

О.А. Крайнова

ОСНОВЫ ТРЕХМЕРНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ И АНИМАЦИИ (на примере графического пакета Maya v.7)

Учебно-методическое пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по математическим, естественнонаучным направлениям и специальностям, очной и заочной форм обучения

Часть 1

Тольятти ТГУ 2010 Федеральное агентство по образованию Тольяттинский государственный университет Факультет математики и информатики Кафедра «Информатика и вычислительная техника»

О.А. Крайнова

ОСНОВЫ ТРЕХМЕРНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ И АНИМАЦИИ (на примере графического пакета Maya v.7)

Учебно-методическое пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по математическим, естественнонаучным направлениям и специальностям, очной и заочной форм обучения

Часть 1

Тольятти ТГУ 2010

Рецензенты:

к.п.н., доцент Жигулевского радиотехнического техникума *Т.А. Агошкова*; к.п.н., доцент Тольяттинского государственного университета *О.М. Гущина*.

К775 Крайнова, О.А. Основы трехмерной компьютерной графики и анимации (на примере графического пакета Мауа v.7) : учеб.-метод. пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по математическим, естественнонаучным направлениям и специальностям, очной и заочной форм обучения. В 2 ч. / О.А. Крайнова. – Тольятти : ТГУ, 2010. – Ч. 1. – 162 с.

Учебно-методическое пособие посвящено изучению основных понятий трехмерной компьютерной графики, визуализации и анимации в специализированной графической среде Maya v.7. Оно может быть рекомендовано для самостоятельного изучения студентам очного и заочного отделений университетов, обучающихся по математическим, естественнонаучным направлениям и специальностям, а также преподавателям информатики для чтения лекций и проведения лабораторно-практических занятий по трехмерной компьютерной графике.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

ISBN 978-5-8259-0549-5

© Тольяттинский государственный университет, 2010

введение

Компьютерная графика – это специальная область информатики, изучающая методы и средства создания и обработки изображений с помощью программно-аппаратных вычислительных комплексов. Работа с компьютерной графикой – одно из самых популярных направлений использования персонального компьютера, причем занимаются этой работой не только профессиональные художники и дизайнеры. На любом предприятии время от времени возникает необходимость в подаче рекламных объявлений в газеты и журналы, в выпуске рекламной листовки или буклета. Иногда предприятия заказывают такую работу специальным дизайнерским бюро или рекламным агентствам. Без компьютерной графики не обходится ни одна современная программа. Работа над графикой занимает до 90% рабочего времени программистских коллективов, выпускающих программы массового применения. Основные трудозатраты в работе редакций и издательств тоже составляют художественные и оформительские работы с графическими программами. Необходимость широкого использования графических программных средств стала особенно ощутимой в связи с развитием Интернета и в первую очередь благодаря службе World Wide Web, связавшей в единую «паутину» миллионы «домашних страниц». У страницы, оформленной без компьютерной графики, мало шансов привлечь к себе массовое внимание. Область применения компьютерной графики не ограничивается одними художественными эффектами. Во всех отраслях науки, техники, медицины, в коммерческой и управленческой деятельности используются построенные с помощью компьютера схемы, графики, диаграммы, предназначенные для наглядного отображения разнообразной информации. Конструкторы, разрабатывая новые модели автомобилей и самолетов, используют трехмерные графические объекты, чтобы представить окончательный вид изделия. Архитекторы создают на экране монитора объемное изображение здания, и это позволяет им увидеть, как оно впишется в ландшафт.

Особо востребованным направлением компьютерной графики являются создание и анимация трехмерных изображений.

За последние годы *3D-графика* прочно укоренилась в нашей жизни: все больше инженерных и дизайнерских работ выполняются в трехмер-

ном пространстве, и почти в каждой компьютерной игре присутствуют 3D-средства.

3D-объект – это объемное тело, обладающее длиной, шириной и глубиной – свойствами, которые в течение многих лет у компьютерных изображений отсутствовали. На самом деле 3D-объекты существуют только в памяти компьютера. Монитор лишь отображает их на плоской поверхности экрана. Трехмерный объект характеризуется присущей ему формой и текстурой поверхности. Форма – это геометрия объекта, которая обычно описывается серией взаимосвязанных точек (вершин) в трехмерном пространстве и многоугольников (граней – замкнутых двухмерных фигур с тремя или более сторонами). Например, куб имеет восемь вершин и шесть граней. Причем для простоты в большинстве случаев в качестве базовых многоугольников выбираются треугольники и соединяются друг с другом по нескольку сотен или даже тысяч, образуя сложные трехмерные сетки. Текстура поверхности – это простое описание свойств поверхности подобных многоугольников: их цвета, прозрачности, отражающей способности и т. д.

Чтобы отобразить 3D-объект на экране, компьютеру приходится выполнять некоторые серьезные математические расчеты. Сначала он выясняет, какие части объекта будут видны с заданной точки обзора. Кроме того, объект не будет выглядеть объемным, если в изображении не будет обозначена перспектива. Поэтому компьютер, используя информацию о глубине, корректирует изображение таким образом, чтобы создать на двухмерном экране иллюзию глубины.

Затем компьютер берет информацию о текстуре и выясняет, как объект взаимодействует со светом: какого цвета он должен быть, какое количество света должно отражаться от каждой его грани, должны ли возникать какие-либо тени и т. д.

Все современные пакеты, как правило, универсальны, то есть объединяют и моделирование, и анимацию, и рендеринг, а некоторые, кроме того, имеют еще и модули для постобработки, подготовки изображения, композитинга, вывода на видеопленку, запись на CD-ROM или публикацию в сети Интернет.

Пакет *Мауа* справедливо считается одним из лучших (но и одним из самых сложных в изучении) в области трехмерного моделирования, анимации и рендеринга. Он обладает всеми необходимыми средства-

4

ми для создания игровых миров и анимационных роликов, поэтому используется рядом разработчиков компьютерных игр и незаменим в компьютерной мультипликации и художественной анимации. Более того. Мауа позволяет внедрять фотореалистичные элементы в обычные фильмы, открывая дорогу применению разнообразных спецэффектов, которые невозможно, слишком дорого или чересчур опасно воспроизвести в действительности. Созданная в среде Мауа трехмерная анимация часто используется при разработке демонстрируемых по телевидению рекламных роликов, телевизионных заставок и клипов. Дизайнерам данный пакет предоставляет средства фотореалистической визуализации для анализа разрабатываемого проекта, проведения презентаций и создания маркетинговых материалов. Мауа также может использоваться в судебной медицине, когда возникает необходимость продемонстрировать воссозданную последовательность происходивших событий, что актуально, например, в отношении автомобильных аварий. Также Мауа находит применение в архитектуре и промышленности для визуального представления самых разных моделей, начиная от обычных флаконов и заканчивая автомобилями и самолетами.

Мауа была разработана Alias Systems Corporation и названа в честь санскритского слова, которое означает «иллюзия». Мауа выпущена для операционных систем Microsoft Windows, GNU/Linux, IRIX и Mac OS X. В октябре 2005 года компания Alias влилась в Autodesk. Представители компании в различных интервью подтвердили, что не будут сливать Мауа и 3ds Max в один продукт.

Мауа существует в трёх версиях:

- 1) Maya Unlimited самый полный и самый дорогой пакет;
- 2) Maya Complete менее мощный пакет;
- Maya Personal Learning Edition бесплатный пакет для некоммерческого использования, в котором есть функциональные ограничения, а также все отрендеренные изображения помечаются водяным знаком.

Пакет Мауа достаточно сложен в освоении и имеет огромное число настроек, инструментов и меню — их значительно больше, чем в любом из конкурирующих пакетов.

Инструментарий Мауа сведен в четыре группы: Animation (анимация), Modeling (моделирование), Dynamic (физическое моделирование), Rendering (визуализация). Удобный настраиваемый интерфейс

выполнен в соответствии с современными требованиями. На сегодняшний день Мауа является наиболее передовым пакетом в классе средств создания и обработки трехмерной графики для персональных компьютеров.

В Мауа встроен мощный интерпретируемый кросс-платформенный язык: Мауа Embedded Language (MEL), очень похожий на Tcl. Это не просто скриптовый язык, это способ настроить основную функциональность Мауа (большая часть окружения Мауа и сопутствующих инструментов написана на нем). В частности, пользователь может записать свои действия как скрипт на MEL, из которого можно быстро сделать удобный макрос. Так аниматоры могут добавлять функциональность к Maya, даже не владея языками С или C++, оставляя при необходимости такую возможность.

Файлы проектов, включая все данные о геометрии и анимации, сохраняются как последовательности операций MEL. Эти файлы могут сохраняться в текстовом файле (.ma — Maya ASCII), который может быть отредактирован в любом текстовом редакторе. Это обеспечивает непревзойденный уровень гибкости при работе с внешними инструментами.

Кроме того, благодаря тому что пакет Мауа полностью переписан под новые технологии, он далеко опережает потенциальных конкурентов как по возможностям интерактивной работы, так и по скорости рендеринга. Причем пакет может быть легко расширен и произвольно настроен пользователем.

Характеристики продукта:

- Мауа FX жесткая и мягкая динамика тел;
- Maya Artisan лепка объектов путем рисования на их поверхности;
- Maya Fusion модифицированная версия известной программы Digital Fusion фирмы eyeon для постобработки и композитинга;
- Мауа Fur средство для «выращивания» реалистичных волос и меха;
- Мауа Cloth разработка трехмерной одежды по выкройке и «одевание» 3D-моделей;
- Maya Live трехмерный ротоскопинг;
- IPR Interactive Photorealistic Render;
- мощные средства анимации;
- развитая система частиц;

- подстановка объектов вместо частиц и программирование эффектов;
- управление отображением текстур на экране и в окне Multilister;
- гибкий язык сценариев MEL;
- интерфейс, настраиваемый пользователем;
- полный набор инструментов для NURBS- и полигонального моделирования;
- сверхбыстрые булевы операции на полигонах и сплайнах;
- встроенные эффекты типа огня, дыма и пр.;
- многопроцессорный гибкий рендеринг.

Важная особенность Мауа — её открытость для сторонних разработчиков, которые могут преобразовать её в версию, более всего удовлетворяющую требования больших студий, предпочитающих писать специфичный код для своих нужд. Если даже не брать во внимание присущую Мауа мощь и гибкость, то одной этой особенности достаточно для того, чтобы повлиять на выбор.

§ 1. ОСОБЕННОСТИ ИНТЕРФЕЙСА МАУА

1.1. Окно Мауа

Для работы в программе предназначено стандартное для Windowsпрограмм главное командное меню и ряд панелей инструментов, которые располагаются со всех сторон рабочего окна (рис. 1.1). С помощью панелей инструментов обеспечивается быстрый доступ к командам главного меню, к инструментам панелей и любому элементу интерфейса.



Рис. 1.1. Вид окна Мауа при первом запуске

1.2. Режимы работы в Мауа

В версиях Maya Complete и Maya Personal Learning Edition существует четыре режима работы: Animation (Анимация), Modeling (Моделирование), Dynamics (Динамика) и Rendering (Рендеринг).

 Аnimation (анимация). Содержит всевозможные меню для установки ключевых кадров, создания связей, анимации пути и ограничений. Натягивание кожи и работа с инверсной кинематикой скелета, так же как и меню, содержащие работы с деформаторами, также относятся к этому набору меню.

- Modeling (моделирование). Содержит меню для создания кривых и поверхностей, а также меню работы с полигонами и инструменты редактирования.
- Dynamics (Динамика). Содержит меню для работы с частичками (Particles), создания жестких и мягких тел (Rigid и Soft Body), а также инструменты редактирования. Меню эффектов (Effects) содержит множество инструментов для работы с уже готовыми динамическими эффектами и примеров, демонстрирующих, что можно сделать с помощью инструментов Dynamics.
- Rendering (Рендеринг). Содержит меню для создания освещения, работы с материалами, а также инструменты для накладывания текстур.
 Набор инструментов и меню Paint Effects также находятся здесь.

Нужный режим выбирается из раскрывающегося списка, расположенного в левой верхней части окна программы (рис. 1.2). Переключать режимы можно и с помощью функциональных клавиш F2, F3, F4 и F5.

В версии Maya Unlimited появляются еще два режима – Cloth (Работа с тканями) и Live (Живая камера).



Рис. 1.2. Режимы работы в Мауа

1.3. Компоненты стандартного окна Мауа

Командное меню расположено в верхней части окна программы и является динамическим, т. к. часть входящих в него команд изменяются при смене режима работы – первые 6 пунктов меню: File (Файл), Edit (Редактирование), Modify (Изменение), Create (Создание), Display (Отображение) и Window (Окно) стандартны для всех режимов. Каждое меню выполняет определенную функцию:

- File (Файл). Управление файлами. Команды этого меню позволяют сохранять и открывать файлы, оптимизировать размер сцены, а также импортировать и экспортировать объекты;
- Еdit (Правка). Редактирование характеристик сцены, например копирование или дублирование объектов, отмена ранее выполнявшихся действий;
- Моdify (Изменить). Редактирование объектов сцены, например конвертирование между различными типами объектов, их перемещение или масштабирование;
- Сгеаtе (Создать). Создание новых объектов, например примитивов, кривых, текста и т. д.;
- Display (Отображение). Настройка пользовательского интерфейса, изменение видимости различных элементов сцены и переход к редактированию подобъектов – вершин, каркаса кривой, опорных точек и т. п.;
- Window (Окно). Доступ к различным окнам диалога, например Attribute Editor (Редактор атрибутов), Outliner (Структура), Graph Editor (Редактор анимационных кривых), Hypergraph (Просмотр структуры);
- Help (Справка). Доступ к файлам со справочной информацией.

Справа от некоторых пунктов меню находятся различные значки — стрелочки и квадратики. Выбор пункта меню со стрелкой справа открывает дополнительное меню. Щелчок на квадратике приводит к появлению окна диалога с параметрами соответствующего инструмента, настраиваемыми до выполнения действия. Причем последние настройки сохраняются и применяются при следующем использовании инструмента по умолчанию.

Некоторые из пунктов меню удобно превратить в плавающие панели, что целесообразно при частом использовании соответствующего набора инструментов. Такие пункты меню отмечены в верхней части двойной линией — для их превращения в панель достаточно щелкнуть на этой двойной линии (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Пункт меню Create/NURBS Primitives и соответствующая ему плавающая панель

Наиболее часто используемые панели и палитры загружаются при начальном запуске программы. Прямо под командным меню находится строка состояния (Status Line) (рис. 1.4), в самом начале которой как раз и располагается список смены режима. В ней размещаются большинство переключателей и кнопок, необходимых для управления объектами и запуска часто применяемых функций.

Рис. 1.4. Вид строки состояния

За списком выбора режима работы следует набор кнопок, предназначенных для управления файлами: создать, открыть, сохранить.

Затем следует группа кнопок, управляющая режимами выделения объектов. Первым в ней идет раскрывающийся список Selection Mask (Маска выделения). С его помощью выбирается доступный для выделения тип объектов.

Первыми после списка идут три кнопки, определяющие различные режимы выделения: Hierarchy Mode (Режим выделения иерархических цепочек), Object Mode (Режим выделения объектов), Component Mode (Режим выделения подобъектов). Для перехода между режимами выделения объектов и подобъектов достаточно нажать клавишу F8.

Следующий набор значков соответствует индивидуальным маскам выделения. Он позволяет указать, какие объекты и подобъекты вы хотите сделать выделяемыми:

- Set Object Selection Mask (Выбор маски выделения объектов);
- Select by Handles (Выделение манипуляторов);
- Select by Joints (Выделение суставов);
- Select by Curve (Выделение кривых);
- Select by Surfaces (Выделение поверхностей);
- Select by Deformations (Выделение деформаций);
- Select by Dynamics (Выделение динамики);
- Select by Rendering (Выделение узлов визуализации);
- Select by Miscellaneous (Смешанный режим выделения);
- Lock Selection (Блокировка выделенного набора);
- Highlight Selection Mode (Режим подсветки выделенных объектов).

Дальше следует группа значков с изображением магнита. Это кнопки управления привязками, то есть возможностью притянуть указатель мыши или объект к определенной точке сцены. Это нужно для точного размещения объектов в пространстве. Вот существующие режимы привязок:

- Snap to Grids (Привязка к сетке);
- Snap to Curves (Привязка к кривым);
- Snap to Points (Привязка к точкам);
- Snap to View Planes (Привязка к плоскостям);
- Make the Selected Object Live (Оживить выделенные объекты).

Следующая группа состоит из трех кнопок. Первые две позволяют работать с входными и выходными связями, а третья включает и выключает фиксацию истории конструирования объектов:

- Input Connections (Входные связи);
- Output Connections (Выходные связи);
- Construction History (История конструирования).

Следующие три кнопки относятся к элементам управления визуализацией:

- Render Current Frame (Визуализация текущего кадра);
- IPR Render Current Frame (Интерактивная фотореалистичная визуализация текущего кадра);
- Render Globals (Общие параметры визуализации).

В правой части строки состояния находится текстовое поле, предназначенное, в частности, для выделения объектов по именам.

Под строкой состояния расположена панель Shelf (Полка) с самыми разнообразными вкладками (рис. 1.5) — на ней находятся инструменты для создания объектов и их деформации, команды управления анимацией и т. д. Чтобы сделать видимым другой набор значков, достаточно щелкнуть на ярлычке соответствующей вкладки. Последняя вкладка Custom (Пользовательская) не содержит кнопок, там можно поместить пусковые ярлыки на инструменты, с которыми приходится работать чаще всего.

Щелкнув на кнопке с указывающей вниз стрелкой, расположенной слева от вкладок, можно получить доступ к меню, содержащему команды редактирования их содержимого. Например, создание новой вкладки.

Genera	I Curves	Surfaces	Polygons	Subdivs	Deformation	Animation	Dynamics	Rendering	PaintEffects	Toon	Custom
图				1	🖤 🧔 🔰	** 😽					

Рис. 1.5. Вид панели Shelf

Слева расположена панель Tool Box (рис. 2.7), где преимущественно объединены команды для выполнения операций перемещения, вращения и масштабирования объектов, а также кнопки вариантов отображения окон проекций.

В нижней части программного окна расположены палитры Time Slider (Слайдер времени) (рис. 1.6) и Range Slider (Слайдер диапазона) (рис. 1.7), позволяющие управлять анимацией.

2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	1.00	Per 14 4	

Рис. 1.6. Вид панели Time Slider

Кнопки Time Slider отвечают за воспроизведение, паузу, перемотку и некоторые другие операции, связанные с установкой ключевых кадров. Из Time Slider можно установить текущий кадр, а также следующий и предыдущий для выделенного объекта и сцены целиком.



Рис. 1.7. Вид панели Range Slider

Range Slider содержит дополнительные опции управления атрибутами анимации. Можно установить диапазон кадров анимации в сцене, и, расширяя или сужая Range Slider, сфокусироваться на отдельных диапазонах кадров.

Ниже расположены еще две строки — это командная строка и строка подсказки (рис. 1.8).



Рис. 1.8. Вид командной строки и строки подсказки

Любое предпринятое действие, по сути, является выполнением команды или сценария языка программирования MEL (Maya Embedded language). Для ввода команд используется командная строка или окно диалога Script Editor (Редактор сценариев).



Рис. 1.9. Вид редактора атрибутов Attribute Editor, окна диалога Channel Box/Layer Editor, окна с параметрами инструмента Tool Settings

В строке подсказки отображается информация практически о любом видимом на экране элементе. При наведении указателя мыши на кнопку или команду меню в этой строке появляется их название. Иногда программа также предлагает сделать следующий шаг в процессе работы с определенной функцией или ввести численное значение, чтобы завершить выполняемую операцию.

Существенная по размерам область экрана в правой части окна содержит редактор атрибутов Attribute Editor (рис. 1.9), предназначенный для редактирования объектов. На месте редактора атрибутов может находиться окно диалога Channel Box/Layer Editor (Окно каналов/Редактор слоев) или Tool Settings (Окно с параметрами инструмента).

Любую из панелей можно скрыть, щелкнув на треугольнике в ее левом верхнем углу. Чтобы открыть или скрыть одну из перечисленных универсальных панелей, необходимо выбрать пункт меню Display / UI Elements (Отображение / Универсальные элементы) (рис. 1.10).



Рис. 1.10. Пункт меню Display / UI Elements

Для быстрого открытия/закрытия панелей Attribute Editor, Tool Settings и Channel Box/Layer Editor имеются кнопки в правом верхнем углу (рис. 1.11):

- Show/Hide Attribute Editor (Показать/скрыть редактор атрибутов);

- Show/Hide Tool Settings (Показать/скрыть окно с параметрами инструмента);
- Show/Hide Channel Box/Layer Editor (Показать/скрыть окно каналов/редактор слоев).



Рис. 1.11. Кнопки быстрого открытия/закрытия панелей Attribute Editor, Tool Settings и Channel Box/Layer Editor

Сочетание клавиш Ctrl+а переключает отображение панелей Attribute Editor и Channel Box/Layer Editor.

1.4. Меню оперативного доступа

Кроме того, при помощи меню *оперативного доступа* (удерживание Пробела) и дальнейшего использования левой кнопки мыши можно вызвать любые команды меню (рис. 1.12).



Рис. 1.12. Вид сокращенного варианта меню оперативного доступа

Для работы в Мауа требуется трехкнопочная мышь. Можно воспользоваться мышью с колесом прокрутки, которое в этом случае выполняет функцию средней кнопки. Кроме того, это колесо можно использовать для изменения масштаба в окнах проекции. В Мауа левая кнопка мыши используется в качестве основного инструмента выделения объектов, правая — вызывает многочисленные контекстные меню, средняя — позволяет перемещаться по интерфейсу Мауа и двигать различные элементы сцены, а также менять их масштаб.

Вопросы для самоконтроля

- 1. Опишите четыре основных режима работы в Мауа.
- Каким образом возможно переключение между основными режимами работы в Мауа?
- Как изменяются пункты динамического меню в зависимости от выбора режима работы?
- 4. Что означают квадратики и стрелочки справа от некоторых пунктов меню?
- 5. С какой целью в Мауа используются окна настроек инструментов?
- 6. Каким образом вернуть настройки «по умолчанию»?
- 7. Чем отличается динамическое меню от меню оперативного доступа?
- 8. Каким образом можно открыть плавающие панели в Мауа?
- 9. Опишите назначение строки состояния и панели Shelf.
- 10. Как создать пользовательскую вкладку на панели Shelf?
- 11. Какие элементы окна Мауа позволяют управлять анимацией?
- 12. Опишите назначение редактора атрибутов Attribute Editor.
- 13. Опишите назначение окна Channel Box.
- 14. Опишите назначение окна Tool Setting.
- 15. Как можно настроить интерфейс Мауа под задачи конкретного пользователя?

Практические задания

- 1. Изучить рабочее пространство Мауа, режимы работы: Animation, Modeling, Dynamics, Rendering.
- Просмотреть пункты меню в каждом из режимов, возможности выделения плавающих панелей, меню оперативного доступа.
- 3. Изучить способы открытия редактора атрибутов Attribute Editor, окна диалога Channel Box/Layer Editor, окна с параметрами инструмента Tool Settings.
- 4. Создать новую вкладку USER на панели Shelf.

§ 2. БАЗОВЫЕ ОПЕРАЦИИ НАД ОБЪЕКТАМИ. ПРОСТЫЕ И СОСТАВНЫЕ ОБЪЕКТЫ

2.1. Системы трехмерного моделирования

Процесс создания объектов называется *моделированием*. Существуют четыре основные системы моделирования: полигональная, сплайновая, кусочная и параметрическая, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки. Полигональное моделирование — это основной тип моделирования, при котором трехмерные объекты рассматриваются только как группы многоугольников. Сплайновая технология более замысловата, но она предоставляет возможность работать с объектами независимо от их разрешения. Кусочное моделирование прекрасно подходит для создания органических объектов, а параметрическое — для быстрого и удобного изменения параметров объекта в процессе моделирования.

2.1.1. Полигональное моделирование

Полигональное моделирование (polygonal modeling) – это самая первая разновидность трехмерного моделирования, которая появилась в те времена, когда для определения точек в трехмерном пространстве приходилось вводить вручную с клавиатуры координаты X, Y и Z. Как известно, если три или более точек координат заданы в качестве вершин и соединены ребрами, то они формируют многоугольник (полигон), который может иметь цвет и текстуру. Соединение группы таких полигонов позволяет смоделировать практически любой объект. Недостаток полигонального моделирования состоит в том, что все объекты должны состоять из крошечных плоских поверхностей, а полигоны должны иметь очень малый размер, иначе края объекта будут иметь ограненный вид. Это означает, что, если для объекта на сцене предполагается увеличение, его необходимо моделировать с большим количеством полигонов (плотностью), даже несмотря на то, что большинство из них будут лишними при удалении от объекта. В завершенном объекте разрешение изменить уже нельзя (если, конечно, не проводится мозаичное преобразование или оптимизация объекта). Деформация полигонального объекта приводит к его необратимому изменению. Поэтому если сначала искривить объект, а затем попробовать уменьшить степень искривления, то, скорее всего, придется опять начать работу с недеформированным объектом.

Полигональные модели проще всего визуализируются, и именно по этой причине они обычно используются в игровых приложениях, где визуализация должна происходить прямо по ходу игры. Для игр также предпочтительно создавать объекты, состоящие из небольшого числа полигонов, чтобы максимально ускорить процесс визуализации. Модели с плотной сеткой обычно используются в кино и на телевидении. Благодаря возможности создания моделей из одного куска данный формат применяется для получения персонажей. Персонажи в процессе анимации деформируются различными способами, поэтому выгодно иметь модель, которая не будет разламываться в области швов.

2.1.2. Сплайновое моделирование

Сплайн (spline) — это, как правило, кривая линия, задаваемая контрольными точками. Одно из главных преимуществ сплайнового моделирования состоит в том, что оно не зависит от разрешения объекта, то есть теоретически существует возможность приближаться сколь угодно близко к объекту, не опасаясь эффекта ступенчатости. Сплайновое моделирование прекрасно подходит для создания сложных органических форм, таких как лица людей, туши динозавров или модели инопланетных летающих тарелок. Это связано с тем, что при подобном методе построения форм используются сглаженные и естественные кривые, а не ступенчатые и искусственные полигональные формы. Существует несколько видов сплайнов, к самым распространенным из которых относятся B-сплайны, сплайны Безье (Bezier) и NURBS.

Общей особенностью всех сплайнов является то, что они состоят из линий или форм, управляемых посредством ломаной линии или полигона. Ломаная линия или полигон (так называемые контрольные линии/полигоны, или каркас) невидимы — они служат лишь для задания степени кривизны конечного сплайна. В зависимости от разновидности сплайна основные точки на управляющей линии отмечаются с помощью контрольных точек (control points) или контрольных вершин (control vertices), в то время как касательные точки (tangent point) или точки плотности (weights) действуют подобно небольшим магнитам, притягивающим к себе сплайны. Манипулирование этими точками и позволяет изменять форму сплайна.

- Форма В-сплайна (B-spline) редактируется с помощью контрольных точек с одинаковыми точками плотности. В этих сплайнах контрольные точки редко располагаются на результирующей кривой.
- В сплайнах Безье (Bezier) контрольные точки всегда находятся на результирующей кривой. Из контрольных точек выходят касательные точки, или манипуляторы (handles), позволяющие изменять кривую, не затрагивая контрольных точек. С касательными точками можно работать по отдельности, что уменьшает гладкость кривой, но в то же время увеличивает возможности редактирования.
- В сплайнах NURBS (неравномерные рациональные В-сплайны) контрольные точки также находятся вне кривой, однако, в отличие от касательных точек, для управления кривой используются точки плотности. Кроме того, имеются узловые точки, определяющие количество контрольных точек на избранном отрезке кривой.

2.1.3. Кусочное моделирование

При кусочном моделировании (patch modeling) для задания и изменения формы куска, представляющего собой пространственную решетку из сплайнов или полигонов, применяется сеть контрольных точек. Эти точки управления, также известные как контрольные вершины (control vertices – CV), оказывают на гибкую поверхность куска влияние, подобное магнитному, 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 объемные поверхности. Как и сплайновые, кусочные модели используются при создании органических форм.

2.1.4. Параметрическое моделирование

Параметрическое моделирование (parametric modeling) применяется с объектами, сохраняющими свою основную геометрическую информацию: стандартную форму, текущий размер и количество сегментов формы. Эта информация и возможность ее изменения доступны даже после преобразования объектов, поэтому пользователь может вносить изменения или отменять модификацию объектов, а также увеличивать или уменьшать их разрешение. Как правило, параметрическое моделирование основывается на сплайнах, но не все сплайновые модели являются параметрическими. Произведенные с параметрическими объектами изменения можно настраивать в любой момент времени, даже если после их применения было осуществлено несколько операций. Если параметрическая модель предназначена для использования вне программы трехмерного моделирования (например, в играх), то ее необходимо преобразовать в полигональную модель. Этот процесс часто называют разрушением (collapsing) каркаса объекта.

В Мауа моделирование осуществляется на основе трех разных форматов: неоднородных рациональных сплайнов Безье, сеток полигонов и поверхностей с иерархическим разбиением.

2.2. Графические объекты и примитивы

Все создаваемые в программе Мауа элементы называют *объектами*, к ним относятся не только любые геометрические тела, но и формы, камеры, источники света и др.

Графический объект — это цифровое представление объекта реальности, цифровая модель объекта, содержащая его местонахождение, набор свойств, характеристик и атрибутов.

Объектами можно управлять, модифицируя их произвольным образом, объединяя в группы, связывая друг с другом и пр., добиваясь создания нужной сцены.

Объекты делятся на категории, выбрать их можно из командного меню Create (Создание) (рис. 1.3) или из панели Shelf (Полка) с помощью соответствующих кнопок. К базовым объектам относятся полигоны, камеры, источники света, кривые и пр. В каждой категории существует целый список разнообразных объектов.

Элементарные графические объекты и образующие их элементы иногда называются *графическими примитивами*. Примитивы представляют собой простые геометрические формы, созданные на основе полигональных сеток, NURBS-поверхностей или поверхностей с иерархическим разбиением. Обычно они используются в качестве основы для более сложных моделей.

В Мауа выделяют возможность создания следующих типов примитивов:

- в категории NURBS Primitives (NURBS-примитивы) находятся Sphere (Сфера), Cube (Куб), Cylinder (Цилиндр), Cone (Конус), Plane (Плоскость), Torus (Торус), Circle (Окружность), Square (Квадрат);
- в категории Polygon Primitives (Полигональные примитивы) находятся Sphere (Сфера), Cube (Куб), Cylinder (Цилиндр), Cone (Конус), Plane (Плоскость), Torus (Торус), Prism (Призма), Pyramid (Пирамида), Pipe (Труба), Helix (Спираль), Soccer Ball (Футбольный мяч), Platonic Solids (Платонические твердые частицы);
- в категории Subdiv Primitives (Subdiv-примитивы) находятся Sphere (Сфера), Cube (Куб), Cylinder (Цилиндр), Cone (Конус), Plane (Плоскость), Torus (Торус);
- в категории Volume Primitives (Volume-примитивы) находятся Sphere (Сфера), Cube (Куб), Cone (Конус).



Рис. 2.1. Объекты-примитивы

На рис. 2.1 показаны все объекты-примитивы, существующие в Мауа, – NURBS-примитивы, полигональные примитивы, примитивы на основе поверхностей с иерархическим разбиением и появившиеся только в текущей версии объемные примитивы. Последние, в отличие от стандартных примитивов, используются в освещении сцены и при создании атмосферных эффектов, например тумана.

Простейший способ создать трехмерный объект — воспользоваться подходящим примитивом. Для этого необходимо выбрать нужный примитив в меню Create или на панели Shelf, и он появится в окне проекции.

2.3. Режимы отображения и детализации объектов

Объекты отображаются в окнах проекций либо в виде каркасов, либо с раскрашенной поверхностью (рис. 2.2). Установить режим каркасного отображения можно через меню Shading (Затенение) / Wireframe (Каркас) окна конкретной проекции (команда или клавиша 4). Режим тонированной раскраски — Shading (Затенение) / Smooth Shade All (Сглаживать все) или клавиша 5.



Рис. 2.2. Вид цилиндра в режимах каркасного отображения и тонированной раскраски



Рис. 2.3. Вид каркасного отображения цилиндра в трех различных режимах детализации

Каждый объект может состоять из составных элементов и иметь

разный уровень детализации, от чего зависит его внешний вид в окне проекций. В Мауа предусмотрены три варианта детализации: низкая, средняя и высокая — выбор нужного варианта осуществляется путем нажатия клавиш 1, 2 и 3 соответственно (рис. 2.3). Внешний вид объектов, ребра которых не имеют кривизны, не зависит от режима детализации.

При этом от режима детализации зависит «сглаженность» поверхности объекта (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Вид цилиндра в режиме тонированной раскраски (три различных режима детализации)

2.4. Редактирование параметров объекта

Для задания конкретных графических примитивов указывают их тип и затем в соответствии с этим задают значения численных параметров, имеющих определенный геометрический смысл. Щелчок на квадратике, расположенном справа от названий этих примитивов, дает доступ к редактированию их первоначальных параметров до создания объекта. В диалоговом окне можно отредактировать установленные по умолчанию параметры примитива.

Например, при выборе первоначального редактирования параметров куба (рис. 2.5) необходимо выбрать Polygon Primitives (Полигональные примитивы) / квадратик справа от Cube (Куб). В появившемся диалоговом окне Polygon Cube Options (Настройки полигонального куба) можно изменить параметры ширины, высоты, длины, степени детализации по высоте, ширине и длине, расположение куба относительно осей X, Y или Z, тип накладываемой текстуры.

	Create Display	Window	Lighting/	Shading Text	uring Rend		
	NURBS Primiti	/es	<u>ا</u>	k 🔍 I	₹ + 🕹		
	Polygon Primit	tives	•	Sphere	0		
	Subdiv Primitiv	/es	•	Cube			
	Volume Primit	ives	•	Cylinder	0		
	Lights		•	Cone	0		
	. Cameras		•	Plane	0		
	CV Curve Tool			Torus	0		
	EP Curve Tool			Prism	0		
	Pencil Curve T	ool		Pyramid	0		
	Arc Tools		•	Pipe	0		
	Measure Tools		•	Helix	0		
				Soccer Ball	0		
	Text			Platonic Sol	ids 🗖		
	Adobe(R) Illust	rator(R) Ob	ject				
	Construction P	lane		0			
	Locator						
	Annotation						
	Empty Group						
	Sets		•				
Polyao	n Cube Options		_	_		• <u>X</u>	
Edit Hel	, p						
	P	5.0000					
	Height	5.0000					
	Depth	5.0000					
Su	bdivisions Along Width	1		_			
Sub	- divisions Alona Heiaht	1					
Sut	bdivisions Along Depth	1					
	Axis	СX	€Y	ΟZ			
	Texture	Normalize (he Whole Ob	iject 💌			
	Create		Apply		Close		

Рис. 2.5. Вызов диалогового окна с параметрами объекта (Куб)

Вызвать диалоговое окно редактирования первоначальных параметров можно двойным щелчком на значке примитива полки Shelf.

Чтобы восстановить исходные параметры создания объектов, воспользуйтесь командой Edit / Reset Settings (Правка / Восстановить настройки) из командного меню окна параметров объекта (рис. 2.6).

👜 P	olygon Cube Options							
Edit	Help							
	Save Settings	1.0000			:			
	Reset Settings t	1.0000						
	AsTesl	1.0000						
	ASTOOL	1	j					
~	As Action	1	j					
	Subdivisions Along Depth	1	j					
	Axis	ОX	€Y	ΟZ				
	Texture	Normalize the	Whole Object	•				
	Create	/	Apply		Close			

Рис. 2.6. Восстановление параметров примитива

2.5. Способы выделение объекта

Любые действия с объектом предполагают его выделение.

2.5.1. Использование инструмента Select Tool

Самым простым инструментом выделения является инструмент Select Tool из панели Tool Box (рис. 2.7) или клавиша Q. В режиме каркасного отображения для выделения объекта необходимо щелкать курсором мыши на одном из видимых ребер, а в режиме тонированного отображения — в произвольном месте поверхности объекта. С помощью Select Tool можно выделять объекты, выделяя области вокруг него — щелкнув и перетащив по диагонали указатель мыши и заключив выделяемые объекты в прямоугольную область. Также на панели Tool Box имеется инструмент Lasso Tool, выделяющий объект по произвольному контуру в рабочей области (достаточно даже провести линию, пересекающую объект). Выделенный объект отличается цветом каркаса (бледно-бирюзовый) или ребер (для режима тонированного отображения).

2.5.2. Диалоговое окно Outliner

Благодаря специальному диалоговому окну *Outliner* существует возможность выбирать объекты, что очень помогает при необходимости быстрого выбора групп взаимосвязанных объектов (особенно если для объектов использовались простые и понятные имена). Диалоговое окно Outliner можно вызвать из панели Tool Box (рис. 2.7) – или в виде отдельного окна, используя меню Window / Outliner (рис. 2.8).





Рис. 2.8. Вид окна Outliner

Для выделения набора объектов, имена которых расположены последовательно, в окне Outliner достаточно щелкнуть на имени первого объекта и, нажав клавишу Shift, щелкнуть на имени последнего. При выделении объектов, расположенных в окне вразбивку, используется клавиша Ctrl.

2.5.3. Использование именованных наборов

При большом числе объектов, когда выделить нужные из них обычным образом бывает затруднительно, разумно объединить объекты в именованные наборы, что обеспечит возможность их быстрого выделения в дальнейшем.

Например, имеется некоторое количество объектов в рабочей области (рис. 2.9).



Рис. 2.9. Исходный вид объектов в окне проекции и списка объектов в окне Outliner

Выделим объекты в окне Outliner и воспользуемся командой Create / Sets / Quick Select Set (Создать / Набор / Именованный выделенный набор), введя имя набора в открывшемся диалоговом окне (рис. 2.10).

После подтверждения имени именованного набора оно отображается в окне Outliner (рис. 2.11).

После этого для выделения всех объектов конкретного набора достаточно будет применить команду Edit / Quick Select Set (Правка / Именованный выделенный набор) и выбрать нужный набор (рис. 2.12).

Удалить или переименовать неудачно именованный набор можно в окне Outliner (рис. 2.8).

Create J Display Window Edit C	Lurves	SUITACES EDIT INUKES PO	
NURBS Primitives Polygon Primitives Subdiv Primitives Volume Primitives Lights Cameras	> > > >	Animation Dynamics Rer	
EP Curve Tool			
Pencil Curve Tool	٥		
Arc Tools	•		
Measure Tools	•		
Text Adobe(R) Illustrator(R) Object	0		
Construction Plane		-	
Locator Annotation		Create Quick Selec	t Set 💌
Empty Group		Enter Quick Select	Set name:
Sets		Set 🖸 Set_Cube1	
Cube9		Partition O OK	Cancel
+faultLightSet		Quick Select Set	

Рис. 2.10. Создание именованного набора



Рис. 2.11. Отображение именованного набора в окне Outliner

Edit Modify Create Di	isplay Window	Edit Curves Surfaces
Undo	Ctrl+z	Bi 🔁 🔜 -
Redo	Z	Deformation Animatio
Repeat "Quick Select Set	" g	
Recent Commands		D 🍣 🛞 🗲
Cut	Ctrl+x	a Lighting Show P
Сору	Ctrl+c	,
Paste	Ctrl+v	
Keys	•	
Delete		
Delete by Type	•	
Delete All by Type	•	
Select All		
Select Hierarchy		
Invert Selection		\sim
Select All by Type	•	
Quick Select Sets	•	Set_Cube1
Paint Selection Tool		

Рис. 2.12. Быстрое выделение всех объектов именованного набора

2.5.4. Использование инструментов строки состояния

Ускорить выделение нужных типов объектов можно также за счет блокирования выделения ненужных типов в строке состояния — по умолчанию в ней разрешено выделять любые объекты (рис. 2.13). Запретить выделение определенных типов объектов можно путем деактивации соответствующих кнопок.



Рис. 2.13. Активированные кнопки выделения типов объектов

Кроме того, под каждой кнопкой скрывается несколько типов объектов, выделением которых также можно управлять. Для этого следует щелкнуть на конкретной кнопке правой кнопкой мыши и отрегулировать список разрешенных для выделения типов объектов.

Существует и управляющий элемент «показать все» (zoom all), автоматически меняющий масштаб так, чтобы на сцене поместились все объекты. Это необходимо в тех случаях, когда пользователь пытается найти и переместить «затерявшиеся» объекты, импортируемые в программу или созданные для другого проекта. Сочетание клавиш Shift+а позволяет изменить положение сцены таким образом, что все объекты попадают в поле зрения.

2.6. Преобразования объектов манипуляторами

После выделения, используя *манипуляторы* — управляющие векторы, с объектом можно производить различные преобразования.

Используя инструмент Move Tool из панели Tool Box (рис. 2.7) или клавишу W, выделенный объект можно перемещать по одной из осей (X, Y, Z). Красная стрелка соответствует перемещению вдоль оси X, зеленая — вдоль оси Y, а синяя — вдоль оси Z. Или используя голубой контур квадрата в центре манипулятора — произвольно в пространстве рабочей области (рис. 2.14). При его выделении он окрашивается в желтый цвет.



Рис. 2.14. Манипулятор Move (Переместить)

Используя инструмент Rotate Tool (Перевернуть) из панели Tool Box (рис. 2.7) или клавишу Е, выделенный объект можно вращать относительно одной из осей (Х, Ү, Z). Красная окружность соответствует повороту относительно оси Х, зеленая – относительно оси Ү, а синяя – относительно оси Z. Голубая окружность используется для свободного вращения объекта в пространстве (рис. 2.15). При выделении любого манипулятора он приобретает желтый цвет.

Используя инструмент Scale (Масштабировать) из панели Tool Box (рис. 2.7) или клавишу R, можно изменить размер выделенного объ-

екта относительно одной из осей (X, Y, Z). Перетаскивание любого из цветных кубов приводит к неравномерному масштабированию выделенного объекта относительно выбранной оси (рис. 2.16). Красный куб соответствует масштабированию относительно оси X, зеленый – относительно оси Y, а синий – относительно оси Z. Центральный куб голубого цвета используется для равномерного изменения размеров объекта по всем трем осям одновременно. Активное направление манипулятора окрашивается в желтый цвет.



Рис. 2.15. Манипулятор Rotate (Повернуть)



Рис. 2.16. Манипулятор Scale (Масштабировать)

Инструмент Universal Modification (Универсальная модификация) из панели Tool Box (рис. 2.7) позволяет изменять и положение объекта в пространстве (перемещение и вращение) и его размер (рис. 2.17). Для перемещения объекта относительно одной из осей используются стандартные векторы, как и для манипулятора Move (Переместить), для свободного перемещения в пространстве — окружность в центре, для вращения — дополнительные миниатюрные векторы, располагающиеся на основных, а для изменения симметричного масштаба — перетаскивание за голубые квадратики, видимые по краям объекта. При этом все изменения в числовой форме отображаются в рабочем пространстве.

Инструмент *Soft Modification (Плавная модификация)* из панели Tool Box (рис. 2.7) позволяет выделять область на поверхности модели и редактировать ее нужным вам образом (рис. 2.18). При этом сила воздействия инструмента, максимальная в центральной точке преобразования, уменьшается к периферии выделенной области.



Рис. 2.17. Инструмент Universal Modification (Универсальная модификация)



Рис. 2.18. Инструмент Soft Modification (Плавная модификация)

При использовании инструмента Soft Modification появляется манипулятор с буквой S в центре. Он позволяет осуществлять плавные перемещения, повороты и масштабирования.

Перетаскивание манипулятора с кубом на конце приведет к масштабированию выделенной области, а манипулятор в форме кольца позволяет вращать ее. Чтобы вернуться в режим выделения области, щелкните на квадратике с буквой S в центре. На одной поверхности может находиться сколько угодно областей плавного преобразования.

Используя инструмент Soft Modification, возможно создание произвольной криволинейной поверхности, например из полигонального примитива Plan (Плоскость) (рис. 2.19). Причем в местах модификации поверхности остается характерная буква S.



Рис. 2.19. Результат применения инструмента Soft Modification (Плавная модификация) к Полигональной плоскости

Клавиши «+» и «-» позволяют менять размер управляющих векторов для любого манипулятора. Для увеличения размеров векторов манипуляторов используется клавиша «+», а для их уменьшения – клавиша «-».

2.7. Использование опорной точки

По умолчанию центр объекта совпадает с опорной точкой (Pivot point). От положения данной точки зависит то, как объект будет вра-
щаться и масштабироваться. Первоначально точка **Pivot point** находится в геометрическом центре объекта, однако при необходимости может быть легко перемещена, что отразится на особенностях трансформации и масштабирования объекта.



Рис. 2.20. Вращение сферы при начальном положении опорной точки

Для примера создадим примитив Sphere (Сфера) из группы полигональных примитивов Polygon Primitives, выделим его и повращаем инструментом Rotate Tool – видно, что вращение производится вокруг геометрического центра объекта (рис. 2.20).



Рис. 2.21. Режим редактирования точки Pivot point

Нажмем клавишу *Insert* (это приведет к переходу в режим редактирования положения опорной точки, при этом сама точка окажется выделенной — рис. 2.21), переместите точку Pivot point, например, на вершину сферы (рис. 2.21) и для выхода из режима редактирования вновь нажмите клавишу *Insert*. Теперь вращение сферы будет осуществляться уже относительно ее вершины (рис. 2.22).



Рис. 2.22. Вращение сферы при новом положении опорной точки

Подобные действия могут потребоваться при создании такого вида анимации, как переворачивание листа книги, открывание двери, дверцы автомобиля и т. п., когда требуется, чтобы вращение объекта производилось не относительно его геометрического центра, а как-то иначе.

2.8. Система координат, масштаб и единицы измерения

В трехмерном пространстве используется встроенная система, которая называется *системой координат*.

Наименьшая область трехмерного пространства, доступная для определения, называется *точкой* (point). Каждая точка характеризуется уникальным набором из трех чисел, называемых координатами.

Координаты могут иметь смысл только при введении определенной координатной системы (системы отсчета). Координатные системы бывают двумерными, трехмерными и многомерными. Кроме того, они различаются по типам. Всем известны полярные координаты или система из параллелей и меридианов на поверхности земного шара. Но чаще всего используются декартовы прямоугольные координаты или близкие к ним. К примеру, центр киберпространства, также именуемый начальной точкой (point of origin), определяется координатами (0,0,0). Первое число представляет собой значение по оси Х, второе — по оси Y, а третье — по оси Z. В трехмерных координатах применяются три числа, поскольку эти числа связаны с тремя измерениями: шириной, высотой и глубиной. В терминах киберпространства эти измерения представляют собой направления, а указывающие на них стрелки называются осями.

Ось (axis) — это мнимая линия в виртуальном пространстве, посредством которой определяется направление. В программах трехмерного моделирования применяются три стандартные оси: Х, Y и Z. Их пересечение и составляет точку — *начало координат*.

При моделировании объектов в Мауа используется прямоугольная трехмерная декартова система координат (X,Y,Z). Любые геометрические объекты задаются координатами некоторых точек. По умолчанию все объекты в Мауа создаются в начале координат.

Если вы меняли параметры координатной сетки, их требуется восстановить. Только в этом случае начальная точка будет располагаться | в нужном месте. Выберите в меню оперативного доступа команду Display (Отображение) и в появившемся меню щелкните на квадратике, расположенном справа от команды Grid (Сетка). В меню Edit (Правка) появившегося окна диалога Grid Options (Параметры сетки) выберите команду Reset Settings (Сбросить настройки) – рис. 2.23. Нажмите кнопку Apply and Close (Применить и закрыть).

@ G	irid Options		
Edit	Help		
	Save Settings Reset Settings	th 12.0000 units	^
 ✓ 	As Tool As Action	18 5	-

Рис. 2.23. Восстановление параметров координатной сетки

В программах трехмерного моделирования для отслеживания размера и местоположения объектов используются координаты, однако это громоздкие и неудобные числа, с которыми довольно тяжело работать. Целесообразнее применять более привычную систему измерения вроде дюймов или сантиметров. Поэтому в программных продуктах пользователям, как правило, предоставляется возможность выбрать единицы измерения (units): английские (футы и дюймы), метрические (метры и сантиметры) или типовые (десятичные числа, более короткие, чем координаты).

Перед началом работы над проектом обязательно следует определиться с единицами измерения и масштабом, для того чтобы использовать одни и те же значения при создании всех моделей проекта. В подобном случае будет применяться единая система измерения, следовательно, при объединении моделей в один проект соответствующие пропорции объектов будут сохранены. Для этого нужно указать систему единиц, в которой будут исчисляться размеры создаваемых объектов. Выберите в меню команду Windows / Settings/Preferences / Preferences (Окно / Настройки/Параметры / Параметры). В списке Categories (Категории) появившегося окна диалога (рис. 2.24) выберите вариант Settings (Настройки). В раскрывающемся списке Linear (Линейные) раздела Working Units (Рабочие единицы) выберите, например, вариант Inch (Дюймы). Нажмите кнопку Save (Сохранить) и затем закройте окно диалога Preferences (Параметры).

Preferences		
Edit Help		
Categories Interface UI Elements Help Display Kinematics Animation Maripulators NURBS Polygons Subdivs Settings Animation	Settings: General Application World Coordinate System Up Axis • Working Units Linear • Angular • Time •	Preferences
Cameras Dynamics Files/Projects Modeling Rendering Selection Snapping Sound Timeline Undo Web Browser Save Actions Modules	Tolerance Positional 0 Tangential 0	Keep Keys at Current Frames 01000 10000
Applications	•	4
	Save	Cancel

Рис. 2.24. Окно параметров

После изменения единиц измерения могут возникнуть проблемы с изменением масштаба. Например, вдруг может оказаться, что половина окна проекции просто отрезана. Причиной этого является слишком малое значение параметра Far Clip Plane (Дальняя плоскость отсечки). Убедитесь, что у вас активно окно проекции Perspective (Перспектива) и выберите в меню оперативного доступа команду View / Camera Attribute Editor (Вид / Редактор атрибутов для камеры). В поле Far Clip Plane (Дальняя плоскость отсечки) раздела Camera Attributes (Параметры камеры) введите значение 10 000. Если же объект исчезает при попытке разглядеть его поближе, измените значение параметра Near Clip Plane (Ближняя плоскость отсечки).

Точка в пространстве описывается тремя целыми или вещественными числами (координатами). Мантисса вещественного числа в Мауа округляется до трех знаков.

Изменить местоположение объекта в пространстве и его размеры можно, используя манипуляторы Move (Переместить), Rotate (Повернуть), Scale (Масштабировать) или непосредственным вводом координат в панели Channel Box, щелкнув в строке состояния на кнопке Channel Box/Layer Editor (рис. 2.25).



Рис. 2.25. Ввод координат в панели Channel Box

Параметры Translate изменяют положение объекта относительно выбранной координаты (начало координат — 0,0,0), Rotate (в градусах) позволяют повернуть объект относительно одной из выбранных осей, Scale позволяют изменить размер объекта по одной или всем координатам.

Данный способ непосредственного указания координат очень удобен, когда требуется максимально точно указать положение объекта.

Непосредственный ввод координат можно осуществить и в окне редактора атрибутов Attribute Editor, на вкладке с именем объекта (для нашего примера – pCube1), в разделе Transform Attributes (рис. 2.26).

List Selected Focus Att	ributes Hel	p		
pCube1 pCubeShape1 p	olyCube1 in	nitialShadingGro	up lambert1	
transform	pCube1		•	Focus Presets
▼ Transform Attributes	:			<u>^</u>
Translate	e 0.000	0.000	0.000	
Rotate	e 0.000	0.000	0.000	
Scale	e 1.000	1.000	1.000	
Shea	r 0.000	0.000	0.000	
Rotate Orde	r xyz 🔻			
Rotate Axis	s 0.000	0.000	0.000	=
	🔽 Inherits	Transform		
Pivots				
▶ Limit Information				
▶ Display				
mental ray				
▶ Node Behavior				
▶ Extra Attributes				*
Notes: pCube1				
Select	Load A	Attributes	Сору	Tab

Рис. 2.26. Ввод координат в редакторе атрибутов Attribute Editor

2.9. Составные объекты

Любая сцена состоит из огромного числа объектов, и для удобства работы с ними используют самые разные варианты их объединения, связывая между собой в иерархические цепочки. С одной стороны, это позволяет в дальнейшем выполнять ряд действий — выбор, клонирование, присвоение материалов, трансформацию и др. — сразу в отношении всей группы объектов, а с другой — приводит к тому, что преобразование одного объекта автоматически влечет за собой преобразование другого. Возможны два подхода к формированию подобных иерархических цепочек. Можно установить между объектами взаимоотношения «предок (parent)/потомок (child)», где «предок» — старший элемент, а «потомок» — подчиненный элемент иерархического соотношения. А можно объединить объекты в группы, что в отличие от предыдущего варианта обеспечит создание такой иерархической цепочки, в которой все объекты являются подчиненными и равноправны между собой, а их родителем является дополнительно созданный невизуализируемый новый узел. Выбор типа иерархического объединения объектов зависит от конкретной ситуации.

Совокупности простых графических объектов могут объединяться в составной графический объект. Обычно в группы объединяют составные элементы сложного объекта и часто повторяющиеся наборы однотипных объектов. Для этого выделите объекты и примените команду Group (Группировать) из меню Edit (Правка). На первый взгляд внешне это приведет только к изменению особенностей выделения объектов – до этого при выделении всех объектов сетка одного из них отображалась зеленым цветом, других – белым, а теперь все объекты имеют зеленую сетку (рис. 2.27). При этом сами объекты останутся независимыми – их можно выделять и преобразовывать.



Рис. 2.27. Вид объектов до (слева) и после (справа) создания группы

Однако изменения все же имеют место — созданной группой легче управлять; например, для выделения группы можно щелкнуть на любом ее объекте мышью, а затем нажать клавишу «↑» — выделенной (а значит, готовой к любым преобразованиям) окажется вся группа объектов. При этом в окнах диалога *Outliner (Cmpykmypa)* и *Hypergraph (Pedakmop cцен)* наглядно видно объединение объектов в группы (рис. 2.28).

Получить доступ к окнам Outliner и Hypergraph можно через меню Window (Окно) и через панель Tool Box, в которой наряду с обычными режимами работы с окнами проекций (в одно и в четыре окна) предусмотрена возможность открытия проекции Perspective совместно с окном Outliner и или одновременно с окнами Graph Editor и Hypergraph



Рис. 2.28. Вид окна диалога Outliner (Структура) до (слева) и после (справа) создания группы



Рис. 2.29. Вид окна Hypergraph (Редактор сцен) до (слева) и после (справа) создания группы

Удалить группировку можно, выделив группу и применив команду Edit / Ungroup (Правка / Разгруппировать).

Outliner отображает элементы сцены в виде списка, а Hypergraph – как своеобразную блок-схему, в которой сами объекты представлены связанными между собой прямоугольниками (рис. 2.29). При этом выделенный объект в окне Outliner отображается серым цветом, группа, к которой он относится, – зеленым, а в окне Hypergraph выделяется желтым цветом лишь выбранный объект. В данных окнах наглядно видны все иерархические цепочки и все объекты, включая скрытые. Кроме того, в них удобно выделять объекты, ведь при большом их количестве на сцене, малых размерах, заслонении одних объектов другими и т. п. выделение части объектов в окнах проекций может оказаться достаточно неудобным и даже проблематичным.

В обоих окнах (Outliner и Hypergraph) удобно переименовывать объекты, а также присваивать имена группам — в окне Outliner для этого достаточно дважды щелкнуть на строке с именем объекта и ввести новое имя, а в редакторе сцен данную операцию можно выполнить через контекстное меню.

Для добавления нового объекта в существующую группу следует выделить данный объект и все объекты группы в окне Outliner при нажатой клавише Ctrl, а затем применить команду Edit / Group (Правка / Группировать) или просто перетащить добавляемый объект внутрь группы при нажатой средней клавише мыши.

Связь «предок/потомок» устанавливают для тех наборов объектов, которые при анимации должны перемещаться согласованно и в которых дочерние объекты в то же время могут совершать независимое движение (колеса вращаются и перемещаются вместе с автомобилем, кисть сгибается и перемещается одновременно с рукой и т. п.).

Для установки между объектами взаимоотношения «предок/потомок» необходимо выделить один или несколько дочерних объектов в окне Outliner, затем, удерживая нажатой клавишу Shift, выделить объект-предок и выбрать команду Parent (Сделать родителем) из меню Edit (Правка) или нажать клавишу р. Ту же операцию можно выполнить и быстрее, перетащив предполагаемый дочерний объект на родительский при нажатой средней кнопке мыши. Между объектами будет установлена связь, что сразу станет видно в окнах Outliner и Hypergraph (рис. 2.30).



Рис. 2.30. Вид окон диалога Outliner (Структура) и Нурегдгарһ (Редактор сцен) после создания связи «предок/потомок»

Для разрыва связи «предок/потомок» следует выделить один или несколько дочерних объектов и выбрать команду Edit / Unparent (Правка / Разорвать связь) или нажать комбинацию клавиш Shift+p.

Принцип трансформации объектов, находящихся между собой в отношении «предок/потомок», несколько иной. Щелчок по родительскому объекту (как в окне проекции, так и в окнах Outliner и Hypergraph) будет приводить к выделению всех взаимосвязанных объектов сразу. Поэтому выделить родительский объект (в данном случае сферу) с целью, например, ее индивидуального перемещения (независимого от дочерних объектов) не удастся, вместе с тем дочерние объекты по-прежнему останутся свободными для выполнения преобразований.

2.10. Копирование и дублирование объектов

В Мауа реализован обычный вариант *вырезания, копирования и вставки* объектов (рис. 2.31) при помощи команд Gut (Вырезать), Сору (Копировать) и Paste (Вставить) из меню Edit (Правка) или использования соответственно стандартного сочетания клавиш: Crtl+x, Ctrl+c, Ctrl+v.

Кроме того, существуют два способа *дублирования* объектов: обычное (команда Edit / Duplicate – Правка / Дублировать или клавиатурная комбинация Ctrl+d) и дублирование с трансформацией (команда Edit / Duplicate with Transform – Правка / «Дублировать с трансформацией» или клавиша D) – рис. 2.32. По умолчанию в обоих случаях дубликат имеет те же параметры и располагается поверх исходного объекта.

Edit	Modify	Create	Display	Window		
Un	do		Ctrl	+z		
Re	do		Z			
Re	peat "Poly	/gon Cub	e"g	g		
Re	cent Com	mands				
Cu	t		Ctrl	+x		
Co	ру		Ctrl+c			
Pa	ste		Ctrl	+v		

Рис. 2.31. Команды Gut (Вырезать), Сору (Копировать) и Paste (Вставить) из меню Edit (Правка)

Duplicate	Ctrl+d	0
Duplicate with Transform	D	

Рис. 2.32. Команды Duplicate (Дублировать) и Duplicate with Transform (Дублировать с трансформацией) из меню Edit (Правка)

Непосредственные клоны – простые копии оригинала – становятся объектами со всеми своими правами так, как если бы они были созданы «с нуля». Каждый из клонов можно изменять независимо от каркасных собратьев.

Вместе с тем команда Duplicate позволяет не только копировать объекты, но и создавать зеркальные отражения и массивы объектов, в которых следующие элементы массива смещены относительно предыдущих на некоторую величину и (или) повернуты на некоторый градус и могут отличаться размерами.

Для этого нужно выбирать в меню Edit не команду Duplicate, а щелкать на квадратике, расположенном справа от данной команды (рис. 2.33).

В данном диалоговом окне можно изменить следующие параметры:

- Translate дублирование со смещением по оси x, y, z;
- Rotate дублирование с вращением относительно осей x, y, z;
- Scale дублирование с масштабированием по оси x, y, z;
- Number of Copies количество дублированных копий.

Массивы являются удобным способом создания последовательностей клонов, экземпляров объектов и т. д. С помощью массивов на основе выбранного объекта создается матрица, или шаблон объектов.

Duplicate Options				
Edit Help				
Translate	0.0000	0.0000	0.0000	
Rotate	0.0000	0.0000	0.0000	
Scale	1.0000	1.0000	1.0000	
Number of Copies	1	<u></u>		
Geometry Type	Copy		○ Instance	
Group under	Parent	C World	C New Group	
	🔲 Smart Transl	form		
	🗖 Duplicate Inj	put Graph		
	🗌 Duplicate In	put Connections		
	🔲 Instance Lea	af Nodes		
	🗖 Assign Uniqu	ue Name to Child	Nodes	
			1	<u>.</u>
Duplicate	A	pply		Llose

Рис. 2.33. Диалоговое окно с параметрами команды Duplicate (Дублировать)



Рис. 2.34. Первоначальный вид и параметры объекта

Линейный массив представляет собой последовательность копий, расположенных на одной линии вдоль выбранной оси. Для создания линейного массива необходимо выбрать объект (рис. 2.34), затем определить ось, расстояние и количество копий. Эти копии могут быть либо просто смещенными, идентичными оригиналу (рис. 2.35), либо будут подвергаться таким дополнительным преобразованиям, как, например, вращению или масштабированию (рис. 2.36).

Массивы бывают не только линейными. Они могут основываться и на вращении, в результате чего получается *радиальный массив*. Создаются они аналогично линейным, за исключением того, что сначала задается ось вращения, после этого указывается количество копий, а затем размер угла в градусах, на который нужно развернуть каждый объект.



Translate	3.0000	0.0000	0.0000
Rotate	0.0000	0.0000	0.0000
Scale	1.0000	1.0000	1.0000
Number of Copies	3	-J	

Translate 3.0000

Number of Copies 3

Rotate 0.0000

Scale 2.0000

Translate 0.0000

Botate 0.0000

Рис. 2.35. Дублированный массив со смещением

Рис. 2	2.36	Лублиг	ованный	массив со	смещением	и масштаби	рованием	эталона

0.0000

0.0000

0.0000

0.0000

2.0000

\geq		II daw	~	/
>		ЩEXXX		
	8A	田		/
		12		
/	ALE:	- 34		1

motato	10.0000	10.0000	10.0000	
Scale	1.0000	1.0000	1.0000	
Number of Copies	1	<u>i</u>		-

0.0000

0.0000

0.0000

0.0000

2.0000

-1-

Рис. 2.37. Первоначальный вид и параметры объекта

				>>>			
				\sim		XX	
						22	
Translate	3.0000	0.0000	0.0000	TT	\times	×	
Rotate	0.0000	30.0000	0.0000			Antican.	
Scale	1.0000	1.0000	1.0000	\sim			
Number of Copies	7	-1		\bigcirc			XXX

Рис. 2.38. Дублированный радиальный массив

Так, применив к первоначальному объекту (рис. 2.37) следующие параметры дублирования, можно получить радиальный массив (рис. 2.38). Создание таких массивов характерно для сглаженных и симметричных фигур.

Программа помнит последние параметры команды Duplicate даже после перезагрузки, поэтому, не изменяя настройки, можно получить незапланированный результат. Восстановить настройки по умолчанию можно, применив в окне Duplicate Options команду Edit / Reset Settings (Правка / Восстановить настройки) (рис. 2.39).

Duplicate Options			00.000	- X
Edit Help				
Save Settings	3.0000	0.0000	0.0000	
Reset Settings	9 0.0000	90.0000	0.0000	
AsTool	1.0000	1.0000	1.0000	
As Action	: 4	4 rj		
uconicity ryp	e 🖲 Copy		C Instance	

Рис. 2.39. Восстановление настроек окна Duplicate Options

Команду Duplicate можно применять для получения зеркальных копий объектов. При выполнении зеркального отображения объект переворачивается на «зеркальный» манер, или перевернутая версия объекта копируется в направлении выбранной оси.

Например, два зеркальных конуса, соединенных основаниями, могут представлять собой подобие юлы. Создадим примитив Полигональный конус (рис. 2.40).



Рис. 2.40. Первоначальный вид объекта

В окне Duplicate Options, настроив параметры дублирования, как показано на рис. 2.41, получим зеркальную копию.



Рис. 2.41. Вид и параметры зеркального объекта

Переместим второй конус вниз по оси Y так, чтобы он занял требуемое положение (рис. 2.42), выделим оба конуса, объединим их в группу, а затем повернем полученную юлу требуемым образом (рис. 2.43).



Рис. 2.42. Смещение зеркальной копии по оси Ү



Рис. 2.43. Юла

Кроме создания копий целых объектов операция зеркального отображения используется для работы со сложными симметричными объектами, например лицами людей. Можно создать только правую или левую половину лица и не беспокоиться понапрасну о дополнительных вершинах. По окончании работы останется сделать зеркальную копию недостающей половины лица.

Теоретически в программе создаются только одномерные массивы, поэтому для создания двумерных и трехмерных массивов требуется повторное выполнение данной команды относительно одной из перпендикулярных осей, но уже путем дублирования не одного объекта, а созданного предварительно одномерного или двумерного массива.

Например, создадим кубик Рубика с использованием команды Duplicate. В самом простом случае кубик Рубика представляет собой куб, в котором на каждой его плоскости находится набор из 9 объединенных в квадрат кубиков. Создадим образец кубика, на основе которого нужно будет сформировать трехмерный массив (рис. 2.44).



Рис. 2.44. Первоначальный вид объекта

Выделим кубик, используя окно параметров команды Duplicate Options, изменим параметры, как показано на рис. 2.45, и щелкнем на кнопке Apply (Применить), для того чтобы окно параметров Duplicate Options осталось в рабочей области. В результате получим примерно та-кой же массив кубиков, как представлен на рис. 2.45.





Рис. 2.45. Параметры дублирования и одномерный массив кубиков

Выделив все кубики одновременно, изменим настройки параметров дублирования (рис. 2.46) и вновь щелкнем на кнопке Apply – одномерный массив кубиков станет двумерным (рис. 2.46).

Опять выделим все кубики и повторим дублирование, но уже при параметрах, как на рис. 2.47, что и приведет к появлению трехмерного массива кубиков, или основы для кубика Рубика (рис. 2.47).

Translate	0.0000	0.0000	-1.0000
Rotate	0.0000	0.0000	0.0000
Scale	1.0000	1.0000	1.0000
Number of Copies	2	<u>ц</u>	



Рис. 2.46. Параметры дублирования и двумерный массив кубиков

Translate	0.0000	1	0
Rotate	0.0000	0.0000	0.0000
Scale	1.0000	1.0000	1.0000
Number of Copies	2	·]	



Рис. 2.47. Параметры дублирования и трехмерный массив кубиков

Вид кубика Рубика в режиме тонированной раскраски (клавиша 5) приведен на рис. 2.48.



Рис. 2.48. Кубик Рубика

Вопросы для самоконтроля

- 1. Что называется моделированием объекта? Опишите основные системы моделирования.
- 2. Сравните кусочное моделирование с полигональным и сплайновым.
- 3. Для каких целей могут быть использованы полигональное и сплайновое моделирование?
- 4. Какие виды моделирования используются в Мауа?
- 5. Опишите понятия графического объекта и графического примитива.
- 6. Какие режимы отображения объектов в Мауа вы знаете? Каково их назначение?
- 7. Какие элементы окна Мауа позволяют вызвать манипуляторы вращения, выделения и масштабирования объекта? Как еще можно вызвать данные манипуляторы?
- 8. В чем особенности работы с окнами Outliner и Hypergraph?
- 9. Опишите понятия масштаба и системы координат. Каким образом в Мауа можно выбрать необходимые единицы измерения?
- 10. В чем заключается значение опорной точки объекта?
- 11. Как можно непосредственно вводить координаты объекта?
- 12. Опишите понятие группы объектов и ее использование при моделировании объектов.
- 13. Для чего необходима связь «предок/потомок»?
- 14. Что такое дублирование объектов? Как настроить зеркальное дублирование?
- 15. Каким образом возможно создание многомерного массива объектов?

Практические задания

- 1. Создать ряд примитивов из категории Polygon Primitives и NURBS Primitives пункта меню Create; изучить операции с ними в отдельности и группе.
- 2. Рассмотреть возможности использования панели Tool Box и функциональных клавиш.
- 3. Создать здания «своего» виртуального городка не менее 10 домиков.

§ 3. РАБОТА С ПРОЕКЦИЯМИ

Понятие «трехмерный объект» определено как «двухмерное представление трехмерных объектов». В компьютерной графике объекты существуют только в памяти компьютера.

По сути, трехмерное пространство представляет собой математически определенный куб виртуального пространства в памяти компьютера. Виртуальное пространство отличается от реального физического пространства тем, что является математически обусловленной вселенной, существующей только «внутри» компьютера. Кроме того, с помощью программного обеспечения пользователь может управлять этим виртуальным пространством для моделирования каких угодно образов или объектов.

3.1. Понятие проекции. Классификация проекций

При использовании любых графических устройств обычно используют проекции. Проекция задает способ отображения объектов на графическом устройстве.

Проецирование – процесс получения изображения предмета на плоскости (плоскостях).

В общем случае проекции преобразуют точки, заданные в системе координат размерностью n, в системы координат размерностью меньше, чем n.

Будем рассматривать случай проецирования трех измерений в два. Проекция трехмерного объекта (представленного в виде совокупности точек) строится при помощи прямых проекционных лучей, которые называются **проекторами**, проходят через каждую точку объекта и, пересекая картинную плоскость, образуют проекцию.

Определенный таким образом класс проекций существует под названием *плоских геометрических проекций*, т. к. проецирование производится на плоскость, а не на искривленную поверхность и в качестве проекторов используются прямые, а не кривые линии.

Многие картографические проекции являются либо не плоскими, либо не геометрическими.

Плоские геометрические проекции в дальнейшем будем называть просто проекциями.

Проекции делятся на два основных класса (рис. 3.1, 3.2):

- параллельные (аксонометрические);
- центральные (перспективные).



Рис. 3.1. Центральная и параллельная проекции прямой

Для центральной проекции лучи проецирования исходят из одной точки, размещенной на конечном расстоянии от объектов и плоскости проецирования. Для параллельной проекции лучи проецирования параллельны.



Рис. 3.2. Центральная и параллельная проекции объекта

Полная классификация проекций приведена на рис. 3.3.

Параллельные проекции делятся на два типа в зависимости от соотношения между направлением проецирования и нормалью к проекционной плоскости (рис. 3.4):

- 1) *ортографические* направления совпадают, т. е. направление проецирования является нормалью к проекционной плоскости;
- 2) *косоугольные* направление проецирования и нормаль к проекционной плоскости не совпадают.



Рис. 3.3. Классификация проекций



Рис. 3.4. Ортографические и косоугольные проекции

При прямоугольном (ортогональном) проецировании проецирующие лучи падают на плоскость под прямым углом. При косоугольном проецировании проецирующие лучи падают на плоскость под углом, отличным от прямого (рис. 3.4).

Наиболее широко используемыми видами ортографических (ортогональных) проекций являются вид спереди, вид сверху (план) и вид сбоку, в которых картинная плоскость перпендикулярна главным координатным осям.

Наглядные изображения предметов, используемые в технике, выполняют по правилам параллельного проецирования. Наиболее удобными для построения наглядных изображений являются аксонометрические проекции, в которых проекционные плоскости не перпендикулярны главным координатным осям.

Аксонометрические проекции представляют собой наглядное и достаточно точное изображение предметов. Слово «аксонометрия» — греческое. Оно состоит из двух слов: ахсоп — ось и metreo — измерение, что означает измерение по осям (или измерение параллельно осям).

При аксонометрическом проецировании сохраняется параллельность прямых, а углы изменяются; расстояние можно измерить вдоль каждой из главных координатных осей (в общем случае с различными масштабными коэффициентами).

На аксонометрических проекциях форма предмета всегда передается одним изображением, позволяющим увидеть три его стороны.

В соответствии со взаимным расположением плоскости проецирования и координатных осей различают три вида проекции:

- *триметрию* нормальный вектор картинной плоскости образует с ортами координатных осей попарно различные углы;
- *диметрию* два угла между нормалью картинной плоскости и координатными осями равны;
- изометрию все три угла между нормалью картинной плоскости и координатными осями равны.

Изометрическая проекция (рис. 3.5) обладает следующим свойством: все три главные координатные оси одинаково укорачиваются. Поэтому можно проводить измерения вдоль направления осей с одним и тем же масштабом. Кроме того, главные координатные оси проецируются так, что их проекции составляют равные углы друг с другом (120°).



Рис. 3.5. Изометрическая проекция единичного куба

Косоугольные (наклонные) проекции сочетают в себе свойства ортографических проекций (видов спереди, сверху и сбоку) со свойствами аксонометрии. В этом случае проекционная плоскость перпендикулярна главной координатной оси, поэтому сторона объекта, параллельная этой плоскости, проецируется так, что можно измерить углы и расстояния. Проецирование других сторон объекта также допускает проведение линейных измерений (но не угловых) вдоль главных осей. Отметим, что нормаль к проекционной плоскости и направление проецирования не совпадают.

Двумя важными видами косоугольных проекций являются проекции:

- Кавалье (cavalier) горизонтальная косоугольная изометрия (военная перспектива);
- *Кабине* (cabinet) фронтальная косоугольная диметрия.



Рис. 3.6. Проекция Кавалье

В проекции Кавалье, или «свободной проекции» (рис. 3.6), направление проецирования составляет с плоскостью угол 45°. В результате проекция отрезка, перпендикулярного проекционной плоскости, имеет ту же длину, что и сам отрезок, т. е. укорачивание отсутствует.

Проекция Кабине (рис. 3.7), или «кабинетная проекция», имеет направление проецирования, которое составляет с проекционной плоскостью угол $\alpha = \operatorname{arctg}(1/2)$ ($\approx 26,5^{\circ}$). При этом отрезки, перпендикулярные проекционной плоскости, после проецирования составляют 1/2 их действительной длины. Проекции Кабине являются более реалистическими, чем проекции Кавалье, так как укорачивание с коэффициентом 1/2 больше согласуется с нашим визуальным опытом.



Рис. 3.7. Проекция Кабине

В науке, технике, производстве применяют параллельные проекции, так как они достаточно наглядны.

Центральная проекция любой совокупности параллельных прямых, которые не параллельны проекционной плоскости, будет сходиться в точке схода. Точек схода бесконечно много. Если совокупность прямых параллельна одной из главных координатных осей, то их точка схода называется *главной точкой схода*. Имеются только три такие точки, соответствующие пересечениям главных координатных осей с проекционной плоскостью. Центральные проекции классифицируются в зависимости от числа главных точек схода, которыми они обладают, следовательно, и от числа координатных осей, которые пересекают проекционную плоскость.

- 1. Одноточечная проекция (рис. 3.8).
- 2. Двухточечная проекция широко применяется в архитектурном, инженерном и промышленном проектировании.
- 3. Трехточечные центральные проекции почти совсем не используются, во-первых, потому, что их трудно конструировать, а во-вторых, из-за того, что они добавляют мало нового с точки зрения реалистичности по сравнению с двухточечной проекцией.

Итак, в центральной проекции:

- не сохраняется отношение длин и площадей;
- прямые линии изображаются прямыми линиями;
- параллельные прямые изображаются сходящимися в одной точке.



Рис. 3.8. Одноточечная перспектива

Перспективная (центральная) проекция — это тип проекции, создающий иллюзию глубины изображения. Грани объекта, находящиеся в отдалении от наблюдателя, кажутся меньше, чем те, что расположены вблизи. Перспективная проекция помогает создать правдоподобное изображение трехмерного тела на плоскости. Метод центрального проецирования используется в архитектуре, строительстве, а также в академическом рисовании.

3.2. Использование окон проекции в Мауа

Геометрическое тело — это замкнутая часть пространства, ограниченная плоскими или кривыми поверхностями. Форма каждого тела имеет свои характерные признаки.

Процесс получения изображения геометрических тел можно рассматривать как процесс отображения каждого элемента его формы на плоскостях проекций.

В Мауа используются ортографические (вид спереди, сверху и сбоку) и перспективная проекции.

Моделирование осуществляется в окнах просмотра проекций, которые составляют рабочую часть экрана и позволяют рассмотреть объекты с разных позиций и в различных проекциях. Именно они используются для создания, редактирования и просмотра трехмерных объектов, элементов и анимации.

По умолчанию на экране отображается одно прямоугольное окно, соответствующее проекции Perspective (Перспектива) (рис. 1.1), ко-



Рис. 3.9. Вид четырех окон проекции

Моделировать удобнее в окнах ортографических проекций – Тор (Вид сверху), Front (Вид спереди) и Side (Вид сбоку), – так как они дают более полное представление о соотношении размеров объекта. Для изменения размеров окон проекции достаточно навести указатель мыши на их границу и, когда он примет вид двунаправленной стрелки или четырех сходящихся в одной точке стрелок, нажать левую кнопку мыши и перетаскивать границу в нужном направлении.

Центральная проекция используется при окончательном редактировании объектов. Кроме того, именно тут определяется угол, под которым будет визуализирована сцена. *Сетка* (Grid) — это штриховые линии, отображаемые в окне просмотра и применяемые, подобно миллиметровке, для определения масштаба создаваемых объектов. При создании трехмерного объекта некоторые его элементы обычно располагаются на стандартной сетке, исходящей из начальной точки в центре трехмерного пространства.

По умолчанию в каждом из окон проекции показана *координатная сетка*, которую можно убрать, выбрав команду Display / Grid (Отображение / Сетка). Повторный выбор этой команды снова делает сетку видимой. Нажав рядом на квадратик и выбрав диалоговое окно Grid Options (Параметры Сетки), можно редактировать размеры сетки в текущих координатах, ее цвет и отображение на экране (рис. 3.10).

(Grid Options		
Edit Help		
Size Length and Width	12.0000 units	Î
Grid Lines Every Subdivisions	5.0000 units	
Color		=
Grid Lines & Numbers Subdivision Lines		
- Display	✓ Axes ✓ Thicker Line for Axes ✓ Grid Lines ✓ Subdivision Lines	-
Apply and Close	Apply Close	

Рис. 3.10. Вид диалогового окна Grid Options

Данный элемент интерфейса наглядно представляет выбранные *единицы измерения* (units). Их редактирование осуществляется в разделе Settings (Настройки) окна диалога Preferences (Параметры) (рис. 2.24).

В Мауа существует достаточно большое число вариантов компоновок проекций, для выбора которых предназначена команда Panels / Layouts (Панели / Компоновка) из меню окна проекций (рис. 3.11). Переключиться в режим просмотра четырех проекций можно, используя данный пункт меню окна Perspective (Перспектива) Panels / Layouts / Four Panes.







Рис. 3.12. Сохранение варианта компоновки проекций, загружаемого по умолчанию

По умолчанию при открытии программы устанавливается режим работы с одним окном проекции Perspective. При желании можно изменить режим загрузки по умолчанию, выбрав нужный вариант компоновки из списка команды Panels/Saved Layouts (Панели/Сохранение компоновки) (рис. 3.12).

Любое активное окно проекции может быть сохранено командой View/Bookmarks/Edit Bookmarks (Вид/Закладки/Редактирование закладок) из меню окна проекции (рис. 3.13), после чего вводится имя закладки.

View Shading Lightin	g Show	Panels
Select Camera		=
Previous View	[
Next View	1	
Default Home		
Look at Selection		
Frame All		
Frame Selection	f	
Predefined Bookmar	ks 🕨	-
Bookmarks	•	Edit Bookmarks
Camera Settings	•	
Camera Attribute Ed	itor	
Camera Tools	•	
Image Plane	,	

Рис. 3.13. Сохранение активного окна проекции

При желании всегда можно восстановить заданные по умолчанию параметры интерфейса (рис. 3.14). Для этого выберите в меню Window (Окно) / Settings/Preferences / Preferences (Настройки/Параметры / Параметры). Затем в появившемся диалоговом окне выберите в меню Edit (Правка) / Restore Default Settings (Восстановить заданные по умолчанию параметры).

Мауа предоставляет огромное количество настраиваемых параметров (рис. 3.14) Для этого используется пункт меню Window / Settings/ Preferences / Preferences.



Рис. 3.14. Восстановление заданных по умолчанию параметров

Например, понадобится отменить несколько последних действий. Для этого можно использовать пункт основного меню Edit / Undo или сочетание клавиш Ctrl+z. Можно определить количество таких отмен, и этот параметр будет использоваться впоследствии каждый раз при запуске Мауа. В списке категорий слева выберите Undo (внизу списка) и установите для параметра Queue значение Infinite (бесконечное количество), т. е. сможете вернуться назад на неограниченное количество шагов.

3.3. Управление окнами проекций

Окно 3D сцены часто называют рабочим пространством (Workspace), панелью (Panel), а иногда — видом камеры (Camera View). Именно с последним названием связаны перечисленные ниже и часто используемые действия.

Вот перечень основных приемов управления окнами проекции.

Изменяем план (Dolly Tool): возможно осуществить колесиком мыши (при его наличии) или придерживая клавишу Alt, перемещаем мышь, нажимая при этом правую клавишу мыши. С помощью этой процедуры (далее – доллинг) мы перемещаем виртуальную камеру в виртуальном пространстве, например, ближе к объекту, то есть укрупняем план (рис. 3.15). Эта операция называется наездом.



Рис. 3.15. Первоначальный вид сцены (слева) и результат доллинга (справа)

Перемещаем вид (Track Tool): для этого, придерживая клавишу Alt, перемещаем мышь вверх/вниз, нажимая при этом среднюю клавишу мыши.
 С помощью трекинга (рис. 3.16) мы перемещаем вид сцены вниз, вверх, влево, вправо. Эта операция называется сопровождением.



Рис. 3.16. Результат трекинга

 Вращаем камеру (Tumble Tool): для этого перемещаем мышь, придерживая клавишу Alt и нажимая при этом левую клавишу мыши. Эта процедура вращает камеру вокруг центра интереса (рис. 3.17) и называется облетом.



Рис. 3.17. Результат вращения камеры

Доллинг и трекинг можно применять ко всем видам, a Tumble (Вращение камеры) — только к виду в перспективе.

Эти и другие инструменты камеры доступны также из меню View / Camera Tools на каждом виде (рис. 3.18).

Рисование рамки при одновременно нажатых клавишах Alt и Ctrl. Меняет масштаб выделенной области. Для увеличения масштаба рамку нужно начать с верхнего левого угла и закончить правым нижним. Если же масштаб требуется уменьшить, рамка начинается с правого нижнего угла и заканчивается левым верхним.

;	View	Shading	Lighting	Show	Ρ	anels	
	Se	lect Came	ra				
	Pr	evious Vie	w	[
	N	ext View]			
	De	efault Hom	ne				
	Lo	ook at Seleo	ction				
	Fr	ame All					
I	Fr	ame Select	tion	f			
	Pr	edefined B	ookmarks		•		
	Bo	ookmarks					
	Ca	amera Setti	ings		•		
	Ca	amera Attri	ibute Edito	or			
	Ca	amera Too	ls		2	Tumble Tool	0
	Im	nage Plane			•	Track Tool	
ľ	_	-				Dolly Tool	•
I						Zoom Tool	•
I					1	Roll Tool	0
						Azimuth Elevation Tool	•
						Yaw-Pitch Tool	•
I						Fly Tool	

Рис. 3.18. Выбор инструментов камеры

Кроме того, используя пункт меню любого из окон проекции, возможно быстро *масштабировать* ваше изображение. Так, команда View / Frame Selection или горячая клавиша *f* масштабирует сцену таким образом, что активный объект масштабируется по размеру рабочего пространства. А команда View / Frame All масштабирует все объекты сцены по размеру рабочего пространства. Команда View / Look at Selection (Фокусировка на выделенном) приводит к центрированию выделенного объекта в окне проекции.



Рис. 3.19. Первоначальный вид сцены

Например, в сцене созданы полигональные цилиндр, сфера и куб (рис. 3.19). При выделенном кубе результат команд View / Frame Selection и View / Frame All будет следующий (рис. 3.20).



Рис. 3.20. Результат использования команд View / Frame Selection (слева) и View / Frame All (справа)

3.4. Выравнивание объектов

Если требуется тщательно разместить все элементы сцены по отношению друг к другу, это можно сделать вручную инструментом Move Tool, а можно с помощью *операции выравнивания*, что позволяет добиться большей точности. Для выравнивания выделите все объекты, щелкните на квадратике справа от команды Modify / Snap Align Objects / Align Objects (Изменение / Быстрое выравнивание объектов / Выровнять объекты) и настройте параметры выравнивания (рис. 3.21). Например, создадим полигональные сферу, цилиндр и куб в начале координат (т. е. по умолчанию), выделим их, выберем параметры (рис. 3.21) Align Mode / Stack и, выравнивая по оси Y (WorldY), получим следующий результат (рис. 3.22).

Align Objects Options		
Edit Help		
Align Mode :	신이 처음 같	×
	Min Mid Max Dist	Stack
Align In :	VorldX VorldY	✓ WorldZ
Align to :	Selection Average 🛛 💌	
Align	Apply	Close

Рис. 3.21. Диалоговое окно Align Objects Options



Рис. 3.22. Первоначальный вид объектов (слева) и результат операции выравнивания (справа)

3.5. Отражение объектов в сцене

При выборе команды Shade Options (Параметры затенения) меню Shading (Затенение) любого окна проекции (рис. 3.23) появится дополнительное меню с командами Wireframe on Shaded (Каркас на затененном) и X-Ray (Рентген). Первая позволяет лучше видеть кривизну объекта и результаты редактирования его формы. Выбор второй команды доступен только в режиме тонированной раскраски. В результате объект становится полупрозрачным и вы получаете возможность наблюдать все объекты сцены, не переходя в окна ортографических проекций (рис. 3.24).



Рис. 3.23. Вид меню Shading любого окна проекции



Рис. 3.24. Вид объектов сцены в режиме тонированной раскраски (слева) и в режиме X-Ray (справа)

Ниже в меню Shading (Затенение) находится команда Interactive Shading (Интерактивная раскраска), выбор которой открывает меню различных режимов обновления экрана (рис. 3.25) при перемещении элементов сцены. По умолчанию выбран вариант Normal (Обычный). Но иногда вид сцены оказывается настолько детализированным, что компьютер не успевает рассчитывать вид сцены по мере изменения положения какого-либо из ее объектов. В этом случае процесс перемещения постоянно останавливается, чтобы дать время на обновление изображения сцены. Для ускорения этого процесса нужно выбрать один из трех других режимов – Wireframe (Каркас), Bounding Box (Габаритный контейнер) или Points (Вершины). В результате при выполнении преобразования или перехода к другой проекции все объекты сцены предстанут в виде каркасов, габаритных контейнеров или наборов вершин, благодаря чему станет возможным оперативное обновление сцены. После завершения движения объекты снова примут свой обычный вид.



Рис. 3.25. Вид меню Interactive Shading Options

Альтернативным способом повышения степени интерактивности является команда Fast Interaction (Быстрое взаимодействие) меню Display (Отображение). После ее выполнения в режиме тонированной раскраски при определенных условиях происходит упрощение объектов и текстур, благодаря которому обновление сцены происходит намного быстрее. Эта команда очень популярна, так как позволяет сэкономить значительное время, не слишком изменяя вид объектов в процессе их перемещения.
Display Window Animate E	Deform Skeleton Skin Constrain Cha	Display Window Animate	Deform Skeleton Skin Constrain Ch
 ✓ Grid Heads Up Display UI Elements 		 ✓ Grid Heads Up Display UI Elements 	→ ↓ 〒 + & こ ◆ 伊 tion Dynamics Rendering Paintl
Hide Show	Hide Selection Ctrl+h Hide Unselected Objects Alt+h	Hide Show	Show Selection H
Wireframe Color Object Display Component Display	Hide Unselected CVs All Hide Constant	Wireframe Color Object Display Component Display	Show Last Hidden Ctrl+H All Surface CVs All
NURBS Components NURBS Smoothness	Hide Geometry F Hide Kinematics F Hide Deformers F	NURBS Components NURBS Smoothness	Show Geometry Show Kinematics
Polygon Components Custom Polygon Display	Lights Cameras Texture Placements	Polygon Components Custom Polygon Display	Show Deformers
Subdiv Surface Components Subdiv Surface Smoothness	Construction Planes Animation Markers	Subdiv Surface Components Subdiv Surface Smoothness	Texture Placements Construction Planes
Fast Interaction Camera/Light Manipulator Joint Size IK/FK Joint Size IK Handle Size	Light Manipulators Camera Manipulators	Fast Interaction Camera/Light Manipulator Joint Size IK/FK Joint Size IK Handle Size	Animation Markers Light Manipulators Camera Manipulators
 Paint Effects Mesh Display Stroke Display Quality 	,	 Paint Effects Mesh Display Stroke Display Quality 	,

Рис. 3.26. Выбор команд скрытия и отображения объектов

Операция скрытия (Hide) позволяет скрыть форму или объект со сцены, а команда отображения (Show) – вывести их обратно на сцену. Эта очень ценная пара команд для устранения со сцены каркасных сеток, ненужных в текущий момент времени, а также для предотвращения случайного изменения каркасов расположена в меню Display (рис. 3.26). Скрытие некоторых объектов помогает лучше сфокусироваться на одной задаче. Кроме того, при использовании операции скрытия ускоряется визуализация сцены.

Из данных пунктов меню особо можно выделить Display / Hide / Hide Selection – скрытие выделенного объекта и Display / Hide / All – скрытие всех объектов. И, соответственно, обратные им операции – Display / Show / Show Selection и Display / Show / All.

Вопросы для самоконтроля

- 1. Что называется проецированием объекта? Приведите классификацию проекций.
- 2. Сравните центральную и параллельную проекции.
- 3. Что представляют собой аксонометрические проекции?
- 4. Какие виды проекций используются в Мауа?
- 5. Опишите понятие главной точки схода. В каком из видов проекции она имеет смысл?

- 6. Какие варианты компоновки окон проекций существуют в Мауа?
- 7. Опишите способы переключения между окнами проекций.
- 8. Что такое сетка? Каким образом можно отредактировать параметры сетки?
- 9. Для каких целей предназначена команда Panels / Layots из меню окна проекций?
- 10. Каким образом можно изменить режим загрузки нужного варианта компоновки окон проекций?
- Перечислите способы масштабирования изображения в окнах проекций.
- 12. Опишите основные приемы управления окнами проекций.
- 13. Сравните режим тонированной окраски и режим X-Ray отображения объектов.
- 14. Что такое выравнивание объектов?
- 15. Для чего используется операция скрытия объектов?

Практические задания

- 1. Изменить единицы измерения проекта на метры.
- 2. Скомпоновать окна проекции удобным для вас образом.
- 3. Отредактировать здания в различных проекциях: выровнять крыши и стены домиков, скорректировать местоположение объектов на стандартной сетке.
- 4. Продемонстрировать сцену во всех видах проекций.
- 5. Продемонстрировать сцену со всех сторон, используя облет, сопровождение и наезд.
- 6. «Проложить» дороги между домов сцены, используя Create / Polygon Primitives / Plane.

§ 4. ОСНОВЫ ПОЛИГОНАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Любой полигональный объект задается набором полигонов (иначе именуемых полигональными гранями). Сетки полигонов лучше всего подходят для моделей, имеющих прямоугольные формы, механических объектов и т. п. Вместе с тем полигональные модели используются и в анимации высокого разрешения.

4.1. Составные части полигонов

Полигоны, или многоугольники, состоят из *граней* (Face). В одной плоскости объекта могут находиться множество граней, которые внешне будут совершенно не различимы. Одна грань представляет собой плоскую поверхность, полученную соединением трех точек, называемых *вершинами* (Vertex). Положение вершин определяет форму и размер грани. Линии, соединяющие вершины друг с другом, называются ребрами (Edge). То есть ребра — это линии границы грани. Таким образом, вершины — это точки, в которых сходится и соединяется друг с другом любое число ребер. Ребра могут быть видимыми, если соседние грани не лежат в одной плоскости, в противном случае они невидимы. Как правило, полигональные грани имеют три вершины, но могут иметь и четыре вершины и, соответственно, как треугольную, так и четырехугольную форму. Грани соединяются друг с другом вдоль ребер, формируя более сложную поверхность (рис. 4.1) и представляя собой элементарные ячейки сетки.



Рис. 4.1. Представление вершин, ребер и граней

Под термином количество многоугольников следует понимать общее количество многоугольников, из которых состоит конкретный объект. В большинстве трехмерных графических систем разработчики предпочитают обращаться к четырехсторонним многоугольникам, хотя трехсторонние также не оставляют без внимания. Различие между использованием этих двух типов многоугольников состоит в том, что для создания четырехугольника требуется соединить два треугольника, поэтому для уменьшения количества полигонов в модели художник может использовать четырехугольники вместо треугольников.

4.2. Значение числа разбиений

У полигональных сеток рассматривается число разбиений (Subdivisions) на грани. Чем выше число разбиений, тем более гладкой будет поверхность.

Например, создадим куб. Обратите внимание, что в кубе 1 сегмент, т. е. параметры вкладки PolyCube1 (Параметры полигонального куба) редактора атрибутов (открыть Ctrl+a) имеют значения Subdivisions Width = 1, Subdivisions Haight = 1, Subdivisions Depth = 1 (рис. 4.2).



Рис. 4.2. Вид и параметры полигонального куба

Изменив данные значения (число разбиений по высоте, ширине и длине), меняем уровень детализации поверхности (рис. 4.3).



Рис. 4.3. Вид и параметры полигонального куба с различным числом разбиений

Например, для изменения параметров разбиения сферы меняют значения разбиений по широте и количеству меридиан (рис. 4.4).



Рис. 4.4. Вид и параметры полигональной сферы с различным числом разбиений

4.3. Редактирование на уровне подобъектов

Редактирование полигональных объектов можно производить как на уровне объекта в целом, так и на уровне подобъектов — граней, ребер или вершин. Чтобы объект стал редактируемым на уровне подобъектов и превратился в полигональную сетку, необходимо нажать клавишу F8 (рис. 4.5), которая также отвечает за возврат к обычному редактированию на уровне объекта.



Рис. 4.5. Полигональная сфера и составляющие ее подобъекты

Подобъекты можно вытягивать, масштабировать, вращать и деформировать, удалять, объединять, добавлять и применять к ним множество других операций, изменяя таким образом исходный объект, например обычный примитив, до полной неузнаваемости.

Выбор нужного типа подобъектов осуществляется нажатием клавиши F8, подсвечиванием нужного уровня и блокированием ненужных в строке состояния (по умолчанию в ней устанавливается выбор вершин). Или сразу нажатием клавиш F9 – для перехода в режим редактирования вершин, F10 – ребер и F11 – граней (рис. 4.6).



Рис. 4.6. Представление полигональной сферы в виде подобъектов (вершин, ребер, граней)

Выделение подобъектов производится инструментами выделения Select Tool и Lasso Tool. Если необходимо одновременно выделить несколько подобъектов, при выделении удерживают нажатой клавишу Shift. Кроме того, выделение объектов по щелчку выполняется и в случае применения инструментов Move Tool, Rotate Tool и Scale Tool.

С подобъектами возможны те же действия, что и с объектами в целом: перемещение, поворот, масштабирование. При этом форма объекта изменяется кардинальным образом.

4.3.1. Редактирование на уровне вершин

Например, создадим штангу из полигонального цилиндра. Для этого создадим полигональный цилиндр, используя меню Create / Poligon Primitives / Cylinder или полку Shelf (рис. 4.7).



Рис. 4.7. Вид и параметры первоначального полигонального цилиндра

Изменим его положение относительно оси Z на 90° и увеличим масштаб по оси Y (рис. 4.8).



Рис. 4.8. Вид и параметры полигонального цилиндра после поворота



Рис. 4.9. Вид и параметры полигонального цилиндра после масштабирования

При этом обратите внимание на параметры Subdivisions вкладки polyCylinder1 (рис. 4.9). Изменяя данные параметры Subdivisions Height и Subdivisions Caps, получим объект с большим числом разбиений (рис. 4.10).



Рис. 4.10. Вид и параметры полигонального цилиндра при изменении количества разбиений

Переключимся в режим выделения и редактирования объекта на уровне подобъектов, нажав клавишу F8 (рис. 4.11).



Рис. 4.11. Вид полигонального цилиндра при нажатой клавише F8



Рис. 4.12. Выделение вершин центральных сечений

Перейдем к работе с четырьмя окнами проекций и в одной из проекций – Side (Сбоку) или Front (Спереди) – выделим вершины центральных сечений (рис. 4.12).

pCylinderShape1					
CVs (click to hide)					
	X	Y	Z		
220	0	0	0		
221	0	0	0	=	
222	0	0	0	_	
223	0	0	0		
224	0	0	0		
225	0	0	0		
226	0	0	0		
227	0	0	0		
228	0	0	0		
229	0	0	0		
230	0	0	0		
231	0	0	0		
232	0	0	0		
233	0	0	0		
234	0	0	0		
235	0	0	0		
236	0	0	0		
237	0	0	0		
238	0	0	0	-	

Рис. 4.13. Первоначальные координаты выделенных вершин центральных сечений



Рис. 4.14. Результат масштабирования центральных сечений

При этом обратите внимание на вкладку CVs пункта pCylinderShape1 окна ChannelBox. В ней отражаются координаты выделенных вершин (рис. 4.13), первоначальные значения которых равны нулю.

Используя инструмент Scale Tool или горячую клавишу R, уменьшим радиус сечений, изменив масштаб по осям X и Z, увеличим масштаб по оси Y (рис. 4.14). При этом координаты выделенных вершин изменились следующим образом (рис. 4.15).

pCylinderShape1						
CVs (click to hide)						
	X	Y	Z			
220	-0.739	-0.184	0.241			
221	-0.629	-0.184	0.459	Ξ		
222	-0.457	-0.184	0.632	-		
223	-0.24	-0.184	0.743			
224	-9.81e-	-0.184	0.781			
225	0.24	-0.184	0.743			
226	0.457	-0.184	0.632			
227	0.629	-0.184	0.459			
228	0.739	-0.184	0.241			
229	0.777	-0.184	-7.98e			
230	0.739	-0.184	-0.241			
231	0.629	-0.184	-0.459			
232	0.457	-0.184	-0.632			
233	0.24	-0.184	-0.743			
234	-1e-00	-0.184	-0.781			
235	-0.24	-0.184	-0.743			
236	-0.457	-0.184	-0.632			
237	-0.629	-0.184	-0.459			
238	-0.739	-0.184	-0.241	Ŧ		

Рис. 4.15. Измененные координаты выделенных вершин центральных сечений

Нажав клавишу F8, вернемся в режим выделения и редактирования объекта; используя горячую клавишу 5, перейдем в режим тонированной раскраски, получив желаемый результат (рис. 4.16).



Рис. 4.16. Штанга

4.3.2. Редактирование на уровне ребер

Например, используем полигональную сферу (рис. 4.17) для создания из нее капсулы. Дело в том, что если для создания капсулы мы будем использовать обычное масштабирование полигональной сферы, то полученный результат будет только эллипсоидом, представленным на рис. 4.18 в режиме тонированной раскраски.



Рис. 4.17. Вид первоначальной полигональной сферы



Рис. 4.18. Вид эллипсоида, полученного из полигональной сферы



Рис. 4.19. Выделение половины сферы на уровне ребер

Выделим сферу и нажмем клавишу F10 для перехода в режим редактирования ребер. Далее перейдем в режим ортогональных поверхностей (рис.4.19) для корректного выделения ребер. В окне top выделим половину сферы (рис. 4.19).

Используя инструмент Move Toll или горячую клавишу W, переместим выделенную часть сферы на некоторое расстояние по оси X в окне persp (рис. 4.20).



Рис. 4.20. Перемещение выделенной половины сферы



Рис. 4.21. Капсула

Нажав клавишу F8, вернемся в режим выделения и редактирования объекта; используя горячую клавишу 5, перейдем в режим тонированной раскраски, получив желаемый результат (рис. 4.21).

4.3.3. Редактирование на уровне граней

Любые грани несложно удалить, выделив их и нажав клавишу Del. Попробуем воспользоваться удалением граней для превращения обычного закрытого куба в полый, что позволит применить его для имитации некоторого замкнутого пространства. Создадим обычный куб, нажмем клавишу F11 для перехода в режим редактирования граней (рис. 4.22).



Рис. 4.22. Исходный куб



Рис. 4.23. Результат удаления граней



Рис. 4.24. Имитация замкнутого пространства

Выделим две его передние грани и верхнюю грань. Удалим их (рис. 4.23) и перейдем в режим тонированной раскраски.

Видим, что оставшаяся часть куба вполне может послужить основой для моделирования помещения-комнаты с полом и стенами (рис. 4.24).

4.4. Методы и принципы полигонального моделирования

Теоретически можно выделить три метода построения полигональных моделей, которые могут применяться как в чистом виде, так и в разнообразных комбинациях. Модель может строиться:

- вытягиванием из одного-единственного исходного полигона, при этом каждый новый полигон вытягивается из предыдущего и в ряде случаев сваривается с каким-то соседним полигоном через вершины;
- на основе полигональных примитивов (куб, сфера и т. п.) вытягиванием из них тех или иных подобъектов, которые при необходимости делятся на отдельные грани. Данный метод пользуется наибольшей популярностью;
- с нуля, а входящие в нее полигоны не вытягиваются, а рисуются вручную.

Для создания и редактирования полигональных моделей предназначены командные меню *Polygons* и *Edit Polygons*, содержащие очень большое количество команд. Однако самыми важными в полигональном моделировании являются команды:

- Split Polygon Tool (Разбить полигон) из меню Edit Polygons приводит к разбиению каждой грани на несколько новых граней, что реализуется путем создания новых ребер;
- Extrude Face / Extrude Edge / Extrude Vertex (Выдавить грань / Выдавить ребро / Выдавить вершину) из меню Edit Polygons обеспечивает перемещение выделенных граней, ребер и вершин и изменение в итоге формы модели;
- Smooth (Сгладить) из меню Polygons увеличивает детализацию объекта благодаря переразбиению на большее число граней; может выполняться как для всего объекта в целом, так и для его отдельных подобъектов.

Чтобы результат моделирования оказался удачным, стоит придерживаться следующих правил.

1. Многие модели симметричны, поэтому, как правило, создается лишь одна их половина, а затем генерируется ее зеркальная копия командой *Polygons / Mirror Geometry* (Полигоны / Зеркальная геометрия). По окончании обе половинки модели сшиваются, например путем булева объединения, а затем полученная модель сглаживается.

2. Модели не должны иметь в своем составе лишних подобъектов, которые не нужны для формирования задуманной поверхности. Это лишь усложняет модель и может стать причиной неправильного выполнения тех или иных операций. Поэтому от лишних подобъектов нужно сразу же избавляться. Например, для уничтожения лишних вершин достаточно переключиться в режим редактирования вершин и удалить ненужные.

3. Нередко воспользоваться нужным инструментом не получается, например при попытке создания новой грани не удается провести новое ребро от ребра A к ребру В. Причиной возникновения таких ситуаций является невозможность выполнения операции в данном конкретном случае, так как происходит нарушение существующей полигональной системы плоскостей. Можно попытаться провести ту же операцию, но в обратном порядке, то есть соединить ребро В с ребром А, иначе придется придумывать какое-то иное решение.

4. Операция сглаживания (Smooth) существенно увеличивает количество полигонов модели, поэтому не стоит злоупотреблять ею. В результате нее модель может стать слишком сложной: из-за большого числа полигонов с ней трудно будет работать, время визуализации значительно вырастет, а недостаточно мощный компьютер может при ее обработке зависать.

4.4.1. Выдавливание

Наиболее простой способ преобразования двухмерной формы в трехмерную — это выдавливание. При выполнении операции выдавливания (Extrude) двухмерная форма просто «проталкивается» в третье измерение, получая Z-ось глубины. Принцип его заключается в прямолинейном расширении объекта по одной из осей. В результате появляется трехмерный объект, обладающий шириной, высотой и глубиной.

Выдавливание прекрасно подходит для создания кубических форм, колонн, панелей и т. п., однако острая кромка определенно выдает компьютерное происхождение полученного результата.

Для использования инструмента выдавливания в первую очередь необходимо определить двухмерные формы, с помощью которых будет модифицироваться объект. Ими могут быть вершины, ребра или грани существующего объекта.

Выдавливание на уровне вершин осуществляется командой Edit Poligons / Extrude Vertex (Редактирование полигонов / Выдавливание вершин).

Например, создадим морского ежа из сферы, применив к вершинам операцию Extrude (Выдавливание). Создадим полигональную сферу, нажмем клавишу F9 для перехода в режим редактирования вершин и выделим все вершины (рис. 4.25).



Рис. 4.25. Исходная сфера (слева) и сфера с выделенными вершинами (справа)

Применим к вершинам операцию Extrude (Выдавливание), щелкнув на квадратике справа от команды Edit Poligons / Extrude Vertex (Редактирование полигонов / Выдавливание вершин) и настроив параметры выдавливания примерно так же, как показано на рис. 4.26.

Polygon Extrude Vertex Options			
Edit Help			
Extrude Width 0.4000	j_	-	
Extrude Length 0.3000	·	-	
Divisions 1	J	_	
,			
			- Second - C
			x >>> + + + + + + + + + + + + + + + + +
			- XALAR
			- The state of the
Extrude Vertex A	(pply	Close	

Рис. 4.26. Параметры и результат выдавливания вершин

Не снимая выделения, наложите на подобъекты фаску при помощи команды Edit Poligons / Bevel (Редактирование полигонов / Фаска) с параметрами по умолчанию. Полученная модель напоминает морского ежа и представлена на рис. 4.27.



Рис. 4.27. Морской еж

Выдавливание на уровне ребер осуществляется командой Edit Poligons / Extrude Edge (Редактирование полигонов / Выдавливание ребер).

Например, создадим элемент мельницы — «лопасти» из цилиндра, применив к ребрам операцию Extrude (Выдавливание). Создадим полигональный цилиндр, изменим его размер по оси, нажмем клавишу F10 для перехода в режим редактирования ребер и выделим симметрично относительно центра цилиндра 4 ребра на его боковой поверхности (рис. 4.28). Последнее удобнее выполнить в режиме каркасной сетки.



Рис. 4.28. Исходный цилиндр (слева), отмасштабированный цилиндр (по центру) и цилиндр с выделенными ребрами (справа)

Применим к ребрам команду Edit Poligons / Extrude Edge (Редактирование полигонов / Выдавливание ребер). На экране отобразится манипулятор (рис. 4.29), с помощью которого можно изменить положение, размеры и угол поворота ребер так, чтобы они стали похожи на лопасти мельницы (рис. 4.30).



Рис. 4.29. Манипулятор выдавливания ребер



Рис. 4.30. Моделирование формы ребер при выдавливании



Рис. 4.31. Лопасти мельницы

Выдавливание на уровне граней осуществляется командой Edit Poligons / Extrude Face (Редактирование полигонов / Выдавливание граней).

Например, создадим дерево из куба, применив к граням операцию Extrude (Выдавливание). Примитив куб выступает лишь основой модели — ее первым «кубиком», а все последующие составные элементы вытягиваются из подобъектов исходного объекта и преобразуются нужным образом.

Создадим полигональный куб (рис. 4.32), нажмем клавишу F11 для перехода в режим редактирования граней и выделим верхнюю грань.



Рис. 4.32. Исходный куб

Вытянем из выделенной грани новую грань меньшего размера, используя команду Edit Poligons / Extrude Face (Редактирование полигонов / Выдавливание граней), и скорректируем параметры грани стрелками манипулятора инструмента (рис. 4.33).



Рис. 4.33. Выдавливание первой грани

Применим данную операцию несколько раз, в качестве исходной используйте всегда новую созданную грань, уменьшая размеры и корректируя манипуляторами направление ее смещения. Результат может быть следующим (рис. 4.34):



Рис. 4.34. Первая ветвь дерева

Перейдем к созданию второй основной ветви: выделите на стволе дерева подходящий полигон (из которого теоретически может расти такая ветвь) и начните тот же самый процесс многократного применения операции Extrude Face, последовательно формируя все новые фрагменты ветви (рис. 4.35).



Рис. 4.35. Вторая ветвь дерева

На первой основной ветви сформируем новую ветвь следующего порядка: выделим указанный на рис. 4.36 полигон и вытянем из него задуманную ветвь. Точно таким же образом, вращая объект (при нажатых левой кнопке мыши и клавише Alt), смоделируем еще несколько ветвей (рис. 4.36).



Рис. 4.36. Создание дополнительной ветки на первой основной ветви (слева) и вид дерева с несколькими ветвями (справа)

Теперь смоделируем нижнюю часть ствола, выделив полигон, находящийся в предполагаемом основании дерева. При помощи операции Extrude Face вытяните из данного полигона несколько полигонов, не забывая каждый раз увеличивать их размеры (рис. 4.37).





По окончании оцените результат и при необходимости скорректируйте положение отдельных вершин, ребер и граней, внимательно осмотрев модель со всех сторон. Нажмем клавишу F8 для возврата к режиму редактирования на уровне объекта, выделим объект и переместим дерево на плоскость сетки, так как его основание выполнено под ней (рис. 4.38). Не снимая выделения с объекта, дважды применим к нему *операцию селаживания* командой *Poligons / Smooth (Полигоны / Селаживание)*. После этого дерево будет выглядеть более реалистично (рис. 4.38).



Рис. 4.38. Полигональное дерево до (слева) и после (справа) сглаживания

Выдавливание грани можно осуществить и вдоль некой кривой. Для этого нужно выделить кривую и нужные грани, щелкнуть на квадратике, расположенном справа от команды Extrude Face (Выдавить грань), и в появившемся окне диалога установить флажок Use Selected Curve for Extrusion (Выдавить вдоль выделенной кривой). Параметр Taper (Заострение) уменьшает или увеличивает размер выделенных граней в процессе выдавливания. Параметр Twist (Скрутка) задает степень их скручивания, а параметр Divisions (Разбиения) определяет гладкость получаемой в результате формы. Если окажется, что выделенные грани не в состоянии следовать за всеми изгибами указанной вами кривой, увеличьте значение параметра Divisions (Разбиения).

Выдавливание по дуге. Действие команды Wedge Faces (Выдавить грани по дуге) в соответствии с ее названием сводится к выдавливанию граней по дуге, в отличие от команды Extrude Face (Выдавить грань), которая приводит к выдавливанию граней вдоль отрезка прямой. В данном случае требуется не только выделить грань, но и указать ребро, вокруг которого будет происходить поворот.

Например, создадим полигональную сферу, выделим грань, щелкнув на объекте правой кнопкой мыши (рис. 4.39), и выберем в появившемся меню команду Edge (Ребро). Затем при нажатой клавише Shift щелчком выделите одно из ребер этой грани и щелкните на квадратике, расположенном справа от команды Edit Polygons / Wedge Faces (Правка полигонов / Выдавить грани по дуге).



Рис. 4.39. Первоначальный вид сферы

По умолчанию параметр Wedge Angle (Угол выдавливания), задающий угол поворота граней, равен 90°, а число создаваемых при этом граней, определяемое параметром Wedge Divisions (Разбиения при выдавливании по дуге), равно 4 (рис. 4.40).

Polygon	Wedge Face Optic	ons		X		
Edit Help	Wedge Angle Wedge Divisions	90.000d				
w	edge Face	Apply	a	lose	Y	

Рис. 4.40. Параметры и вид сферы после выдавливания по дуге

Инструмент Wedge Faces (Выдавить грани по дуге) используется при моделировании таких элементов персонажа, как локтевые и коленные сгибы, а также при построении арок и тоннелей.

Разбиение с выдавливанием. Детализацию грани легко повысить с помощью инструмента Poke Faces (Разбиение с выдавливанием). Достаточно выделить нужную грань и выбрать команду Edit Polygons / Poke Faces (Правка полигонов / Разбиение с выдавливанием). В центре грани появятся новая вершина и манипулятор преобразования Move (Перемещение), позволяющий переместить ее в нужном вам направлении (рис. 4.41).



Рис. 4.41. Применение Poke Faces к грани сферы и последующее использование преобразования Move

Это позволяет формировать на поверхности выпуклости и впадины. Создавая дополнительные детали только в тех областях, где это действительно нужно, вы сохраняете число граней модели минимальным и увеличиваете эффективность своей работы.

4.4.2. Скругление острых углов

Инструмент *Bevel (Скос)* может использоваться для скругления острых углов. Из выделенного ребра или ребер создаются новые грани. Например, выделим ребро на созданном полигональном кубе (рис. 4.42).

Щелкнем на квадратике, расположенном справа от команды Edit Polygons / Bevel (Правка полигонов / Скос), для открытия диалогового окна Параметры скоса (рис. 4.43). Ползунок Offset Distance (Величина смещения) задает расстояние от выделенного ребра до центра новой грани. По существу, он определяет размер скошенного угла. Параметр Segments (Сегменты) указывает количество сегментов, формирующих скос. Чем больше его значение, тем более гладким получится скругление. Оставив этому параметру заданное по умолчанию значение 1, вы получите всего одну дополнительную грань (рис. 4.43), выставив значение 3 — скругление (рис. 4.44).



Рис. 4.42. Первоначальный вид куба



Рис. 4.43. Параметры и вид полученного скоса



Рис 4.44. Параметры и вид полученного скругления

Параметр Roundness (Скругление) определяет, насколько круглым будет угол. Присвоение ему слишком больших значений приведет к «вспучиванию» поверхности (рис. 4.45), хотя в некоторых случаях именно такой результат и требуется.



Рис. 4.45. Параметры и вид полученного скругления с большим значением параметра Roundness

Вы можете положиться на выбор программы, позволив ей задать значение параметра Roundness (Скругление) в соответствии с размером геометрии, на которой формируется скос. Для этого достаточно установить флажок Auto Fit (Автоматический подбор).

4.4.3. Инструмент Subdivide

Инструмент Subdivide (Разбиение) позволяет увеличить детализацию поверхности за счет равномерного деления всех или только выделенных граней (рис. 4.46). Выделите грань или грани полигональной поверхности и выберите команду Edit Polygons / Subdivide (Правка полигонов / Разбиение). Щелчок на квадратике, расположенном справа от этой команды, открывает окно диалога с ее параметрами, в котором можно с помощью ползунка Subdivision Levels (Уровни разбиения) указать уровень разбиения поверхности (рис. 4.46).

Раскрывающийся список Mode (Режим) позволяет выбрать между четырехугольными и треугольными гранями (рис. 4.47).

С помощью этого инструмента можно подвергнуть разбиению даже ребра (рис. 4.48). При этом грани разбиению подвергаться не будут. Эта операция предназначена скорее для изменения формы граней путем перемещения вновь созданных ребер.

👜 Polygon	Subdivide Face Options		
Edit Help	Subdivision Levels 2		-
		1	
Polygon	Subdivide Face Options		
Polygon Edit Help	Subdivide Face Options Subdivision Levels 3 Mode triangles v		

Рис. 4.46. Параметры разбиения граней сферы на четырехугольные (слева) и треугольные (справа) грани



Рис. 4.47. Результат разбиения граней сферы на четырехугольные (слева)

и треугольные (справа) грани



Рис. 4.48. Параметры и вид разбиения граней с использованием инструмента Subdivide

4.4.4. Инструмент Split Polygon Tool

Для увеличения детализации поверхности применяется быстрый и точный способ – инструмент Split Polygon Tool (Инструмент разбиения полигонов). После выбора команды Edit Polygons / Split Polygon Tool (Правка полигонов / Инструмент разбиения полигонов) указатель мыши приобретает форму треугольной стрелки. Останется выделить две точки на разных ребрах одной грани, и появится новое ребро, делящее грань на две половины (рис. 4.49). Чтобы завершить создание ребра, необходимо нажать клавишу Enter или щелкнуть правой кнопкой мыши.



Рис. 4.49. Параметры и вид разбиения полигонов с использованием инструмента Split Polygon Tool

4.4.5. Инструмент Cut Faces Tool

Инструмент Cut Faces Tool (Инструмент разрезания граней) (рис. 4.50) разрезает полигональную поверхность путем создания на ней набора ребер. Затем происходит разделение по линии разреза, причем одна из частей может быть удалена (рис. 4.51).

Для применения этого инструмента достаточно выбрать команду Edit Polygons / Cut Faces Tool (Правка полигонов /Инструмент разрезания граней). Например, создадим полигональную сферу и применим к ней данный инструмент.

Установка флажков Extract the Cut Faces (Выделить отрезаемые грани) и Delete the Cut Faces (Удалить отрезаемые грани) в окне диалога Polygon Cut Face Tool Options (Параметры инструмента разрезания полигонов) приведет, соответственно, к тому, что в первом случае отрезанная часть сферы будет отделена, а во втором случае она просто исчезнет (рис. 4.51). Для этого необходимо провести появившимся в виде стрелочки курсором по предполагаемому месту разреза при нажатой правой клавише мыши.

Polygon Cut Face Tool Options					
Edit Help					
Cut Plane Center	0.0000 0.0	0 00	.0000		
Cut Plane Rotation	0.0000 0.0	0 000	.0000		
Cut Plane Scale	1.0000 1.0	000			
Cut Direction	Interactive Cut	•			
Delete Extract	 Delete the cut fac Extract the cut fac 	ces			
Extract Offset	0.5000 0.50	0 000	.5000		
Enter Cut Tool And Close	Enter Cut 1	ool	(Close	

Рис. 4.50. Окно диалога инструмента Cut Faces Tool



Рис. 4.51. Результат использования инструмента Cut Faces Tool для разделения объекта на части или «отрезания» одной из частей

Инструмент Cut Faces Tool (Инструмент разрезания граней) позволяет создать прямую границу поверхности путем обрезки лишних фрагментов.

4.4.6. Инструмент Duplicate Face

Чтобы скопировать одну или несколько граней, выделите команду Edit Polygons / Duplicate Face (Правка полигонов / Продублировать грань). Появившийся в результате манипулятор можно использовать для перемещения, масштабирования или поворота скопированных граней (рис. 4.52).



Рис. 4.52. Первоначальный вид объекта и результат применения инструмента Duplicate Face к одной из граней объекта

4.4.7. Инструмент Extract

Инструмент Extract (Извлечь) отличается от инструмента Extrude (Выдавить) тем, что не создает дополнительных граней. Выделив грань или грани и выбрав команду Edit Polygons / Extract (Правка полигонов / Извлечь), вы обособите их ребра и вершины от соседних граней. Если установить флажок Separate Extracted Faces (Отделить извлеченные грани) в окне диалога Extract Options (Параметры извлечения), извлеченные грани станут отдельным полигональным объектом (рис. 4.53). В противном случае они останутся частью исходной модели.



Рис. 4.53. Первоначальный вид объекта и результат применения инструмента Ехtract к одной из граней объекта

Инструмент Extract (Извлечь) применяется для формирования в объекте отверстий с сохранением исходных граней. В комбинации с инструментом Split Polygon Tool (Инструмент разбиения полигонов) он позволяет создать очертания произвольной формы.

4.4.8. Инструмент Smooth

Инструмент Smooth (Сгладить), вызываемый одноименной командой меню Edit Polygons (Правка полигонов), равномерно разбивает полигональную поверхность целиком (или только выделенные грани) с целью сглаживания формы объекта (пример – дерево, рис. 4.38).

4.4.9. Инструмент Sculpt Polygon Tool

Данный метод заключается в вытягивании или, наоборот, во вдавливании отдельных фрагментов примитива.

Выбрав команду Edit Polygons / Sculpt Polygon Tool (Правка полигонов / Создание рельефа на полигональной поверхности), увидим параметры и форму указателя мыши (рис. 4.54).

Sculpt Geometry Tool	Reset T	ool	Tool He	p
▼ Brush				-
Radius(U) 4.0000	-j			
Radius(L) 0.0010				
Opacity 1.0000		—J		
🔽 Acc	umulate Opacity			
Profile		Brow	wse	
🔽 Rot	ate To Stroke			
 Sculpt Parameters 		-		
Operation (*) Pus	h © Pull © Smool ⊳Smooth	th O	Erase	=
Smooth Strength 1	L			-
Reference Vector Norr XA CU	nal C First Normal ris C Y Axis C V	C C	View Z Axis	
Max. Displacement 0.5000	- j			
Seam/Pole Tolerance 0.0050				
	Flood			
Reference Surface 🔽 Upo	late On Each Stroke	Upda	ite	
Erase Surface 🔲 Upo	late On Each Stroke	Upda	ite	

Рис. 4.54. Параметры и форма указателя мыши инструмента Sculpt Polygon Tool

Инструмент позволяет менять форму поверхности путем рисования на ней особыми кистями, в результате чего происходит перемещение управляющих вершин, что и приводит к изменению формы поверхности. Для деформации объекта достаточно щелкать мышью по поверхности объекта.

Используемые кисти характеризуются следующими параметрами:

- Radius (U) (Максимальный радиус) и Radius (L) (Минимальный радиус) – определяют размер кисти;
- Profile (Профиль) задает форму кисти (список форм кистей может пополняться за счет дополнительных кистей, загружаемых с диска, – кнопка Browse – рис. 4.55);
- Мах Displacement (Максимальное смещение) задает степень нажатия кисти;
- Opacity (Непрозрачность) определяет силу воздействия кисти;
- Operation (Рабочий режим) определяет режим работы кисти.



Рис. 4.55. Список форм кистей инструмента Sculpt Polygon Tool

Всего предусмотрено четыре режима работы кисти:

 – Push (Надавливание) – обеспечивает понижение поверхности в области воздействия и используется для формирования вмятин (рис. 4.56); – Pull (Вытаскивание) – приводит к подниманию поверхности в области воздействия и применяется для моделирования вершин (рис. 4.57);



Рис. 4.56. Результат режима работы кисти Push



Рис. 4.57. Результат режима работы кисти Pull

 Smooth (Сглаживание) – обеспечивает сглаживание слишком резких пиков и провалов (рис. 4.58);



Рис. 4.58. Результат режима работы кисти Smooth

 Егазе (Удаление) — возвращает поверхность в исходное состояние (рис. 4.59).



Рис. 4.59. Результат режима работы кисти Erase

Для удобства работы установленный режим указывается на курсоре мыши посредством специальных обозначений (Ps – Push, Pl – Pull, Sm – Smooth и E – Erase). В режимах Push и Pull на указателе (помимо типа режима) отображается стрелка (черная в режиме Push и красная в режиме Pull), указывающая допустимое направление воздействия.

Для получения более сглаженной поверхности полигональной сетки перед использованием инструмента Sculpt Polygon Tool требуется увеличить число ее разбиений.

4.4.10. Инструмент Mirror Geometry

Сгенерировать зеркальную копию объекта можно с использованием команды Polygons / Mirror Geometry (Полигоны / Зеркальная геометрия). Нажав квадратик около названия инструмента, вызываем окно настроек Polygon Mirror Options (рис. 4.60), в котором выбираем, в направлении какой из осей будет создаваться зеркальная копия.

Особенностью созданного объекта является то, что он создаётся неразрывно связанным с исходным. Так, используя инструмент зеркального отображения из исходного дерева (рис. 4.38), получаем следующее изображение (рис. 4.61).

Если инструмент Mirror Geometry применить повторно к уже созданному с его помощью объекту, то получится подобие гирлянды из первоначальных объектов (рис. 4.62).

Polygon Mirror Options			k-m	
Edit Help				
Mirror Direction	• •×	C +Y	⊖ +Z	
	OX N	O Y	⊂-z	
	Merge With	The Uriginal	C. Connect Res	lar E daga
	- merge veru	600	Conflect Built	iei Luges
Mirror		Apply		Close

Рис. 4.60. Вид окна настроек Polygon Mirror Options



Рис. 4.61. Однократное применение инструмента Mirror Geometry



Рис. 4.62. «Гирлянда» из деревьев
4.4.11. Булевы операции

Булевы операции (названы так в честь математика XIX века Джорджа Буля) позволяют достраивать форму путем ее комбинирования с другой формой или вырезания одной формы из другой. Булевы операции — очень мощные и полезные инструменты моделирования, поскольку позволяют создавать формы, на построение которых путем ручной манипуляции вершин ушло бы гораздо больше времени.

В Мауа имеются три команды формирования нового объекта из двух: объединение, исключение и пересечение — все три операции выполняются с помощью меню Polygons / Booleans и, соответственно, выбора Union (Объединение) или Difference (Исключение), или Intersection (Пересечение) (рис. 4.63). Необходимо последовательно выделить объекты, над которыми вы хотите выполнить операцию формирования (удерживая клавишу Shift), после чего выбрать соответствующую команду.



Рис. 4.63. Выбор операций Booleans

Например, создадим два полигональных примитива: куб и сферу. И разместим их таким образом, чтобы они пересекались (рис. 4.64). Выделим последовательно сначала куб, а затем при нажатой клавише Shift выделим сферу.

Операция объединения позволяет объединить перекрывающиеся объекты в точках пересечения их контуров (рис. 4.65), используя команду Polygons / Booleans / Union (Полигоны / Булевы операции / Объединение). При этом все внутренние элементы удаляются и новый объект повторяет только внешние формы объединенных объектов (рис. 4.65). Таким образом можно создавать объекты с отверстиями внутри.



Рис. 4.64. Первоначальный вид объектов



Рис. 4.65. Вид объектов после применения Booleans / Union

Создание исключения из перекрывающихся объектов изменяет форму объекта, выделенного <u>первым</u>, т. е. второй объект «вычитается»

из первого. В нашем примере из куба вырезаем сферу (рис. 4.66), используя команду Polygons / Booleans / Difference (Полигоны / Булевы операции / Исключение).



Рис. 4.66. Вид объектов после применения Booleans / Difference (из объектов выделен куб)



Рис. 4.67. Вид объектов после применения Booleans / Difference (из объектов выделена сфера)

Если в нашем примере при первоначальном выделении первой выбрать сферу, а потом уже при нажатой клавише Shift выделить куб, то результат будет соответствовать рис. 4.67.

Пересечение двух перекрывающихся объектов ведет к созданию объекта, состоящего из частей, общих для двух объектов. Для нашего примера, используя команду Polygons / Booleans / Intersection (Полигоны / Булевы операции / Пересечение), получаем часть сферы, «расположенной внутри куба» (рис. 4.68).



Рис. 4.68. Вид объектов после применения Booleans / Intersection

Вопросы для самоконтроля

- 1. Что такое полигоны и полигональное моделирование?
- 2. Что называется вершинами, ребрами и гранями полигонов?
- 3. Каким образом можно изменить параметры разбиения полигонального объекта?
- 4. В чем заключается процесс моделирования объектов на уровне вершин, ребер и граней?
- 5. Что представляет собой операция выдавливания Extrude?
- 6. С какой целью в Мауа используется выдавливание вдоль кривой? Опишите их виды.
- 7. Опишите процесс разбиения с выдавливанием.

- 8. Каким образом инструмент Bevel и его параметры влияют на внешний вид объекта?
- 9. Опишите назначение инструмента Subdivide.
- 10. Опишите способ «разрезания» объекта в Мауа.
- 11. Чем отличаются инструменты Split Polygon Tool и Cut Faces Tool?
- 12. Как в Мауа «вынести» грань из объекта?
- 13. Опишите назначение инструмента Sculpt Polygon Tool.
- 14. Каким образом можно создать зеркальную копию объекта?
- 15. Сравните результат применения различных булевых операций к двум полигональным объектам.

Практические задания

- 1. Отредактировать дома с использованием моделирования на уровне вершин, ребер и граней.
- 2. Создать в сцене фонарные столбы и лавочки.
- 3. Создать природные объекты путем вытягивания полигонов (деревья, кусты).
- 4. «Вырезать» в домах проемы окон и дверей.

§5. ОСНОВЫ NURBS-МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аббревиатура NURBS расшифровывается как «неоднородные рациональные сплайны Безье» (Non-Uniform Rational Bezier Splines, NURBS).

5.1. Понятие и компоненты NURBS-кривых и поверхностей

Данные кривые описываются математическими формулами – в итоге отпадает необходимость запоминать каждую точку кривой, достаточно знать координаты ее начала и конца и математическую формулу, описывающую кривую. Это позволяет создавать сложные криволинейные поверхности с небольшим числом управляющих вершин (рис. 5.1) и легко избавляться от грубой огранки объектов, придавая им плавную искривленную форму путем простого увеличения детализации.

NURBS-геометрия основана на кривых, математическая концепция которых была разработана французским инженером Пьером Безье. Данные кривые определяют кривизну поверхности и внешне представляют собой разнообразные линии (как прямые, так и разного рода кривые, а также контуры текстовых символов), форма которых определяется положением управляющих вершин, через которые они проходят. Кривые Безье располагаются между управляющими вершинами (CV – control vertices) и основаны на уравнениях третьего порядка. В основе NURBS-моделирования лежат математические формулы, намного более сложные, чем для создания полигонов.

Так как сцены с NURBS-моделями требуют дополнительных ресурсов, они используются в ситуациях, когда визуализация производится заблаговременно, например в анимационных фильмах или на телевидении. NURBS-модели отличаются плавными и искривленными формами, поэтому моделирование на основе неоднородных рациональных сплайнов Безье чаще всего используется для создания объектов органического происхождения, например персонажей, животных, растений, фруктов, которые можно строить путем стыковки друг с другом гладких фрагментов поверхности. Также очень удобно использовать NURBS-кривые для построения серийно выпускаемых промышленных изделий, которые одновременно характеризуются точностью исполнения и обтекаемыми формами. К ним относятся транспортные средства, прессованные детали, различные приборы и прочие объекты с искривленными поверхностями, созданные руками человека.

Управляющие вершины задают форму кривой, и именно их чаще всего создают при формировании кривой — эти вершины обычно немного отстоят от поверхности и их можно перемещать, вращать и т. д.

Точки редактирования, называемые иначе узлами, это маленькие значки «Х», расположенные на кривой (или поверхности). Вы можете двигать эти точки, чтобы изменить форму кривой. Вы не можете двигать точки редактирования поверхности.

Точка кривой — это произвольно выбранная точка на кривой. Она может иметь то же положение, что и контрольная вершина или точка редактирования, но это другой тип компонентов кривой. Вы можете выбрать точку кривой, чтобы, например, разрезать кривую на две части.



Рис. 5.1. Кривая Безье и ее компоненты

Начало кривой — это первая точка кривой, с которой вы начали рисовать кривую. Оно отображается маленьким кубиком-пустышкой, расположенным на месте первой управляющей вершины. Конец кривой — это последняя точка, которой вы завершаете создание кривой. Она не имеет какой-то особой маркировки в рабочей области. Вам необходимо знать, какая точка является начальной, а какая конечной, чтобы правильно выполнять операции моделирования, например Extend Curve.

Направление кривой отображается как маленькая буква «u». Направление кривой важно для многих усовершенствованных видов моделирования. Например, если вы построите поверхность между двумя параллельными кривыми, то она будет перекручена, если вы не проследите за тем, чтобы обе кривые имели одинаковое направление.

Направление кривой также важно потому, что поддерживает определение положения на кривой. Например, вы можете точно определить позицию на кривой относительно начала кривой. Определение позиции в этом случае называется параметризацией, потому что пара параметров — направление и дистанция — могут быть использованы, чтобы идентифицировать каждую точку на кривой.

Каркас — это сеть прямых линий, объединенных между собой контрольными точками. Каркас — один из главных методов отображения, позволяющий видеть существующие объединения управляющих вершин. Каркас полезен, когда объект имеет слишком плотную сетку, что мешает точно определить, какая смежная управляющая вершина была задействована, когда вы щелкнули на какой-либо части модели. Каркас также полезен для выделения линии связанных управляющих вершин, влияющих на определенный регион поверхности.

Интервал — это часть кривой между двумя точками редактирования. Если вы добавите дополнительную точку редактирования на кривую, чтобы иметь лучший контроль за фигурой кривой, то увеличите количество интервалов. Вы не сможете непосредственно выделить интервал кривой и манипулировать им. Однако вы должны четко знать определение интервала, чтобы уверенно выполнять моделирование.

Для создания кривой Безье требуются минимум четыре управляющие вершины. Установка каждой следующей такой вершины приводит к появлению очередного участка кривой, или сплайна, изогнутого наиболее удобным способом. Кривой принадлежат только первая и последняя управляющие вершины, которые определяют ее начало и конец.

В то время как управляющие точки контролируют кривизну сплайна Безье, сами сплайны, называемые изопараметрическими кривыми (isoparams – изопармы), определяют кривизну NURBS-поверхности (рис. 5.2). Расстояние между двумя изопараметрическими кривыми называется интервалом (span). Чем больше количество интервалов, тем более детализированной является поверхность. Однако наличие в сцене поверхностей с высокой детализацией замедляет процесс визуализации.

Поверхность создается между изопараметрическими кривыми; отредактировать ее форму можно перемещением управляющих вершин.



Рис. 5.2. NURBS-сфера

Изменение формы NURBS-поверхности основано на интерполяции кривых, в то время как деформация полигональных моделей связана с изменением ориентации наборов граней. Именно по этой причине намного проще получить гладкую деформацию NURBS-поверхности с небольшим набором управляющих вершин. Чтобы достичь аналогичного результата для сетки полигонов, потребуется увеличить детализацию поверхности.

NURBS-поверхность позволяет получить более гладкую деформацию, в то время как полигональная сетка разбивается на набор граней в местах расположения ребер. Для достижения такого же результата для сеток полигонов требуется дополнительная детализация. Например, при деформировании цилиндра (рис. 5.3) NURBS-цилиндр остался гладким, в то время как полигональная модель приобрела фасеточный вид.

Таким образом, если объект имеет плавные очертания, для его моделирования лучше использовать NURBS-поверхность. Если вы сомневаетесь в правильности выбора формата, все равно лучше начать моделирование на основе неоднородных рациональных В-сплайнов. Ведь потом готовую модель можно легко преобразовать в сетку полигонов, в то время как обратное преобразование зачастую довольно сложно реализуемо.



Рис. 5.3. Результат сгиба NURBS-цилиндра (слева) и полигонального цилиндра (справа)

Модели, созданные на основе неоднородных рациональных сплайнов Безье, могут состоять как из единой поверхности, так и из набора кусков (patches), соединяющихся друг с другом подобно лоскутному одеялу. Но в любом случае вы получаете гарантированно гладкую поверхность.

Поверхности в NURBS-моделировании создаются на основе кривых. В то время как соединение друг с другом управляющих вершин приводит к формированию кривых, соединение друг с другом кривых приводит к формированию поверхности. Соответственно, типичный процесс NURBS-моделирования начинается с создания кривой, определяющей ребра, контуры и границы поверхности.

Форма созданной поверхности определяется и контролируется изопараметрическими кривыми, форму которых, в свою очередь, определяют управляющие вершины. Таким образом, форма поверхности редактируется посредством манипуляции управляющими вершинами.

Для работы с NURBS-кривыми и NURBS-поверхностями предназначены командные меню *Edit Curves, Edit Nurbs* и *Surfaces*: первая позволяет редактировать кривые, вторая – создавать из кривых NURBSповерхности, а третья – редактировать и преобразовывать их.

5.2. Использование NURBS-примитивов

Самый простой вид NURBS-поверхностей — это *NURBS-примитивы*, представленные объектами Sphere (сфера), Cube (куб), Cylinder (цилиндр), Cone (конус), Plane (плоскость) и Torus (торус). Как и другие типы примитивов, NURBS-примитивы обычно используются в качестве основы для формирования более сложных моделей и создаются командой *Create / NURBS Primitives* либо выбором нужного примитива на вкладке *Surfaces* (Поверхности) панели *Shelf*. Выполнение многих операций редактирования NURBS-примитивов на уровне объектов очень напоминает соответствующие действия в отношении других типов примитивов, хотя списки параметров для NURBS-примитивов более общирны и часть параметров различаются.

Для примера сравним списки параметров для полигональной и NURBS-сфер (рис. 5.4): для последней дополнительно можно установить значения параметров *Start Sweep* и *End Sweep* (определяют, все ли возможные фрагменты примитива будут созданы), параметра *Degree* (позволяет выбрать между линейным и криволинейным отображением фрагментов поверхности) и т. д.



Рис. 5.4. Сравнение параметров сфер: полигональная (слева) и NURBS-сфера (справа)

Более существенные отличия наблюдаются при редактировании примитивов на уровне подобъектов, т. к. деформация полигональных моделей в первую очередь связана с изменением ориентации граней, а изменение формы NURBS-поверхностей основано на интерполяции кривых. Для примера создадим яйцо, взяв за основу NURBS-сферу. Перейдем в режим редактирования вершин, нажав клавишу F9, выделим в проекции Side все вершины сечений, расположенных в верхней половине объекта, и инструментом *Move Tool* переместим их вверх, а затем инструментом *Scale Tool* уменьшим радиус соответствующих сечений (рис. 5.5).



Рис. 5.5. Первоначальная NURBS-сфера и ее трансформация инструментом Move Tool

Сократим число выделенных сечений на одно снизу и вновь проведем те же самые операции перемещения и масштабирования. Результатом станет объект, по форме напоминающий яйцо (рис. 5.6).



Рис. 5.6. Масштабирование вершин NURBS-объекта и итоговый вид яйца

5.3. Создание NURBS-кривых

NURBS-кривые формируются путем последовательного определения вершин или точек редактирования. Данный способ предполагает использование одного из следующих инструментов, вызываемых из меню Create (Создать):

- CV Curve Tool (Кривая по управляющим вершинам) устанавливает управляющие вершины кривой точно в тех точках, где был сделан щелчок мышью, точки редактирования создаются автоматически на основании управляющих вершин;
- ЕР Сигvе Tool (Кривая по точкам редактирования) формирует точки редактирования кривой точно там, где были сделаны щелчки мышью; управляющие вершины создаются автоматически на базе точек редактирования;
- Pencil Curve Tool (Карандашная кривая) позволяет рисовать кривую, перетаскивая мышь, данный тип кривой отличается созданием очень большого количества точек редактирования и управляющих вершин, что может приводить к сложностям при редактировании.

Построение кривых с помощью первых двух из названных инструментов осуществляется практически одинаково: нужно последовательно указать точки (управляющие вершины или точки редактирования), при этом установка каждой следующей вершины будет приводить к появлению очередного участка кривой. Завершается создание кривых нажатием клавиши Enter. Карандашные кривые создаются путем перемещения мыши при нажатой левой кнопке (форма кривой будет полностью повторять траекторию движения мыши); отпускание кнопки автоматически означает окончание текущей кривой, и при следующем нажатии будет формироваться уже новая кривая.

Особенности создаваемых при помощи названных инструментов кривых определяются параметрами Curve Degree и Knot Spacing. Первый параметр задает степень кривизны кривой, второй указывает интервал между узлами и может быть определен только для кривых типов CV Curve Tool или EP Curve Tool. По умолчанию для данных параметров установлены значения, оптимальные для построения большинства кривых, однако при необходимости они могут быть изменены, для чего, выбирая инструмент построения кривой, нужно щелкать на квадратике, находящемся справа от имени инструмента.

5.3.1. Создание NURBS-кривой по управляющим вершинам

Рассмотрим процесс создания NURBS-кривой *по управляющим вершинам*. Перейдем в режим работы с одной из ортогональных проекций и выберем команду *CV Curve Tool* / Create (Построение CV-кривой / Создать), обратите внимание на то, как при этом изменится форма указателя мыши. Щелкните в определенной точке для создания первой управляющей вершины, которая отобразится маленьким кубиком, обозначающим начало кривой, укажите местоположение второй управляющей вершины и т. д. – обратите внимание, что сегменты кривой появятся только после указания четвертой вершины (рис. 5.7). Это определяется в параметрах кривой до ее построения – квадратик команды Create / CV Curve Tool (рис. 5.12). Нажмем клавишу Enter, чтобы закончить кривую.



Рис. 5.7. Отображение сегментов кривой и вид оконченной кривой

Если в процессе создания кривой очередная вершина поставлена неудачно, то ее можно удалить нажатием клавиши Backspace и продолжить создание кривой. Кроме того, в любой момент можно прервать процесс добавления новых вершин и, нажав клавишу Insert, переключиться в режим редактирования (о смене режима работы будет сигнализировать изменение вида манипулятора), в котором любая из вершин может быть перемещена (рис. 5.8).



Рис. 5.8. Перемещение вершин в процессе создания NURBS-кривой

Переместим вершины, а затем вернемся к процессу создания вершин, вновь нажав Insert, и дополним кривую еще несколькими вершинами (рис. 5.9). Завершите процесс нажатием клавиши Enter.



Рис. 5.9. Созданная NURBS-кривая

Форму кривой можно изменить и после ее создания, для этого выделяем её, переключаемся в режим редактирования вершин, нажав клавишу F9, и инструментом Move Tool меняем положение желаемых вершин (рис. 5.10).



Рис. 5.10. Редактирование NURBS-кривой перемещением вершины

Так же можно удалить любой из сегментов кривой, выбрав отвечающую за него управляющую вершину или точку редактирования и нажав клавишу Backspace или Del (рис. 5.11).

Как и в случае со всеми инструментами в Мауа, можно изменить опции после создания объекта. Выберите кривую и откройте Channel Вох или Attribute Editor.



Рис. 5.11. Редактирование NURBS-кривой удалением сегмента

Вернемся к параметрам CV Curve (рис. 5.12), о которых упомянули выше.

CV Curve Settings	
Curve Degree 🔿 1 Linear	C 2
G 3 Cubic	C 5
C 7	
Knot Spacing 🕥 Uniform	Chord Length
Multiple End Knots	

Рис. 5.12. Окно CV Curve Settings

Параметр *Curve Degree* отражает максимальную степень качества сглаживания кривой. Значение по умолчанию =3 подходит для большинства кривых. Вы должны создать хотя бы на одну управляющую вершину больше, чем значение Curve Degree. Например, вам необходимы хотя бы шесть управляющих вершин, чтобы завершить кривую со значением Curve Degree =5 (рис. 5.13)



Рис. 5.13. Построение CV Curve с параметром Curve Degree =5

Knot Spacing — интервал между узлами указывает, как Мауа представляет значения по U для точек редактирования (узлов). Длина хорды между узлами определяет качество кривой. Если вы используете кривую для построения поверхности, качество отображения текстуры поверхности будет зависеть от этого значения. Равномерное расстояние между узлами делает поведение кривой более предсказуемым.

Multiple End Knots – если включено, конечные точки редактирования (узлы) накладываются на конечные управляющие вершины. Это делает конечные регионы более легко редактируемыми (рис. 5.14). Если данный параметр выключен, то вершины результирующей кривой не совпадают с конечными управляющими вершинами.



Рис. 5.14. Построение кривой при Multiple End Knots включено (слева) и выключено (справа)

5.3.2. Создание NURBS-кривой по точкам редактирования

Рассмотрим процесс создания NURBS-кривой *по точкам редактирования*. Если вы хотите создать кривую, проходящую точно через определенные точки, *EP Curve Tool* – лучший выбор. Перейдем в режим работы с одной из ортогональных проекций и выберем команду EV Curve Tool / Create (Построение EV-кривой / Создать). EP Curve Tool создает точки редактирования кривой точно там, где щелкнете мышью.

Используйте EP Curve Tool, чтобы создать кривую по точкам редактирования, расставляя их в окне редактирования. Вы должны создать минимум две точки редактирования, чтобы получить кривую. При этом точки редактирования будут обозначаться значками «х» (рис. 5.15). На основе точек редактирования создаются управляющие вершины. Нажмите Enter, чтобы завершить создание кривой.



Рис. 5.15. Кривая EP Curve Tool

Настройку опций ЕР Curve Tool осуществим стандартным способом — выбрав квадратик около команды (рис. 5.16).

▼ EP Curve Settings	
Curve Degree 💿 1 Linear	0 2
O 3 Cubic	C 5
C 7	
Knot Spacing 💿 Uniform	C Chord Length

Рис. 5.16. Настройки кривой ЕР Curve Tool

Параметр *Curve Degree* — большее значение Curve Degree делает кривую более сглаженной. Значение по умолчанию (3) оптимально для большинства кривых.

Knot Spacing — интервал между узлами указывает, как Maya определяет значения U для узла. Длина хорды определяет качество отображения интервала. Если вы используете построенные кривые для создания поверхности, то с увеличением этого значения качество отображения текстуры должно улучшиться.

5.3.3. Создание карандашной кривой

Pencil Curve Tool позволяет вам рисовать кривую, перетаскивая мышь, или используя цифровое перо либо планшет. Мауа создает след из точек редактирования, а иногда новую кривую, когда вы перемещаете мышь или перо. Выберите команду Create / Pencil Curve Tool, рисуйте в окне редактирования, чтобы получить эскиз кривой, отпустите кнопку мыши, чтобы закончить рисование (рис. 5.17).



Рис. 5.17. Кривая Pencil Curve Tool

Из-за большого количества точек редактирования и управляющих вершин, созданных инструментом, могут возникнуть неудобства при редактировании. Вы можете сгладить и упростить кривую, используя Edit Curves / Rebuild Curve и Edit Curves / Smooth Curve.

Когда создаем кривую с использованием Pencil Curve Tool, не можем удалить сегмент кривой, нажав Backspace. Необходимо выделить и удалить управляющую вершину или точку редактирования после того, как создадим кривую.

 Pencil Curve Settings 	
Curve Degree 🔿 1 Linear	• 3

Рис. 5.18. Настройки кривой Pencil Curve Tool

В установках опций Pencil Curve Tool (рис. 5.18) только один параметр — Curve Degree, который может принимать два значения: при значении 1 создается неровная кривая, состоящая из нескольких отрезков; значение по умолчанию (3) создает сглаженную кривую.

Созданные NURBS-поверхности могут отображаться с разным уровнем сглаживания, определяемым в меню Display / NURBS Smoothness (Отображение / NURBS-сглаживание) для выделенных объектов. Существуют четыре типа сглаживания:

- 1) Hull отображается только каркас;
- 2) Rough обеспечивается грубый набросок модели (клавиша 1);
- 3) Medium отображает объекты со средним уровнем детализации (клавиша 2);
- Fine отображает объекты с высоким уровнем детализации (клавиша 3).

Возможно настроить параметры уровня сглаживания (рис. 5.19) при помощи команды Display / NURBS Smoothness / Custom (Отображение / NURBS-сглаживание / Пользовательское).

NURBS Smoothness (Custor	m) Options		
Edit Help			
Objects Affected	 Active 	C All	
Geometry	Full	C Hull	
▼ Wireframe			
Surface Div per Span U	0	1	_
Surface Div per Span V	0	j	_
Curve Div per Span	4	r	_
▼ Shaded			E
	Display Ren	der Tessellation Geometry	
Surface Div per Span	1	1	_
▼ Hull			
Hull Simplification U	1	1	_
Hull Simplification V	1	J	_
			-
Apply and Close	A	pply	Close

Рис. 5.19. Настройка параметров сглаживания

Можно получить кривые из дуг, созданных на основе двух или трех указанных вершин (команда Create / Arc Tools), или применить команду Create / Text, так как текст может создаваться как NURBS-кривая.

5.3.4. Использование Arc Tool

Инструменты *Three Point Arc Tool* и *Two Point Arc Tool* пункта меню Create / Arc Tool создают полукруглые NURBS-кривые на основе указанных точек. Оба инструмента создают дугу перпендикулярно ортографическому виду. Дуга строится на вспомогательной поверхности, если построение выполняется в окне перспективного вида. Во время создания дуги ее радиус отображается в окне редактирования. С помощью данных инструментов можно создать полный круг, при этом точки дуги не могут совпадать друг с другом. После выделения точек появляется манипулятор. Вы можете редактировать точку, перетаскивая с нажатой средней кнопкой мыши.

Используйте Create / Arc Tool / *Three Point Arc Tool*, чтобы создать дугу на основе последовательности точек, которые определяют начало, радиус и конец дуги, т. е. построение кривой осуществляется минимум по трем точкам (рис. 5.20).



Рис. 5.20. Вид и параметры кривой, созданной инструментом Three Point Arc Tool

Используйте Create / Arc Tool / *Two Point Arc Tool*, чтобы создать дугу на основе начальной и конечной точек. Радиус вычисляется как половина расстояния между этими точками, т. е. построение кривой осуществляется минимум по двум точкам (рис. 5.21).



Рис. 5.21. Вид и параметры кривой, созданной инструментом Two Point Arc Tool

Для обоих инструментов характерны те же действия для редактирования, что и для прочих NURBS-кривых.

Инструменты Two и Three Point Arc Tool имеют одинаковые опции:

Circular Arc Degree=1 приводит к созданию неровной кривой (рис. 5.22). Значение по умолчанию (3) создает сглаженную кривую (рис. 5.21);

Sections – задает количество сегментов кривой дуги.



Рис. 5.22. Вид и параметры кривой при Circular Arc Degree=1: сверху – Three Point Arc Tool, снизу – Two Point Arc Tool

5.3.5. Создание текстового объекта

Используйте Create / Техt для создания текстового объекта (рис. 5.23). При этом будут доступны все шрифты, установленные на ваш компьютер.



Рис. 5.23. Создание кривой на основе инструмента Text

Возможно установить следующие опции в окне Text, выбрав квадратик возле команды Create / Text (рис. 5.24):

Text Curves Options	-	IEE	SE inter	
Edit Help				
Text	Text			
Font	Times New F	Roman		-
Туре	Curves	C Trim	O Poly	C Bevel
Create		Apply		Close

Рис. 5.24. Параметры Text Curves

Text – определяет текст, который будет создан;

Font – типографический стиль для текста;

Type / Curves — текст создается как NURBS-кривые, которые можно трансформировать и манипулировать ими;

Туре / Trim — текст создается из разомкнутых поверхностей, которые можно визуализировать;

Type / Poly — текст создается из полигонов, которые можно трансформировать и манипулировать ими; кривая создается из сегментов между точками разбиения, и можно увидеть только полигональную поверхность;

Type / Bevel – создание объемного текста со скосом.



Рис. 5.25. Вид Text Curves при различных параметрах Type: Curves, Trim



Рис. 5.26. Вид Text Curves при различных параметрах Type: Poly, Bevel

Результатом использования инструмента Text являются несколько объектов, сгруппированных в один в окне Outliner. Их можно трансформировать – как всю группу, так и каждый символ в отдельности (рис. 5.27).



Рис. 5.27. Результат трансформации (масштабирование и перемещение) каждого из символов слова

При создании NURBS-кривой следует ограничиваться необходимым минимумом точек, в противном случае редактирование моделей может стать затруднительным, а то и невозможным. Для упрощения (то есть сокращения количества управляющих вершин) NURBS-кривых применяют команду Edit Curves / Rebuild Curve (Редактировать кривые / Перестроить кривую).

Кроме того, в меню Edit Curves находятся команды для редактирования NURBS-кривых, основными из которых являются:

- Add Points Tool добавление вершин в конец кривой;
- *Reverse Curve Direction* смена направления кривой на противоположное, необходима для добавления новой управляющей точки не в конец, а в начало кривой;

- Insert Knot добавление указанного числа вершин в середине кривой; количество вставляемых вершин и принцип их добавления регулируются параметрами команды;
- *Curve Editing Tool* включение режима редактирования, управляющего степенью кривизны сегментов кривой;
- *CV Hardness* заострение сегментов, соответствующих выделенным точкам кривой;
- Attach Curves объединение выделенных кривых в одну кривую с формированием связующего их отрезка;
- Detach Curves разделение кривой на части в выделенной точке;
- Open/Close Curves открытие/закрытие кривой.

5.4. Методы NURBS-моделирования

Основной способ создания NURBS-поверхностей — это моделирование поверхностей на основе кривых. В настоящее время NURBSмоделирование получило широкое распространение в индустрии анимации и дизайна. Это виртуальный и индустриальный стандарт. К достоинствам работы с NURBS относится то, что вы всегда можете быть уверены в достаточной точности построения различных дизайнпроектов. В отличие от полигонов, имеющих фиксированную форму, в NURBS-моделировании трехмерные объекты создаются из кривых и поверхностей, что предоставляет неограниченные возможности их использования.

Основной способ создания NURBS-поверхностей — это моделирование поверхностей на основе кривых. В Мауа существуют несколько методов получения поверхностей из кривых. Эти методы перечислены ниже.

5.4.1. Метод получения плоских поверхностей

Формирование *плоских поверхностей* заключается в вырезании области плоскости, заданной некоторой NURBS-кривой. Такие поверхности незаменимы для закрытия торцов моделируемых объектов. Получение плоских поверхностей не составляет ни малейшего труда, нужно только соблюдать два правила: NURBS-кривые должны лежать на плоскости (поэтому создавать их лучше в проекциях Тор или Perspective) и быть замкнутыми.

Например, создадим поверхность цветка. Перейдем в проекцию Тор и, используя инструмент построения NURBS-кривых Pencil Curve Tool, сформируем кривую в виде цветка (рис. 5.28).



Рис. 5.28. Кривая в виде цветка и ее выделение в окне Outliner

Выделим кривую и применим команду Surfaces / Planar (Поверхности / Планарный) – появится двумерная поверхность, соответствующая форме цветка. Проверить ее наличие можно, открыв окно Outliner (Структура) – по умолчанию ей будет присвоено имя planarTrimmedSurface1 (рис. 5.29).



Рис. 5.29. Полученная плоскость в виде цветка и ее выделение в окне Outliner

Необязательно иметь одну замкнутую кривую для создания плоской поверхности, можно использовать несколько пересекающихся кривых, образующих замкнутую область.

Например, выделим все кривые (две окружности) и выберем пункт Planar в меню Surfaces для создания плоской поверхности (рис. 5.30).



Рис. 5.30. Получение плоской поверхности на основе двух окружностей

После создания плоской поверхности ее можно редактировать в списке каналов Channel Box, щелкнув левой кнопкой мыши на заголовке выделенной плоской поверхности в секции INPUTS.

Для опции *Degree* можно выбрать значения Cubic или Linear, при этом плоскость будет обладать гладкими или гранеными краями соответственно.

Опция Keep Outside необходима, чтобы определить, будет ли находиться результат внутри (on) или вне (off) поверхности.

На рис. 5.30 изображен результат при значении off. Если выбрано значение on, плоская поверхность образуется вне поверхности (рис. 5.31).



Рис. 5.31. Результат построения плоской поверхности при опции KeepOutside=on

Все остальные настройки плоской поверхности можно исправить, выделив плоскую поверхность, открыв окно редактора атрибутов Attribute Editor и выбрав закладку planarTrimSurface.

5.4.2. Метод вращения

Одним из самых простых является *метод вращения* кривой вокруг опорной точки. В трехмерном моделировании благодаря этой операции двухмерная форма вращается вокруг оси и постепенно вдавливается вовнутрь. Этот метод применяется при создании симметричных относительно одной из осей объектов, таких как вазы, рюмки, дверные ручки, яблоки (идеальной формы), бутылки, ножки мебели, бейсбольные биты, шкивы, катушки, фланцы труб и т. п. Вместе с выдавливанием вращение является одной из основных операций трехмерной графики.

В качестве профиля может быть выбрана любая кривая: свободная, лежащая на поверхности, изопарма, граница среза. При создании поверхности вращения можно выбрать, вращать кривую на полную окружность или нет. Величину дуги вращения можно выбрать любой. Это может быть 90°, 200°, результатом чего будет частичное вращение. Подобное вращение облегчает возможность создания разрезов объектов. Например, при создании полуокружности надо задать 180°. Кривая может вращаться как в положительном, так и в отрицательном направлении, но максимально на 360°.

Рассмотрим моделирование поверхности методом вращения на примере создания вазы. Для начала необходимо создать NURBS-кривую, определяющую форму вазы (рис. 5.32). Для примера создадим CV Curve Tool на виде Front.



Рис. 5.32. Процесс создания и редактирования кривой CV Curve Tool

Полученную кривую будем поворачивать вокруг оси Y, следовательно, для того чтобы в поверхности не появилось лишних отверстий, первая точка кривой должна лежать строго на оси Y. Значит, первую точку кривой (так же как и последнюю) нужно ставить с привязкой к сетке, нажав на пиктограмму I в строке состояния или удерживая клавишу х.

Если кривая получилась не совсем такой, какой была задумана, то отредактировать ее вершины можно либо в процессе создания кривой (клавиша Insert), либо после ее создания (клавиша F9).



Рис. 5.33. Вид вазы в окне Перспектива

Выделите кривую и примените к ней операцию Surfaces / Revolve (Вращение). В данном случае команда применяется с настройками по умолчанию. Рассматривать получившуюся поверхность удобнее в виде Perspective (рис. 5.33).

Любая модель вращения может быть отредактирована после своего создания, для чего достаточно изменить вид соответствующей кривой. Это можно сделать в режиме работы с подобъектами, например перетащив отдельные точки кривой (управляющие вершины или точки редактирования), удалив некоторые из них или создав новые.

Выделив кривую (удобнее это сделать в окне Outliner) и отредактировав положение ее вершин, можно легко изменить вазу или преобразовать ее, например, в бокал или вазу для фруктов (рис. 5.34).

Рассмотрим предварительные настройки метода вращения. Для этого создадим кривую в плоскости front инструментом CV Curve Tool (рис. 5.35).



Рис. 5.34. Вид объектов вращения, смоделированных перемещением вершин вазы



Рис. 5.35. Вид кривой CV Curve Tool

До создания поверхности методом вращения можно настроить некоторые опции (рис. 5.36), выбрав в меню Surfaces квадратик пункта Revolve и открыв окно настроек вращения (*Revolve Options*).

Axis Preset (Установка оси) задает ось вращения — по умолчанию Ү. На приведенных рис. 5.37 кривая-профиль (нарисована в видовом окне front) образует поверхность вращения, используя каждую из осей мировой системы координат.

Edit Help				
Axis Preset	O X	• 🕅	ΟZ	C Free
Axis	0.0000	1.0000	0.0000	
Pivot	 Object 		O Preset	
Pivot Point	0.0000	0.0000	0.0000	
Surface Degree	C Linear		Cubic	
Start Sweep Angle	0.0000			-
End Sweep Angle	360.0000	-		L
Use Tolerance	None	C Local	C Global	
Segments	8			-
Curve Range	 Complete 		C Partial	
Output Geometry	Nurbs	O Polygons	Subdiv	C Bezier
Paualua		Applu	1	Close

Рис. 5.36. Окно Revolve Options



Рис. 5.37. Вид поверхностей, образованных методом вращения со значениями Axis Preset= X, Y, Z, соответственно

Если установлено значение Axis Preset в *Free*, можно ввести нужные значения в строках редактирования Axis X, Y и Z, задавая координаты оси вращения. На рис. 5.38 показана поверхность, образованная вращением той же самой кривой при значениях X, Y и Z, равных единице.



Рис. 5.38. Поверхность, образованная вращением при X, Y и Z = 1

Если установлено значение *Pivot* в *Object*, вращение будет осуществляться относительно оси, проходящей через опорную точку по умолчанию (0, 0, 0). При выборе значения *Preset* можно задать начальную точку оси, введя соответствующие значения в строки редактирования *Pivot Point X, Y* и *Z*.

Опция Surface Degree (Порядок поверхности) определяет, какие кривые образуют поверхность в направлении V, Linear — линейные (порядок 1) или Cubic — кубические (порядок 3). Если выберете значения Linear, поверхность будет составлена из плоских участков (будет «граненой»). Если выбрали Cubic, сглаживание поверхности будет определяться порядком кривой профиля. Это — значение по умолчанию.

Start и End Sweep Angle (Начало и конец угла вращения). Используйте это значение для определения дуги вращения. Значение по умолчанию 360°, область действительных значений от 0° до 360°.

Use Tolerance (Использование допуска) — управляет точностью полученной поверхности вращения. Вы можете использовать точность, заданную для всех операций, или задать конкретную для этой. Если выберете None, можно задать число сегментов. При выборе Global Maya использует значения Positional и Tangential, определенные в разделе Settings окна Preferences. При выборе Local можно ввести значение, которое будет использоваться в данной операции вместо значения Positional из окна Preferences. Это позволит создавать поверхности вращения, отличающиеся от идеальных не более чем на заданное число.

Значение Segments (Сегменты) определяет, сколько секций будет использовано при создании фигуры вращения. При значении угла вращения 360° шести или восьми секций обычно достаточно.

Если опция *Use Tolerance* не установлена в *None*, значение *Segments* рассчитывается автоматически, с тем чтобы созданная поверхность не отличалась от идеальной больше, чем на заданное значение.

Curve Range (Диапазон кривой). Если выбрали *Complete*, поверхность вращения будет создана всей кривой — значение по умолчанию. Выбор *Partial* позволяет определить участок кривой, образующий поверхность вращения. В данном случае перед созданием поверхности вращения будет создан объект subCurve (подчиненная кривая). Уменьшая длину этой кривой, можно уменьшить длину поверхности.

Output Geometry (Геометрия результата) задает тип создаваемой поверхности: NURBS, Polygons, Subdiv и Bezier.

5.4.3. Метод лофтинга

Метод лофтинга используется для создания поверхности между любыми двумя кривыми. Создание объекта развертки начинается с задания двухмерного поперечного сечения с помощью ломаных линий, или сплайнов. Затем ломаными линиями, или сплайнами, задается путь, по которому будет вытягиваться поперечное сечение. Он используется для создания самых разных поверхностей — от самых простых, например поверхности стола, до сложных, таких как человеческое лицо.

Для построения поверхности методом лофтинга необходимы по меньшей мере две кривые. Поверхность формируется между этими кривыми (рис. 5.39).



Рис. 5.39. Построение поверхности методом лофтинга по двум кривым



Рис. 5.40. Построение поверхности методом лофтинга по трем кривым

Задействовав в процессе несколько кривых, можно получить более сложную поверхность (рис. 5.40). Чем больше управляющих вершин содержит каждая кривая, тем больше изопараметрических кривых будет на поверхности и, соответственно, более детальной она станет.

Метод лофтинга работает лучше всего, когда кривые представляют собой сечения моделируемого объекта.



Рис. 5.41. Построение вазы методом лофтинга по четырем кривым в виде NURBS-окружностей

Например, создадим с помощью метода лофтинга вазу. Построим четыре NURBS-окружности разного диаметра, которые в дальнейшем станут сечениями вазы. Переместим их друг от друга на некоторое расстояние по оси Y (рис. 5.41).

При нажатой клавише Shift последовательно выделим все сечения. Примените команду Create / Loft (рис. 5.41).

Кроме того, лофтинг удобен для закрытия некоторых фрагментов модели между двумя кривыми, а также для связывания отдельных поверхностей в единое целое.

Если базовые кривые имеют одинаковое число интервалов (параметр *Number of Spans*), то итоговый лофт-объект будет иметь то же самое число интервалов, в противном случае — только четыре. Число интервалов совпадает с числом вертикальных изопарм и не регулируется через параметры. Количество горизонтальных изопарм задается параметром *Sections Spans* и может изменяться в окне каналов *Channel Box* уже после проведения лофтинга.

В меню Surfaces выберите значок настройки пункта Loft, чтобы открыть окно настроек (рис. 5.42).

Loft Options		
Edit Help		
Parameterization	C Uniform (Chord Length
	Auto Reverse	Close
Surface Degree	C Linear 🤅	Cubic
Section Spans	16	1
Curve Range	Complete Complete	Partial
Output Geometry	Nurbs C Polygons C	Subdiv C Bezier
Loft	Apply	Close

Рис. 5.42. Окно настроек лофтинга

Parameterization (Параметризация) — меняется параметризация поверхности лофтинга: *Uniform* (Однородное) заставляет профильные кривые проходить параллельно направлению V; *Chord Length* (Размещение по длине) приводит к тому, что параметр результирующей кривой в направлении U распределяется, базируясь на расстоянии между профильными кривыми.

Auto Reverse (Автореверс). Если Auto Reverse отключен, кривые используются для построения поверхности «как есть», что может привести к перекручиванию поверхности, если кривые имеют разное направление. Если флажок включен, кривые автоматически меняют направление.

Close (Закрыть) — устанавливает, будет ли создаваемая кривая периодической по одному из направлений (U или V). По умолчанию отключена.

Surface Degree (Порядок поверхности) может быть в *Linear* или *Cubic*. Это приводит к тому, что созданная поверхность будет линейной или кубической по направлению U. Выбор Linear приводит к созданию «граненых» поверхностей, Cubic создает сглаженные поверхности.

Section Spans (Разделение звеньев) — устанавливает число звеньев поверхности между профилями. Большее число позволяет более точно настраивать формы поверхности, но увеличивает время, необходимое для расчета поверхности.

Curve Range (Диапазон кривой) – аналогичен параметру метода вращения.

Output Geometry (Результирующая геометрия) — определяет тип созданной поверхности.

5.4.4. Метод выдавливания

Метод выдавливания также называют *разверткой* — это одинарное двухмерное поперечное сечение, протягиваемое вдоль определенного пути.

Следует отметить, что кривые, используемые в развертке, могут быть открытыми или замкнутыми. Определяется поперечное сечение для пути или наоборот. Это сечение необязательно должно центрироваться по отношению к пути или быть перпендикулярным ему, хотя его ориентация, безусловно, повлияет на конечный результат. И выполняется операция развертки, создающая трехмерный объект, с помощью выдавливания поперечного сечения вдоль пути.

Развертка в зависимости от пути бывает трех видов: открытая, замкнутая и спиралевидная (рис. 5.43). Спиралевидная развертка может рассматриваться в качестве разновидности незамкнутой, но благодаря частому использованию она заслужила отдельное название.



Рис. 5.43. Виды развертки: открытая, замкнутая и спиралевидная

Незамкнутая развертка создается с помощью пути, имеющего две конечные точки. Такие развертки позволяют выдавливать объекты по криволинейной траектории, что невозможно сделать посредством изначальной операции выдавливания (Extrude). Незамкнутая развертка используется для создания моделей проводов, веревок, труб, стволов растений, змей или любых изогнутых промышленных изделий. Спиралевидная развертка является разновидностью незамкнутой, путь в ней извивается подобно пружине, для создания которой эта развертка в основном и применяется. Кроме того, с ее помощью можно создавать винтовую резьбу.

Замкнутая развертка создается посредством замкнутого пути таким образом, что поперечное сечение по мере продвижения вдоль пути возвращается в исходную точку. С помощью замкнутых разверток удобно создавать повязки футбольных болельщиков, картинные рамки, орнаменты или окантовки объектов. Для замкнутой развертки необходимо поставить параметр Extrude Type = Flat в окне ChannelBox раздела INPUT. Если же данный параметр = Tube, то развертка размыкается (рис. 5.44).

Метод выдавливания позволяет строить поверхности на базе двух кривых: кривой-профиля и кривой-пути. Кривая-профиль представляет собой сечение требуемой поверхности, которое затем выдавливается вдоль кривой-пути. Поэтому данным способом удобно создавать такие объекты, как извилистые туннели, шланги для полива, пружины, строительные профили и т. п.



Рис. 5.44. Результат выдавливания при Extrude Type = Flat (слева) и =Tube (справа)



Рис. 5.45. Построение кривых: пути – дуги и профиля – окружности

Например, создадим элемент трубы, используя в качестве кривойпрофиля NURBS-окружность, а кривой-пути — дугу, созданную инстру-
ментом Three Point Arc Tool (рис. 5.45). Для придания гладкой формы дуге изменим параметр Section=20 в окне ChannelBox раздела INPUT.

Для построения поверхностей данным методом необходимо выделить кривую-профиль, затем при нажатой клавише Shift — кривую-путь, т. е. выделим сначала окружность, затем линию и применим команду Surfaces / Extrude (Поверхности / Выдавить) (рис. 5.46). При обратном выделении кривых результат может быть непредсказуем (рис. 5.46).





Extrude Options	40 DP /42	1 E E	E konte	
Edit Help				
Style	O Distance	C Flat	 Tube 	
Result Position	At Profile		C At Path	
Pivot	Closest End	Point	Component	
Orientation	Path Direction	n	Profile Norm	al
Rotation	0.0000			
Scale	1.0000			
Curve Range	Complete		O Partial	
Output Geometry	Nurbs	O Polygons	Subdiv	C Bezier
Extrude	A	pply		Close

Рис. 5.47. Окно настроек метода выдавливания

В качестве кривой-профиля может выступать как одна кривая, так и несколько объединенных в группу кривых, в качестве кривой-пути —

только единственная кривая. Кривая профиля может быть открытой или закрытой, независимой или изопараметрической. Качество получаемой в итоге поверхности напрямую зависит от количества находящихся на кривых управляющих точек — при их недостатке возможно нежелательное скручивание поверхности.

В меню Surfaces выберите значок настройки пункта Extrude Tool, чтобы открыть окно настроек (рис. 5.47).

Style (Стиль) — *Flat (Плоский)* сохраняет ориентацию сечения при продвижении его вдоль направляющей, *Tube (Труба)* поворачивает сечение в соответствии с вектором направления направляющей кривой, *Distance (Расстояние)* продвигает сечение строго по прямой. В этом случае нет необходимости выбирать направляющую. При выборе этого значения появляются еще три настройки:

- *Extrude Length (Длина экструзии)* указывает, на какое расстояние будет проводиться экструзия;
- Direction (Направление) может принимать значения: 1) Profile Normal (Нормаль профиля) – устанавливает направление экструзии по нормали к профилю. Если профиль не является плоской кривой, берется усредненная нормаль; 2) Specify (Заданный) – позволяет указать вектор направления экструзии: X Axis (Ocь X), Y Axis (Oc Y), Z Axis (Ocь Z) или Free (Свободная). Например, при нажатии кнопки Z Axis экструзия будет проводиться по оси Z. Если выбрано значение Free, можно ввести значения X, Y и Z в соответствующие строки редактирования, чтобы определить нужный вектор направления экструзии;
- Surface Degree (Порядок поверхности) *Linear (Линейная)* создает «граненую» поверхность, *Cubic (Кубическая)* создает сглаженную поверхность.

Result Position (Расположение результата) – доступна, если установили опцию Style в значение Flat или Tube. Возможны значения: *At Profile (По профилю)* – создает итоговую поверхность там, где находится кривая-профиль; *At Path (По направляющей)* – создает итоговую поверхность там, где расположена направляющая.

Pivot (Опорная точка) — доступна, только если установлена опция *Style* в значение *Tube*. Если выбрали значение *Result Position* опции *At Path*, можно выбрать профильную кривую, а затем позиционировать ее по опорной точке направляющей. Если выбрали *Closest End Point (Ближай*-

шая конечная точка), в качестве опорной точки экструзии будет использована концевая точка направляющей, ближайшая к центру габаритного контейнера профиля. Если выбрали *Component (Komnohehm)*, опорная точка каждого профиля будет использоваться для его экструзии.

Orientation (Ориентация) — доступна, только если установили опцию Style в значение Tube. Если выбрано *Path Direction (Направление направляющей)*, направление экструзии будет выбрано по направлению кривой-направляющей. По умолчанию установлено значение *Profile Normal (Нормаль профиля)* — направление нормали профильной кривой.

Rotation (Повором) – поворачивает профильную кривую при экструдировании. Высокое значение может привести к тому, что поверхность сойдет с направляющей, особенно при масштабировании.

Scale (Масштабирование) — масштабирует профильную кривую при экструдировании. Высокое значение может привести к тому, что поверхность сойдет с направляющей, особенно при повороте.

Curve Range (Диапазон кривой) – Complete (Полный) экструдирует весь профиль вдоль всей направляющей, *Partial (Частичный)* экструдирует часть профиля вдоль части направляющей.

Output Geometry (Выходная геометрия) — определяет тип создаваемой поверхности.

5.4.5. Метод выдавливания со скосом

Данная технология позволяет формировать NURBS-поверхности с разнообразными фасками и базируется на применении одного из двух инструментов: *Bevel (Скос)* или *Bevel Plus (Улучшенный скос)*. Первый позволяет создавать поверхности на основе как открытых, так и замкнутых кривых, а второй — только замкнутых (поэтому чаще всего требуется предварительное закрытие контура кривой при помощи команды Open/Close Curves). Размер скоса и глубина выдавливания, а также вид фаски (только при использовании инструмента Bevel Plus) регулируются. Сформированные операцией Bevel поверхности получаются открытыми с торцов, но эти отверстия несложно закрыть специально вырезанными плоскими поверхностями, созданными с помощью инструмента Planar (Планарный). Поверхности, полученные при помощи команды Bevel Plus, с торцов закрыты, поэтому для них подобные преобразования не требуются. Данный метод замечательно подходит для создания трехмерных букв (рис. 5.26) и таких объектов, как бутылочные пробки или пуговицы. Кроме того, он позволяет легко сгладить резкие кромки.

Например, создадим таким образом крышку для бутылки. Построим NURBS-окружность и применим к ней команду Surfaces / Bevel Plus (рис. 5.48).



Рис. 5.48. Создание крышки для бутылки методом Bevel Plus

В меню Surfaces выберите значок настройки пункта Bevel, чтобы открыть окно настроек (рис. 5.49).

Bevel Options	40 IP /4	661	E inter	
Edit Help				
Bevel	 Attach Surfa Top Side Both 	ces	C Bottom Side C Off	
Bevel Width Bevel Depth	0.0000	ป ป		
Extrude Height Bevel Corners Bevel Cap Edge	1.0000 ● Straight ○ Convex	C Concave	C Circular Arcs Straight	
Use Tolerance Tolerance	C Global	r	• Local	
Curve Range Output Geometry	 Complete Nurbs 	C Polygons	⊂ Partial ⊂ Subdiv	C Bezier
Bevel	A	pply		Close

Рис. 5.49. Окно Bevel Options

Attach Surfaces (Присоединение поверхности) — объединяет все части скоса в одну поверхность. Если она выключена, то поверхности не объединяются.

Bevel (Скос) — указывает, будет ли находиться поверхность скоса сверху, снизу или по обеим сторонам от кривой или изопармы.

Установка опции Bevel в значение Off закрывает доступ к другим опциям (*Width, Depth, Corners* и *Cap Edge*). Если вы сделали это, можно использовать Bevel для простой экструзии.

Bevel Width (Ширина скоса) – устанавливает ширину скоса, если смотреть спереди кривой или изопармы.

Bevel Depth (Глубина скоса) — задает начальную глубину скоса. Комбинация Bevel Width и Bevel Depth устанавливает угол скоса.

Extrude Height (Высота экструзии) – задает высоту выдавленной части поверхности, не включая область фаски.

Bevel Corners (Углы скоса) — определяет, как скос будет строиться на углах кривой. Обратите внимание: если кривые имеют первый или второй порядок, поверхность скоса имеет третий порядок.

Bevel Cap Edge (Ребро крышки скоса) – определяет форму скоса. При включенном значении *Convex* скос имеет выпуклое ребро, Concave – вогнутое ребро, Staight – прямое ребро.

Use Tolerance (Использовать допуск) – позволяет задать точность, с которой будет создаваться скос. *Global (Глобальный)* используется значение Positional, определенное в части Settings окна Preferences. *Local (Локальный)* позволяет задать значение точности, которое будет использоваться только для этой операции.

Curve Range (Диапазон кривой) — указывает части кривой, из которой создается скос. *Complete (Полный)* использует всю кривую для создания скоса. *Partial (Частичный)* позволяет использовать часть выбранной кривой для создания скоса.

Output Geometry – указывает тип созданной поверхности.

5.4.6. Создание поверхностей с помощью инструмента Boundary

Операция *Boundary (Граница)* предназначена для построения поверхностей из области пространства, ограниченной тремя или четырьмя пересекающимися кривыми: одной-двумя вертикальными и однойдвумя горизонтальными (рис. 5.50). Вертикальные кривые определяют боковые границы будущей поверхности, а горизонтальные — верхнюю и нижнюю границы. Кривые необязательно должны принадлежать одной плоскости, а потому могут произвольным образом располагаться в пространстве.

Для получения поверхности подобным методом требуется создать три-четыре пересекающиеся кривые, выделить их и выбрать команду *Surfaces / Boundary (Поверхности / Граница)*. Порядок выделения исходных кривых чаще всего значения не имеет, но бывают ситуации, когда при случайном выделении может получиться не та поверхность, что была задумана, да и изопармы могут быть расположены неудачно для дальнейшего редактирования. Поэтому рекомендуется выделять кривые попарно: вначале две вертикальные, потом две горизонтальные.



Рис. 5.50. Кривые в проекции front (слева) и полученная на их основе поверхность методом Boundary в проекции persp (справа)

Ограниченная поверхность имеет четыре ребра и может иметь почти любую кривую, неплоскую форму. Ограничивающие кривые (профили) определяют профиль поверхности. Направляющие кривые определяют сечение. Этим способом часто моделируются объекты, имеющие определенную форму, например складной верх автомобиля.

Можно выделить три кривые, определяющие форму поверхности, а затем использовать инструмент Boundary (рис. 5.51).

Трехсторонняя поверхность на самом деле является четырехсторонней, только длина одной из сторон равна нулю. Если концевые точки двух сторон совпадают не полностью, между ними образуется короткий прямой участок.

В меню Surfaces выберите значок настройки пункта Boundary для установки начальных опций (рис. 5.52).



Рис. 5.51. Построение поверхности методом Boundary по трем кривым

Boundary Options				
Edit Help				
Curve Ordering	 Automatic 	(C As Selected	
Common End Points	 Optional 	(Required	
End Point Tolerance	🖸 Global	(🗘 Local	
Tolerance	0.0100	<u>ו</u> ן		
Curve Range	Complete	(C Partial	
Output Geometry	Nurbs	C Polygons (Subdiv	C Bezier
Boundary		Apply		Close

Рис. 5.52. Окно Boundary Options

Curve Ordering (Порядок кривых). Возможен выбор между опциями: *Automatic (Автоматический)* – программа сама определяет порядок использования кривых; *As Selected (Как выбрано)* – поверхность создается с учетом порядка выбора кривых.

Common End Points (Общие конечные точки) – позволит уточнить, должны ли конечные точки выбранных кривых совпадать или нет. Значение *Optional (Не обязательно)* – поверхность будет создана, даже если концевые точки не совпадают. Это значение установлено по умолчанию. *Required (Обязательно)* – поверхность будет создана, только если концевые точки кривых совпадают.

Чтобы быть уверенным, что концевые точки кривых точно совпадают, при создании кривых используйте режим привязки к точкам.

End Point Tolerance (Допуск концевых точек). Если используется значение *Required,* можно установить, на каком расстоянии должны находиться точки, чтобы считаться совпадающими. *Global (Глобальный)* считает допуск равным установленному значением Positional в разделе Settings окна Preferences. *Local (Локальный)* позволяет ввести значение допуска, использующееся только для этой операции.

Сигче Range (Диапазон кривой). Если выбрали Complete (Полный), поверхность будет создана по всему протяжению кривых. Это значение установлено по умолчанию. (Если опция Common End Points установлена в Required, установите Curve Range в Complete.) Если выбрали Partial (Частичный), поверхность будет создана только частью профильных кривых.

Output Geometry (Выходная геометрия) – определяет тип создаваемой поверхности.

Чтобы изменить характеристики ограниченной поверхности, откройте окно редактора атрибутов Attribute Editor и выберите закладку boundary. Все настройки описаны выше, кроме следующей:

Input Curves (Входные кривые) — представляет собой список кривых, использованных при построении поверхности. Нажмите кнопку со стрелкой, чтобы выбрать кривую, а затем выберите соответствующую закладку, чтобы открыть раздел редактора. Если опция Curve Range установлена в значение Partial в окне настроек, информация для подчиненных кривых (subCurves) тоже доступна.

5.4.7. Использование метода Birail

Метод Birail (Поверхность по двум направляющим) – предназначен для построения поверхностей из области пространства, ограниченной двумя направляющими и одним, двумя или тремя профилями, причем профильные кривые должны обязательно соприкасаться с направляющими. И те и другие могут быть как независимыми кривыми, так и изопараметрическими. В зависимости от количества кривых-профилей технология применения метода немного различается, а потому предусмотрены три варианта выполнения операции: Birail 1, Birail 2 и Birail 3. Число в названии меню указывает на то, сколько профилей будет использоваться. Birail 1 использует один профиль, Birail 2 - два, a Birail 3+Tool - три и более. Вариант Birail 1 очень напоминает методы Extrude и Loft и может использоваться в качестве их альтернативы, вариант Birail 2 похож на метод Boundary, для варианта Birail 3 аналогов нет.

Перед использованием двурельсовых средств осмотрите заготовленные профили со всех сторон, чтобы убедиться, что они пересекаются с направляющими. Этого может быть недостаточно, поэтому рекомендуется при построении кривых-профилей использовать привязку к кривым-направляющим **2 •**.

После построения кривых выберем инструмент Surfaces / Birail / Birail 1. Выберем кривые, которые будем использовать как профили, нажмем Enter, а затем две кривые-направляющие. Результатом будет плоскость, например как на рис. 5.53.



Рис. 5.53. Построение плоской поверхности методом Birail 1

Аналогично можно построить произвольную поверхность методами Birail 2 и Birail 3+, разница будет лишь в количестве кривых-профилей.

Например, построить крышу дома можно с использованием метода Birail 3. Для этого построим на плоскости NURBS-квадрат и кривуюпрофиль, которая будет пересекать NURBS-квадрат на плоскости. Далее, выбрав инструмент Surfaces / Birial / Birail 3+ Tool, последовательно укажите три профильные кривые, нажмите клавишу Enter и выберите две направляющие. Появится плоская поверхность (рис. 5.54).

В меню Surfaces в пункте Birail выберите значок настройки пункта Birail 1, Birail 2 или Birail 3+ Tool, чтобы открыть окно настройки (рис. 5.55). Большинство опций для этих трех пунктов одинаковы.



Рис. 5.54. Построение крыши дома методом Birail 3

Birail 1 Options		
Edit Help		
Transform Control	Non Proportional (Proportional
Continuity 🗖 Bebuild 🗖	Profile Profile	
	First Rail	Second Rail
Output Geometry 📀	Nurbs C Polygons (ି Subdiv ⊂ Bezier
Tool Behavior 🔽	Exit On Completion	✓ Auto Completion
Birail 1 Tool	Apply	Close

Рис. 5.55. Окно Birail 1 Options

Transform Control (Управление преобразованием). Возможны варианты Proportional (Пропорционально) или Non Proportional (Не пропорционально), чтобы определить, как масштабируется кривая-профиль при продвижении по направляющим.

Profile Blend Value (Значение смешивания профилей) — устанавливает влияние кривых профиля на сечения создаваемой кривой. Значение 1.0 предоставляет профилю, выбранному первым, максимальный вес. Значение 0 дает противоположный эффект. По умолчанию оба профиля имеют одинаковый вес, равный 0.5. Эта опция доступна только при использовании Birail 2 Tool.

Continuity (Непрерывность). Результирующая поверхность создается с непрерывностью касательного вектора с поверхностью, лежащей в осно-

ве профильной кривой. Поскольку можно использовать несколько профильных кривых при выборе Birail 2 Tool и Biail 3+ Tool, опция Continuity имеет настройки Profile и Rail для каждой из используемых кривых.

Rebuild (Перестройка). Так как возможно использовать несколько кривых при выборе Birail 2 Tool и Birail 3+ Tool, опция Rebuild имеет настройки *Profile* и *Rail* для каждой из используемых кривых. *Profile (Профиль)* перестраивает профильную кривую. *First Rail (Первый рельс)* перестраивает направляющую кривую, выбранную первой. *Second Rail (Второй рельс)* перестраивает направляющую кривую, выбранную второй.

Output Geometry (Выходная геометрия) – определяет тип созданной поверхности.

Tool Behavior (Поведение средства) — обеспечивает наличие навигационных возможностей. *Exit On Completion (Выход после завершения)* заканчивает использование средства построения поверхности после того, как поверхность построена. Если данная возможность выключена, можно продолжать использование инструмента без его повторного выбора. *Auto Completion (Автоматическое завершение)* показывает приглашение на каждый шаг создания двурельсовой поверхности. Если опция выключена, придется выбрать кривые в нужном порядке, а затем выбрать нужное средство. Сначала выбираются профильные кривые, а затем две направляющие.

Выделив созданную с помощью одного профиля поверхность, ее можно редактировать в окне редактора атрибутов *Attribute Editor*, выбрав закладку *BirailSrf*. К вышеописанным добавляются следующие опции:

Input Profile & Input Rail (Исходный профиль и Исходная направляющая). Информационные окна Input Profile и Input Rail содержат список кривых, используемых при создании поверхности. Нажмите кнопку со стрелкой, расположенную рядом с именем кривой, чтобы редактировать кривые;

Tangent Continuity Profile (Непрерывность касательного вектора профиля) — позволяет включать либо выключать непрерывность касательного вектора профильной кривой. Эта опция имеет смысл, только если профильная кривая принадлежит поверхности (изопарма, кривая, лежащая на поверхности, граница среза).

5.4.8. Скульптурная деформация

Инструмент Sculpt Surfaces Tool аналогичен инструменту для полигональных поверхностей Sculpt Polygon Tool.

Помимо создания NURBS-поверхностей на базе NURBS-кривых их можно генерировать совершенно иным способом — методом скульптурной деформации из NURBS-примитивов или созданных произвольными методами NURBS-поверхностей. Данный метод напоминает обычную скульптурную лепку из глины или из пластилина и заключается в вытягивании или, наоборот, во вдавливании отдельных фрагментов примитива с сохранением гладкости его форм.

Для моделирования посредством скульптурной деформации предназначен инструмент Sculpt Surfaces Tool, окно настроек которого вызывается при щелчке на квадратике справа от команды Edit NURBS / Sculpt Surface Tool (Редактирование NURBS-поверхностей / Создание рельефа). Данное окно и используемые в нем опции также аналогичны инструменту Sculpt Polygon Tool (см. гл. 4).

Для скульптурной деформации объекта достаточно щелкать мышью в точках пересечения изопарм или перетаскивать данные точки в одном из допустимых направлений, уровень деформации при этом зависит не только от параметров инструмента, но и от того, на какое расстояние было выполнено перемещение.

При использовании технологии скульптурной деформации следует обратить внимание на следующие моменты:

- чем больше на исходной поверхности изопараметрических кривых, тем больше деталей может быть смоделировано и тем сложнее (с большим числом холмов и впадин) окажется конечная поверхность;
- увеличение числа изопарм требует большего количества времени на визуализацию, поэтому не стоит прибегать к излишней детализации — лучше найти разумный компромисс;
- если предполагается обработка (посредством скульптурной деформации) всего объекта, то число вертикальных и горизонтальных изопарм определяется в окне каналов (Channel Box) через свои для каждого примитива параметры: например, для сферы количество вертикальных изопарм задается параметром Sections (Секции), а горизонтальных параметром Spans (Интервалы);

- если обрабатываться будет только определенная область примитива, то уровень ее детализации может быть увеличен вставкой дополнительных изопараметрических кривых с помощью команды Insert Isoparms (Вставить изопараметрическую кривую) из меню Edit NURBS (Правка NURBS);
- изменение степени детализации поверхности после начала скульптурной деформации приведет к потере уже полученных результатов;
- моделировать методом скульптурной деформации гораздо удобнее при помощи графического планшета — для работы с планшетом в окне Sculpt Surface следует включить переключатель раздела Stylus Pressure (Нажим на перо) и установить его в положение Opacity (Непрозрачность).

Попробуем сгенерировать волнующуюся водную поверхность. Создадим NURBS-плоскость и установим для нее в окне каналов количество вертикальных (Patches U) и горизонтальных изопарм (Patches U) равное 30 (рис. 5.56).



Рис. 5.56. Вид и параметры NURBS-плоскости

Выделим плоскость и щелкнем на квадратике справа от команды Edit NURBS / Sculpt Surface Tool (Редактирование NURBS-поверхностей / Создание рельефа). Учитывая, что волны хаотичны и имеют отличную от строго геометрических выпуклостей и вмятин форму (а значит, установленная по умолчанию круглая кисть не подойдет), щелкните на кнопке *Browse (Браузер)* и загрузите кисть наиболее подходящей для формирования волн формы — например Pastel. Для создания вмятин установите режим работы Push, определите максимальный радиус (Radius U) равным 5, а максимальное смещение (Max Displacement) равным 2,5 и обработайте всю поверхность плоскости до получения желаемого эффекта (рис. 5.57).



Рис. 5.57. Водная поверхность

Чаще всего при создании реальных моделей используется комбинация различных техник. Например, при моделировании используют комбинирование методов генерации плоских поверхностей и выдавливания посредством операции Bevel. Или, например, если по ходу моделирования вам требуется кривая, можно воспользоваться изопараметрической кривой, уже принадлежащей другой поверхности, и т. д.

Вопросы для самоконтроля

- 1. С какой целью в Мауа используются NURBS-кривые?
- 2. Опишите основные компоненты NURBS-кривой.
- 3. Чем полигональные объекты отличаются от NURBS-объектов?
- 4. Какие виды NURBS-кривых существуют в Мауа?
- 5. Чем отличается процесс создания NURBS-кривых по управляющим вершинам от процесса создания NURBS-кривых по точкам редактирования?
- 6. Опишите процесс создания кривой инструментом Pencil Curve Tool.
- 7. Каким образом в Мауа возможно создание дуг?
- 8. В чем заключается процесс создания текстового объекта и его трансформации?
- 9. Каким образом в Мауа можно получить плоскую поверхность?
- 10. Опишите создание поверхности методом вращения.
- 11. В чем заключается метод лофтинга?
- 12. Что представляет собой развертка формы? Виды развертки.
- 13. Сравните работу инструментов Bevel и Bevel Plus.

- 14. Опишите процесс создания поверхностей методом скульптурной деформации.
- 15. Сравните процесс создания поверхности методами Boundary и Birail.

Практические задания

- 1. Создать светильники, фонари, колонны методом вращения.
- 2. Создать рамы окон, коробку и обналички дверей с использованием развертки формы.
- 3. Создать водосточные трубы с использованием лофтинга.
- 4. Создать часы на башне методом выдавливания и лофтинга.
- 5. Создать булыжные мостовые методом скульптурной деформации.
- 6. Создать крыши домов методом Birail.
- 7. Создать шторы на окнах с использованием лофтинга, в том числе вырывающуюся из окна штору с использованием операции Boundary.

Библиографический список

- Джамбруно, М. Трехмерная графика и анимация / М. Джамбруно. М.: Вильямс, 2002. – 640 с.
- Петров, М.Н. Компьютерная графика: учеб. пособие для вузов / М.Н. Петров, В.П. Молочков. – СПб.: Питер, 2003. – 736 с.
- 3. Порев, В.Н. Компьютерная графика / В.Н. Порев. СПб. : БХВ-Петербург, 2002. 428 с.
- 4. Татарников, О. Моделирование, анимация и рендеринг. Обзор хитов / О. Татарников // Компьютер-Пресс, 1999. № 6. С. 16–40.
- 5. Шикин, Е.В. Компьютерная графика. Полигональные модели / Е.В. Шикин, А.В. Боресков М. : ДИАЛОГ-МИФИ, 2001. 464 с.

Электронные ресурсы сети Internet

- 6. Делаем мульт [Электронный ресурс]. Режим электронного доступа: http://delaemmult.narod.ru/index.html
- 7. Иллюстрированный самоучитель по Maya 6 [Электронный ресурс]. Режим электронного доступа: http://www.3dmaya.net/index.php
- Обзор методов анимации персонажа в системах 3D-графики [Электронный ресурс] // Компьютерная графика и мультимедиа. Сетевой журнал. – Режим электронного доступа: http://cgm.computergraphics. ru/content/view/69#Maya
- Основы Мауа [Электронный ресурс] // 3D модели, уроки, текстуры, 3d max, Vray. – Режим электронного доступа: http://3ddd.ru/modules/ myarticles/article.php?storyid=15
- Уроки Autodesk Maya [Электронный ресурс] // Проект «Открытые уроки». Сайт факультета переподготовки специалистов СПбГПУ. – Режим электронного доступа: http://www.avalon.ru/OpenLessons/ Maya/Lessons/
- 11. Уроки Мауа: начало [Электронный ресурс]. Режим электронного доступа: http://www.renderz.ru/blog/2008–09–16–17
- 12. Шляхтина, С. Первые шаги в Мауа [Электронный ресурс] / С. Шляхтина // КомпьютерПресс. 2006. № 8, 9, 10 ; 2007. № 1, 2. Режим электронного доступа: http://www.compress.ru/lesson.aspx

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
§1. ОСОБЕННОСТИ ИНТЕРФЕЙСА МАҮА	8
- 1.1. Окно Мауа	8
1.2. Режимы работы в Мауа	8
1.3. Компоненты стандартного окна Мауа	9
1.4. Меню оперативного доступа	17
§2. БАЗОВЫЕ ОПЕРАЦИИ НАД ОБЪЕКТАМИ.	
ПРОСТЫЕ И СОСТАВНЫЕ ОБЪЕКТЫ	19
2.1. Системы трехмерного моделирования	19
2.2. Графические объекты и примитивы	22
2.3. Режимы отображения и детализации объектов	24
2.4. Редактирование параметров объекта	25
2.5. Способы выделение объекта	27
2.6. Преобразования объектов манипуляторами	
2.7. Использование опорной точки	35
2.8. Система координат, масштаб и единицы измерения	
2.9. Составные объекты	41
2.10. Копирование и дублирование объектов	
§ 3. РАБОТА С ПРОЕКЦИЯМИ	54
3.1. Понятие проекции. Классификация проекций	54
3.2. Использование окон проекции в Мауа	60
3.3. Управление окнами проекций	65
3.4. Выравнивание объектов	68
3.5. Отражение объектов в сцене	70
§4. ОСНОВЫ ПОЛИГОНАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	74
4.1. Составные части полигонов	74
4.2. Значение числа разбиений	75
4.3. Редактирование на уровне подобъектов	76
4.4. Методы и принципы полигонального моделирования	85

§5. ОСНОВЫ NURBS-МОДЕЛИРОВАНИЯ	113
5.1. Понятие и компоненты NURBS-кривых и поверхностей	113
5.2. Использование NURBS-примитивов	117
5.3. Создание NURBS-кривых	120
5.4. Методы NURBS-моделирования	131
Библиографический список	159

Учебное издание

Ольга Анатольевна КРАЙНОВА

ОСНОВЫ ТРЕХМЕРНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ И АНИМАЦИИ (на примере графического пакета Maya v.7)

Учебно-методическое пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по математическим, естественнонаучным направлениям и специальностям очной и заочной форм обучения

Часть 1

Редактор *Т.Д. Савенкова* Технический редактор *З.М. Малявина* Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева* Дизайн обложки: *Г.В. Карасева*

Подписано в печать 22.04.2010. Формат 60×84/16. Печать оперативная. Усл. п. л. 10,0. Уч.-изд. л. 9,4. Тираж 70 экз. Заказ № 1-48-09.

Тольяттинский государственный университет 445667, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14