

ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ  
Инженерный институт

# КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Конспект лекций

Новосибирск 2021



Кафедра технологий обучения, педагогики и психологии

Кафедра технологий обучения, педагогики и психологии

Составитель: Корчуганова Марина Анатольевна

Составитель: доцент, канд. техн. наук М.А. Корчуганова

Рецензент: доцент, канд. техн. наук А.П. Сырбаков

Компьютерное проектирование: конспект лекций / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т; сост. М.А. Корчуганова. – Новосибирск, 2021. – 40 с.

Конспект лекций содержит основные разделы: конструирование, трехмерное моделирование, макетирование, трехмерная визуализация. Предназначены для бакалавров Инженерного института ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия. Утверждены и рекомендованы к изданию методическим советом Инженерного института (протокол №1 от 31 августа 2021 г.)

Печатается в авторской редакции  
Компьютерная верстка В.Я. Вульфферт

Подписано к печати 25 июня 2021 г. Формат 60×84<sup>1/16</sup>  
Объем 2,44 уч.изд. л. Заказ №12 Тираж 30 экз.

Отпечатано в минитипографии Инженерного института НГАУ  
630039, г. Новосибирск, ул. Никитина, 147, ауд. 209

© Новосибирский государственный аграрный университет, 2021  
© Инженерный институт, 2021

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. КОНСТРУИРОВАНИЕ .....	4
1.1. Основные понятия о системах автоматизированного проектирования (САПР). Классификация и обеспечение САПР. Сквозные САПР .....	4
1.2. Основные методы моделирования трехмерных объектов с помощью компьютерных систем .....	10
1.3. Трехмерное моделирование .....	13
2. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПОЛУЧЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МОДЕЛЕЙ.....	18
2.1. Операций и их параметры в трехмерном моделировании.....	18
2.2. Области применения 3D-моделирования. Этапы получения готового продукта при работе с трехмерной графикой .....	24
3 МАКЕТИРОВАНИЕ .....	29
3.1. Свойства пространственных объектов, качество поверхности, образующее эти поверхности .....	29
3.2. Техническое и программное обеспечение процесса макетирования.....	32
4 ТРЕХМЕРНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ .....	34
4.1. Основные концепции рендеринга .....	34
4.2. Этапы процесса и методы рендеринга. Кадрирование. Композитинг и сопряжение изображений.....	36

## ВВЕДЕНИЕ

В любом производстве — промышленном, радиоаппаратном, строительном, сельскохозяйственном и даже в сфере услуг осуществляется проектирование разного рода объектов.

Системы автоматизированного проектирования обеспечивают выполнение функционально-законченных последовательностей проектных задач с получением соответствующих проектных решений и проектных документов.

Программы этого класса решают задачи автоматизации всех этапов проектирования систем различной степени сложности: от технологии производства отдельной детали до проектирования целой технологической линии. Свое начало существования термин САПР берет в 1970-х гг.

Система автоматизированного проектирования — это автоматизированная система, реализующая ИТ выполнения функций проектирования и представляет собой организационно-техническую систему, предназначенную для автоматизации процесса проектирования, состоящую из персонала и комплекса технических, программных и других средств автоматизации его деятельности. Система дает возможность создавать технологическую и конструкторскую документацию на отдельные здания, сооружения, изделия. В англоязычной литературе программы этого класса обычно называют CAD/CAM-системы (Computer-Aided Design/Computer- Aided Manufacturing), что в переводе обозначает «система автоматизированного проектирования/производства».

## 1. КОНСТРУИРОВАНИЕ

### 1.1. Основные понятия о системах автоматизированного проектирования (САПР). Классификация и обеспечение САПР. Сквозные САПР

Проектирование технического объекта — создание, преобразование и представление в принятой форме образа этого еще не существующего объекта. Образ объекта или его составных частей может создаваться в воображении человека в результате творческого процесса или генерироваться в соответствии с некоторыми алгоритмами в процессе взаимодействия человека и ЭВМ. В любом случае инженерное проектирование начинается при наличии выраженной потребности общества в некоторых технических объектах, которыми могут быть объекты строительства, промышленные изделия или процессы. Проектирование включает в себя разработку технического предложения и (или) технического задания (ТЗ), отражающих эти потребности, и реализацию ТЗ в виде проектной документации.

Обычно ТЗ представляют в виде некоторых документов, и оно является исходным (первичным) описанием объекта. Результатом проектирования, как правило, служит полный комплект документации, содержащий достаточные сведения для изготовления объекта в заданных условиях. Эта документация и есть проект, точнее окончательное описание объекта. Более коротко, проектирование — процесс, заключающийся в получении и преобразовании исходного описания объекта в окончательное описание на основе выполнения комплекса работ исследовательского, расчетного и конструкторского характера.

Преобразование исходного описания в окончательное порождает ряд промежуточных описаний, подводящих итоги решения некоторых задач и используемых для обсуждения и принятия решений для окончания или продолжения проектирования. Такие промежуточные описания называют проектными решениями.

Проектирование, при котором все проектные решения или их часть получают путем взаимодействия человека и ЭВМ, называют автоматизированным проектированием, в отличие от ручного (без использования ЭВМ) или автоматического (без участия человека на промежуточных этапах).

Автоматическое проектирование возможно лишь в отдельных случаях для сравнительно несложных объектов. Превалирующим в настоящее время является автоматизированное проектирование.

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

Грань между алгоритмами трассировки лучей в настоящее время практически стерлась. Так, в 3D Studio Max стандартный визуализатор называется Default scanline renderer, но он считает не только вклад диффузного, отражённого и собственного (цвета самосвечения) света, но и сглаженные тени. По этой причине, чаще понятие Raycasting относится к обратной трассировке лучей, а Raytracing — к прямой.

Программное обеспечение для 3-D моделирования

Наиболее популярными системами рендеринга являются:

- PhotoRealistic RenderMan(PRMMan)
- mental ray
- V-Ray
- FinalRender
- Brazil R/S
- BusyRay
- Turtle
- Maxwell Render
- Fryrender
- IndigoRenderer
- LuxRender
- YafaRay
- POV-Ray

Вследствие большого объёма однотипных вычислений рендеринг можно разбивать на потоки (распараллеливать). Поэтому для рендеринга весьма актуально использование многопроцессорных систем. В последнее время активно ведётся разработка систем рендеринга использующих GPU вместо CPU, и уже сегодня их эффективность для таких вычислений намного выше. К таким системам относятся:

- Refractive Software Octane Render
- AAA studio FurryBall
- Random Control ARION(гибридная)

Многие производители систем рендеринга для CPU также планируют ввести поддержку GPU (LuxRender, YafaRay, mental images iray).

мах трехмерной графики и визуализации. некоторые пакеты предоставляют возможности создавать источники объемного свечения (Sphere light) или объемного освещения (Volume light), в пределах строго заданного объёма. Некоторые предоставляют возможность использовать геометрические объекты произвольной формы.

#### 4.2 Этапы процесса и методы рендеринга. Кадрирование. Композитинг и сопряжение изображений

На этапе рендеринга математическая (векторная) пространственная модель превращается в плоскую (растровую) картинку. Если требуется создать фильм, то рендерится последовательность таких картинок — кадров. Как структура данных, изображение на экране представлено матрицей точек, где каждая точка определена по крайней мере тремя числами: интенсивностью красного, синего и зелёного цвета. Таким образом рендеринг преобразует трёхмерную векторную структуру данных в плоскую матрицу пикселей. Этот шаг часто требует очень сложных вычислений, особенно если требуется создать иллюзию реальности. Самый простой вид рендеринга — это построить контуры моделей на экране компьютера с помощью проекции, как показано выше. Обычно этого недостаточно и нужно создать иллюзию материалов, из которых изготовлены объекты, а также рассмотреть искажения этих объектов за счёт прозрачных сред (например, жидкости в стакане).

Существует несколько технологий рендеринга, часто комбинируемых вместе. Например:

- Z-буфер(используется в OpenGLDirectX 10);
- Сканылайн (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.);

· Трассировка лучей(рейтрейсинг, англ. raytracing) — то же, что и сканылайн, но цвет пиксела уточняется за счёт построения дополнительных лучей (отражённых, преломлённых и т. д.) от точки пересечения луча взгляда. Несмотря на название, применяется только обратная трассировка лучей (то есть как раз от наблюдателя к источнику света), прямая крайне неэффективна и потребляет слишком много ресурсов для получения качественной картинки;

Проектирование сложных объектов основано на применении идей и принципов, изложенных в ряде теорий и подходов. Наиболее общим подходом является системный подход, идеями которого пронизаны различные методики проектирования сложных систем.

Проектирование сложных объектов основано на применении идей и принципов, изложенных в ряде теорий и подходов. Наиболее общим подходом является системный подход, идеями которого пронизаны различные методики проектирования сложных систем.

Для специалиста в области системотехники идеи и принципы системного подхода являются очевидными и естественными, однако их соблюдение и реализация зачастую сопряжены с определенными трудностями, обусловливаемыми особенностями проектирования. Как и большинство взрослых образованных людей, правильно использующих родной язык без привлечения правил грамматики, инженеры используют системный подход без обращения к пособиям по системному анализу. Однако интуитивный подход без применения правил системного анализа может оказаться недостаточным для решения все более усложняющихся задач инженерной деятельности.

Основной общей принцип системного подхода заключается в рассмотрении частей исследуемого явления или сложной системы с учетом их взаимодействия. Системный подход включает в себя выявление структуры системы, типизацию связей, определение атрибутов, анализ влияния внешней среды, формирование модели системы, исследование модели и возможно оптимизацию ее структуры и функционирования.

Системный подход является базой для обобщающей дисциплины "теория систем" (другое используемое название — "системный анализ"). Теория систем — дисциплина, в которой конкретизируются положения системного подхода; она посвящена исследованию и проектированию сложных экономических, социальных, технических систем, чаще всего слабоструктурированных. Характерными примерами таких систем являются производственные системы. При проектировании систем цели достигаются в многошаговых процессах принятия решений. Методы принятия решений часто выделяются в самостоятельную дисциплину, называемую "теория принятия решений".

В технике дисциплину, в которой исследуются сложные технические системы, их проектирование, и аналогичную теорию систем, чаще называют системотехникой. Предметом системотехники являются, во-первых, организация процесса создания, использования и развития технических систем, во-вторых, методы и принципы их проектирования и исследования. В системотехнике важно уметь сформулировать цели системы и организовать ее рассмотрение с позиций

поставленных целей. Тогда можно отбросить лишние и малозначимые части при проектировании и моделировании, перейти к постановке оптимизационных задач.

Системы автоматизированного проектирования и управления относятся к числу наиболее сложных современных искусственных систем. Их проектирование и сопровождение невозможны без системного подхода. Поэтому идеи и положения системотехники входят составной частью в дисциплины, посвященные изучению современных автоматизированных систем и технологий их создания и применения.

Интерпретация и конкретизация системного подхода имеют место в ряде известных подходов с другими названиями, которые также можно рассматривать как компоненты системотехники. Таковы структурный, блочно-иерархический, объектно-ориентированный подходы.

При структурном подходе, как разновидности системного, требуется синтезировать варианты системы из компонентов (блоков) и оценивать варианты при их частичном переборе с предварительным прогнозированием характеристик компонентов.

Блочно-иерархический подход к проектированию использует идеи декомпозиции сложных описаний объектов и соответственно средств их создания на иерархические уровни и аспекты, вводит понятие стиля проектирования (восходящее и нисходящее), устанавливает связь между параметрами соседних иерархических уровней.

Ряд важных структурных принципов, используемых при разработке информационных систем и прежде всего их программного обеспечения (ПО), выражен в подходе, называемом объектно-ориентированным проектированием (ООП). Такой подход имеет следующие преимущества в решении проблем управления сложностью и интеграции ПО:

- вносит в модели приложений большую структурную определенность, распределяя представленные в приложении данные и процедуры между классами объектов;
- сокращает объем спецификаций, благодаря введению в описание иерархии объектов и отношений наследования между свойствами объектов разных уровней иерархии;
- уменьшает вероятность искажения данных вследствие ошибочных действий за счет ограничения доступа к определенным категориям данных в объектах.

Описание в каждом классе объектов допустимых обращений к ним и принятых форматов сообщений облегчает согласование и интеграцию ПО.

Назначение материалов: для сенсорореальной 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, рельефы и др.

Наиболее популярными пакетами сугубо для моделирования являются:

- Pixologic Zbrush;
- Autodesk Mudbox;
- Robert McNeel & Assoc. Rhinoceros 3D;
- Google SketchUp.

Для создания трехмерной модели человека или существа может быть использована, как прообраз (в большинстве случаев) Скульптура.

#### Текстурирование

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

Как правило, многофункциональные редакторы UV-координат входят в состав универсальных пакетов трехмерной графики. Существуют также автономные и подключаемые редакторы от независимых разработчиков, например Unfold3D magic, Deep UV, Unwrella и др. Освещение

Заключается в создании, направлении и настройке виртуальных источников света. При этом, в виртуальном мире источники света могут иметь негативную интенсивность, отбрасывая свет из зоны своего "отрицательного освещения". 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 физических измеримых единицах, с заданной температурой накала

Существуют также другие типы источников света, отличающиеся по своему функциональному предназначению в разных програм-

## 4 ТРЕХМЕРНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

### 4.1 Основные концепции рендеринга

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 (в некоторых случаях) — придание движения объектам;
  - Динамическая симуляция (в некоторых случаях) — автоматический расчёт взаимодействия частиц, твёрдых/мягких тел и пр. с моделируемыми силами гравитации, ветра, выталкивания и др., а также друг с другом;
  - Рендеринг (визуализация) — построение проекции соответствия с выбранной физической моделью;
  - вывод полученного изображения на устройство вывода — дисплей или принтер.
- Моделирование
- Моделированиеисцен (виртуального пространства моделирования) включает в себя несколько категорий объектов:
- Геометрия (построенная с помощью различных техник (например, 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 ванимации);
  - 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.

Для всех подходов к проектированию сложных систем характерны также следующие особенности:

1. Структуризация процесса проектирования, выражаемая декомпозицией проектных задач и документации, выделением стадий, этапов, проектных процедур. Эта структуризация является сущностью блочно-иерархического подхода к проектированию.
2. Итерационный характер проектирования.
3. Типизация и унификация проектных решений и средств проектирования.

При использовании блочно-иерархического подхода к проектированию представлении о проектируемой системе расчленяют на иерархические уровни. На верхнем уровне используют наименее детализированное представление, отражающее только самые общие черты и особенности проектируемой системы. На следующих уровнях степень подробности описания возрастает, при этом рассматривают уже отдельные блоки системы, но с учетом воздействий на каждый из них его соседей. Такой подход позволяет на каждом иерархическом уровне формулировать задачи приемлемой сложности, поддающиеся решению с помощью имеющихся средств проектирования. Разбиение на уровни должно быть таким, чтобы документация на блок любого уровня была обзорима и воспринимаема одним человеком.

Список иерархических уровней в каждом приложении может быть специфичным, но для большинства выделяется следующий характерно следующее наиболее крупное выделение уровней:

- системный уровень, на котором решают наиболее общие задачи проектирования систем, машин и процессов; результаты проектирования представляют в виде структурных схем, генеральных планов, схем размещения оборудования, диаграмм потоков данных и т.п.;
- макроуровень, на котором проектируют отдельные устройства, узлы машин и приборов; результаты представляют в виде функциональных, принципиальных и кинематических схем, сборочных чертежей и т.п.;
- микроуровень, на котором проектируют отдельные детали и элементы машин и приборов.

В каждом приложении число выделяемых уровней и их наименования могут быть различными. Так, в радиоэлектронике микроуровень часто называют компонентным, макроуровень — схемотехническим уровнем. Между схемотехническим и системным уровнями вводят уровень, называемый функционально-логическим уровнем. В вычислительной технике системный уровень подразделяют на

уровни проектирования ЭВМ (вычислительных систем) и вычислительных сетей. В машиностроении имеются уровни деталей, узлов, машин, комплексов.

В зависимости от последовательности решения задач иерархических уровней различают нисходящее, восходящее и смешанное проектирование (стили проектирования). Последовательность решения задач от нижних уровней к верхним характеризует восходящее проектирование, обратная последовательность приводит к нисходящему проектированию, в смешанном стиле имеются элементы как нисходящего, так и нисходящего проектирования. В большинстве случаев для сложных систем предпочитают нисходящее проектирование. Отметим однако, что при наличии заранее спроектированных составных блоков (устройств) можно говорить о смешанном проектировании.

Неопределенность и нечеткость исходных данных при нисходящем проектировании (так как еще не спроектированы компоненты) или исходных требований при восходящем проектировании (поскольку ТЗ имеется на всю систему, а не на ее части) обуславливают необходимость прогнозирования недостающих данных с последующим их уточнением, т.е. последовательного приближения к окончательному решению (итерационность проектирования).

Наряду с декомпозицией описаний на иерархические уровни принимают разделение представлений о проектируемых объектах на аспекты.

Аспект описания (страта) — описание системы или ее части с некоторой оговоренной точки зрения, определяемой функциональными, физическими или иного типа отношениями между свойствами и элементами.

Различают аспекты функциональный, информационный, структурный и поведенческий (процессный). Функциональное описание относят к функциям системы и чаще всего представляют его функциональными схемами. Получение функциональных описаний часто называют функциональным проектированием.

Информационное описание включает в себя основные понятия предметной области (сущности), словесное пояснение или числовые значения характеристик (атрибутов) используемых объектов, а также описание связей между этими понятиями и характеристиками. Информационные модели можно представлять графически (графы, диаграммы сущность-отношение), в виде таблиц или списков. Получение информационных описаний часто называют информационным проектированием или применением к созданию баз данных — инфологическим проектированием.

3D CAD дизайн позволяет манипулировать, извлекать и отображать надежные технические данные в реалистичную модель. В отличие от плоских чертежей и двумерных чертежей, опции 3D-рендеринга создают виртуальную среду, которая может быть представлена и даже изменена в режиме реального времени. Разумеется, не так уж сложно представить множество важных и разнообразных преимуществ таких рабочих моделей для ряда профессий.

Сегодня мир программного обеспечения для 3D-дизайна представляет собой виртуальную индустрию программ и графических пакетов, которые делают практически все, что может себе представить дизайнер или инженер. Вышеупомянутый Autodesk является лидером в области программ САПР, но есть и много других, некоторые из которых предназначены для более узких, более нишевых областей или интересов. Упомянутые компании — лидеры в области САПР, а их продукты занимают львиную долю рынка в денежном выражении. Главная особенность «тяжелых» САПР — обширные функциональные возможности, высокая производительность и стабильность работы — все это результат длительного развития. Однако, эти системы немолоды — CATIA появилась в 1981 г., Pro/Engineer — в 1988 г., а Unigraphics NX, хотя и вышла в 2002 г., является результатом слияния двух весьма почтенных по возрасту систем — Unigraphics и I-Deas, полученных фирмой EDS в результате приобретения компаний Unigraphics и SDRC. Несмотря на то, что тяжелые системы стоят значительно дороже своих более «легких» собратьев (десятки тысяч долларов за одно рабочее место), затраты на их приобретение окупаются, особенно когда речь идет о сложном производстве, например машиностроении, двигателестроении, авиационной и аэрокосмической промышленности.

Некоторые из них даже совершенно бесплатны: Blender, Google SketchUp, MeshLab, BRL-CAD, K-3D, MakeHuman, OpenSCAD, что является довольно замечательным показателем того, как далеко продвинулась эта конкретная отрасль с момента ее появления.



ребра TIN. Это позволяет TIN сохранить точность входных данных при одновременном моделировании значений, расположенных между известными точками. Вы можете с высокой точностью расположить на поверхности пространственные объекты – например, горные пики, дороги и реки – используя их в качестве входных данных для узлов TIN.

Модели TIN не так широко доступны, как растровые модели поверхностей, и требуют больше времени для построения и обработки. Стоимость получения высококачественных исходных данных может быть достаточно высока, а обработка TIN, из-за сложности их структуры, несколько менее эффективна, чем обработка растровых данных.

Сети TIN обычно используются для моделирования небольших областей с очень высокой точностью, например в инженерных приложениях, где их использование позволяет проводить вычисления планиметрический площади, площади поверхности и объема.

### 3.2 Техническое и программное обеспечение процесса макетирования

Программное обеспечение для автоматизированного проектирования (или САПР) используется художниками-графиками, архитекторами, дизайнерами интерьеров, инженерами и многими другими при создании эскизов, технических чертежей, визуализаций для различных целей. Генеральные подрядчики, строители, производители и смежные области используют эти возможности для представления готового проекта, а также для облегчения создания самого продукта. Термин «САПР для машиностроения» в нашей стране обычно используют в тех случаях, когда речь идет о пакетах программ, которые в англоязычной терминологии называются CAD/CAM/CAE. Другими словами, это ПО для автоматизированного проектирования (CAD), подготовки производства (CAM) и инженерного анализа (CAE). Существуют САПР и для других областей — разработки электронных приборов, строительного проектирования, но они имеют свою специфику.

Идея автоматизировать проектирование зародилась в конце 50-х годов прошлого века, почти одновременно с появлением коммерческих компьютеров. А уже в начале 60 системы подготовки производства.

Структурное описание относится к морфологии системы, характеризует составные части системы и их межсоединения и может быть представлено структурными схемами, а также различного рода конструкторской документацией. Получение конструкторской документации, т.е. описание геометрических форм изделий, состава компонентов и их пространственного размещения, называют конструкторским проектированием.

Поведенческое описание характеризует процессы функционирования (алгоритмы) системы и (или) технологические процессы создания системы. Разработка алгоритмов и программного обеспечения систем является предметом алгоритмического проектирования, а разработка технологических процессов изготовления изделий — предметом технологического проектирования.

Иногда аспекты описаний связывают с подсистемами, функционирование которых основано на различных физических процессах.

Отметим, что в общем случае выделение страт может быть неоднозначным. Так, помимо указанного подхода, очевидно целесообразность выделения таких аспектов, как функциональное (разработка принципов действия, структурных, функциональных, принципиальных схем), конструкторское (определение форм и пространственного расположения компонентов изделий), алгоритмическое (разработка алгоритмов и программного обеспечения) и технологическое (разработка технологических процессов) проектирование систем. Примерами страт в случае САПР могут служить также рассматриваемые далее виды обеспечения автоматизированного проектирования.

В рамках жизненного цикла промышленных изделий САПР решает задачи автоматизации работ на стадиях проектирования и подготовки производства.

Основная цель создания САПР — повышение эффективности труда технических специалистов, включая:

- сокращение трудоемкости проектирования и планирования;
  - сокращение сроков проектирования;
  - сокращение себестоимости проектирования и изготовления, уменьшение затрат на эксплуатацию;
  - повышение качества и технико-экономического уровня результатов проектирования;
  - сокращение затрат на натурное моделирование и испытания.
- Достижение этих целей обеспечивается путем:
- автоматизации оформления документации;

- информационной поддержки и автоматизации процесса принятия решений;
  - использования технологий параллельного проектирования;
  - унификации проектных решений и процессов проектирования;
  - повторного использования проектных решений, данных и наработок;
  - стратегического проектирования;
  - замены натурных испытаний и макетирования математическим моделированием;
  - повышения качества управления проектированием;
  - применения методов вариантного проектирования и оптимизации.
- В состав САПР обычно входят:
- система автоматизированного черчения;
  - система автоматизированного проектирования;
  - система трехмерного моделирования;
  - система подготовки чертежей по трехмерным моделям.

## 1.2 Основные методы моделирования трехмерных объектов с помощью компьютерных систем

По назначению системы САПР подразделяют на два вида: проектирующие и обслуживающие.

Проектирующие системы реализуют определенный этап проектирования или группу связанных проектных задач. В зависимости от отношения к объекту проектирования различаются системы объектные и инвариантные.

Объектные системы выполняют проектные процедуры и операции, непосредственно связанные с конкретным типом объектов проектирования.

Инвариантные системы выполняют унифицированные проектные процедуры и операции, имеющие смысл для многих типов объектов проектирования.

изображений, например, с помощью DEM с отмывкой в высоком разрешении (ниже).

Растровая поверхность – это непрерывное поле значений, которые могут меняться в бесконечном количестве точек. Например, точки любой области могут отличаться по высоте, близости к объекту, или по концентрации какого-либо элемента. Любые из этих значений могут быть представлены по оси z в трехмерной системе координат x,y,z для создания 3D поверхности.

Данные растровой поверхности отображают поверхность в виде грида ячеек одинакового размера, которые содержат атрибутивные значения для представления z-значения и координат x,y.

При использовании в работе дополнительного модуля ArcGIS 3D Analyst вы, скорее всего, будете использовать или создавать большое количество наборов растровых данных. Поэтому, при работе с растрами, необходимо понимать, каким образом 3D Analyst отображает растровые наборы данных.

Нерегулярные сети триангуляции (TIN) используются в ГИС в течение многих лет и являются способом цифрового отображения структуры поверхности. TIN является формой векторных цифровых географических данных, которые строятся методом триангуляции набора вершин (точек). Вершины соединяются сериями ребер и формируют сеть треугольников. Существуют различные методы интерполяции для формирования этих треугольников, например триангуляция Делоне. ArcGIS поддерживает метод триангуляции Делоне.

Полученная триангуляция соответствует критерию треугольников Делоне, который требует, чтобы внутри окружности, описанной вокруг любого треугольника в сети, не содержалось более ни одной вершины треугольника. Если критерий Делоне соблюдается по всему TIN, минимизируется. В результате, исключается появление «тонких» треугольников.

Ребра TIN формируют непрерывные, непересекающиеся грани треугольников, и могут использоваться для определения положения линейных пространственных объектов, играющих важную роль в построении поверхностей, например, для линий хребтов или направлений водотоков. На рисунке ниже показаны узлы и ребра TIN (слева) и узлы, ребра и грани TIN (справа).

Поскольку узлы могут располагаться на поверхности нерегулярно, TIN может иметь более высокое разрешение в тех областях, где поверхность крайне неравномерна или нужна большая детализация, и более низкое разрешение, если поверхность однородна.

Входные пространные объекты, используемые для создания TIN, остаются на тех же местах, где располагаются узлы и

Модели поверхностей позволяют хранить информацию о поверхности в ГИС. Поскольку поверхность может содержать бесконечное количество точек, невозможно измерить и записать z-значения в каждой точке. В модели поверхности используется аппроксимация поверхности по отдельным значениям, взятым в различных точках поверхности, с последующей интерполяцией значений между этими точками.

ГИС-данные в основном делятся на два основных типа: растровые и векторные. Векторные данные определяются точками, линиями и полигонами, а также их взаимосвязями, которые и составляют геопространственные данные. Пространственные объекты реального мира и поверхности могут отображаться в ГИС с помощью векторных данных. Растровые данные представляют собой прямоугольный массив ячеек, организованных в строки и столбцы. Каждая ячейка отображает квадратный участок земной поверхности и содержит значение, которое постоянно в любом месте ячейки. Поверхность может быть представлена в виде растровых данных, где каждая ячейка данных отображает некое значение, основанное на информации о реальном объекте. Это могут быть данные высот, уровень загрязнений, высота водоносного слоя и т.д.

Растровые данные могут быть разделены на подкатегории, такие как тематические данные, изображения и непрерывные данные. Поверхности, представленные растровыми данными, являются формой непрерывных данных. Непрерывные данные также называются полями, не дискретными (непрерывными) данными или данными поверхности. Непрерывная поверхность отображает явление, в котором каждая точка поверхности является мерой плотности, мерой отношения к какой-либо фиксированной точке пространства или отношению к точке происхождения.

Модели высот являются одним из примеров растровых моделей поверхности. Высоты, полученные фотограмметрическими методами, могут служить фиксированными точками, интерполяция значений между такими точками формирует цифровую модель рельефа (DEM). Поскольку растровые поверхности обычно хранятся в формате ячейки, с ячейками одинакового размера, чем меньше размер ячейки, тем выше точность грида.

Точность размещения отдельных пространственных объектов – например, вершины горы – непосредственно связана с размером ячеек грида. На примере, показанном выше, слишком загрубленные данные поверхности отображаются в виде плоской, двумерной модели поверхности. Растровые поверхности для 3D изображений можно генерировать или моделировать с помощью иных источников

Примерами проектирующих систем могут служить системы геометрического трехмерного моделирования механических объектов, схемотехнического анализа, трассировки соединений в печатных платах.

Обслуживающие системы обеспечивают функционирование проектирующих подсистем, оформление, передачу и вывод данных, сопровождение ПО. Их совокупность называют системной средой (или оболочкой) САПР.

Типичными обслуживающими системами являются:

- системы управления проектными данными;
- обучающие системы для освоения пользователями технологий, реализованных в САПР;
- системы графического ввода-вывода;
- система управления базами данных.

По целевому назначению различают САПР, которые обеспечивают различные аспекты проектирования: CAD, CAE, CAM и CAPP. CAD (Computer-Aided Design/Drafting) — средства автоматизированного проектирования. В контексте указанной классификации термин обозначает средства САПР, предназначенные для автоматизации двух- и(или) трехмерного геометрического проектирования, создания конструкторской и (или) технологической документации, и САПР общего назначения: CADD (Computer-Aided Design and Drafting) — проектирование и создание чертежей; CAGD (Computer-Aided Geometric Design) — геометрическое моделирование.

CAE (Computer-Aided Engineering) — средства автоматизации инженерных расчетов, анализа и симуляции физических процессов. Осуществляют динамическое моделирование, проверку и оптимизацию изделий.

CAA (Computer-Aided Analysis) — подкласс средств CAE, используемых для компьютерного анализа.

CAM (Computer-Aided Manufacturing) — средства технологической подготовки производства и управления оборудованием с числовым программным управлением или гибких автоматизированных производственных систем. Русским аналогом термина является АСТПП — автоматизированная система технологической подготовки производства.

CAPP (Computer-Aided Process Planning) — средства автоматизации планирования технологических процессов, применяемые на стыке систем CAD и CAM.

Многие САПР совмещают в себе решение задач, относящихся к различным аспектам проектирования: CAD/CAM, CAD/CAE, CAD/CAE/CAM. Такие системы называют комплексными или интегрированными.

С помощью CAD-средств создается геометрическая модель изделия, которая используется в качестве входных данных в системах CAM и на основе которой в системах CAE формируется требуемая для инженерного анализа модель исследуемого процесса. По отраслевому назначению выделяют MCAD, EDA и AEC CAD.

MCAD (Mechanical Computer-Aided Design) — автоматизированное проектирование механических устройств. Это машиностроительные САПР, применяются в автомобилестроении, судостроении, авиакосмической промышленности, производстве товаров народного потребления, включают в себя разработку деталей и сборок (механизмов) с использованием параметрического проектирования на основе конструктивных элементов, технологий поверхностного и объемного моделирования (SolidWorks, Autodesk Inventor, КОМПАС, CATIA). EDA (Electronic Design Automation) или ECAD (Electronic Computer-Aided Design) — САПР электронных устройств, радиоэлектронных средств, интегральных схем, печатных плат и т. п. (Altium Designer, OrCAD).

AEC CAD (Architecture, Engineering and Construction Computer-Aided Design) или CAAD (Computer-Aided Architectural Design) — САПР в области архитектуры и строительства. Используются для проектирования зданий, промышленных объектов, дорог, мостов и пр. (Autodesk Architectural Desktop, AutoCAD Revit Architecture Suite, который включает в себя Revit Architecture, AutoCAD и AutoCAD Architecture, Piranesi, ArchiCAD).

По способу программной реализации различают САПР на основе баз данных и на основе баз знаний.

В САПР на основе баз данных специалист (конструктор или технолог) разработывает конструкцию изделия или технологический процесс его изготовления, а компьютер предоставляет необходимое

## 3 МАКЕТИРОВАНИЕ

### 3.1 Свойства пространственных объектов, качество поверхности, образующее эти поверхности

Модель 3D поверхности является цифровым отображением пространственных объектов, как реальных, так и гипотетических, в трехмерном пространстве. Простыми примерами 3D поверхностей являются ландшафты, городские улицы, подземные газовые хранилища или сеть колодцев с указанием их глубины, которую можно использовать для определения глубины водоносного слоя. Все эти примеры являются реальными объектами, но поверхности также могут быть вычисленными или воображаемыми. Пример вычисленной поверхности — уровень загрязнения воды определенным видом бактерий в каждом колодце. Карта такого загрязнения также может быть представлена в виде 3D поверхности. Вымышленные 3D поверхности — поверхности, которые часто встречаются в видеоиграх или компьютерных симуляциях.

3D поверхности обычно вычисляются с использованием специальных алгоритмов, которые обрабатывают исходные точечные, линейные или полигональные данные и конвертируют их в цифровую 3D поверхность. ArcGIS может создавать и хранить четыре типа моделей поверхности: растровые, наборы данных TIN и terrain, и наборы данных LAS.

Эти модели поверхностей могут быть созданы из множества разных источников данных. Два основных метода создания моделей поверхностей — интерполяция и триангуляция. Существует несколько методов интерполяции для создания растровых поверхностей, таких как Обратное взвешенные расстояния (Inverse Distance Weighted), Сплайн (Spline), Кригинг (Kriging) и Естественная Окрестность (Natural Neighbor). Вы можете построить триангуляционные поверхности (Natural Neighbor). Вы можете построить триангуляционные поверхности, создав TIN, набор данных terrain или набор данных LAS. Также вы можете использовать конвертацию между этими моделями поверхностей.

Растры, TIN, наборы данных terrain и наборы данных LAS являются различными типами функциональных поверхностей. Функциональная поверхность — это непрерывное поле значений, которые могут меняться в бесконечном количестве точек. Например, точки любого района поверхности Земли могут отличаться по высоте, близости к объекту, или по концентрации какого-либо элемента. Любые из этих значений могут быть представлены по оси z в трехмерной системе координат x, y, z, поэтому они часто называются z-значениями.

формации о местности (электронных карт, цифровых моделей местности), полученной с географических карт, кадастровых планов и фотоматериалов, рельефных карт и видеоизображений.

Существует 2 основных принципа создания трёхмерных моделей:

- Наглядность
- Информативность

Наглядность - это свойство изображения заключается в правдивом и ясном представлении об объекте моделирования. Наглядность создаётся внешним оформлением трёхмерной модели, цветовой гаммой, системой обозначений, формами и размерами элементов содержания изображения, его текстурой и структурой, т.е. наглядность трёхмерной модели – это возможность зрительного восприятия пространственных форм, размеров и размещения изображённых объектов. Чем детальнее модель, тем больше объектов с большими подробностями показанных на модели. При этом в целях повышения наглядности изображения проводят оптимизацию данных, то есть объекты, имеющие второстепенное значение, на модели не показывают.

Информативность - свойство трёхмерных изображений определяющееся, прежде всего, наличием в них разнообразных пространственных характеристик. Максимум информативности трёхмерных изображений означает подробный, детальный показ внешнего облика, пространственного положения, размеров и форм всех сколь угодно существующих элементов пространства.

Трёхмерность наглядно отображает все особенности строения объекта, его мельчайшие элементы, скрытые от глаз наблюдателя части конструкции сооружения. 3D графика находит широкое применение в технологических сферах. Основные потребители 3D - это компании-производители различного оборудования и организации, занимающиеся строительством крупной недвижимости. Производителям оборудования трёхмерная графика позволяет очень наглядно продемонстрировать принципы работы технологических линий и отдельных станков. "Объёмный" дизайн позволяет подчеркнуть преимущества и тонкости производственного процесса. С помощью 3D графики есть возможность показать всё оборудование и заглянуть "внутрь" технологического процесса. Эффектная визуализация концентрирует внимание зрителя на ключевых моментах демонстрации. **Качественный трёхмерный дизайн имеет идеальный вид, что способствует позитивному восприятию презентации в целом.**

документацию и оформляет документацию в соответствии с ЕСКД или ЕСТД.

В САПР на основе баз знаний задача специалиста ограничивается вводом исходных данных для проектирования, а компьютер с соответствующим ПО принимает оптимальное решение и оформляет техническую документацию.

По алгоритмам проектирования САПР подразделяют на системы индивидуального проектирования и системы проектирования по аналогам.

К универсальным САПР конструкции изделий с разработкой конструкторской документацией на основе БД можно отнести такие системы, как КОМПАС, P-CAD, Altium Designer, T-FLEX CAD и AutoCAD.

### 1.3 Трёхмерное моделирование

Трёхмерная графика (3D Graphics, Три измерения изображения) — раздел компьютерной графики, совокупность приемов и инструментов (как программных, так и аппаратных), предназначенных для изображения объёмных объектов.

Трёхмерное изображение на плоскости отличается от двумерного тем, что включает построение геометрической проекции трёхмерной модели на плоскость (например, экран компьютера) с помощью специализированных программ (однако, с созданием и вводом 3D-дисплея 3D-принтеров, трёхмерная графика не обязательно включает в себя проецирование на плоскость). При этом модель может как соответствовать объектам из реального мира (автомобили, здания, урбан, астероид), так и быть полностью абстрактной (проекции четырёхмерного фрактала).

+Трёхмерная графика активно применяется для создания изображений на плоскости экрана или листа печатной продукции в науке и промышленности, например в системах автоматизации проектных работ (САПР; для создания твердотельных элементов: зданий, деталей машин, механизмов), архитектурной визуализации («туда относится и так называемая «виртуальная археология»), в современных системах медицинской визуализации.

Трёхмерные системы обеспечивают такую дисциплину работы с тремя координатами, при которой любое изменение одного вида автоматически приводит к соответствующим изменениям на всех остальных видах.

Последовательность построения может быть разной. Последовательность построений может быть следующей: сначала строится

3D вид, а затем автоматически генерируются 2D виды. Некоторые системы способны преобразовывать сборочные чертежи механизма ортогональной проекции в 3D вид этого изделия в разобранном состоянии.

Трехмерное моделирование особенно успешно применяется для создания сложных чертежей, при проектировании размещения заводского оборудования, трубопроводов, различных строительных сооружений, в тех приложениях, где необходимо обеспечить адекватные зазоры между компонентами.

Возможность генерировать траектории движения инструмента и имитация функционирования роботов делает 3D моделирование неотъемлемой частью интеграции САПР/АСТПП. В некоторых системах 3D имеются средства автоматического анализа физических характеристик, таких как вес, моменты инерции и средства решения геометрических проблем сложных сопряжений и интерпретации. Поскольку в 3D системах существует автоматическая связь между данными различными геометрических видов изображения, 3D моделирование полезно в тех приложениях, где требуется многократное редактирование 3D образа на всех этапах процесса проектирования.

Методы трехмерного моделирования делятся на 3 вида:

- "Каркасное (проволочное) моделирование;
- "Поверхностное (полигональное) моделирование;
- "Твердотельное (сплошное, объемное) моделирование.

#### КАРКАСНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.

Каркасная модель полностью описывается в терминах точек и линий. Это моделирование самого низкого уровня и имеет ряд серьезных ограничений, большинство из которых возникает из-за недостатка информации о гранях, которые заключены между линиями, и невозможности выделить внутреннюю и внешнюю область изображения твердого объемного тела.

Однако каркасная модель требует меньше памяти и вполне пригодна для решения задач, относящихся к простым. Каркасное представление часто используется не при моделировании, а при отображении моделей как один из методов визуализации.

Наиболее широко каркасное моделирование используется для имитации траектории движения инструмента, выполняющего несложные операции по 2.5 или 3 осям. Понятие 2.5 оси связано с тем, что более простые системы могут обрабатывать информацию о формах только с постоянным поперечным сечением. Такую форму можно построить следующим образом - сначала создается вид, а затем каждой точке приписываются два значения координаты, характеризующие глубину изображения.

Недостатки каркасной модели:

позволило создавать и совершенствовать новые виды цифровой продукции с информацией о местности – трехмерные цифровые модели.

Трехмерные цифровые модели представляют собой в общем случае трехмерные пространственные аналоги реальных объектов местности. По сравнению с цифровыми картами визуализация и обработка трехмерных цифровых моделей требуют больших вычислительных ресурсов, более развитых аналитических средств, более сложных алгоритмов. Это сдерживает применение цифровых моделей как основного информационного продукта. Обработка и использование такого вида информации возможно с помощью мощного программного обеспечения. До недавнего времени информационные системы, обеспечивающие трехмерное представление данных, практически были ориентированы на решение задач разработки нефтяных и газовых месторождений. Это объяснялось высокой ценой как ПО, так и средств сбора исходных данных.

При трехмерном моделировании появляются новые возможности анализа и интерпретации данных о территории по сравнению с традиционными методами использования двухмерных карт и планов. Использование данных трехмерного моделирования при их интерактивной обработке может существенно повысить эффективность планирования, контроля и принятия управленческих решений для органов муниципального управления и в целом при планировании развития территорий.

Окружающие нас предметы и явления, как правило, объемны, мир вокруг нас не плоский. Это является одной из главных причин растущей популярности 3D-моделирования. Использование трехмерной визуализации позволяет создавать наглядные модели, интуитивно понятные каждому, в большей степени, чем традиционные 2D-карты или планы. В общем случае трехмерные цифровые модели представляют собой трехмерные пространственные аналоги реальных объектов местности. В научной и технической литературе приводятся различные определения и обозначения, например: трехмерные виртуальные модели местности или 3Dвизуализации, виртуальные модели местности, цифровые пространственные модели местности, пространственные модели местности, трехмерные цифровые модели, 3D-модели, 3D-ЦММ, 3D-сцены, трехмерные текстурированные модели реалистического вида.

ГОСТ Р 52055-2003 регламентирует следующее определение: Пространственная модель местности – наглядное и измеримое трехмерное изображение земной поверхности на электронных средствах отображения информации, воспроизведенное в соответствии с заданными условиями наблюдения (обзора) на основе цифровой ин-

название трёхмерных сцен, трёхмерных моделей (трёхмерной машинной графики). Именно с этого этапа начинается история 3D-моделирования. В трёхмерных моделях характеристики местности или объекта являются функцией трех координат (X, Y, Z).

Благодаря этому устраняется неоднозначность и каждой точке модели соответствует набор топографических характеристик только одного объекта. Создание и использование таких моделей сопровождается режимом возрастанием объемов обрабатываемой информации. Методы создания трёхмерных сцен позволяют получить изображение существующих и проектируемых объектов, оценить облик объекта из недоступной для наблюдения позиции и решить ряд других аналогичных задач.

Моделирование трёхмерных объектов и сцен (сюжетов) требует учета трёхмерности пространства и предметов, наличия источников освещения и наблюдателя. Исследования в этой области были направлены на развитие и совершенствование методов аппроксимации и представления сложных поверхностей, генерирование текстур, рельефа, моделирование условий освещения. Значительное внимание уделялось также улучшению качества синтезированных изображений, повышению уровня их реалистичности, сглаживанию погрешностей результатов аппроксимации геометрической формы реальных объектов и пространственной дискретизации изображения. В 1980-е гг., благодаря развитию мощности и расширению возможностей вычислительных средств, разрабатываются принципы и методы формирования реалистических изображений. В 90-е гг. прошлого века возникает и развивается направление мультимедиа, а затем и виртуальной реальности. Развитие вычислительных средств, расширение их возможностей обеспечило интенсивное развитие направлений компьютерного синтеза изображений – реализации методов объединения отдельных элементов, сторон объекта в единое целое. Интерес к синтезу изображений объясняется высокой информативностью последних.

Информация, содержащаяся в изображении, представлена в наиболее централизованной форме, и эта информация, как правило, более доступна для анализа: для её восприятия получателю достаточно иметь относительно небольшой объём специальных знаний. Также в это время активно развиваются методы математического моделирования, программное обеспечение растровой графики. Достижения в микроэлектронике обеспечили прогресс растровой графики. Расширяется применение машинной графики – возможность создания реалистических изображений трёхмерных объектов.

В настоящее время использование достижений трёхмерной машинной графики при пространственном моделировании местности

" Неоднозначность - для того, чтобы представить модель в каркасном виде, нужно представить все ребра (это эффект может привести к непредсказуемым результатам. Нельзя отличить видимые грани от невидимых. Операцию по удалению невидимых линий можно выполнить только в ручную с применением команд редактирования каждой отдельной линии, но результат этой работы равносителен разрушению всей созданной каркасной конструкции, т.к. линии невидимы в одном виде и видимы в другом);

" Невозможность распознавания криволинейных граней - мнимые ребра (боковые поверхности цилиндрической формы реально не имеют ребер, хотя на изображении есть изображение некоторых мнимых ребер, которые ограничивают такие поверхности. Расположение этих мнимых ребер меняется в зависимости от направления вида, поэтому эти силуэты не распознаются как элементы каркасной модели и не отображаются на них);

" Невозможность обнаружить взаимное влияние компонент (каркасная модель не несет информации о поверхностях, ограничивающих форму, что обуславливает невозможность обнаружения желательных взаимодействий между гранями объекта и существенно ограничивает использование каркасной модели в пакетах, имитирующих траекторию движения инструмента или имитацию функционирования робота, так как при таком моделировании не могут быть выявлены на стадии проектирования многие коллизии, появляющиеся при механической сборке);

" Трудности, связанные с вычислением физических характеристик;

" Отсутствие средств выполнения тоновых изображений (основным принципом техники выполнения тоновых изображений, т.е. обеспечение плавных переходов различных цветов и нанесение светотени, является то, что затенению подвергаются грани, а не ребра).

#### ПОВЕРХНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.

Поверхностное моделирование определяется в терминах точек, линий и поверхностей. При построении поверхностной модели предполагается, что технические объекты ограничены поверхностями, которые отделяют их от окружающей среды. Такая оболочка изображается графическими поверхностями. Поверхность технического объекта снова становится ограниченной контурами, но эти контуры уже являются результатом 2-х касающихся или пересекающихся поверхностей. Точки объектов - вершины, могут быть заданы пересечением трех поверхностей.

Поверхностное моделирование имеет следующие преимущества по сравнению с каркасным:



" способность распознавания и изображения сложных криволинейных граней;  
" изображение грани для получения тоновых изображений;  
" особые построения на поверхности (отверстия);  
" возможность получения качественного изображения;  
" обеспечение более эффективных средств для имитации функционирования роботов.

В основу поверхностной модели положены два основных математических положения:

" Любую поверхность можно аппроксимировать многогранником, каждая грань которого является простейшим плоским многоугольником;

" Наряду с плоскими многоугольниками в модели допускаются поверхности второго порядка и аналитически неопределяемые поверхности, форму которых можно определить с помощью различных методов аппроксимации и интерполяции.

В отличие от каркасного моделирования каждый объект имеет внутреннюю и внешнюю часть.

#### ТИПЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ:

" Базовые геометрические поверхности (к этой категории относятся плоские поверхности, которые можно получить, начертив сначала отрезок прямой, а затем применить команду, которая разворачивает в пространстве образ этого отрезка на заданное расстояние; таким же образом можно разворачивать и поверхности);

" Поверхности вращения, которые создаются вращением плоской грани вокруг определенной оси;

" Поверхности сопряжений и пересечений;

" Аналитически описываемые поверхности (каждая такая поверхность определяется одним математическим уравнением с неизвестными ). Эти неизвестные обозначают искомые координаты поверхности.

" Скульптурные поверхности (поверхности свободных форм или произвольные поверхности). Методы геометрического моделирования скульптурных поверхностей сложной технической формы применяются в областях, в которых проектируются динамические поверхности или поверхности, к которым предъявляются повышенные эстетические требования. Динамические поверхности подразделяются на 2 класса: омываемые средой (внешние обводы самолетов, подводных лодок), трассирующие среду (воздушные и гидравлические каналы, турбины). При проектировании скульптурных поверхностей применяют каркасно-кинематический метод, основанный на перемещении некоторых образующих по направляющим или путем построения

Моделирование - создание модели из ничего, проектирование с помощью программных средств, задание соответствующих размеров, текстур, освещения. Создается, так сказать, каркас объектов, описывается математическими формулами.

Следующим этапом является рендеринг (англ. render - визуализация) - преобразование сырого каркаса в приятную для глаза форму, закругление углов, отображение света, отображение текстур. Осуществляется с помощью программных средств.

Вывод на печать, либо на экран монитора полученной визуальной модели - последний этап. Передовые технологии не стоят на месте, ученые изобретают новинки техники, к ним и относятся 3D-мониторы и 3Dпринтеры.

Построение трёхмерных моделей – процесс относительно новый, если сравнивать его с картами и планами в аналоговом и цифровом видах. Однако, с начала появления их прошло более двух десятилетий. 3D-модели представляют собой трёхмерные пространственные модели реальных объектов или территории. Появлению таких новых видов цифровой продукции способствовали достижения трёхмерной машинной графики.

В настоящее время создание и использование 3D-моделей местности находит применение в различных областях деятельности: образовании и науке; нефтяной и газовой индустрии; строительстве; городском кадастре; картографии; управлении природными ресурсами; экологическом мониторинге; в туризме. Широко трёхмерное моделирование применяется в формировании данных для кадастровых (землеустроительных, градостроительных) систем.

Большую популярность имеют интерактивные цифровые модели городов, с помощью которых решаются задачи городского планирования, управления транспортом, защита от шума и др. Для практической оценки выбранного варианта решения поставленной задачи необходимо иметь информацию не только о плане в положении и высоте объектов, но и о точности этих данных, которая зависит от исходных материалов таких как космическая и аэросъемка.

Аэрофотосъемка, несмотря на быстрое развитие методов дистанционного зондирования земли, остаётся одним из основных способов создания 3D-моделей, т.к. позволяет построить метрическую, т.е. измеряемую, модель высокой точности, но. Для обработки материалов аэрокосмических съёмок используются цифровые фотограмметрические системы (ЦФС). Эти системы служат для сбора трёхмерной информации о территории. В 1970-е гг. теоретические и практические разработки были направлены на развитие методов отображения пространственных форм и объектов. Это направление получило



Функции моделирования маршрутов, местоположений ресурсов и транспортных потоков выполняются, как правило, в специализированных пакетах развитых ГИС с помощью таких особых показателей как связи, барьеры, ограничения для поворота, запреты на поворот, центры ресурсов, ограничения на ресурсы, остановки, ограничения на остановки.

## 2.2 Области применения 3D-моделирования. Этапы получения готового продукта при работе с трехмерной графикой

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

Трёхмерное изображение на плоскости отличается от двумерного тем, что включает построение геометрической проекции трёхмерной модели сцены на плоскость (например, экран компьютера) с помощью специализированных программ (однако, с созданием и внедрением 3Dдисплеев и 3D-принтеров, трёхмерная графика не обязательно включает в себя проецирование на плоскость).

При этом модель может как соответствовать объектам из реального мира (автомобили, здания), так и быть полностью абстрактной (проекция четырёхмерного фрактала). 3D-моделирование — это процесс создания трёхмерной модели объекта.

Задача 3D-моделирования — разработать визуальный объёмный образ желаемого объекта. С помощью трёхмерной графики можно и создать точную копию конкретного предмета, и разработать новое, даже нереальное представление до сего момента не существовавшего объекта.

Трёхмерная графика - вид компьютерной графики, представляющий собой объёмную модель какого-либо объекта. Для создания трёхмерной модели требуются специальные программные и аппаратные средства. К программным принадлежат приложения 3D-визуализации. К аппаратным относят то, с помощью чего создается и отображается модель (компьютер, 3D-мониторы, 3D-принтеры).

Процесс создания трёхмерной модели включает три этапа:

1. Моделирование.
2. Визуализация.
3. Вывод модели (печать либо на монитор).

ния сплайнов, продольных образующих кривых между точками, определенными в трехмерном пространстве. Методы отображения скульптурных поверхностей в значительной степени связаны с возможностями графических устройств. При этом отображение самой поверхности не играет существенной роли, так как основное назначение этих методов визуальная проверка корректности, гладкости и эстетичности полученной поверхности. В настоящее время модели скульптурных поверхностей широко используются при проектировании и производстве корпусом автомобилей, самолетов, предметов домашнего обихода.

Составные поверхности. Составную поверхность можно полностью определить, покрыв его сеткой четырехугольных кусков, то есть участками, ограниченными параллельными продольными и поперечными линиями на поверхности. Каждый кусок имеет геометрическую форму топологического прямоугольника, который отличается от обычного тем, что его стороны не обязательно являются прямыми и попарно перпендикулярными. Границы кусков представляют собой непрерывные кривые и обеспечивают гладкость поверхности, натянутой на сетку. Внутренняя область каждого куска определяется методом интерполяции. Изображение составной поверхности может быть получено на экране дисплея либо с помощью построения по точкам сплайновых кривых, либо путем создания многогранного каркаса, на который система будет автоматически аппроксимировать натяжение гладкой криволинейной поверхности.

## 2. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПОЛУЧЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МОДЕЛЕЙ

### 2.1 Операций и их параметры в трехмерном моделировании

Эффективность функционирования геоинформационной системы напрямую зависит от развитости и адекватности поставленным задачам системы анализа и моделирования. По мнению М. ДеМерса: «Подсистема анализа – сердце ГИС. Это то, ради чего ГИС существуют». Он считает, что пространственный анализ и моделирование, начиная с простых запросов и их комбинаций, далее в виде измерений, и, наконец, в форме сравнительного анализа, формирует у пользователей пространственное мышление и порождает новые творческие идеи.

На концептуальном уровне в ГИС существуют модели дискретных объектов, модели непрерывных полей и модели сетей. Предшественником пространственного моделирования было геометрическое моделирование в конструкторских системах. Оно представляет собой совокупность операций и процедур, включающих формирование геометрической модели объекта и ее преобразование с целью получения желаемого изображения объекта и определения его свойств. Большой процент проектных разработок требует применения автоматизированного геометрического конструирования изделий и объектов. Развитие методов геометрического моделирования в большой степени обусловлено возникновением мощного специализированного аппаратного и программного обеспечения машинной графики, что дало толчок к развитию таких сложных систем как трехмерная машинная графика, мультимедиа, анимация.

Однако, геометрическое моделирование должно быть дополнено методами, которые позволяют решать задачи пространственного характера. Например, методы пространственного анализа и моделирования (их еще называют геоанализ и геомоделирование) позволяют решить такие сложные проблемы, как:

- определение оптимального размещения на городской территории пожарных служб, служб охраны общественного порядка, спасения в чрезвычайных ситуациях;
- определение оптимального местоположения промышленных, энергетических и гражданских сооружений с учетом их экологического и отрицательного влияния на прилегающую территорию;
- проектирование плотин для ГЭС с учетом зон затопления;
- нахождение оптимальных маршрутов прокладки тепловых трасс, линий электропередач, транспортных магистралей;

любого объекта на карте. Ширина (радиус для точечных объектов) буферной зоны может быть постоянной или зависима от значения приписываемого объекту атрибута (так называемая «буферизация» со взвешиванием). Эта операция используется, например, для учета «запретных» зон на размещении проектируемых объектов по условиям эксплуатационной безопасности, а также, так называемых «зон влияния», оценивающих близость транспортных коммуникаций, инженерных сетей и т. д.

Зонирование или районирование применяется для группировки объектов по определенным принципам с последующей дифференциацией всей их совокупности по тем же критериям. Зонирование означает «разбиение» территории на части (зоны), объединяемые взаимными связями или общими свойствами.

Статическое пространственное моделирование применяется для исследования состояния территории, сложившегося на какой-то момент времени, на основе координатно-локализованной информации. Например, оценка криминогенной обстановки, прогнозирование чрезвычайных ситуаций и их последствий, оценка насыщенности территории энергопроизводящими и энергопотребляющими предприятиями, изменение экологического состояния территории с вводом в эксплуатацию на ней промышленного объекта или прокладки транспортной магистрали и т.д. В частности, генерацию буферных зон можно рассмотреть как наиболее простой способ получения пространственной статической модели.

Динамическое пространственное моделирование имитирует распространение различных явлений и процессов, протекающих во времени, на заданной территории. Например, имитация развития системы населенных мест, когда в основу эксперимента были заложены правила развития системы, а на ЭВМ «проигрывались» пути их реализации с помощью алгоритма статистических испытаний (метод Монте-Карло) [29]. Типичным примером применения пространственно-временных моделей является также пространственно-временное прогнозирование затопления территории во время паводков, прорыва дамбы или заполнения водохранилища ГЭС.

Сетевое моделирование (сетевая оптимизация) нужно для работы с процессами в географических сетях, которые образованы топологически связанными объектами – дорогами, трубопроводами, линиями электропередач, другими коммуникациями, – чтобы максимально эффективно определить маршруты движения, например, служб экстренного вызова, управлять ресурсами, распределенными по сетям, оценивать их и т.д. ГИС-технология позволяет оперативно планировать и контролировать ресурсы даже в очень больших разветвленных сетях самого разного назначения.

которые тесно смыкаются с моделирующими операциями, что позволяет решать классические оптимизационные задачи на самых различных видах сетей. Развитый блок анализа сетей имеет лишь у полнофункциональных ГИС. Одним из примеров служит блок NETWORK пакета ARC/INFO.

Полигональный анализ охватывает задачи, связанные с оверлейными операциями. Их суть состоит в наложении различных полигонов с генерацией производных объектов, возникающих при их геометрическом наложении, и с наследованием их семантики.

Наиболее сложными являются операции с трехмерными объектами (или операции анализа рельефа). Трехмерные объекты ("рельефы") требуют особых форм представления, поскольку их пространственное положение должно описываться не только плановыми, но и пространственными координатами. Достаточно мощными средствами по анализу рельефа являются модуль TIN пакета ARC/INFO, модуль DTM системы Tergasoft (Digital Resource Systems, Канада) и специализированное средство для создания и обработки ЦРМ – Рельеф-Процессор (Харьковский Университет).

Пространственное моделирование - следующая ступень аналитических возможностей ГИС. Пространственное моделирование (геомоделирование) позволяет автоматизировать процесс выработки управленческих решений в составе информационных систем города или региона, «проигрывания сценариев» размещения социальных, промышленных, энергетических и других объектов, рассмотрения большого количества альтернативных проектных целей и поиска оптимальных вариантов с применением различных функций пространственного анализа и моделирования [см., например, 28].

Другими словами, пространственное моделирование представляет собой сочетание аналитических и имитационных математических моделей и координатно-локализованной (геометрической) информации в процессе изучения окружающей действительности.

Наиболее применяемыми функциями пространственного моделирования являются:

- генерация буферных зон;
  - зонирование или районирование;
  - построение пространственных статических моделей;
  - построение пространственных динамических моделей;
  - сетевое моделирование или сетевая оптимизация.
- Рассмотрим подробнее содержание данных функций.
- Генерация буферных зон - это расчет и построение областей, ограниченных эквидистантными линиями, построенными относительно множества точечных, линейных и площадных объектов; то есть это зоны, границы которых удалены на известное расстояние от

- определение стоимости земли на заданной территории с учетом природных и социально-экономических факторов;

- оценка экологического состояния территории, в состав которой должно включаться влияние промышленных и энергетических объектов.

Здесь на первый план выдвигаются топологические свойства рассматриваемых объектов, их взаимоположение и взаимовлияние на данной территории. Если геометрическое моделирование отвечает на вопросы: «Какой формы и каких размеров?», то пространственное моделирование: «Где расположено и на каком расстоянии?» При этом «полем деятельности» пространственного моделирования является определенная территория земли с расположенными на ней объектами природного и искусственного происхождения.

В общем случае пространственный анализ проводится с целью:

- выявления закономерностей в расположении или структуре пространственных объектов;

- нахождения заданных характеристик объектов;

- нахождения взаимосвязей между пространственными объектами;

- выявления тенденций развития явления в пространстве и/или времени;

- выбор конкретного пространственного решения с учетом поставленных условий и ограничений.

При проведении геоанализа пространство может быть описано как структурированным (все объекты имеют координаты, графицы, описан характер их локализации в пространстве, взаимосвязи с другими объектами), так и неструктурированным (указанные характеристики могут принимать любое значение из заданного интервала – влажность, температура) способом.

Все характеристики пространственных объектов подразделяются на качественные и количественные. Чтобы сравнивать и оценивать качественные характеристики их надо ранжировать.

Для более полного понимания особенностей различных функций пространственного анализа рассмотрим историю их возникновения.

Развитие функций, которые выполняют ГИС, шло неравномерно в зависимости от практических потребностей и научно-технических достижений. Первые подходы к построению информационных систем, ориентированных на обработку пространственных данных, были сформулированы в работах коллективов Канады и Швеции - двух странах, приоритет которых в этой области абсолютно бесспорен. Канадские работы были связаны с созданием в 1963-1971 годах

Канадской ГИС (CGIS) под руководством Р. Томлинсона, ставшей одним из классических примеров крупной универсальной региональной ГИС национального уровня [25]. Работы шведской школы геоинформатики концентрировались вокруг ГИС земельно-учетной специализации, в частности Шведского земельного банка данных, предназначенного для автоматизации учета земельных участков и недвижимостями.

ГИС “первого поколения” (60-х - начала 70-х годов) значительно отличались от того, что понимается под ними сегодня. Они решали узкий круг задач инвентаризации земельного кадастра и учета для совершенствования системы налогообложения, решаемые путем автоматизации земельно-учетного документооборота в виде банков данных соответствующей специализации. Постепенно в этот период разрабатываются функции, формирующие ядро геоинформационных технологий: оверлей разноименных слоев, генерация буферных зон, полигонов Тиссена, алгоритмы аналитических и графоаналитических построений и другие операции манипулирования пространственными данными. В 80-х годах ГИС, хотя они и начинали развиваться в значительной степени на базе информационно-поисковых систем, стали приобретать черты картографических банков данных с параллельным расширением возможностей математико-картографического анализа и моделирования данных. Большинство ГИС этого периода включают в свои задачи создание карт или используют картографические материалы как источник исходных данных. Расширяется круг решаемых задач, геоинформационные технологии применяются для различных видов научной и производственной деятельности и образования [26]. Осваиваются принципиально новые источники массовых данных для ГИС - это данные дистанционного зондирования, включая аэро- и фотосъемку. Цифровые методы обработки изображений интегрируются с системами автоматизированной картографии и геоинформационными технологиями, создавая предпосылки для единой программной среды 90-х годов [27].

Следует отметить, что с момента возникновения первых отечественных геоинформационных систем и до настоящего времени, аппаратно-техническое обеспечение этих разработок базируются на персональных ЭВМ с развитой периферией. Системы ориентированы на расширение не только их геоомодельных, но и интеллектуальных “знаниевых” возможностей на основе использования элементов экспортных систем.

В настоящее время для реализации многих геоинформационных проектов используются достаточно мощные и многофункциональные программные средства.

Из зарубежных коммерческих средств ГИС наиболее распространение получили пакеты: pc ARC/INFO (Environmental Systems Research Inst. Inc., США), Terrasoft (Digital Resource System, Канада), MapInfo (MapInfo Inc., США), IDRISI (Clark Univ., США), SICAD/Open (Siemens Nixdorf AG, Германия).

Наиболее известными системами России и стран СНГ являются: Инфосо (АО “Киберсо”, Москва), Панорама (Сибирское отделение РАН), Рельеф-Процессор (РП) (МП Рельеф (Украина)), GeoCad System 3. for Windows (CPS 3) (GeoCad Ltd/ (Новосибирск)), GeoDraw/GeoGraph for Windows (Центр Геоинформационных Исследований ИГ РАН, Москва), пакет WinPlan (Энергетический университет, Иваново) [5].

Исследования показывают, что практически все современные ГИС в большей или меньшей степени обладают функциями пространственного анализа и моделирования. Можно выделить три основных блока аналитических функций, выполняемых по ГИС-технологии: информационные запросы; топологический анализ; пространственное моделирование.

Простейшим видом информационных запросов является получение необходимых данных по параметрическим запросам (так называемые однопараметрические запросы). Эти функции представлены и в ГИС-выверах, и в справочно-картографических системах (СКС), и в инструментальных ГИС.

Более развитые геоинформационные системы способны обслуживать многокритериальные (или многофункциональные) логические запросы, когда объекты отбираются, например, по признаку их удаленности или близости относительно других объектов, их совпадения и по другим количественным и качественным характеристикам и их соотношениям.

Топологический анализ включает в себя картометрические измерения и определение пространственных характеристик, анализ сетей, анализ полигонов (площадей), анализ трехмерных поверхностей (рельефа).

Картометрические измерения служат для определения расстояний между объектами, длин транспортных путей, периметров участков, их площадей, определения соседства нескольких объектов и другие пространственные измерительные операции («в пределах», «содержит», «пересекает» и т.д.).

Анализ сетей включает поиск кратчайшего пути, суммирование значений атрибутов по элементам сети, распределение ресурсов в сети, поиск пространственной смежности, объединение сетей и проч. Решение сетевых задач основано на аналитических операциях,