

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Основы компьютерного моделирования

Направление подготовки 27.03.04 Управление в технических системах

Профиль подготовки «Системы и средства автоматизации технологических процессов»

Форма обучения очная

СОДЕРЖАНИЕ

1. Конспект лекций.....	3
1.1 Лекция № 1 Системы геометрического моделирования	3
1.2 Лекция № 2 Функции систем твердотельного моделирования	8
1.3 Лекция № 3 Функции систем твердотельного моделирования	10
1.4 Лекция № 4 Структура представления данных в системах твердотельного моделирования.....	14
1.5 Лекция № 5 Структура представления данных в системах твердотельного моделирования.....	16
1.6 Лекция № 6 Немногообразные системы моделирования.....	19
1.7 Лекция № 7 Системы моделирования устройств.....	20
1.8 Лекция № 8 Краткие сведения о представлении кривых и поверхностей в системах геометрического моделирования.....	23
1.9 Лекция № 9 Краткие сведения о представлении кривых и поверхностей в системах геометрического моделирования.....	26
2. Методические указания по проведению практических занятий.....	29
2.1 Практическое занятие № ПЗ-1 Системы геометрического моделирования	29
2.2 Практическое занятие № ПЗ-2, ПЗ-3 Функции систем твердотельного моделирования	34
2.3 Практическое занятие № ПЗ-4, ПЗ-5 Структура представления данных в системах твердотельного моделирования.....	38
2.4 Практическое занятие № ПЗ-6 Немногообразные системы моделирования.....	43
2.5 Практическое занятие № ПЗ-7 Системы моделирования устройств.....	47
2.6 Практическое занятие № ПЗ-8 Краткие сведения о представлении кривых и поверхностей в системах геометрического моделирования.....	49

1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1. 1 Лекция №1 (2 часа).

Тема: «Системы геометрического моделирования»

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Назначение систем геометрического моделирования.
2. Классификация систем геометрического моделирования: системы каркасного, поверхностного и твердотельного моделирования.

1.1.2 Краткое содержание вопросов:

1 Назначение систем геометрического моделирования.

Геометрическое моделирование имеет своей целью описание элементов и явлений, обладающих геометрическими свойствами, поскольку наиболее естественным для них является графическое представление.

Геометрические модели нередко имеют иерархическую структуру, возникающую в процессе построения по принципу - снизу - вверх. Отдельные компоненты используются как строительные блоки для формирования объектов более высокого уровня, которые, в свою очередь, могут использоваться для объектов еще более высокого уровня. В общем случае геометрические модели подразделяются на двумерные и трехмерные.

При проектировании изображений реальных объектов, представленных в виде совокупности кривых линий и поверхностей, конструктор часто использует различные геометрические условия, например, прохождения через точки, касание к прямым или кривым линиям и т. д. Типичным примером двумерной геометрической модели является сложная кривая (обвод) представляющая собой кривую, составленную из нескольких кривых.

В двумерном геометрическом моделировании широко распространены задачи на интерполяцию, аппроксимацию и сглаживание. Названные виды построений возникают тогда, когда задана последовательность точек, которые необходимо соединить плавной кривой.

Геометрический образ, заменяющий с определенной степенью точности исходный геометрический образ, называется аппроксимирующим, а процесс его нахождения - аппроксимацией. Если аппроксимирующий обвод проходит через узловые (заданные) точки дискретного обвода, то он называется интерполирующим.

Аналогичные операции осуществляются и при трехмерном геометрическом моделировании, т. е. интерполяция и аппроксимация поверхностей, заданных дискретно в виде регулярного или нерегулярного набора точек или линий. При этом применяется каркасно-параметрический метод представления поверхности, позволяющий при необходимости перезадавать каркас линий на поверхности, сгущать этот каркас и т. д.

Часто встречающейся задачей геометрического моделирования является дискретизация поверхности, т. е. разбивка ее на отсеки (куски) одинакового или различного вида. Это необходимо, например, при расчете поверхности оболочки, при ее реализации в сборном железобетоне из отдельных панелей.

Важным разделом трехмерного геометрического моделирования является формирование в ЭВМ изображения объекта. Эти изображения могут быть синтезированы в различных проекционно-изобразительных системах методами перспективных, аксонометрических или ортогональных проекций. К задачам геометрического моделирования относятся также преобразования объектов, анализ их видимости на экране дисплея, а также решение позиционных и метрических задач на изображаемых объектах. Для эффективного достижения поставленных целей в машинной графике широко используется математический аппарат матриц.

2. Классификация систем геометрического моделирования: системы каркасного, поверхностного и твердотельного моделирования.

Системы геометрического моделирования позволяют работать с формами в трехмерном пространстве. Они были созданы для того, чтобы преодолеть проблемы, связанные с использованием физических моделей в процессе проектирования, такие как - сложность получения сложных форм с точными размерами, а также сложностью извлечения необходимых сведений из реальных моделей для их точного воспроизведения.

Эти системы создают среду, подобную той, в которой создаются физические модели. Другими словами, в системе геометрического моделирования разработчик изменяет форму модели, добавляет и удаляет ее части, детализируя форму визуальной модели. Визуальная модель может выглядеть также как и физическая, но она нематериальна. Однако трехмерная визуальная модель хранится в компьютере вместе со своим математическим описанием, благодаря чему устраняется главный недостаток физической модели - необходимость выполнения измерений для последующего прототипирования или серийного производства. Системы геометрического моделирования делятся на каркасные, поверхностные, твердотельные и немногообразные.

Системы каркасного моделирования

В системах каркасного моделирования форма представляется в виде набора характеризующих ее линий и конечных точек. Линии и точки используются для предоставления трехмерных объектов на экране, а изменение формы осуществляется путем изменения положения и размеров отрезков и точек. Другими словами, визуальная модель представляет собой каркасный чертеж формы, а соответствующее математическое описание представляет собой набор уравнений кривых, координат точек и сведений о связности кривых и точек. Сведения о связности описывают принадлежность точек к конкретным кривым, а также пересечение кривых друг с другом. Системы каркасного моделирования были популярны в ту пору, когда ГМ только начало зарождаться. Их популярность объяснялась тем, что в системах каркасного моделирования создание форм выполнялось через последовательность простых действий, так что пользователям было достаточно легко создавать формы самостоятельно. Однако визуальная модель, состоящая из одних лишь линий, может быть неоднозначной. Более того, соответствующее математическое описание не содержит сведений о внутренних и внешних поверхностях моделируемого объекта. Без этих сведений невозможно рассчитать массу объекта, определить траектории перемещения или создать сетку для конечноэлементного анализа, несмотря на то, что объект кажется трехмерным. Поскольку эти операции являются неотъемлемой частью процесса проектирования, системы каркасного моделирования были постепенно вытеснены системами поверхностного и твердотельного моделирования.

Системы поверхностного моделирования

В системах поверхностного моделирования математическое описание визуальной модели включает в себя не только сведения о характеристических линиях и их конечных точках, но и данные о поверхностях. При работе с отображаемой на экране моделью изменяются уравнения поверхностей, уравнения кривых и координаты точек. Математическое описание может включать сведения о связности поверхностей - как поверхности соединяются друг с другом и по каким кривым. В некоторых приложениях эти сведения могут оказаться очень полезными.

Существуют три стандартных метода создания поверхностей в системах поверхностного моделирования:

- 1) Интерполяция входных точек.
- 2) Интерполяция криволинейных точек.
- 3) Трансляция или вращение заданной кривой.

Системы поверхностного моделирования используются для создания моделей со сложными поверхностями, потому что визуальная модель позволяет оценить эстетичность

проекта, а математическое описание позволяет построить программы с точными расчетами траекторий движения.

Системы твердотельного моделирования

Предназначены для работы с объектами, состоящими из замкнутого объема, или монолита. В системах твердотельного моделирования, в отличие от систем каркасного и поверхностного моделирования, не допускается создание набора поверхностей или характеристических линий, если они не образуют замкнутого объема. Математическое описание объекта, созданного в системе твердотельного моделирования, содержит сведения, по которым система может определить, где находится линия либо точка: внутри объема, снаружи него или на его границе. При этом можно получить любую информацию об объеме тела, а значит, могут быть использованы приложения, работающие с объектом на уровне объема, а не на поверхностях.

Однако системы твердотельного моделирования требуют большего количества входных данных по сравнению с количеством данных, дающих математическое описание. Если бы система требовала от пользователя ввода всех данных для полного математического описания, она стала бы слишком сложной для пользователей, и они бы отказались от нее. Поэтому разработчики таких систем стараются представить простые и естественные функции, чтобы пользователи могли работать с объемными формами, не вдаваясь в подробности математического описания.

Функции моделирования, поддерживаемые большинством систем твердотельного моделирования, могут быть разделены на пять основных групп:

1) Функции создания примитивов, а также функции добавления, вычитания объема - булевские операторы. Эти функции позволяют проектировщику быстро создать форму, близкую к окончательной форме детали.

2) Функции создания объемных тел путем перемещения поверхности. Функция заметания позволяет создавать объемное тело трансляцией или вращением области, заданной на плоскости.

3) Функции, предназначенные главным образом для изменения существующей формы. Типичными примерами являются функции скругления или плавного сопряжения и поднятия.

4) Функции позволяющие непосредственно манипулировать составляющими объемных тел, то есть по вершинам, ребрам и граням.

5) Функции, используя которые проектировщик может моделировать твердое тело при помощи свободных форм.

Немногообразные системы моделирования

трехмерный геометрический визуальный каркасный

Системы твердотельного моделирования позволяют пользователю создавать тела с замкнутым объемом, то есть, говоря математическим языком, тела, представляющие собой многообразия. Другими словами, такие системы запрещают создание структур, не являющихся многообразными. Нарушениями условия многообразности являются, например касание двух поверхностей в одной точке, касание двух поверхностей вдоль открытой или замкнутой кривой, два замкнутых объема с общей гранью, ребром или вершиной, а также поверхности, образующие структуры типа сот.

Запрет на создание немногообразных моделей считался одним из достоинств систем твердотельного моделирования, поскольку благодаря этому любую созданную в такой системе модель можно было бы изготовить. Если же пользователь хочет работать с системой геометрического моделирования на протяжении всего процесса разработки, это достоинство оборачивается другой стороной.

Абстрактная модель со смешением измерений удобна тем, что она не стесняет творческую мысль конструктора. Модель со смешанными измерениями может содержать свободные ребра, слоистые поверхности и объемы. Абстрактная модель полезна также тем, что она может служить основой для проведения анализа. На каждом этапе процесса

проектирования могут применяться свои аналитические средства. Например, методом конечных элементов, непосредственно на исходном представлении модели, что позволяет автоматизировать обратную связь между этапами проектирования и анализа, которая в настоящий момент реализуется конструктором самостоятельно. Немногообразные модели незаменимы как этап развития проекта от неполного описания на низких уровнях до готового объемного тела.

Системы немногообразного моделирования позволяют использовать каркасные, поверхностные, твердотельные и сотовые модели одновременно в одной и той же среде моделирования, расширяя диапазон доступных моделей.

Описание поверхностей

Важной составной частью геометрических моделей является описание поверхностей. Если поверхности детали - плоские грани, то модель может быть выражена достаточно просто определенной информацией о гранях, ребрах, вершинах детали. При этом обычно используется метод конструктивной геометрии. Представление с помощью плоских граней имеет место и в случае более сложных поверхностей, если эти поверхности аппроксимировать множествами плоских участков - полигональными сетками. Тогда можно поверхность модель задать одной из следующих форм:

1) модель есть список граней, каждая грань представлена упорядоченным списком вершин (циклом вершин); эта форма характеризуется значительной избыточностью, так как каждая вершина повторяется в нескольких списках;

2) модель есть список ребер, для каждого ребра заданы инцидентные вершины и грани. Однако аппроксимация полигональными сетками при больших размерах ячеек сетки дает заметные искажения формы, а при малых размерах ячеек оказывается неэффективной по вычислительным затратам. Поэтому более популярны описания поверхностей кубическими уравнениями в форме Безье или 5-сплайнов.

Знакомство с этими формами удобно выполнить, показав их применение для описания геометрических объектов первого уровня - пространственных кривых.

Примечание. Геометрическими объектами нулевого, первого и второго уровней называют соответственно точки, кривые, поверхности.

В подсистемах МГиГМ используются параметрически задаваемые кубические кривые:

$$\begin{aligned}x(t) &= axt3 + bxt2 + cxt + dx; \\y(t) &= ay t3 + X by t2 + cy t + dy; \\z(t) &= a.t3 + b_t2 + c_j + d_,\end{aligned}$$

где $1 > t > 0$. Такими кривыми описывают сегменты аппроксимируемой кривой, т. е. аппроксимируемую кривую разбивают на сегменты и каждый сегмент аппроксируют уравнениями.

Применение кубических кривых обеспечивает (соответствующим выбором четырех коэффициентов в каждом из трех уравнений) выполнение четырех условий сопряжения сегментов. В случае кривых Безье этими условиями являются прохождение кривой сегмента через две заданные концевые точки и равенство в этих точках касательных векторов соседних сегментов. В случае 5-сплайнов выполняются условия непрерывности касательного вектора и кривизны (т. е. первой и второй производных) в двух концевых точках, что обеспечивает высокую степень гладкости кривой, хотя прохождение аппроксимирующей кривой через заданные точки здесь не обеспечивается. Применение полиномов выше третьей степени не рекомендуется, так как велика вероятность появления волнистости.

В случае формы Безье коэффициенты в уравнениях определяются, во-первых, подстановкой в уравнение значений $/ = 0$ к $/ = 1$ и координат заданных концевых точек P_1 и P_4 соответственно, во-вторых, подстановкой в выражения производных:

$$dx/dt = 3a t2 + 2b + c, \quad X X' x'$$

$$dy/dt = 3a, \quad \Gamma 2 + 2byt + c,$$

$$\frac{dz}{dt} = 3a.t^2 + 2b.t + c,$$

тех же значений $t = 0$ и $t = 1$ и координат точек P2 и P3, задающих направления касательных векторов.

Аналогично можно получить выражения для форм Безье и 5-сплайнов применительно к поверхностям с учетом того, что вместо уравнения используются кубические зависимости от двух переменных.

1. 2 Лекция №2 (2 часа).

Тема: «Функции систем твердотельного моделирования»

1.2.1 Вопросы лекции:

1. Функции создания примитивов.
2. Булевские операции.
3. Заметание. Скиннинг.
4. Скругление или плавное сопряжение.

1.2.2 Краткое содержание вопросов:

1. Функции создания примитивов.

Функции создания примитивов, сохраняемых заранее, и настраиваемых по их размерам. Функции добавления или вычитания частей тела также принадлежат к этой группе. Они называются булевыми операциями. Функции создания примитивов восстанавливают тело из числа примитивных тел, сохраняемых в библиотеке заранее и создают тело с тем же самым каркасом, но с размером, указанным пользователем. На рис. 5. показаны примитивы, поддерживаемые большинством систем твердотельного моделирования (в том числе и MicroStation). Примитивы сохраняются в некоторой процедуре, а значения параметров примитивов передаются процедуре как ее параметры. Комбинации примитивов с использованием булевых операций могут создавать любые тела. Булевы операции основаны на теории множеств и были применены как метод комбинирования примитивов при моделировании тел. Каждое примитивное тело рассматривается как множество взаимосвязанных точек, булевы операции выполняются на множествах точек и дают в результате тело, составленное из точек, получаемых в результате этих операций. Относительные местоположения и ориентации этих двух примитивов должны быть определены перед выполнением булевых операций. Булевы операции можно применять к двум любым телам, а не только к примитивам. При использовании булевых операций следует избегать ситуаций, которые приводят к недопустимым телам. Некоторые системы твердотельного моделирования дают предупреждение, когда встречается такая ситуация, а некоторые могут аварийно завершиться. Гибридные системы моделирования тел - поверхностей допускают такие ситуации. В этом случае точки могут быть пересечением двух или более топологических двумерных поверхностей.

2. Булевские операции.

Термин «булевая операция» в математике используется для обозначения операций сравнения между множествами. В 3D Studio MAX аналогичные операции сравнения применяются в отношении совмещающихся или перекрывающихся геометрических объектов сцены. Булева операция осуществляется путем создания булева составного объекта из двух существующих объектов — данные объекты называются операндами и обязательно должны пересекаться в некоторой области пространства. Операнды представлены в виде отдельных объектов на всей стадии редактирования булева составного объекта, что позволяет при необходимости выбирать и модифицировать их и даже выполнять анимацию.

Булевые объекты являются разновидностью составных объектов и поэтому принадлежат к группе **Compound Objects** (Составные Объекты) из категории **Geometry** (Геометрия) на панели **Create** (Создать). Технология создания булева объекта состоит из двух этапов — предварительной подготовки исходных объектов и последующего применения к ним требуемой булевой операции, причем перед применением последней один из исходных объектов обязательно должен быть выделен, иначе операция Boolean окажется недоступной.

3. Заметание. Скиннинг.

Функция заметания формирует объемное тело трансляцией или вращением замкнутой плоской фигуры. Если плоская фигура будет незамкнутой, в результате

заметания получится не объемное тело, поверхность. Такой вариант заметания поддерживается системами поверхностно моделирования. Функция скиннинга формирует замкнутый объем, натягивая поверхность на заданные плоские поперечные сечения тела. Если к натянутой поверхности не добавить конечные грани (два крайних сечения), в результате получится поверхность, а не замкнутый объем. В таком варианте функция скиннинга представлена в системах поверхностного моделирования.

4. Скругление или плавное сопряжение.

Скругление состоит в замене острого ребра или вершины гладкой криволинейной поверхностью.

1. 3 Лекция №3 (2 часа).

Тема: «Функции систем твердотельного моделирования»

1.3.1 Вопросы лекции:

1. Поднятие.
2. Объектно-ориентированное моделирование.
3. Моделирование границ.
4. Параметрическое моделирование

1.3.2 Краткое содержание вопросов:

1. Поднятие.

Поднятием называется перемещение всей грани объемного тела или ее части в заданном направлении с одновременным удлинением тела в этом направлении. При работе с функцией поднятия необходимо правильно указывать направление и дальность поднятия, чтобы добавленная часть тела не пересекалась с исходной.

2. Объектно-ориентированное моделирование.

Объектно-ориентированная модель предметной области представляет собой совокупность диаграмм, описывающих с использованием универсального языка объектного проектирования языка UML различные аспекты структуры и поведения информационной системы.

Диаграмма в UML — это графическое представление набора элементов, изображаемое чаще всего в виде связанного графа с вершинами (сущностями) и ребрами (отношениями). Диаграмма - это одна из проекций предметной области. Базисные конструкции унифицированного языка моделирования UML (сущности, отношения, диаграммы) приведены в руководстве разработчиков UML.

Основными разработчиками моделей объектов являются эксперты по управлению сложными динамическими системами в проблемных ситуациях. Они отбирают типовые решения, формируют словарь понятий, описывают действия в типовых проблемных ситуациях. Эксперты могут оказать существенную помощь в постановке задачи, в разработке возможных ситуаций, они могут сформировать цели и установить ограничения, разработать варианты решений и дать оценку их последствий и т.д.

Снижение риска проектирования достигается за счет реализации ряда итераций разработки (так называемая спиральная модель жизненного цикла разработки). Каждая итерация может приводить к созданию фрагмента или новой версии модели и включает этапы выработки требований, анализа, проектирования, реализации и тестирования.

Объектный подход содержит набор моделей, связанных с понятием класса/объекта, объединяющего данные (состояние) и поведение, что позволяет конструировать структуру обобщающих понятий над объектно — признаком структурной моделью. Важнейшим понятием объектной технологии является объект, определяемый как инкапсулирующая сущность, обладающая свойствами и методами. Объекты - это основные элементы, моделирующие реальный мир. Объектная декомпозиция, отраженная в спецификациях и кодах приложений, есть главное отличие объектного подхода.

Объект - это абстракция множества предметов реального мира, обладающих одинаковыми характеристиками и законами поведения. Объект представляет собой типичный неопределенный элемент такого множества. Экземпляр объекта - это конкретный определенный элемент множества. Например, в вычислительных сетях объектом является некоторый сервер, а экземпляром этого объекта — сервер, установленный в конкретной корпоративной сети.

Класс - это множество предметов реального мира, связанных общностью структуры и поведением. Элемент класса - это конкретный элемент данного множества. Например, в сфере организационного управления существует класс организационно-распорядительных документов. Таким образом, объект - это типичный представитель класса, а термины "экземпляр объекта" и "элемент класса" равнозначны.

Следующую группу важнейших понятий объектного подхода составляют инкапсуляция, наследование и полиморфизм.

Объектный подход предполагает, что собственные ресурсы, которыми могут манипулировать только методы самого объекта, скрыты от внешних компонентов. Сокрытие данных и методов в качестве собственных ресурсов объекта получило название инкапсуляции.

Понятие полиморфизма может быть интерпретировано как способность объекта принадлежать более чем одному типу. Существуют и другие виды полиморфизма, такие как перегрузка и параметрический полиморфизм. С помощью перегрузки имена, обозначающие названия методов, могут быть использованы для указания различающихся реализаций. Наиболее распространенная форма параметрического полиморфизма в большинстве языков программирования состоит в возможности использования типов в качестве параметров программных единиц.

Объектная модель активно использует аппарат наследования, что позволяет справляться с колоссальным количеством и разнообразием управляемых компонентов и их атрибутов. Наследование означает построение новых классов на основе существующих с возможностью добавления или переопределения данных и методов.

Объектно-ориентированная система изначально строится с учетом ее эволюции. Ключевые элементы объектного подхода - наследование и полиморфизм - обеспечивают возможность определения новой функциональности классов объектов с помощью создания производных классов - потомков базовых классов. Потомки наследуют характеристики родительских классов без изменения их первоначального описания и добавляют при необходимости собственные структуры данных и методы.

Третьим важным качеством объектного подхода является согласованность моделей системы от стадии анализа до программных модулей. Требование согласованности моделей выполняется благодаря возможности применения абстрагирования, модульности, полиморфизма на всех стадиях разработки. Модели анализа могут быть непосредственно подвергнуты сравнению с моделями реализации. По объектным моделям может быть прослежено отображение реальных сущностей моделируемой предметной области в объекты и классы информационной системы.

3. Моделирование границ.

Моделирование границ — разновидность инновационного моделирования, заключающаяся в осуществлении человеком действий, различающих для него альтернативные исходы реального или возможного опыта (например, позитивные или негативные). М. г. представляет собой механизм самообучения человека в ситуации неопределенности относительно возможных последствий собственных действий. Посредством М. г. устанавливаются пределы, за которыми позитивный эффект опыта неслучайным образом сменяется негативным эффектом, — тем самым максимизируется область привлекательных или приемлемых для индивида решений. Первоначально, т.е. до осуществления акта М. г., условия потенциально успешного действия индивида как бы отделены для него от условий, вызывающих неуспех, невидимой и неосязаемой чертой, — только действуя, человек способен прочертить границу между возможностями, ведущими к альтернативным исходам.

4. Параметрическое моделирование.

Параметрическое моделирование (параметризация) — моделирование (проектирование) с использованием параметров элементов модели и соотношений между этими параметрами. Параметризация позволяет за короткое время «проиграть» (с помощью изменения параметров или геометрических соотношений) различные конструктивные схемы и избежать принципиальных ошибок.

Параметрическое моделирование существенно отличается от обычного двумерного черчения или трёхмерного моделирования. Конструктор в случае параметрического проектирования создаёт математическую модель объектов с параметрами, при изменении

которых происходят изменения конфигурации детали, взаимные перемещения деталей в сборке и т. п.

Идея параметрического моделирования появилась ещё на ранних этапах развития САПР, но долгое время не могла быть осуществлена по причине недостаточной компьютерной производительности. История параметрического моделирования собственно началась в 1989 году, когда вышли первые САПР с возможностью параметризации. Первопроходцами были Pro/Engineer (трёхмерное твердотельное параметрическое моделирование) фирмы Parametric Technology Corporation и T-FLEX CAD (двумерное параметрическое моделирование) фирмы Топ Системы[1][2]

Параметризация двумерных чертежей обычно доступна в CAD-системах среднего и тяжёлого классов[неизвестный термин]. Однако ставка в этих системах сделана на трёхмерную технологию проектирования, и возможности параметризации двухмерных чертежей практически не используются. Параметрические CAD-системы, ориентированные на двухмерное черчение (лёгкий класс), зачастую являются «урезанными» версиями более продвинутых САПР.

Трёхмерное параметрическое моделирование является гораздо более эффективным (но и более сложным) инструментом, нежели двумерное параметрическое моделирование. В современных САПР среднего и тяжёлого классов наличие параметрической модели заложено в идеологию самих САПР. Существование параметрического описания объекта является базой для всего процесса проектирования.

Табличная параметризация заключается в создании таблицы параметров типовых деталей. Создание нового экземпляра детали производится путём выбора из таблицы типоразмеров. Возможности табличной параметризации весьма ограничены, поскольку задание произвольных новых значений параметров и геометрических отношений обычно невозможно.

Однако табличная параметризация находит широкое применение во всех параметрических САПР, поскольку позволяет существенно упростить и ускорить создание библиотек стандартных и типовых деталей, а также их применение в процессе конструкторского проектирования.

Иерархическая параметризация (параметризация на основе истории построений) заключается в том, что в ходе построения модели вся последовательность построения отображается в отдельном окне в виде «древа построения». В нем перечислены все существующие в модели вспомогательные элементы, эскизы и выполненные операции в порядке их создания.

Помимо «древа построения» модели, система запоминает не только порядок её формирования, но и иерархию её элементов (отношения между элементами). Пример: сборки → подсборки → детали.

Параметризация на основе истории построений присутствует во всех САПР, использующих трёхмерное твердотельное параметрическое моделирование. Обычно такой тип параметрического моделирования сочетается с вариационной и/или геометрической параметризацией.

Вариационная, или размерная, параметризация основана на построении эскизов (с наложением на объекты эскиза различных параметрических связей) и наложении пользователем ограничений в виде системы уравнений, определяющих зависимости между параметрами.

Процесс создания параметрической модели с использованием вариационной параметризации выглядит так:

На первом этапе создаётся эскиз (профиль) для трёхмерной операции. Далее на эскиз накладываются необходимые параметрические связи.

Затем эскиз «образмеривается», уточняются отдельные размеры профиля. На этом этапе отдельные размеры можно обозначить как переменные (например, параметру,

обозначающему длину некой детали, присвоить имя «Length») и задать зависимости других размеров от этих переменных в виде формул (например, «Radius=Length/2»)

Затем производится трёхмерная операция (например, выдавливание), значение атрибутов операции тоже служит параметром (например, величина выдавливания).

В случае необходимости создания сборки взаимное положение компонентов сборки задаётся путём указания сопряжений между ними (совпадение, параллельность или перпендикулярность граней и рёбер, расположение объектов на расстоянии или под углом друг к другу и т. п.).

Вариационная параметризация позволяет легко изменять форму эскиза или величину параметров операций, что позволяет удобно модифицировать трёхмерную модель.

Геометрической параметризацией называется параметрическое моделирование, при котором геометрия каждого параметрического объекта пересчитывается в зависимости от положения родительских объектов, его параметров и переменных.

Параметрическая модель, в случае геометрической параметризации, состоит из элементов построения и элементов изображения. Элементы построения (конструкторские линии) задают параметрические связи. К элементам изображения относятся линии изображения (которыми обводятся конструкторские линии), а также элементы оформления (размеры, надписи, штриховки и т. п.).

Одни элементы построения могут зависеть от других элементов построения. Элементы построения могут содержать и параметры (например, радиус окружности или угол наклона прямой). При изменении одного из элементов модели все зависящие от него элементы перестраиваются в соответствии со своими параметрами и способами их задания.

Процесс создания параметрической модели методом геометрической параметризации выглядит так:

На первом этапе конструктор задаёт геометрию профиля конструкторскими линиями и отмечает ключевые точки.

Далее проставляет размеры между конструкторскими линиями. На этом этапе можно задать зависимость размеров друг от друга.

Затем обводит конструкторские линии линиями изображения — получается профиль, с которым можно осуществлять различные трёхмерные операции.

Последующие этапы в целом аналогичны процессу моделирования методом вариационной параметризации.

Геометрическая параметризация позволяет более гибко редактировать модели. Если надо внести незапланированное изменение, то в геометрию модели не обязательно удалять исходные линии построения (это может привести к потере ассоциативных связей между элементами модели), — можно провести новую линию построения и перенести на неё линию изображения.

1. 4 Лекция №4 (2 часа).

Тема: «Структура представления данных в системах твердотельного моделирования»

1.4.1 Вопросы лекции:

1. Дерево конструирования (дерево CGS).
2. Структура данных B-Rep (граничное представление).

1.4.2 Краткое содержание вопросов:

1. Дерево конструирования (дерево CGS).

Дерево целей» представляет собой структурированный план совокупности целей. Согласно с принципом иерархии, в нем четко обозначена главенствующая цель («вершина дерева») и цели второстепенные (его «ветви»), подчиненные главной. Именно благодаря тому, что представленная в виде схемы совокупность целей, распределенных по уровням, внешне напоминает перевернутое дерево, план и получил своё название - «дерево целей».

Дерево целей, как один из методов достижения поставленной цели, пользуется популярностью в различных сферах деятельности человека. Он может стать помощником при составлении прогнозов перспективы развития науки и техники, при разработке стратегических планов фирм и крупных корпораций. Актуальность этого метода обусловлена его способностью объединить очевидные задачи каждого этапа с целью в перспективе. При этом выполнение каждой текущей задачи непосредственно приближает к вершине дерева (конкретной поставленной цели).

Иными словами, без планомерной реализации текущих задач невозможно приблизится к самой главной цели, находящейся в основе всего плана. При этом нет необходимости стоять дерево целей, преследуя идею решения глобальных задач. Спланируйте всего один месяц или неделю, метод оправдает себя и здесь.

Идея построения дерева целей может быть очень полезна при планировании бизнеса или составления программы праздника. В этом случае оно поможет четко определить задачи, требующие немедленного решения и те, решение которых можно отложить.

Дерево целей дает возможность определить наиболее выгодные комбинации, которые в состоянии обеспечить наилучшую отдачу. Само название «дерево» предусматривает наличие иерархической структуры, которая получается разделением цели общей на подцели.

2. Структура данных B-Rep (граничное представление).

Структуры данных, используемые для описания объемных тел, обычно делятся на три типа в зависимости от того, какие тела ими описываются. Первая структура представляет собой дерево, описывающее историю применения булевых операций к примитивам. Журнал операций называется *конструктивным представлением объемной геометрии* (*Constructive Solid Geometry — CSG representation*). Дерево называется *деревом CSG* (*CSG tree*). Вторая структура содержит сведения о границах объема (вершинах, ребрах, гранях и их соединении друг с другом). Это представление называется *граничным представлением* (*boundary representation - B-rep*), а **структурой данных** - *структурой B-rep* (*B-rep data structure*). Многие структуры B-тер строятся по-разному в зависимости от того, какой элемент считается основным при сохранении сведений о связности. Третья структура представляет объем в виде комбинации элементарных объемов (например, кубов). Можно придумать множество моделей разложения, выбирая разные элементарные объемы, но ни одна из них не может точно описать объемное тело.

Примером некорректного объемного тела является тело с лишним ребром. Для него деление объема на внутренний и внешний вблизи вершины, к которой подходит это ребро, оказывается неоднозначным;

Структура данных B-Rep

Границы объемных тел состоят из элементарных геометрических объектов: вершин, ребер и граней1. В структуре данных B-Rep хранятся все эти элементы вместе со

сведениями о том, как они соединены друг с другом. В таблице граней хранится список ограничивающих ребер для каждой грани. Последовательность ребер для каждой грани дается обходом против часовой стрелки, если смотреть на тело снаружи. Благодаря тому, что ребра хранятся согласованно, вместе с каждой гранью сохраняется информация о том, с какой стороны от нее находится внутренний объем тела. Другими словами, имея сведения о гранях, вы можете определить, где расположена конкретная точка: снаружи или внутри тела. Вершины, ребра и грани нумеруются системой геометрического моделирования в произвольном порядке в момент сохранения сведений.

В каждой строке таблицы ребер хранятся вершины, находящиеся на концах соответствующего ребра, а в строках таблицы вершин хранятся координаты всех вершин. Эти координаты обычно определяются в модельной системе координат, связанной с данным телом. Если убрать отсюда таблицу граней, эту структуру данных можно будет использовать для хранения форм, созданных в системах каркасного моделирования. Структура данных для каркасной модели может использоваться в качестве базовой для систем автоматизированной разработки чертежей, если допустить указание двумерных координат для точек.

Структура данных B-Rep выглядит очень простой и компактной. Однако она не используется в развитых системах твердотельного моделирования из-за перечисленных ниже недостатков.

1. Структура данных B-Rep ориентирована на хранение плоских многогранников. Если потребуется сохранить данные о теле с криволинейными гранями и ребрами, строки таблиц граней и ребер придется изменять таким образом, чтобы в них можно было включить уравнения поверхности и кривой соответственно. Уравнения для плоских граней сохранять не обязательно, поскольку плоские грани определяются находящимися на них вершинами.

2. Грань с внутренними и внешними границами не может быть сохранена в таблице граней, поскольку для нее нужно два списка ребер вместо одного. Такие грани появляются, например, при моделировании объемных тел со сквозными отверстиями. Простым решением этой проблемы является добавление ребра, соединяющего внешнюю и внутреннюю границы. В этом случае два списка вершин могут быть объединены. Соединительное ребро называется мостиком или перемычкой (bridge edge) и попадает в список ребер в двух экземплярах.

Количество ребер у разных граней может быть различно. Более того, невозможно определить заранее количество столбцов (но одному на каждое ребро), которые потребуются для конкретной грани, поскольку это количество может меняться в процессе моделирования. Следовательно, количество столбцов должно сохраняться в виде переменной в момент объявления таблицы граней. Работа с таблицей переменного размера создает некоторые неудобства.

Получать сведения о связности непосредственно из данных, сохраненных в трех таблицах, может быть довольно утомительно. Представьте себе поиск двух граней с общим ребром в случае граничного представления тела в трех таблицах. Придется просмотреть всю таблицу граней, чтобы найти строки, в которых присутствует нужное ребро. Если нужно найти все ребра, соединяющиеся в конкретной вершине, опять-таки придется просматривать всю таблицу ребер. Легко видеть, что при больших размерах таблиц поиск в них становится крайне неэффективным.

1. 5 Лекция №5 (2 часа).

Тема: «Структура представления данных в системах твердотельного моделирования»

1.5.1 Вопросы лекции:

1. Структуры декомпозиционной модели:
 - воксельное представление;
 - представление октантного дерева;
 - ячеичное представление.

1.5.2 Краткое содержание вопросов:

1. Структуры декомпозиционной модели.

Декомпозиция — разделение целого на части. Также декомпозиция — это научный метод, использующий структуру задачи и позволяющий заменить решение одной большой задачи решением серии меньших задач, пусть и взаимосвязанных, но более простых.

Декомпозиция, как процесс расчленения, позволяет рассматривать любую исследуемую систему как сложную, состоящую из отдельных взаимосвязанных подсистем, которые, в свою очередь, также могут быть расчленены на части. В качестве систем могут выступать не только материальные объекты, но и процессы, явления и понятия.

Объемная модель может быть приближенно представлена в виде совокупности простых тел, например кубов. Такая модель называется декомпозиционной (decomposition model). Можно предложить много декомпозиционных моделей описания одного и того же тела. Модель включает в себя простейшее тело и метод объединения в совокупность. К типичным декомпозиционным моделям с соответствующими структурами данных относятся воксельное представление, представление октантного дерева и ячеичное представление.

Воксельное представление.

Воксельное представление (voxel representation) объемного тела — это просто трехмерный аналог растрового представления плоской фигуры. Чтобы рассказать о воксельном представлении, нам придется вспомнить процедуру получения растрового представления или растрового изображения. Растровое изображение двумерного объекта формируется следующим образом. Сначала создается квадрат, размер которого соответствует интересующей нас области двумерного пространства. Затем квадрат делится на много маленьких квадратиков путем нанесения на него линий сетки. Расстояние между линиями сетки определяется желаемой точностью растрового представления. Другими словами, если это расстояние будет очень маленьким, то растровое изображение будет очень точно воспроизводить форму исходного двумерного объекта. В противном случае получится лишь грубое приближение. Квадрат, содержащий много маленьких квадратиков, представляется в компьютере в виде двумерного массива, количество элементов в котором совпадает с количеством квадратиков. Наконец, большой квадрат накладывается на двумерный объект, и элементы массива, соответствующие квадратикам, находящимся над объектом, получают значение 1, а остальные элементы получают значение 0. Получившийся массив нулей и единиц становится растровым представлением двумерного объекта.

Воксельное представление объемного тела получается при помощи той же процедуры, что и растровое представление. Однако начинается она не с большого квадрата и маленьких квадратиков, а с большого куба и маленьких кубиков, называемых вокселями. Деление на воксели осуществляется сеткой плоскостей, расположенных на равном расстоянии друг от друга перпендикулярно осям x, y и z. Исходный куб представляется в виде трехмерного массива, количество элементов которого совпадает с количеством кубиков, и каждому элементу массива присваивается значение 0 или 1 в зависимости от положения элемента в теле.

Несмотря на то что эта процедура практически идентична процедуре формирования раstra, проверка пересечения тела и кубика требует больших вычислений, чем аналогичная двумерная задача.

Воксельное представление обладает следующими преимуществами.

1. Воксельное представление позволяет точно или по крайней мере приблизительно описать объемное тело совершенно произвольной формы. Например, модели человеческих костей и органов часто являются вексельными представлениями данных цифровой томографии. Моделировать такие формы при помощи обычных функций очень сложно.

2. Воксельное представление позволяет с легкостью рассчитывать такие параметры объемного тела, как масса и моменты инерции. Расчет осуществляется путем суммирования параметров отдельных вокселов. Также легко получить результат булевской операции. Вообще говоря, для этого достаточно всего лишь применить булевскую операцию к целочисленным значениям соответствующих вокселов двух тел.

3. Хотя воксельное представление предназначено для описания объемного тела в пространстве, оно автоматически описывает и пространство вне тела. Поэтому оно удобно для расчета объема полых структур. Применимо оно и для расчета траекторий движения роботов, уклоняющихся от препятствий, поскольку воксельное представление препятствий содержит информацию о свободном пространстве.,

Есть у вексельного представления и некоторые недостатки.

1. Объем памяти, требуемый для хранения вексельного представления тела, резко возрастает с уменьшением размеров вокселов. Размер вокселов определяет точность приближения исходного тела, поэтому моделирование может потребовать предельного его снижения.

2. Воксельное представление по определению является приближенным описанием исходного тела. Поэтому систем твердотельного моделирования, в которых оно является основным математическим описанием объектов, довольно мало. Воксели часто используются в качестве внешнего представления, повышающего эффективность вычислений.

Представление октантного дерева.

Представление октантного дерева (octree representation) аналогично воксельному в том плане, что тело рассматривается как совокупность шестигранников (куб — это правильный шестигранник). Однако это представление предъявляет значительно менее серьезные требования к памяти благодаря иной схеме деления пространства. В воксельном представлении исходный куб делится сеткой плоскостей, находящихся на равном расстоянии друг от друга по осям x, y и z. В представлении октантного дерева исходный куб делится каждый раз на восемь равных кубов поперечными плоскостями. Объем маленького куба в восемь раз меньше объема исходного, отсюда и название представления. Более того, если кубики представить в виде узлов дерева, то от каждого узла будет отходить восемь ветвей. Такое дерево и называется октантым (octree). Если бы каждый кубик всегда делился на восемь меньших вне зависимости от формы моделируемого тела, то результат был бы полностью аналогичен воксельному представлению с кубиками постоянного размера. Однако в представлении октантного дерева некоторые кубики делятся на восемь частей, тогда как другие кубики того же уровня остаются целыми. Определяется это положением кубиков по отношению к представляемому телу.

Процедура построения представления октантного дерева выглядит следующим образом. Сначала создается шестигранник, в который моделируемое тело помещается целиком. Этот шестигранник называется корневым октантом (root octant). Затем корневой октант делится на восемь октантов, после чего анализируется их положение в пространстве по отношению к моделируемому телу. Если октант находится полностью внутри тела, он считается «черным»; если снаружи — «белым». Если же октант частично

лежит внутри тела, а частично — снаружи, то он считается «серым» и делится на восемь октантов меньшего размера. Черные и белые октанты дальше не делятся. Процедура повторяется до тех пор, пока не будет достигнут заданный минимальный размер октанта. После этого октанты, окрашенные в черный цвет, считаются относящимися к исходному телу⁸.

Ячеичное представление.

Ячеичное представление (cell representation) - это еще один метод представления объемного тела в виде комбинации простых элементов, подобный воксельному представлению. Однако, как следует из названия представления ячеичный метод не накладывает жестких ограничений на форму этих элементов. Практически любое объемное тело можно представить при помощи небольшого набора простых ячеек.

1 Грань — часть граничной поверхности, граница которой состоит из криволинейных сегментов, при пересечении которых происходит существенное изменение вектора нормали к поверхности. Криволинейные сегменты, ограничивающие грань, называются ребрами. Точки, в которых встречаются соседние ребра, называются вершинами.

2 Уравнения поверхностей и кривых, а также координаты вершин называют геометрическими данными, тогда как отношения между гранями, ребрами и вершинами называют топологическими данными. Данные в любой структуре В-Rep могут быть классифицированы либо как геометрические, либо как топологические.

3 Эту проблему можно решить и с односвязным списком. Мы выбрали двойной связный список, чтобы получить ту полуреберную структуру, которую предложил Мянтюля [106].

4 Внешнее кольцо и кольца отверстий называются также родительским (parent loop) и дочерними кольцами (child loop) соответственно.

5 Вершина полуребра считается начальной или конечной в соответствии с направлением этого полуребра.

6 Вокsel — это трехмерный аналог пикселя. Последние четыре буквы названия взяты от слова "пиксел"(pixel), а первые две — от слова "объем" (volume).

7 Аналогичное представление можно построить и для двумерного объекта, но в этом случае дерево будет называться квадрантным (quadtree).

8 Серые октанты также могут быть включены в представление. Объем тела при этом ока зывается большим действительного. Если же брать только черные октанты, объем полу чится заведомо меньшим действительного.

1.6 Лекция №6 (2 часа).

Тема: «Немногообразные системы моделирования»

1.6.1 Вопросы лекции:

1. Понятие о немногообразных системах моделирования.
2. Возможности немногообразных систем моделирования.

1.6.2 Краткое содержание вопросов:

1. Понятие о немногообразных системах моделирования.

Проясним различие между моделями, являющимися многообразиями, и моделями, не являющимися таковыми. В многообразии каждая точка на поверхности является двумерной, то есть ее окрестность гомоморфна двумерному диску. Другими словами, хотя поверхность существует в трехмерном пространстве, с топологической точки зрения она является плоской, если рассматривать достаточно малый ее участок в окрестности любой заданной точки. Исторически все системы твердотельного моделирования с представлением B-Rep работали только с многообразиями. В модели, не являющейся многообразием, окрестность некоторой точки на поверхности не обязана быть плоской. Точка может быть пересечением двух и более топологически плоских поверхностей (V1, V2 и V4) или плоской поверхности или одномерной кривой (V3).

2. Возможности немногообразных систем моделирования.

У вас может возникнуть вопрос, зачем создавать модели, не являющиеся многообразиями. Запрет на создание немногообразных моделей считался одним из достоинств систем твердотельного моделирования, поскольку благодаря этому любую созданную в такой системе модель можно было бы изготовить. Если же вы хотите работать с системой геометрического моделирования на протяжении всего процесса разработки, это достоинство оборачивается другой стороной. Конструктор, которому нужен пластиковый контейнер, мог бы начать с модели, не вводя заранее данных о толщине стенок контейнера. А геометрическая модель могла бы стать естественным началом для структуры, состоящей из объемного блока и пластины, прицепленной к нему жгутом.

Абстрактная модель со смешением измерений удобна тем, что она не стесняет творческую мысль конструктора. Модель со смешанными измерениями может содержать свободные ребра, слоистые поверхности и объемы. Абстрактная модель полезна также тем, что она может служить основой для проведения анализа. На каждом этапе процесса проектирования могут применяться свои аналитические средства. Например, если нам нужно провести анализ компонента методом конечных элементов, мы будем формировать сетку элементов на базе абстрактной модели, стенки которой имеют нужную толщину. Немногообразные модели незаменимы как этап развития проекта от неполного описания на низких уровнях до готового объемного тела.

1.7 Лекция №7 (2 часа).

Тема: «Системы моделирования устройств»

1.7.1 Вопросы лекции:

1. Базовые функции моделирования агрегатов.
2. Возможности совместного проектирования.
3. Использование моделей агрегатов.
4. Упрощение агрегатов.

1.7.2 Краткое содержание вопросов:

1. Базовые функции моделирования агрегатов.

Системы моделирования агрегатов предоставляют логическую структуру для группировки и организации деталей в устройства и узлы. Структура позволяет конструктору идентифицировать отдельные детали, следить за сведениями о них, а также поддерживать взаимосвязь между деталями и узлами. Данные о связях, поддерживаемые системами моделирования, включают довольно широкий диапазон сведений о детали и ее взаимодействии с другими деталями агрегата. Наиболее важной составляющей этих данных являются условия соединения. Условия соединения определяют способы соединения детали с другими (например, две плоские поверхности деталей могут касаться друг друга, или две цилиндрические поверхности могут располагаться на одной оси). Данные о посадке, положении и ориентации определяют способы соединения деталей в устройство и часто включают в себя сведения о допусках. Положение и ориентация во многих системах могут быть получены из условий соединения деталей.

Системы моделирования агрегатов предоставляют возможность создавать параметрические ограничивающие отношения между деталями, измерять размеры одной детали и применять их к другой, освобождая пользователя от необходимости вводить данные повторно в тех случаях, когда детали касаются друг друга. Ограничительные отношения между деталями полезны в тех случаях, когда множество размеров деталей устройства определяется несколькими ключевыми. После указания всех соотношений конструктору достаточно будет изменить только ключевые размеры, а обо всех остальных система позаботится сама. Сюда же относится возможность распространения изменений (например, если изменяется диаметр вала, то меняется и размер отверстия, в которое должен входить этот вал). Все это экономит время конструктора, поскольку избавляет его от необходимости заниматься контролем всех деталей агрегата при изменении некоторых его составляющих.

Итак, системы моделирования агрегатов позволяют конструктору создавать и изменять глобальные ограничения на детали устройства, определять положение и движение деталей друг относительно друга, ограничения на устройство в целом. К ним относятся размеры деталей, их положение, совмещение, условия соединения и рабочие параметры. Примерами рабочих параметров являются расстояние, на которое может переместиться деталь относительно соединенных с ней деталей, угол, на который она может повернуться или расстояние, на которое может продвинуться штифт в отверстии.

2. Возможности совместного проектирования.

Системы моделирования агрегатов практически незаменимы для групп, занимающихся разработкой продуктов, состоящих из множества частей. Эти системы обладают возможностями для эффективного управления одновременным доступом пользователей к агрегату. В некоторых системах автоматизированного проектирования имеются процедуры контроля, отслеживающие работу конструкторов с деталями. Эти процедуры не позволяют двоим пользователям одновременно работать с одной и той же деталью. Системы моделирования агрегатов помимо этого предоставляют возможность собирать детали в цельное устройство и выполнять различного рода аналитические действия с этим устройством, например, проводить анализ кинематики или анализ методом конечных элементов. Когда множество людей одновременно работают с одним и

тем же агрегатом, распространение изменений в деталях без нарушения работы других конструкторов становится непростой задачей. Большинству пользователей не нравится, что их экран мигает каждый раз, когда их коллеги сохраняют свои изменения. Одним из способов решения этой проблемы является передача несущественных изменений в выделенные моменты времени, а также по запросам пользователей на обновление конфигурации. Однако серьезные изменения в соединяющихся деталях должны распространяться немедленно, поскольку они могут влиять на детали, с которыми работают другие конструкторы.

3. Использование моделей агрегатов.

Модели, создаваемые в системах моделирования агрегатов, могут использоваться для эффективной разработки продукта. Большинство систем моделирования агрегатов дают пользователям возможность измерять отдельные детали агрегата и переносить размеры на другие детали. Другое полезное применение такой системы — построение детализированного изображения по модели агрегата. Детализированные изображения хороши тем, что они ясно показывают физическую связь между всеми деталями сложных устройств. Особенно они полезны в качестве иллюстраций к инструкциям по сборке устройств.

Изображения с цветной визуализацией позволяют реалистично показать, как выглядит агрегат из тысяч деталей. Пользователи могут не только рассматривать сложные агрегаты, но и выполнять контроль столкновений, анализ кинематики и другие действия. Цифровая модель позволяет прогуляться по модели в виртуальной реальности, посмотреть, как она работает, и убедиться, что все детали взаимодействуют так, как планировалось.

Системы моделирования агрегатов облегчают формирование списков материалов, в которых перечисляются все материалы и детали, подлежащие закупке. Такой список легко построить, просмотрев структуру агрегата и объединив сведения обо всех деталях.

4. Упрощение агрегатов.

Большинство систем геометрического моделирования со стандартными возможностями моделирования агрегатов легко справляются с устройствами, состоящими из сотен деталей. Затруднения возникают при обработке больших агрегатов с многими тысячами деталей. Производительность системы зависит также от сложности деталей и узлов. Примером особенности, влияющей на производительность, является поверхность сопряжения. Большое количество деталей и их сложная форма способны поглотить вычислительные возможности любой системы, снизить производительность системы моделирования и затруднить поиск информации. Поэтому во многих системах предусмотрены функции упрощения сложных агрегатов для облегчения работы с ними.

Одним из методов является использование экземпляров. Использование экземпляров значительно упрощает агрегаты, поскольку системе приходится моделировать стандартную деталь только один раз, после чего достаточно лишь задать положения экземпляров этой детали. Информация об экземплярах содержит сведения о том, в каких местах агрегата используется одна и та же деталь. Экземпляр — удобная концепция для описания стандартных деталей, в частности крепежных, поскольку она позволяет сохранить один раз параметры деталей, а затем использовать их сколько угодно. Экземпляры реализуются на базе единого определения, включающего в себя геометрическую модель детали и все необходимые сведения о ней. Такой подход, очевидно, устраняет необходимость моделировать деталь, используемую в нескольких местах. Кроме того, экземпляры легко изменять, поскольку изменения достаточно внести один раз.

Другим методом является укрупнение, или интеграция, то есть группировка всех деталей или отдельных узлов в одно целое. При этом исчезают все внутренние особенности узлов, а сохраняются только внешние. Если пользователю нужна лишь

внешняя форма, это значительно упрощает работу с моделью. Укрупнение применяется для повышения производительности динамического отображения агрегатов.

Сложность модели может быть снижена методом игнорирования особенностей деталей в тех случаях, когда они не важны. Однако эти детали постоянно сохраняются как часть геометрической модели. При построении изображения мелкие детали, невидимые с заданного расстояния, просто отбрасываются. При анализе методом конечных элементов или при кинематическом анализе можно игнорировать мелкие детали типа небольших отверстий и закруглений. Допускается и зональное отключение детализации. При этом пользователь может разделить модель на геометрические блоки и работать с одним из них, не тратя вычислительные ресурсы на обработку деталей в других блоках. Модель может быть поделена на блоки не только геометрически, но и функционально: механическую, электрическую и гидравлическую подсистемы можно обрабатывать раздельно, чтобы не иметь дела с данными, не нужными в конкретный момент пользователю.

1.8 Лекция №8 (2 часа).

Тема: «Краткие сведения о представлении кривых и поверхностей в системах геометрического моделирования»

1.8.1 Вопросы лекции:

1. Типы уравнений кривых.
2. Конические сечения.
3. Эрмитовы кривые.
4. Кривые Безье. B-сплайны.

1.8.2 Краткое содержание вопросов:

1. Типы уравнений кривых.

Кривая второго порядка — геометрическое место точек на плоскости, прямоугольные координаты которых удовлетворяют уравнению вида:

$$a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + 2a_{12}xy + 2a_{13}x + 2a_{23}y + a_{33} = 0,$$

в котором, по крайней мере один из коэффициентов a_{11} , a_{12} , a_{22} не равен нулю.

Вид кривой зависит от 4 инвариантов, приведенных ниже:

- инварианты относительно поворота и сдвига системы координат:

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{12} & a_{22} & a_{23} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{vmatrix}$$

$$D = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{12} & a_{22} \end{vmatrix} = a_{11}a_{22} - a_{12}^2$$

$$I = \text{tr} \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{12} & a_{22} \end{pmatrix} = a_{11} + a_{22}$$

- инвариант относительно поворота системы координат (полуинвариант):

$$B = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{13} \\ a_{13} & a_{33} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a_{22} & a_{23} \\ a_{23} & a_{33} \end{vmatrix}$$

Для изучения кривых второго порядка рассматриваем произведение A^*C .
Общее уравнение кривой второго порядка выглядит так:

$$Ax^2 + 2Bxy + Cy^2 + 2Dx + 2Ey + F = 0$$

- Если $A^*C > 0$, то уравнение принимает вид уравнения эллиптического типа.
Любое эллиптическое уравнение – это уравнение или обычного эллипса, или же вырожденного эллипса (точки), или мнимого эллипса (в таком случае уравнение не определяет на плоскости ни одного геометрического образа);

- Если $A^*C < 0$, то уравнение принимает вид уравнения гиперболического типа.
Любое гиперболическое уравнение выражает или простую гиперболу, или вырожденную гиперболу (две пересекающиеся прямые);

- Если $A^*C = 0$, то линия второго порядка не будет центральной. Уравнения такого типа называют уравнениями параболического типа и выражают на плоскости или простую

параболу, или 2 параллельных (либо совпадающих) прямых, или не выражают на плоскости ни одного геометрического образа;

- Если $A^*C \neq 0$, кривая второго порядка будет центральной;

Таким образом, виды кривых второго порядка:

- Эллипс;

- Окружность;

- Гипербола;

- Парабола.

2. Конические сечения.

Коническое сечение или коника есть пересечение плоскости с круговым конусом. Существует три главных типа конических сечений: эллипс, парабола и гипербола, кроме того существуют вырожденные сечения: точка, прямая и пара прямых. Окружность можно рассматривать как частный случай эллипса.

Конические сечения могут быть получены как пересечение плоскости с двусторонним конусом. Если плоскость проходит через начало координат, то получается вырожденное сечение. В невырожденном случае,

если секущая плоскость пересекает все образующие конуса в точках одной его полости, получаем эллипс,

если секущая плоскость параллельна одной из касательных плоскостей конуса, получаем параболу,

если секущая плоскость пересекает обе полости конуса, получаем гиперболу.

Уравнение кругового конуса квадратично, стало быть все конические сечения являются квадриками, также все квадрики плоскости являются коническими сечениями (хотя две параллельные прямые образуют вырожденную квадрику которая не может быть получена как сечение конуса, но всё же обычно считается «вырожденным коническим сечением»).

3. Эрмитовы кривые.

Чаще всего для описания кривых, используемых в программах CAD, используются уравнения третьего порядка, потому что они обладают важным свойством: две кривые, описываемые такими уравнениями, могут быть соединены таким образом, что вторые производные в точке соединения будут равны друг другу. Это означает, что кривизна в точке соединения остается постоянной, отчего две кривые кажутся одним целым. Ту же непрерывность можно получить и для кривых более высоких порядков, однако работа с ними требует интенсивных вычислений.

4. Кривые Безье. В-сплайны.

В последнее время множество компьютерных графических редакторов разного назначения реализуют опцию рисования линий «от руки». Для создания плавных кривых чаще всего применяется алгоритм интерполяции Безье. Кривые Безье – это сплайны, для которых разработаны алгоритмы редактирования визуальным способом при помощи так называемых управляющих линий. Алгоритм этот был предложен, в свое время, Безье – сотрудником французского автомобильного концерна «Рено» и использован в соответствующей компьютерной системе автоматического проектирования. При работе с фигурами Безье пользователю достаточно представлять на интуитивном уровне, как его действия будут влиять на форму кривых, а разбираться в сложных аспектах их расчетов совершенно не нужно. Мы приведем (без формул) два примера расчета родственных кривых – так называемых В-сплайнов. Они, как и обычные сплайны, могут быть полиномами разной степени, например, 1, 2 или 3 (линейными, квадратичными или кубическими).

Интерполяция В-сплайнами, отличается от обычной сплайн-интерполяции тем, что сшивка элементарных парабол производится не в узлах x_i , а в других точках u_i , называемых управляющими точками, координаты которых определяются пользователем. В графических редакторах пользователь просто перемещает по экрану компьютера сами

точки, либо управляющие линии, т.е. отрезки, их соединяющие, применяя, в большинстве случаев, обычную технику перетаскивания мышью.

Все описанные в предыдущих разделах типы интерполяции работают также и как функции экстраполяции данных. Для вычисления экстраполяции достаточно просто указать соответствующее значение аргумента, которое лежит за границами рассматриваемого интервала. На практике при построении экстраполяции следует соблюдать известную осторожность, не забывая о том, что ее успех определяется значимостью ближайших к границе интервала точек. Чем дальше от них вы будете пытаться экстраполировать зависимость, заданную экспериментальными точками, тем более сомнительным будет результат.

1.9 Лекция №9 (2 часа).

Тема: «Краткие сведения о представлении кривых и поверхностей в системах геометрического моделирования»

1.9.1 Вопросы лекции:

1. Типы уравнений поверхностей.
2. Билинейная поверхность.
3. Лоскут Куна.
4. Поверхность Безье.

1.9.2 Краткое содержание вопросов:

1. Типы уравнений поверхностей.

Уравнения поверхностей, как и уравнения кривых, делятся на два основных типа. К первому типу относятся параметрические уравнения, связывающие значения координат x , y и z со значениями параметра. Ко второму относятся непараметрические уравнения, связывающие координаты x , y и z непосредственно друг с другом какой-либо функцией. Поясним эти определения на простом примере. Рассмотрим сферу радиуса R с центром в начале координат. Параметрическое уравнение этой сферы будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \mathbf{P}(u,v) &= R \cos u \cos v \mathbf{i} + R \sin u \cos v \mathbf{j} + R \sin v \mathbf{k}; \\ (0 \leq u \leq 2\pi, -\pi/2 \leq v \leq \pi/2), \end{aligned} \quad (7.1)$$

где параметр u может рассматриваться как долгота, а v — как широта. Ту же сферу можно описать и без параметров u и v :

$$x^2 + y^2 + z^2 - R^2 = 0 \quad (7.2)$$

или

$$z = \pm \sqrt{R^2 - x^2 - y^2}. \quad (7.3)$$

Уравнение (7.2) называется неявным непараметрическим, а уравнение (7.3) — явным непараметрическим.

У каждого типа уравнений есть свои преимущества и недостатки, но мы будем рассматривать только параметрические уравнения. Как отмечалось в главе 6, параметрическое уравнение позволяет эффективно вычислять точки на поверхности или кривой, отстоящие друг от друга на небольшие расстояния, что облегчает интерактивное отображение объекта и работу с ним. Это одна из главных причин, по которым параметрические уравнения используются для представления поверхностей в большинстве систем автоматизированного проектирования.

2. Билинейная поверхность.

Билинейная поверхность (bilinear surface) строится по четырем заданным точкам и описывается линейными уравнениями с параметрами u и v . Эти точки оказываются в углах построенной поверхности. Мы обозначим их буквами $P_{0,0}$, $P_{1,0}$, $P_{0,1}$, $P_{1,1}$ (рис. 7.1). Вывести уравнение билинейной поверхности — это значит найти выражение для координат произвольной точки по значениям параметров u и v . Предположим, что эта точка делит отрезок $[P_{0,v}, P_{1,v}]$ в отношении $u:(1-u)$ (рис. 7.1). Точки $P_{0,v}$ и $P_{1,v}$ делят отрезки $P_{0,0}P_{0,1}$ и $P_{1,0}P_{1,1}$ соответственно в отношении $v:(1-v)$. Определенная таким образом точка $P(u,v)$ будет перемещаться по всей поверхности при изменении параметров u и v от 0 до 1. С учетом сделанных предположений координаты точек $P_{0,v}$ и $P_{1,v}$, запишутся следующим образом:

$$\mathbf{P}_{0,v} = (1-v)\mathbf{P}_{0,0} + v\mathbf{P}_{0,1}; \quad (7.4)$$

$$\mathbf{P}_{1,v} = (1-v)\mathbf{P}_{1,0} + v\mathbf{P}_{1,1}. \quad (7.5)$$

Аналогичным образом получаются координаты точки $P(u,v)$:

$$\mathbf{P}(u,v) = (1-u)\mathbf{P}_{0,v} + u\mathbf{P}_{1,v}. \quad (7.6)$$

Подстановка уравнений (7.4) и (7.5) в (7.6) даст нам приведенное ниже уравнение билинейной поверхности:

$$\begin{aligned} \mathbf{P}(u,v) &= (1-u)[(1-v)\mathbf{P}_{0,0} + v\mathbf{P}_{0,1}] + u[(1-v)\mathbf{P}_{1,0} + v\mathbf{P}_{1,1}] = \\ &= [(1-u)(1-v) \quad u(1-v) \quad (1-u)v \quad uv] \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{0,0} \\ \mathbf{P}_{1,0} \\ \mathbf{P}_{0,1} \\ \mathbf{P}_{1,1} \end{bmatrix} \quad (0 \leq u \leq 1, 0 \leq v \leq 1). \end{aligned} \quad (7.7)$$

Мы можем убедиться, что заданные точки расположены по углам билинейной поверхности, подставив соответствующие комбинации нулей и единиц в уравнение (7.7). Это уравнение говорит нам также о том, что билинейная поверхность представляет собой сопряжение угловых точек при помощи функций сопряжения $(1 - u)(1 - v), u(1 - v), (1 - u)v, uv$. Из-за того что эти функции сопряжения линейны по соответствующим параметрам, билинейная поверхность обычно оказывается плоской.

3. Лоскут Куна.

Сопряжение углов дает билинейную поверхность. Сопряжение граничных кривых произвольной формы дает поверхность, называемую лоскутом Куна (Coon's patch). Слово «лоскут» указывает на то, что описываемая поверхность представляет собой сегмент, соответствующий значениям параметров $0 \leq u \leq 1, 0 \leq v \leq 1$. Комбинирование лоскутов позволяет образовать поверхность произвольной формы и размера.

Уравнение лоскута Куна выводится следующим образом. Предположим, что нам известны уравнения четырех граничных кривых: $P_0(v)$, $P_1(v)$, $Q_0(u)$ и $Q_1(u)$ (рис. 7.2). Предположим также, что направление кривых $Q_0(u)$ и $Q_1(u)$ совпадает (на рис. 7.2 эти кривые направлены вправо, что обозначено стрелкой). То же предположение мы высажем и относительно $P_0(v)$ и $P_1(v)$.

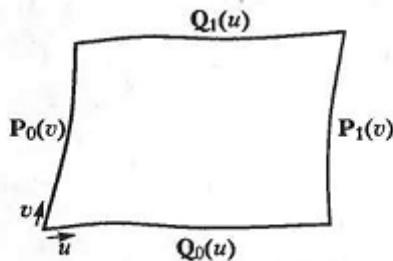


Рис. 7.2. Граничные кривые, определяющие лоскут Куна

Если граничные кривые не удовлетворяют этим требованиям, вам придется выполнить преобразование их к описанному выше виду. Направление и интервал изменения параметра легко изменить инверсией или масштабированием [120]. Удовлетворяющие описанным требованиям кривые интерполируются так, как показано ниже.

Выберем две кривые, расположенные друг напротив друга, например $P_0(v)$ и $P_1(v)$. Интерполяция этих кривых в направлении и осуществляется линейным уравнением

$$P_1(u, v) = (1-u)P_0(v) + uP_1(v). \quad (7.8)$$

Поверхность, определенная уравнением (7.8), будет ограничена кривой $P_0(v)$ при $v = 0$ и кривой $P_1(v)$ при $v = 1$. Однако две другие границы будут отрезками прямых, соединяющих угловые точки. Убедиться в этом можно, подставив в уравнение (7.8) $v = 0$ или $v = 1$. Таким образом, полученная поверхность не ограничивается кривыми $Q_0(u), Q_1(u)$.

Определим вторую поверхность, интерполируя $Q_0(u)$ и $Q_1(u)$ в направлении v :

$$P_2(u, v) = (1-v)Q_0(u) + vQ_1(u). \quad (7.9)$$

Подставляя граничные значения u и v в уравнение (7.9), можно убедиться, что новая поверхность ограничивается кривыми $Q_0(u)$ и $Q_1(u)$, но не $P_0(v)$ или $P_1(v)$. Попробуем определить еще одну поверхность $P_3(u, v)$, сложив $P_1(u, v)$ и $P_2(u, v)$, и проверим, не будет ли она ограничиваться требуемыми кривыми.

$$P_3(u,v) = (1-u)P_0(v) + uP_1(v) + (1-v)Q_0(u) + vQ_1(u). \quad (7.10)$$

Подстановка граничных значений u и v в (7.10) дает:

$$P_3(0,v) = P_0(v) + (1-v)Q_0(0) + vQ_1(0); \quad (7.11)$$

$$P_3(1,v) = P_1(v) + (1-v)Q_0(1) + vQ_1(1); \quad (7.12)$$

$$P_3(u,0) = Q_0(u) + (1-u)P_0(0) + uP_1(0); \quad (7.13)$$

$$P_3(u,1) = Q_1(u) + (1-u)P_0(1) + uP_1(1). \quad (7.14)$$

Если $P_3(u,v)$ удовлетворяет поставленным требованиям к граничным кривым, правые два слагаемых в уравнениях (7.11)-(7.14) должны быть равны нулю. Заметьте, что эти слагаемые представляют собой интерполяцию конечных точек соответствующих граничных кривых. Другими словами, слагаемые, которые должны быть равны нулю, описывают границы билинейной поверхности. Следовательно, правильное выражение для лоскута Куна получается вычитанием уравнения билинейной поверхности из $P_3(u,v)$:

$$\begin{aligned} P(u,v) = & (1-u)P_0(v) + uP_1(v) + (1-v)Q_0(u) + vQ_1(u) - (1-u)(1-v)P_{0,0} - \\ & - u(1-v)P_{1,0} - (1-u)vP_{0,1} - uvP_{1,1} \quad (0 \leq u \leq 1, 0 \leq v \leq 1). \end{aligned} \quad (7.15)$$

Здесь $P_{0,0} = P_0(0) = Q_0(0)$, $P_{1,0} = Q_0(1) = P_1(0)$, $P_{0,1} = P_0(1) = Q_1(0)$, $P_{1,1} = P_1(1) = Q_1(1)$.

Благодаря простоте концепции и уравнений лоскут Куна использовался достаточно широко. Однако он непригоден для точного моделирования поверхностей, поскольку форма поверхности не может задаваться одними лишь ее границами.

4. Поверхность Безье.

Поверхность Безье — параметрическая поверхность, используемая в компьютерной графике, автоматизированном проектировании, и моделировании. Это одно из распространённых пространственных обобщений кривой Безье.

При кусочном моделировании (patch modeling) для задания и изменения формы куска, представляющего собой пространственную решетку из сплайнов или многоугольников, применяется сеть контрольных точек. Эти точки управления, также известные как контрольные вершины (control vertices — CV) оказывают на гибкую поверхность куска подобное магнитному влияние, при котором поверхность растягивается в том или ином направлении. Кроме того, куски можно и дальше подразделять на элементы для достижения большего разрешения и «сшивать» друг с другом, тем самым создавая сложные объёмные поверхности. Так же, как и сплайновые, кусочные модели используются при создании органических форм.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

2.1 Практическое занятие №1 (2 часа).

Тема: «Системы геометрического моделирования»

2.1.1 Задание для работы:

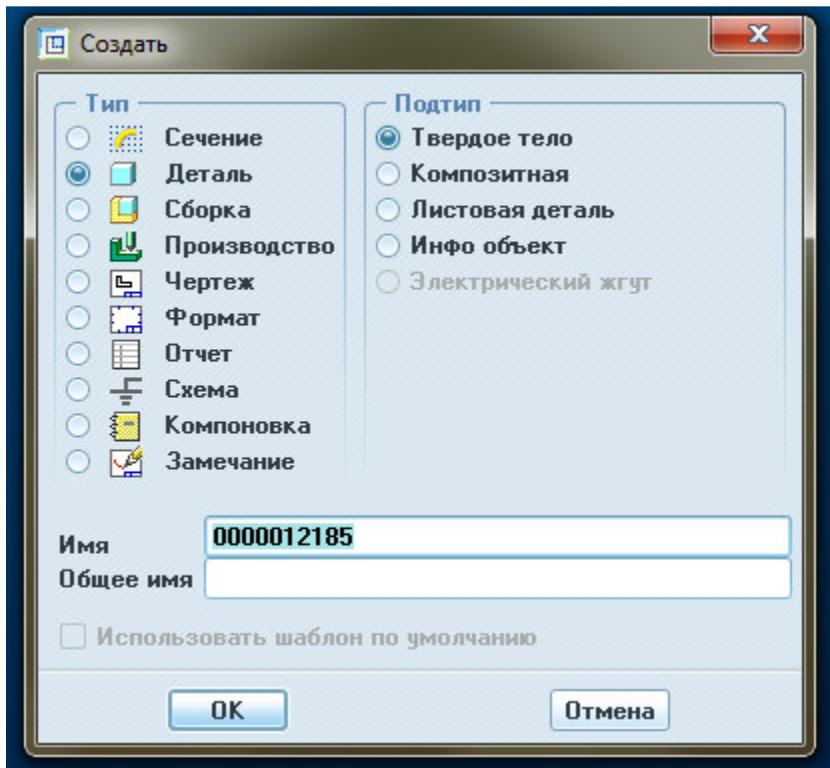
1. Построение геометрической модели на основе операций вытягивания.

2.1.2 Краткое описание проводимого занятия:

1. Построение геометрической модели на основе операций вытягивания.

Сегодня мы создадим в Pro/Engineer несложную деталь, используя простейшую операцию построения твердотельной геометрии, такую, как **Вытягивание**. В основе создания этой операции, как и многих других, лежит процедура построения двухмерного эскиза и последующие манипуляции с ним.

Итак, запускаем программу, выбираем **Создать**  . Для создания твердотельной модели детали выберем в появившемся окне вкладку **Деталь** в колонке «Тип» и вкладку **Твердое тело** в колонке «Подтип». Не забываем присвоить имя нашей модели в текстовой строке «Имя».

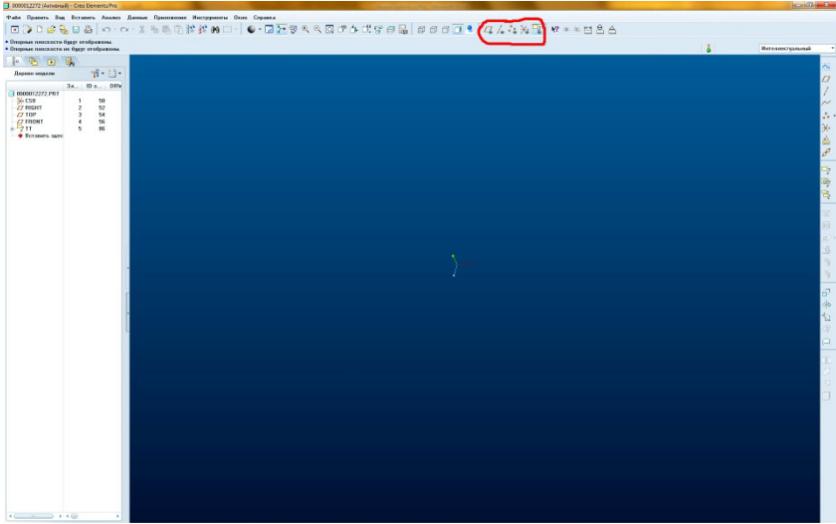


Имя может содержать только буквы латинского алфавита, цифры, а также знаки нижнего подчеркивания («_») и тире («-»). Текстовая строка «Общее имя» нас не интересует, так как записанное здесь фигурирует только в системе электронного документооборота PTC Windchill PDMLink, которая устанавливается и работает синхронизировано с Pro/Engineer в рамках производственного объединения.

Обратим внимание на функцию «Использовать шаблон по умолчанию». В данном случае под шаблоном понимается совокупность настроек и параметров, применяющихся автоматически к вашей модели с целью назначить ей определенные стандарты, по которым работаете вы или ваше предприятие. Это такие параметры, как единицы измерения, слои и многое другое. При построении нашей модели мы будем использовать шаблон по умолчанию, поэтому поставим галочку в этом поле. В противном случае после нажатия **OK** программа предложит нам выбрать шаблон из списка.

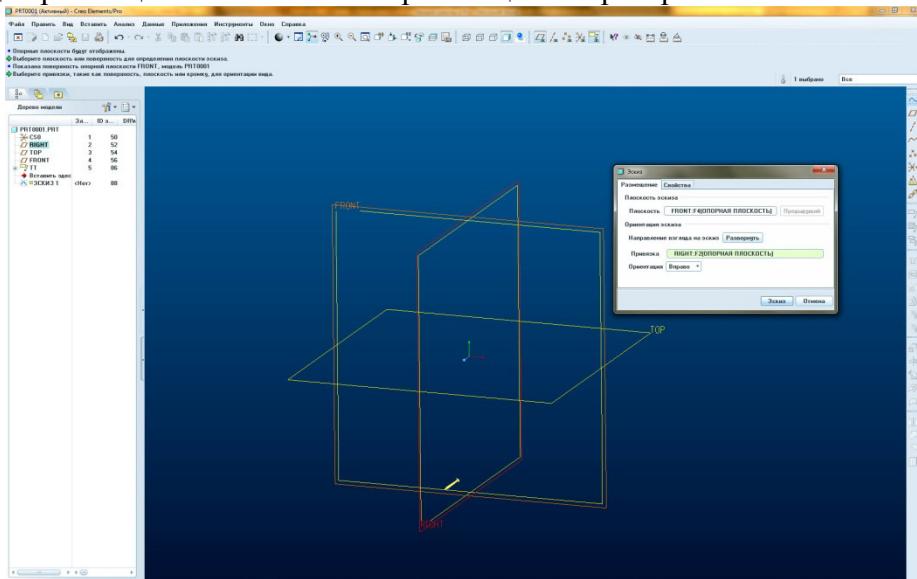
Следует помнить, что, запустив Pro/Engineer, пользователь перед началом построений должен вручную задать директорию на жестком диске для сохранения файлов. В контексте программы это называется «Рабочая папка», и выбрать ее можно, нажав на соответствующую кнопку в левой части верхней панели инструментов. **Установка рабочей папки не сохраняется после выхода из программы.**

Так или иначе, разобравшись с настройками создания новой твердотельной модели и задав рабочую папку, мы видим перед собой основной экран Pro/E, где можем приступить непосредственно к построению.



На верхней панели найдем инструментальное меню, которое называется «Изображение опорного элемента» и включим отображение плоскостей в графическом окне программы для удобства визуализации, нажав на кнопку **Показ плоскостей** .

Выберем кнопку рисования **Эскиза** в верхней части правой панели инструментов, после чего на экране появится диалоговое окно «Эскиз», где нам предстоит задать плоскость для размещения эскиза и его ориентацию в пространстве.

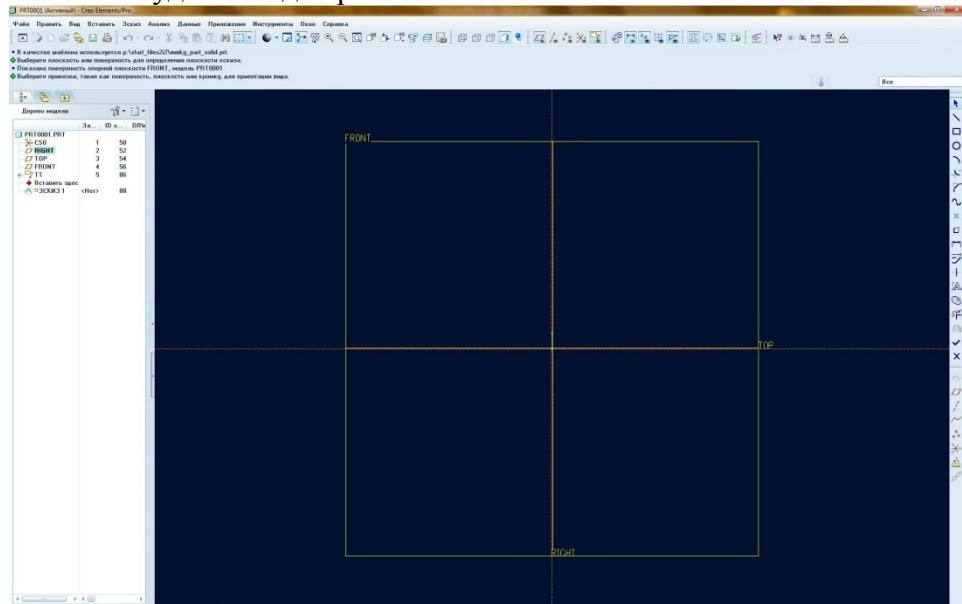


В качестве плоскости эскиза выберем плоскость FRONT, нажав на нее левой кнопкой мыши в графическом окне или в дереве построения модели. Значение графы «Привязка» отвечает за положение эскиза в плоскости рисования относительно модели. Здесь можно выбирать только плоскость, перпендикулярную плоскости эскиза и, соответственно, ориентацию относительно нее.

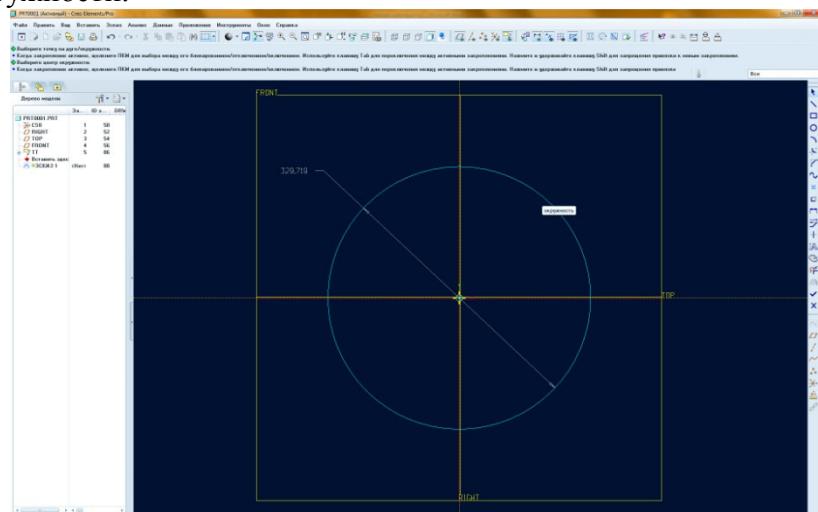
После выбора нами плоскости FRONT в качестве плоскости рисования эскиза, программа автоматически выбирает плоскость RIGHT в графе «Привязка» и ориентацию «Вправо» для нее. На начальном этапе построения нас это вполне устраивает. Желтая

стрелка в графическом окне, изображенная нормально к плоскости FRONT, определяет направление нашего взгляда на плоскость эскиза при его построении. Направление взгляда можно изменить, нажав на стрелку или на кнопку **Развернуть** в диалоговом окне. Оставим направление взгляда по умолчанию и нажмем кнопку **Эскиз**.

Заметим, что программа автоматически переориентировала нас в плоскость эскиза в соответствии с направлением взгляда и заданной привязки «вправо» для плоскости RIGHT, а инструментальная панель в правой части экрана изменила набор инструментов, предоставив нам все удобства для рисования.



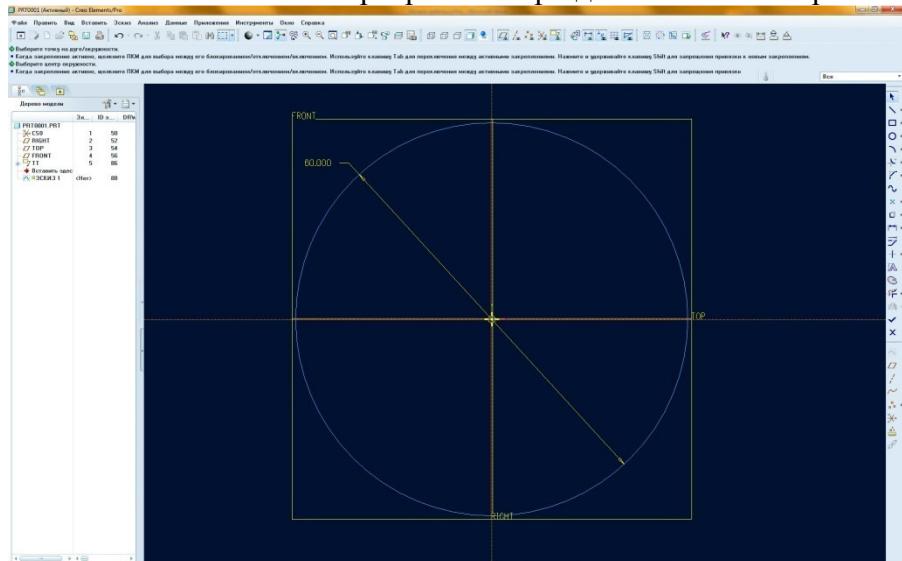
Привязки к плоскостям TOP и RIGHT программа поставила автоматически, считая их базовыми. Нарисуем окружность диаметром 60 мм с центром в точке их пересечения. Для этого выберем соответствующую кнопку на правой панели инструментов, переведем курсор в интересующую нас точку (должна сработать привязка к пересечению), нажмем на нее левой кнопкой мыши и отведем курсор в сторону. Заметим при этом, что радиус окружности растет по мере отдаления курсора от ее центра. Щелкнем в любом месте левой кнопкой мыши, чтобы отвязать окружность от нашего курсора, а затем нажмем среднюю кнопку мыши (колесико) для того, чтобы завершить операцию построения окружности.



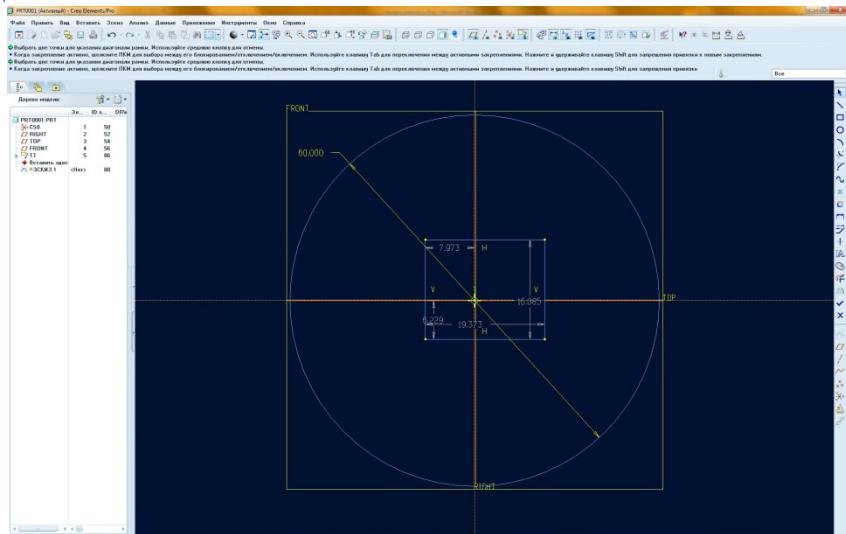
Сейчас диаметр окружности имеет произвольное значение и отображается серым цветом. В Pro/E существуют два типа размеров: сильные и слабые. Слабые размеры система создает автоматически и отображает их серым цветом. Сильные размеры имеют приоритет по сравнению со слабыми, обозначаются желтым цветом и проставляет их сам пользователь, после чего соответствующие слабые размеры автоматически удаляются.

Дважды щелкнем левой кнопкой мыши на значение «слабого» диаметра окружности и в появившемся окошке введем значение 60, после чего нажмем Enter или среднюю кнопку мыши в любом месте. Наша окружность автоматически перестроится в диаметр 60, а сам диаметр теперь будет отображаться желтым цветом.

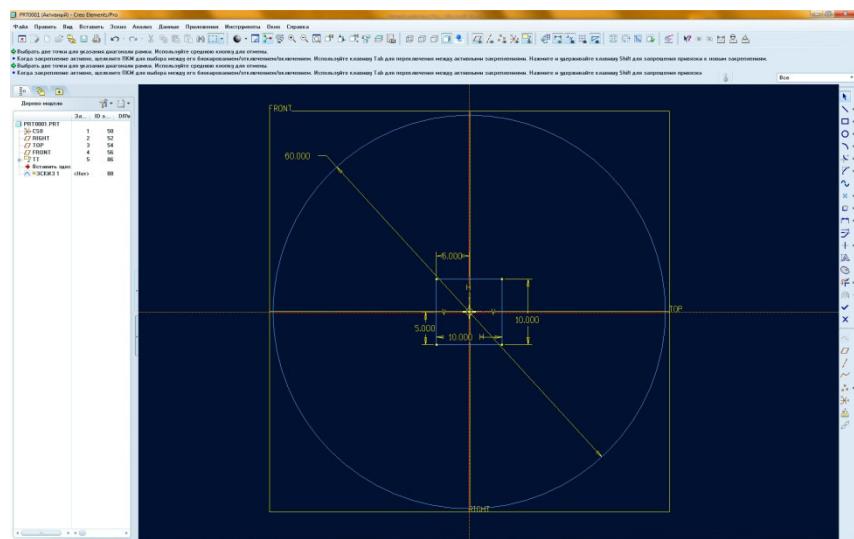
При работе с эскизами в Pro/Engineer рекомендуется не оставлять слабых размеров. Иными словами, вся геометрия эскиза должна быть определена пользователем. Дело в том, что сильные размеры можно блокировать, избегая тем самым случайного изменения геометрии эскиза пользователем или программой при дальнейших построениях.



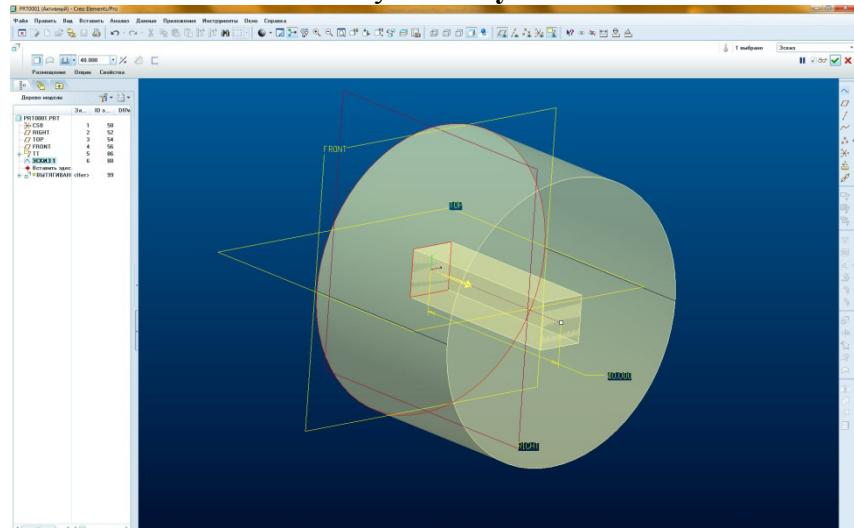
Теперь, в центре нашей окружности нарисуем квадрат размером 10 на 10 мм. Для этого в правой панели инструментов выберем **Прямоугольник** , переместим мышь, например, в левый нижний сегмент окружности, нажмем левую кнопку мыши и оттянем курсор в правый верхний сегмент. После этого нажмем левую кнопку мыши, чтобы отвязать следующий за курсором прямоугольник и завершим процедуру построения нажатием средней кнопки.



Увидим, что на эскизе появилась несколько слабых размеров произвольного значения. Два из них определяют длину и ширину прямоугольника, а другие два — его положение относительно плоскостей TOP и RIGHT, которые, как мы уже поняли, служат своеобразными осями в нашем эскизе. Зададим значение 10 для длины и ширины, дважды щелкнув левой кнопкой мыши на каждом из соответствующих размеров. Также, зададим значение 5 для каждого из двух размеров, определяющих положение квадрата.



Наш эскиз готов. Нажмем кнопку **Готово** на правой панели инструментов для выхода из режима рисования эскиза и его сохранения. Вытянем наш эскиз на длину 40мм. Для этого, выберем его в дереве построения модели, если он не выбран, и на правой инструментальной панели нажмем кнопку **Вытянуть** .



Изменим произвольное значение длины вытягивания, проставленное программой автоматически, на значение 40 в соответствующем поле на верхней панели операции или дважды щелкнем на значении длины в графическом поле. Нажав на желтую стрелку в графическом поле, мы можем изменить направления вытягивания. Нажимаем **Enter**. Наша первая деталь готова.

2.1.3 Результаты и выводы:

Выполнены задачи практического занятия.

2.2 Практическое занятие №2, 3 (4 часа).

Тема: «Функции систем твердотельного моделирования»

2.2.1 Задание для работы:

1. Построение геометрической модели на основе операций вытягивания и вращения.

2.2.2 Краткое описание проводимого занятия:

1. Построение геометрической модели на основе операций вытягивания и вращения.

На рис. 1 представлено итоговое изображение той детали, которую Вы должны смоделировать. Возможно, кому-то эта деталь покажется знакомой по работе с MDT 4.0. Мы намеренно повторяем ее построение для того, чтобы Вы имели возможность сравнить возможности двух похожих систем. В частности, обратите внимание на различия в диалогах с пользователем.

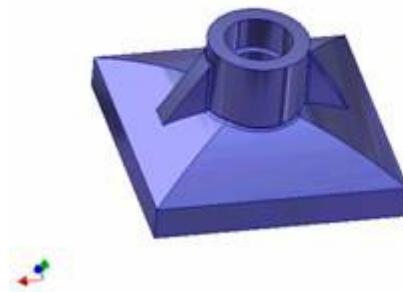


Рис. 1

Для получения требуемой модели Вам придется несколько раз выполнить цикл операций формообразования: выбор плоскости эскизирования, построение эскиза, формообразование.

Сразу следует сказать о том, что существуют два различных подхода к построению модели детали. Если Вы собираетесь только воспроизвести внешний вид детали, например, для демонстрационных целей, то самым главным будет только скорость построения модели. При этом можно не терять время на простановку многочисленных геометрических и размерных ограничений. Если же Вы намерены построить геометрическую модель детали для целей проектирования, что предполагает многочисленные исправления в ее форме в дальнейшем, то главным будет правильное наложение различных ограничений. Мы должны научиться проектированию и поэтому предпочтем второй способ построения модели.

Первый этап формообразования начинается с построения эскиза, представленного на рис. 2.

Постройте эскиз для процедуры первого формообразования (рис. 2). Примените команды построения отрезков и дуги. Чтобы добиться симметрии формы детали при последующих ее исправлениях, проведите через середину горизонтального отрезка (команды **Point**, **Hole Center** и **Line**) вертикальную вспомогательную линию – ось симметрии. Затем наложите ограничения зеркального отражения и равенства длин вертикальных отрезков. Возможно, система еще при построении наложит свои геометрические ограничения (например, параллельности), которые могут войти в противоречие с Вашими ограничениями. В этом случае удалите системные ограничения.

Рекомендуемые размеры для эскиза на рис. 2: 20мм, 2мм, 22мм.

Выполните операцию «протягивания» построенного эскиза на расстояние 20мм.

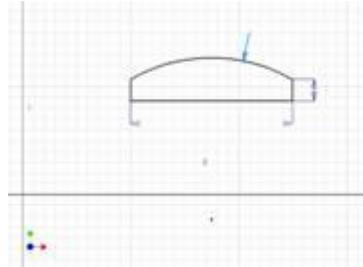


Рис. 2

Сразу же в таблице параметров (см. Приложение 9) замените системные имена размеров на свои собственные, легко узнаваемые (см. рис. 7).

Постройте рабочую плоскость так, как это показано на рис. 3. При построении «привяжите» положение рабочей плоскости к соответствующему размеру первого эскиза. Например, «Ширина1/2».

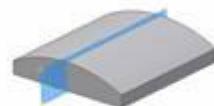


Рис. 3

Выберите рабочую плоскость в качестве плоскости эскизирования для второго этапа формообразования.

Поверните плоскость эскизирования к Вам «лицом» и выполните команду Slice Graphics (см. рис.4). В точности повторите построение аналогичного эскиза так, как в п.п. 2. Соблюдите те же геометрические ограничения. Намеренно стройте второй эскиз чуть в стороне от контуров уже построенного конструктивного элемента (рис. 5). Наложите те же размерные ограничения: 20мм, 2мм, 22мм.

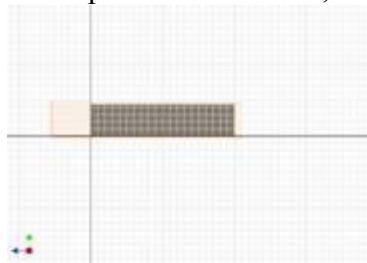


Рис. 4

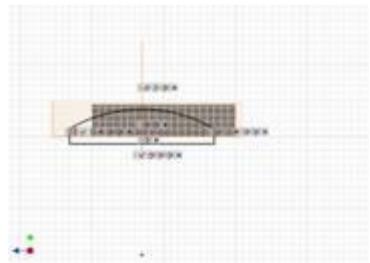


Рис. 5

Дополнительно наложите ограничение коллинеарности так, чтобы второй эскиз совпал с контурами уже построенного конструктивного элемента (рис. 6)

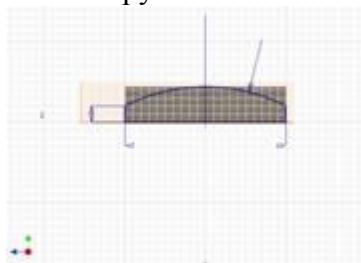


Рис. 6

Выполните протягивание второго эскиза совместно с операцией пересечения на толщине 20 мм.

Иногда система предупреждает Вас о возможных неточностях в построенном эскизе замкнутого контура. При этом в диалоговом окне соответствующего формообразования «загорается» красный крест. Это сигнал к тому, чтобы Вы обратились

к возможностям Sketch Doctor и лишний раз проверили правильность построения эскиза. Но если погрешности незначительны, можно продолжать выполнять операцию формообразования. Главное при этом, чтобы после всех выполненных приготовлений (указания самого образующего контура, оси вращения или направления протягивания, размера протягивания и пр.) в диалоговом окне оказалась доступной (активной) клавиша ОК!

Опять переименуйте удобным для Вас образом системные имена параметров в таблице параметров (рис. 7).

В итоге у Вас должна получиться симметричная «подушечка», представленная на рис. 8.

Parameters

Parameter Name	Unit	Equation	Value		Comment
Ширина1	mm	20 mm	20,000000	<input type="checkbox"/>	
Высота1	mm	2 mm	2,000000	<input type="checkbox"/>	
Радиус1	mm	22 mm	22,000000	<input type="checkbox"/>	
Длина1	mm	20 mm	20,000000	<input type="checkbox"/>	
d4	deg	0 deg	0,000000	<input type="checkbox"/>	
d5	mm	-Ширина1 / 2 ul	-10,000000	<input type="checkbox"/>	
Ширина2	mm	20 mm	20,000000	<input checked="" type="checkbox"/>	
Высота2	mm	2 mm	2,000000	<input type="checkbox"/>	
Радиус2	mm	22 mm	22,000000	<input type="checkbox"/>	
Длина2	mm	20 mm	20,000000	<input type="checkbox"/>	
d10	deg	0 deg	0,000000	<input type="checkbox"/>	

User Parameters

Display only parameters used in equations

Рис. 7

Постройте вторую рабочую плоскость так, как это показано на рис. 9. Сдвиг этой плоскости относительно передней грани должен составлять «Ширина2/2».



Рис. 8

Рис. 9

Выберите вторую рабочую плоскость в качестве новой плоскости эскизирования. Спроецируйте в новый эскиз нижнюю кромку уже построенных элементов, укажите середину этого отрезка и через эту точку проведите вертикальную ось симметрии.

Этот прием всегда приводит к тому, что все последующие построения окажутся симметричными относительно уже построенных конструктивных элементов.

Относительно оси симметрии постройте прямоугольник размером 3мм *8 мм, наложите на него ограничения коллинеарности. При этом стороны прямоугольника должны совпасть с нижней кромкой уже построенных элементов и с осью симметрии (рис. 9а). Выполните операцию вращения и в результате Вы получите деталь такой, как показано на рис. 10

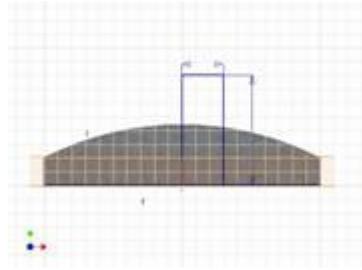


Рис. 9а



Рис. 10

Попробуйте изменить размеры полученной детали. Сосредоточьтесь на размерах первых двух эскизов. Для этого достаточно воспользоваться командами Show Dimension и Update. Еще удобнее изменять размеры непосредственно в таблице параметров. Убедитесь в том, что все изменения приводят к предсказуемым, симметричным изменениям нашей «подушечки» (см. рис. 11, 12, 13). В противном случае внесите дополнительные ограничения или перестройте уже полученные конструктивные элементы.



Рис. 11



Рис. 12



Рис. 13

Достройте ребра жесткости, центральное отверстие, необходимые скругления так, как это показано на рис. 1

Еще раз попробуйте изменить размеры детали. Убедитесь в том, что все изменения приводят к предсказуемым изменениям формы (см. рис. 14).



Рис. 14

2.2.3 Результаты и выводы:

Выполнены задачи практического занятия.

2.3 Практическое занятие №4, 5 (4 часа).

Тема: «Структура представления данных в системах твердотельного моделирования»

2.3.1 Задание для работы:

1. Построение геометрической модели детали из листового металла.

2.3.2 Краткое описание проводимого занятия:

1. Построение геометрической модели детали из листового металла.

Современной тенденцией автоматизированного проектирования машиностроительных изделий является стремление к повышению уровня автоматизации процесса проектирования путем использования научных знаний и опыта, накопленного при разработке специализированных изделий. Примером такого подхода является специализированная подсистема конструирования деталей из листового металла.

Аналогичные подсистемы существуют для проектирования штампов, кокилей для заливки металла, пресс-форм и др. Покажем особенности конструирования машиностроительных или приборостроительных изделий на примере подсистемы «Проектирование изделий из листа».

Специализированная подсистема проектирования деталей из листового металла является средством для создания объемной геометрической модели детали и ее автоматической развертки с учетом свойств материала и особенностей процессов изготовления: обработка резанием, вырубка, штамповка (без глубокой вытяжки), гибка. При создании модели детали автоматически проводится расчет деформации изгиба, кручения, прессования, штамповки отверстий с отбортовками, подсечек, образования выемок, ребер жесткости и других элементов. С помощью этой подсистемы конструируются гнутые детали, состоящие из нескольких связанных элементов, каждый из которых определяется специфической трансформацией листа.

Проектирование детали включает:

- выбор материала листа из библиотеки материалов, которая содержит механические свойства материалов. Система использует эти механические свойства в процессе создания элементов детали;
- выбор или задание формулы вычисления длины среднего слоя гибов элементов детали в зависимости от способа изгиба (оборудования);
- полуавтоматическое определение геометрических элементов, при котором учитываются характеристики и пределы деформации материала;
- автоматическая развертка детали;
- преобразование детали в твердотельную модель для проверки ее компоновки в конструкции изделия.

Структура детали из листа. Логическая структура детали является древовидной: каждая ветвь дерева соответствует элементу, определяемому пользователем. Корнем дерева является фиксированная часть детали (основание), относительно которой выполняется развертка. Элементы делятся на три категории:

- элементы, присоединяемые по внешнему контуру других элементов. Присоединяемые элементы могут определяться либо контурами, либо заданной деформацией, такой, как изгиб или кручение, и получаются в результате вычисления;
- дополнительные элементы, которые могут размещаться только внутри или по периметру ранее созданных элементов;
- элементы, конструируемые пользователем, нестандартные элементы, для создания которых используются средства данной подсистемы, и элементы, созданные пользователем в своей прикладной программе.

Деталь из листового металла может иметь до 255 элементов, распределенных по 120 уровням.

Вычисление гибов развернутой детали. Для вычисления развернутой длины гиба (изогнутого участка детали из листа) используют один из двух подходов:

интерактивный - применяют одну из формул, предусмотренных в подсистеме, с возможной коррекцией значения коэффициента;

- программный - записывают программу, которая выполнит необходимые вычисления.

Способы отображения детали. На любом этапе конструирования можно отобразить деталь либо согнутой, либо развернутой, управляя способом отображения:

• отображение контуром или листом позволяет получать реальное представление о детали из листа, либо запросить упрощенное отображение детали в виде контуров для более простой идентификации и обработки элементов;

• отображение «согнуть/разогнуть» наглядно представляет деталь в согнутом состоянии (реалистическое отображение детали в режиме 3D) либо развернутой;

• подробное или упрощенное отображение показывает полное и реалистическое представление деталей. Частичная детализация отображает только размещение элементов на детали.

Помимо возможности управлять способом отображения элементов в подсистеме обеспечивается автоматическое окрашивание элементов по их типу. Первый элемент детали - фиксированная часть, которая может быть либо плоским контуром, либо гибом - отображается красным цветом, в процессе операции развертывания он неподвижен. Присоединяемые элементы отображаются следующим образом: недеформированные элементы - зеленым цветом, деформированные части (местагибов) - желтым цветом. Дополнительные элементы имеют голубой цвет. Нестандартные элементы, символы-знаки и элементы пользователя отображаются фиолетовым цветом.

Текущая гнутая деталь. Первой разрабатывается текущая гнутая деталь. Можно начать разрабатывать новую деталь. Если нужно продолжить разработку ранее созданной в этом сеансе работы детали, выполняется редактирование детали. Если нужно продолжить разработку детали, созданной в прошлом сеансе работы и записанной в базу данных, то ее необходимо выгрузить из базы данных. Любая из этих моделей делает деталь текущей, присваивая ей следующие свойства: название; материал; толщина листа.

Система анализирует деталь и признает ее разворачиваемой или не разворачиваемой, о чем делает соответствующее сообщение.

Единицы измерения. Можно выбрать тип единиц измерения длины. Углы всегда выражаются в градусах. Единицы измерения жесткости материала и модуля упругости по умолчанию - Н/мм² (ニュ顿 на квадратный миллиметр). Альтернативное значение - фунт/дюйм² (фунт на квадратный дюйм). Нужно использовать те единицы измерения, которые установлены для параметров в начале сеанса работы. Если единицами измерения являются фунты, то нужно использовать фунт/дюйм² в качестве значения этого параметра. Если установлены метрические единицы измерения, то оставьте Н/мм².

Расположение элементов. Элементы детали из листового металла должны иметь соединения. Соединение - это отрезок, ограниченный двумя точками. Можно соединить следующие элементы: гибы, кручения и контуры.

Дополнительные элементы можно добавлять только внутри контуров ранее созданных элементов. Исключение составляют три типа обработки кромки и ребер, которые могут быть размещены на гибах в дополнение к контурам.

Для упрощения построения элементов можно создавать гибы, кручения, контуры и профили «по месту» и «не по месту». Если удобнее задать элемент в стороне от текущей детали («не по месту»), то нужно определить соединения между элементами, и система автоматически переместит элемент на его место.

Определение материалов. Материал листа имеет следующие характеристики:

- механические свойства для проверки предела деформации элементов детали;
- значения толщины листа из этого материала;
- минимальный радиус гиба, допустимый для каждой толщины листа.

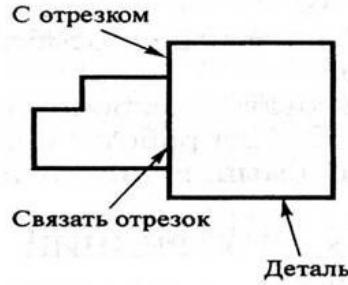


Рис. 1 Размещение элемента «по месту» (а) и «не по месту» (б)



Рис. 2 Положение нейтрального слоя

Можно хранить характеристики материала в базе данных, т. е. создать банк используемых на предприятии материалов в стандартной базе данных, в которой хранится информация, доступная всем пользователям. В этом случае изменение параметров материалов в базе данных не допускается.

Определение правил изгиба листового металла. При изгибе детали ее длина меняется. Результатирующая длина зависит от следующих факторов: радиуса гиба, угла гиба; толщины листа; относительного удлинения, прочности и модуля упругости листа; способа обработки листа (типа оборудования).

Существует общая формула для вычисления развернутых длин, основанная на положении нейтрального слоя. Развернутая длина гиба равна длине нейтрального слоя элемента. Нейтральный слой элемента не сжимается и не растягивается при сгибе элемента детали. Положение нейтрального слоя определяется коэффициентом нейтрального слоя

$$K = a / \text{ТОЛЩИНА},$$

где a - расстояние от нейтрального слоя до внутренней стороны гиба; ТОЛЩИНА - толщина листа.

Общая формула расчета развернутой длины гиба может быть записана в виде:

$$\text{РАЗВЕРНУТАЯ ДЛИНА} = \text{УГОЛ ГИБА} \times (\text{ВНУТРЕННИЙ РАДИУС} + \text{ТОЛЩИНА} \times K).$$

Параметры этой формулы выбираются различными способами в соответствии с требованиями конструктора.

В самом простом подходе можно воспользоваться выбором одной из следующих формул, которые пригодны для работы с любым материалом и часто используются в промышленности для вычисления развернутой длины изделия:

$$\text{РАЗВЕРНУТАЯ ДЛИНА} = \text{УГОЛ ГИБА} \times (\text{ВНУТРЕННИЙ РАДИУС} + \text{ТОЛЩИНА} \times 0,5),$$

где $0 < \text{УГОЛ ГИБА} < 90^\circ$;

$$\text{РАЗВЕРНУТАЯ ДЛИНА} = \text{УГОЛ ГИБА} \times (\text{ВНУТРЕННИЙ РАДИУС} + \text{ТОЛЩИНА} / 3),$$

где $90^\circ < \text{УГОЛ ГИБА} < 150^\circ$;

РАЗВЕРНУТАЯ ДЛИНА = УГОЛ ГИБА x (РАДИУС + ТОЛЩИНА /3) + 2 x (РАДИУС + ТОЛЩИНА) x ($\sin(\text{УГОЛ ГИБА} / 2)$ -1),
где $150^\circ < \text{УГОЛ ГИБА} < 180^\circ$.

Эти расчеты могут быть выполнены по умолчанию, если конструктор не решит добавить свои собственные правила.

В другом случае можно обеспечить соответствие параметров формулы развернутой длины требованиям заказчика, используя принятые на предприятии коэффициенты. Таким способом можно определить положение нейтрального слоя для каждой толщины материала и каждого радиуса гиба:

$$\text{ДЛИНА} = (\text{РАДИУС ГИБА} + \text{ТОЛЩИНА} \times K) \times \text{УГОЛ ГИБА},$$

где К - коэффициент положения нейтрального слоя гиба, определяемый по формуле

$$K = K_1 \times K_2.$$

Угловой весовой коэффициент K_1 выбирается по углу гиба, а линейный весовой коэффициент K_2 - по внутреннему радиусу гиба, толщине и типу листа. Таким образом, коэффициент К зависит от четырех параметров:

$$K = K_1 (\text{УГОЛ ГИБА}) \times K_2 (\text{РАДИУС ГИБА}, \text{ТОЛЩИНА}, \text{МАТЕРИАЛ}).$$

Значения коэффициентов K_1 и K_2 определяются пользователем как функции угла, радиуса гиба, толщины листа и характеристик материала.

И наконец, можно написать программу, алгоритм которой будет определять правила вычисления развернутой длины гиба с особыми свойствами материала.

Переменными являются R (радиус), t (толщина), УГОЛ ГИБА, E (относительное удлинение при разрыве).

В качестве примера, раскрывающего основные этапы создания корпуса прибора из листового металла, рассмотрим конструкцию (рис. 3), спроектированную в подсистеме твердотельного моделирования в виде совокупности контуров.

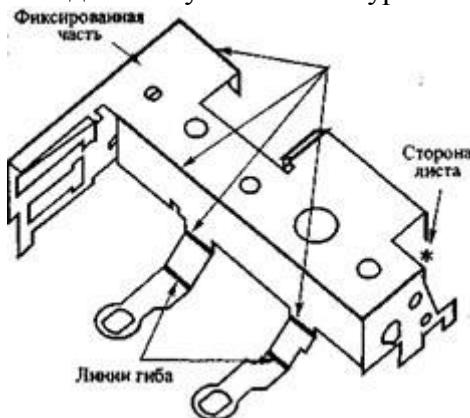


Рис. 3. Исходная сборка контуров модели корпуса прибора
Назначим материал листа, толщину листа 1,0 мм.

Чтобы перейти от исходной сборки контуров к законченной модели корпуса прибора необходимо выполнить несколько этапов.

- Используя базу данных материалов, выбрать и подтвердить толщину листов (например, 1 мм) и нужный материал.
- Из всех существующих контуров этого объекта указать фиксированную часть (основание) детали, относительно которой деталь будет разворачиваться, и все линии гиба.
- Запустить автоматический процесс формирования объемной модели корпуса и проверить полученный результат (рис. 4).

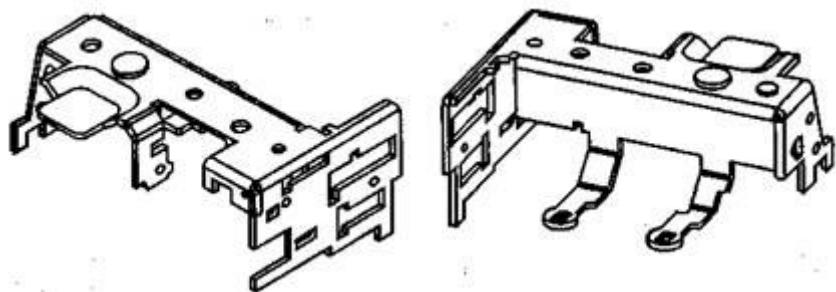


Рис. 4. Два вида законченной модели корпуса прибора

Выполнить необходимые вырезы и подрезы, создать углубления на детали. Чтобы выполнить последнюю операцию, например, необходимо указать:

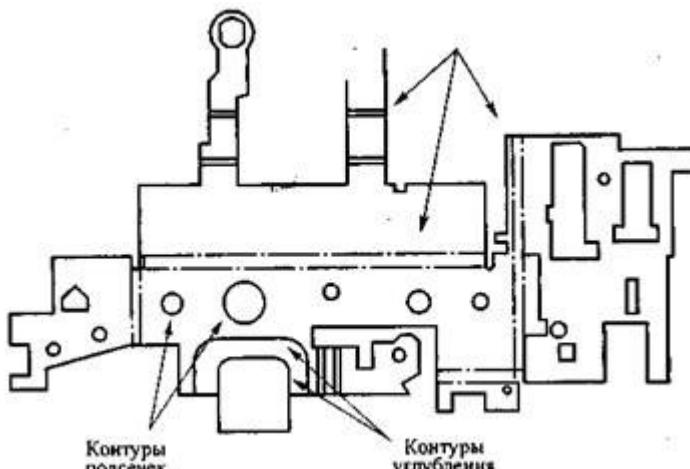
- контур углубления с плоским дном;
- ширину склона;
- радиус гиба между деформируемым материалом и фиксированной частью (автоматически задается это же значение для радиуса гиба у дна);
- глубину формовки.

После ввода подтверждения система выполнит моделирование и проверит допустимость заданных значений параметров.

- Создать при необходимости подсечки на элементах корпуса в нужном направлении (на рис. 5 показаны две подсечки - завышение на фиксированной части детали).

Выполнить развертку созданной детали (рис. 5).

Рис. 5
В
конструктор
значение массы
значения
развернутых
структур



Развертка
завершение
может уточнить
изделия, проверить
радиусов гибов,
длин гибов или
изделия.

2.3.3 Результаты и выводы:

Выполнены задачи практического занятия.

2.4 Практическое занятие №6 (2 часа).

Тема: «Немногообразные системы моделирования»

2.4.1 Задание для работы:

1. Общие сведения о системах моделирования.
2. Возможности немногообразных систем моделирования.

2.4.2 Краткое описание проводимого занятия:

1. Общие сведения о системах моделирования.

Системы геометрического моделирования

Системы геометрического моделирования позволяют работать с формами в трехмерном пространстве. Они были созданы для того, чтобы преодолеть проблемы, связанные с использованием физических моделей в процессе проектирования, такие как - сложность получения сложных форм с точными размерами, а также сложностью извлечения необходимых сведений из реальных моделей для их точного воспроизведения.

Эти системы создают среду, подобную той, в которой создаются физические модели. Другими словами, в системе геометрического моделирования разработчик изменяет форму модели, добавляет и удаляет ее части, детализируя форму визуальной модели. Визуальная модель может выглядеть также как и физическая, но она нематериальна. Однако трехмерная визуальная модель хранится в компьютере вместе со своим математическим описанием, благодаря чему устраняется главный недостаток физической модели - необходимость выполнения измерений для последующего прототипирования или серийного производства. Системы геометрического моделирования делятся на каркасные, поверхностные, твердотельные и немногообразные.

Системы каркасного моделирования

В системах каркасного моделирования форма представляется в виде набора характеризующих ее линий и конечных точек. Линии и точки используются для предоставления трехмерных объектов на экране, а изменение формы осуществляется путем изменения положения и размеров отрезков и точек. Другими словами, визуальная модель представляет собой каркасный чертеж формы, а соответствующее математическое описание представляет собой набор уравнений кривых, координат точек и сведений о связности кривых и точек. Сведения о связности описывают принадлежность точек к конкретным кривым, а также пересечение кривых друг с другом. Системы каркасного моделирования были популярны в ту пору, когда ГМ только начало зарождаться. Их популярность объяснялась тем, что в системах каркасного моделирования создание форм выполнялось через последовательность простых действий, так что пользователям было достаточно легко создавать формы самостоятельно. Однако визуальная модель, состоящая из одних лишь линий, может быть неоднозначной. Более того, соответствующее математическое описание не содержит сведений о внутренних и внешних поверхностях моделируемого объекта. Без этих сведений невозможно рассчитать массу объекта, определить траектории перемещения или создать сетку для конечноэлементного анализа, несмотря на то, что объект кажется трехмерным. Поскольку эти операции являются неотъемлемой частью процесса проектирования, системы каркасного моделирования были постепенно вытеснены системами поверхностного и твердотельного моделирования.

Системы поверхностного моделирования

В системах поверхностного моделирования математическое описание визуальной модели включает в себя не только сведения о характеристических линиях и их конечных точках, но и данные о поверхностях. При работе с отображаемой на экране моделью изменяются уравнения поверхностей, уравнения кривых и координаты точек. Математическое описание может включать сведения о связности поверхностей - как поверхности соединяются друг с другом и по каким кривым. В некоторых приложениях эти сведения могут оказаться очень полезными.

Существуют три стандартных метода создания поверхностей в системах поверхностного моделирования:

- 1) Интерполяция входных точек.
- 2) Интерполяция криволинейных точек.
- 3) Трансляция или вращение заданной кривой.

Системы поверхностного моделирования используются для создания моделей со сложными поверхностями, потому что визуальная модель позволяет оценить эстетичность проекта, а математическое описание позволяет построить программы с точными расчетами траекторий движения.

Системы твердотельного моделирования

Предназначены для работы с объектами, состоящими из замкнутого объема, или монолита. В системах твердотельного моделирования, в отличие от систем каркасного и поверхностного моделирования, не допускается создание набора поверхностей или характеристических линий, если они не образуют замкнутого объема. Математическое описание объекта, созданного в системе твердотельного моделирования, содержит сведения, по которым система может определить, где находится линия либо точка: внутри объема, снаружи него или на его границе. При этом можно получить любую информацию об объеме тела, а значит, могут быть использованы приложения, работающие с объектом на уровне объема, а не на поверхностях.

Однако системы твердотельного моделирования требуют большего количества входных данных по сравнению с количеством данных, дающих математическое описание. Если бы система требовала от пользователя ввода всех данных для полного математического описания, она стала бы слишком сложной для пользователей, и они бы отказались от нее. Поэтому разработчики таких систем стараются представить простые и естественные функции, чтобы пользователи могли работать с объемными формами, не вдаваясь в подробности математического описания.

Функции моделирования, поддерживаемые большинством систем твердотельного моделирования, могут быть разделены на пять основных групп:

- 1) Функции создания примитивов, а также функции добавления, вычитания объема - булевские операторы. Эти функции позволяют проектировщику быстро создать форму, близкую к окончательной форме детали.
- 2) Функции создания объемных тел путем перемещения поверхности. Функция заметания позволяет создавать объемное тело трансляцией или вращением области, заданной на плоскости.
- 3) Функции, предназначенные главным образом для изменения существующей формы. Типичными примерами являются функции скругления или плавного сопряжения и поднятия.
- 4) Функции позволяющие непосредственно манипулировать составляющими объемных тел, то есть по вершинам, ребрам и граням.
- 5) Функции, используя которые проектировщик может моделировать твердое тело при помощи свободных форм.

2. Возможности немногообразных систем моделирования.

Системы твердотельного моделирования позволяют пользователю создавать тела с замкнутым объемом, то есть, говоря математическим языком, тела, представляющие собой многообразия. Другими словами, такие системы запрещают создание структур, не являющихся многообразными. Нарушениями условия многообразности являются, например касание двух поверхностей в одной точке, касание двух поверхностей вдоль открытой или замкнутой кривой, два замкнутых объема с общей гранью, ребром или вершиной, а также поверхности, образующие структуры типа сот.

Запрет на создание немногообразных моделей считался одним из достоинств систем твердотельного моделирования, поскольку благодаря этому любую созданную в такой системе модель можно было бы изготовить. Если же пользователь хочет работать с

системой геометрического моделирования на протяжении всего процесса разработки, это достоинство оборачивается другой стороной.

Абстрактная модель со смешением измерений удобна тем, что она не стесняет творческую мысль конструктора. Модель со смешанными измерениями может содержать свободные ребра, слоистые поверхности и объемы. Абстрактная модель полезна также тем, что она может служить основой для проведения анализа. На каждом этапе процесса проектирования могут применяться свои аналитические средства. Например, методом конечных элементов, непосредственно на исходном представлении модели, что позволяет автоматизировать обратную связь между этапами проектирования и анализа, которая в настоящий момент реализуется конструктором самостоятельно. Немногообразные модели незаменимы как этап развития проекта от неполного описания на низких уровнях до готового объемного тела.

Системы немногообразного моделирования позволяют использовать каркасные, поверхностные, твердотельные и сотовые модели одновременно в одной и той же среде моделирования, расширяя диапазон доступных моделей.

Описание поверхностей

Важной составной частью геометрических моделей является описание поверхностей. Если поверхности детали - плоские грани, то модель может быть выражена достаточно просто определенной информацией о гранях, ребрах, вершинах детали. При этом обычно используется метод конструктивной геометрии. Представление с помощью плоских граней имеет место и в случае более сложных поверхностей, если эти поверхности аппроксимировать множествами плоских участков - полигональными сетками. Тогда можно поверхность модель задать одной из следующих форм:

1) модель есть список граней, каждая грань представлена упорядоченным списком вершин (циклом вершин); эта форма характеризуется значительной избыточностью, так как каждая вершина повторяется в нескольких списках;

2) модель есть список ребер, для каждого ребра заданы инцидентные вершины и грани. Однако аппроксимация полигональными сетками при больших размерах ячеек сетки дает заметные искажения формы, а при малых размерах ячеек оказывается неэффективной по вычислительным затратам. Поэтому более популярны описания поверхностей кубическими уравнениями в форме Безье или 5-сплайнов.

Знакомство с этими формами удобно выполнить, показав их применение для описания геометрических объектов первого уровня - пространственных кривых.

Примечание. Геометрическими объектами нулевого, первого и второго уровней называют соответственно точки, кривые, поверхности.

В подсистемах МГиГМ используются параметрически задаваемые кубические кривые:

$$\begin{aligned}x(t) &= axt^3 + bxt^2 + cxt + dx; \\y(t) &= ay t^3 + by t^2 + cy t + dy; \\z(t) &= a.t^3 + b_t^2 + c_j + d,\end{aligned}$$

где $1 > t > 0$. Такими кривыми описывают сегменты аппроксимируемой кривой, т. е. аппроксимируемую кривую разбивают на сегменты и каждый сегмент аппроксимируют уравнениями.

Применение кубических кривых обеспечивает (соответствующим выбором четырех коэффициентов в каждом из трех уравнений) выполнение четырех условий сопряжения сегментов. В случае кривых Безье этими условиями являются прохождение кривой сегмента через две заданные концевые точки и равенство в этих точках касательных векторов соседних сегментов. В случае 5-сплайнов выполняются условия непрерывности касательного вектора и кривизны (т. е. первой и второй производных) в двух концевых точках, что обеспечивает высокую степень гладкости кривой, хотя прохождение аппроксимирующей кривой через заданные точки здесь не обеспечивается.

Применение полиномов выше третьей степени не рекомендуется, так как велика вероятность появления волнистости.

В случае формы Безье коэффициенты в уравнениях определяются, во-первых, подстановкой в уравнение значений $t = 0$ и $t = 1$ и координат заданных концевых точек P_1 и P_4 соответственно, во-вторых, подстановкой в выражения производных:

$$dx/dt = 3a t^2 + 2b + c, \quad X \equiv x'$$

$$dy/dt = 3a, \quad Y \equiv y'$$

$$dz/dt = 3a \cdot t^2 + 2b \cdot t + c,$$

тех же значений $t = 0$ и $t = 1$ и координат точек P_2 и P_3 , задающих направления касательных векторов (рис. 1). В результате для формы Безье получаем

для которых матрица M имеет иной вид и представлена в табл., а векторы G_x , G_y , G_z содержат соответствующие координаты точек P_{-1} ; P_0 , P_1 , P_2 .

Покажем, что в точках сопряжения для первой и второй производных аппроксимирующего выражения выполняются условия непрерывности, что требуется по определению B-сплайна. Обозначим участок аппроксимирующего B-сплайна, соответствующий участку $[P_i, P_{i+1}]$ исходной кривой, через $[Q_i, Q_{i+1}]$. Тогда для этого участка и координаты x в точке сопряжения Q_{i+1} , имеем $t = 1$ и

Для участка $[Q_i, Q_{i+1}]$ в той же точке Q_{i+1} имеем $t = 0$ и

т. е. равенство производных в точке сопряжения на соседних участках подтверждает непрерывность касательного вектора и кривизны. Естественно, что значение x координаты x в точке Q_{i+1} аппроксимирующей кривой на участке $[Q_i, Q_{i+1}]$.

равно значению x , подсчитанному для той же точки на участке $[Q_i, Q_{i+2}]$, но значения координат узловых точек x и x_{i+1} аппроксимирующей и аппроксимируемой кривых не совпадают.

Аналогично можно получить выражения для форм Безье и 5-сплайнов применительно к поверхностям с учетом того, что вместо уравнения используются кубические зависимости от двух переменных.

2.4.3 Результаты и выводы:

Выполнены задачи практического занятия.

2.5 Практическое занятие №7 (2 часа).

Тема: «Системы моделирования устройств»

2.5.1 Задание для работы:

1. Построение геометрической модели сборочного узла.

2.5.2 Краткое описание проводимого занятия:

1. Построение геометрической модели сборочного узла.

SolidWorks 97 предлагает конструктору довольно гибкие возможности создания узлов и сборок. Система поддерживает как создание сборки способом “снизу вверх”, т.е. на основе уже имеющихся деталей, число которых может доходить до сотен и тысяч, так и проектирование “сверху вниз”.

Проектирование сборки начинается с задания взаимного расположения деталей друг относительно друга, причем обеспечивается предварительный просмотр накладываемой пространственной связи. Для цилиндрических поверхностей могут быть заданы связи концентричности, для плоскостей - их совпадение, параллельность, перпендикулярность или угол взаимного расположения.

Работая со сборкой, можно по мере необходимости создавать новые детали, определяя их размеры и расположение в пространстве относительно других элементов сборки. Наложенные связи позволяют автоматически перестраивать всю сборку при изменении параметров любой из деталей, входящих в узел.

Каждая деталь обладает материальными свойствами, поэтому существует возможность контроля собираемости сборки. Для проектирования изделий, получаемых с помощью сварки, система позволяет выполнить объединение нескольких свариваемых деталей в одну.

Управление моделью с помощью Дерева Построений (Feature Manager).

Для упрощения работы с трехмерной моделью на любом этапе проектирования и повышения её наглядности в SolidWorks 97 используется Дерево Построений (Feature Manager) в стиле Проводника Windows 95. Оно представляет собой своеобразную графическую карту модели, последовательно отражающую все геометрические примитивы, которые были использованы при создании детали, а также конструктивные оси и вспомогательные плоскости, на которых создавались двухмерные эскизы. При работе же в режиме сборки Дерево Построений показывает список деталей, входящих в сборку. Обычно Дерево Построений отображается в левой части окна SolidWorks, хотя его положение можно в любой момент изменить.

Feature Manager предоставляет мощные средства редактирования структуры модели или узла. Он позволяет переопределять порядок следования отдельных конструктивных элементов либо целых деталей, создавать в пределах детали или сборки несколько вариантов конфигурации какого-либо элемента и т.д.

Визуализация проектируемых изделий.

Используемая в SolidWorks 97 технология OpenGL позволяет конструктору практически мгновенно получить высококачественные тонированные изображения деталей или сборок, а также динамически вращать их в режиме реального времени. Причем все это доступно без установки на компьютер дорогостоящих дополнительных графических ускорителей.

Кроме того, специальное приложение PhotoWorks даёт возможность создавать фотореалистические изображения построенных объектов. Таким образом, рекламные изображения будущего изделия вполне можно подготовить еще до момента его изготовления. Для того, чтобы представить изделие наиболее наглядно (например, при подготовке презентационного фильма), можно показать входящие в него детали или сборки рассечёнными несколькими плоскостями, оставив при этом неизменными их геометрические параметры.

Генерация чертежей.

После того, как конструктор создал твёрдотельную модель детали или сборки, он может автоматически получить рабочие чертежи с изображениями всех основных видов, проекций, сечений и разрезов, а также с проставленными размерами. SolidWorks поддерживает двунаправленную ассоциативную связь между чертежами и твердотельными моделями, так что при изменении размера на чертеже автоматически перестраиваются все связанные с этим размером конструктивные элементы в трехмерной модели. И наоборот, любое изменение, внесенное в твердотельную модель, повлечет за собой автоматическую модификацию соответствующих двумерных чертежей.

В SolidWorks 97 поддерживается выпуск чертежей в соответствии со стандартами ANSI, ISO, JIS и рядом других. Для оформления чертёжно-конструкторской документации в полном соответствии с ЕСКД рекомендуется использование применение SolidWorks совместно с мощным чертёжно-графическим редактором КОМПАС 5 для Windows.

Импорт и экспорт данных.

Моделирование и получение чертёжно-конструкторской документации - это лишь один из этапов на пути от принятия решения о проектирования изделия до выпуска готовой продукции. Поэтому необходимо обеспечить доступ других приложений CAD/CAM к созданной в SolidWorks твёрдотельной модели.

Система поддерживает обмен информацией через следующие стандартные форматы:

IGES, наиболее распространенный формат обмена между системами объёмного моделирования;

X_T, формат для обмена с системами объёмного моделирования, использующими геометрическое ядро Parasolid;

SAT, формат для обмена с системами объёмного моделирования, использующими геометрическое ядро ACIS;

STL, формат для обмена с системами быстрого прототипирования (стереолитографическими системами);

DXF для обмена данными с различными чертёжно-графическими системами;

DWG для обмена данными с AutoCAD;

VRML для обмена данными проектирования через Internet.

2.5.3 Результаты и выводы:

Выполнены задачи практического занятия.

2.6 Практическое занятие №8 (2 часа).

Тема: «Краткие сведения о представлении кривых и поверхностей в системах геометрического моделирования»

2.6.1 Задание для работы:

1. Построение геометрической модели с использованием поверхностей.

2.6.2 Краткое описание проводимого занятия:

1. Построение геометрической модели с использованием поверхностей.

Можно выделить два основных типа представлений 3D моделей:

· *границное*, когда в модели хранятся границы объекта, например, вершины, ребра, грани,

· в виде *дерева построения*, когда хранятся базовые объекты (призма, пирамида, цилиндр, конус и т.п.) из которых формировалось тело и использованные при этом операции; в узле дерева сохраняется операция формирования, а ветви представляют объекты.

Предельным случаем границной модели является модель, использующая *перечисление* всех точек занимаемого ею пространства. В частности, тело может быть аппроксимировано набором "склеенных" друг с другом параллелепипедов, что может быть удобно для некоторых вычислений (веса, объемы, расчеты методом конечных элементов и т.д.).

Часто используются гибридные модели, в которых в различной мере смешиваются эти два основных типа представления. В частности, в границной модели может сохраняться информация о способе построения, например, информация о контуре и траектории его перемещения для формирования заданной поверхности (это т.н. *кинематические* модели). В моделях в виде дерева построения в качестве элементарных могут использоваться не только базовые объекты, но также и сплошные тела, заданные с помощью границ.

В общем случае нельзя утверждать, что одна модель во всем лучше другой. Так, например, граничная модель удобна для выполнения операций визуализации (удаление невидимых частей, закраска и т.п.), с другой стороны модель в виде дерева построения естественным образом может обеспечить параметризацию объекта, т.е. модификацию объекта изменением тех или иных отдельных параметров, вплоть до убирания каких-либо составных частей, но не удобна для визуализации, так как требует перевычисления объекта по дереву построения. Поэтому необходимы средства взаимного преобразования моделей. Понятно, что из более общей можно сформировать более простую, обратное преобразование далеко не всегда возможно или целесообразно, что и иллюстрируется сплошными и штриховыми линиями на рис. 1.

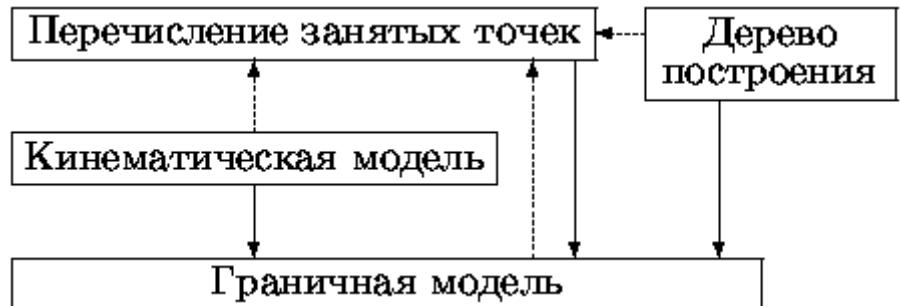


Рис. 1 Преобразования моделей представления

Из рисунка видно особое место граничной модели, преобразование в которую возможно из любых других. Учитывая это, а также и то, что эта модель наиболее удобна для визуализации дальнейшее рассмотрение будет, в основном, относиться к этой модели.

Используются две основных разновидности способов представления поверхностей тела:

- представление в виде набора вершин, ребер и плоских многоугольников (полигональных сеток),
- представление с использованием параметрических бикубических площадок (кусков).

Полигональные сетки используются как для представления плоских поверхностей, так и для аппроксимации криволинейных, в том числе и параметрических бикубических площадок, поэтому далее в основном подразумевается представление поверхности в виде плоских многоугольников.

Полигональные сетки

Как отмечалось, полигональная сетка представляет собой набор вершин, ребер и плоских многоугольников. Вершины соединяются ребрами. Многоугольники рассматриваются либо как последовательность вершин или ребер. Можно предложить много способов внутреннего представления полигональных сеток.

На рис. 2 изображен простой пример полигональной сетки из четырех многоугольников с девятью вершинами и двенадцатью ребрами. На рис. 3 и 4 рассмотрены несколько различных представлений и приведены соображения по их эффективности и удобству манипулирования.

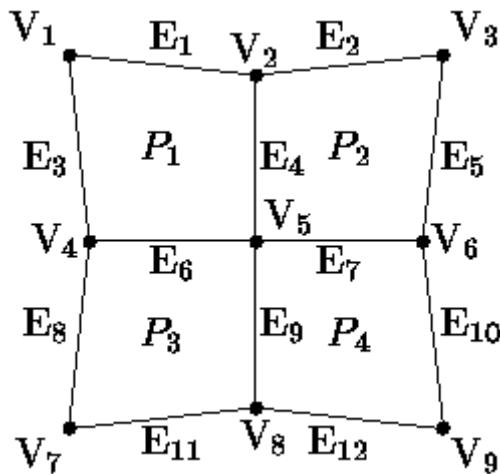


Рис. 2 Пример полигональной сетки. P_i - многоугольники, V_j - вершины, E_k - ребра.

P_1	P_2	P_3	P_4
V_1	V_2	V_4	V_5
V_2	V_3	V_5	V_6
V_5	V_6	V_8	V_9
V_4	V_5	V_7	V_8

Рис. 3 Представление полигональной сетки с явным заданием многоугольников.

Компактно для одного многоугольника, но сильно избыточно для набора, так как не существует общего описания общих вершин и ребер.

Списки вершин

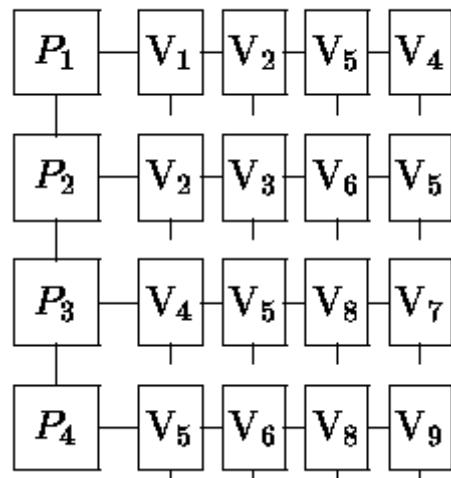


Рис. 4 Представление полигональной сетки с указателями на списки вершин.

Элементы списка указателей на вершины для каждого многоугольника ссылаются на соответствующие координатные данные для вершин. Данное представление компактнее предыдущего, но трудно найти многоугольники с общими ребрами.

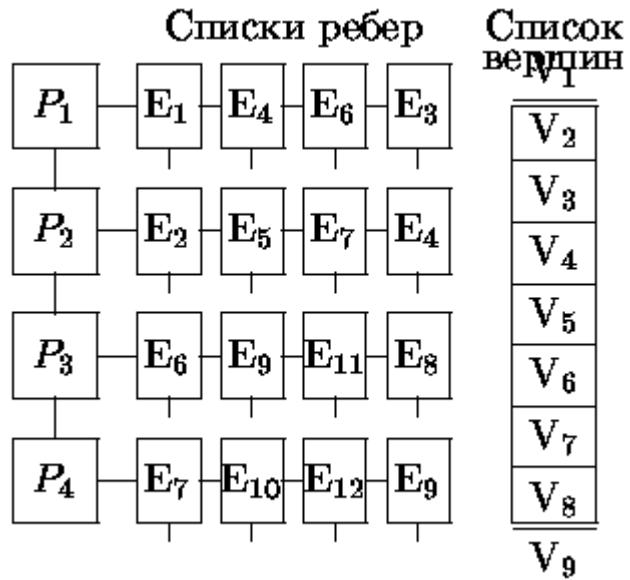


Рис. 5 Представление полигональной сетки в виде списка ребер.

Элементы списка ребер содержат указатели на вершины в списке вершин, образующие данное ребро. Для обеспечения поиска всех вершин, образующих данный многоугольник, необходимо иметь обратные указатели от вершины на одно из инцидентных к ней ребер.

2.6.3 Результаты и выводы:

Выполнены задачи практического занятия.