

# Геометрическое моделирование

на современном этапе развития.

## Сильные и проблемные стороны

А. Быков • Группа компаний ADEM

*По данным зарубежной и отечественной печати, современный этап внедрения систем автоматизированного проектирования характеризуется повышенным интересом к объемному моделированию. Это подтверждается также фактом, что развитие плоских систем практически незаметно на фоне бурного роста возможностей и числа продуктов трехмерного проектирования. В предлагаемой вашему вниманию статье рассмотрены некоторые причины данного явления, начиная с истории возникновения двух направлений моделирования*

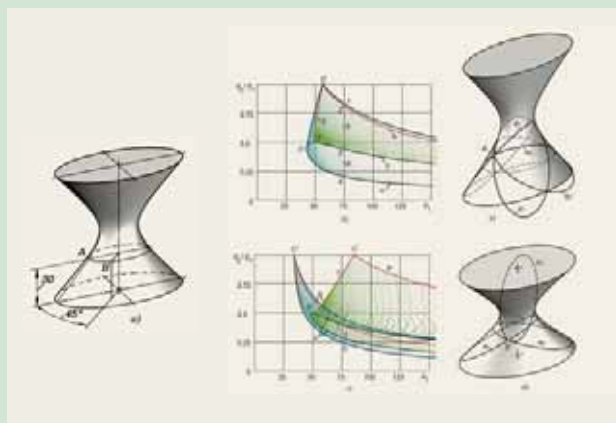
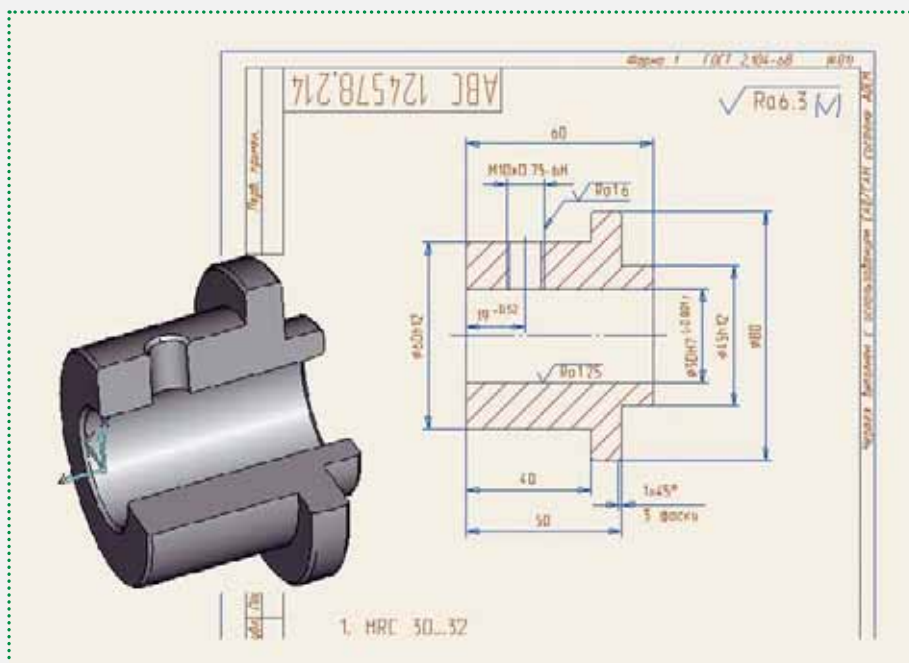


Фото с сайта: dngg.pstu.ru



### О В И В МОДЕЛИРОВАНИЯ

Теоретические основы САПР сформировались в 60-х — начале 70-х годов прошедшего столетия. В их основе — разнообразие математических моделей абстрактного изделия, в рамках которых объекты рассматриваются с точки зрения различных специальностей, применяются различные методы получения параметров: геометрические, технологические, тепловые, аэродинамические, эргономические и т.п. Именно разнообразие моделей привело впоследствии к классификации CAD/CAM/CAE/PDM/TDM... и к более глубокой специализации внутри каждого раздела.

Нас интересует CAD – Computer Aided Design, определяющий область геометрического моделирования, важность которой трудно переоценить, так как любые предметы описываются в первую очередь геометрическими параметрами. Современное производство невозможно без однозначного представления геометрии изделия.

Традиционный способ плоского геометрического моделирования состоял в применении линейки, циркуля и транспортира на чертежной доске. На конструкторском языке это называется провязкой, когда известная и вновь рождающаяся информация наносится на кальку или пергамент в максимально возможном масштабе. При этом погрешность построений составляет не менее 0.1 мм, а при задании угловыми значениями – не менее 1 мм на одном метре. Именно такова точность геометрического моделирования на кульмане, обеспечившая техническую революцию на рубеже девятнадцатого-двадцатого веков.

Появление ЭВМ расширило возможности вычислений по методам аналитической геометрии. Машинная графика стала новой основой для развития геометрического моделирования. К началу 80-х годов прошлого века началось бурное развитие плоских CAD-систем. Благодаря персональным компьютерам внедрение «электронных кульманов» стало носить массовый характер. AutoCAD из США, Dragon из Англии, CherryCAD из России – за этими первыми ласточками хлынул целый поток плоских «чертилок».

«Чертилки» довольно бойко работали, обеспечивая точность геометрии до 0.001 мм в метровых диапазонах. Инженеры сразу же оценили такие их преимущества, как: автоматизация построения геометрических элементов, копирование фрагментов, простота редактирования геометрической и текстовой информации, автоматическая штриховка и нанесение размеров, точность и качество документации, компактность хранения и др. Более того, внедрение компьютерного черчения практически не требовало изменения традиционного подхода к проектированию, что первоначально было воспринято как важнейшее преимущество плоских систем.

Отметим два варианта плоского моделирования в CAD системах. При чертежном способе описания геометрии изделия (яркий представитель – AutoCAD) основными инструментами являются отрезки, дуги, полилинии и кривые. Базовые операции моделирования на их основе – это продление, обрезка и соединение. В твердотельном способе основными инструментами являются замкнутые контуры; остальные элементы играют вспомогательную или оформительскую роль. При этом главные операции – булевы: объединение, дополнение, пересечение. Современные системы, как правило, эксплуатируют оба этих способа одновременно.

Замена объемной задачи семейством плоских долгое время оставалась единственным способом решения, она во многих случаях приводит к приемлемым результатам

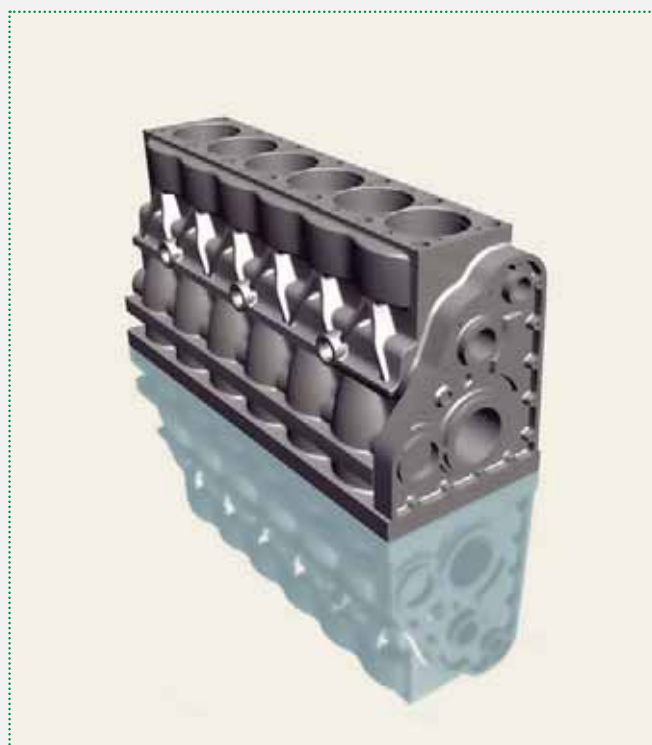


Рис. 2. Поверхностное моделирование

и сегодня. Но, при всех своих неопределимых достоинствах, плоское представление, а самое главное, система чертежных размеров, однозначны лишь до определенного уровня сложности конфигурации изделия.

В докомпьютерную эпоху необходимость работы с неаналитическими кривыми и поверхностями привела к возникновению плазово-шаблонного метода подготовки производства, где основой является мастер-модель. Модели, как правило, изготавливали из материалов, имеющих минимальные коэффициенты температурного расширения и большую износостойкость. В дополнение к чертежному хозяйству плазы и шаблоны являлись единственным и однозначным представлением части геометрии изделия на всем этапе проектирования производства. Тиражирование технологии изготовления на другие предприятия также сопровождалось копированием и передачей плазов и шаблонов.

## ОБЪЕМНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Идеология систем объемного моделирования базируется на объемной мастер-модели. Речь идет не просто о фрагментарно точной модели поверхности, которую обеспечивает плазово-шаблонный метод для эксклюзивных сечений, но о каждой точке поверхности. Однозначность модели по сравнению с чертежом несет в себе залог безошибочного взаимодействия всех участников процесса проектирования и подготовки производства.

А не значит ли это, что конструктор должен потратить несравнимо больше усилий для создания этой модели? Очевидно, что работа в пространстве требует несколько иных навыков, нежели традиционное черчение, но это совсем не означает, что для получения поверхности

требуется рассчитать и ввести в компьютер координаты каждой ее точки. В основе систем объемного моделирования лежат методы построения поверхностей на основе плоских и неплоских профилей. В общем случае профиль — это объект, описываемый отрезками, дугами и кривыми. Для конструктора профили — это сечения, виды, осевые линии.

Современные методы проектирования поверхностей позволяют строить объекты, основываясь на минимуме исходных данных, благодаря тому, что мощности вычислительной техники уже достаточно для быстрого просчета трехмерных уравнений аналитической геометрии. Например, один из наиболее распространенных методов, которым можно описать широкий класс объектов, это движение профиля вдоль направляющей.

Как и в случае плоских CAD систем, объемное моделирование развивалось по двум параллельным путям. В поверхностном моделировании (яркий представитель — *Cimatron*) основными инструментами являются поверхности, а базовыми операциями моделирования на их основе — продление, обрезка и соединение. То есть, конструктору предлагается описать изделие семейством поверхностей. При твердотельном способе (например, *SolidWorks*) основными инструментами являются тела, ограниченные поверхностями, а главными операциями — булевы: объединение, дополнение, пересечение. В этом случае конструктор должен представить изделие семейством простых (шар, тор, цилиндр, пирамида и т.п.) и более сложных тел.

Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки. Поверхностное моделирование популярно, в первую очередь, в инструментальном производстве, твердотельное, в основном, в машиностроении. Современные системы, как правило, содержат и тот, и другой инструментари. Например, на сегодняшний момент CAD/CAM ADEM, *SolidWorks*, *SolidEdge* позволяет работать как с телами, так и с отдельными поверхностями, используя булевы и поверхностные процедуры.

С трехмерной модели может быть получена не только информация о координатах любой точки на поверхности, но и другие характеристики: дифференциальные (нормали, кривизны и т.д.) или интегральные (объем, площадь поверхности, моменты инерции и т.д.). На ее основе всегда можно получить плоские модели: виды, сечения и разрезы, не прибегая к услугам разработчика или планового отдела. В отличие от двумерного чертежа, трехмерная модель является однозначным представлением геометрии и количественного состава объекта.

## ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОВ

Очень часто в инженерной практике довольно сложно найти критерии для формулировки геометрической задачи. Далеко не все параметры изделия находятся расчетным способом или в результате геометрических построений.

Нередко от проектанта можно слышать: «Есть начальное и конечное сечение элемента, а поверхность его — гладкий переход». Термин «гладкий», конечно, имеет геометрическую интерпретацию, но не несет точного описания поверхности. Встречаются и другие указания: «оптимальным способом», «рационально», «разумно» и пр. То есть, проектант хочет сказать, что истинного критерия полного описания геометрии он не знает, но если решение ему не понравится, то оно будет считаться неверным.

Для решения подобных задач в инструментари объемного моделирования должны быть средства управления не только «очевидными» геометрическими параметрами, но и аспектами. Под аспектами обычно понимают

численные переменные, которые определяют поведение кривых или поверхностей между контрольными точками и сечениями. С математической точки зрения — это параметры, управляющие законами изменения производных.

Те, кто начинает работать с объемным моделированием, часто выясняют, что виртуальное изделие несколько отличается от задуманного. Сколько раз нам приходилось выслушивать: «Да я быстрее начерчу, чем построю модель!» И примерно столько же раз получались неразъемные пресс-формы, не уместяющиеся в корпусе «кишки» агрегатов, цепляющие за кожух лопасти вентиляторов, и как следствие — изменения в конструкторской документации после изготовления опытного образца.

Ах, эти волшебные ТТ на чертеже типа «Припилить радиусом!» Ах, это удивление, что в результате припиливания срезается четверть хорды лопасти в одну смену и половина в другую! Никто, конечно, не застрахован от ошибок, просто в результате объемного моделирования их устраняется значительно больше, чем при плоских методах работы. Создание объемной модели до выхода на производство играет, в первую очередь, дисциплинирующую роль, предотвращающую дальнейшее разночтение.

Но есть ли необходимость создавать полную модель изделия с точностью до каждого входящего в конструкцию элемента? Ведь некоторые современные машины состоят более чем из десяти миллионов деталей. Какова должна быть степень детализации? Ответ на этот вопрос

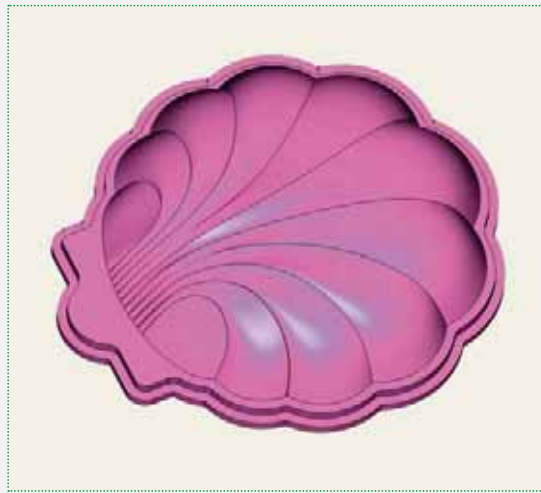


Рис. 3. Твердотельное моделирование

уже давно найден в инженерной практике и получил название «метод декомпозиции». Изделие при этом представляется как система агрегатов (отсеков), которые состоят из узлов, а те, в свою очередь, из деталей. В чертежном хозяйстве это выглядит как общие сборки, сборки, под сборки, детали и т.п.

Тот же метод применим и для объемного моделирования. При этом высшие модели могут включать в себя как детализованные низшие, так и их ГМ – габаритные макеты. Например, для проектирования электродвигателя нет необходимости иметь точную модель подшипника с шариками и сепаратором. Достаточно его габаритная модель с посадочными местами и плюс возможность визуально отличить его от других типов подшипников (роликовых, игольчатых и т.п.) без обращения к логической модели.

### ПРОБЛЕМНЫЕ МОМЕНТЫ

Появление методов математического моделирования породило естественное желание иметь как можно более общие модели. Ну, действительно, если мы строим модель, например, поршневого двигателя, то почему бы не распространить ее на весь ряд возможных моторов данного класса? Ведь структура их одинакова: цилиндр, поршень, шатун, коленвал и прочее. Имей обобщенную модель изделия – и не нужно никаких конструкторских бюро!

Идея не нова, и попыток было множество, и кое-где даже были успешные решения. В первую очередь там, где есть методики численного расчета всех геометрических параметров изделия. Однако, не всё можно рассчитать,

часть параметров получается в результате геометрических построений. Введением ассоциативных геометрических связей задача может быть решена, но из статической конструкции пользователь получает многозвенный механизм с множеством степеней свободы. А чем сложнее механизм, тем больше вероятность его отказа! Тем большее время уходит на его отладку, даже при всех современных успехах параметризации!

Разработчикам параметрических моделей следует помнить неписанный инженерный закон: полной преемственности в конструкции не бывает. Одно только это свидетельствует о невозможности заменить работу конструктора на работу обобщенной модели. Конструктор, создавая изделие, учитывает множество критериев, не имеющих явной линейной зависимости от размера: прочность, жесткость, устойчивость, технологичность, ремонтпригодность и т.д.. Сложность формализации подобных связей сильно ограничивает возможность создания обобщенных моделей.

Ассоциативность упоминают также и в связи с другой задачей. Если мы получаем чертежи по объемной модели, так почему бы не организовать изменение модели по измененному чертежу? Как заманчиво прост этот способ редактирования!

Однако, редактировать с помощью чертежа можно только то, что можно отредактировать на самой модели и ни грамма больше. Вспомним, что реальный чертеж – это, как правило, не просто проекции, виды и сечения, которые можно получить с модели. Чертежные стандарты не только допускают условности, но и предписывают их. Так, например, недопустимо

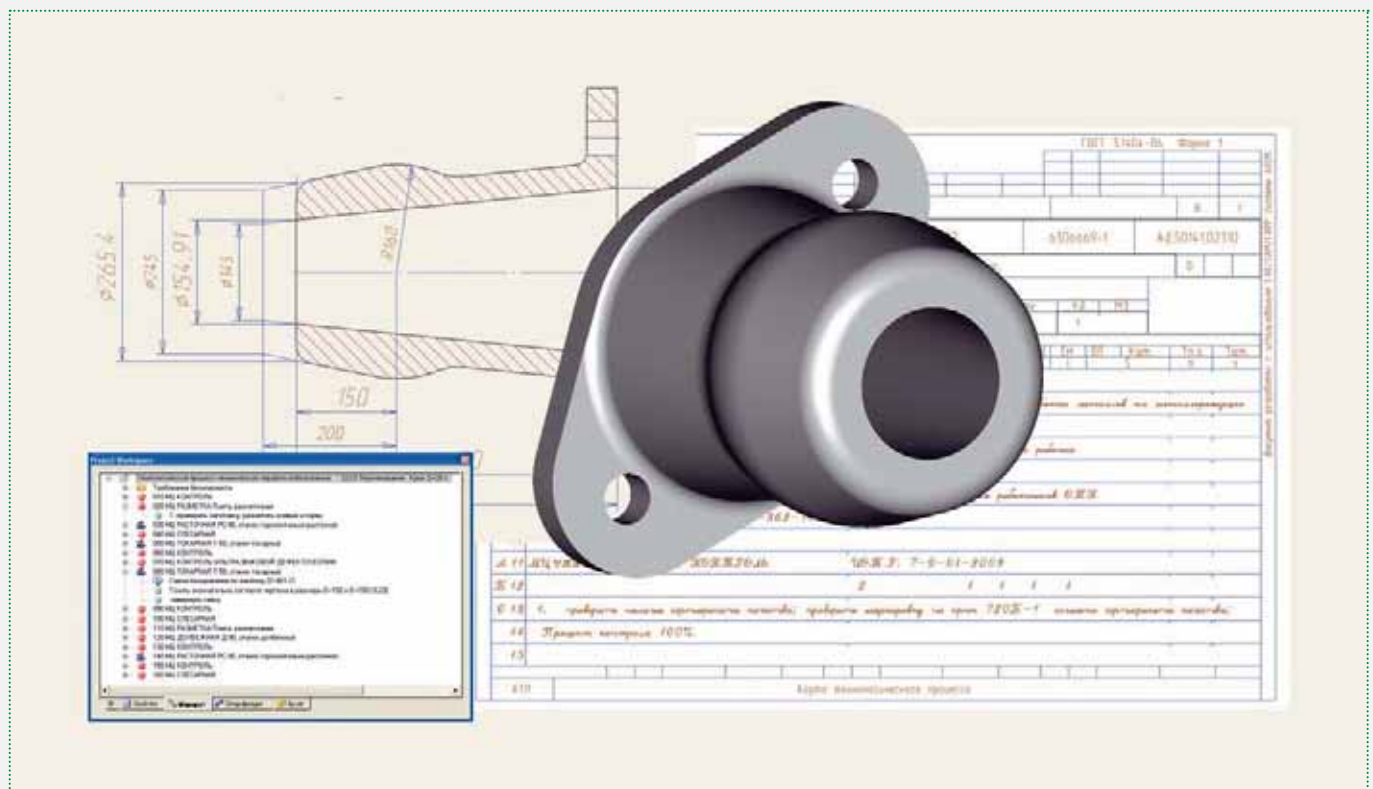


Рис. 4. Единый конструкторско-технологический документ

изображение линейных размеров с межстрелочным расстоянием менее 1 мм, в сечении тонкой оболочки толщина стенок также должна быть изображена утрированно и т.п. Более того, чертеж содержит много дополнительной информации, не связанной напрямую с моделью.

Как и в случае обобщенной параметрической модели, в ассоциативной связи «модель-чертеж-модель» много подводных камней, которые способны превратить преимущества метода в серьезные недостатки. Как говорится, в связях нужно быть разборчивым!

Теперь несколько слов о собираемости изделий. Объемные модели прекрасно работают в этой области на макроуровне. Но не так-то просто применить объемное моделирование к решению задачи собираемости изделия с учетом допусков. Да, конечно, можно вести моделирование по середине или границам полей допусков, что позволит решить некоторые частные задачи. Но общего способа автоматизации стохастического объемного моделирования пока не существует.

## ОБЛАСТЬ НАИВЫСШЕГО ЭФФЕКТА

Многие предприятия, которые прошли первый этап автоматизации, с удивлением замечают, что ускорение черчения за счет компьютеризации не приносит сколько-нибудь заметного сокращения сроков выпуска изделия. Возросшее качество чертежей и эффектные картинки объемных сборок мало влияют на качество производимых изделий. Нередко за этим следуют выводы о неэффективности систем автоматизированного проектирования для решения главных производственных задач. В чем же причина столь невеселых выводов и еще более грустных последствий?

Рассмотрим пример, когда в основу процесса проектирования-производства заложено не просто компьютерное черчение, а геометрическое моделирование. Являясь стержнем, мастер-модель пронизывает все этапы подготовки. При этом не происходит потерь данных, происходит лишь пополнение и уточнение их.

Начинают эффективно функционировать сквозные процессы, опирающиеся на геометрию. В первую очередь это подготовка обработки резанием, которая составляет основу современного производства.

Мы уже отмечали возросшую сложность геометрии современных изделий. Изготовление их без геометрической модели практически невозможно. Попробуйте вручную отфрезеровать две одинаковые пресс-формы автомобильного крыла или бампера. Или запрограммируйте их обработку на стойке станка с ЧПУ — это десятки тысяч кадров!

Наивысшая эффективность от внедрения геометрического моделирования проявляется тогда, когда система включает в себя не только конструкторское, но и технологическое моделирование. То есть, теперь нас интересует не только спецификатор CAD, а скорее интегрированные CAD/CAM системы. Аббревиатура CAM

означает автоматизацию решения геометрических задач технологии. В основном это расчет траектории движения режущего инструмента. От траектории движения инструмента зависит не только получаемая форма детали, но и качество ее поверхности, время обработки, износ инструмента и оборудования и еще многое другое, что можно исчислять в денежных единицах.

Применение интегрированных систем для конструкторско-технологической подготовки показало свою действительную эффективность во всех современных производствах. Интегрированные CAD/CAM — это максимально наукоемкие продукты, постоянно развивающиеся и включающие в себя новейшие знания в области моделирования и обработки. Приобретение подобных систем эквивалентно приобретению новой технологии. Они требуют серьезного подхода при внедрении и приносят ощутимый экономический эффект. Очень часто без них просто невозможно производить современные изделия.

Следует учесть, что далеко не всё, что называется сегодня CAD/CAM системами, является таковыми. Под этим понятием часто скрываются попытки выдать желаемое за действительное. Повышение спроса на интегрированные технологии заставляют многие фирмы в срочном порядке разрабатывать САМ часть к своим «чертилкам» или моделировщикам. Но суть в том, что создание технологических модулей требует в первую очередь большого производственного опыта и не может быть решено с наскока. Ошибки системы при черчении в худшем случае будут стоить рулон бумаги и флакон туши для плоттера. Ошибки же CAD/CAM системы обходятся значительно дороже и выражаются в сломанном оборудовании и инструменте, в испорченных деталях и в ощутимой потере тех же условных единиц.

Очень часто можно встретить коммерческий альянс конструкторской и технологической систем, которые интегрированы лишь на уровне совместных продаж. Возможна ли замена интегрированного CAD/CAM на комбинацию конструкторской и технологической системы? Практика показывает, что CAD для интегрированной системы значительно отличается от чисто конструкторского программного продукта. Кроме конструкторских задач он должен включать в себя специфику, необходимую для модификации геометрической модели с учетом технологии изготовления.

*Итак, мы отметили некоторые сильные и проблемные стороны геометрического моделирования. Мастер-модель изделия однозначно описывает его геометрию и представляет мощный инструмент для решения конструкторских и технологических задач. Для получения максимального эффекта от геометрического моделирования следует применять интегрированные CAD/CAM технологии. При этом затраты на первом этапе автоматизации — ключ к следующему этапу, когда геометрическое моделирование становится экономически очень выгодным.*