, точность представления данных, типовые подсистемы, показатели качества функционирования системы (например, объем занимаемой памяти, быстродействие и т.п.) и другие технические характеристики. Однако их сравнительный анализ затруднен из-за недостатка публикаций по этому вопросу. В настоящий момент анализу доступны лишь внешние (пользова-

тельские) характеристики систем, т.е. возможности по реализации конкретных конструкторских и технологических задач.

Обобщенные возможности современных CAD/CAM-систем следующие:

- 1) полный цикл проектирования, который включает черчение, параметрическое и объектное конструирование, твердотельное моделирование и анализ конструкции; в частности, возможность проектирования пресс-форм;
- 2) технологическая подготовка производства детали, включающая разработку технологической оснастки и различных видов технологической обработки (механообработка, электроэрозионная и лазерная обработка, сварка, штамповка, листовая раскрой с последующей гибкой и другие);
- 3) генерирование управляющих программ для станков с ЧПУ, а также проверка их правильности компьютерными средствами путем прорисовывания траекторий инструмента и трехмерной визуализации процесса обработки;
- 4) возможность использования для широкого парка станков и систем ЧПУ, в том числе станков с различным числом управляющих координат (от 2 до 5);
- 5) применимость для высокоточной и высокоскоростной обработки;
- 6) поддержание коллективной работы с проектом на уровне удаленных рабочих групп различных специалистов;
- 7) ведение базы данных проектов;
- 8) ведение на уровне предприятия библиотеки данных по материалам, режущим инструментам, вспомогательной оснастке.

В зависимости от тех или иных функциональных возможностей сложилось деление CAD/CAM-систем на уровни: системы верхнего уровня; системы среднего уровня; системы нижнего уровня.

Жесткая конкуренция на рынке CAD/CAM заставляет разработчиков систем верхнего уровня включать в свой продукт практически все известные на сегодняшний день возможности CAD/CAM. Чтобы избежать избыточности системы по своим возможностям, ее делят на отдельные функциональные модули. Такое деление имеет положительный момент и с точки зрения формирования цены продукта.

Системы верхнего уровня состоят из десятков модулей, решающих самостоятельные задачи. Однако в любой такой системе имеется ядро, или минимальный набор модулей, на которое надо обратить особое внимание при выборе системы, т.к. остальные возможности реализуются дополнительными модулями, приобретаемыми за отдельную плату [4].

Основным отличием систем верхнего уровня от систем среднего уровня является наличие у первых и отсутствие у последних следующих возможностей:

1) широкие возможности инженерного анализа (аналогичные известным системам ANSYS, NASTRAN и т.п.); это практически CAD/CAM/CAE-системы;

2) создание геометрии и моделей практически любой сложности; особенно это касается моделирования объектов с большим числом деталей;

3) возможность проектирования объектов с числом деталей 2-5 тысяч;

4) комбинирование поверхностей и твердых тел;

5) возможность проектирования изделий, которые необходимо изготавливать, используя различные технологии (механообработка, листовой раскрой, сварка, штамповка, электроэрозионная обработка и т.д.);

6) комбинирование исполнения отдельных операций;

7) работа различных удаленных групп пользователей над одним проектом;

8) управление данными на уровне рабочей группы;

9) практически неограниченные объемы необходимых баз данных, способные охватить любое крупное предприятие в полном объеме.

Перечислим CAD/CAM-системы верхнего уровня (в алфавитном порядке):

CATIA; разработчик Dassault Systems, Франция, в настоящее время поддерживается совместно с IBM, США;

EUCLID3; разработчик Matra Datavision, Франция;

I-DEAS Master; разработчик Structural Dynamics Research Corporation (SDRC), США; в настоящее время поддерживается EDS PLM Solutions, США;

Pro/Engineer; разработчик Parametric Technology Corporation (PTC), США;

UNIGRAPHICS; разработчик Electronic Data Systems (EDS), в настоящее время поддерживается EDS PLM Solutions, США.

Системы среднего уровня предназначены для автоматизации конструкторско-технологического цикла проектирования несложных объектов, для чего обычно не требуется взаимодействия на уровне удаленных групп пользователей или разработки сложных технологических цепочек, охватывающих различные цеха и подразделения. С этими задачами они прекрасно справляются, благодаря чему составляют очень серьезную конкуренцию тяжеловесам из верхнего уровня (а распространенность ряда систем среднего уровня значительно выше, чем у систем верхнего уровня).

Перечислим некоторые наиболее известные CAD/CAM-системы среднего уровня (в алфавитном порядке):

ADEM; разработчик OmegaADEM Technologies Ltd., Израиль;

BRAVO; разработчик Applicon Inc., США;

CADdy; разработчик Ziegler Informatics GmbH, Германия;

CIMATRON; разработчик Cimatron Ltd., Израиль;  
DUCT-5; разработчик Delcam Plc., Великобритания;  
EdgeCAM; разработчик Pathtrace, Великобритания;  
ESPRIT; разработчик DP Technology, США;  
GeMMA-3D (ГеММа-3D); разработчик ЗАО «НТЦ ГеММа», Россия;  
HyperMILL; разработчик Open Mind Software Technologies GmbH, Германия;

MasterCAM; разработчик CNC Software, США;  
PEPS; разработчик Camtek Ltd., Великобритания;  
PowerMILL; разработчик Delcam Plc., Великобритания;  
SolidCAM; разработчик Cadtech, Израиль;  
SPRUT (СПРУТ); разработчик АО «Спрут-Технология», Россия;  
T-FLEX CAD; разработчик Топ Системы, Россия;  
TEBIS; разработчик Tebis AG, Германия;  
VISI-Series; разработчик Vero International Inc., США;  
VX VISION; разработчик Varimetrix Corp. Ltd., США.

Системы нижнего уровня используются в основном для 2D- или 3D-прототипирования и моделирования с отдельными возможностями (или без них) подготовки производства двухмерных изделий. Т.е. системы нижнего уровня ориентированы главным образом на САД и не предполагают решения разнообразных задач САМ.

Следует отметить, что деление на уровни является достаточно условным, т.к. постоянно имеет место тенденция приближения систем среднего уровня (по различным параметрам) к системам верхнего уровня, а системы нижнего уровня все чаще перестают быть просто чертежно-ориентированными и становятся ориентированными на все большее число элементов технологии.

Безусловно, технические возможности систем отражаются на их цене. Так, цена систем верхнего уровня колеблется в пределах 10–25 тысяч \$ США, среднего уровня — 5–17 тысяч \$, а систем нижнего уровня — до 5 тысяч \$.

Доступны данные, позволяющие сравнить между собой экономическое положение разработчиков САД/САМ-систем и распространенность самих программных продуктов [2]. Данные получены на основании обзоров CIMdata.

По объемам доходов за 2000–2002 годы выделяются порядка двадцати компаний, они делят между собой три четверти рынка. По средним данным за этот период первая шестерка выглядит следующим образом: 1) IBM/Dassault; 2) EDS PLM Solutions; 3) PTC; 4) Hitachi Zosen (Япония); 5) Delcam; 6) CNC. Первое место с годовым доходом 127 млн.\$ занимает альянс IBM и Dassault, который занимается продажами системы САТИА. Отметим, что доход ряда компаний составляют не только продажи САД/САМ-систем.

По количеству инсталляций и проданных промышленных лицензий явным лидером признан MasterCAM (разработчик занимает шестое место по доходам). Далее следуют продукты компаний PTC, EDS PLM Solutions, IBM/Dassault. Занимающая пятое место по объему доходов Delcam по числу инсталляций занимает лишь десятое. Следует отметить, что по числу суммарных инсталляций в университетах существенно преобладающее лидерство опять-таки принадлежит MasterCAM'у. Его отрыв от следующего за ним Delcam составляет 4,2 раза.

### **Выводы:**

1. Одним из ключевых моментов в выборе CAD/CAM-системы является сравнительный анализ различных CAD/CAM-систем, который в свою очередь нуждается в объективной независимой экспертизе, доступной широкому кругу заинтересованных лиц. При выборе CAD/CAM-системы следует учитывать характер и объемы предоставляемых разработчиком дополнительно услуг по сопровождению своего продукта.

2. Сравнительный анализ CAD/CAM-систем должен включать сопоставление пользовательских (конструкторских и технологических) и технических возможностей различных CAD/CAM-систем и информацию об их распространенности.

3. Все CAD/CAM-системы обеспечивают возможность сквозного проектирования изделий.

4. Конструкторские и технологические возможности, которые предоставляют пользователям CAD/CAM-системы верхнего уровня, примерно одинаковы; все они позволяют осуществлять конструкторско-технологическую подготовку производства изделий любой сложности для предприятий любого масштаба. Однако различные производители применяют различную стратегию модульного наращивания на основное ядро системы.

5. Распространенность CAD/CAM-системы на отдельно взятом рынке — в большой мере результат сочетания возможностей системы и маркетинговой гибкости разработчика CAD/CAM; по данным за 2000-2002 годы наиболее распространенной в мире является CAD/CAM-система MasterCAM.

6. Маркетинговая политика разработчиков или дилеров CAD/CAM-систем должна быть максимально льготной для университетов, т.к. включение в учебный процесс конкретного программного продукта (особенно продукта, не имеющего статус стандарта «де-факто»), с одной стороны, не преследует коммерческих целей, а с другой, — это рекламирование этого продукта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Норенков И.П. CALS-стандарты // Информационные технологии. — 2002. — №2. — С.47–51.
2. Состояние САМ-рынка // CAD/CAM/CAE Observer. — 2003. — №3. — С. 2–8.
3. К вопросу о ранжировании САМ-пакетов // CAD/CAM/CAE Observer. — 2001. — №4. — С.1–2.
4. Булавкин С. Pro/Engineer, Catia и Unigraphics: сравнительный анализ минимальных конфигураций систем // CAD/CAM/CAE Observer. — 2001. — №4. — С. 20–27.

УДК 621.9.06:621.836

**В.И. Туромша, П.Н. Гурецкий**

### **НАПРАВЛЯЮЩИЕ КАЧЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

В настоящее время к технологическому оборудованию (металлорежущим станкам, манипуляторам, промышленным роботам, сборочным автоматам, упаковочным машинам и т.п.) предъявляют достаточно жесткие требования по производительности, надежности, точности, энергопотреблению, конкурентоспособности и др. показателям. Выполнение этих требований обуславливает все более широкое применение направляющих качения в системах линейных перемещений. Они позволяют работать с более высокими скоростями (до 2–10 м/с), обеспечивая повышение производительности оборудования. Высокая надежность узлов качения, продолжительный срок службы и низкая трудоемкость обслуживания уменьшает затраты на эксплуатацию, а в при ремонте значительно сокращает время простоя. Направляющие качения отличаются точностью и высоким к.п.д. Их применение снижает энергопотребление оборудования, что особенно важно при постоянно растущих ценах на энергоносители.

Одним из крупнейших мировых производителей направляющих качения является концерн «Bosch Rexroth» (Германия). В производственной программе концерна присутствует четыре типа направляющих качения:

- цилиндрические шариковые направляющие (направляющие с шариковыми втулками);
- рельсовые шариковые направляющие (направляющие с шариковыми каретками);