

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»

**Институт информационных технологий, математики и механики**  
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО  
президиумом Ученого совета ННГУ  
протокол от  
«30» ноября 2022 г. № 13

**Рабочая программа дисциплины**

**Современная компьютерная графика**  
(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования  
**магистратура**  
(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность  
**020402 Фундаментальная информатика и информационные технологии**  
(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы  
**Искусственный интеллект**  
(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения  
**очная**  
(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород  
2023 год

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.07 «Современная компьютерная графика» относится к обязательной части Блока 1 «Дисциплины (модули)» направления подготовки 02.04.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии», направленность «Искусственный интеллект». Дисциплина преподается во 2 семестре.

| № Варианта | Место дисциплины в учебном плане образовательной программы | Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД  |
|------------|--|--|
| 1          | Блок 1. Дисциплины (модули)<br>Обязательная часть          | Дисциплина Б1.О.07 «Современная компьютерная графика» относится к обязательной части ООП направления подготовки 02.04.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии |

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

| Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)  | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции   |   | Наименование оценочного средства |
|--|---|---|----------------------------------|
|  | Индикатор достижения компетенции* (код, содержание индикатора)  | Результаты обучения по дисциплине**   |                                  |
| ОПК-2. Способен применять компьютерные/суперкомпьютерные методы, современное программное обеспечение (в том числе отечественного производства) для решения задач профессиональной деятельности | ОПК-2.1: Знает компьютерные/суперкомпьютерные методы, современное программное обеспечение (в том числе отечественного производства) для решения задач профессиональной деятельности | <b>Знает</b><br>1. Теоретические основы, алгоритмы и постановки задач современной компьютерной графики (СКГ). Образовательные ресурсы, открытые библиотеки и системы СКГ. | <i>собеседование</i>             |

|  |  |  |                       |
|--|--|--|-----------------------|
|  | ОПК-2.2: Умеет применять компьютерные / суперкомпьютерные методы, современное программное обеспечение (в том числе отечественного производства) для решения задач профессиональной деятельности. | <p><b>Умеет</b> применять базовые алгоритмы научной и стерео визуализации, глобального освещения.</p> <p><b>Владеет</b> навыками программирования задач СКГ на центральном и графическом процессоре для применения в разработке информационных систем.</p> | собеседование, проект |
|--|--|--|-----------------------|

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Трудоемкость дисциплины

|  |              |
|--|--------------|
| <b>Общая трудоемкость</b>                      | <b>4 ЗЕТ</b> |
| <b>Часов по учебному плану</b>                 | <b>144</b>   |
| <b>в том числе:</b>                            |              |
| <b>аудиторные занятия (контактная работа):</b> | <b>49</b>    |
| - занятия лекционного типа                     | 32           |
| - занятия семинарского типа                    | 16           |
| - занятия лабораторного типа                   |              |
| - текущий контроль (КСР)                       | 1            |
| <b>самостоятельная работа</b>                  | <b>95</b>    |
| <b>Промежуточная аттестация - зачет</b>        |              |

#### 3.2 Содержание дисциплины

| № | Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины,<br><br>форма промежуточной аттестации по дисциплине    | Всего (часы) | в том числе  |                           |                            |                  |    | Самостоятельная |
|---|---|--------------|--|---------------------------|----------------------------|------------------|----|-----------------|
|   |   |              | контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них |                           |                            |                  |    |                 |
|   |   |              | Занятия лекционного типа   | Занятия семинарского типа | Занятия лабораторного типа | Всего контактных |    |                 |
| 1 | Введение. Компьютерная графика в системе современной науки и технологий. Современные открытые библиотеки и системы. | 18           | 4  | 2                         |                            | 6                | 12 |                 |
| 2 | Научная и инженерная визуализация. Алгоритмы объемной визуализации (DVR)  | 18           | 4  | 2                         |                            | 6                | 12 |                 |

|          |  |            |           |           |  |           |           |
|----------|--|------------|-----------|-----------|--|-----------|-----------|
| <b>3</b> | <b>Алгоритмы стерео-визуализации</b>   | <b>9</b>   | 2         | 1         |  | 3         | 6         |
| <b>4</b> | <b>Архитектура современных графических процессоров (GPU) для графики и вычислений. Вычисления общего назначения на GPU.</b>  | <b>18</b>  | 4         | 2         |  | 6         | 12        |
| <b>5</b> | <b>Сегментация 3D данных. Сеточные методы моделирования поверхностей и тел.</b>  | <b>18</b>  | 4         | 2         |  | 6         | 12        |
| <b>6</b> | <b>Реконструкция поверхностей. Метод Marching Cubes (MC). Структуризация и параметризация результата MC. Сеточные методы моделирования поверхностей и тел. Edge Based и Face Based структуры хранения сеточных данных. Сплаины и методы подразбиения кривых и поверхностей</b> | <b>18</b>  | 4         | 2         |  | 6         | 12        |
| <b>7</b> | <b>Методы и алгоритмы моделирования глобального освещения.</b>   | <b>18</b>  | 4         | 2         |  | 6         | 12        |
| <b>8</b> | <b>Трассировка лучей в реальном времени. Ускоряющие структуры</b>  | <b>18</b>  | 4         | 2         |  | 6         | 12        |
| <b>9</b> | <b>Методы анимации сцен и персонажей</b>   | <b>8</b>   | 2         | 1         |  | 3         | 5         |
|          | <b>Текущий контроль (КСР)</b>  | <b>1</b>   |           | 1         |  |           |           |
|          | <b>Промежуточная аттестация: зачет</b>   |            |           |           |  |           |           |
|          | <b>Итого</b>   | <b>144</b> | <b>32</b> | <b>17</b> |  | <b>49</b> | <b>95</b> |

Практические занятия (семинарские занятия) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

– Практическая подготовка предусматривает: разработка программы объемной визуализации; разработка программы стереовизуализации; разработка программы, реализующей ускоряющую структуру для трассировки лучей.

На проведение практических занятий (семинарских занятий /лабораторных работ) в форме практической подготовки отводится 16 часов.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП: Разработка, тестирование, оптимизация программного обеспечения (ПО). Разработка технической документации на продукцию в сфере ИТ.
- компетенция ОПК-2: Способен применять компьютерные/суперкомпьютерные методы, современное программное обеспечение (в том числе отечественного производства) для решения задач профессиональной деятельности. (ОПК-2.2: Умеет применять компьютерные / суперкомпьютерные методы, современное программное обеспечение (в том числе отечественного производства) для решения задач профессиональной деятельности).

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций. Промежуточная аттестация проходит в традиционных формах (зачет).

#### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа обучающихся осуществляется в виде работы с рекомендованной обязательной и дополнительной литературой, подготовки к лекциям, выполнении проектов, подготовки к зачету. Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

Для выполнения проекта необходимо по согласованию с преподавателем выбрать тему проекта и выполнить проект на одну из тем, представленных ниже (в зависимости также от того индивидуально или в группе).

##### **Примеры тем и заданий проектов:**

**Раздел 1. Скалярные 3D поля. Реконструкция.** Задачи обработки массива данных томограммы (3D-массива вокселей)

Проект 1.1: Послойная 2D-визуализация регулярного 3D-массива вокселей.

Проект 1.2: Послойная 2D-визуализация регулярного 3D-массива вокселей.

Проект 1.3: Визуализация сферы (2 сферы), заданных сегментами из криволинейных PN-треугольников или обычных треугольников.

Проект 1.4: Ray Tracing. Язык - C# или C++, Windows Forms. OpenGL. Реализовать визуализацию N сфер, заданных полигонально или сегментами из криволинейных PN-треугольников.

Проект 1.5: Ray tracing. Ускоряющие структуры. Визуализация N цветных сфер в корнуэльской комнате, которые медленно плавают соударяясь.

Проект 1.6: Реконструкция изоповерхности для МРТ томограммы.

Проект 1.7: 3D-стерео визуализация неполигональной поверхности трассировкой. Вращение сцены мышью. 3D-стерео режим - цветной анаглиф.

Проект 1.8: 3D-стерео визуализация неполигональной поверхности трассировкой. 3D-стерео режим - полуцветной анаглиф.

Проект 1.9: 3D-визуализация КТ-томограммы трассировкой с предынтегрированием.

**Раздел 2. Методы глобального освещения. Ускоряющие структуры. Виртуальная реальность**

Проект 2.1...: Метод Ray tracing для корнуэльской комнаты со стеклянным кубом (шаром, тетраэдром). Глубина трассировки управляемая [1÷4].

Проект 2.4...: Метод Light tracing для корнуэльской комнаты, свет White или RGB со стеклянным кубом (шаром, тетраэдром).

Проект 2.7...: Метод Path tracing для корнуэльской комнаты, свет White или RGB со стеклянным кубом (шаром, тетраэдром).

...

Проект 2.13 - Optimized Bidirectional Path tracing для корнуэльской комнаты со

стеклянным кубом (шаром, тетраэдром).

...

Проект 2.22 Ускоряющие структуры. Ray tracing с управляемой  $[1÷4]$  глубиной трассировки. BVH-дерево, исследовать производительность на сцене из  $1÷100$  сфер.

...

**5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине, включающий:**

### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

| Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций) | Шкала оценивания сформированности компетенций   |   |  |  |  |  |  |
|--|---|---|--|--|--|--|--|
|  | плохо   | неудовлетворительно   | удовлетворительно  | хорошо   | очень хорошо   | отлично  | превосходно  |
|  | Не зачтено  |   | Зачтено  |  |  |  |  |
| <u>Знания</u>  | Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа | Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.                          | Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.  | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок  | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок                                | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.   | Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.   |
| <u>Умения</u>  | Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа              | При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. | Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. | Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами | Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. | Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельным и несущественным недочетами, выполнены все задания в полном объеме. | Продemonстрированы все основные умения, Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов |
| <u>Навыки</u>  | Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа                                   | При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место                 | Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами                                      | Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми   | Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.  | Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.  | Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач  |

|  |                               |                   |  |            |  |  |  |
|--|-------------------------------|-------------------|--|------------|--|--|--|
|  | обучающег<br>ося от<br>ответа | грубые<br>ошибки. |  | недочетами |  |  |  |
|--|-------------------------------|-------------------|--|------------|--|--|--|

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

| Оценка        |                         | Уровень подготовки   |
|---------------|-------------------------|--|
| зачтено       | Превосходно             | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»   |
|               | Отлично                 | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»                     |
|               | Очень хорошо            | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»           |
|               | Хорошо                  | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»                       |
|               | Удовлетворительно       | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно» |
| не<br>зачтено | Неудовлетворитель<br>но | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»  |
|               | Плохо                   | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»  |

## 5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

### 5.2.1 Контрольные вопросы для собеседования по ОПК-2

| Вопрос   | Код формируемой компетенции |
|--|-----------------------------|
| 1. Компьютерная графика в системе современной науки и технологий. <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Компьютерная графика в информационных системах. Классификация разделов компьютерной графики в широком смысле.</li> <li>b. Соотношение курсов Компьютерная графика и Современная компьютерная графика.</li> <li>c. Современные открытые библиотеки и системы: VTK, ITK, ParaView, CGAL, Open CASCADE, SALOME</li> </ul> | ОПК-2                       |

|  |       |
|--|-------|
| <p>2. Научная и инженерная визуализация. Алгоритмы объемной визуализации.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Метод Raycasting и прямая визуализация объема (Direct Volume Rendering). Достоинства лучевых методов. Процедура интерполяции и классификации при выборке из экспериментальных 3D данных, содержание и проблемы. Transfer Function.</li> <li>b. Математическая модель трассировки луча: интеграл объемного рендеринга и процедура численного интегрирования вдоль луча в модели с постклассификацией.</li> <li>c. Случайный сдвиг (jittering) стартовых позиций луча и метод количественной оценки качества визуализации. Рекомендованные частоты выборки</li> <li>d. Предынтегрированная визуализация и виртуальные выборки.</li> <li>e. Оптимизационные стратегии.</li> <li>f. Способы накопления цвета вдоль луча</li> </ul> | ОПК-2 |
| <p>3. Алгоритмы стерео-визуализации.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Содержание и математические модели создания стерео-изображений.</li> <li>b. Технологии разделения изображений между правым и левым глазом.</li> <li>c. Реализации цветового анаглифа.</li> </ul>  | ОПК-2 |
| <p>4. Архитектура современных графических процессоров (GPU) для графики и вычислений. Вычисления общего назначения на GPU.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Базовые архитектуры вершинного и фрагментного шейдеров</li> <li>b. Сравнительная характеристика архитектуры G80 и современных графических процессоров Fermi и Kepler</li> <li>c. Соотношение версий OpenGL, MS DirectX и поколений графических процессоров</li> <li>d. Сравнительная характеристика графических конвейеров от DirectX9 до DirectX11: от вершинного и фрагментного шейдеров к геометрическому и Hull Shader, Tesselator и Domain Shader.</li> </ul>  | ОПК-2 |
| <p>5. Сегментация 3D данных. Реконструкция поверхностей. Сеточные методы моделирования поверхностей и тел</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Методы сегментации 2D и 3D данных: кластеризация однородных областей; разрастания регионов; K-средних; Слияние/разделение областей (region merging/splitting); метод Canny</li> <li>b. Метод Marching Cubes. Структуризация и параметризация его результата.</li> <li>c. Edge Based и Face Based структуры хранения сеточных данных. Упрощение сеток.</li> <li>d. Сплайны и методы подразбиения кривых и</li> </ul>  | ОПК-2 |



|  |       |
|--|-------|
| поверхностей.  |       |
| 6. Методы и алгоритмы моделирования глобального освещения. <ol style="list-style-type: none"> <li>Энергетический подход. Основы фотометрии.</li> <li>Взаимодействие света с поверхностью. BRDF (ДФОС) и ее свойства.</li> <li>Уравнение визуализации. Площадная и полусферическая форма.</li> <li>Стохастическая трассировка пути. Прямое и вторичное освещение.</li> <li>Метод фотонных карт.</li> <li>Генерация случайного направления на сфере</li> </ol> | ОПК-2 |
| 7. Трассировка лучей в реальном времени Оптимизация вычислений в визуализации глобального освещения 3D сцен <ol style="list-style-type: none"> <li>Трассировка лучей как основа расчета глобального освещения. Алгоритм пересечения луча с треугольником. Различия между трассировкой лучей и путей. История развития методов глобального освещения</li> <li>Ускоряющие структуры. Kd-деревья</li> <li>Ускоряющие структуры. BVH-деревья</li> </ol>          | ОПК-2 |
| 8. Методы анимации сцен и персонажей <ol style="list-style-type: none"> <li>Основные принципы и методы анимации сцен и персонажей.</li> <li>Скелетная анимация</li> </ol>  | ОПК-2 |

## 5.2.2. Типовые тестовые задания для оценки сформированности компетенции ОПК-2

### 5.2.2.1 Список контрольных вопросов тестирования для оценки результатов формирования компетенций ОПК-2

| № | Тестовые вопросы по разделам дисциплины   |
|---|---|
| 1 | <b>Введение</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>Тип – одиночный выбор.<br/>Что означает термин Visual Computing?             <ul style="list-style-type: none"> <li>вычисления, обеспечивающие зрение роботов</li> <li>высокопроизводительные вычисления в области компьютерной графики в широком смысле</li> <li>высокопроизводительная обработка видеосъемки</li> <li>синтез изображений виртуальной реальности</li> <li>вычисления, связанные с человеко-машинным интерфейсом</li> </ul> </li> <li>Тип – одиночный выбор.<br/>Какая группа методов современной компьютерной графики обеспечивает наибольшую реалистичность визуализации             <ul style="list-style-type: none"> <li>Методы растеризации</li> </ul> </li> </ol> |

|   |  |
|---|--|
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Методы трассировки лучей</li> <li>• Методы излучательности (Radiosity)</li> <li>• Методы глобального освещения</li> </ul> <p>3. Тип – одиночный выбор.<br/>Медицинская 3D визуализация это:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3D визуализация трехмерных скалярных полей</li> <li>• 3D визуализация полей высот</li> </ul>   |
| 2 | <p><b>Методы и алгоритмы глобального освещения</b></p> <p>1. Для количественной оценки фотометрических величин во всем оптическом диапазоне служит ... система единиц<br/>1) волновая 2) спектральная 3) энергетическая</p> <p>2. Функция относительной спектральной чувствительности максимальна в ... области спектра<br/>1) красной 2) зелёной 3) фиолетовой 4) ультрафиолетовой</p> <p>3. Какая общепринятая единица измерения используется для измерения мощности лучистого потока?<br/>1) ватт 2) кандела 3) люмен 4) люкс</p> <p>4. Измерение какой фотометрической величины по направлениям дает информацию для решения основного уравнения освещенности?<br/>1) светимость 2) яркость 3) освещённость 4) сила света</p> <p>5. Человеческий глаз непосредственно оценивает ...<br/>1) световой поток 2) освещённость 3) светимость 4) яркость</p> <p>6. Если BRDF описывает отражающие свойства НЕзависящие от поворота вокруг нормали в точке, то она называется ...<br/>1) позитивной 2) изотропной 3) анизотропной 4) негативной</p> <p>7. BRDF является ... функцией<br/>1) двухмерной 2) трёхмерной 3) четырехмерной 4) пятимерной</p> <p>8. Значение BRDF при обращении падающего и отраженного направления ...<br/>1) уменьшается 2) не изменяется 3) увеличивается 4) может изменяться</p> <p>9. Для интегрирования уравнения освещенности (измерения) применяется метод ...<br/>1) Ньютона<br/>2) Симпсона<br/>3) Монте-Карло<br/>4) наименьших квадратов</p> <p>10. Какой из перечисленных алгоритмов генерирует несмещенную оценку глобального освещения?<br/>1) Прямая трассировка лучей<br/>2) Обратная трассировка лучей<br/>3) Трассировка путей<br/>4) Метод фотонных карт</p> |

11. Какой механизм ограничения длины путей позволяет достичь несмещённой оценки изображения?

- 1) фиксированная глубина трассировки
- 2) адаптивная глубина трассировки
- 3) метод «отжига» путей
- 4) метод «русской рулетки»

12. Яркость излучения проходящего через оптическую систему при взаимодействии с ней ...

- 1) не может измениться
- 2) может только уменьшиться
- 3) может только увеличиться
- 4) может уменьшиться или увеличиться

13. При алгоритмизации глобального освещения могут приниматься допущения, о том что падающая световая энергия покидает поверхность ...

- 1) мгновенно
- 2) в том же направлении
- 3) из той же точки
- 4) не убывая

14. Значение BRDF в данной точке зависит от ...

- 1) свойств материала
- 2) направления падения луча
- 3) направления отражения луча
- 4) облучения по другим направлениям
- 5) свойств оптической среды в окрестности точки

15. При построении физически достоверных (несмещённых) моделей материалов для глобального освещения необходимо учитывать ...

- 1) закон сохранения энергии
- 2) закон сохранения импульса
- 3) принцип обратимости Гельмгольца
- 4) закон Амдала
- 5) закон Мура

16. Какое из уравнений используется для моделирования глобального освещения?

- 1) уравнение баланса
- 2) уравнение видимости
- 3) уравнение освещённости

17. Основные формы уравнения освещённости (визуализации, измерения) включают

- 1) геометрическую
- 2) полусферическую (угловую)
- 3) кубическую
- 4) площадную

18. Расположите номера упомянутых исследований в хронологическом порядке:

- 1) двунаправленная трассировка путей, предложенная Э. Лафорчуном и Э. Вичем
- 2) трассировка путей Дж. Кайя
- 3) распределённая трассировка лучей Р. Кука
- 4) трассировка лучей Т. Уиттеда

|   |   |
|---|---|
| 3 | <p><b>Научная, инженерная и стерео- визуализация.</b></p> <p>1. Тип – ввод значения<br/>Укажите значение четвертой координаты для трехмерного вектора с координатами (x,y,z) в однородных координатах.<br/><i>Правильный ответ:</i></p> <p>2. Тип – ввод значения<br/>Укажите значение четвертой координаты для трехмерной точки с координатами (x,y,z) в однородных координатах.<br/><i>Правильный ответ:</i></p> <p>3. Тип – множественный выбор.<br/>Укажите которые из названий анаглифов являются правильными и изучались в курсе Современная компьютерная графика:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Color Anaglyphs</li> <li>• Blue Anaglyphs</li> <li>• True Color Anaglyphs</li> <li>• Gray Anaglyphs</li> <li>• Red Anaglyphs</li> <li>• Optimized Anaglyphs</li> <li>• Half Color Anaglyphs</li> </ul> <p>4. Тип – одиночный выбор.<br/>Какому анаглифу соответствует следующее разложение:</p> $\begin{pmatrix} r_a \\ g_a \\ b_a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} r_1 \\ g_1 \\ b_1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} r_2 \\ g_2 \\ b_2 \end{pmatrix}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gray Anaglyphs.</li> <li>• Color Anaglyphs.</li> <li>• Half Color Anaglyphs.</li> <li>• True Color Anaglyphs.</li> <li>• Blue Anaglyphs</li> </ul> |
| 4 | <p><b>Сегментация 3D данных. Реконструкция поверхностей. Сеточные методы моделирования поверхностей и тел</b></p> <p>1. Тип – одиночный выбор.<br/>Сколько вариантов разбиения ребер куба точками, принадлежащими границе искомой поверхности, исключая повороты и симметрии, рассматривается в методе Marching Cubes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 256</li> <li>• 128</li> <li>• 15</li> </ul> <p>2. Тип – одиночный выбор.<br/>Какие объекты являются базовыми объектами полигональной поверхности.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Вершины.</li> <li>• Ребра.</li> <li>• Треугольники.</li> </ul>   |

|  |   |
|--|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Многоугольники.</li> </ul> <p>3. Тип – одиночный выбор.<br/>Какая из названных сеточных структур является Edge Based структурой и обеспечивает трудоемкость почти всех операций <math>O(1)</math>?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Список вершин</li> <li>• Список граней</li> <li>• Список ребер</li> <li>• Таблица углов</li> <li>• Полуреберная</li> <li>• Матрица смежности</li> </ul> <p>4. Тип – одиночный выбор.<br/>Какая из названных сеточных структур является Face Based структурой и обеспечивает трудоемкость почти всех операций <math>O(1)</math>?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Список вершин</li> <li>• Список граней</li> <li>• Список ребер</li> <li>• Таблица углов</li> <li>• Полуреберная</li> <li>• Матрица смежности</li> </ul> |
|--|---|

### 5.2.3 Темы проектов для текущего контроля ОПК-2

#### Раздел 1. Скалярные поля. Сегментация. Реконструкция. Задачи обработки массива данных томограммы (3D-массива вокселей)

**Исходные данные:** 3D (2D) массив исследуемых величин short, integer или float. Заданы размеры воксельной сетки  $N_x$ ,  $N_y$ ,  $N_z$  и шаг  $h$  по  $x, y, z$ .

MPT томограммы можно взять в zip-файле !!\_MRI-CANSER-bin.zip в материалах курса (<https://www.sites.google.com/site/turlapovveunn/advanced-computer-graphics-course>): 3 bin-файла и текстовое описание bin-формата. Во всех трех файлах в качестве исходных даны срезы в разных плоскостях: BRANIX-02 вид спереди - 99 слоев; CEREBRIX-01 вид сбоку - 175 слоев; CEREBRIX-02 вид сверху - 244 слоя. Выбор томограммы на Ваше усмотрение.

#### **Комментарий по реализации простой цветной трансфер-функции (TF):**

Для реализации простой цветной трансфер-функции (TF), соответствующей наблюдаемому диапазону (окну) плотностей  $[a, b]$ , цвета  $Color(a)$ ,  $Color(b)$  устанавливаются через стандартный диалог выбора цвета. Число цветов 2 и более. Для каждого цвета задается непрозрачность  $Alpha(a)$ ,  $Alpha(b)$ ,..., в диапазоне  $[0, 1]$ , по умолчанию равная 1. Для получения цвета, находящегося между каждой парой (например, Red-Yellow) соседних цветов, используется линейная интерполяция.

**Проект 1.1: Послойная 2D-визуализация регулярного 3D-массива вокселей.** C# или C++, Windows Forms. OpenGL. Послойная 2D-визуализация регулярного 3D-массива вокселей ( $N_z$  2D слоев размером  $N_x \times N_y$  short integer данных на сетке с шагом  $dx, dy, dz$ ) компьютерной томограммы КТ (СТ). Сетку значений плотности  $S$  каждого слоя (среза) на  $\{x, y\}$  рисовать через текстуры или Quad-ы OpenGL. Реализовать просмотр серым окном (значения Transfer Function: от 0-черный до 255-белый, непрозрачность по умолчанию: 0-в черном, 1-в белом). Ширина окна трансформации по  $S$  при этом может изменяться как  $2^k$  от 128 до 4096. Все что выше – белое (255), все что ниже – черное (0). Левая граница окна (*Sleft*) на диапазоне  $[-1000, 3000]$  значений исходного массива данных и ширина окна  $dS$  изменяются слайдером. Прокрутка слоев – колесиком мыши. Отображение заданным цветом диапазона значений внутри круга,

заданного протягиванием мыши от центра круга с зажатой левой клавишей (отобразить min, max и среднюю плотность в круге). Управление прозрачностью текущего слоя. Реализовать цветную TF (например, как в задаче 1.7)

**Проект 1.2: Послойная 2D-визуализация регулярного 3D-массива вокселей.** Язык - C# или C++, Windows Forms. OpenGL. Послойная 2D-визуализация регулярного 3D-массива вокселей ( $N_z$  2D слоев размером  $N_x \times N_y$  short integer данных на сетке с шагом  $dx, dy, dz$ ). Сетку значений на  $\{x, y\}$  рисовать через текстуры или Quad-ы OpenGL. Реализовать просмотр слоев в оттенках серого. (см. задачу 1). Прокрутка слоев – колесиком мыши. Выделение окружностью, сформированной щелчком и протягиванием мыши, и 2D визуализация заданным цветом сегментированного однородного диапазона плотностей (например, отдельной кости). 3D визуализация сегментированного объекта методом научной визуализации.

**Проект 1.3: Визуализация сферы (2 сфер), заданных сегментами из криволинейных PN-треугольников или обычных треугольников.** Язык - C# или C++, Windows Forms. OpenGL. Реализовать визуализацию сферы (2 сфер), заданных сегментами из криволинейных PN-треугольников или обычных треугольников. LOD [0,5], число сегментов по долготе {4,8} и широте {1,2,3} управляются прокрутками NumericUpDown. Может быть задан цвет каждой сферы. Сферы плавают в корнуэльской комнате соударяясь между собой и со стенками. В методе криволинейных PN-треугольников реализовать возможности изменения LOD.

**Проект 1.4: Ray Tracing.** Язык - C# или C++, Windows Forms. OpenGL. Реализовать визуализацию сфер (N сфер или поверхностей произвольной формы), заданных полигонально или сегментами из криволинейных PN-треугольников. LOD [0,5], число сегментов (или треугольников) по долготе {4,8} и широте {1,2,3} управляются прокрутками NumericUpDown. Может быть задан цвет каждой сферы. Сферы плавают в корнуэльской комнате соударяясь со стенками. Исследовать последствия изменения LOD в методе криволинейных PN-треугольников.

**Проект 1.5: Ray tracing. Ускоряющие структуры.** Язык - C# или C++, Windows Forms. Реализовать визуализацию сфер (N сфер), заданных по-октантно сегментами из треугольников (криволинейных-факультативно). LOD сегмента подобно криволинейному PN-треугольнику [0,5] и управляется прокрутками NumericUpDown. Может быть задан цвет каждой сферы. Сферы размещены в корнуэльской комнате случайно, медленно плавают соударяясь. Реализовать подходящую ускоряющую структуру, сравнить производительность на сцене из 1-100 сфер.

**Проект 1.6: Реконструкция изоповерхности.** Язык - C# или C++, Windows Forms. OpenGL. Послойная 2D-визуализация регулярного 3D-массива вокселей MPT томограммы ( $N_z$  2D слоев размером  $N_x \times N_y$  short integer данных на сетке с шагом  $dx, dy, dz$ ). Сетку значений на  $\{x, y\}$  рисовать через текстуры или Quad-ы OpenGL. Реализовать просмотр слоев в оттенках серого. Прокрутка слоев – колесиком мыши. Выделение на текущем слое щелчком и протягиванием мыши круга и диапазона плотностей в нем. Методом трассировки лучей (Ray Casting) реконструировать изоповерхность соответствующую числу из выделенного диапазона. Результат построить во втором окне в заданном цвете и прозрачности (изменяемых в интерфейсе). Нормали в вершинах рассчитывать по направлению антиградиента. Освещенность - по Фонгу.

**Проект 1.7: 3D-стерео визуализация неполигональной поверхности трассировкой.** Язык - C# или C++, Windows Forms, CPU-GPU(шейдеры). 3D-визуализация трассировкой (Ray Casting) неполигональной поверхности, заданной только диапазоном значений  $[a, b]$  на 3D массиве плотностей (томограмме) КТ. Простая Transfer Function для  $[a, b]$ : Color(a), Alpha(a), Color(b), Alpha(b). Освещенность по Фонгу (нормаль по антиградиенту). В интерфейсе слайдер для  $a$ , окно - для  $b$ , Color(a), Alpha(a), Color(b), Alpha(b). Вращение сцены мышью. 3D-стерео режим - цветной анаглиф.

**Проект 1.8: 3D-стерео визуализация неполигональной поверхности трассировкой.** Язык -

C# или C++, Windows Forms, CPU-GPU(шейдеры). 3D-визуализация трассировкой (Ray Casting) части томограммы, заданной только диапазоном значений  $[a, b]$  на 3D массиве плотностей (томограмме) MPT (любой из трех в архиве !!\_MRI-CANSER-bin.zip). Простая Transfer Function для  $[a, b]$ : Color( $a$ ), Alpha( $a$ ), Color( $b$ ), Alpha( $b$ ). Освещенность по Фонгу (нормаль по антиградиенту). В интерфейсе слайдеры для  $a, b$ , Color( $a$ ), Alpha( $a$ ), Color( $b$ ), Alpha( $b$ ). Вращение сцены мышью. 3D-стерео режим - полупрозрачный анаглиф.

**Проект 1.9: 3D-визуализация трассировкой с предынтегрированием.** Язык - C# или C++, Windows Forms, CPU-GPU(шейдеры). 3D-визуализация трассировкой (Ray Casting) с предынтегрированием части КТ-томограммы, заданной диапазоном значений  $[a, b]$  на 3D массиве плотностей (томограмме). Простая Transfer Function для  $[a, b]$ : Color( $a$ ), Alpha( $a$ ), Color( $b$ ), Alpha( $b$ ). Освещенность по Фонгу (нормаль по антиградиенту). В интерфейсе слайдеры для  $a, b$ , Color( $a$ ), Alpha( $a$ ), Color( $b$ ), Alpha( $b$ ). Вращение сцены мышью.

## **Раздел 2. Методы глобального освещения. Ускоряющие структуры. Виртуальная реальность**

**Исходные данные:** Корнуэльская комната с 1 площадным источником света на потолке (форма и распределение интенсивности по площади – любые, с яркостью регулируемой слайдером), с полужеркальными боковыми стенами (коэффициент зеркальности – слайдером TrackBar). Внутри комнаты - матовый белый и зеркальный шары, и по вариантам: 1) стеклянный куб, стоящий на одной из вершин, или 2) стеклянный шар или 3) стеклянный тетраэдр. На полу процедурная текстура-клетка. Стеклянные объекты слева на переднем плане и приподняты над полом на величину радиуса. Матовый шар приближен к одной из цветных стен. Реализовать на CPU, GPU: сравнить производительность. Для CPU опробовать реализовать методы распараллеливания.

### **Проекты 2:**

2.1 - **Метод Ray tracing** со стеклянным кубом. Глубина трассировки управляемая  $[1 \div 4]$ .

2.2 - **Метод Ray tracing** со стеклянной сферой. Глубина трассировки управляемая  $[1 \div 4]$ .

2.3 - **Метод Ray tracing** со стеклянным тетраэдром. Глубина трассировки управляемая  $[1 \div 4]$ .

2.4 - **Метод Light tracing**, свет White или RGB со стеклянным кубом

2.5 - **Метод Light tracing**, свет White или RGB со стеклянным шаром

2.6 - **Метод Light tracing**, свет White или RGB со стеклянным тетраэдром

2.7 - **Метод Path tracing**, свет White или RGB со стеклянным кубом

2.8 - **Метод Path tracing**, свет White или RGB со стеклянным шаром

2.9 - **Метод Path tracing**, свет White или RGB со стеклянным тетраэдром

2.10 - **Метод Light tracing** со стеклянным шаром, источник spot  $90^\circ$  – светит вверх на потолок с высоты люстры (управляемая величина).

2.11 - **Метод Light tracing** со стеклянным тетраэдром, источник spot  $90^\circ$  – светит на потолок с высоты люстры (управляемая величина).

2.12 - **Метод Ray tracing с управляемой [1-4] глубиной трассировки** (или, факультативно, Path tracing). Комната с матово-зеркальной (управление) сферой, заданной сегментами из криволинейных PN-треугольников. LOD  $[0, 5]$ , число сегментов по долготе  $\{4, 8\}$  и широте  $\{1, 2, 3\}$ , - управляются прокрутками NumericUpDown.

2.13 - **Optimized Bidirectional Path tracing** со стеклянным кубом

2.14 - **Optimized Bidirectional Path tracing** со стеклянной сферой

2.15 - **Optimized Bidirectional Path tracing** со стеклянным тетраэдром

2.16 - **Metropolis Light Transport** со стеклянным кубом

2.17 - **Metropolis Light Transport** со стеклянной сферой

2.18 - **Metropolis Light Transport** со стеклянным тетраэдром

2.19 - **Optimized Bidirectional Path tracing** со стеклянным кубом. Источник - spot 90° – светит на потолок с высоты люстры (управляемая величина).

2.20 - **Optimized Bidirectional Path tracing** со стеклянной сферой. Источник - spot 90° – светит на потолок с высоты люстры (управляемая величина).

2.21 - **Optimized Bidirectional Path tracing** со стеклянным тетраэдром. Источник - spot 90° – светит на потолок с высоты люстры (управляемая величина).

2.22 **Ускоряющие структуры. Ray tracing с управляемой [1÷4] глубиной трассировки.** С# или C++, Windows Forms. CPU. Реализовать визуализацию N сфер ( $N < 100$  - управление), заданных по-октантно сегментами из треугольников (криволинейных-факультативно). LOD сегмента подобно криволинейному PN-треугольнику [0,5] и управляется прокрутками NumericUpDown. Может быть задан цвет каждой сферы. Сферы размещены в корнуэльской комнате по кругу (или концентрическими кругами). Построить BVH-дерево, сравнить производительность на сцене из 1÷100 сфер.

2.23 **Ускоряющие структуры. Ray tracing с управляемой [1÷4] глубиной трассировки.** С# или C++, Windows Forms. Ускоряющие структуры. CPU. Реализовать визуализацию N сфер (1÷100 - управление), заданных по-октантно сегментами из треугольников (криволинейных - факультативно). LOD сегмента подобно криволинейному PN-треугольнику [0÷5] и управляется прокрутками NumericUpDown. Может быть задан цвет каждой сферы. Сферы размещены в корнуэльской комнате в форме квадрата вдоль стен (или концентрическими квадратами). Построить окто-дерево (Ocree), сравнить производительность с/без дерева на сцене из 1÷100 сфер.

2.24 **Ускоряющие структуры. Ray tracing с управляемой [1÷4] глубиной трассировки.** С# или C++, Windows Forms. Ускоряющие структуры. Ray tracing с управляемой [1÷4] глубиной трассировки. CPU. Реализовать визуализацию  $N=2^m$  сфер ( $m=1÷4$  - управление), заданных по-октантно сегментами из треугольников (криволинейных-факультативно). LOD сегмента подобно криволинейному PN-треугольнику [0÷5] и управляется прокрутками NumericUpDown. Сферы: 1)зеркальные; 2)матовые со случайным цветом; 3)зеркальные только нечетные (RadioButton). Сферы размещены в корнуэльской комнате в виде регулярной решетки в нижней половине комнаты. Построить kd-дерево (тип на выбор, выбор обосновать), сравнить производительность визуализации с деревом/без дерева на сцене из  $2^m$  сфер.

2.25 **Ускоряющие структуры. Ray tracing с управляемой [1÷4] глубиной трассировки.** С# или C++, Windows Forms.. CPU. Реализовать визуализацию  $N=2^m$  сфер ( $m=1÷4$  - управление), заданных по-октантно сегментами из криволинейных треугольников. LOD сегмента подобно криволинейному PN-треугольнику [0÷5] и управляется прокрутками NumericUpDown. Сферы: 1)зеркальные; 2)матовые со случайным цветом; 3)зеркальные только нечетные (RadioButton). Сферы размещены случайным образом в нижней половине корнуэльской комнаты. Построить kd-дерево по SAN-критерию, сравнить производительность визуализации с деревом/без дерева на сцене из  $2^m$  сфер.



**2.26 Ускоряющие структуры. GPU Ray tracing с управляемой [1÷4] глубиной трассировки.** C# или C++, Windows Forms. Реализовать визуализацию  $N=2^m$  сфер ( $m=1÷4$  - управление), заданных по-октантно сегментами из треугольников (криволинейных-факультативно). LOD сегмента подобно криволинейному PN-треугольнику [0÷5] и управляется прокрутками NumericUpDown. Сферы: 1)зеркальные; 2)матовые со случайным цветом; 3)зеркальные только нечетные (RadioButton). Сферы размещены в корнуэльской комнате в виде регулярной решетки в нижней половине комнаты. Построить kd-дерево (тип на выбор, выбор обосновать), сравнить производительность визуализации с деревом/без дерева на сцене из  $2^m$  сфер.

**2.27 Ускоряющие структуры. GPU Ray tracing с управляемой [1÷4] глубиной трассировки.** C# или C++, Windows Forms. Реализовать визуализацию  $N=2^m$  сфер ( $m=1÷4$  - управление), заданных по-октантно сегментами из криволинейных треугольников. LOD сегмента подобно криволинейному PN-треугольнику [0÷5] и управляется прокрутками NumericUpDown. Сферы: 1)зеркальные; 2)матовые со случайным цветом; 3)зеркальные только нечетные (RadioButton). Сферы размещены случайным образом в нижней половине корнуэльской комнаты. Построить kd-дерево по SAH-критерию, сравнить производительность визуализации с деревом/без дерева на сцене из  $2^m$  сфер.

### Критерии оценки проекта

| Дескрипторы качества исполнения   | Оценка              |
|---|---------------------|
| Проект выполнен с превышением объема и в срок; результаты работы программы корректны на тестовых примерах или проведен требуемый вычислительный эксперимент; результаты работы представлены преподавателю; исполнитель может объяснить действия команд программы и внести простые изменения в алгоритм по требованию преподавателя.                     | превосходно         |
| Проект выполнен в полном объеме и в срок; результаты работы программы корректны на тестовых примерах или проведен требуемый вычислительный эксперимент; результаты работы представлены преподавателю; исполнитель может объяснить действия команд программы и внести простые изменения в алгоритм по требованию преподавателя.                          | отлично             |
| Проект выполнен практически в полном объеме и в срок; результаты работы программы корректны на большинстве тестовых примеров или в основном проведен вычислительный эксперимент; результаты работы представлены преподавателю; исполнитель может объяснить действия команд программы и внести простые изменения в алгоритм по требованию преподавателя. | очень хорошо        |
| Проект в основном выполнен и в срок; результаты работы программы корректны на большинстве тестовых примеров или в основном проведен вычислительный эксперимент; результаты работы представлены преподавателю; исполнитель может объяснить почти все действия команд программы и внести простые изменения в алгоритм по требованию преподавателя.        | хорошо              |
| Проект выполнен более, чем наполовину; результаты работы программы корректны на большинстве тестовых примеров или в основном проведен вычислительный эксперимент; результаты работы представлены преподавателю; исполнитель может объяснить почти все действия команд программы и внести простые изменения в алгоритм по требованию преподавателя.      | удовлетворительно   |
| Проект выполнен менее, чем наполовину; результаты работы программы некорректны на большинстве тестовых примеров или не проведен вычислительный эксперимент; результаты работы не представлены преподавателю; исполнитель не может объяснить действия  | неудовлетворительно |

|   |       |
|---|-------|
| команд программы и внести простые изменения в алгоритм по требованию преподавателя.   |       |
| Проект не выполнен (программа отсутствует); результаты работы не представлены преподавателю; исполнитель не может объяснить действия команд программы и не может внести простые изменения в алгоритм по требованию преподавателя. | плохо |

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### а) основная литература:

- 1) Александр Куликов, Тамара Овчинникова Алгоритмические основы современной компьютерной графики: (<http://www.intuit.ru/studies/courses/70/70/info>)
- 2) Курс: Турлапов В.Е. «Компьютерная графика ДО» <https://e-learning.unn.ru/course/view.php?id=804>.
- 3) Курс: Денис Боголепов, Вадим Турлапов. Компьютерная графика в инженерном анализе и научной визуализации, ИНТУИТ (<http://www.intuit.ru/studies/courses/587/443/info>)

### б) дополнительная литература:

- 1) Wald I. Realtime Ray Tracing and Interactive Global Illumination. PhD thesis, Saarland University, 2004. -311p. ([www.sci.utah.edu/~wald/PhD/wald\\_phd.pdf](http://www.sci.utah.edu/~wald/PhD/wald_phd.pdf))
- 2) Möller T. Visualization. Direct Volume Rendering, 2011. -106p. ([http://vda.univie.ac.at/Teaching/Vis/14s/LectureNotes/11\\_direct\\_volume\\_rendering.pdf](http://vda.univie.ac.at/Teaching/Vis/14s/LectureNotes/11_direct_volume_rendering.pdf))
- 3) T. Ritschel, C. Dachsbacher, T. Grosch, J. Kautz / The State of the Art in Interactive Global Illumination, 2011. -26p ([https://www.in.tu-clausthal.de/fileadmin/homes/CG/data\\_pub/paper/GISTAR.pdf](https://www.in.tu-clausthal.de/fileadmin/homes/CG/data_pub/paper/GISTAR.pdf))

### в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

- 1) Ресурсы конференции SIGGRAPH ([www.siggraph.org](http://www.siggraph.org))
- 2) Библиотека OpenTK <https://github.com/opentk/opentk>
- 3) Спецификации OpenGL и GLSL <https://www.opengl.org/>
- 4) Krivanec Jaroslav papers: <http://cgg.mff.cuni.cz/~jaroslav/papers/>

## 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: компьютерный класс, проектор, экран.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Учебная и научная литература, учебно-методические материалы, представленные в библиотечном фонде, в электронных библиотеках и на кафедре математического обеспечения и суперкомпьютерных технологий.

Для аудиторных и самостоятельных практических занятий используется только открытое программное обеспечение, установленное на персональных компьютерах обучающихся:

- 1) MS Windows 8|10, установленная на персональном компьютере обучающегося
- 2) MS Visual Studio Express 2015 или MS Visual Studio Express 2015 для Web (<https://www.microsoft.com/ru-ru/SoftMicrosoft/vs2015Web.aspx>) – бесплатная версия (на персональном компьютере обучающегося).
- 3) Желательно NVIDIA CUDA, актуальной версии (лицензия BSD)

- 4) Желательно NVIDIA OptiX, актуальной версии (лицензия BSD)
- 5) OpenGL ([www.opengl.org](http://www.opengl.org)), лицензия BSD

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению 02.04.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии».

Автор В.Е. Турлапов

Зам.зав. кафедрой И.Б.Мееров

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики от 30 ноября 2022 года, протокол № 3.