

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(государственный университет)»



«УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе  
и экономическому развитию

Д.А. Зубцов

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

**по дисциплине:** Компьютерная графика  
**по направлению:** Прикладные математика и физика (магистратура)  
**профиль подготовки:** факультет управления и прикладной математики  
кафедра информатики и вычислительной математики  
**курс:** 2  
**квалификация:** магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3(Осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

практические и семинарские занятия: 30 час.

лабораторные занятия: 30 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Количество курсовых работ, заданий: 1

**Программу составили:**

С.А. Корытник, старший преподаватель

Ф.Б. Челноков, канд. физ.-мат. наук, старший преподаватель

**Программа обсуждена на заседании кафедры**

2 февраля 2017 г.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой

И.Б. Петров

Начальник учебного управления

И.Р. Гарайшина

Декан факультета

А.А. Шананин

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

теоретическое и практическое освоение компьютерной графики, как раздела компьютерных наук и активно развивающейся прикладной области.

### Задачи дисциплины

- изучение основных понятий и алгоритмов компьютерной графики;
- знакомство с программными библиотеками и технологиями компьютерной графики;
- оказание консультаций и помощь студентам в написании программ, занимающихся построением, обработкой и анализом изображений в рамках их самостоятельных научных исследований и написания дипломных работ.

## 2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Компьютерная графика» относится к вариативной части ООП.

Дисциплина «Компьютерная графика» базируется на дисциплинах:

- Информатика и применение компьютеров в научных исследованиях;
- Информатика (Архитектура ЭВМ и язык Ассемблера). Основной курс;
- Информатика (архитектура ЭВМ);
- Информатика (алгоритмы и алгоритмические языки).

## 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций:

### В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

#### знать:

- основные способы компьютерного моделирования изображений;
- основные стадии графического конвейера (формирования изображения) в современных аппаратных системах компьютерной графики;
- принципы представления цвета в компьютере и важнейшие особенности физиологии цветного зрения человека;
- методы преобразования векторных/непрерывных моделей изображений в растровое представление, возникающие при этом эффекты ступенчатости и важнейшие подходы к борьбе с ними;
- идею алгоритма сканирующей строки как подхода к решению задач компьютерной графики и вычислительной геометрии;
- важнейшие структуры данных, применяющиеся для ускорения поиска и обработки в задачах компьютерной графики и вычислительной геометрии;
- топологические структуры данных, использующиеся для моделирования планарных разбиений (в том числе триангуляций и диаграмм Вороного) и полигональных представлений трёхмерных объектов;
- популярные способы моделирования кривых и поверхностей в компьютерной графике;
- основные подходы к сжатию статических растровых изображений и видео.

**уметь:**

- реализовывать простейшие методы обработки растровых изображений;
- создавать векторные модели изображений (с использованием языка PostScript в качестве примера);
- моделировать сложные составные гладкие кривые и поверхности, преобразовывать их в полигональные модели и визуализировать с помощью библиотеки OpenGL;
- применять OpenGL для альтернативных вычислительных задач (построение растровых аппроксимаций различных диаграмм Вороного для точек и поверхностей).

**владеть:**

- XnView или любая другая утилита для просмотра растровых файлов;
- Meshlab или любая другая утилита для моделирования триангулированных поверхностей и поверхностей, заданных в виде облака точек;
- Voreen или любой другой пакет визуализации объёмных данных;
- Povray или любая другая программа трассировки лучей;
- TeX (LaTeX с пакетами beamer и Tikz) для подготовки докладов и презентаций с графическими иллюстрациями;
- GhostScript/GhostView для просмотра документов в формате PostScript.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

| № | Тема (раздел) дисциплины   | Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу |                                    |                 |                          |                |
|---|--|--|------------------------------------|-----------------|--------------------------|----------------|
|   |  | Лекции   | Практические и семинарские занятия | Лаборат. работы | Задания, курсовые работы | Самост. работа |
| 1 | Введение в компьютерную графику. История. Области применения. Смежные дисциплины   |  | 2                                  | 4               |                          | 2              |
| 2 | Цвет в компьютерной графике.   |  | 2                                  | 4               |                          | 2              |
| 3 | Растровая развертка отрезков, кривых. Подходы к устранению ступенчатости. Графический конвейер.  |  | 2                                  |                 |                          | 2              |
| 4 | Растровая развертка многоугольника. принадлежность точки многоугольнику. Алгоритм сканирующей строки. Заливка растровых областей   |  | 2                                  |                 |                          | 2              |
| 5 | Алгоритмы отсечения отрезков и многоугольников. Место отсечения в графическом конвейере. Отсечение границами простого многоугольника. Булевы операции над многоугольниками |  | 2                                  |                 |                          | 2              |
| 6 | Алгоритмы вычислительной геометрии.  |  | 2                                  |                 |                          | 2              |
| 7 | Триангуляция Делоне и диаграммы Вороного. Их применение в КГ   |  | 2                                  | 4               |                          | 2              |

|                       |  |                    |    |    |  |    |
|-----------------------|--|--------------------|----|----|--|----|
| 8                     | Типы запросов к пространственным данным. Алгоритмы пространственной индексации данных. |                    | 2  | 2  |  | 2  |
| 9                     | Кривые Безье и их использование в КГ   |                    | 2  | 2  |  | 2  |
| 10                    | Сплайн кривые: Bsplineкривые   |                    | 2  | 2  |  | 2  |
| 11                    | Сплайн поверхности.  |                    | 2  | 4  |  | 2  |
| 12                    | Алгоритмы сжатия статических изображений и видео                                       |                    | 2  |    |  | 2  |
| 13                    | Способы задания 3d объектов/сцен   |                    | 2  |    |  | 2  |
| 14                    | Анализ топологических свойств полигональных моделей.                                   |                    | 2  |    |  | 1  |
| 15                    | Определение столкновений тел (collisiondetection)                                      |                    | 2  | 2  |  | 1  |
| 16                    | Визуализация полигональных моделей. Алгоритмы удаления невидимых линий и поверхностей  |                    |    | 4  |  | 1  |
| 17                    | Модели освещения. Использование текстур  |                    |    | 2  |  | 1  |
| Итого часов           |  |                    | 30 | 30 |  | 30 |
| Подготовка к экзамену |  | 0 час.             |    |    |  |    |
| Общая трудоёмкость    |  | 90 час., 2 зач.ед. |    |    |  |    |

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

##### Семестр: 3 (Осенний)

1. Введение в компьютерную графику. История. Области применения. Смежные дисциплины

Цели и задачи компьютерной графики как прикладного раздела компьютерных наук. Смежные дисциплины. История развития компьютерной графики (одновременное развитие аппаратного обеспечения, программного обеспечения, расширение сфер применения). История важнейших сфер применения: САПР, графические интерфейсы пользователя, издательские системы, компьютерные игры, киноиндустрия

2. Цвет в компьютерной графике.

Модель человеческого глаза. Устройство сетчатки. Эволюция цветового зрения. Интенсивность света. Количество градаций интенсивности света распознаваемых человеком. Динамический диапазон различных устройств отображения. Связь между динамическим диапазоном и количеством распознаваемых цветов. Гамма коррекция. Источники света и их цвет. Абсолютно черное тело. Цветовая температура. Солнце, небо, лампы накаливания, флуоресцентные лампы. Цвет поверхности. Человеческое восприятие света: подбор цветов, трехцветность, законы Грассмана. Цветовые пространства CIE XYZ и CIE xy. Спектральная кривая. Цветовые охваты. Аддитивные и субтрактивные цвета RGB vs CMY. Представление на цветовой

диаграмме. CMYK R'G'B': sRGB, AdobeRGB и др. Нелинейные цветовые пространства: HSV. Понятие равномерного цветового пространства. CIE Lab. Оптические эффекты обусловленные физиологией зрения (полосы Маха и т.п.). Алгоритмы аппроксимации полутонов: округление до ближайшего, случайное и упорядоченное возбуждение, диффузия ошибки. Спектральный анализ методов аппроксимации полутонов, белый, голубой шум.

3. Растровая развертка отрезков, кривых. Подходы к устранению ступенчатости. Графический конвейер.

Растровая развёртка примитивов как стадия графического конвейера. Четыре и восемь связанные множества пикселей. Растровая развертка отрезков и кривых. (ЦДА, алгоритмы средней точки (Bresenham) для отрезка, окружности и кривой общего вида). Простейшие подходы к устранению ступенчатости (последствий дискретизации). Пред и пост фильтрация.

4. Растровая развертка многоугольника. принадлежность точки многоугольнику. Алгоритм сканирующей строки. Заливка растровых областей

Принадлежность точки многоугольнику: правило подсчёта четности/нечетности числа пересечений (oddevenrule), правило подсчета числа оборотов (nonzerowindingrule), различные вырожденные случаи, применение правил к различным видам многоугольников (выпуклые, с дырками, с самопересечениями,...). Растровая развертка многоугольника. Алгоритм сканирующей строки для заполнения многоугольника. Сравнение с алгоритмом "грубой силы". Использование минимального объемлющего прямоугольника (MBR), как оптимизация метода "грубой силы". Растрово определённые области. Алгоритмы заливки растровых областей с затравкой (floodfill)

5. Алгоритмы отсечения отрезков и многоугольников. Место отсечения в графическом конвейере. Отсечение границами простого многоугольника. Булевы операции

Роль отсечения в графическом конвейере (в 2D и в 3D). Преимущества и недостатки отсечения на различных этапах графического конвейера. Алгоритмы отсечения отрезков: Cohen-Sutherland, параметрическое отсечение, различные улучшения. Алгоритмы отсечения многоугольников: Sutherland-Hodgeman. Отсечение трёхмерного треугольника плоскостью. Отсечение границами простого многоугольника. Булевы операции над многоугольниками. Алгоритм Weiler-Atherton. Однородные координаты. Представление точек и векторов в однородных координатах. Перспективная проекция. Использование 4x4 матриц для представления аффинных преобразований и проективных преобразований. Отсечение в однородных координатах. Пирамида отсечения. Отсечение на этапе растеризации.

6. Алгоритмы вычислительной геометрии.

Построение выпуклой оболочки в 2d/3d. Алгоритмическая сложность построения. Минимальный объемлющий прямоугольник, выровненный относительно осей координат как простая альтернатива выпуклой оболочке. Его роль в компьютерной графике. Алгоритм сканирующей строки для нахождения ближайшей пары точек. Алгоритм поиска всех пересекающихся интервалов в одномерном случае. Алгоритм сканирующей строки для нахождения всех пересечений выровненных относительно осей координат прямоугольников. Пересечение двух отрезков. Все пересечения множества отрезков. Оптимальный алгоритм и оптимальный относительно количества найденных пересечений (output sensitive). Алгоритм сканирующей строки для нахождения всех пересечений множества отрезков (Алгоритм Бентли — Оттмана). Проблемы с практической реализацией алгоритма Бентли - Оттмана в конечной арифметике.

Планарные разбиения (arrangement). Дуальные графы: ребра+узлы и ребра+границы. Структуры данных, используемые для представления планарных разбиений и полигональных сеток. Крылатый граф (wingededgegraph). Трудности навигации. Полуредра как способ решения проблем навигации в крылатом графе. Четверть ребра (quadedges или qedges) как окончательное решение проблемы. Операции над ними.

## 7. Триангуляция Делоне и диаграммы Вороного. Их применение в КГ

Триангуляция как предельный случай планарного разбиения. Формула Эйлера. Триангуляция Делоне. Основные свойства. Оптимальность триангуляции Делоне (только в двумерном пространстве!) для линейной интерполяции по треугольникам. Диаграммы Вороного. Триангуляция Делоне как дуальная структура к диаграммам Вороного. Интерполяция с использованием «естественных соседей» Диаграммы Вороного в различных метриках. Диаграммы Вороного на графах. Диаграммы Вороного высоких порядков. Взвешенные диаграммы Вороного. Обобщённые диаграммы Вороного для отрезков, а также линейных и областных объектов. Алгоритмы построения буферных зон, агрегации, скелетонизации и т.п. на основе обобщенных диаграмм Вороного.

## 8. Типы запросов к пространственным данным. Алгоритмы пространственной индексации данных.

Типы запросов к пространственным данным: точечный, прямоугольный, ближайший сосед, более сложные (прямая, луч, отрезок, и т.д.). Формализация топологических отношений между объектами на плоскости. Матрица девяти пересечений. DE-9IM. Хеш - подобные структуры - сеточные индексы. Иерархические сеточные индексы. Деревья квадрантов (четыре дерева и восьми дерево). Обобщения В деревьях для пространственных данных (R tree, R\* tree, Z index). kD деревья. BSP деревья. Карта трапеций

Планарные разбиения (arrangement). Дуальные графы: ребра+узлы и ребра+границы. Структуры данных, используемые для представления планарных разбиений и полигональных сеток. Крылатый граф (wingededgegraph). Трудности навигации. Полуредра как способ решения проблем навигации в крылатом графе. Четверть ребра (quadedges или qedges) как окончательное решение проблемы. Операции над ними.

## 9. Кривые Безье и их использование в КГ

История появления сплайн кривых в системах компьютерной графики и автоматизированного проектирования. Параметрическое задание кривых. Кривые Безье: Алгоритм de'Casteljau. Базис полиномов Бернштейна. Конструктивная формулировка теоремы Вейерштрасса о плотности полиномов в пространстве непрерывных функций. Основные свойства кривых Безье. Алгоритм разбиения. Различие визуальной гладкости кривой от непрерывной дифференцируемости по параметру. Гладкая сшивка кривых Безье. Задачи эрмитовой интерполяции и аппроксимации

## 10. Сплайн кривые: Bsplineкривые

Б-сплайны и их основные свойства.

Составные полиномиальные кривые. Узловой вектор. Размерность пространства составных полиномиальных гладких кривых. Идеальный базис из функций с минимальными носителями. Рекурсивные формулы КоксаД'Бура для базисных функций. Процедура вставки дополнительных узлов, абсциссы Гревилля. Геометрически наглядный алгоритм Д'Бура (deBoor) вычисления значения кривой. B-spline — обобщение алгоритма Д'Кастельжо. Кривые Безье как частный случай B сплайнов. Преобразование кривой в базисе B сплайнов в форму составной кривой Безье. "Глобальная" кубическая сплайн интерполяция и аппроксимация в базисе B сплайнов. Выбор оптимальной параметризации (узлового вектора). Практическое применение кривых Безье и сплайнов: определения шрифтов, в САПР, графические API.

## 11. Сплайн поверхности.

Сплайн поверхности: Параметрически заданные поверхности: Тензорное произведение кривых. Линейчатые поверхности. Поверхности Кунса. Trimmedsurface. Поверхности Безье над треугольниками и четырехугольниками. Алгоритм рекурсивного разбиения. Составные поверхности: условия гладкой стыковки. В-сплайн поверхности, NURBS

## 12. Алгоритмы сжатия статических изображений и видео

Основные подходы к сжатию без потерь (losslesscompression): кодирование длин серий (Runlengthencoding), предсказание (Predictivecoding), энтропийное кодирование (адаптивные коды Хаффмана, арифметическое кодирование, алгоритмы словарной упаковки: LZW и Deflate. Способы сжатия с потерями (lossycompression): уменьшение пространственного/цветового разрешения, субдискретизация (компонент цветности), дискретное косинус преобразование, дискретное вейвлет преобразование + квантизация (загрубление) коэффициентов преобразования. Оценка потерь. PSNR, SSIM Особенности алгоритмов сжатия текстур. Приемлемость различных видов потерь. История с форматом JBIG2, преобразующим цифры 6 в 8. Сжатие видеоизображения: блочное предсказание с компенсацией движения, типы зависимостей между кадрами/слоями, обзор стандартов сжатия видеоданных.

## 13. Способы задания 3d объектов/сцен

Основные способы задания 3d объектов/сцен: граничное/полигональное представление (визуализация = "стандартный графический конвейер"), твердотельное моделирование CSG модель (визуализация = raycasting или преобразование к граничному представлению), воксельная модель (визуализация = raycasting/volumeraycasting), неявно заданные функции (изоповерхности), облако точек (визуализация = прямая отрисовка или преобразование к полигональной модели). Визуализация каркаса полигональной модели (wireframemodel) и сплошное закрасивание (плоское, по Гуро и по Фонгу) граней.

## 14. Анализ топологических свойств полигональных моделей.

Анализ топологических свойств полигональных моделей: род поверхности (genus), разбиение 2D многообразия на клетки (subdivisionofmanifold), эйлерова характеристика поверхности, граф разреза (CutGraph), система циклов, цикл и гомотопия, фундаментальная группа поверхности, гомотопический базис, разделяющий цикл, гомологическая группа, tree/co-treedecomposition, универсальное накрытие и диаграмма Вороного в нем для прообразов точки, алгоритм Eppstein, алгоритм Erickson-Whittlesey, обсуждение оптимальности результата, дальнейшее сжатие гомологического базиса в тех же классах, спаренность базисных циклов, классификация неразделяющих циклов, приближенная классификация

## 15. Определение столкновений тел (collisiondetection)

Определение столкновений тел (collisiondetection): иерархия ограничивающих объемов, поле расстояния, стохастические методы, непрерывное определение столкновения, Определение столкновений тел (collisiondetection): иерархия ограничивающих объемов, поле расстояния, стохастические методы, непрерывное определение столкновения, пространственное подразделение, методы, оперирующие растровыми изображениями

## 16. Визуализация полигональных моделей. Алгоритмы удаления невидимых линий и поверхностей

Алгоритмов удаления невидимых линий и поверхностей: алгоритм плавающего горизонта, алгоритм Робертса, алгоритм Варнока, алгоритм художника, алгоритм заметающей прямой, буфер глубины, нерекурсивная обратная трассировка лучей (raycasting).

## 17. Модели освещения. Использование текстур

Глобальное уравнение освещения трёхмерной сцены. Модель освещения Фонга - простейшее локальное явное приближение. Закон Ламберта. Зеркальная, диффузная и фоновая составляющие. Типы и параметры источников света. Параметры материалов. Способы закрашивания: плоское, по Гуро, по Фонгу. Текстурирование. Тектурные координаты. Интерполяция текстурных координат, перспективная коррекция. Пирамида разрешений. Билинейная, трилинейная и анизотропная фильтрация. Карты нормалей. Карты смещений. Карты глубины как простейший способ вычисления теней. Карты освещенности. Что дальше если хочется решать глобальную задачу: рекурсивная обратная трассировка лучей, radiosity, photonmapping, ambientocclusion.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном.  
Компьютеры с графическими картами поддерживающими OpenGL 3.3+/4.3+

## 6. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

### Основная литература

1. Роджерс Д., Адамс Дж., Математические основы машинной графики.– М.: Мир, 2001. — 604 с. ISBN 5-03-002143-4
2. Хилл Ф., OpenGL. Программирование компьютерной графики. Для профессионалов. — СПб.: Питер, 2002. — 1088 с. ISBN 5-318-00219-6
3. Эйнджел Э., Интерактивная компьютерная графика. Вводный курс на базе OpenGL, 2 изд.: Пер. с англ. — М.: Издательский дом “Вильямс”, 2001. — 592 с. ISBN 5-8459-0209-6
4. Юань Фень, Программирование графики для Windows. — СПб.: Питер, 2002. — 1072 с. ISBN 5-318-00297-8
5. Абламейко С.В., Лагуновский Д.М. Обработка изображений: технология, методы, применение. Мн.: Амалфея, 2000, 304 с., ISBN 985-441-143-5

### Дополнительная литература

1. Mark de Berg, Marc van Kreveld, Marc Overmars, Otfried Schwarzkopf Computational Geometry: algorithms and applications. 2nd edition. Springer-Verlag, 2000, 367 p., ISBN 3-540-65620-0
2. Okabe A. [et al.] Spatial tessellations: concepts and applications of Voronoi diagrams. 2nd ed. WILEY 2000, 671 p., ISBN 0-471-98635-6
3. Шикин Е.В., Боресков А.В., Компьютерная графика. Полигональные модели. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2000. 464 с.
4. Гарсия-Молина Г., Ульман Д., Уидом Д., Системы баз данных. Полный курс. : Пер. с англ. — М.: Изд. дом "Вильямс", 2003. — 1088 с. ISBN 5-8459-0384-X (рус.)

## 7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

1. <http://www.cns.nyu.edu/~david/courses/perception/lecture-notes.html>



2. Learning-Modern-OpenGL —  
<http://www.codeproject.com/Articles/771225/Learning-Modern-OpenGL>
3. On-Line Computer Graphics Notes. Computer Science Department, University of California, Davis (<http://idav.ucdavis.edu/education/GraphicsNotes/homepage.html>)
4. On-Line Geometric Modeling Notes. Computer Science Department, University of California, Davis. (<http://graphics.idav.ucdavis.edu/education/CAGDNotes/homepage.html>)
5. PostScript Language Reference Manual / Adobe Systems.  
2nd edition. ISBN 0-201-18127-4
6. Postscript language tutorial and cookbook.  
<http://partners.adobe.com/public/developer/en/ps/sdk/sample/BlueBook.zip>
7. Computing Geometry-aware Handle and Tunnel Loops in 3D Models.  
<http://web.cse.ohio-state.edu/~tamaldey/handle/hantun.html>
8. <http://www.compression.ru/>
9. C.-K. Shene Introduction to Computing with Geometry.  
<http://www.cs.mtu.edu/~shene/COURSES/cs3621/NOTES/>
10. [http://www.eecs.yorku.ca/course\\_archive/2011-12/W/4431/index.html](http://www.eecs.yorku.ca/course_archive/2011-12/W/4431/index.html)

## **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

<http://cs.mipt.ru>

## **9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

<http://cs.mipt.ru>

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

## **10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Студент, изучающий курсомпьютерной графики, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения, понятия, структуры данных и алгоритмы

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- выполнение практических заданий, предлагаемых студентам на лабораторных занятиях,
- подготовку к практическим занятиям, зачёту.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Показателем владения материалом служит умение использовать обсуждаемые в курсе алгоритмы и технологии. Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо как можно больше применять изучаемые технологии, как в рамках практических заданий данного курса, так и в процессе научной работы (работы над дипломом магистра).

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов (а также при затруднениях, возникающих в задачах визуализации в рамках текущей научной работы), следует обращаться за консультациями к лектору или преподавателю, ведущему практические занятия.

#### ТЕМЫ ЗАДАНИЙ

1. Построение фрактальных изображений на языке Postscript. Сравнение достоинств и недостатков форматов PNG и JPEG для представления результирующего растрового изображения.
2. Работа с растрами (форматы файлов, алгоритмы дизеринга и диффузия ошибки, гамма коррекция, выбор палитры)
3. Визуализация полигональных моделей средствами OpenGL. Опциональный расчёт нормалей в вершинах. Средства навигации. Расчёт простейшей модели освещения. Проволочная модель+плоское или гладкое закрашивание. Простейшие шейдеры.
4. Растровая аппроксимация обобщённых диаграмм Вороного с помощью OpenGL (для отрезков, в разных метриках, с мультипликативными и аддитивными весами).
5. Построение дерева выровненных относительно осей координат параллелепипедов (AABBtree). Использование построенного дерева для выполнения различных навигационных запросов.
6. Визуализация базиса B-сплайнов. Отрисовка B-сплайнов через преобразование в составную кривую Безье (с помощью многократной вставки узлов) и последующую аппроксимацию последовательностью отрезков с помощью алгоритма D'Casteljau. Нахождение пересечений сплайн кривых.
7. Построение и визуализация сглаженной полигональной модели, используя алгоритм разбиения Ду-Сабина

### **11. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации по итогам обучения**

Приложение

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ  
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**по направлению:** Прикладные математика и физика (магистратура)  
**профиль подготовки:** Факультет управления и прикладной математики  
кафедра информатики и вычислительной математики  
**курс:** 2  
**квалификация:** магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3(Осенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчики:**

С.А. Корытник, старший преподаватель

Ф.Б. Челноков, канд. физ.-мат. наук, старший преподаватель

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Освоение дисциплины направлено на формирование у обучающегося следующих общекультурных (ОК), общепрофессиональных (ОПК) и профессиональных (ПК) компетенций:

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Компьютерная графика» обучающийся должен:

### знать:

- основные способы компьютерного моделирования изображений;
- основные стадии графического конвейера (формирования изображения) в современных аппаратных системах компьютерной графики;
- принципы представления цвета в компьютере и важнейшие особенности физиологии цветного зрения человека;
- методы преобразования векторных/непрерывных моделей изображений в растровое представление, возникающие при этом эффекты ступенчатости и важнейшие подходы к борьбе с ними;
- идею алгоритма сканирующей строки как подхода к решению задач компьютерной графики и вычислительной геометрии;
- важнейшие структуры данных, применяющиеся для ускорения поиска и обработки в задачах компьютерной графики и вычислительной геометрии;
- топологические структуры данных, использующиеся для моделирования планарных разбиений (в том числе триангуляций и диаграмм Вороного) и полигональных представлений трёхмерных объектов;
- популярные способы моделирования кривых и поверхностей в компьютерной графике;
- основные подходы к сжатию статических растровых изображений и видео.

### уметь:

- реализовывать простейшие методы обработки растровых изображений;
- создавать векторные модели изображений (с использованием языка PostScript в качестве примера);
- моделировать сложные составные гладкие кривые и поверхности, преобразовывать их в полигональные модели и визуализировать с помощью библиотеки OpenGL;
- применять OpenGL для альтернативных вычислительных задач (построение растровых аппроксимаций различных диаграмм Вороного для точек и поверхностей).

### владеть:

- XnView или любая другая утилита для просмотра растровых файлов;
- Meshlab или любая другая утилита для моделирования триангулированных поверхностей и поверхностей, заданных в виде облака точек;
- Voreen или любой другой пакет визуализации объёмных данных;
- Raygun или любая другая программа трассировки лучей;
- TeX (LaTeX с пакетами beamer и Tikz) для подготовки докладов и презентаций с графическими иллюстрациями;
- GhostScript/GhostView для просмотра документов в формате PostScript.

### **3. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков**

Промежуточная аттестация по дисциплине «Компьютерная графика» осуществляется в форме дифференцированного зачета. Зачет проводится по результатам выполнения практических заданий и в устной форме.

#### **Перечень контрольных вопросов для сдачи дифференцированного зачета.**

1. Какая техническая инновация начала 70-х сделала возможным массовый переход к системам растровой графики?
2. Каковы преимущества векторного представления изображения перед растровым представлением? Каковы преимущества растрового представления изображения перед векторным представлением?
3. Принцип работы светового пера. Для чего рисуется на экране курсор? Как начинается позиционирование?
4. Назовите несколько первых практических приложения компьютерной графики? Когда появился/стал массово доступен оконный графический интерфейс пользователя?
5. Каковы недостатки и достоинства векторных дисплеев с обновлением в сравнении с компьютерными дисплеями, использующими растровую (телевизионную) развертку?
6. Слепое пятно у человека. Как его можно подтвердить у себя? Какой анатомической особенностью строения глаза оно объясняется? Все ли животные с аналогичными по сложности глазами имеют слепое пятно?
7. Способ аккомодации света у человека. Альтернативные способы у других позвоночных.
8. Распределение и количество фоторецепторов на сетчатке человеческого глаза.
9. Механизмы адаптации к разной интенсивности света у человеческого глаза. Его динамический диапазон.
10. Принцип выбора базисных источников света в системе CIE RGB. Можно ли было выбрать другие базисные источники света и какие, если да?
11. Цвет абсолютно черного тела.
12. Какие цвета не способен воспроизвести монитор, основанный на трех базисных источниках цвета? Сколько базисных цветов необходимо иметь, чтобы воспроизвести любой, различимый человеком цвет?
13. Гамма коррекция. Для чего применяется?
14. Размерность цветового пространства у различных млекопитающих. Эволюционное объяснение.
15. Приблизительным аналогом какого элемента фотокамеры является радужная оболочка? Приблизительным аналогом какого элемента фотокамеры является зрачок? Что обеспечивает превосходство человеческого глаза перед современными цифровыми фотокамерами? В чём оно заключается?
16. Как определяется пространство CIE XYZ. Какие свойства человеческого зрения делают это возможным?

17. Преимущества R'G'B' перед RGB. Нелинейность восприятия человеком различных уровней интенсивности света.
18. Перечислите преимущества sRGB перед Adobe RGB и наоборот.
19. Для чего используется цветовая модель HSV?
20. Какие факторы ограничивают динамический диапазон мониторов, проекторов и других способов отображения.
21. Что регулируют яркость и контрастность в мониторе? Какой подбор яркости и контрастности обеспечивает максимальный диапазон различимых градаций яркости.
22. Приведите примеры 8-и связной и 4-и связной аппроксимации отрезков. В чём отличия?
23. Блок схема алгоритма 4-и связной растровой развертки отрезка с помощью цифрового дифференциального анализатора.
24. Блок схема (или хотя бы основная идея) алгоритма 4-и связной растровой развертки отрезка с помощью алгоритма средней точки.
25. Принадлежность точки многоугольнику. Правило чётности и правило подсчёта поворотов для многоугольников: выпуклых, без самопересечений, с самопересечениями. Разбор примера 5-ти конечной звезды. Правила для однозначного разрешения вопроса принадлежности пиксела двум многоугольникам со смежными границами.
26. Построчная растровая развертка многоугольника. В чём состоят отличия реализации для случаев многоугольника без самопересечений и многоугольника с самопересечениями?
27. Как может быть использована растровая развёртка отрезка прямой для ускорения поиска пересечений отрезка с имеющимся набором объектов (2D или 3D)?
28. Почему в современных GPU производится растровая развёртка треугольников, а более сложные многоугольники требуется предварительно разбить на треугольники. Почему не используется алгоритм сканирующей строки?
29. В чем отличия современного подхода к растровой развертке треугольника от традиционного с явным нахождением пересечения треугольника с каждой строкой растра?
30. В каких случаях алгоритм сканирующей строки эффективней, чем разбиение на треугольники и растровая развёртка набора треугольников?
31. Дано:

```
struct BoundingRectangle { double xmin; double ymin; double xmax; double ymax; };  
    BoundingRectangle b1,b2;
```

Написать булево выражение определяющее, что два таких объекта пересекаются:
32. Этапы графического конвейера (любой вариант) и место отсечения в нём.
33. Отсечение многоугольника полуплоскостью алгоритмом Сазерленда Ходжмана. Дайте оценку максимального количества порождаемых алгоритмом новых точек?
34. Отсечение многоугольника полуплоскостью алгоритмом Сазерленда Ходжмана: предложите способ обнаружения и удаления вырожденных перемычек и оцените его сложность в зависимости от количества входных вершин и фактических перемычек.

35. Определение выпуклой оболочки. Любой алгоритм вычисления выпуклой оболочки множества точек на плоскости. Его сложность. Связь со сложностью сортировки множества точек. Вычислительные предикат(ы) необходимые для описываемого алгоритма чувствительность алгоритма к их точности.
36. Реализация теста пересечения двух интервалов на вещественной прямой. Сколько требуется сравнений? Сколько требуется сравнений для теста принадлежности точки сфере? Для теста принадлежности точки прямоугольнику, выровненному относительно осей координат? Для теста пересечения двух прямоугольников выровненных относительно осей координат?
37. Планарное разбиение. Двойственность графа рёбер относительно граней и вершин. Представление планарного разбиения с помощью полурёбер. Зачем разбивать рёбра на полурёбра?
38. Триангуляция как предельный случай планарного разбиения. Формула Эйлера для числа граней, рёбер и вершин в триангуляции/планарном разбиении.
39. Идея алгоритма заметающей прямой, как способа нахождения всех пересечений отрезков на плоскости. Алгоритмическая сложность. Зависимость сложности от результата.
  
40. Определение диаграмм Вороного. Основные свойства.
41. Определение триангуляции Делоне. Оптимальность триангуляции Делоне на плоскости.
42. Дуальность диаграмм Вороного и триангуляции Делоне. Существует ли взаимно-однозначное соответствие? При каких условиях его нет?
43. Решение задачи о размещении почтового офиса на максимальном удалении от уже имеющихся офисов внутри их выпуклой оболочки на евклидовой плоскости.
44. Обобщенные диаграммы Вороного для отрезков, ломанных и многоугольников. Перечислите возможные варианты геометрии рёбер диаграмм Вороного для отрезков. Как построить буферную зону (=множество точек, лежащих на расстоянии не дальше заданного от объекта), уже построив диаграммы Вороного (на примере одного многоугольника)? Можно ограничиться только границей буферной зоны внутри многоугольника.
  
45. Отличие В дерева от бинарного дерева поиска. Основные преимущества для использования в СУБД.
46. Типы пространственных запросов. В чём состоят отличия пространственных запросов от стандартных (точечных) запросов к дереву поиска. На примере запросов к  $kD$  дереву, как обобщению бинарного дерева поиска на случай пространственных данных.
47. Достоинства и недостатки сеточных индексов для пространственных запросов.
48. Четыре и восьми деревья как попытка решения проблем сеточных индексов. Сравнительные достоинства и недостатки. Использование в качестве расчётных сеток и для генерации адаптивных треугольных (тетраидальных) расчётных сеток.
49.  $Z$  index – способ комбинации неявного четырёх дерева и штатной индексации СУБД для решения пространственных запросов.

50. Дерево прямоугольников (R-tree) как вариант обобщения В-дерева для индексации пространственных данных. Особенности дерева прямоугольника в сравнении со стандартным В-деревом.
51. Дано: кривая Безье  $b^n(t; \{b_0, \dots, b_n\})$   $t \in [0, 1]$ ,  $u, v \in [0, 1]$ ,  $u < v$   
 Найти:  $\{q_0, \dots, q_n\}$  такие, что
- $$b^n(t; \{b_0, \dots, b_n\}) = \sum_{i=0}^n b_i B_i^n(t) = b^n\left(\frac{(t-u)}{(v-u)}; \{q_0, \dots, q_n\}\right) = \sum_{i=0}^n q_i B_i^n\left(\frac{(t-u)}{(v-u)}\right), t \in [u, v]$$
- где  $B_i^n(t) = \frac{n!}{i!(n-i)!} t^i (1-t)^{n-i}$
52. Дано: кривая Безье  $b^n(t; \{b_0, \dots, b_n\})$   $t \in [0, 1]$   
 Найти:  $\{q_0, \dots, q_{n-1}\}$  такие, что  $\frac{db^n}{dt}(t; \{b_0, \dots, b_n\}) = nb^{n-1}(t; \{q_0, \dots, q_{n-1}\})$   $t \in [0, 1]$
53. Дано: кривая Безье  $b^n(t; \{b_0, \dots, b_n\})$   $t \in [0, 1]$   
 Найти:  $\{q_0, \dots, q_{n+1}\}$  такие, что  $b^n(t; \{b_0, \dots, b_n\}) = b^n(t; \{q_0, \dots, q_{n+1}\})$   $t \in [u, v]$   
 Совет: ищите в поисковике: degree elevation.
54. Пересечение кривой Безье и прямой линии. Быстрая оценка максимального количества пересечений. Алгоритм поиска пересечений.
55. Какова сложность алгоритма De Casteljau? Сравните со схемой Горнера. А также с явным вычислением полиномов Бернштейна Сколько дополнительной памяти требуется?
56. Показать, что алгоритм Чайкина сходится к составной непрерывно дифференцируемой полиномиальной кривой, которую можно задать полиномами 2-го порядка от параметра на каждом полиномиальном фрагменте.
57. Основные свойства В-сплайнов.
58. Как связаны В-сплайны и кривые Безье? Как перейти от представления кривой в виде В-сплайна к составной кривой Безье? (без формул, основные идеи на словах)
59. Дано:  
 Узловой вектор  
 [0 0 0 0 1 2 3 3 3 4 4 4 4]  
 контрольные точки:  
 (-5, -5)  
 (1, 1)  
 (2, 2)  
 (3, 3)  
 (4, 4)  
 (5, 5)  
 (6, 4)  
 (5, 4)  
 (6, 5)

Вычислить точки через которые проходит так определённый В spline и касательные вектора в этих точках при значениях параметра равных {0.0, 1.0, 2.0, 3.0, 3.5, 4.0}



60. Максимальная степень сжатия при перекодировании символов изначально закодированных однобайтными кодами по Хаффману. Какой метод энтропийного кодирования позволяет достичь большего (максимального возможного) сжатия.
61. Групповое кодирование. Пример его использования в JPEG.
62. Важнейшее ограничение формата GIF.
63. Почему дискретное синус преобразование в отличие от дискретного косинус преобразования не используется для сжатия изображений. Что контролирует параметр качества сжатия?
64. Предсказание (экстраполяция, predictive coding) . Примеры использования в PNG и в JPEG.
65. Почему JPEG не стоит использовать на промежуточных стадиях обработки изображений?
66. Почему JPEG плохо сжимает изображения, к которым был применён алгоритм аппроксимации полутонов (дизеринга)? \* (в этом году вопрос не обсуждался на лекциях)
67. Почему JPEG плохо сжимает чертежи и картинки изобилующие текстами (в особенности без сглаженных линий).
68. Что позволяет JPEG2000 лучше, чем JPEG ,сжимать гладкие изображения на больших степенях сжатия?
69. Важнейшее отличие MPEG2 от MotionJPEG.
70. Что такое I-, P-, B- кадры/блоки? Сравнение достоинств и недостатков использования каждого из типов Влияние слабого освещения и дрожания камеры на степень (качество) сжатия видеоизображения.
  
71. Перечислить основные способы моделирования (представления) трехмерных сцен/объектов и важнейшие способы их визуализации.
72. Дана грань полигональной модели (многоугольник). Как определить видима ли она наблюдателем, находящимся в заданной точке.
73. Как получить список граней отсортированных по удаленности от наблюдателя имея в наличии BSP дерево , построенное для этих граней.
74. Основные алгоритмы удаления невидимых поверхностей (обнаружения видимых поверхностей). Алгоритмы, оперирующие в пространстве исходных объектов и алгоритмы, оперирующие в пространстве изображения. Привести примеры, когда решение задачи в объектном пространстве предпочтительно.
75. Какой порядок рисования (от дальних к ближним или от ближних к дальним) оптимален при использовании буфера глубины? Почему?
76. Сравнить алгоритм буфера глубины и алгоритм ray-casting. В чем разница? Какие есть преимущества у алгоритма ray-casting?
  
77. Отличия закрашивания по Фонгу, Гуро и плоского закрашивания.
78. Что такое MIP-mapping?
79. Текстурирование с трилинейной фильтрацией. Когда этого недостаточно? Когда имеет смысл анизотропная фильтрация?
80. Локальная модель освещения Фонга: её основные компоненты, ограничения.

81. Глобальные методы расчета освещения radiosity/обратная рекурсивная трассировка лучей. Для моделирования каких явлений и в каких обстоятельствах они применимы?
- 82.
83. Каковы причины возникновения ступенчатости в изображениях компьютерной графики вообще, и при выводе полигональной 3D модели в частности? (неплохо, если кто-то вспомнит про вывод сигнала с большей частотой, чем растровый экран может показать)
84. Сравнение pre-filtering и post-filtering, достоинства каждого. Почему первый плохо подходит для вывода поверхности из треугольников?
85. Характеристики, по которым сравнивают разные методы устранения ступенчатости.
86. Super-sampling AA - основная идея и основная преграда на практике. Общие черты и отличие Multisample AA от SSAA.
87. Варианты выбора точек внутри пиксела (samples) для методов SSAA и MSAA, почему их выбор в вершинах равномерной решетки - не самая лучшая идея.
88. Основная идея повышения производительности и качества AA при выводе полигональной 3D модели, методы morphological AA, object-based AA, переход SSAA->MSAA. (Ожидается ответ про обработку границ вместо всего изображения)
89. Какая связь между anti-aliasing и mipmapping, между anti-aliasing и выводом шрифтов?

### **Критерии оценивания**

Оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений;

Оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений;

Оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, знания учебной программы дисциплины и умение применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений;

Оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

Оценка «хорошо (6)» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

Оценка «хорошо (5)» выставляется студенту, если он знает материал, грамотно излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

Оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

Оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту, показавшему фрагментарный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

Оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач.

Оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач.

#### **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Во время проведения зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, Интернетом, справочной литературой, вычислительной техникой.

Зачет проводится по результатам выполнения практических заданий и путем специального опроса, проводимого в устной форме.