

В течение года мы уже не раз писали о компании PTC и ее продуктах, отмечая не только достижения, но и просчеты. Пришла пора дать слово и убежденным приверженцам Pro/E, желающим особо подчеркнуть преимущества этого пакета в сравнении с другими High-End-системами. Далеко не все выкладки автора показались нам бесспорными, однако редакция воздержалась от собственных комментариев, предоставив сделать это специалистам заинтересованных компаний, знающим разбираемые вопросы не понаслышке.

## Pro/ENGINEER, CATIA и Unigraphics

### Сравнительный анализ минимальных конфигураций систем



Сергей Булавкин (bulavkin@cadcamcae.lv)

Работать с различными CAD/CAM/CAE-системами С. Булавкин начал с 1988 года. В 1986 г. закончил факультет Энергомашиностроение МВТУ им. Н.Э. Баумана (ныне МГТУ). Работает конструктором в ФГУП НИКИЭТ им. Н.А. Доллежала, участвуя в разработках реакторов для АТЭЦ, АСТ и АЭС. Член рабочей группы по САПР Минатома РФ. Участвовал в проектировании различных литейных деталей по заказам коммерческих фирм.

#### Немного о проблеме выбора класса системы CAD/CAM

Выбор между системами CAD/CAM среднего и верхнего уровней (а именно они – основные инструменты конструктора XXI века) для проектирования изделий должен основываться в первую очередь на анализе характеристик самого моделируемого изделия и требований, предъявляемых к нему. Попытаюсь поделиться принципами, которым, полагаю, необходимо следовать при выборе класса системы CAD/CAM/CAE.

**Во-первых:** необходимо определить количество деталей и подузлов, входящих в проектируемый объект. Если оно достигает 2÷5 тысяч, то имеет смысл сразу остановиться на системах верхнего уровня, так как только у них имеются самые гибкие и мощные на сегодняшний день средства по манипулированию такими большими сборочными единицами и возможности по составлению соответствующих спецификаций.

**Во-вторых:** если в проектируемом объекте существуют детали и подузлы, которые необходимо изготавливать, используя различные технологические методы (например, листовая раскрой с последующей гибкой для получения тонколистовых деталей, прокладка электрических кабелей, прокладка трубопроводов, сварка, литье, штамповка, использование деталей из композитных материалов), то крайне выгодно проектировать такой объект в системах верхнего уровня, где все вышеозначенные конструкторско-технологические модули органично присутствуют и интегрируются в единый интерфейс на общем ядре. Конечно, системы среднего уровня имеют некоторые из перечисленных возможностей (от сторонних разработчиков-партнеров), но, безусловно, необходимо сравнивать их возможности с возможностями систем верхнего уровня. Часто же конструктору крайне необходимы такие функции, как оптимизация трехмерных цепочек полей допусков в сборочных единицах, моделирование поведения конструкции и оптимизация объектов по различным критериям, использование базы знаний. Этих функций пока

в средних системах нет. Более того, нет и примеров перевоплощения систем среднего уровня в системы верхнего. Похоже, необходимо, чтобы такой (т. е. “верхней”) система была с рождения, с момента закладки ее структуры, фундамента.

**В-третьих:** необходимо отметить, что в настоящий момент системы верхнего уровня обладают более мощными, чем системы среднего уровня, возможностями по геометрическому моделированию объектов как таковому, т. е. позволяют создавать более сложную геометрию деталей. Имеют они и больше возможностей геометрического анализа конструкции. Это одна из причин, по которой в наиболее промышленно развитых странах в таких отраслях, как авиа- и автомобилестроение, энергетическое и химическое машиностроение, для моделирования сложных деталей используются только системы верхнего уровня. При этом создаются полные цифровые модели объектов, состоящие из десятков и сотен тысяч деталей. Выбор системы верхнего уровня в этом случае обязателен, – чтобы не наталкиваться на неразрешимые проблемы в процессе создания изделий.

**В-четвертых:** системы верхнего уровня имеют в своем составе системы инженерного анализа (например, Pro/Mechanica), превышающие по возможностям те прикладные программы анализа, которые интегрируются в системы среднего уровня (DesignSpace, MSC/InCheck, Dynamic Designer/Motion и др.). Интегрируемые в системы среднего уровня программы – это часто урезанные по возможностям широко известные системы ANSYS, NASTRAN, ADAMS. Эти системы анализа декларируются производителем как инструмент конструктора для первых прикидочных оценок работоспособности изделия без более всестороннего, всеобъемлющего анализа. А в настоящее время даже для домашней электробытовой техники (обычно не состоящей из многих тысяч деталей) необходимо проведение полномасштабных исследований. Это важно, так как эти изделия выпускаются в серийном производстве, и рыночные условия вынуждают

производителей-разработчиков к повышению потребительских свойств до максимально доступного уровня. Необходимо отметить, что в системах верхнего уровня кроме встроенных систем САЕ предусмотрена также и возможность передачи подготовленной для детального расчета и анализа модели проектируемого объекта в полнофункциональные системы инженерного анализа: ANSYS, NASTRAN, COSMOS и др. Таким образом, проект изделия, выполненный в системе верхнего уровня, может быть проанализирован по различным аспектам работы объективно глубже, чем проект, выполненный в системах среднего уровня.

## С чего стоит начать рассмотрение систем верхнего уровня и почему

Известно, что системы верхнего уровня состоят из десятков модулей. Эти модули объединяются производителем для решения тех или иных конструкторско-технологических задач в так называемые наборы (*bundle*). Также широко известным фактом является то, что средние и крупные проекты выполняются несколькими предприятиями или подразделениями одного предприятия, причем нередко конструкторы и производства расположены в различных регионах и даже странах. Глобализация мировой экономики диктует необходимость проектировать и производить изделия там, где это наиболее выгодно. Объемы передаваемой информации при переходе на системы 3D-проектирования растут и в этой связи наиболее эффективным способом использования САПР является работа конструкторов и технологов в локальных и глобальных компьютерных сетях. Разные группы конструкторов выполняют предварительно распределенные задачи, проектируют различные под сборки, решают всевозможные аналитические задачи по оптимизации изделия.

Практика показывает, что для выполнения какого-либо среднего (изделие состоит ориентировочно из 300 ÷ 3 000 нестандартных деталей) или крупного (3 000 ÷ 10 000 деталей и более) проекта необходимо не менее 5 ÷ 10 рабочих мест. Необходимость эта вызвана достаточно жесткими сроками планируемого выхода изделия на рынок с целью получения максимальной прибыли. И законы рынка постоянно требуют сокращать эти сроки в условиях жесткой конкуренции.

Компьютерные сети позволяют не только распределять функции между исполнителями и передавать большие массивы данных об изделии, но и, что немало важно, экономить средства за счет использования плавающих лицензий. Плавающая лицензия на тот или иной модуль или набор модулей не привязана к конкретному компьютеру, а может быть использована любым пользователем САПР в компьютерной (как локальной, так и глобальной) сети. Нет необходимости в постоянном применении каждого модуля на каждом рабочем месте. Таким образом, существенным и значимым фактором в суммарном определении стоимости вкладываемых в ПО средств является стоимость так

называемого “ядра” системы, или минимального набора модулей – при условии, что этот минимальный набор позволит достаточно долго (по времени выполнения проекта) удовлетворять текущие потребности конструктора. Именно этим достигается существенная экономия средств при покупке САПР, имеющей модульную структуру.

Далее рассмотрим, не претендуя на всестороннее освещение вопроса из-за ограниченного объема статьи, какие же минимальные по функциональным возможностям и по стоимости наборы предлагают конструкторам гранды машиностроительного сектора рынка САПР. Речь пойдет не только о создании геометрии, но и многом другом.

## Система Pro/ENGINEER R2001

Минимальный набор от фирмы PTC (США), долгое время известный как *Foundation*, теперь, после заметного функционального дополнения, называется *Foundation 2*. Он предоставляет богатую палитру возможностей.

**T** Моделирование деталей на базе фичерсных технологий (конструкторско-технологических операций) – твердотельное моделирование. Следует отметить, что *Pro/E* был в свое время (в конце 80-х годов) законодателем данного способа построения твердотельных конструкций – способа, ставшего сегодня ключевым в технологиях лидирующих систем CAD/CAM. Среди средств твердотельного моделирования в *Pro/E Foundation 2* можно кратко перечислить следующие: выдавливание сечения, вращение сечения, протяжка сечения вдоль трехмерной кривой, по набору продольных сечений (как параллельных, так и непараллельных), протяжка сечения вдоль любого количества трехмерных кривых, по продольным сечениям, расположенным вдоль трехмерной кривой, и т. д.

Классические способы построения с помощью булевых операций отсутствуют, но желаемая геометрия объекта строится не менее гибко с помощью *features*-операций. Безусловно, возможно выполнение по сути тех же булевых операций в сборках – просто это иначе называется: *merge part, cut out*. При создании деталей булевы операции по сути выполняются при моделировании с помощью поверхностей.

Имеются также средства создания семейств деталей, т. е. деталей, управляемых набором параметров. Примером тому служат стандартные детали: болты, винты, гайки, различные фланцевые соединения и т. д.

В *Pro/E* имеются широкие возможности по моделированию *массивов операций* и обеспечиваются гибкие манипуляции с этими массивами (можно одной операцией создать трехмерный массив фичерсов). Массивы могут быть как регулярными, так и таблично управляемыми (можно индивидуально перемещать/удалять отдельный фичерс). Эта функция крайне необходима в отраслях, где имеет место большое количество изделий из одинаковых элементов (пазов, отверстий и т. д.) и

“привязанных” к ним деталей и подборок. Разумеется, как внутри детали, так и между деталями и сборками можно задать любые параметрические соотношения с использованием арифметических, логических операторов или графиков. Следует также отметить (для критиков параметризации), что соотношения эти не являются обязательными в процессе проектирования, – сам конструктор решает, стоит ли ему “перевязать” размеры или нет. Есть случаи, когда при такой “обвязке” улучшается управляемость и производительность в процессе внесения изменений в конструкцию.

**2** Базовое поверхностное моделирование (добавлено в *Foundation 2* осенью 2001 г.). Создание твердотельных конструкций деталей, формообразующими которых являются поверхности. Сюда входят следующие возможности при моделировании поверхностей: *Extrude, Revolve, Sweep, Blend, Flat, Offset, Copy, Trimmed Copy, Fillet*. При построении фигурных вырезов с помощью тонкостенных объектов поверхности могут быть выполнены путем применения следующих функций: *Extrude, Revolve, Sweep, Blend, Use Quilt*. Ранее отсутствие возможностей поверхностного моделирования в базовом модуле могло ограничивать пользователя в сложности проектируемых им деталей (например, деталей со сложной эргономичной формой – литьевых).

**3** Моделирование сборочных единиц (без каких либо ограничений по количеству деталей в сборке) методом “снизу вверх”. Возможность моделирования “сверху вниз” реализуется в дополнительных модулях. Имеется опыт в проектировании сборочных единиц, состоящих из более чем 20 000 деталей с несколькими уровнями вложенности, с помощью средств одного лишь *Foundation*. В перечне продуктов *PTC* существуют еще два дополнительных модуля по моделированию сборочных единиц, в которых реализованы дополнительные, более продвинутые возможности моделирования и манипулирования сборочными единицами.

**4** Различные виды анализа деталей и сборок – масс-инерционные характеристики, проверка зазоров и пересечений, равномерности толщины детали, литейных уклонов, анализ кривизны поверхностей по Гауссу, радиусов кривизны поверхностей, условий касательности и т. д.

**5** Генерация рабочих чертежей и автоматическая генерация спецификаций, в том числе и по стандартам ЕСКД.

**6** Проектирование деталей из листового материала. Присутствует полный набор специфических для данного вида операций по моделированию: размещение на листе, обрезка, пробивка, гибка, прорезание пазов, перфорация, формовка, подсечка. Даже если модель детали импортируется из другой CAD-системы, где она была сформирована каким-то другим способом, т.е. без применения вышеназванных внутренних операций Pro/E, то в случае, когда деталь является по сути гнутым листом постоянной толщины, можно получить ее развертку в *Foundation 2* для передачи в технологический модуль (не входящий в *Foundation 2*), в котором

будет проходить оптимизация листового раскроя и генерация программ резки листа-заготовки.

**7** Проектирование сварных конструкций. В этом модуле заложены средства, позволяющие конструктору вносить в трехмерную модель сборки специфичную для сварки информацию:

- определять и, при необходимости, модифицировать типы сварных швов в сварочной сборке;
- на рабочих чертежах деталей сварочной сборки автоматически получать разделку кромок под сварку (после выбора типа сварного шва из модифицируемой и дополняемой базы типов сварных швов);
- отображать/гасить на трехмерных моделях изображение сварных швов;
- вносить специализированную сварочную информацию о процессе сварки (размер сварочного стержня, его материал, плотность и т. д.) в модель сборочной единицы;
- создавать в чертежах сварочных сборок обозначение сварных швов специальными символами;
- получать информацию о сварных швах (масса, объем, размеры и т. д.);
- генерировать полную информацию о сварочных сборках в виде отчетов или табличных данных (включая и время, что позволяет оценить стоимость сварочных работ).

**8** Средства оценки и контроля качества деталей, чертежей и сборок – *ModelCHECK* (внесен в *Foundation 2* во II квартале 2001 г.). Данное средство контроля можно использовать для поддержания на предприятии определенных стандартов в проектировании изделий. Используя данный модуль, можно предварительно настроить определенный перечень стандартов и лучших (с точки зрения конкретного производства) методов проектирования. После этого *ModelCHECK* сигнализирует об их нарушениях, обнаруживаемых как в анализируемых деталях, так и в сборках и чертежах. Интересным свойством этого модуля является возможность просмотра в базе данных деталей и выявление сходных деталей для устранения повторного моделирования.

**9** Моделирование поведения механизма – *Mechanism Design Extension* (также добавлено во II кв. 2001 г.). Данный инструментарий может использоваться для оптимизации конструкций механизмов и анализа их работы. Конструктор может собирать в единый механизм узлы и детали, используя определенные в этом модуле типы соединений – такие, как осевые и шаровые шарниры, различные скользящие соединения и т. д. Такие “интеллектуальные” элементы соединений могут использоваться как совместно с традиционными сборочными соединениями (вставка, стыковка, выравнивание), так и вместо них. Полученный механизм затем можно привести в движение в пределах его перемещения с помощью мыши или задав определенный закон движения – движитель. Типы перемещений вытекают из условий соединений, предельные перемещения вводятся конструктором. Возможно также получение анимационного ролика работы механизма. Это дает конструктору возможность виртуально проанализировать работу

механизма с точки зрения свободы перемещения деталей и узлов (в соответствии с примененными типами соединений). При этом определяется необходимое (“ометаемое”) пространство для работы механизма. Здесь необходимо отметить, что такая важная при анализе работы механизмов функция, как определение реакций в опорах и сочленениях механизма, в данном модуле отсутствует. Она имеется в семействе *Pro/Mechanica*.

**10** Существует возможность создания фотореалистичных изображений моделей для оценки качества дизайна. Презентационные материалы создаются с учетом фактуры материалов и переотражения лучей. Вместе с *Foundation 2* поставляется библиотека материалов с текстурами.

**11** *Pro/LIBRARYACCESS* обеспечивает доступ к любой из 8 обширных баз данных – библиотек стандартных деталей, операций, средств, литейных форм, соединителей, фиттингов, символов и характеристик тела человека. Эти библиотеки легко расширяются включением определенных пользователем объектов. Объекты, созданные в одних модулях, могут сохраняться в библиотеках для их использования в других. Следует отметить, что *Foundation* дает лишь доступ к этим библиотекам и только одну библиотеку – *BASIC Library*, включающую более 20 тыс. стандартных конструкторских элементов (болты, гайки и др.) и более 90 объектно-ориентированных операций.

**12** Обмен данными. Важно, что *Foundation 2* предоставляет полный спектр средств для обмена файлами, т. е. нет конвертеров, поставляемых за дополнительные средства. Перечислим основные форматы. Импорт: *IGES, SET, STEP, VDA, DXF, CGM, ECAD*. Экспорт: *IGES, SET, STEP, DXF, VDA, ECAD, SLA, CGM, TIFF, RENDER, NEUTRAL, COSMOS, ANSYS, PATRAN, SUPERTAB*. Следует также отметить прямой обмен данными: из *CATIA* в *Pro/E*. Через *ATB* (ассоциативную топологическую шину) осуществляется обмен данными и атрибутами между *Pro/E* и системами *CADD5, ICEM*. *Pro/Desktop* может напрямую интегрироваться с *Pro/E*, так как выполнен на том же ядре *Granite One* (все это системы, продаваемые и поддерживаемые фирмой *PTC*). Для публикации информации в Интернете есть поддержка вывода информации о деталях и узлах в форматах *VRML, HTML, JPEG*. Естественно, существует функция вывода конструкторской документации в файлы *HPGL, HPGL2, PostScript, Calcomp, Gerber, Versatec* для более чем 100 типов плоттеров.

Долгое время ахиллесовой пятой *Pro/E* был сложный интерфейс системы. Особенно недружелюбным он казался пользователям, вкусившим плоды компании Гейтса. Непонятен он был “с двух тычков”, так как организация работы в *Menu Manager* (основное функциональное меню) была каскадной, непривычной для многих пользователей. Оно и понятно – при переписывании *Pro/E* в процессе переноса с платформы *Unix* на *NT* в 1996 году интерфейс не изменили. Вероятно,

разработчики не хотели плодить совсем уж разных по интерфейсу *Pro/E*, задавшись более важной целью. Своевременно были переписаны все модули, и пользователь стал свободен в выборе аппаратной платформы, не лишившись при этом всей разработанной *PTC* функциональности. Негативной стороной этого решения была потеря новых потенциальных клиентов, часто выбирающих систему по более дружественному интерфейсу, а не по возможностям. Но начиная с версии 20 (время выхода – сентябрь 1998 г.) и по сегодняшний день заметно существенное “продвижение к пользователю”. Сначала появились пиктограммы, затем все больше и больше интерфейс стал напоминать типичный для *Windows*-программ. В октябре 2001-го появилась предварительная информация о следующей версии *Pro/E 2002*. В ней интерфейс еще больше приближен ко вкусам новых пользователей за счет контекстного появления типовых закладок при выборе параметров в многофункциональных командах и отсутствия каскадного *Menu Manager*. Хочется верить, что старым пользователям не придется всерьез напрягаться, привыкая к новинке.

Ну а теперь о стоимости *Foundation 2*. В России конечная цена с налогом составляет \$ 7 000 плюс \$ 2 100 за годовую поддержку, обучение и *upgrade* на новую версию в течение этого года. Надо отметить, что эта цена действует с апреля 2001 г. До этого (с августа 1998 г.) *Foundation* стоил \$ 7 500 плюс 25% за годовую поддержку. Таким образом, *PTC* уже давно продает свой базовый набор по ценам средних систем, – сравните с российскими ценами *SolidWorks* или *SolidEdge* – \$ 8 400 (с НДС). При покупке *Pro/E* возможна покупка лицензии и без оплаты поддержки. К сожалению для потенциальных пользователей, многие аналитики об этом не пишут...

## Система CATIA R5.7

Разработчик системы *CATIA V5* – фирма *Dassault Systèmes* (Франция), в качестве рабочего ядра системы верхнего уровня (в конфигурации *P2*) предлагает модуль *MD2* – механическое проектирование. Менее мощный модуль *MD1* (в конфигурации *P1*) разработчиком позиционируется как аналог системы среднего уровня, да и к тому же он не поставляется с плавающей лицензией. Стоимость *MD1* составляет \$ 11 000 плюс 14% за годовую поддержку. Перечислим слагаемые набора *MD2*.

**1** *Part Design 2 (PDG)* – модуль проектирования деталей по объектно-ориентированной технологии и методом конструктивных элементов (*features-base*). Также присутствуют как типовые возможности по моделированию с помощью булевых операций (сложение, объединение, вычитание, пересечение), так и более продвинутые – сложение с отсечением. В данном модуле есть также такая оригинальная возможность, как методика построения детали с использованием сценария (*power copy*) – копирование набора операций с возможностью настройки. При этом пользователь как бы получает пустой бланк и, настраивая параметры, может сохранить операцию в модели или в отдельном файле в каталоге.

**2** *Wireframe and Surface 2 (WSF)* – модуль построения каркасных и поверхностных элементов. Позволяет использовать поверхности как граничные объекты построения деталей. Данный модуль дополняет *Part Design 2* каркасными и поверхностными элементами построения, поднимая метод работы до уровня гибридного моделирования. Модуль построен по объектно-ориентированной технологии с теми же свойствами, что и моделирование солидов. Спецификации методов проектирования могут быть сохранены и повторно использованы для повышения производительности. Следует отметить, что этот модуль не позволяет использовать в качестве определяющих для поверхностей такие кривые, которые задаются с помощью графиков или формул, равно как и работать с так называемыми поверхностями скульптурного класса. Эти возможности лежат вне “функционала” *MD2*, так же как и возможности построения поверхностей класса “А” – т. е. таких, которые требуются в автомобильной промышленности для моделирования кузовов.

**3** *Assembly Design 2 (ASD)* – модуль проектирования сборочных единиц. Предназначен для создания больших и сложных иерархических сборок из компонентов *CATIA V4, V5* и (или) *VRML* форматов, используя подход как “снизу вверх”, так и “сверху вниз”. Компоненты могут позиционироваться друг относительно друга. Они также могут быть использованы два и более раз в текущей или другой сборке без дублирования данных. Определяя механические связи между деталями, система автоматически распознает тип связи, помогает ускорить процесс сборки. Модуль содержит функции “условного роспуска” сборки и анализа геометрических конфликтов – зазоров, контактов и пересечений. Встроенный репортер создает детальную спецификацию сборки с представлением в ней заданных характеристик компонентов независимо от размера и сложности изделия. Следует отметить, что все возможности проектирования сборочных единиц *P2 CATIA R5.7* реализованы только в этом модуле и дополнительных возможностей (модулей) работы со сборками нет. Существуют лишь модули дополнительного анализа сборок для той или иной специфической задачи.

**4** *Generative Drafting 2 (GDR)* – модуль получения с трехмерных моделей ассоциативно связанной чертежной документации. Направлена ассоциативность только в одну сторону: от модели к КД. В *Unix*-версии *CATIA V4* была реализована двусторонняя ассоциативность. Модуль поддерживает формат *DXF* для обмена чертежными данными с другими системами.

**5** *Interactive Drafting 1 (ID1)* – модуль автономного 2D-черчения (своеобразный аналог *AutoCAD*).

**6** *Real Time Rendering 1 (RT1)* – модуль получения фотореалистичного отображения деталей в реальном времени. Вместе с ним поставляется библиотека различных материалов: конструкционные, строительные, камни, дерево, пластики с соответствующими текстурами. Помимо текстур материалы имеют и физические характеристики: плотность, коэффициент линейного и объемного расширения, модуль Юнга, модуль упругости.

**7** *Object Manager 2 (COM)* – является ядром функциональности всех модулей и конфигураций *CATIA V5*. Он устанавливает для системы единую объектную основу и инфраструктуру, включая терминологию, средства диалога, графическое представление и все остальное, что определяет пользовательский интерфейс.

**8** *V4 Integration 2 (V4I)* – модуль, позволяющий существующим клиентам *CATIA V4* использовать свои прежние наработки в новой среде проектирования *V5*. Этот продукт облегчает интеграцию этих двух разных версий *CATIA*. Большинство данных *V4* могут быть конвертированы в формат *CATIA V5*. Данные *CATIA V5* могут быть прочитаны в *V4* для их применения в сборке, анализе, черчении, подготовке программ для станков с ЧПУ и других приложениях.

**9** *CADAM Interface 1 (CC1)* – модуль, позволяющий использовать при работе с платформой *P2* 2D-информацию из модуля *CATIA-CADAM Drafting (CCD)*.

**10** *IGES Interface 1 (IG1)* – модуль генерации данных в формате *IGES Version 5.3* для двустороннего обмена с другими системами. Модуль позволяет создавать различные типы 3D-поверхностей, а также формировать отчет в *HTML*-формате.

**11** Можно настроить моделиер под стандарт предприятия (фильтры визуализации, цветовая, послойная разбивка изделия, анализ коллизий, настройка драфтинга). Применяя же *Knowledge* (модуль, не входящий в конфигурацию *P2 MD2*), правила и стандарты можно “зашивать” как правила моделирования и контроля выбранных деталей и узлов.

Теперь поговорим о недостающих, с точки зрения сопоставимости сравнительного анализа, инструментах.

**12** Средств создания тонколистовых деталей в *MD2* нет. В перечне модулей платформы *P2* есть модуль *Sheetmetal Design 2 (SMD)*, но он стоит дополнительные \$ 7 800.

Возможности по созданию сварочных сборочных единиц в *MD2* имеются (*Weld Planner*), но они сводятся лишь к определению сварного шва в сборочной единице: указанию, какие детали свариваются, указанию размера катета шва и выбору типа обозначения шва – косметическим операциям. Вряд ли можно считать эти возможности полноценным технологическим модулем сварки, так что в этом направлении есть над чем поработать.

**13** База стандартных элементов – одну предлагают некоторые поставщики *CATIA V5* за отдельную плату (\$1 000).

**14** *CATIA DMU Kinematics Simulator 2 (KIN)*. Предназначен для синтеза кинематических механизмов и моделирования их движения, в том числе и для очень больших сборок. Движение механизма можно задавать по численным значениям параметров или же вручную с помощью мыши, приводя в движение само звено механизма либо изменяя положение линейки прокрутки на панели управления. Воспроизведение движения сопровождается графической информацией о его параметрах. Предусмотрены создание “ометаемого” объема одного или нескольких звеньев механизма, а также

анализ геометрических конфликтов и относительных расстояний между звеньями. Данный модуль (как и *Pro/E MDE*) не позволяет определять реакции в опорах. Стоимость в “плавающем” варианте – \$ 9 750; фиксированное рабочее место – на 40% дешевле.

Решение *Dassault* о постепенном переходе с *Unix*-версии *CATIA V4* на новый продукт было принято под прессингом *Windows*-платформы, предлагающей все более дешевую аппаратную составляющую, а также под натиском непосредственных конкурентов в лице *PTC* и *UGS*, поставлявших более современные и гибкие продукты, основанные на *features*-технологиях и параметризации, полностью и своевременно перенесенные на платформу *Windows*. Разработка ядра геометрического моделирования для *CATIA V5* на языке *C++* была начата еще в 1993-94 гг. В целом следует сказать, что в процессе разработки система была переосмыслена, полностью переработана, заново написана. Существенно облегчен интерфейс, который стал типичным для приложений *Windows*. Смущающим потенциальных потребителей фактором, на мой взгляд, является слишком долгий процесс переноса функциональных возможностей *V4* в новую *V5* и дополнения последней более современными возможностями – *V5* уже около трех лет насыщается функциональностью “старшей сестры”. Необходимо отметить, что в отличие от политики *PTC CATIA* продается с обязательной поддержкой на первый год.

## Unigraphics version 18

Разработчиком *Unigraphics* является американская фирма *Unigraphics Solutions* (ныне *EDS*).

Рассмотрим функциональные возможности базового набора *UG/Designer Floating Bundle*.

### 1 Общие функции и моделирование.

✓ *UG/Gateway*. Базовый модуль *UG* обеспечивает доступ к базе данных, просмотр частей и выполнение функций, общих для остальных модулей: управление видами, закраска, получение изображения с удалением невидимых линий, компоновка видов, управление слоями. Модуль открывает и создает файлы *UG*, обеспечивает импорт/экспорт файлов разных форматов (*Parasolid*, стереолитография, *CGM*), а также отвечает за создание макрокоманд, настройку меню, управление процессом черчения. В него включены встроенная система подсказок, связь с электронной таблицей, вывод на печать и графопостроитель.

✓ *UG/Solid Modeling*. Модуль служит инструментом гибридного твердотельного моделирования, позволяя работать как с традиционной, так и с параметрической геометрией. Основные функции – проектирование кривых, эскизов и твердотельных примитивов, базовые операции над твердыми телами, построение твердых тел вращением и переносом контура, булевы операции, сшивание твердых тел с автоматическим сохранением параметров построения и ассоциативной связи между геометрическими объектами. Сюда входят все функции по просмотру дерева построения модели и редактированию геометрии.

✓ *UG/Features Modeling*. Модуль содержит дополнительный, ориентированный на конструктора набор операций твердотельного моделирования. Основные функции – создание типовых форм (отверстия, карманы, втулки, прямоугольные выступы, пазы), определение ссылочных плоскостей и осей на твердом теле, построение тел типа “труба” с произвольным сечением, построение тонкостенного тела из тела сплошного объема, задание фасок и скруглений с переменным радиусом, использование типовых элементов формы, созданных с помощью модуля *User Defined Features*.

✓ *UG/User Defined Features*. Модуль обеспечивает построение типового элемента, который может быть сколь угодно сложным твердым телом. В последующем этот типовой элемент может использоваться безо всяких ограничений, точно так же, как и любой стандартный типовой элемент твердотельного моделирования. Пользователь может создавать типовой элемент, используя инструментальные средства как базового модуля проектирования *Solid Modeling*, так и его расширения *Feature Modeling*. Созданное твердое тело может быть сохранено как типовое, при этом дополнительно определяются значения параметров по умолчанию, способ привязки типового элемента к твердому телу, логическая операция, выполняемая при присоединении типового элемента к твердому телу. Созданная библиотека типовых элементов доступна в удобной графической форме.

2 *UG/Drafting*. С помощью этого модуля можно создать любой чертеж на базе существующих трехмерной геометрической модели твердого тела, проволочной модели и эскизов. Имеется большое количество разнообразных функций, направленных на облегчение создания чертежей различных степеней сложности по любым стандартам. Полная ассоциативная связь чертежа с геометрической моделью позволяет иметь чертеж, точно соответствующий модели.

3 Трансляторы: *IGES* – двусторонний, *DXF/DWG* – двусторонний.

4 Прочностной анализ. В системе *Unigraphics* есть встроенные средства оценки деталей на прочность (*Stress wizard*). Ограничением является отсутствие возможности модификации сетки конечных элементов (только автоматическое построение, деталь разбивается единственным нерегулируемым способом), а также отсутствие анализа температурных нагрузок. Также нельзя задавать переменные по времени нагрузки. Таким образом, по возможностям этот модуль аналогичен первым версиям *Design Space*.

5 Фотореалистичное отображение модели. *UG/Web Render* – часть модуля *UG/Gateway*. Он позволяет переводить экранные изображения модели *Unigraphics* в такие форматы, как *CGM*, *VRML*, *TIFF*, *MPEG*, *GIF* и *JPEG*. Следует заметить, что полный набор возможностей рендеринга объектов существует, но за пределами минимальной конфигурации. Здесь же есть только средства получения изображения “технического качества”.

Естественно, еще имеется широкий круг возможностей анализа геометрии проектируемых деталей: толщины, расстояния и т. д.

Вот и весь “функционал”... Странным представляется тот факт, что фирма *EDS Unigraphics* в базовом наборе не предлагает средств моделирования сборочных единиц – того, что предлагают все конкуренты (пусть и не с полным сборочным потенциалом). Чтобы получить решение, более сопоставимое по возможностям с конкурирующими продуктами, добавим соответствующие модули и опишем их кратко.

**6** *UG/Free-Form Modeling* – проектирование поверхностей свободной формы. Модуль позволяет создавать и редактировать следующие типы поверхностей:

- линейчатые поверхности;
- поверхности на сетке кривых;
- поверхности на множестве точек;
- кинематические поверхности;
- сопрягающие поверхности;
- конические поверхности;
- эквидистантные и квазиэквидистантные поверхности.

Модуль позволяет редактировать, обрезать множество поверхностей другими, а также содержит мощные средства анализа свойств поверхности. Возможности построения поверхностей класса “А” в этот модуль не входят. Стоимость при дополнении базового – \$ 3 000.

**7** *UG/Assembly Modeling*. Модуль проектирования сборочных моделей, обеспечивающий создание сборок как снизу вверх, так и сверху вниз. Дает возможность создать сборку любой глубины вложенности из неограниченного количества компонентов, позволяет создать параметрическую базу стандартных сборочных компонентов, спецификацию по сборке, а также осуществлять контроль зазоров и взаимодействие компонентов. Стоимость при дополнении базового – \$ 2 000. Существует также дополнительный модуль с расширенными возможностями работы с большими сборками.

**8** *UG/Sheet Metal Design*. Модуль содержит набор функций специально для проектирования деталей из листового материала, изготавливаемых методом гибки. Используемые операции гибки, тиснения и обрезки соответствуют основным формообразующим технологиям для такого класса деталей. Конструктор может получить полную и частичную развертку детали с учетом технологических условий ее деформации. При выполнении операций построения могут использоваться таблицы разрешенных значений толщины листа, радиусовгиба и других параметров. Стоимость модуля при дополнении базового – \$ 2 500.

**9** *UG/Weld Assistant*. Модуль позволяет проектировать сварные соединения с использованием наиболее широко применяемых в промышленности методов сварки. Конструктор может спроектировать точечную сварку, роликовый сварной шов и дуговую сварку различной формы (проточки, пазы, ребра и т. д.). После создания модели автоматически создается 2D-чертеж. Модуль поддерживает также создание клеевых соединений. При проекти-

ровании сварочных элементов *Weld Assistant* использует технологию *UG/Knowledge Fusion* для автоматизации процесса с использованием базы знаний. При создании сварных швов поддерживаются стандарты *ISO, ANSI, DIN* и *JIS*. Стоимость модуля при дополнении базового – \$ 1 500.

**10** *UG/Scenario for Motion*. Модуль предназначен для сложного кинематического анализа и симуляции практически любого трехмерного механизма в среде *UG*. Механизм создается на уровне сборки, что дает возможность проводить проверку различных вариантов размещения механизма вместе с анализом на минимальные расстояния, пересечения и трассировкой движущихся деталей. Интерактивный кинематический режим позволяет одновременно управлять пятью приводами, задающими движение механизма. Анализируются силы реакции, выводятся графики перемещений, скоростей и ускорений. Полученные данные о силах реакции могут быть позднее использованы для расчета на прочность. При создании механизма используется широкий набор возможных типов кинематических пар. Привод задается линейной, гармонической функцией или уравнением в общем виде. Этот модуль использует встроенный решатель *ADAMS/Kinematics* фирмы *Mechanical Dynamics Inc.* и может создавать исходный файл для полного решателя *ADAMS/Solver* в случае более сложных прикладных задач.

Данный модуль предназначен также для анализа движения механических систем. Пользователь может ассоциативно вести процессы моделирования, анализа и расчета различного рода движений (статическое, кинематическое и динамическое моделирование). Имитационные модели создаются и рассчитываются при помощи различных объектов движения, включая шарниры, пружины, демпферы, втулки, места приложения сил и моментов. Свободное движение тела и места контактов между телами моделируются и включаются в процесс имитации. Можно создавать и рассчитывать различные сценарии, тестировать их, исправлять и добиваться оптимального результата. Данный модуль по возможностям опережает соответствующие продукты конкурентов. Стоимость с годовой поддержкой – \$ 12 000.

## Заключение

Для суммирования впечатлений от пространного описания возможностей систем постараемся свести в единую таблицу все их особенности. Нижняя строка послужит для попытки приведения “к одному знаменателю” (одинаковой функциональности) решений от всех трех производителей. Напомню, что дополнительные, не входящие в рассматриваемый базовый набор модули от *Dassault* и *EDS*, отмечены в перечнях звездочкой. При попытке подвести функциональность *Unigraphics* к *Foundation 2* решение от *EDS* получилось более мощным за счет наличия средств оценки деталей на прочность и более функционального модуля кинематики и динамики.

Даже невооруженным глазом заметна значительно более низкая стоимость базового набора *Pro/E* по сравнению с конкурентами. При этом *Foundation 2* ничуть не

уступает, а наоборот – более наполнен содержанием. Справедливости ради следует отметить, что при комплектации рабочих мест *Pro/E* дополнительными модулями стоимость решений от *PTC* становится ниже стоимости решений от *Dassault* и *UGS* уже не в разы (как в таблице), а несколько менее. Разница обычно составляет несколько десятков процентов. Но и тут, как показывает практика, часто решения от *PTC* остаются более доступными по цене. Традиционно *CATIA* и *Unigraphics* нацелены на рынок авиационных конструкторских фирм, которые оперируют огромными бюджетами. Наверное, этим частично и объясняются внушительные цены на эти продукты.

Разумеется, не следует забывать, что у всех рассматриваемых разработчиков есть скидки при покупке нескольких модулей для нескольких рабочих мест.

Есть смысл поговорить и о стоимости самой рабочей конструкторской силы, которая в СНГ (да и в странах Балтии) заметно ниже американской (начинающейся, по данным в июньском номере *Observer*'а, с 4000 долларов в месяц). Следовательно, разница в цене базового набора от *PTC* и, к примеру, *Dassault* – около 40 тыс. долларов – в переводе на стоимость труда эксплуатирующего это решение специалиста существенно превышает годовую заработную плату (согласно наблюдениям автора по зарплате конструкторов-дизайнеров в России). А ведь кадры решают все. Именно поэтому следует обращать внимание на подготовку персонала к работе с системами данного класса. Стоит над чем

подумать! Ведь в последнее время наметилось оживление у промышленных предприятий (у части из них, ориентированных в основном на экспорт), появились финансовые средства, а вот людской потенциал за период реформ часто оказывался растерян... Особенно тяжело найти конструкторов, соединяющих в себе качества технически, предметно грамотных специалистов и одновременно пользователей, способных тщательно и глубоко освоить и применить серьезные CAD/CAM-системы. В случае пренебрежения человеческим фактором существует опасность, что вложенные в аппаратную и программную часть средства могут “заржаветь” или станут использоваться по принципу “забивания гвоздей микроскопом”.

Предлагаемый в начале статьи принцип выбора CAD/CAM-системы по функциональности и стоимости является первым, которым следует пользоваться. Но не единственным. Вторым, но не менее важным критерием, полагаю, следует считать выбор системы по возможностям моделирования ею типовых конструкций предприятия или отрасли. Необходимо последовательно и углубленно рассмотреть, как та или иная система будет работать с типовыми конструкциями, легко ли и удобно конструктору и технологу будет исследовать их, вносить изменения в модель, насколько полно можно проанализировать работоспособность будущего изделия, насколько требовательна будет система к аппаратной части при выполнении типовых задач. Но это уже тема отдельной - развернутой, иллюстративной статьи.

**Сравнительная таблица минимальных конфигураций систем**

	Pro/ENGINEER R2001 (Foundation 2)	CATIA R5.7 (P2 MD2)	Unigraphics V18
Моделирование геометрии деталей с помощью твердотельной технологии	+	+	+
Моделирование по технологии булевых операций	-/+	+	+
Моделирование по фичерным технологиям ( <i>feature based solid modeling</i> )	+	+	+
Моделирование поверхностей (гибридное моделирование)	+	+	-
Работа со сборками (базовые возможности)	+	+	-
Генерация чертежно-конструкторской документации и спецификаций	+	+	+
Конструирование изделий из листового металла	+	-	-
Разработка сварных конструкций	+	-	-
Автоматизированные средства соблюдения корпоративных стандартов	+	+	+
Моделирование поведения механизмов	+	-	-
Средства геометрического анализа конструкций	+	+	+
Средства оценки деталей на прочность	-	-	+
Трансляторы данных	+	+	+
Создание фотореалистичных изображений	+	+	+
Доступ к библиотекам и сами библиотеки стандартных деталей, операций, символов	+	-	-
Стоимость лицензии (в USD)	<b>7 000</b>	<b>21 600</b>	<b>12 000</b>
Годовая поддержка и <i>upgrade</i>	2 100	3 024 (14%)	входят в верхнюю цифру
	вместе с обучением	вместе с обучением	
Обучение	-	-	3 600 (в неделю)**
<b>Итоговая стоимость, USD</b>	<b>9 100</b>	<b>24 624</b>	<b>15 600</b>
Стоимость при добавлении модулей, отмеченных звездочкой в описании <i>CATIA</i> и <i>Unigraphics</i> , для достижения более приближенной к <i>Foundation 2 Pro/E</i> функциональности	<b>9 100</b>	24 624+(7 800+0.14×7 800)×1.2+(9 750+0.14×9 750)×1.2 = <b>= 48 632.40</b>	15 600+3 000+2 000+2 500+1 500+12 000= <b>= 36 600</b>
<b>Примечания.</b> Все цены даны для России и указаны в долларах с учетом налога на добавленную стоимость (20%).			
** Обучение у партнеров EDS может быть ниже – 2 000 USD. 			