

Лекция 1. Раздел 1. Введение в дисциплину «Основы трёхмерного моделирования»

1. Общие понятия и определения.

3D моделирование — это процесс создания трехмерной модели объекта.

Задача 3D-моделирования: разработать визуальный объёмный образ желаемого объекта. При этом образ может как копией готового (известного) объекта, так и разработанный с нуля.

Для создания трёхмерной графики необходимо знать расположение объекта, которое определяется системой координат. Основной является декартова система координат.

В трёхмерной системе координат 3D-3-dimensional оси обозначаются как X, Y, Z, причём Z ось перпендикулярна плоскости XY. В разных программах ориентация Z оси может быть различной.

Местоположение объектов, выраженных по отношению к системе координат XYZ, называется мировой системой координат.

Для создания объёмного изображения существует несколько подходов:

1. **От плоскости к объёму** (когда рисуют плоский объект и для создания трёхмерного образа рассматривают объект с различных сторон также на плоскости, пример — чертежи).
2. **От объёма к плоскости** (в нём изначально создаётся трёхмерный образ и для получения серии плоских картинок делают снимки этого трёхмерного объекта с различных ракурсов, положений и т. д. Принцип реализуется в 3Ds Max, Cinema).

Достоинства и недостатки трёхмерной графики

Достоинства

- Реалистичность
- Широкая сфера применения
- Свобода трансформации объектов

Недостатки

- Значительный объём файлов
- Программная зависимость

Для создания трёхмерных объектов наиболее распространённым способом является построение фигур из сетки полигонов (polygon). Полигон характеризуется вершинами (vertices), рёбрами(edges), гранями (faces). Объект, состоящий из множества полигонов, представляет собой полигональную сетку, отображение которой может быть полным и неполным.

Полигональные сетки могут строиться из треугольников или прямоугольников. Поверхность сетки определяется с помощью дополнительных атрибутов. Атрибуты поверхности могут быть простыми (сплошной цвет) и сложными (цвет с эффектом блеска). Поверхность также может быть представлена с помощью одного или более растрового изображения, которые называют текстурными картами (текстурами).

В совокупности свойства поверхности именуются как материалы. Наличие одного или более источников освещения позволяет представить объект в более естественной форме. Пространства с объектом и источниками освещения носят названия **сцены освещения**.

Так как полигональные сетки строят по координатам своих вершин, преобразование объектов осуществляют без отдельной прорисовки каждой его вершины с помощью матриц, которые позволяют изменять размеры объектов, их поворот и движение без фактического изменения значений в его вершинах.

Каждая сцена для рисования обладает **точкой просмотра**, которая визуализируется с помощью камер.

Шейдер — это программа, выполняемая на графическом процессоре в процессе обработки кадра. Используется для определения конечных параметров объекта или изображения. Она может включать в себя описание поглощения или рассеяния света, наложение текстуры, смещения поверхности и т. д. Например, Шейдеры могут быть использованы для рисования поверхности кирпичной кладки на абсолютно плоской поверхности.

Выделяют следующие 5 этапов:

1. **Моделирование** — это создание объектов, которые будут на сцене.

Выделяют следующие типы моделирования:

- **Моделирование на основе примитивов** (под примитивами понимают простейшие параметрические формы: углы, сферы, пирамиды). При визуализации эти объекты преобразуются в полигоны, но получаемая поверхность выглядит более гладкой за счёт специальных алгоритмов закраски.
- **Моделирование на основе сечений**. Объекты на основе сечений названы по аналогии с судостроением, в котором применяется натягивание поверхности на произвольное сечение. Сечение или плоские формы в этом способе располагают вдоль некоторого пути.
- **Моделирование, основанное на использовании булевых операциях** (пересечение, вычитание). Основой служат поверхности. При этом выделяют следующие поверхности: многоугольные каркасы, лоскутки (сплайн-моделирование), в этом случае объекты изменяются с помощью контрольных точек. Образующие сплайны располагаются по краям создаваемой поверхности. Технология создания плавных форм и моделей, принцип: с помощью управляющих вершин можно воздействовать не только на крайние (контрольные) точки, но и на любую локальную область поверхности. Применяется для создания образов животных, людей.

- **Моделирование по поверхности сплайновой сетки.** При этом создаётся совокупность сплайнов в виде каркаса, на основе которого формируется поверхность.
2. **Текстурирование** — это придание поверхностям модели вида реальных материалов (дерево, металла, пластика). В процессе создания простейших примитивов каждому из них назначается цвет, который на самом деле не является цветом поверхности, а обозначает цвет каркасной структуры. Чтобы после визуализации объекта он стал реалистичным, применяют редактор материалов. В редакторе можно установить реальный цвет объекта, при этом он может быть основным (определяет покрытие всего объекта), обтекающим (определяет влияние фонового освещения), зеркальным (определяет наиболее яркие блестящие участки поверхности объекта) и т. д. В процессе создания материалов могут быть использованы карты текстур (растровые изображения реальных объектов) и процедурные карты (изображения, которые генерируются программным путём). В процессе создания объектов могут накладываться несколько карт одновременно. Это определяет эффекты текстурирования. Точное размещение материалов на поверхности объектов достигается картами проецирования. При создании материалов определяются такие свойства объектов, как отражение, преломление, прозрачность. При этом можно изменять силу света, тип поверхности. Это реализуется с помощью спец. алгоритмов.
 3. **Освещение** — это добавление и размещение источников света аналогично студийной съёмке. Благодаря освещению можно сформировать тени объектов сцены, изменить свойства отображения материалов, общее настроение сцены.
 4. **Анимация** — это процесс создания движения путём просмотра быстро сменяющихся кадров (изменение во времени каких-либо свойств объектов, например положения в пространстве, размеры, и материалов, например цвет, прозрачность). Для создания иллюзии движения зачастую прибегают к математическому описанию этого движения.
 5. **Визуализация** необходима для формирования окончательного изображения. Операция носит название рендеринга. При реализации учитывается:
 - качество изображения, при этом под качеством изображения понимаются эффекты сглаживания, создание скруглённых диагональных линий (рёбер), количества шагов в полигональной сетке;
 - освещение, например: объёмный свет, прожекторы и их количество и т. д. Чем более сложные эффекты освещения применены, тем более значительные ресурсы требуются для вычислений
 - размер изображения, при этом под размером может пониматься как габаритное изображение, так и его разрешение в пикселях.

Лекция 2. Раздел 1. Рабочая Среда 3DSMAX

1. Методы проецирования 3D-объектов.
2. Системы координат в 3DSMAX.
3. Интерфейс программы.

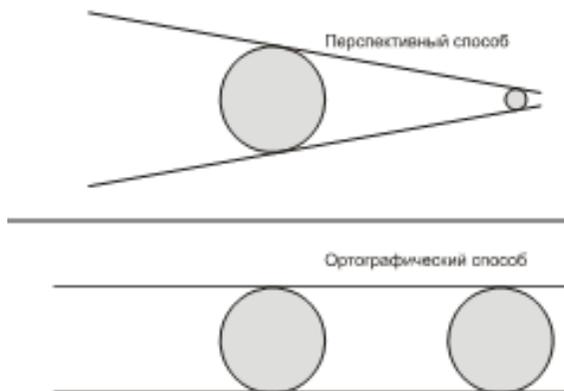
1. Методы проецирования 3D-объектов.

Для отображения трёхмерного объекта на двумерный экран используются математические преобразования, которые называются проецированием. Точки, определяющие отрезки прямых, кривые и другие элементы проецируются на воображаемую проекционную плоскость, называемую картинной плоскостью. Проводятся проекционные линии от точек объекта к наблюдателю. В точке, где эти линии пересекают картинную плоскость, называются **точками проекции**.

Способы отображения 3D-объектов:

- 1) Параллельные (аксонометрические, ортографические);
- 2) Центральные (перспективные).

При построении аксонометрической проекции трёхмерного объекта его отдельные точки сносятся на плоскость проекции параллельным пучком лучей. При перспективном проецировании проекционные линии строятся в направлении от точки наблюдения к вершинам объекта и далее к картинной плоскости. То есть пучок лучей исходит из точки, соответствующей положению глаза наблюдателя.



Уменьшение размеров проекции объектов по мере увеличения расстояния от него до картинной плоскости называется перспективным сокращением.

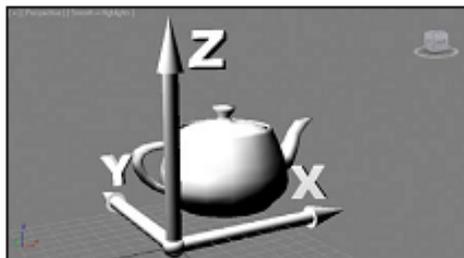
Схематично структурная схема всех видов плоских проекций представлена на рисунке. Плоскость аксонометрической проекции располагается перпендикулярно всей совокупности проекционных лучей, а плоскость центральной проекции — перпендикулярна только одному центральному лучу, соответствующему линии визирования сцены.



При аксонOMETрической проекции не происходят искажения в горизонтальных и вертикальных размерах, но искажаются размеры, характеризующие глубину объекта. При центральной проекции искажаются все размеры объектов.

2. Системы координат в 3DSMAX

В 3DSMAX основной является глобальная система координат (World Coordinate System). Условно можно считать, что в виртуальном трёхмерном пространстве ось Z глобальной системы координат, соответствует понятию высоты, ось X — ширины, ось Y — длины или глубины сцены.



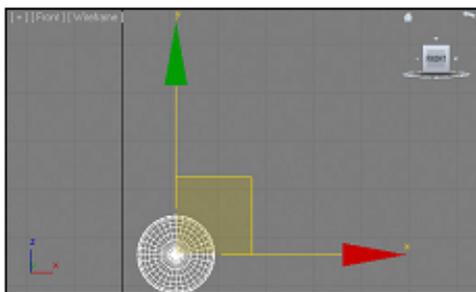
Взгляд на сцену спереди означает наблюдение вдоль оси Y в её положительном направлении, тогда ось X будет направлена вправо, ось Z — вверх по экрану, а ось Y перпендикулярно экрану.

На проекции «Вид сверху» оси глобальной системы координат будут располагаться: Ось X — направлена вправо, Y — вверх по экрану, Z — перпендикулярно экрану. Для проекции «Вид спереди» и «Вид сзади» основные плоскости, проходящие через оси глобальной системы координат, будет плоскость ZX. Для проекции «Вид сверху» и «Вид снизу» будут плоскости — XY, а для проекции «Вид слева» и «Вид справа» — ZY.

Помимо глобальной системы координат, в 3DSMAX используется ещё и **локальная система**. Эта система координат назначается каждому объекту

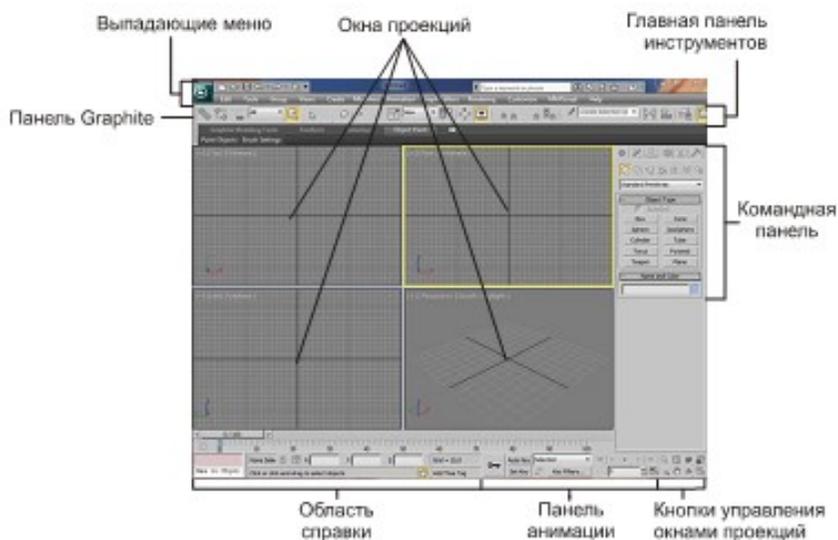
и определяется понятия «Вверх», «Влево», «Вправо» для этого объекта. Начало локальной системы координат помещается в опорную точку.

Опорная точка может располагаться в геометрических центрах объекта (слева, справа, снизу, сверху). При перемещении



или повороте объекта его локальная система координат перемещается и поворачивается вместе с ним. Но при этом в глобальных координатах направление «Вверх» для него всегда остаётся направлением оси Z локальной системы координат.

3. Интерфейс программы включает следующие основные области:



- ПАНЕЛЬ МЕНЮ – включает в себя все настройки и функции;
- ПАНЕЛЬ ИНСТРУМЕНТОВ (главная) – состоит из основных инструментов управления, базовых трансформаций, привязок и иных настроек;
- ЛЕНТА С ВКЛАДКАМИ (Modeling Ribbon) – содержит редактируемые группы инструментов моделирования (может редактироваться по содержанию, режимам отображения и положению);
- ПАНЕЛЬ КОМАНД – содержит большинство команд моделирования и анимации объектов;

- ПАНЕЛЬ УПРАВЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ – включает в себя строки состояния и подсказки, элементы ввода команд, управление анимацией;
- ОКНА ПРОЕКЦИЙ – основная рабочая область программы.

Панель меню

- Application button (Кнопка приложения) — состоит из команд для редактирования и просмотра файлов.
- Quick Access Toolbar (Панель быстрого доступа) — настраиваемая панель для выполнения автоматических операций над файлами, изображениями (сохранение, открытие).
- Edit (Правка) — содержит команды для редактирования объектов.
- Tools (Инструменты) — открывают доступ к инструментам модуля.
- Group (Группа) — включает команды для группирования/разгруппирования объектов.
- Views (Виды) — представляет команды для работы с окнами проекций.
- Create (Создать) — содержит свитки для создания примитивов, частиц и источников света.
- Modifiers (Модификаторы) — содержит команды для изменения объектов или их частей.
- Animation (Анимация) — включает команды анимации.
- Graph Editors (Графические редакторы) — осуществляют доступ к модулям управления иерархией и анимацией.
- Rendering (Визуализация) — содержит модули визуализации объектов и фонов.
- Customize (Настройка) — позволяет производить настройки интерфейса и программы.
- MAXScript (Скрипты) — открывают доступ к программам сценария.
- Help (Справка)

Панель инструментов

- Axis Constraints (Ограничители осей)
- Layers (Слои)
- Extras (Дополнительные средства) — состоит из команд клонирования и создания массивов.

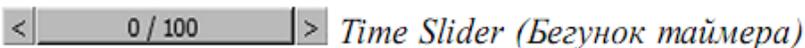
- Render Shortcuts (Комбинации визуализации) — обеспечивает быстрый доступ к инструментам визуализации сцены.
- Snaps (Привязки) — изменяет привязку объектом по линиям сетки и так далее.
- Animation Layers (Слои анимации) — включает команды для работы с анимацией слоёв.
- Containers (Контейнеры) — работа с контейнерами, внутрь которых могут помещаться объекты.
- MassFX Toolbar (Панель MassFX) — обеспечивает быстрый доступ к некоторым функциям модуля физики твёрдых тел.
- Brush Presets (Образцы кистей)
- Info Center

Командные панели (Command Panels)

- Create (Создать) — для создания объектов.
- Modify (Изменить) — изменение форм объектов.
- Hierarchy (Иерархия) — управление иерархическими связями объектов.
- Motion (Движение) — доступ к командам движения объектов.
- Display (Отображение) — управление отображения объектов.
- Utilities (Инструменты) — набор средств по настройке и управлению.

Управляющие элементы состояния

- Isolate Selection Toggle (Переключатель изоляции выделения)
- Selection Lock Toggle (Переключатель блокировки выделения)
- Absolute Mode Transform Type-in (Режим трансформации)
- Progressive Display (Прогрессивное отображение).
- Time Slider (Бегунок таймеры) — предназначен для быстрого доступа к любому кадру анимационной последовательности.



- Track Panel (Панель треков) — шкала кадров с отображение ключевых кадров анимации.
 - Серый кадр — ключевой кадр изменения значения параметров;
 - Зеленый кадр — ключевой кадр поворота;
 - Красный кадр — ключевой кадр положения;
 - Синий кадр — ключевой кадр масштабирования



Track Panel (Панель треков)

- Строка состояния — содержит текстовую информацию о текущей сцене, кнопки блокировки, выделения и ввода параметров преобразования, текущий шаг сетки.



- Строка подсказки — отображает ожидаемое программой действие, включает «добавить временной дескриптор», служит для входа во всплывающее меню, в котором редактируют дескрипторы для каждого кадра анимационной последовательности.



- Панель управления ключевыми кадрами — создаёт ключевые кадры в ручном и автоматическом режиме, устанавливает фильтры при создании ключевых кадров.



- Панель управления временными параметрами — служит для быстрого доступа к кадрам и ключам анимационной последовательности.



- Панель управления окнами проекции.



Средства управления

- Tool Tips (Всплывающие подсказки)
- Rollouts (Свитки)
- Context-sensitive Menus (Контекстные меню)
- Numeric Input Fields (Поля цифрового ввода)
- Drop-down Menus (Выпадающие списки)
- Flyouts (Прикрепленные панели)
- Floaters (Плавающие панели)
- Snippers (Счетчики)

Лекция 3. Раздел 2. Основы моделинга

Тема: Полигональное моделирование

1. Назначение и особенности полигонального моделирования объектов.
2. Математические основы полигональных преобразований.
3. Особенности полигонального моделирования в 3dsMAX.

1. Назначение и особенности полигонального моделирования объектов

Области применения:

- WEB-графика;
- Анимация высокого разрешения;
- Кино, телевидение.

В *веб-графике* применение полигонального моделирования позволяет показать объект (его трёхмерное изображение) под любым углом, а также раскрыть особенности его конструкции. Часто используется в рекламе товаров, создании анимированных персонажей, дизайне помещений.

Анимация высокого разрешения позволяет экономить время для просмотра движущихся объектов при наличии большого количества полигонов, легко заменяется каркасной сеткой с высоким разрешением в процессе визуализации объектов (действует принцип от простого к сложному).

Кино, телевидение — моделирование каскадёрских трюков, создание вымышленных персонажей.

Методы построения полигональных моделей:

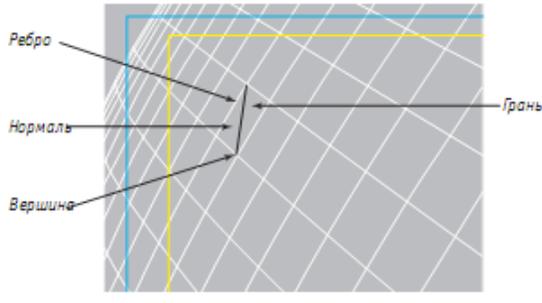
- *вытягиванием из одного-единственного исходного полигона*, при этом каждый новый полигон вытягивается из предыдущего, и, например, может присоединяться с соседним полигоном через вершины;
- *на основе полигональных примитивов*, когда примитивом является куб, сфера или подобные объекты, а затем из него вытягиваются те или иные подобъекты, осуществляется деление граней;
- *модель создается с нуля*, а входящие в нее полигоны не вытягиваются, а рисуются вручную (по точкам, дополнительно гранями).

2. Математические основы полигональных преобразований

Все полигональные преобразования основаны на геометрическом моделировании полигональной сетки.

Полигональная сетка (жарг. меш от англ. polygon mesh) — это совокупность вершин, рёбер и граней, которые определяют форму многогранного объекта в трёхмерной компьютерной графике и объёмном моделировании.

Гранями обычно являются треугольники, четырёхугольники или многоугольники, при этом у каждой грани есть нормаль, которая перпендикулярна поверхности грани.



Математический эквивалент полигональных сеток — это неструктурированные сетки. Операции над сетками могут включать булеву алгебру, сглаживание, упрощение и т. д. Для передачи полигональных сеток по сети используются сетевые представления в виде потоковых или прогрессивных сеток. Объёмные сетки отличаются от полигональных тем, что они представляют и поверхность, и объём структуры.

Для математического описания полигональных сеток используется операция над матрицами. Описание относительно многоугольника:

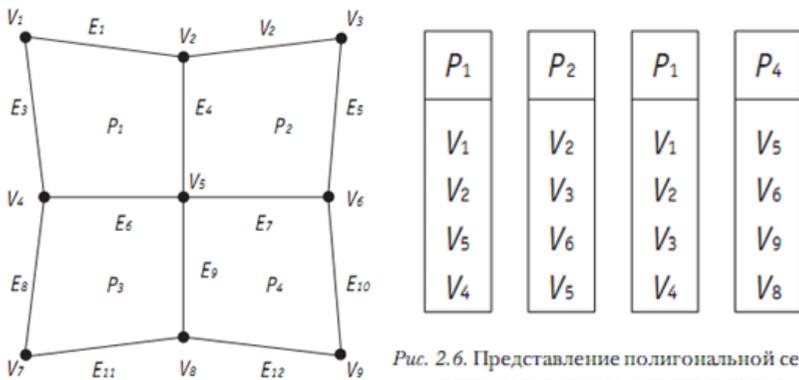
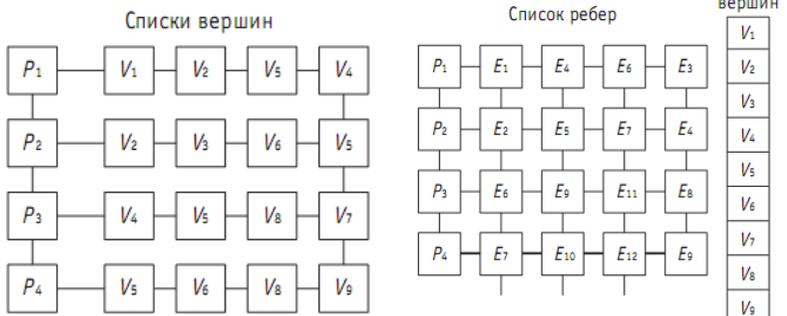


Рис. 2.6. Представление полигональной сетки с явным заданием многоугольников

Описание относительно вершин, ребер:



Модель представления полигональной сетки для одного многоугольника является компактной, но избыточной для набора граней так как не существует общего описания, общих вершин и рёбер. Элементы списка указателей на вершины для каждого многоугольника ссылаются на соответствующие координатные данные для вершин. Такое представление компактнее, чем предыдущие, но трудно найти многоугольники с общими рёбрами. Элементы списка рёбер содержат указатели на вершины в списке вершин. Для обеспечения поиска всех вершин необходимо иметь обратные указатели от вершины на одно из относящихся к ней рёбер. Для преобразования объектов необходимо применить эти преобразования к каждому элементу или примитиву объекта. Такие преобразования носят названия *аффинных* и осуществляются над опорными точками примитивов объектов.

Аффинное преобразование:

$$V^* = V \cdot A$$

V^* — набор опорных точек примитивов объектов после преобразования.

V — исходный набор опорных точек примитивов объектов.

A — матрица преобразования.

$$V = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 & z_1 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_n & y_n & z_n & 1 \end{pmatrix} \quad A(R_x, R_y, R_z, D, T, M_x, M_y, M_z)$$

При реализации преобразования сначала записывается матрица A так как она не зависит от того, какие точки будут подвергнуты преобразованию. Затем ведётся расчёт матрицы V^* .

Если преобразование необходимо подвергнуть несколько геометрических объектов или элементов, то матрица преобразования будет применяться к ним последовательно.

Пусть точка $P(x, y, z)$, тогда смещение точки на величину h будет записываться как:

$$P(h \times x, h \times y, z \times h, h) \text{ для } h \neq 0.$$

Тогда:

$$P(X, Y, Z, h), \text{ то } x = X/h, y = Y/h \text{ и } z = Z/h.$$

Трёхмерный перенос является простым расширением двухмерного и описывается матрицей.

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \lambda & \mu & \nu & 1 \end{bmatrix} \quad \lambda(dx), \mu(dy), \nu(dz) \text{ — векторы}$$

переноса из новой плоскости в старую.

$$[x, y, z, 1] \times T(dx, dy, dz) = [x dx + y dy + z dz + dz 1]$$

$$[D] = \begin{bmatrix} \alpha & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \beta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{Операция растяжения-сжатия, где} \\ \alpha > 0 \text{ — коэффициент растяжения вдоль оси X. } \alpha < 0 \\ \text{— вдоль оси Y.} \\ \beta \text{ — вдоль оси Y.} \\ \gamma \text{ — вдоль оси Z.} \end{array}$$

Отражение:

$$[M_x] = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad [M_y] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad [M_z] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

M_x — отражение относительно плоскости YZ.

M_y — отражение относительно плоскости XZ.

M_z — отражение относительно плоскости XY.

Поворот:

$$[R_x] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ 0 & -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{вращение вокруг оси X на угол } \varphi$$

$$[R_y] = \begin{bmatrix} \cos \psi & 0 & -\sin \psi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \psi & 0 & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{вращение вокруг оси Y на угол } \psi$$

$$[R_z] = \begin{bmatrix} \cos \chi & \sin \chi & 0 & 0 \\ -\sin \chi & \cos \chi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{вращение вокруг оси Z на угол } \chi$$

Преобразование координат

$$B^{-1} = B^T$$

В аффинных преобразованиях обратная матрица совпадает с транспонированной матрицей и равна. Таким образом, при выборе элементов массива меняются местами индексы строк и столбцов, при этом не требуется изменение элементов массива, описывающего матрицу.

Объединение элементарных трёхмерных преобразований позволяет получить более сложные преобразования. Например, перемещение отрезков P_1P_2 и P_1P_3 .

В результате преобразований пусть точка P_1 совпадает с точкой начала координат. Отрезок P_1P_2 должен располагаться вдоль отрицательной полуоси Z . Отрезок P_1P_3 — размещается в плоскости Y_0Z (Y — положительная).

Последовательность базовых операций для получения такого результата следующая:

1. Точка P_1 переносится в начало координат.
2. Отрезок P_1P_2 поворачивается вокруг оси Y до совмещения с плоскостью Y_0Z .
3. Отрезок P_1P_2 вращается вокруг оси X до совмещения с осью Z .
4. Отрезок P_1P_3 вращается вокруг оси Z до совмещения с плоскостью Y_0Z .

В итоге результирующая матрица имеет следующий вид:

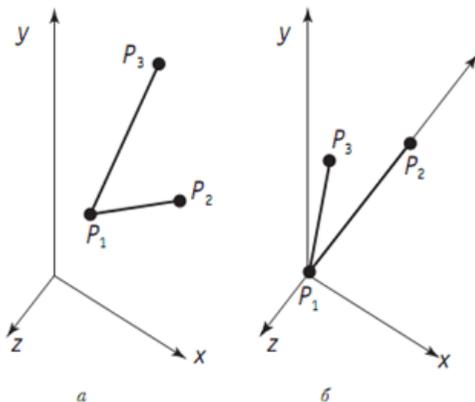
$$T(-x_1, -y_1, -z_1) = T \times R,$$

$$R_x(\varphi) = R_y(\psi) \times R_z(\chi)$$

В левосторонней системе положительными будут повороты, выполняемые по часовой стрелке если смотреть с конца положительной полуоси в направлении начала координат.

Аффинные преобразования обладают следующими свойствами:

- Применяются ко всему объекту.
- Сохраняются в матрице аффинных преобразований в виде результирующего значения, вне зависимости от числа и последовательности примененных преобразований.



- При визуализации объекта расчет матрицы преобразований происходит после вычисления модификаторов пространства объекта, но перед вычислением модификаторов мирового пространства.

3. Особенности полигонального редактирования в 3DSMAX

Редактируемый многогранник является более поздним типом моделируемых объектов. Причиной перехода явилось изменение принципов визуализации объектов. Современные методы визуализации не требуют разбития объектов на треугольные грани. Таким образом, в 3DSMAX в более старых версиях отсутствует режим полигонального моделирования, а имеется только редактирование сеток по треугольным граням (Editable Mesh). В основе редактируемого многогранника лежит разделение объектов на четырёхугольные грани (режим Editable Poly). Существенный недостаток метода полигонального моделирования состоит в том, что для получения гладкой поверхности необходимо создать большое число многоугольников. В результате, при анимации, такие модели имеют высокое разрешение, медленно деформируются, требуют больших ресурсов компьютера. Для устранения этого недостатка используется принцип **тесселяции**. Он состоит в следующем: сначала изготавливают грубую модель из небольшого количества полигонов, затем каждый полигон делится на 4 части, при этом осуществляется сглаживание структуры с изменением углов полигонов. С этим связано возникновение терминов «high poly» и «low poly».

Особенностью полигонального моделирования также является пустотелость модели. Это приводит к тому, что наложение текстуры происходит только на видимую часть объекта. При твёрдотельном моделировании объекты представляются в виде монолита.

Перед тем, как приступить к созданию полигонального проекта следует определить технические требования к моделям. В частности максимальное количество полигонов, уровень детализации, особенности текстур, единицы измерения и масштаб.

Количество многоугольников определяется пределом перемещением многоугольников за один кадр анимации.

Уровень детализации определяется степенью удаления объекта от зрителя.

Текстурные карты, как правило, представляются в bmp-формате, при этом их характеристикой является битность (глубина цвета).

Единицы измерения и масштаб. Чтобы модели были совместимы с другими объектами, создание сразу осуществляется в заданных единицах измерения и масштабе (стараясь избегать масштабирования).

При работе с полигональной моделью необходимо отслеживать количество четырёхугольников и треугольников, их соотношение. Для того, чтобы избежать получения неплоских полигонов. При этом используется осевое ограничение на преобразования вершин, которое гарантирует расположение вершины в центре. Следует избегать пересечения объектов между собой при создании объединённого каркаса (он не закругляется). Для того чтобы избежать излишне гладких и закруглённых углов на участках, где должны сохраняться острые грани, производят отсоединение многоугольников от общей группы. В результате этого сглаживание на эти многоугольники будет рассчитываться отдельно.

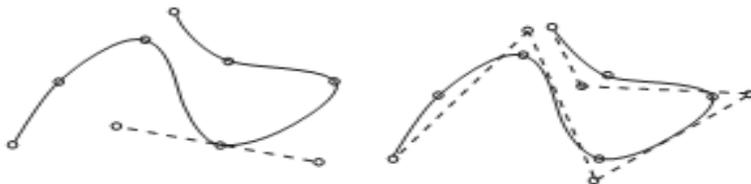
Лекция 4. Раздел 2. Основы моделинга

Тема: Моделирование на основе сплайнов

1. Понятие сплайна, формы.
2. Методы построения сплайновых поверхностей.
3. Особенности моделирования сплайнами в 3dsMAX.

1. Понятие сплайна

Объектом и формой трёхмерного объекта могут быть двухмерные и трёхмерные кривые. Выделяют два типа кривых: **Splines** (Сплайны) и **NURBS Curves** (Кривые NURBS). Spline – кусочно-полиномиальная функция.



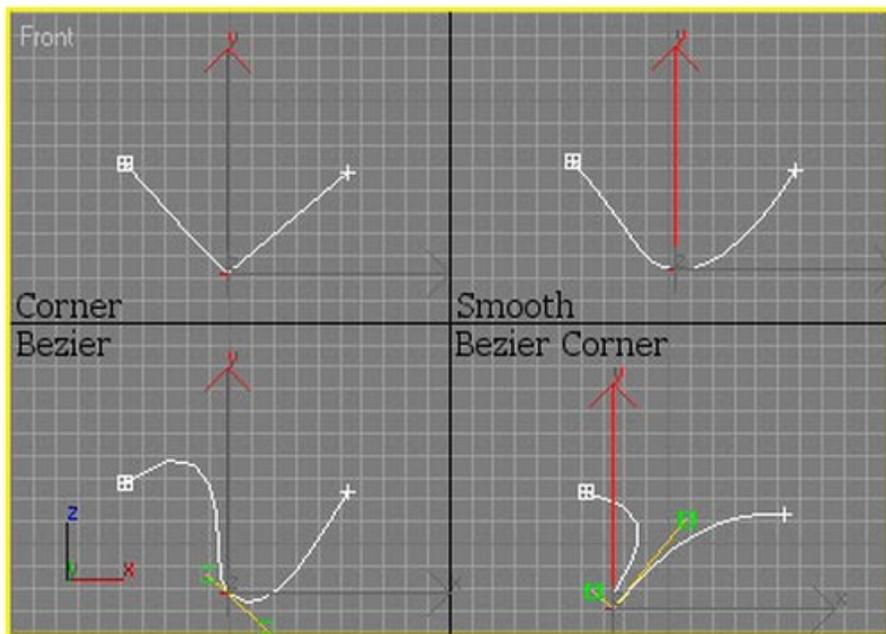
Сплайны — это двухмерные самостоятельные геометрические фигуры, которые могут служить основой для построения сложных трёхмерных объектов. У каждого сплайна выделяют вершины и сегменты, и в зависимости от типа сплайна положение сегмента может быть разным. Выделяют кубические и бикубические сплайны. На их основе выполняются задачи интерполяции и сглаживания.

Вершины сплайна могут быть:

- **Corner** (Угловая). Вершина с изломом отличается тем, что её сегменты не имеют кривизны.
- **Smooth** (Сглаженная). Входящие сегменты симметричны и описываются через сплайн-кривые с плавным изгибом.
- **Bezier** (Безье). Вершина имеет направляющие и управляющие маркеры, которые могут изменять форму кривой. Направляющие

и управляющие маркеры зависят друг от друга и могут лежать только на одной прямой.

- **Bezier Corner** (Безье угловая). Вершины также имеет направляющие и управляющие маркеры, но они независимы друг от друга.



2. Методы построения сплайновых поверхностей.

Большинство тех, встречающихся в природе, невозможно описать простыми универсальными формулами. В тоже время аналитическое описание в трёхмерном пространстве двумерной поверхности должно быть минимальным, поэтому пользуются следующим приёмом:

- 1) Задают координаты небольшого количества точек, лежащих на поверхности.
- 2) Через эти точки проводят плавные поверхности.

Для решения такой задачи могут быть два пути:

- A. По заданному массиву опорных точек на плоскости строят кривую, проходящую через все точки (интерполяция).
- B. По заданному массиву опорных точек строят кривую вблизи этих точек (сглаживание).

Сглаживающая поверхность стоит в виде так называемого **тензорного произведения**, которое может быть описано параметрическим уравнением:

$$\mathbf{r}(u,v) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n a_i(u) b_j(v) \mathbf{V}_{ij}$$

Параметрические уравнения:

$$r(u, v) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 c_3^j c_3^i u^i (1-u)^{3-i} v^j (1-v)^{3-j} V_{ij}$$

где:

$$0 \leq u \leq 1; 0 \leq v \leq 1$$

Сглаживающие поверхности обладают следующими свойствами:

- лежат в выпуклой оболочке, порождающей её точек;
- являются гладкими поверхностями;
- упираясь в точки V_{00} , V_{03} , V_{30} и V_{33} касаются исходящих из них отрезков контрольного графа заданного набора.

Методы построения плоских и пространственных кривых:

- метод интерполяции по точкам;
- вычисление конических сечений;
- путём расчёта пересечения поверхностей;
- выполнение преобразования некоторой кривой;
- формирование замкнутых или разомкнутых контуров из отдельных сегментов, дуг отдельных прямых, произвольных кривых;

Для математического описания плоских и пространственных кривых используется параметрическая форма задания функции, это обеспечивает независимость представления кривых от системы координат и соответствует процессу их отображения на устройствах вывода.

Наиболее распространёнными являются B – сплайны, β – сплайны и безье-кривые.

➔ **B – сплайны.**

Кривая формируется по отношению к ломаной линии. B – сплайн всегда начинается от первой контрольной точки, заканчивается последней и всегда касается ломаной в этих точках (начальной и конечной). Способ основан на соединении нескольких кривых Безье в одну гладкую кривую. По заданному набору точек V_0, V_1, V_2, V_3 Элементарная кубическая B – сплайновая кривая записывается уравнением:

$$r(t) = \frac{(1-t)^3}{6} V_0 + \frac{3t^3 - 6t^2 + 4}{6} V_1 + \frac{-3t^3 + 3t^2 + 3t + 1}{6} V_2 + \frac{t^3}{6} V_3$$

для $0 \leq t \leq 1$,

Где t – это функция времени и принадлежит диапазону от 0 до 1.

Когда у нас множество точек, соответственно, составная кубическая В — сплайновая кривая задаётся уравнением, где t принадлежит диапазону от 0 до -2 и определяется набором точек $V_0, V_1 \dots V_{m-1}, V_m$, представляющих собой объединение $m-2$ элементарных кубических В — сплайновых кривых. При этом $m \geq 3$, а уравнения для каждой из элементарных кубических кривых будут следующие:

$$r = r_i(t) = (V_{i-1} \quad V_i \quad V_{i+1} \quad V_{i+2}) M \begin{pmatrix} 1 \\ t-i+1 \\ (t-i+1)^2 \\ (t-i+1)^3 \end{pmatrix}$$

где: $(I - 1) \leq t \leq i, I = 1, \dots, (m - 2)$

Построенная по данному уравнению кривая обладает следующим свойством: изменение координат одной вершины в массиве, или добавление новой вершины к уже имеющимся, не приводит к полному изменению всей кривой, а, следовательно, не требует выполнения дополнительных вычислений.

➔ **Рациональные кубические В – сплайны.**

Для заданного набора V_0, V_1, V_2, V_3 кривая описывается уравнением:

$$r(t) = \frac{\sum_{i=0}^3 w_i n_i(t) V_i}{\sum_{i=0}^3 w_i n_i(t)} \quad 0 \leq t \leq 1$$

где $n_0(t) = \frac{(1-t)^3}{6}, n_1(t) = \frac{3t^3 - 6t^2 + 4}{6}, n_2(t) = \frac{-3t^3 + 3t^2 + 3t + 1}{6}, n_3(t) = \frac{t^3}{6}$

w_i — называются весами и представляют собой неотрицательные числа, сумма которых положительна. Если все веса равны между собой, то рациональные кубические В — сплайны обращаются в элементарные.

➔ **Бета - сплайны.**

Основным свойством является их геометрическая непрерывность и, чтобы составить кривую из двух сплайновых кривых, необходимо в точке сопряжения обеспечение совпадения их единичных касательных векторов и векторов кривизны.

R — это вектор, содержащий временные функции положения точек в пространстве $(x(t), y(t), z(t))$.

T — вектор от 1 до t^2 .

Матрица M — базисная матрица бета-сплайновой кривой, численные параметры β_1 и β_2 называются параметрами формы бета-сплайновой кривой, β_1 соответствует параметру скоса, а β_2 параметру напряжения. Изменение значений параметров β_1 и β_2 приводит к изменению результирующей кривой без изменения координат опорных точек

Уравнение β — сплайна из набора точек V_{i-1}, V_i, V_{i+1} и V_{i+2} :

$r(t) = V M T, 0 \leq t \leq 1$, где

$$r(t) = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{pmatrix} \quad V = (V_{i-1} V_i V_{i+1} V_{i+2}) = \begin{pmatrix} x_0 & x_1 & x_2 & x_3 \\ y_0 & y_1 & y_2 & y_3 \\ z_0 & z_1 & z_2 & z_3 \end{pmatrix} \quad T = \begin{pmatrix} 1 \\ t \\ t^2 \\ t^3 \end{pmatrix}$$

$$M = \frac{1}{\delta} \begin{pmatrix} 2\alpha & -6\alpha & 6\alpha & -2\alpha \\ 4(\beta_1^2 + \beta_1) + \beta_2 & 6(\alpha - \beta_1) & -3(2\alpha + \mu) & 2(\alpha + \nu) \\ 2 & 6\beta_1 & 3\mu & -2(\nu + 1) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

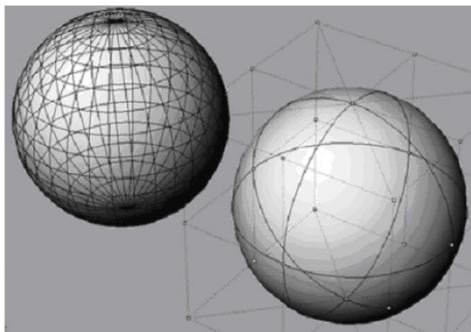
Где

$$\alpha = \beta_1^3, \quad \mu = 2\beta_1^2 + \beta_2, \quad \nu = \beta_1^2 + \beta_1 + \beta_2, \quad \delta = 2\beta_1^3 + 4\beta_1^2 + 4\beta_1 + \beta_2 + 2$$

При $\beta_1 = 1$ и $\beta_2 = 0$ бета-сплайн обращается в кубический В — сплайн.

На основе рациональных кубических В — сплайнов была создана технология NURBS, использующая сочетания интерполяционных кривых.

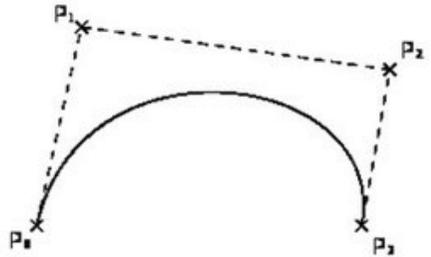
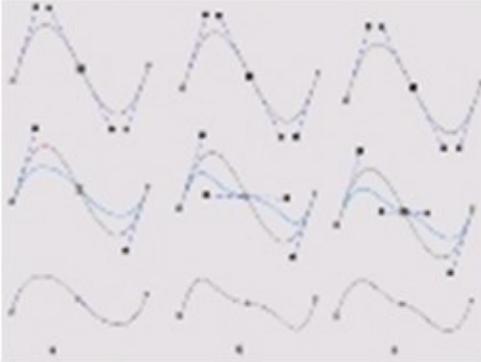
Примеры общего вида сферической поверхности, созданной средствами полигональной графики и NURBS — технологий:



→ Функции Безье.

Представляет собой частный случай сплайна. Метод построения основан на использовании пар касательных, проведенных к отрезку линии в их окончании.

Отличительной чертой метода Безье является то, что управляющими параметрами кривых являются точки в трёхмерном пространстве, каждая из которых оказывает влияние на кривую.



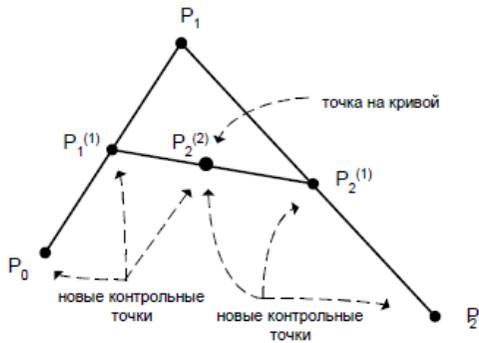
Методы построения кривых Безье:

♦ **Разбиение и отсечение.** *Задача:* по заданному массиву точек на плоскости или в пространстве необходимо построить кривую, проходящую вблизи этих точек. *Решение:* произвольно ломаную линию представляют некоторым количеством опорных точек: P_0, P_1, P_2 , положение которых известно в трёхмерном пространстве. По этим точкам строится дуга так, чтобы она проходила вблизи точек P_0, P_1, P_2 внутри треугольника $P_0P_1P_2$. Принимают точку P_1 в качестве контрольной и её называют регулирующей (влияющей). Далее ломаную линию делят на два сегмента, каждую из которых также разбивают на три точки. Таким образом, создавая сегменты ломаной, заданная кривая будет аппроксимирована (приближённо построена благодаря этим отрезкам) отрезками. Фактически процедуру записывают таким образом:

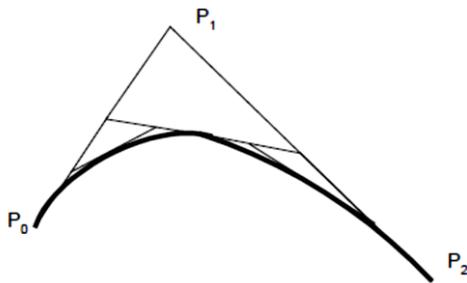
$P_1^{(1)}$ – середина отрезка P_0P_1 ;

$P_2^{(1)}$ – середина отрезка P_1P_2 ;

$P_2^{(2)}$ – середина отрезка $P_1^{(1)}P_2^{(1)}$.



В результате точка $P_2^{(2)}$ будет опорной для построения дуги, а для получения дальнейшего сглаживания необходимо будет продолжить разбиение на отрезке с новыми опорными точками P_0, P_1, P_2 .



Для построения кривых высших порядков требуется большее количество промежуточных точек.

♦ **Построение кривых Безье высших степеней ($n = 3$)**

Для построения кубической кривой Безье необходимо 4 опорные точки: P_0, P_1, P_2, P_3 заданные в двумерном или трёхмерном пространстве. Построение начинается с точки P_0 , направляясь к P_1 , и заканчивается в точке P_3 , подходя к ней со стороны P_2 . Таким образом, точки P_1 и P_2 , задают направление кривой, а длины отрезков между P_0, P_1 и P_2, P_3 определяют крутизну этой кривой. Таким образом, функция кривой Безье $P(t)$ будет определяться системой уравнений:

$$P_1^{(1)}(t) = t P_1 + (1-t)P_0;$$

$$P_2^{(1)}(t) = t P_2 + (1-t)P_1;$$

$$P_3^{(1)}(t) = t P_3 + (1-t)P_2;$$

$$P_2^{(2)}(t) = t P_2^{(1)}(t) + (1-t)P_1^{(1)}(t);$$

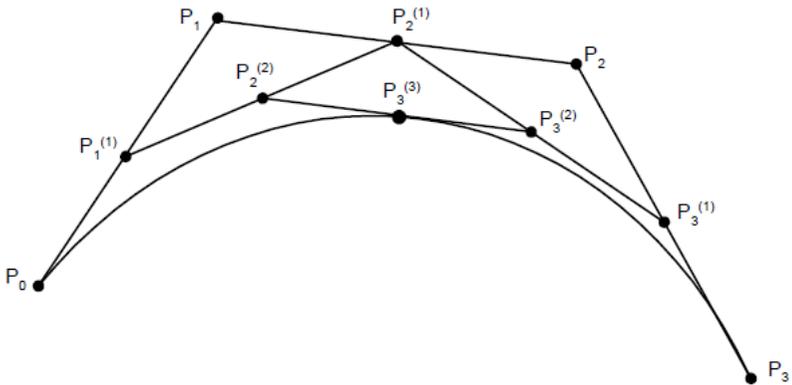
$$P_3^{(2)}(t) = t P_3^{(1)}(t) + (1-t)P_2^{(1)}(t);$$

$$P_3^{(3)}(t) = t P_3^{(2)}(t) + (1-t)P_2^{(2)}(t).$$

Обозначим $P_3^{(3)}(t)$ как $P(t)$.

$$\begin{aligned}
P(t) &= P_3^{(3)}(t) = t P_3^{(2)}(t) + (1-t)P_2^{(2)}(t) = \\
&= t [t P_3^{(1)}(t) + (1-t)P_2^{(1)}(t)] + (1-t) [t P_2^{(1)}(t) + (1-t)P_1^{(1)}(t)] = \\
&= t^2 P_3^{(1)}(t) + 2 t (1-t) P_2^{(1)}(t) + (1-t)^2 P_1^{(1)}(t) = \\
&= t^2 [t P_3 + (1-t) P_2] + 2 t (1-t)[t P_2 + (1-t)P_1] + (1-t)^2[t P_1 + (1-t) P_0] = \\
&= t^3 P_3 + 3 t^2 (1-t)P_2 + 3 t (1-t)^2 P_1 + (1-t)^3 P_0
\end{aligned}$$

Последнее уравнение — кривая Безье третьего порядка.
 $0 \leq t \leq 1$ и определяет соотношение отрезков между основными и промежуточными точками.



♦ Аналитический метод построения кривой Безье:

$$\begin{aligned}
P(t) &= P_3^{(3)}(t), \\
\text{где } P_i^{(j)}(t) &= \begin{cases} (1-t)P_{i-1}^{(j-1)}(t) + tP_i^{(j-1)}(t), & j > 0 \\ P_i, & \text{при } j = 0 \end{cases}, \\
t &\in [0, 1].
\end{aligned}$$

Задав контрольной точке P_0, P_1, P_2, P_3 , кривая Безье будет описана уравнением:

$$P(t) = \sum_{i=0}^3 P_i B_{i,3}(t),$$

где $B_{0,3}(t) = (1-t)^3$, $B_{1,3}(t) = 3t(1-t)^2$, $B_{2,3}(t) = 3t^2(1-t)$,

$$B_{3,3}(t) = t^3$$

Особенности моделирования сплайнами в 3dsMAX

В компьютерной графике кривые Безье являются не только основой векторной графики, но и способом описания шрифтов, способом описания выделений и тд.

Контуры описываются замкнутыми кривыми Безье.

При выводе изображений на экран или принтер производится преобразование заданного изображения символа, в соответствующую матрицу точек.

При этом не возникает проблем с недостаточным разрешением.

Параметрам кривой можно поставить соответствие в параметрах движения компьютерного персонажа, при этом будут соблюдаться следующие свойства кривых Безье:

- непрерывность заполнения сегмента между начальной и конечной точками;
- кривая всегда располагается внутри фигуры, образованной линиями, соединяющими контрольные точки;
- при наличии только двух контрольных точек сегмент представляет собой прямую линию;
- прямая линия образуется при коллинеарном (на одной прямой) размещении управляющих точек;
- кривая Безье симметрична, то есть обмен местами между начальной и конечной точками (изменение направления траектории) не влияет на форму кривой;
- масштабирование и изменение пропорций кривой Безье не нарушает её стабильности, так как она с математической точки зрения «аффинно инвариантна»;
- изменение координат хотя бы одной из точек ведет к изменению формы всей кривой Безье;
- любой частичный отрезок кривой Безье также является кривой Безье;
- степень кривой всегда на одну ступень ниже числа контрольных точек. Например, при трех контрольных точках форма кривой — парабола;
- окружность не может быть описана параметрическим уравнением кривой Безье;
- невозможно создать параллельные кривые Безье, за исключением тривиальных случаев (прямые линии и совпадающие кривые), хотя существуют алгоритмы, строящие приближённую параллельную кривую Безье с приемлемой для практики точностью.

В 3dsMAX Работа со сплайнами заключается в редактировании контуров на уровне вершин, сегментов и сплайнов.

Редактирование на уровне вершин выполняет следующие операции:

- **Refine** (Уточнить) — добавляет дополнительные вершины без изменения контура сплайна;
- **Break** (Разбить) — разрывает контур в любой выделенной вершине, при этом точки не смещаются, являются самостоятельными вершинами;
- **Insert** (Вставить) — даёт возможность вставить вершину точки сплайна, переместить её и продолжить добавление новых вершин;
- **Delete** (Удалить) — удалят выделенные вершины;
- **Weld** (Слить)/ **Weld Threshold** (Порог слияния) — отвечает за объединение двух выделенных или совпадающих вершин в одну с учётом параметра порога слияния (параметр подзадаёт параметры, это расстояние, при котором вершины будут сливаться в одну);
- **Fuse** (Приблизить) — позволяет приблизить выделенные точки друг к другу перед слиянием;
- **Connect** (Соединить) — соединяет разомкнутые сплайны отрезком прямой;
- **Fillet** (Скруглить) — скругление углов;
- **Chamfer** (Фаска) — делает угол в виде фаски.

Редактирование на уровне сегментов:

- **Break** (Разбить) — разбивает сплайны на отдельные части;
- **Refine** (Уточнить) — добавляет новые вершины к существующим сегментам;
- **Detach** (Отделить) — отделяет сегменты, преобразуя в самостоятельные формы;
- **Delete** (Удалить) — удаление сегмента;
- **Divide** (Разделить) — добавляет указанное количество на выделенном сегменте, разбивает сегменты на равные части, сравнивая промежуточные.

Редактирование на уровне сплайнов:

- **Attach** (Присоединить) — объединяет разные сплайны;
- **Outline** (Контур) — создаёт вдоль сплайна контур указанной ширины;
- **Mirror** (Отражение) — зеркально отражает сплайны между собой;
- **Reverse** (Перевернуть) — меняет местами у сплайнов начальную и конечную точку;
- **Boolean** (Булевы) — применяет к сплайнам модификатор на уровне булевых операций.

Лекция 5. Раздел 2. Основы моделинга

Тема: Моделирование на основе неоднородных рациональных B-сплайнов (Non Uniform Rational B-Splines NURBS)

1. Методы построения NURBS поверхностей.
2. Особенности в 3DSmax.

1. Методы построения NURBS поверхностей

Основные задачи, связанные с представлением трёхмерных тел:

- ▲ построение сцен с изображениями существующих объектов;
- ▲ синтез изображения, не существующего в природе объекта.

При решении первой задачи задают бесконечное количество координат точек или аппроксимируют объект некоторым конечным набором элементов, например поверхность.

При решении второй задачи требуется удобство манипулирования формами. В связи с этим для представления трехмерных объектов используются:

- каркасное представление (поверхность описывается набором рёбер);
- поверхностное (объект описывается набором, ограничивающих его фрагментов, поверхности);
- модель сплошных тел (объект формируется из отдельных базовых геометрических объёмных элементов).

Для формирования геометрических элементов трёхмерного объекта используют два основных способа:

→ **построение по заданным отношениям** (ограничениям) — задаётся элемент, подлежащий построению, список отношений, элементы, к которым применяются эти отношения (например, построение прямой, проходящей через точку пересечения двух других прямых и касательную к окружности).

- *Достоинства:* простота расширения системы, так как для введения нового отношения достаточно написать ещё одно уравнение
- *Недостатки:* построенная система уравнений может иметь несколько решений или система уравнений может оказаться нелинейной (потребуется аппроксимация);

→ **построение с использованием преобразований.** Алгоритм построения представляется следующим образом:

1. задаётся преобразуемый объект
2. задаётся преобразование
3. выполняется заданное преобразование

Построение с использованием преобразований наиболее часто используется в трёхмерной графике.

Построение поверхностей осуществляется с помощью следующих 3 основных методов:

- тензорного произведения (tensor product surfaces)
- каркасного (lofting surfaces)
- булевой суммы (transfinite method)

Эти методы реализуются за счет параметрических преобразований с использованием матричной формы либо в виде уравнений.

Метод тензорного произведения:

По заданному массиву $P=\{P_{ij} ; i=0, 1, \dots, n ; j=0, 1, \dots, n\}$ рациональная поверхность в матричной форме будет записана как:

$$r(u, v) = \frac{U * M[w_{ij}P_{ij}] * M^T * V}{U * M[w_{ij}] * M^T * V}$$

2 координаты u, v должны быть для поверхности.

$$M[w_{ij}P_{ij}] = \begin{bmatrix} w_{00}P_{00} & \cdots & w_{0n}P_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{0m}P_{m0} & \cdots & w_{mn}P_{mn} \end{bmatrix}$$

матрица управляющих точек с соответствующими весами.

$$M[w_{ij}] = \begin{bmatrix} w_{00} & \cdots & w_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{0m} & \cdots & w_{mn} \end{bmatrix} \text{ – матрица весов}$$

$U = [1 \ u \ \dots \ u^n]$ – матрица параметров u

$V = [1 \ v \ \dots \ v^n]^T$ – матрица параметров v

$M[m_{ij}]$ – коэффициенты, каждый коэффициент имеет следующую расчетную формулу:

$$m_{ij} = (-1)^{j-1} \frac{\binom{n}{j} \binom{i}{j}}{\binom{j}{j}}$$

Основные свойства рациональных поверхностей Безье:

- поверхность полностью определяется набором вершин характеристической сетки P_{ij} .
- Поверхность лежит в выпуклой оболочке точек P_{ij} .
- Самой поверхности принадлежат только 4 угловые точки сетки, в которых касательные плоскости поверхности совпадают с плоскостями угловых граней характеристической сетки.
- Граничными кривыми порции поверхности являются рациональные кривые, управляемые набором точек и соответствующих весов.
- Формой поверхности можно управлять путем подбора вершин характеристической сетки и соответствующих весовых коэффициентов.

Каркасный метод:

С помощью этого метода поверхность определяется семейством кривых.

Если

$$v = const$$

$$0 \leq (v = const) \leq 1 \quad \text{то,}$$

$$0 \leq u \leq 1$$

$$r(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^m w_i B_i^m(u) P_i}{\sum_{i=0}^m w_i B_i^m(u)}$$

Если

$$u = const$$

$$0 \leq (u = const) \leq 1 \quad \text{то,}$$

$$0 \leq v \leq 1$$

$$r(u, v) = \frac{\sum_{j=0}^n w_j B_j^n(v) P_j}{\sum_{j=0}^n w_j B_j^n(v)}$$

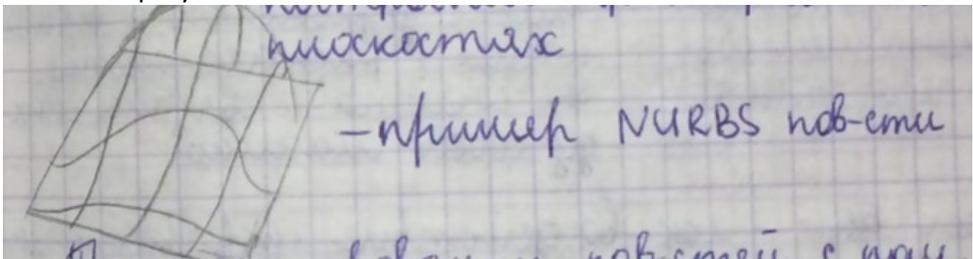
Метод булевой суммы:

Метод булевой суммы (поверхности Кунса). В случае конструирования поверхности методом Кунса необходимо задать 2 семейства граничных кривых в u и v направлениях, то

$$r(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^m w_i B_i^m(u) P_i}{\sum_{i=0}^m w_i B_i^m(u)} + \frac{\sum_{j=0}^n w_j B_j^n(v) P_j}{\sum_{j=0}^n w_j B_j^n(v)} - \frac{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n w_{ij} B_i^m(u) B_j^n(v) P_{ij}}{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n w_{ij} B_i^m(u) B_j^n(v)}$$

$$0 \leq u, v \leq 1$$

Метод булевой суммы основан на каркасном методе и тензорного произведения. Отличием является возможность построения трехмерных объектов сразу в 2 плоскостях.



При моделировании поверхностей с помощью этих методов предполагается, что исходные данные в виде массивов точек, характерных линий поверхностей и определяющих их функции выполнены либо получены в результате решения прикладных задач, с натуральных макетов или в процессе физических экспериментов.

Для процесса формирования изображения объекта и последующей модификации двумерных обводов наиболее приспособленным является метод тензорного произведения.

2. Особенности в 3DSmax.

Неоднородный в NURBS означает, что различные области объектов обладают различными свойствами, значения которых не равны между собой. **Рациональный** в NURBS означает, что объект может быть описан при помощи математических формул.

Отличительная черта NURBS – формулировка, объединяющая параметрические кривые и поверхности, позволяющая представлять B-сплайн и кривые Безье.

NURBS использует математические алгоритмы, которые позволяют виртуально задать любую поверхность или кривую уравнением. Существует 2 вида кривых типа NURBS:

- Point Curves
- CV Curves

Point Curves – кривые, проходящие через контрольные точки.

CV Curves – кривые, управляемые контрольными точками.

Разница между ними заключается в способе управления. В Point точки лежат непосредственно на самом объекте или объект проходит через эти точки. Curves кривые управляются вершинами, которые располагаются вне объекта и связаны между собой линейно.

Отличие CV от Безье – локальное воздействие управляющих вершин NURBS с использованием веса.

Для создания NURBS объекта могут использоваться кривые и объекты.

Создание NURBS-объектов:

NURBS –кривые: Create->Shapes->Nurbs Curves

NURBS-поверхности: Create->Geometry->Nurbs Surfaces

Обычно работа начинается с кривых, на основе которых в дальнейшем строится поверхность. Все NURBS объекты делятся на зависимые и независимые (исходные).

Во вкладке Create можно создать 5 независимых объектов:

- | | |
|----------------|---------------------|
| - точка | - поверхность CV |
| - кривая CV | - поверхность Point |
| - кривая Point | |

Все другие зависимые объекты собраны в группах типа Dependent. Если в процессе работы необходимо использовать какой-либо объект, который не является NURBS-объектом, то его можно присоединить с помощью команды Attach или Attach Multiple (присоединить множество). Кнопками Import, Import Multiple (импорт множества) объекты просто добавляются к объекту NURBS без их преобразования.

Основные объекты для редактирования:

- | | |
|--------------|------------|
| - Point | - Curve |
| - Surface | - Curve CV |
| - Surface CV | |

NURBS используют свою систему привязок:

- CV – привязка к вершинам типа CV
- Curve Center – к центру вычисляемого программой кривой
- Curve Tangen – к касательной
- Curve End – к концу кривой
- Curve Normal – к нормали поверхности
- Curve Edge – к краю кривой (относительно кривой)
- Surf Center – к центру поверхности
- Point – к вершинам типа Point
- Surf Edge – к поверхности

Кнопкой Clear All сбрасываются все флажки привязки. При нажатии клавиши совместно с правой кнопкой мыши получится временная привязка.

На уровне Curve CV или Point можно добавить точки, вставлять точки не меняя форму кривой (кнопка Refine), подгонять кривую под новую точку (Insert), удалять точку (Delete), расширять кривую, т. е. продолжать ее с какого-либо края (Extend). Для того, чтобы расширить кривую, нужно выделить одну из двух конечных точек, после того, как она окажется в синем квадрате нужно не отпуская кнопку мыши потянуть ее. Можно соединить 2 точки в одну – Fuse (выделить соединяемые точки после того, как зажать кнопку).

Рекомендации по созданию NURBS поверхности:

- 1) При задании поверхности рекомендуется назначать двусторонний материал, т. к. 3ds max отрисовывает все поверхности, исходя их положения нормалей, а NURBS поверхности по умолчанию повернуты к наблюдателю изнаночной стороной, которая не видна.
- 2) Для того, чтобы отрисовать нужную сторону поверхности используют поворот нормали или используют кнопку Flip Normals.
- 3) В сплайнах NURBS контрольные точки находятся вне кривой и для управления кривой используются точки плотности или весовые точки. Кроме того, имеются угловые точки, определяющие количество контрольных точек на избранном отрезке кривой, поэтому для уменьшения нагрузки на процесс рекомендуется уменьшить количество промежуточных точек на кривых и поверхностях.
- 4) Иногда в 3ds Max положение объектов или настройки не позволяют создавать подобъекты, тогда линии отображаются оранжевым цветом вместо результата. Чтобы это изменить, необходимо изменить положение объектов или настройки.

Лекция 6. Раздел 2. Основы моделинга

Тема: Лоскутное моделирование

1. Основные понятия лоскутного моделирования.
2. Особенности работы в 3DsMAX.

1. Основные понятия лоскутного моделирования

Лоскут — это плоская сетка, состоящая из ряда фрагментов. Моделирование на основе лоскутов основано на использовании поверхностей, форма которых контролируется при помощи решётки деформаций. Решётка имеет вершины, называемые **управляющими точками**, используется для корректировки формы поверхности объекта.

Сечение деформируемой поверхности вдоль координатных осей представляют собой сплайны, а управляющие точки умеют касательные векторы с управляющими маркерами. Касательные к каждой вершине имеют 2 режима: **угловые** (corner) и **копланарные** (coplanar) — лежащие в одной плоскости. При этом аналогично вершинам Безье их можно преобразовывать одну в другую.

Лоскутные объекты определяются решёткой, которая порождает поверхность. Структура решётки может быть составлена из двух типов лоскутов: Quad Patch (четырёхугольные) и Tri Patch (трёхугольные).

Поверхность лоскута является результатом решётки и не может редактироваться непосредственно (отдельно от лоскутов). Это позволяет в любое время определить плотность поверхности лоскута, упрощать или усложнять его в зависимости от требуемой детализации. Такое упрощение или усложнение является возвратным.

2. Особенности работы в 3DsMAX

Чтобы создать лоскутную сетку, выбирается на панели Create→Geometry→Patch Grids. Основным инструментом редактирования является Edit Patch. Как и Edit Mesh, Edit Patch сохраняет каждое выбранное редактирование, поэтому количество операций может загружать оперативную память, объём файла при этом не изменяется. Для того, чтобы разгрузить оперативную память, после создания конечного объекта его преобразуют в Editable Patch.

Редактирование может осуществляться на уровне объектов, рёбер и вершин. Уровень объектов предоставляет возможность добавления других лоскутных объектов и сохранения управления плотностью каркаса всего лоскутного объекта. Для этого служит параметр Steps.

В отличии от режима Edit Mesh (или подобного), в **Edit Patch отсутствует клонирование объектов**. Для создания копии, используется опция Копии для отсоединения лоскута от группы.

Присоединение реализуется функция **Attach**, обычно его используют для сшивания лоскутов в один, поскольку применяется в рамках только одного лоскутного объекта. В процессе присоединения выделенный объект переориентируется так, чтобы подходить к объекту Edit Patch, при этом объект центрируется в соответствии с его центром создания и совмещается с центром объекта, к которому он присоединяется.

В случае использования трансформации масштабирования к исходному объекту может измениться геометрия модели в целом в результате присоединения разномасштабных элементов. При перемещении вращений или масштабирования лоскута, трансформируются все его вершины. Удаление лоскутов приводит к удалению только отдельных лоскутов, при этом совместные рёбра прилегающих лоскутов сохраняются.

Для режима трансформации могут использоваться 2 метода:

- Auto Interior (внутренние вершины перемещаются совместно с лоскутом);
- Manual Interior (замораживает внутренние вершины в результате чего они не перемещаются).

Изменение режима лоскута с мануал на авто удаляет состояние внутренних вершин, независимо от того, когда и как были установлены их позиции. Внутренние вершины вернуться к своим позициям по умолчанию как только добавляется Edit Patch и лоскуты перемешаются в режим авто. Разрешение стека модификаторов не защищает положение внутренних вершин от данной переустановки.

Лоскуты ведут себя во многом подобно сплайнам. Соответственно, у лоскута также присутствуют контрольные точки для определения его кривизны. Кривая проходит через первую и последнюю точки и интерполируется между двумя средними точками. Таким образом, вершины являются конечными управляющими точками, а векторы (направляющие) определяют промежуточные управляющие точки.

Рёбра лоскута охватывают его по периметру, независимо от того, какой это лоскут и имеют 3 соединённых сегмента линий, при этом они соединяют 4 определяющие точки кривой Безье. Каждое ребро начинается и завершается вершиной, сегментами, определяемыми положением векторных направляющих. Соответственно, между вершинами лоскута существует 2 векторных направляющих и вершины имеют столько векторов, сколько рёбер у неё пересекает.

Особенности лоскутного моделирования на уровне рёбер (Edge). Работа с ребром лоскута заключается в одновременном манипулировании двумя вершинами. Чтобы убедиться в правильности выбора ребра нужно видеть всю решётку, то есть сетку из управляющих вершин векторных направляющих и промежуточных вершин. Уровень Edge рёбер обычно используется для добавления новых лоскутов. Как и лоскуты, рёбра не могут

влиять на внутренние вершины, которые находятся в режиме Manual Interior. Они остаются вне трансформации ребра. Чтобы вернуть внутренние вершины к их положению по умолчанию, используется режим Auto Interior. Новые лоскуты добавляются к лоскутам, принадлежащим выбранному ребру по касательной. При добавлении лоскутов к сложным моделям они могут проектироваться под новым углом, при этом не имеет значения какое ребро будет выделяться, поскольку при объединении с существующим лоскутом, новый лоскут принимает свойства предыдущего. Если лоскут появляется под перекошенным углом, то вместо базового ребра выбирают другое базовое ребро, такое, чтобы новые вершины были удобны для последующих трансформаций и объединений. Использование клавиши Delete с выбранным режимом рёбер приводит к удалению всего лоскутного объекта.

Особенности лоскутного моделирования на уровне вершин (Vertex). Это основной уровень для лоскутного моделирования. В нём доступны критические тангенсальные вектора, которые позволяют влиять на окружающую поверхность. Плотность лоскута, управляемая на объектном уровне с помощью параметра Steps не оказывает влияние на редактирование вершин. Соответственно, каждой из вершин могут быть доступны 2 опции:

- ♦ **Corner** – позволяет возможность настраивать каждый вектор независимо, при этом редактирование одного вектора не влияет на остальные.
- ♦ **Coplanar** – настраивает направляющие вершин на связь друг с другом, и затем замыкает вектора так, чтобы они сохраняли эти связи между собой. В итоге происходит выравнивание векторных направляющих на общей плоскости.

Для моделирования сложных форм обычно применяют угловые вершины и перед самым завершением работы заменяют на компланарные.

Вращение и масштабирование вершин происходит в локальной системе координат, которая выравнена также, как и сам объект. Для вращения относительно других объектов заменяют тип системы координат. В отличие от каркасных вершин для объединения вершин лоскутов применяются следующие правила:

1. Лоскуты должны принадлежать одному объекту;
2. Объединение может осуществляться только между разомкнутыми рёбрами.
3. Если в результате объединения формируется ребро, которое можно использовать более, чем двумя лоскутами, то такое объединение не будет происходить.
4. При попытке объединения вершины, которая не находится на разомкнутом ребре, объединение игнорируется.

5. Нельзя объединять 2 вершины одного и того же лоскута.

Для того, чтобы добавить подобъект нужно создавать линии, проходящие почти по всему объекту, так как в режиме Edit Patch отсутствуют опции Cut и Collapse (соединение, объединение всех вершин в одну).

Переключение с лоскутного моделирования на каркасное осуществляется простым переводом объекта в Edit Mesh, это связано с тем, что поверхность модели практически идентично каркасу. Обратный переход не рекомендуется. Предпочтительным является создание с помощью лоскутного моделирования, его преобразование в каркасное, а для перехода обратно к лоскутному использовать Edit History. Иначе происходит значительное увеличение сложности геометрии модели.

Лоскуты, сгенерированные стандартными примитивами, начинаются с покрытий (отчётливо жёстких рёбер) и поддерживают эти жёсткие рёбра постоянно. В итоге образуется прерывистость сглаживания, которые устраняют модификатором Smooth или Edit Mesh.

Если имеется лоскутная модель и необходимо чтобы результат вёл себя как каркас, а не как лоскут, применяется модификатор типа Normal, который преобразует модель в каркасную.

Лекция 7. Раздел 2. Основы моделинга

Тема: Моделирование составных 3D-объектов

1. Типы составных объектов.
2. Объекты, созданные на основе опорных сечений.
3. Использование модификаторов.

1. Типы составных объектов.

Все составные объекты расположены во вкладке Compound Object. Выделяют следующие типы:

1. **Morph** (морфинговые) – состоят из двух и более объектов с одинаковым числом вершин. Эти объекты используются для создания анимаций морфинга с помощью интерполяции вершин одного объекта в вершины другого. При этом выделяют базовый объект (Base) и целевой (Target). Обязательным условием является наличие одинакового числа вершин. Базовый объект может быть преобразован в несколько целевых. Порядок расположения целевых объектов определяет порядок выполнения операции Morph. В 3DsMAX предусмотрено несколько средств выполнения морфинга: создание составного объекта morph или применение модификатора morph.

2. **Scatter** (распределённые) – исходные объекты располагаются в сцене случайным образом, тип включает в себя объект-источник и распределяемый объект, который распределяется по поверхности объекта-источника. В объектах scatter предусмотрено наличие источника (source), который является размещаемым объектом, и наличие распределяемого объекта (distribution). При этом можно использовать различные виды трансформации (поворот, масштабирование, соединение и т. д.). При этом могут быть наложены ограничения на использование максимального диапазона и изменение соотношения размеров.

3. **Conform** (соответствующие) – объект этого типа окружает вершины одного объекта в другом, в результате происходит имитация эффекта морфинга между объектами с различным числом вершин. Данный объект используется для выдавливания одного объекта на поверхности другого. Используется для создания деталей. Модифицированный объект называется обёрткой (wrapper), а второй называется оборачиваемым (wrap-to), при это оба объекта должны быть каркасами, или преобразованными в каркас. Существует возможность выбора направления проецирования, вращения объектов, а также искривления пространства Conform.

4. **Connect** (соединяющийся) – два объекта с открытыми гранями соединяются между собой с помощью дополнительных граней. В результате образуется целый единый объект. Применяется только к объектам, имеющим отверстие. Если в объекте существует несколько отверстий, применение Connect позволить их залатать.

5. **Blob Mesh** (капельный каркас) – шарообразный объект, позволяющий соединить один объект с другим с использованием эффекта перетекание элементов. Используются для моделирования течения жидкостей и мягких органических материалов, при этом количество объектов должно быть более одного. После применения объектов Blob Mesh к выбранному объекту, каждая вершина соединяется с объектом Blob Mesh. Если объекты велики и перекрываются, то они образуют общий объект в форме перетекающих частиц. Часто применяется для потока частиц (Particle Flow).

6. **ShapeMerge** (слитые) – данный тип позволяет соединить сплайн с каркасным объектом или вычесть область сплайна из каркасного объекта. Используется для выдавливания части каркасного объекта с помощью сплайнов. То есть обязательно наличие и каркасного и сплайнового объектов. При этом сплайновая фигура всегда ограничена направлением отрицательной оси Z. Таким образом, сплайн можно применить к разным сторонам объекта. К одному каркасному объекту можно применить несколько сплайновых фигур.

7. **Boolean** (булевы) – объекты создаются с помощью булевых операций: исключение (Subtraction), пересечение (Intersection), обрезание (Cut), объединение (Union). Применяется для перекрывающихся объектов. Все булевы операции помещаются в стек модификаторов, что позволяет в процессе редактирования изменять их параметры пот отдельности. Основные правила создания булевых объектов:

- Все грани объектов должны иметь приблизительно одинаковую ширину и высоту. Соотношение сторон не должно превышать 4:1.
- При использовании криволинейных объектов является нежелательным пересечение их между собой.
- Для применения булевых операции к связанным объектам используется ProBoolean.
- Нежелательным является использование объектов, содержащих модификаторы. Такие объекты сначала необходимо перевести в редактируемые каркасы (Editable Mesh), а затем применить операции.
- У объектов не должно быть отверстий, перекрывающихся граней и несвязанных вершин. Для проверки используется модификатор STL Check.
- Нормали объектов должны быть согласованы.

8. **Terrain** (ландшафтные) – из контуров высот создаются ландшафты аналогично топографическим картам. Создают ландшафты из сплайнов, представленных контурами уровней высот. При этом сплайны должны быть соединены в один объект или быть закрытыми. Позволяет выбирать форму

ландшафта и отображать его в виде каркаса, линий и контуров. Так же можно управлять цветом уровней высот.

9. **Meshер** (смешивающие) – позволяют применить к системам частиц модификаторы. Особенностью применения Mesher является возможность применения нескольких сложных модификаторов как к отдельному объекту, так и к нескольким объектам в пределах одного общего объекта.

10. **Loft** (опорное сечение) – позволяют объединить опорные сечения в единый каркас.

2. Объекты, созданные на основе опорных сечений.

Loft-объекты строятся путём формирования оболочки по опорным сечениям, расставляемым вдоль некоторой заданной траектории. В основе loft-объектов необходимо наличие как минимум двух сплайновых фигур: сплайны-пути, вдоль которых происходит расстановка опорного сечения, и сплайны-сечения (формы). При этом форма пути может содержать только один сплайн, а сплайны сечений (формы) неограниченное количество.

Создание loft-объектов можно производить двумя способами:

1. Выделенным сечениям указать путь (Get Path).
2. На основе пути указать сечение (Get Shape).

При создании loft-объектов обязательным является выделение либо одного из объектов, либо нескольких.

На внешний вид loft-объектов влияют параметры, устанавливаемые Surface Parameters (параметр поверхности) и Skin Parameters (параметр оболочки). В параметрах поверхности управляют степенью сглаживания оболочки вдоль и поперёк пути. Параметр оболочки задаёт плотность каркаса, метод интерполяции, положение сплайна-сечения относительно сплайнов-пути, особенности поворота сечений при изгибах пути, масштабирование сечений и положение нормалей.

После создания объекта на основе опорных сечений во вкладке Modify появляется разворачивающаяся панель деформаций (Deformations). Эта панель содержит 5 кнопок:

- Scale (масштаб) – изменяет размер сечений;
- Teeter – сгибает объекты;
- Twist – позволяет перекручивать сечения;
- Bevel – скашивает углы;
- Fit – подгоняет форму.

Группа средств **Surface Tools** позволяет модифицировать поперечное сечение и поверхности по отдельности и совместно. Например, Cross Section позволяет соединить несколько сплайновых фигур прямыми линиями, образуя каркас, а затем, с помощью модификатора Surface натянуть оболочку. Отличия между Surface Tools и объектами Loft:

- ♦ Неправильный порядок сечений при выделении Cross Section является необратимым, в отличие от loft-объектов;

- ◆ С помощью Surface можно добавлять новые ветки и части, в то время как в Loft-объектах это затруднено;
- ◆ Loft-объекты используются при моделировании искусственных тел с постоянными сечениями, Surface Tools – для моделирования органических природных поверхностей.

3. Использование модификаторов.

Модификаторами называются действие назначаемое объекту, в результате чего свойства объекта изменяются, при этом действие может быть ограничено и применено не ко всему объекту, а к его части.

Модификатор также может служить для управления положением текстуры на объекте или изменять физические свойства объектов (например, сделать его гибким).

Примененные к объекту модификаторы сохраняются в стеке модификаторов. **Стек модификаторов** – это аккумулированная история моделированного объекта. Действие в стеке усиливаются от начала к концу.

Модификаторы можно копировать, перемещать и применять для других объектов, в том числе наборам объектов. Модификаторы различаются в зависимости от воздействия на объект на топологические и параметрические, в зависимости от пространства на модификаторы мирового пространства и модификаторы пространства объектов.

Топологические модификаторы позволяют манипулировать топологией объекта (модификаторы группы Edit). **Параметрические** модификаторы изменяют форму объекта или другие его характеристики за счет добавление в его описание новых наборов параметров.

Модификаторы **пространства объектов** оперируют непосредственно на уровне топологии объекта в его объектном локальном пространстве. Результат применения такого модификатора не зависит от возможных аффинных преобразований.

Модификаторы **мирового пространства** применяются подобно модификаторам пространства и принадлежат объекту, но реализуются в мировом пространстве.

Отличие модификаторов от аффинных преобразований	
Модификаторы, за исключением модификаторов мирового пространства, воздействуют на объект на объект в его объектном пространстве.	Аффинные преобразования работают с объектом в мировом пространстве.
Модификаторы оперируют на подобъектом уровне и могут изменять внутреннюю структуру объекта.	Результат аффинного преобразования объекта не зависит от внутренней структуры объекта.

К объекту можно применить несколько модификаторов.	Аффинные преобразования – единичные и определяют его итоговое положение, ориентацию и масштаб в мировом пространстве.
--	---

Модификаторы обладают следующими свойствами:

- Могут быть применены ко всему объекту или набору его подобъектов;
- Итоговый результат модификации объекта зависит от последовательности применения этих модификаций;
- Отображаются в стеке модификаторов как отдельные записи.

Аффинные преобразования имеют следующие свойства:

- Применяются ко всему объекту;
- Сохраняются в матрице аффинных преобразований в виде результирующего значения в независимости от числа и последовательности примененных преобразований;
- При визуализации объекта расчет матрицы преобразований происходит после вычисления модификаторов пространства объектов, но перед вычислением модификаторов мирового пространства.

Иногда необходимо выполнить преобразование в конкретной точке стека модификаторов, данное преобразование может быть осуществлено следующими способами:

- Применением одного из модификаторов Edit (в этом случае нельзя будет применять анимацию);
- Преобразование центра модификатора или гизма;
- Использование специального модификатора xForm, позволяющего анимировать преобразование подобъектов, выбранных с помощью модификаторов Edit.

Чем раньше в потоковой схеме сделаны изменения, тем сильнее оно повлияет на окончательный вид объекта. Применение модификаторов осуществляется снизу в верх.

Основные правила:

1. Применение параметров объектов предпочтительнее использованию аффинных преобразований.
2. Если эффект аффинного преобразования является последним влияющим на расположение объекта на сцене или его размеров, то данный объект необходимо преобразовать.

Лекция 8. Раздел 3. Композиция принципы её реализации

Тема: Композиция сцены

1. Принципы композиции.
2. Способы визуализации, эффекты.

1. Принципы композиции.

Организация объектов на сцене, их взаимодействие с внешним окружением и способ, в соответствии с которым они наблюдаются, объединяются в форму, называемую композицией.

Композицию можно определить как взаимосвязь художественных впечатлений от элементов сцены в едином пространстве.

Средствами композиции являются: объёмно-пространственная структура, симметрия и асимметрия, контраст, ритм.

Объёмно-пространственная структура характеризуется внутренним строением предмета и его связью с внешней средой.

Ритм обусловлен строением формы как средство чередования объектов или равномерного их движения.

Различают статическую и динамическую композицию. **Статическая композиция** отвечает за содержание зафиксированных изображений (картины, неподвижные фотографии, элементы интерьера). **Динамическая композиция** учитывает ежесекундное изменение как внутри единичного объекта, так и относительно группы последовательных сцен, при этом объект может быть подвижным и неподвижным. В случае неподвижного объекта применяется движение камеры внутри.

Основные принципы композиции:

- ✓ В сцене должен быть композиционный центр, при этом он не является географическим центром изображения, а служит тематическим фокусом сцены.
- ✓ Характерные элементы должны быть сгруппированы однородными признаками (формой, цветом, текстурой).
- ✓ Количество основных цветов в сцене не должно превышать четырёх. Стоит избегать пестроты (желательно располагать пёстрые предметы на однородном фоне и наоборот).
- ✓ Все элементы должны быть сгруппированы по 2-3 предмета в композиции. Иначе говоря, сцена не должна быть загромождена.
- ✓ Существует взаимосвязь между группами предметов, линиями, пластикой. При этом основой динамической композиции служит неравносторонний треугольник, статической – симметрия. Расположение объектов часто используется принципы золотого сечения, правило третей, применение изогнутых линий как подчёркивающих элементов.

- ✓ Необходимо соблюдать зрительное равновесие сцены: положение тяжёлых предметов ниже по сравнению с лёгкими. При этом необходимо учитывать особенности предметов.
- ✓ Соблюдение законов перспективы позволяет придать объектам классическую форму, либо наоборот избежать классики в линиях.

Правило третьей заключается в разделении изображения на 9 одинаковых частей с двумя вертикальными и горизонтальными линиями. Наиболее важные точки – верхнее правое пересечение линий и левое нижнее. В соответствии с этим правилом часто располагают горизонт или пейзажах в интерьере.

Принцип золотого сечения использует диагональ и деление её на 3 отрезка двумя точками. Наиболее важная точка – правый нижний угол.

При создании сцены и установке камеры, через которую она транслируется, нужно стремиться к получению перспективного изображения соответствующего зрительного восприятия человека. Оптимальный угол обзора: 28-37 градусов. При настройке виртуальных камер угол обзора обратно пропорционален фокусному расстоянию. Чтобы зритель, смотрящий на сцену становился его участником, фокусное расстояние камеры должно примерно в полтора раза превышать размер основания конуса, определяемого углом обзора камеры.

При применении линии в кадре, глаз в первую очередь следует за ними. Для улучшения композиции могут использоваться диагональные, прямые, радиальные и зигзаги.

Обрамление также очерчивает границы кадра и усиливает композиционный центр. В 3DsMAX важно правильно устанавливать ИСО так, чтобы не потерять фотореалистичность и сохранить глубину изображения.

2. Способы визуализации, эффекты.

Визуализация – это получение готового законченного изображения.

Принципы визуализации:

- **Детализация** – прежде чем приступать к проработке деталей, необходимо уточнить положение этого объекта в сцене и отметить, насколько заметны будут детали этого объекта. Например, при создании конструкции не всегда видны швы. В зависимости от того, как далеко будет находиться эта конструкция от наблюдателя, швы могут быть незаметны, поэтому нет необходимости дополнительной детализации объекта. С другой стороны, если моделируется какой-то нереальный объект, необходимо продумать особенности его трансформации.

- **Применение качественных материалов и текстур** – учитываются практически все свойства материала, а именно отражение, глянецвидность, способ падения тени, особенности рассеивания поверхности материала. Например, для металлизированных предметов наблюдается явление

анизотропии (неравномерность) отражения, когда в зависимости от формы и вида поверхности происходит искажение отражения или формы бликов. При наложении текстурных карт следует избегать швов и мозаичности структур. Для некоторых объектов для повышения фотореалистичности часто приходится накладывать эффекты пыли, царапин, грязи.

- **Правильное размещение объектов и положение камер** – все объекты должны находиться на своих местах, определяющих их назначение. Для придания более естественного положения объектов они должны располагаться немного хаотично. Для придания глубины помещения камеры располагают так, чтобы появлялись некоторые перспективные искажения.

- **Применение различных источников освещения** – освещение практически любого пространства состоит из направленного и рассеянного света. Рассеянный свет формирует окружение, а направленный создаёт световые акценты. В зависимости от вида сцены (помещения, экстерьер или отдельно расположенный объект) необходимо подбирать в сочетании этих двух составляющих. В помещениях с искусственным освещением прямой свет будет сымитирован направленными световыми источниками, создающим световые акценты. Окружающим будет свет от источников рассеянного излучения (лампы дневного света, абажур и свет, отражённый предметами). Также следует помнить, что каждый источник освещения имеет свою цветовую температуру (например свет лампы накаливая – светло жёлтый). При искусственном освещении без участия солнечного света необходимо учитывать явление переноса цвета, когда тени, полученные от источника освещения и от объекта, могут подцвечиваться.

- **Применение эффектов постобработки** – к эффектам пост обработки относятся: линзовые эффекты фото- и видеокамер, эффекты воздушной перспективы, эффекты объёмного света, атмосферные эффекты. Использование таких эффектов позволяет улучшить правдоподобность изображения, скрыть некоторые недостатки этого изображения. Для применения параметров к эффекту визуализации используют окно диалога Рендеринг.

Для создания атмосферных эффектов выполняют команду Rendering – Environment, после чего откроются следующие **атмосферные эффекты визуализации**:

- Fire Effect (Эффект огня)
- Fog (Туман)
- Volume Fog (Объёмный туман)
- Volume Light (Объёмный свет)

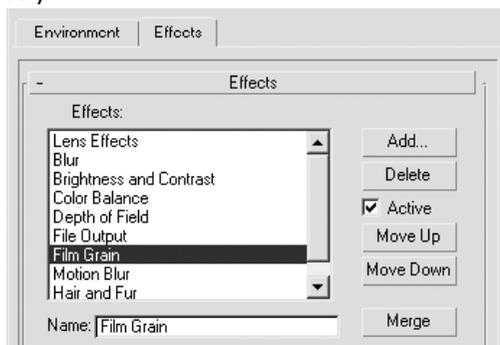
Эти эффекты, применённые к сцене, становятся видимыми только после визуализации. Зона действия атмосферных эффектов может быть ограничена установкой ближней или дальней границы, границей светового

луча или настройкой параметров. Чтобы ограничить действие эффекта огня и объёмного тумана применяется габаритный контейнер разной формы – параллелепипед, сфера или цилиндр. При этом контейнеры можно вращать, поворачивать, масштабировать.

Оптические эффекты визуализации.

Фильтры Lens Effects (Эффекты линзы):

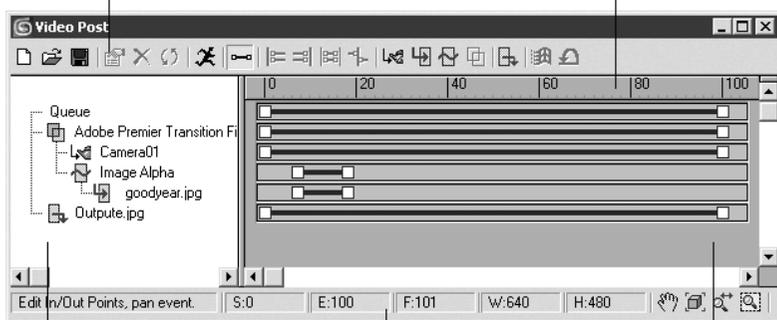
- Glow (Сияние),
- Ring (Круг),
- Ray (Луч),
- Auto Secondary (Вторичные автоблики),
- Manual Secondary (Вторичные блики ручной настройки),
- Star (Звезда),
- Streak (Полоса)



Модуль Video Post (Видеомонтаж)

Панель инструментов

Временная шкала



ю очереди событий

Строка состояния

Окно шкалы времени

Модуль оперирует следующими типами событий:

- назначить визуализатор из списка установленных;
- настроить общие параметры визуализатора (такие как визуализация эффектов, визуализация полями, смещения и т. д.);
- включить или выключить из итоговой визуализации показ материалов, расчет теней, отражения и т. д.;
- включить или выключить сглаживание и фильтрацию текстурных карт.

Программный модуль видеомонтажа предназначен для обработки визуализированных изображений с целью получения таких эффектов, как блики, свечение, создание межкадровых переходов, добавление внешних изображений. Модуль вызывается командой Rendering – Videohost.

Лекция 9. Раздел 3. Композиция принципы её реализации

Тема: Источники света и камеры

1. Типы источников освещения.
2. Параметры настройки осветителей и камер.
3. Модели затенения.

1. Типы источников освещения.

Точечные источники света – излучают свет по всем направлениям. При их задании необходимо определять положение в пространстве.

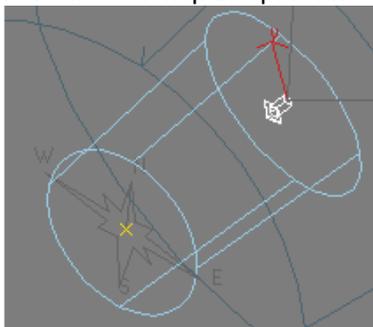
Прожекторы – излучает свет не во всех направлениях, а в пределах определённого конуса. При задании необходимо определять не только местоположение источников света, но и величину угла в вершине конуса света. Примером прожектора может являться настольная лампа.

Направленный свет (directional) – представляет собой свет, идущий из одного определённого направления, задаваемый либо в векторной форме, либо при помощи координат точек, лежащих на одном из его параллельных лучей.

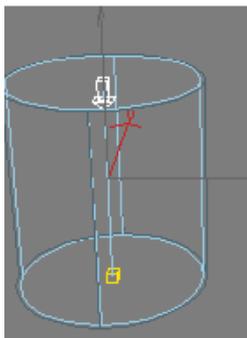
Фоновое освещение (background) – окружающий объект освещен от удалённых источников, чьё положение и характеристики не известны.



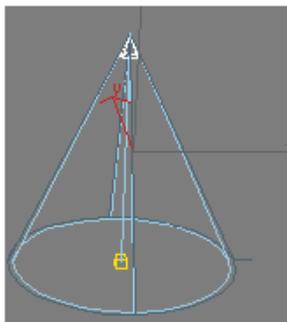
Всенаправленный источник



Система солнечного света



Нацеленный направленный источник



Нацеленный прожектор

Помимо стандартных источников освещения 3DsMAX также использует 2 системы имитации света для освещения открытых сцен:

- Система солнечного света;
- Система дневного света;

Фотометрические источники света, которые отличаются от стандартных тем, что позволяют точно установить силу света, расстояние до источника света и интенсивность светового потока, моделируя реальные фотометрические величины.

Кроме освещения сцены и объектов сцены используется также понятие глобальной освещённости.

Глобальная освещённость (global illumination) – суммарная освещённость объектов трехмерной сцены, которая создается как прямыми лучами света, испускаемыми осветителями, так и лучами, многократно отраженными от различных тел сцены.

Признаки:

- отсутствие потребности в большом количестве осветителей;
- наличие полупрозрачных теней за счет дополнительного подсвечивания затененных областей отраженными лучами света;
- цветовое тонирование объектов светом, отраженным от близлежащих объектов сцены, имеющих выраженную раскраску.

Алгоритмы расчета глобальной освещённости:

1. Трассировщик света.
2. Перенос излучения.

Путь: меню Rendering (Визуализация) – Advanced Lighting (Улучшенное освещение) – Light Tracer (Трассировщик света) и Radiosity (Перенос излучения).

Визуализатор mental ray: окно Render Scene – вкладка Indirect Illumination (Непрямое освещение) – свиток Final Gather (Окончательное накопление) – Enable Final Gather.

Принцип действия алгоритма трассировщика света: плоская проекция сцены разбивается на элементарные участки из точек трёхмерного пространства сцены соответствующим центрам участков разбиения, испускаются воображаемые пучки случайно ориентированных лучей света.

Для каждого такого участка освещённость вычисляется как сумма освещённостей прямыми лучами света от осветителя, а также от тел сцены которых достигли лучи, испускаемые из центрам данного участка.

Данный алгоритм обладает следующими свойствами:

- Позволяет рассчитывать многократное отражение световых лучей (повышает качество изображения, но замедляет визуализацию).
- Результат расчёта глобальной освещённости зависит от конкретного вида сцены, т. е. если изменяется вид сцены, то производится повторный перерасчёт.

- Наилучший эффект достигается при визуализации сцен вне помещения (так как нет многократного отражения лучей).

Алгоритм переноса излучения: выбор точек сцены, из которых спускаются пучки отражённых лучей, определяются положением тел в сцене, а также положением оболочек, из которых выходят воображаемые лучи света. Данный алгоритм не зависит от текущего вида сцены.

Свойства алгоритма:

- Сложен в использовании, поскольку требует подготовки источников и материалов.
- Наилучший эффект достигается для фотометрических осветителей (лучше подходит для визуализации сцен внутри помещения).
- Результаты расчета не зависят от конкретного вида сцены.

2. Параметры настройки осветителей и камер.

3DsMAX позволяет управлять цветом и градациями освещения, а также исключать из сцены объекты, на которые свет не должен падать.

Настройка источников света:

- **Type** (Тип);
- **On** (Включить);
- **Shadows** (Тени);
- **Color** (Цвет);
- **Include/Exclude** (Включить/Отключить);
- **Multiplier** (Множитель);
- **Contrast** (Контраст);
- **Soften Diff. Edge** (Смягчить границу рассеяния);
- **Diffuse** (Диффузная область);
- **Specular** (Зеркальный блеск);
- **Ambient Only** (Только подсветка);
- **Hot Spot and Falloff** (Пятно освещения и спад);
- **Attenuation** (Затухание);
- **Decay** (Спад);
- **Projector Map** (Проецируемая карта);
- **Targeted** (Цель).

Наиболее часто встречаются 2 варианта освещения:

♦ **Трёхточечная** использует три источника: ключевой, контурный и заполняющий. *Ключевой* является основным, самым ярким освещающим большую часть сцены, благодаря ему объекты в сцене отбрасывают тень. *Контурный* свет определяет глубину пространства, разделяя основные предметы и фон, обычно располагается позади объектов сцены и слабее ключевого. **Заполняющий** – общий рассеянный свет, придаёт мягкость предметам и теням.

♦ **Местная**, применяется для освещения отдельных участков сцены, когда их невозможно осветить трёхточечным освещением.

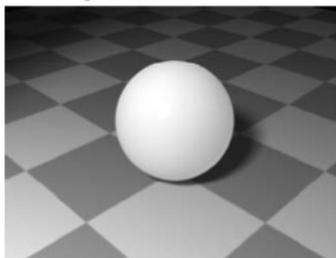
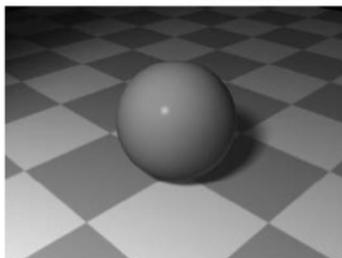
При освещении важно управлять расстояниями до источника света и углом установки источника света по отношению к сцене, учитывать свойство поверхности.

3. Модели затенения.

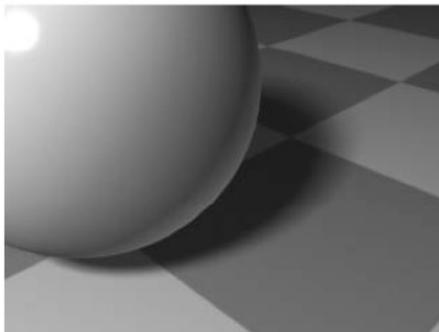
Тени позволяют увеличивать реалистичность изображения. Имеют следующую структуру:

- **Блик** – место на освещённой части предмета, где свет отражается непосредственно от источника (на глянцевых поверхностях всегда присутствует непосредственное отражение источников света).
- **Свет** – освещённая часть предмета.
- **Полутень (полутон)** – переход между светом и собственной тенью, а также переход между тенью и рефлексом.
- **Тень** – самое тёмное место, на которое не попадает ни прямой свет, ни отражённый.
- **Рефлекс** – место собственной тени на предмете, на которое попадает отражённый свет от другого освещённого предмета (от поверхности) или от освещённой части того же предмета.
- **Падающая тень** – самая тёмная градация среди теней, по мере удаления предмета границы размываются, сила тона слабеет.

Основы освещения



Изображение теней



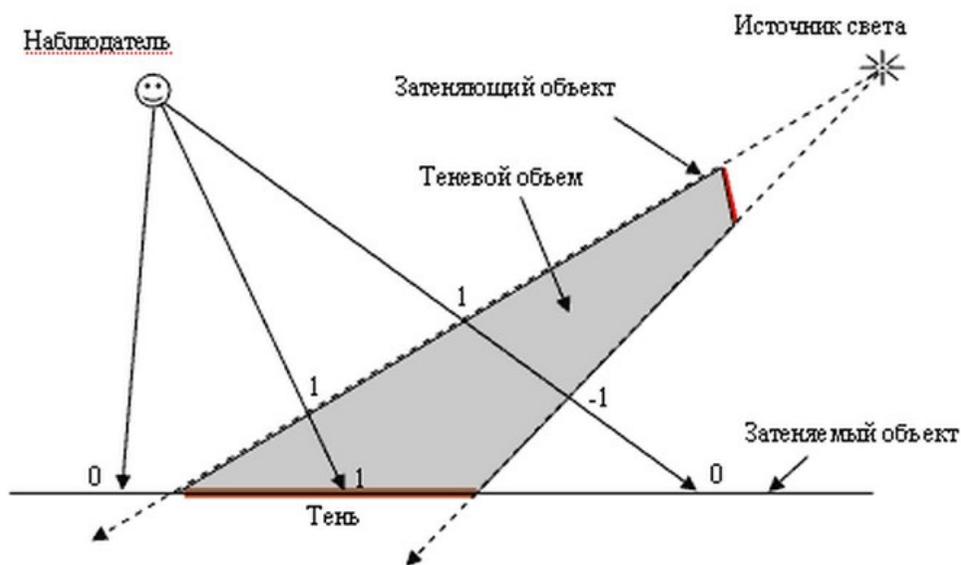
Линии, ограничивающие тень, называются **границей (контуром) тени**.

Собственной тенью называется неосвещённая, обращённая от источника света часть поверхности предметов.

Грани, затемнённые собственной тенью, являются не лицевыми, если точку наблюдения совместить с точкой источника света.

Падающая тень – это область на обращённой к источнику света части поверхности предмета, закрытая от лучей света другим предметом и частью данного предмета. Чтобы найти такие тени нужно построить проекции всех нелицевых граней относительно источника света на сцену. Центр проекции находится в источнике. Точки пересечения проецируемой грани со всеми другими плоскостями образуют многоугольники, которые помечаются как теньевые и заносятся в структуру данных.

Построение теней



При синтезе изображения на компьютере обычно рассматриваются точечные источники света, которые создают только полную тень, а не полутень. На точность вычислений влияет положение источника света и чем более удалён источник, тем проще проецировать тень (в бесконечности хороший вариант). Самой сложной задачей является определение теней, когда источник находится в поле зрения сцены, тогда необходимо делить пространство на сектора и рассчитывать каждый сектор отдельно.

Выделяют 3 класса алгоритмов построения теней:

1. Вычисление затенения в процессе преобразования в растровый вид.
2. Разделение поверхности объекта на теньевые и нетеньевые площади, предшествующие преобразованию в растровый вид.
3. Включение значения теней в данные, описывающие объект.

Этот алгоритм основан на принципе отбрасывания лучей и сопряжения с алгоритмами трассировки лучей.

Основная цель алгоритма трассировки лучей – это удалить невидимые поверхности, учесть эффекты отражения и пропускания света.

Третья группа алгоритмов использует двухпроходные алгоритмы построения сканирования, а для второго – Z-буфера.

Один проход выполняется относительно наблюдателя, второй – относительно источника света. Алгоритм построения сканирования обрабатывает сцену в порядке прохождения сканирующей прямой, в результате чего трёхмерная задача сводится к двумерной задаче.

Алгоритм Z-буфера – используется дополнительный двумерный массив памяти (Z-буфер) для хранения Z-координаты (глубины каждого пикселя экрана). В процессе сканирования поверхность преобразуется в значение пикселей в кадровом буфере.

Лекция 10. Раздел 3. Композиция и принципы её реализации

Тема: Материалы и цвет в 3DsMAX

1. Основы текстурирования, типы и свойства материалов
2. Распределение текстур по объектам
3. Текстурные развертки, маппинг

1. Основы текстурирования, типы и свойства материалов

Тестурирование позволяет придать поверхности вид реального материала. **Цвет** — один из простейших свойств материала. Цвет может быть:

- основным, определяющим покрытием всего объекта
- обтекающим, т.е. определяющим влияние фонового освещения
- зеркальным, т.е. определяющим цвет наиболее ярких участков

блестящей поверхности.

При создании материалов определяются такие свойства объектов, как:

- отражение (Reflection)
- преломление (Refraction)
- прозрачность (Opacity)

Кроме этого можно задать реакцию поверхности на свет, свойства отраженного света и его силу. Параметры материала задаются либо с помощью числовых значений (цвета) либо с использованием текстурных карт (растровых изображений).

Материал может присваиваться как ко всей поверхности 3D-объекта, так и к её определённым граням или участкам (составной материал).

Свойства материалов (состоит из 3 составляющих):

- отраженный цвет или цвет в тени (Ambient)
- рассеянный цвет или цвет на освещённой стороне (Diffuse)
- зеркальная составляющая или цвет бликов (Specular)

При этом настройки бликов задают интенсивность блика, ширину, величину смягчения блика в отраженном свете.

Для визуализации сцен со сложным освещением в свойствах материала можно задавать самосвечение (Self-Illumination), который даёт иллюзию самостоятельного свечения при отсутствии компонента затемнения (Ambient). Например, светящаяся гирлянда на новогодней ели.

По умолчанию все материалы непрозрачны. В стандартных опциях изменяя величину прозрачности можно получить эффект стекла. Чтобы назначить материал объекту надо выполнить действия:

1. Выделить объект (группу объектов)
2. Открыть редактор материалов
3. Выбрать ячейку с нужным образцом материала
4. Перетащить материал на выделенный объект либо назначить материал выделению (Assign Material to Selection)

Для материала характерны 3 уровня назначения:

1. Hot (горячий). Для объектов в сцене
2. Warm (теплый). Копия одноименная горячего материала
3. Cool (холодный). Материал, который не назначен ни одному объекту текущей сцены.

2. Распределение текстур по объектам

В процессе создания материалов широко используются процедурные карты, т.е. изображения, которые генерируются программным путём. Для точного размещения материала на поверхности используется понятие проекционных координат, которые указывают, как растровые карты будут размещены на поверхности объекта. Такой принцип позволяет сэкономить время а моделирование объектов. Например, окно либо оконную решетку можно моделировать с помощью полигонов либо просто присвоить материал на основе соответствующего изображения стандартным примитивам типа Box. Получение рельефности при этом основано на разности яркости цветов. Координаты проекционные можно задать несколькими способами:

- Через проекции UVW
- Через уточнённый модификатор Unwrap

3. Текстуры развертки, маппинг

Текстуры нельзя накладывать на объекты. Её можно наложить только на объекты с определённым материалом (вначале надо применить текстуру к материалу, а затем материал к объекту сцены).

Маппинг (наложение карты) состоит в наложении текстурной карты непосредственно на лицевую сторону объекты, либо применение карты при создании объёмного эффекта.

Используются следующие системы проецирования материала на поверхность:

- **Плоские** (Planar) — используются для проецирования растровых изображений на плоскость.
- **Цилиндрические** (Cylindrical) — применяются к объектам цилиндрической формы.
- **Сферические** (Spherical) — применяются к объектам, имеющим округлую форму.
- **Обтягивающие** (Shrink Wrap) — специальная система координат, применяемая для проецирования текстур на объекты сложной формы. Является сферической, но обеспечивает усечение углов карты текстуры и соединение их в 2 диаметрально противоположных точках полюсах, что дает минимальное искажение рисунка.

- **Прямоугольные трёхмерные (Box)** — применяются для отображения текстур на объектах, у которых грани расположены под углом 90° . В отличие от плоской системы координат исключается растяжение рисунка на вытянутых гранях.
- **Координаты граней (Face)** — обеспечивает размещение отдельных копий текстурной карты в центр каждой грани объекта.

Модификатор UVW-mapping позволяет расположить материал на поверхности объекта с помощью специального средства — габаритного контейнера Gizmo. Изменение размеров габаритного контейнера приводит к повторению изображения по всей плоскости объекта. Отключается опцией Tile (повтор). Для приведения в соответствие размеров графического изображения используется кнопка Bitmap Fit.

Модификатор Unwrap UVW — это развернутый модификатор координат UVW, предназначенный для сложного редактирования координат наложения карты на объект. Подобъектом модификатора является объект Select Face (выделить грань). Выделение подобъектов позволяет отобразить их в диалоговом окне Edit UVW в стеке модификаторов и назначить на каждый из них свой материал.

Общее правило создания профессиональных кадров:

1. Для наложения текстур на сложные объекты применяются специальные текстурные развертки.
2. Чтобы придать объекту реалистичность используйте эффекты износа и грязи. Чередуйте карты зеркальности
3. Отделение, а также дублирование и смещение граней элемента объекта позволяет добавлять дополнительные детали на этот объект и создать иллюзию того, что фрагменты являются частью целого.
4. Если нельзя дублировать грани можно воспользоваться вспомогательным многоугольником расположенным очень близко к каркасной сетке, наложить на него карту непрозрачности, скрывающую элементы, которые не должны отображаться.
5. Вместо создания геометрических форм лучше использовать карты-текстуры, что ускоряет визуализацию.
6. Для передней поверхности объекта обязательно должны указываться координаты наложения, иначе углубления превратятся в выпуклости.

Лекция 11. Раздел 4. Основы визуализации

1. Технологии программной визуализации
2. Особенности различных визуализаторов (рендеров)
3. Создание и вывод изображения в 3DsMAX

1. Технология программной визуализации

Визуализация – это средство, предназначенное для создания окончательного вида объектов сцены.

К технологиям программной визуализации относятся:

- **Технология Radiosity** (по методу излучательности). Основные идеи Radiosity заимствованы из физики теплового переноса, оперирующие такими понятиями, как поток энергии и плотность потока энергии. *Поток энергии* – это количество световой энергии проходящей через некоторую площадь в единицу времени. *Плотность потока энергии* – это количество энергии переносимой через единицу площади в единицу времени. *Radiosity* – это поток энергии, исходящий от единицы площади поверхности в единицу времени. Для получения уравнения Radiosity делается несколько допущений:
 - Поверхности всех объектов сцены разбиваются на плоские участки – *патчи*. Размер каждого патча должен быть настолько мал, чтобы плотность распределения интенсивности световой энергии его предела считать постоянной величиной.
 - Считать, что диффузное рассеяние света не зависит от угла, то есть свет рассеивается равномерно по всем направлениям.

Алгоритм расчёта уравнений Radiosity получил название Stochastic Relaxation Radiosity (SRR).

В алгоритме имеется некоторая случайность природы расчётов, в результате чего мелкие детали в сцене могут выпасть. Для исправления этого существует механизм дополнительного сбора излучений (regathering) за счет испуская дополнительных лучей.

Расчет методом Radiosity позволяет точно находить диффузную освещённость сцен, тени от объектов, перенос и смешивание отражённого цвета от одних поверхностей на другие. Расчёт не зависит от положения наблюдателя, но затрудняются расчёты отражений и преломлений вблизи зеркальных углов или поверхности. Имеются трудности в расчёте больших открытых сцен. Метод Radiosity не применим для прозрачных поверхностей.

- **Метод фотонных карт (Mental Ray).** Он состоит в двухпроходной технологии расчёта освещённости поверхности трёхмерных объектов. Первый проход осуществляет прямую трассировку лучей, в результате чего отслеживается их траектория и сохраняется в базе данных, называемой фотонной картой. На втором проходе выполняется расчёт освещённости пикселей изображения методом обратного стохастического репрессинга с использованием данных фотонных карт. Таким образом, метод Mental Ray – это расширения метода трассировки лучей. Данный метод фотонных карт на сегодняшний день является самым передовым, позволяет воспроизвести на компьютере почти все явления геометрической оптики.

2. Особенности визуализаторов.

В настройках рендеринга существует несколько вариантов визуализации трёхмерных объектов. Одни используют ресурсы видеокарты, другие задействуют оперативную память.

На сегодняшний день доступны следующие визуализаторы:

- ❖ Default Scanline Renderer
- ❖ Quick Silver
- ❖ Mental Ray
- ❖ iRay

Default Scanline Renderer позволяет ускорить процесс визуализации за счет отключения таких элементов как проецирование карт, теней, отражений и процедур сглаживания. Позволяет использовать следующие фильтры:

- ◆ Плавное изменение цветов
- ◆ Усиление резкости
- ◆ Кубическое размывание изображений

Позволяет применить глобальную субдискретизацию как дополнительный процесс сглаживания материалов.

Quick Silver относится к аппаратному типу, основным преимуществом является его скорость. Аппаратный визуализатор QS доступен только если видеокарта поддерживает режим работы ShaderModel 3.1. Позволяет отключать прозрачность, отражение, тени, параметры освещения.

Визуализатор **Mental Ray** на сегодняшний день является самым мощным на сегодняшний день. Позволяет рассчитывать отражение и преломление света для различных материалов, устанавливает дополнительные настройки источников света (работает либо со специальными Mental Ray источниками, либо фотометрическими), использовать в сцене специализированные библиотеки материалов. Устанавливаемые параметры позволяют включать и отключать режим демонстрации приближённого конечного вида

визуализируемой сцены моделируемой обработки, изменять качество изображения, изменять чёткость теней, отражений и преломлений, устанавливать параметры трассировки лучей, переопределять материалы, освещения, включая глобальные освещения, параметры каустики (дополнительное отражение, глянец) и так далее.

Визуализатор **iRay** представляет собой уменьшенный вариант Mental Ray. В нём сокращены основные параметры освещения, наложения текстур. Результат визуализации напрямую зависит от длительности визуализации сцены. Визуализатор применяется для визуализации сцен с обычными и размытыми изображениями, сложными объектами, с параметрами самоосвещения, то есть для получения конечного результата больших сцен.

3. Создание и вывод изображения в 3DsMAX

В результате применения рендера можно получить готовые изображения с различным форматом вывода. Для анимированных сцен предпочтительнее использовать покадровое сохранение изображений и объединение их в файл с помощью средства 3DsMAX – RAM Player. Результат визуализации можно сохранить в стандартных форматах файла. Особенностью является то, что результат визуализации может включать все объекты сцены, которые не видны в окне проекций.

Для печати визуализированных изображений используется специальный мастер размеров печати Print Size Wizard в котором можно выбрать размер бумаги, ориентацию страниц и разрешение. Окончательная печать осуществляется через специальные настройки печати, а не через это окно.

Факторы, влияющие на реалистичность изображения:

- Многократное переотражения лучей света от поверхности объектов. Моделируется с помощью средств расчёта глобальной освещённости.
- Эффект распространения света в материале. Моделируется эффектом подповерхностного рассеяния Sub-Surface Scattering.
- Блики, образованные в результате отражения от зеркальных поверхностей или в результате преломления в прозрачных средах (каустика).
- Технические особенности установленных в сцене видео- и фотокамер. Мелкие объекты снимаются в режиме макросъёмки, где присутствует эффект глубины резкости (Depth of Field).

Используя возможности стандартного визуализатора можно смоделировать объекты глобальной освещённости и глубины резкости. Для получения других эффектов можно назначать специальные визуализаторы: Final Render (Cebas), Brazil r/s (Splutter Fish), Maxwell Render (Next Limit Technologies), V-Ray (ChaosGroup).