

**Санкт-Петербургский государственный университет  
телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича  
Кафедра Конструирования и производства  
радиоэлектронных средств**

**Дисциплина: «Проектная графика в конструкциях электронных  
средств»**

**ТЕМА 3: «Трехмерные преобразования в  
проектной графике»**

**Лекция №5 «Трехмерная компьютерная  
графика»  
(2 часа)**

**Доцент кафедры, к.п.н.,  
Мордовин В.Н.**

**2018 г.**

**СПб ГУТ)))**

# Учебные вопросы

1. **Создание трёхмерного изображения.**
  - 1.1. **Моделирование.**
  - 1.2. **Текстурирование.**
  - 1.3. **Освещение.**
  - 1.4. **Анимация и рендеринг.**
2. **Основы твердотельного моделирования в КОМПАС-3D.**
3. **Режимы построения детали в КОМПАС-3D.**

# Литература

1. Большаков В. П., Бочков А. Л. Основы 3D-моделирования. Изучаем работу в AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor. — СПб.: Питер, 2013.
2. Компьютерная графика: учеб. / М.А. Кудрина, К.Е. Климентьев. — Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2013.

# ВВЕДЕНИЕ

**Трёхмерная графика** (3D (от англ. 3 Dimensions — «3 измерения») Graphics, Три измерения изображения) — раздел компьютерной графики, совокупности приёмов и инструментов, предназначенных для изображения объёмных объектов.

Трёхмерное изображение на плоскости включает *построение геометрической проекции трёхмерной модели сцены на плоскость* (например, экран компьютера) с помощью специализированных программ. При этом модель может как соответствовать объектам из реального мира, так и быть полностью абстрактной.

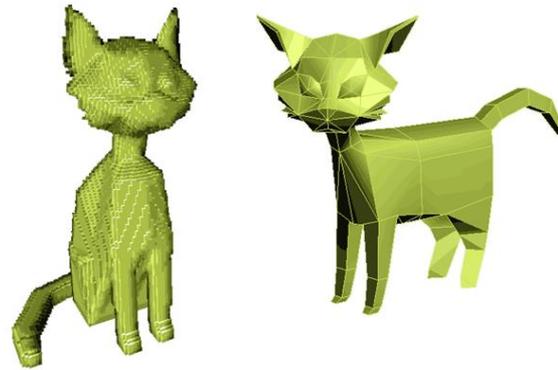
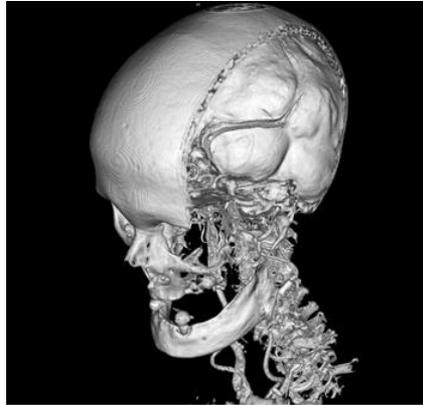
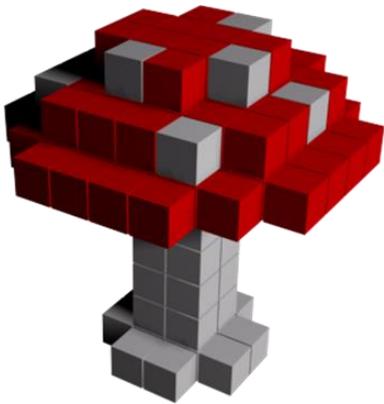
**3D-моделирование** — это процесс создания трёхмерной модели объекта. Задача 3D-моделирования — разработать визуальный объёмный образ желаемого объекта.

Трёхмерная графика активно применяется для создания изображений на плоскости экрана или листа печатной продукции в науке и промышленности, например, в системах автоматизации проектных работ, в современных системах медицинской визуализации.

# ВВЕДЕНИЕ

В технологиях быстрого прототипирования используется представление математической модели объекта в виде твердого тела (воксельная модель).

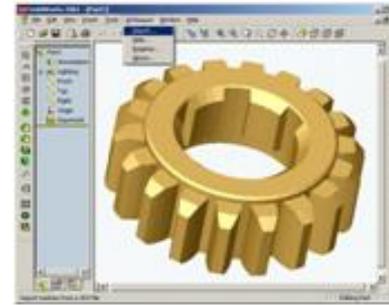
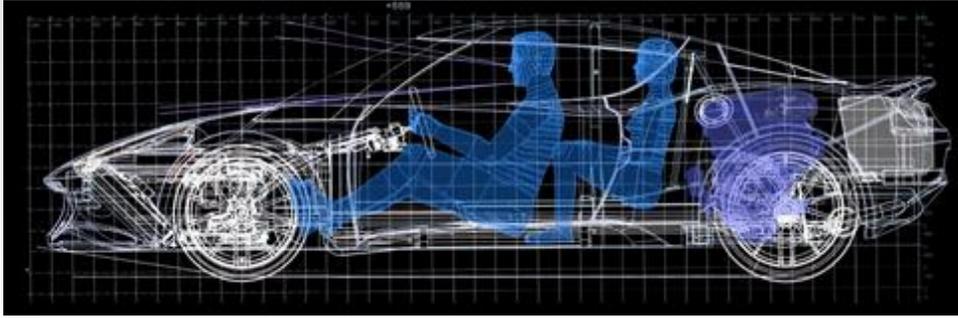
**Вóксел** (в разговорной речи вóксель, англ. Voxel — образовано из слов: объёмный (англ. volumetric) и пиксел (англ. pixel)) — элемент объёмного изображения, содержащий значение элемента раstra в трёхмерном пространстве. Воксели являются аналогами двумерных пикселов для трёхмерного пространства.



В воксельной модели один воксел соответствует одному кубику (элементу изображения). Воксельные модели часто используются для визуализации и анализа медицинской и научной информации.

# Применение

- САПР – системы автоматизированного проектирования



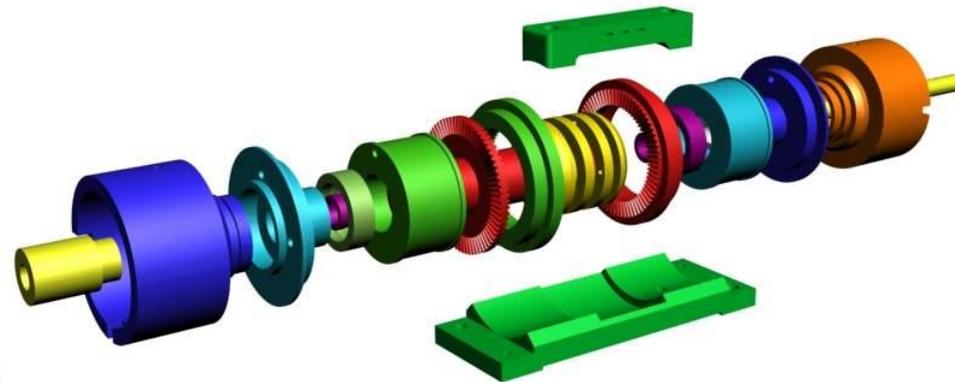
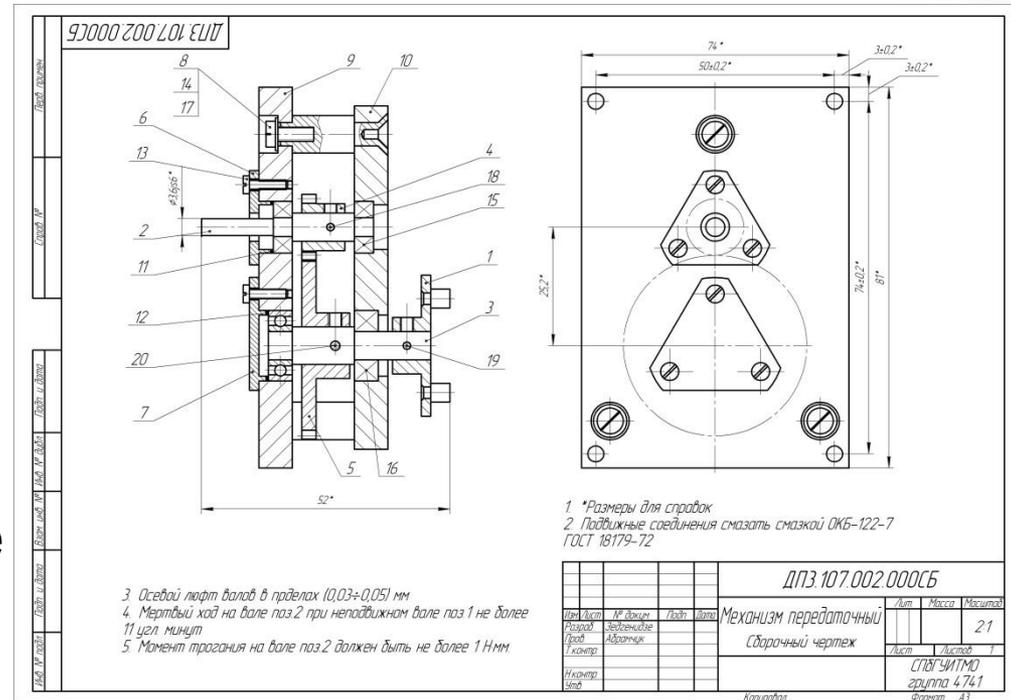
- компьютерные тренажеры и обучающие программы



# Применение

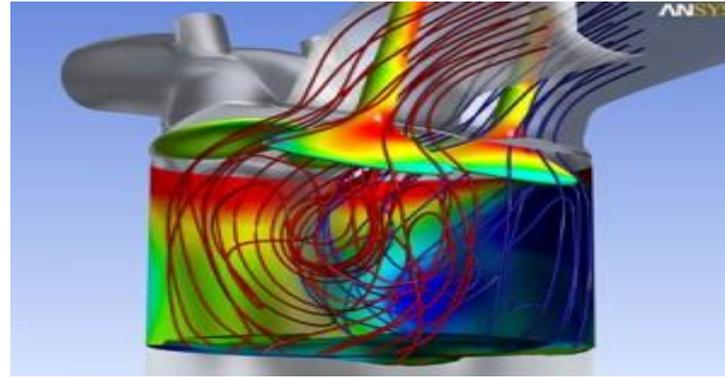
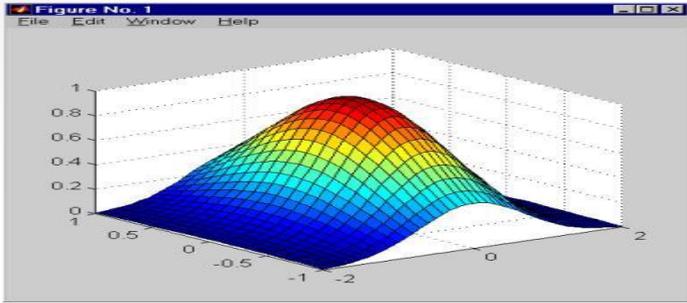
## Техническая графика. САПР

Техническая графика – область, в которой в первую очередь стала активно применяться компьютерная графика. Современные пакеты САПР позволяют создавать конструкторские документы на основе набора графических примитивов, а также с использованием изображений стандартных, типовых и унифицированных деталей и узлов.



# Визуализация в науке

Научный аспект компьютерной графики связан с моделированием динамических процессов, диагностикой и распознаванием образов.

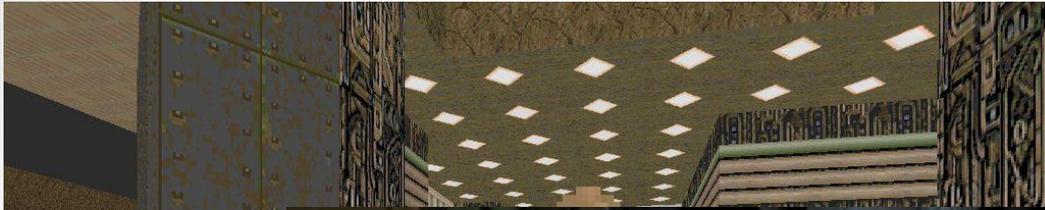


# Визуализация в дизайне

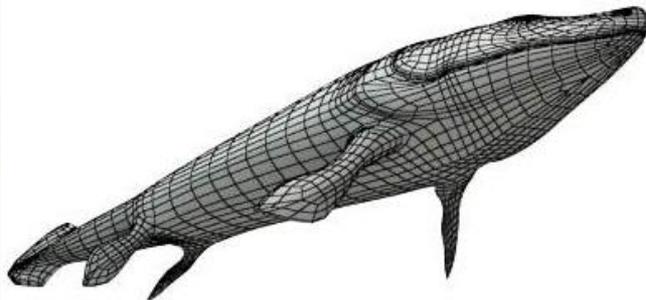
Возможность создавать наглядные зрительные образы.



# Игровые приложения



- построение трёхмерных моделей в науке, промышленности, медицине



- дизайн зданий и интерьера



- компьютерные эффекты в кино и телевидении
- телевизионная реклама
- интерактивные игры

# 1. Создание трёхмерного изображения

Для получения трёхмерного изображения на плоскости требуются следующие шаги:

- **моделирование** — создание трёхмерной математической модели сцены и объектов в ней;
- **текстурирование** — назначение поверхностям моделей растровых или процедурных текстур (подразумевает также настройку свойств материалов — прозрачность, отражения, шероховатость и пр.);
- **освещение** — установка и настройка источников света;
- **анимация** — придание движения объектам;
- **динамическая симуляция** — автоматический расчёт взаимодействия частиц, твёрдых/мягких тел с моделируемыми силами, а также друг с другом;
- **рендеринг (визуализация)** — построение проекции в соответствии с выбранной физической моделью;
- **композитинг (компоновка)** — доработка изображения;
- **вывод полученного изображения** на устройство вывода — дисплей или принтер.

## 1.1. Моделирование

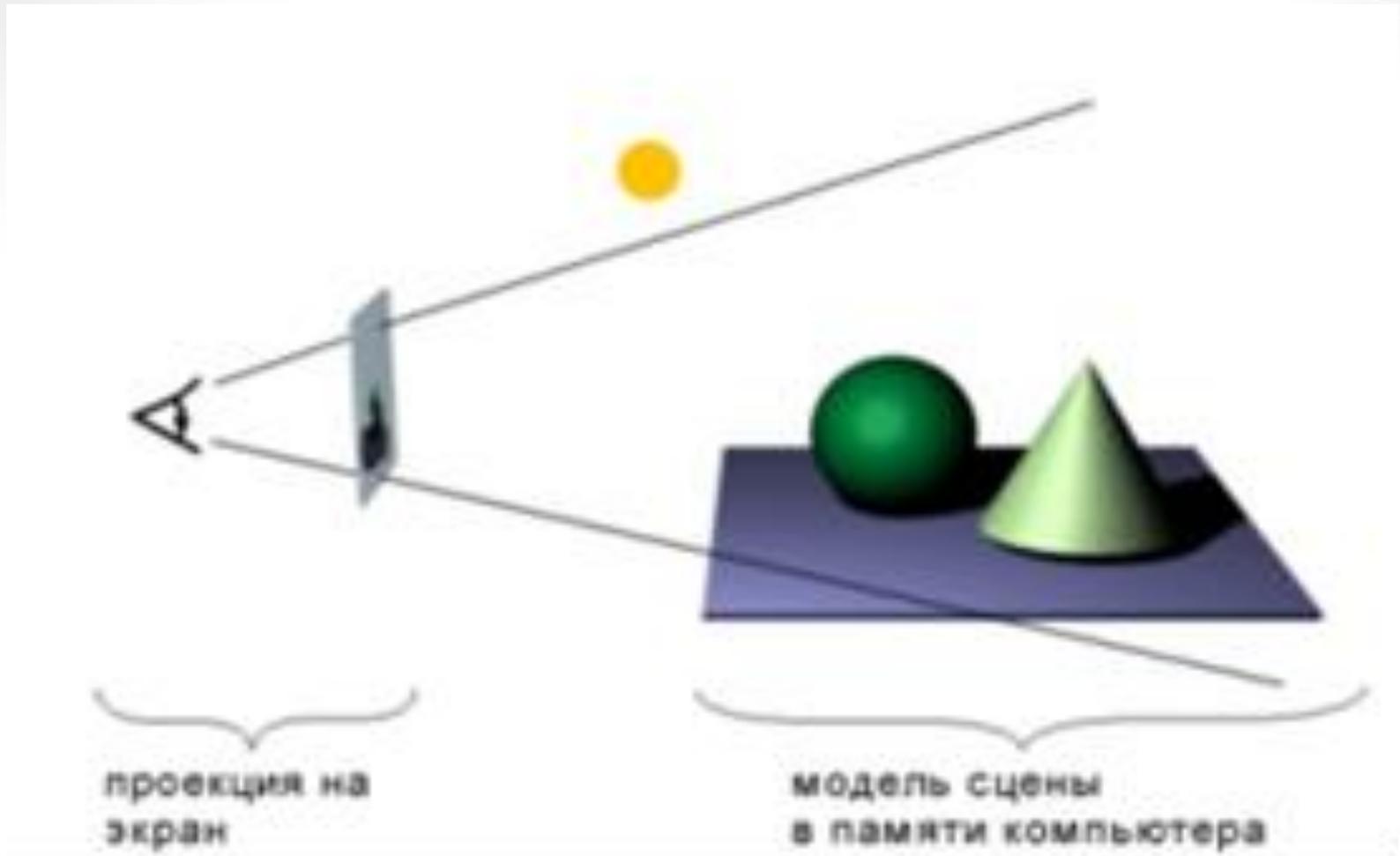


Схема проецирования сцены на экран компьютера представлена на рис. 2.

## Моделирование сцены (виртуального пространства моделирования) включает в себя несколько **категорий объектов**:

- **Геометрия** (построенная с помощью различных техник (напр., создание полигональной сетки) модель, например, здание);
- **Материалы** (информация о визуальных свойствах модели, например, цвет стен и отражающая/преломляющая способность окон);
- **Источники света** (настройки направления, мощности, спектра освещения);
- **Виртуальные камеры** (выбор точки и угла построения проекции);
- **Силы и воздействия** (настройки динамических искажений объектов, применяется в основном в анимации);
- **Дополнительные эффекты** (объекты, имитирующие атмосферные явления: свет в тумане, облака, пламя и пр.)

*Задача трёхмерного моделирования* — описать эти объекты и разместить их в сцене с помощью геометрических преобразований в соответствии с требованиями к будущему изображению.

*Назначение материалов:*

- *для сенсора реальной фотокамеры* материалы объектов реального мира отличаются по признаку того, как они отражают, пропускают и рассеивают свет;
- *виртуальным материалам* задается соответствие свойств реальных материалов — *прозрачность, отражения, рассеивания света, шероховатость, рельеф и пр.*

*Наиболее популярными пакетами сугубо для моделирования являются: Autodesk Mudbox; Autodesk 3D Max; КОМПАС -3D.*

## 1.2. **Текстурирование**

**Текстурирование** подразумевает проецирование растровых или процедурных текстур на поверхности трёхмерного объекта в соответствии с картой UV-координат, где каждой вершине объекта ставится в соответствие определенная координата на двумерном пространстве текстуры.

(**Тексту́ра** — растровое изображение, накладываемое на поверхность полигональной модели для придания ей цвета, окраски или иллюзии рельефа).

**Тексель** (сокращение от англ. Texture element) — **минимальная единица текстуры трёхмерного объекта**. Пиксель текстуры.

Обычно создание объекта в 3D-графике оканчивается оборачиванием его в текстуру. Текстура представляет собой плоское изображение соответствующего содержания. Чем качественней будет изображение, накладываемое на объект, тем лучше он будет выглядеть.

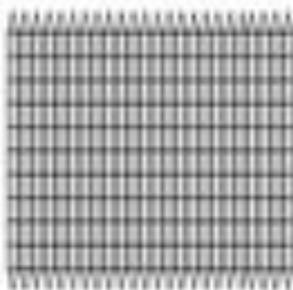
# Рис. 3. Пример текстурирования географической карты.

**3-D Model**



$$p = (x, y, z)$$

**UV Map**



$$p = (u, v)$$

**Texture**





Рис. 4. Шахматная текстура на сфере: слева — общая матрица на всю сферу, справа — развёртка с равнопромежуточной проекцией.

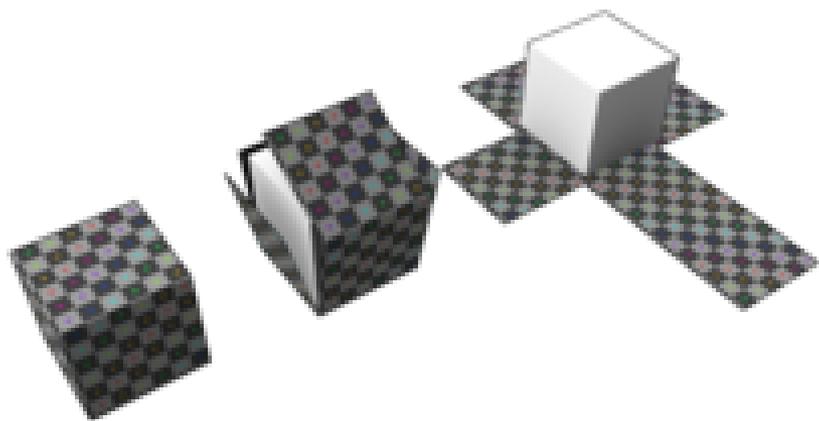


Рис. 5. Пример наложения текстуры на куб. Текстура имеет вид плоской развёртки.

Как правило, многофункциональные редакторы UV-координат входят в состав универсальных пакетов трёхмерной графики. Существуют также автономные и подключаемые редакторы от независимых разработчиков.

# Анизотро́пная фильтра́ция

(англ. Anisotropic Filtering, AF) — в трёхмерной графике метод улучшения качества изображения текстур на поверхностях, сильно наклонённых относительно камеры. Позволяет устранять **алиасинг** на различных поверхностях, но при этом вносит меньше размытия и поэтому позволяет сохранить бо́льшую детальность изображения.

Рис. 6. Трилинейная фильтрация (слева), анизотропная (справа)



**Алиасинг, наложение** — в статистике, обработке сигналов и смежных дисциплинах эффект, приводящий к наложению, неразличимости различных непрерывных сигналов при их дискретизации

## 1.3. Освещение

Заключается в создании, направлении и настройке виртуальных источников света.

Как правило, пакеты 3D-графики предоставляют следующие типы источников освещения:

- ***Omni light (Point light)*** — всенаправленный;
- ***Spot light*** — конический (прожектор), источник расходящихся лучей;
- ***Directional light*** — источник параллельных лучей;
- ***Area light (Plane light)*** — световой портал, излучающий свет из плоскости;
- ***Photometric*** — источники света, моделируемые по параметрам яркости свечения в физически измеримых единицах, с заданной температурой накала.

## 1.4. Анимация и рендеринг

*Одно из главных призваний трёхмерной графики — придание движения (анимация) трёхмерной модели, либо имитация движения среди трёхмерных объектов.*

*Универсальные пакеты трёхмерной графики обладают богатыми возможностями по созданию анимации. Существуют также узкоспециализированные программы, созданные сугубо для анимации и обладающие очень ограниченным набором инструментов моделирования:*

- ***Autodesk MotionBuilder;***
- ***PMG Messiah Studio.***

# Рендеринг

На **этапе рендеринга** математическая (векторная) пространственная модель превращается в плоскую (растровую) картинку. **Рендеринг преобразует трёхмерную векторную структуру данных в плоскую матрицу пикселей.**

Самый простой вид рендеринга — это построить контуры моделей на экране компьютера с помощью проекции. Обычно этого недостаточно, и нужно создать иллюзию материалов, из которых изготовлены объекты, а также рассчитать искажения этих объектов за счёт прозрачных сред.

Существует несколько технологий рендеринга, часто комбинируемых вместе.

## **Z-буфер (используется в OpenGL и DirectX)**

**(OpenGL (Open Graphics Library)** — спецификация, определяющая независимый от языка программирования платформонезависимый программный интерфейс для написания приложений, использующих двумерную и трёхмерную компьютерную графику.

Включает более 300 функций для рисования сложных трёхмерных сцен из простых примитивов. Используется при создании компьютерных игр, САПР, виртуальной реальности, визуализации в научных исследованиях.

**Direct3D** — набор API функций для взаимодействия с видеокартой; поддерживается аппаратно видеокартами класса NV GeForce, ATI Radeon. Direct3D обеспечивает функции для взаимодействия операционной системы и приложений с драйверами видеокарты.)

**Сканлайн (*scanline*)** — он же Ray casting («бросание луча», упрощенный алгоритм обратной трассировки лучей) — расчёт цвета каждой точки картинки построением луча из точки зрения наблюдателя через воображаемое отверстие в экране на месте этого пиксела «в сцену» до пересечения с первой поверхностью.

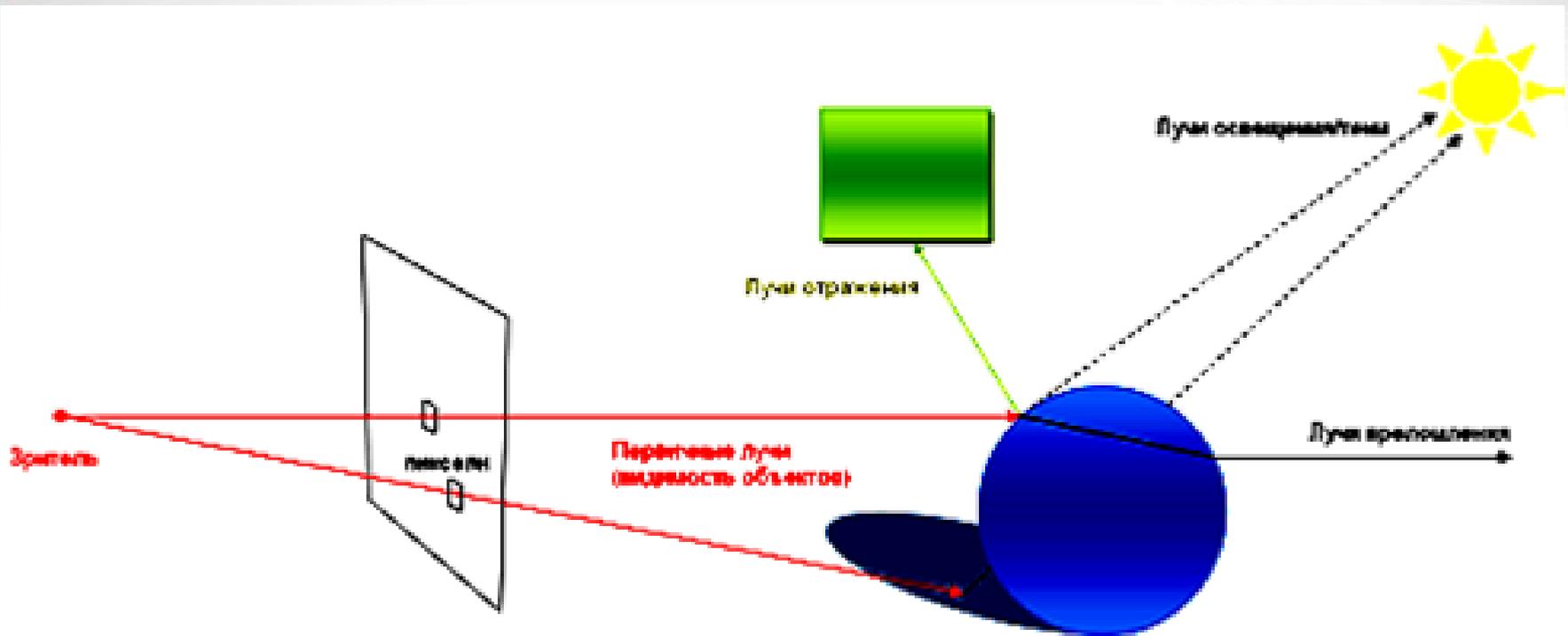
Цвет пиксела будет таким же, как цвет этой поверхности (иногда с учётом освещения и т. д.);

## ***Метод обратной трассировки лучей.***

Принцип обратной трассировки лучей состоит в том, что через каждую точку экрана как бы проводится обратный луч света до пересечения с ближайшим объектом сцены, далее из этой точки проводится луч в направлении источника света (см. рис.7).

Если луч, выпущенный на источник света, ничего не пересекает на своем пути, то данная точка освещена, иначе она лежит в тени. Если луч попадает на зеркальную поверхность, то, в соответствии с законами оптики, выпускается отраженный луч, что дает возможность построить отражение. В зависимости от свойств среды, через которую проходит луч, он может преломляться, что позволяет моделировать сложные реалистичные световые эффекты. Этот метод позволяет получить не только тени от объектов, но и рассчитать вторичное освещение, когда отраженный тусклый свет попадает в непосредственно затененные области и размывает тени.

## Рис. 7. Метод обратной трассировки лучей.



Данный метод основан на принципе обратимости луча света, который гласит, что луч, «двигаясь» в противоположном направлении, пройдет в пространстве тот же самый путь.

Метод обратной трассировки лучей очень ресурсоемок, он требует больших затрат оперативной памяти и процессорного времени.

**Рис. 8. Результат работы метода обратной трассировки лучей.**



## Глобальное освещение

**Глобальное освещение** (англ. global illumination, radiosity) — **расчёт взаимодействия поверхностей и сред в видимом спектре излучения с помощью интегральных уравнений.**

Вследствие большого объёма однотипных вычислений рендеринг можно разбивать на потоки (распараллеливать). Поэтому для рендеринга весьма актуально использование многопроцессорных систем.

## 2. Основы твердотельного моделирования в КОМПАС-3D

**Моделирование** – сложный процесс, результатом которого является законченная трехмерная сцена (модель объекта) в памяти компьютера. Моделирование состоит из создания отдельных объектов сцены с их последующим размещением в пространстве. Для выполнения трехмерных моделей объектов существует множество подходов.

- **создание твердых тел с помощью булевых операций** – путем добавления, вычитания или пересечения материала моделей. Этот подход является главным в инженерных графических системах;
- **формирование сложных полигональных поверхностей**, так называемых **мешей** (от англ. mesh – сетка), путем полигонального или NURBS-моделирования;
- **применение модификаторов геометрии** (используются в основном в дизайнерских системах моделирования).

**Модификатором** называется действие, назначаемое объекту, в результате чего свойства объекта и его внешний вид изменяются (вытягивание, изгиб, скручивание и т.п.).

КОМПАС-3D – это система **твердотельного моделирования**. Это значит, что все ее операции по созданию и редактированию трехмерных моделей предназначены только для работы с твердыми телами.

**Твердое тело** – область трехмерного пространства, состоящая из однородного материала и ограниченная замкнутой поверхностью, которая сформирована из одной или нескольких стыкующихся граней. Любое твердое тело состоит из базовых трехмерных элементов: граней, ребер и вершин (рис. 9).

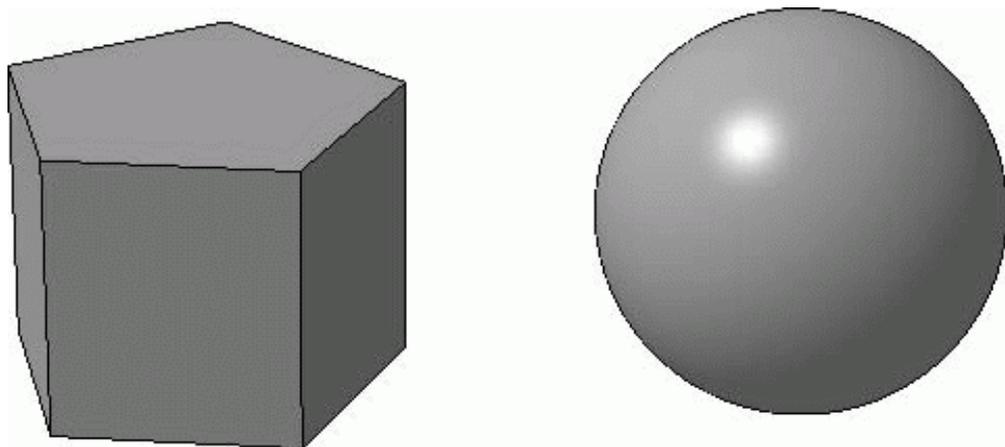


Рис. 9. Твердые тела: призма (состоит из семи граней) и шар (из одной грани).

**Грань** – гладкая (не обязательно плоская) часть поверхности детали, ограниченная замкнутым контуром из ребер. Частный случай – шарообразные твердые тела и тела вращения с гладким профилем, состоящие из единой грани, которая, соответственно, не имеет ребер.

**Ребро** – пространственная кривая произвольной конфигурации, полученная на пересечении двух граней.

**Вершина** – точка в трехмерном пространстве. Для твердого тела это может быть одна из точек на конце ребра.

Твердые тела в системе КОМПАС-3D создаются путем выполнения булевых операций над отдельными объемными элементами детали.

Процесс построения состоит из последовательного добавления и (или) удаления материала детали. **Контур формы** добавляемого или удаляемого слоя материала определяется плоской фигурой, называемой **эскизом**, а сама форма создается путем перемещения этого эскиза в пространстве.

Любое изменение формы детали (твердого тела) называется **трехмерной формообразующей операцией**, или просто операцией.

Формировать твердотельные модели в КОМПАС-3D можно в двух типах документов: *КОМПАС-Деталь* и *КОМПАС-Сборка*.

В отличие от графических документов (чертеж и фрагмент), оба типа трехмерных документов равноценны, среди них нет главного или вспомогательного.

**Документ Деталь** предназначен для создания с помощью формообразующих операций и хранения модели целостного объекта (отдельной детали, компонента).

**В документе Сборка** собираются в единый агрегат смоделированные и сохраненные ранее детали: их сначала размещают в пространстве, сопрягают вместе и фиксируют.

В КОМПАС-3D можно создавать несколько не связанных друг с другом твердых тел. Такой подход получил название **многодельного моделирования**.

Многоотельность позволяет создавать модель «с разных сторон». Конструктору необязательно отталкиваться от одной базовой операции в детали или элементов, привязанных к ней. Можно формировать модель, начиная с любой ее части, создавая сначала сколь угодно много отдельных тел, свободно размещенных в пространстве, и постепенно объединяя их по мере проектирования (рис.10).

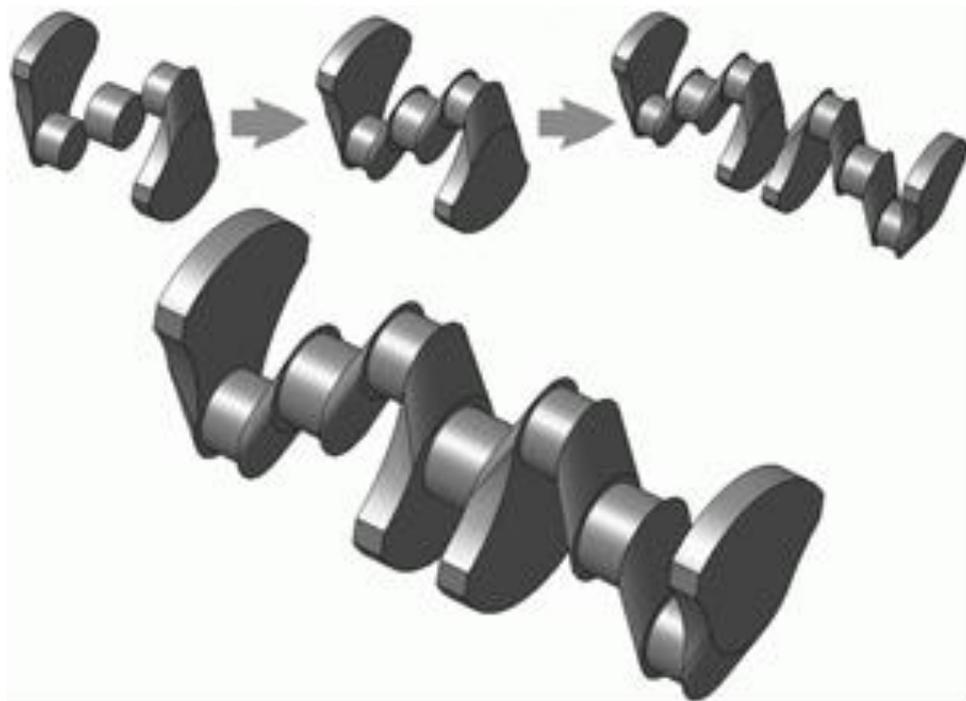


Рис. 10. Коленчатый вал: пример многоотельного моделирования.

### 3. Режимы построения детали в КОМПАС-3D

При выполнении большинства операций в детали в связи с появлением многотельности имеется выбор нескольких вариантов (режимов) построения:

#### ***при вырезании (удалении материала):***

- ***вычитание элемента*** – удаление материала детали происходит внутри замкнутой поверхности, сформированной по заданному эскизу и типу операции (выдавливание, вращение и т. д.);
- ***пересечение элементов*** – удаление материала детали, находящегося снаружи поверхности, которая сформирована в результате операции;

#### ***при «приклеивании» (добавлении материала):***

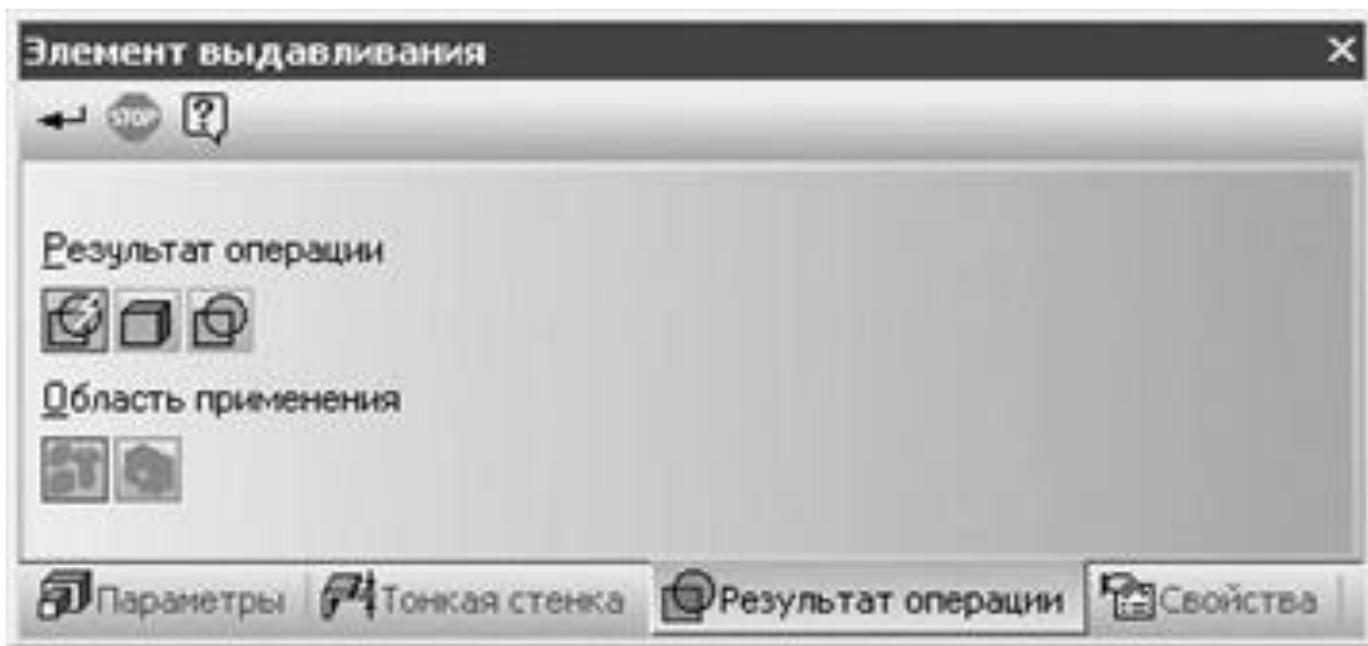
- ***новое тело*** – добавляемый трехмерный элемент формирует в детали новое твердое тело, независимо от того, пересекается он с уже существующими телами или нет.

**объединение** – добавляемый элемент соединяется с твердым телом, с которым он пересекается;

**автообъединение** – при этом система автоматически объединяет в одно тело существующий и новый элементы, если они пересекаются, или формирует новое тело, если они не пересекаются.

Результат формообразующей операции выбирается на вкладке **Вырезание** панели свойств при удалении или

**Результат операции** – при добавлении материала (рис. 11).



**Область применения операции** – это набор тел, на которые распространяется действие текущей операции. **При добавлении** материала к детали настраивать область применения операции можно только в режиме объединения.

Для **операций удаления** материала задать область применения операции можно всегда.

## Ограничения при многотельном моделировании

- **Каждое тело в модели детали должно быть неразрывным**, из чего следует, что не допускается выполнение таких формообразующих операций, которые разделяют одно или несколько тел на части. Например, нельзя с помощью операции вырезания (или какой-либо другой) разбить тело на несколько нестыкующихся частей. Если вы точно знаете, что в вашей детали будет несколько разрозненных частей, необходимо сразу создавать их как отдельные тела.
- **Нельзя перемещать тела в модели** (как, например, детали в сборке), кроме как изменяя положения их эскизов.

- **Невозможно копировать тела с помощью команд создания массивов.** Тело, полученное в результате булевой операции или операции Зеркально отразить тело, также нельзя использовать в массивах. Более того, любые элементы тела, участвовавшего в булевой операции, также не получится размножить.
- **При применении массивов** в деталях с несколькими твердыми телами копируемые элементы (приклеенные или вырезанные) размещаются на том же теле, что и исходный элемент.
- **При наличии пересекающихся, но разных тел** в одной детали ассоциативные чертежи могут быть неправильно построены.

## Заключение

Большое значение среди программных средств для автоматизации инженерного проектирования имеют графические САД-системы (Computer Aided Design – полуавтоматическое компьютерное проектирование). Они служат для создания трехмерных моделей машиностроительных агрегатов, изделий, зданий и т. п., формирования и оформления комплекта чертежей вместе с полным набором конструкторской документации, необходимой для выпуска изделия или построения объекта.

На лекции мы рассмотрели особенности трехмерного твердотельного моделирования в системе КОМПАС-3D.

Следующая лекция начнется с рассмотрения команд для работы в трехмерном редакторе КОМПАС-3D и приведения небольших и не очень сложных примеров, которые помогут вам освоиться в среде моделирования.