

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования**

«Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

Институт информационных технологий, математики и механики

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

Рабочая программа дисциплины

Практикум по компьютерной графике и когнитивным системам

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

магистратура

Направление подготовки (специальность)

020402 Фундаментальная информатика и информационные технологии

Направленность образовательной программы

Искусственный интеллект

Форма обучения

очная

Нижний Новгород
2023

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина Б1.В.ДВ.01.01 «Практикум по компьютерной графике и когнитивным системам» относится к дисциплинам по выбору части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока 1 «Дисциплины, модули» направления 02.04.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии», направленность «Искусственный интеллект», преподается в **1 семестре**. .

№ Варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
1	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.ДВ.01.01 «Практикум по компьютерной графике и когнитивным системам» относится к части ООП направления подготовки 02.04.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии, формируемой участниками образовательных отношений.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

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**	
ПК-8. Способен к разработке новых алгоритмических, методических и технологических решений в конкретной сфере профессиональной деятельности	ПК-8.1. Знать основы ИТ в области КС и КГ и иметь навыки анализа современного состояния науки и информационных технологий в этой области	Знает основы ИТ в области КС и КГ и иметь навыки анализа современного состояния науки и информационных технологий в этой области	собеседование,
	ПК-8.2. Иметь навыки проектирования и разработки и развития ИТ-решений на основе анализа современного состояния науки и информационных технологий в области КС и КГ	Имеет навыки проектирования и разработки и развития ИТ-решений на основе анализа современного состояния науки и информационных технологий в области КС и КГ	задания
ПК-10. Способен конвертировать результаты научно- исследовательских и/или опытно-конструкторских работ в требования ИТ-проекта, и обратно: способен обеспечить ИТ-проект необходимым исследованием	ПК-10.1. Знать методы конвертации результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в требования ИТ-проекта в области компьютерной 3D-графики и моделирования 3D-сцен (КГиМ).	Знать теоретические основы, алгоритмы и постановки задач синтеза 3D-сцен виртуальной реальности. Образовательные ресурсы, открытые библиотеки и среды программирования.	собеседование

и опытно-конструкторскими работами.	ПК-10.2. Иметь навыки применения результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в ИТ-проектах в области КГиМ.	Владеет навыками программирования задач синтеза 3D-сцен виртуальной реальности для применения в разработке информационных систем.	собеседование, задания
-------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

Общая трудоемкость	2 ЗЕТ
Часов по учебному плану	72
в том числе:	
аудиторные занятия (контактная работа):	33
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа	16
- занятия лабораторного типа	
- текущий контроль (КСР)	1
самостоятельная работа	39
Промежуточная аттестация - зачет	

3.2 Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Часов					
		Всего	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося
			Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				
			Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
1.	Библиотека OpenVINO и решение практических задач компьютерного зрения с привлечением библиотеки OpenCV. Общее знакомство.	6	1	1		2	4
2.	Deep Learning Model Optimizer - Оптимизатор моделей глубокого обучения: A.Model Optimizer – компонент для конвертации предварительно обученных моделей из формата какого-либо обучающего фреймворка в промежуточный формат (Intermediate	6	1	1		2	4

	Representation, IR); Поддерживаемые форматы моделей: ONNX, TensorFlow, Caffe, MXNet, Kaldi; B. Inference Engine – компонент для реализации эффективного вывода глубоких моделей.					
3.	Deep Learning Inference Engine - API для высокопроизводительного инференса (инференс- запуск натренированной сети как готовой программы) с помощью подготовленной модели.	8	2	2	4	4
4.	Open Model Zoo - открытый репозиторий обученных моделей для решения различных задач, набор широко известных публичных моделей (более 20) и моделей, решающих различные задачи компьютерного зрения (более 100) и обученных в Intel.	8	2	2	4	4
5.	Deep Learning Workbench - веб-графическая среда, позволяющая легко использовать различные сложные компоненты набора инструментов OpenVINO™ toolkit	8	2	2	4	4
6.	Post-training Optimization tool - инструмент для калибровки модели и последующего ее выполнения с точностью INT8 (int8-преобразование в однобайтное представление целого числа)	8	2	2	4	4
7	Библиотеки и инструменты компьютерной графики: <i>Visualization Toolkit</i> (VTK) – для 3D компьютерной графики, обработки изображений и визуализации (www.vtk.org)	9	2	2	4	5
8	Разделы VTK: а) Ускоряющие структуры. kd и BVH деревья; б) Классическая трассировка лучей; в) Оптическое излучение и его характеристики; г) Взаимодействие света с поверхностями;	9	2	2	4	5
9	Разделы VTK: д) Основные аналитические модели материалов; е) Основное уравнение визуализации; ж) Стохастическая трассировка пути; з) Оптимизация стохастической трассировки пути; и) Метод фотонных карт.	9	2	2	4	5
	Текущий контроль	1		1	1	
	Промежуточная аттестация: зачет					
	Итого	72	16	17	33	39

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: Создание прикладных приложений с использованием библиотеки OpenCV; создание прикладных приложений с использованием библиотеки OpenVINO; создание прикладных приложений с использованием библиотеки VTK; создание прикладных приложений с использованием библиотеки ITK.

На проведение практических занятий (семинарских занятий) 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.
- компетенций – ПК-8: Способен к разработке новых алгоритмических, методических и технологических решений в конкретной сфере профессиональной деятельности (ПК-8.3: Имеет практический опыт управления разработкой и развитием ИТ-решений на основе анализа современного состояния науки и информационных технологий в области профессиональной деятельности).

Текущий контроль успеваемости реализуется в формах опросов на занятиях семинарского типа. Промежуточная аттестация проходит в традиционных формах (экзамен).

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Для выполнения программы самостоятельной работы достаточно: (а) самостоятельно проработать лекционный материал и (б) выполнить, с применением библиотеки VTK, 3 из 5 домашних лабораторных работ на темы представленные в таблице (в интересах практического освоения материала и контроля умений/владений компетенций ПК-10, ПК-8).

№п/п	Раздел дисциплины	Наименование лабораторных работ
1	Библиотека OpenVINO и решение практических задач компьютерного зрения с привлечением библиотеки OpenCV.	Создание приложения на основе OpenVINO с использованием Deep Learning Model Optimizer, Deep Learning Inference Engine, Open Model Zoo, Deep Learning Workbench, Post-training Optimization tool.
2	Библиотека VTK. Решение задач классической трассировки лучей	Классическая трассировка лучей, используя ускоряющие структуры kd или BVH деревьев, простые модели объектов
3	Библиотека VTK. Решение задач научной визуализации	Научная визуализация 3D данных томографии
4	Библиотека VTK. Решение	Моделирование глобального освещения,

	задач глобального освещения	используя, основные аналитические модели материалов, стохастическую трассировку пути с оптимизацией
5	Библиотека VTK. Решение задач глобального освещения	Реализация метода фотонных карт для корнуэльской комнаты с основными аналитическими моделями материалов.

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 незначительных 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 отдельными незначительными 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	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

	навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	Имели место грубые ошибки.	задач с некоторыми недочетами	некоторыми недочетами	ошибок и недочетов.	недочетов.	
--	--------------------------------------------------	----------------------------	-------------------------------	-----------------------	---------------------	------------	--

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 зачтено	Неудовлетворительно	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 и оценки ПК-10.1, ПК-8.1

Вопрос	Компетенция
1) Библиотека <u>OpenVINO</u> (Open Visual Inference & Neural Network)	ПК-8

<p>Optimization) и решение практических задач компьютерного зрения с привлечением библиотеки OpenCV. Общее знакомство.</p> <ol style="list-style-type: none"> 2) <u>Deep Learning Model Optimizer</u> - Оптимизатор моделей глубокого обучения: A. Model Optimizer – компонент для конвертации предварительно обученных моделей из формата какого-либо обучающего фреймворка в промежуточный формат (Intermediate Representation, IR); Поддерживаемые форматы моделей: ONNX, TensorFlow, Caffe, MXNet, Kaldi; B. Inference Engine – компонент для реализации эффективного вывода глубоких моделей. 3) <u>Deep Learning Inference Engine</u> - API для высокопроизводительного инференса (инференс- запуск натренированной сети как готовой программы) с помощью подготовленной модели. 4) <u>Open Model Zoo</u> - открытый репозиторий обученных моделей для решения различных задач, набор широко известных публичных моделей (более 20) и моделей, решающих различные задачи компьютерного зрения (более 100) и обученных в Intel. 5) <u>Deep Learning Workbench</u> - веб-графическая среда, позволяющая легко использовать различные сложные компоненты набора инструментов OpenVINO™ toolkit 6) <u>Post-training Optimization tool</u> - инструмент для калибровки модели и последующего ее выполнения с точностью INT8 (int8-преобразование в однобайтное представление целого числа) 	
<ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Оптическое излучение и его характеристики</u> <ol style="list-style-type: none"> a. Основные понятия оптического излучения и его характеристики. Системы фотометрических и радиометрических величин и взаимосвязь между ними. Лучистый поток и световой поток. Сила излучения и сила света. Облученность и освещенность. Светимость и энергетическая светимость. Яркость и энергетическая яркость. b. Интегральные величины. Спектральные величины. Взаимосвязь между фотометрическими величинами. Свойства энергетической яркости и их значение для алгоритмов синтеза реалистичных изображений. 2. <u>Взаимодействие света с поверхностями.</u> <ol style="list-style-type: none"> a. Модели взаимодействия света с поверхностями. Двухнаправленная функция поверхностно-рассеянной отражательной способности (BSSRDF). b. Двухнаправленная функция отражательной способности (BRDF). Двухнаправленная функция пропускающей способности (BTDF). Двухнаправленная функция рассеивающей способности (BSDF). c. Классы и свойства двухнаправленной функции отражательной способности (BRDF). 3. <u>Основные аналитические модели материалов.</u> <ol style="list-style-type: none"> a. Основные аналитические модели материалов. Идеальное зеркальное отражение и преломление. b. Формулы Френеля. Модели диффузного отражения Ламберта и Орена-Найара. c. Модели размытого (glossy) отражения Фонга и Кука-Торренса. d. Эмпирические модели Уорда и Лафорчуна. 4. <u>Основное уравнение визуализации.</u> <ol style="list-style-type: none"> a. Основное уравнение визуализации. Площадная и полусферическая 	<p>ПК-10</p>

<p>форма уравнения.</p> <p>b. Декомпозиция уравнения на прямое и вторичное освещение.</p> <p>c. Ограничения модели и область применения.</p> <p><u>5. Стохастическая трассировка пути.</u></p> <p>a. Стохастическая трассировка пути как численный метод решения уравнения визуализации.</p> <p>b. Модель камеры и экранной плоскости.</p> <p>c. Рекурсивная природа метода и способы остановки рекурсии. Принцип русской рулетки.</p> <p><u>6. Оптимизация стохастической трассировки пути.</u></p> <p>a. Оптимизация стохастической трассировки пути.</p> <p>b. Декомпозиция вычислений на прямое и вторичное освещение.</p> <p>c. Принцип выборки по значимости.</p> <p><u>7. Классическая трассировка лучей.</u></p> <p>a. Классическая трассировка лучей как частный случай трассировки пути. Значение метода для компьютерной графики.</p> <p><u>8. Метод фотонных карт.</u></p> <p>a. Метод фотонных карт как двухпроходный алгоритм трассировки. Особенности трассировки фотонов. Структуры хранения фотонной карты.</p> <p>b. Оценка энергетической яркости на основе фотонной карты. Визуализация с использованием фотонной карты.</p>	
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

5.2.2 Типовые лабораторные работы/задачи для формирования и текущей оценки компетенций ПК-8, ПК-10

Задача	Компетенция
1) Разработать приложение на основе OpenVINO с использованием Deep Learning Model Optimizer, Deep Learning Inference Engine, Open Model Zoo, Deep Learning Workbench, Post-training Optimization tool.	ПК-8
<p>2) «Реализовать ускоряющую структуру: kd или BVH дерево на основе VTK»:</p> <p>a. Ускоряющие структуры. Kd-деревья</p> <p>b. Ускоряющие структуры. BVH-деревья</p> <p>c. Эвристика SAH</p> <p>3) Реализовать классическую трассировку лучей на основе VTK.</p> <p>a. Программирование вычислений общего назначения на GPU средствами GLSL или CUDA на примере трассировки лучей</p> <p>b. Алгоритм пересечения луча с треугольником.</p> <p>c. Формула Уиттеда.</p> <p>d. Различия между трассировкой лучей и путей.</p> <p>4) Использовать аналитическую модель материала в среде VTK.</p> <p>a. Основные аналитические модели материалов. Идеальное зеркальное отражение и преломление.</p> <p>b. Формулы Френеля. Модели диффузного отражения Ламберта и Орена-Найара.</p> <p>c. Модели размытого (glossy) отражения Фонга и Кука-</p>	ПК-10

<p>Торренса.</p> <p>d. Эмпирические модели Уорда и Лафорчуна</p> <p>5) Реализовать Метод фотонных карт в среде VTK:</p> <p>a. Понятие фотона. Управление фотонами.</p> <p>b. Содержание и математические модели метода фотонных карт.</p> <p>c. Методы оптимизации вычислений</p> <p>6) Реализовать стохастическую трассировку пути в среде VTK</p> <p>a. История развития методов глобального освещения</p> <p>b. Ускоряющие структуры. Kd-деревья</p> <p>c. Ускоряющие структуры. BVH-деревья</p> <p>7) Реализовать метод фотонных карт в среде VTK:</p> <p>a. Генерация случайного направления на сфере</p> <p>b. Энергетический подход. Основы фотометрии.</p> <p>c. Взаимодействие света с поверхностью. BRDF (ДФОС) и ее свойства.</p> <p>d. Уравнение визуализации. Площадная и полусферическая форма.</p> <p>e. Стохастическая трассировка пути. Прямое и вторичное освещение.</p> <p>f. Метод фотонных карт.</p>	
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Критерии оценки лабораторной работы

Дескрипторы качества исполнения работы	Оценка
Лабораторная работа выполнена практически 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.	зачтено
Работа не выполнена или выполнена не в полном объеме (программа работает некорректно, не проведены заданные вычислительные эксперименты); результаты работы не представлены преподавателю или представлены с существенным нарушением срока; исполнитель не может объяснить действия команд программы и не может внести простые изменения в алгоритм по требованию преподавателя.	не зачтено

5.2.3 Примеры задач (лабораторных работ) повышенной сложности для текущего контроля Уметь, Владеть ПК-10:

- 1) **Использование BRDF для рендеринга реалистичных материалов.** Разработать шейдерную программу на языке GLSL или HLSL, выполняющую расчет цвета с использованием BRDF реальной поверхности в рамках конвейера визуализации, для сцены из простого объекта, с моделируемым материалом (задается через интерфейс), и карты окружения. На оценку превосходно реализовать сочетание BRDF-рендеринга с технологией создания микрорельефа bump mapping. BRDF реальной поверхности получить на основе модели Кука-Торренса (Cook-Torrance Specular Microfacet BRDF).

- 2) **Сравнение различных аналитических моделей BRDF.** Разработка шейдерных программ на языке GLSL или HLSL, реализующих некоторые стандартные аналитические модели BRDF (BTDF) в рамках конвейера визуализации: идеального зеркального отражения и преломления с учетом формул Френеля; модели диффузного отражения Ламбрета и Орена-Найара; модели глянцевых поверхностей Фонга, Блинна и Кука-Торренса. На оценку превосходно могут быть реализованы некоторые эмпирические модели, такие как модель Уорда и Лафорчуна.
- 3) **Простая стохастическая трассировка путей.** Программа должна реализовать стохастическую трассировку путей на VTK. Необходимо разделить обработку прямого и вторичного освещения, а также реализовать выборку по значимости при генерации случайных направлений. Допустимо ограничиться моделью Фонга для описания всех материалов. В качестве сцены можно использовать многочисленные примеры корнуэльской комнаты.
- 4) **Классическая трассировка лучей.** Программа должна реализовать классическую трассировку лучей с учетом различных моделей BRDF на ГПУ. При этом необходимо обеспечить визуализацию произвольных сцен, загружаемых из формата Wavefront OBJ (или другого). Допустимо не использовать ускоряющие структуры и ограничить размер сцен 30 000 треугольников.
- 5) **Простой метод фотонных карт.** Программа должна реализовать простой метод фотонных карт на ЦПУ или ГПУ (усложненный вариант). Для хранения фотонной карты можно использовать простой массив, в котором фотоны отсортированы по некоторой координате. Для локализации нужных фотонов использовать бинарный поиск, значительно повысив производительность по сравнению с полным перебором.
- 6) **Физически корректный рендеринг воды.** Программа для реалистичного рендеринга воды. Требуется разработать гибридный алгоритм визуализации. Для рендеринга водной поверхности (задать аналитически) использовать трассировку лучей с расчетом отражения и преломления света. Для достижения реализма необходимо реализовать данные эффекты с использованием формул Френеля. Для рендеринга массива жидкости (когда луч пересекает поверхность или находится под ней) использовать технику объемного рендеринга, рассматривая воду как однородную среду с некоторым коэффициентом поглощения света.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) основная литература:

- 1) Курс лекций по CUDA (на сайте NVIDIA:
http://www.nvidia.ru/object/cuda_state_university_courses_new_ru.html)
- 2) NVIDIA® OptiX™ Ray Tracing Engine (<https://developer.nvidia.com/optix>)
- 3) Проблемы трассировки лучей - из будущего в реальное время
(https://nvworld.ru/articles/ray_tracing/)

б) дополнительная литература:

- 1) Курс: Александр Куликов, Тамара Овчинникова. Алгоритмические основы современной компьютерной графики, ИНТУИТ (<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>)

в) Интернет-ресурсы:

- 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)
- 2) Möller T. Visualization. Direct Volume Rendering, 2011. -106p. (http://vda.univie.ac.at/Teaching/Vis/14s/LectureNotes/11_direct_volume_rendering.pdf)
- 3) Mitsubishi Electric Research Laboratories (MERL): <http://www.merl.com/brdf>
- 4) Columbia-Utrecht Reflectance and Texture Database (CURET): <http://www1.cs.columbia.edu/CAVE/software/curet/index.php>

Используемое программное обеспечение

В среде операционной системы MS Windows версий XP, 8, 10, установленной на компьютере обучающегося, используется следующее открытое программное обеспечение:

- 1) MS Visual Studio Community 2017 – бесплатная версия.
- 2) Библиотека визуализации VTK (лицензия BSD)
- 3) NVIDIA CUDA актуальной версии (лицензия BSD)
- 4) NVIDIA OptiX актуальной версии (лицензия BSD)
- 5) OpenGL (www.opengl.org), лицензия BSD

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.

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

Авторы: 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.