

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

Трехмерное компьютерное зрение

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 и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.04.02 «Трехмерное компьютерное зрение» относится к дисциплинам по выбору части, формируемой участниками образовательных отношений 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) Часть, формируемая участниками образовательных отношений. Дисциплина по выбору	Дисциплина Б1.В.ДВ.04.02 «Трехмерное компьютерное зрение» относится к части ООП направления подготовки 02.04.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии, формируемой участниками образовательных отношений.

1. 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-10. Способен конвертировать результаты научно-исследовательских и/или опытно-конструкторских работ в требования ИТ-проекта, и обратно: способен обеспечить ИТ-проект необходимым исследованием и опытно-конструкторскими работами, особенно в области КГ и ИИ.	ПК-10.1. Знает новые информационные технологии и современное состояние науки и информационных технологий в области трехмерного компьютерного зрения	Знает новые информационные технологии и современное состояние науки и информационных технологий в области трехмерного компьютерного зрения	Собеседование
	ПК-10.2. Умеет эксплуатировать системное и прикладное программное обеспечение в области трехмерного компьютерного зрения.	Умеет эксплуатировать системное и прикладное программное обеспечение в области трехмерного компьютерного зрения.	Собеседование
	ПК-10.3. Владеет методами разработки системного и прикладного программного обеспечения в конкретной сфере профессиональной деятельности.	Владеет методами разработки системного и прикладного программного обеспечения в области трехмерного компьютерного зрения.	Решение списка практических задач

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

	Очная форма обучения
Общая трудоемкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	50
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа	-
- занятия лабораторного типа	16
- текущий контроль (КСР)	2
самостоятельная работа	22
Промежуточная аттестация – экзамен	36

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы. Из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
	Очная	Очная	Очная	Очная	Очная	Очная
1. Зачем нужна геометрия в компьютерном зрении? Ортогональные матрицы. Решение систем линейных уравнений. Собственные значения и векторы. Разложение Холецкого. QR факторизация. Singular Value Decomposition.	5	1		1	2	1
2. Камера. Модель камеры-обскуры. Проекция камеры-обскуры. Возникновение проективной геометрии. Поворот в плоскости вокруг начала координат. Поворот и сдвиг в плоскости. Аффинное преобразование в плоскости. Поворот и сдвиг в трехмерном пространстве. Однородные координаты. Точка на бесконечности. Прямая на бесконечности. Проективное пространство. Проекция параллельных прямых на плоскость. Матрица проекции камеры	5	1		1	2	1
3. Вычисление исчезающих точек. Преобразования проективной плоскости. Общее линейное преобразование. Соотношение гомографии для координат пикселей. Проективное преобразование (гомография). Теорема о представлении гомографии. Свойства гомографии. Исчезающие точки и линии. Сохранение линии на бесконечности. Нахождение	7	1		1	2	1

гомографии. Отображение гомографии для плоских объектов. Распознавание образов. Модель искажений линзы.						
4. Pose estimation. Reprojection error. Perspective-n-Points problem. Direct Linear Transformation. Решения задачи PnP. Градиентный спуск. Метод Гаусса-Ньютона. Калибровка камеры. Нахождение матрицы проекции камеры. Разложение матрицы проекции на компоненты. Нахождение параметров дисторсии.	7	1		1	2	2
5. Векторное произведение. Смешанное произведение. Векторное произведение и алгебраическое дополнение. Стереоскопическая геометрия. Алгебраический вывод фундаментальной матрицы. Эпиполярные линии. Свойства. Соотношение между эпиполярными линиями. Связь фундаментальной матрицы с положением камер. Каноническая форма фундаментальной матрицы. Модельные задачи.	9	2		2	4	5
6. Ректификация. Ректификация стереопары: первое преобразование. Неопределенность в представлении фундаментальной матрицы. Ректификация стереопары: поиск согласованных гомографий. Калибровка стереокамеры. Нахождение фундаментальной матрицы. Large-Scale SLAM: Colosseum.	5	1		1	2	2
7. Восстановление трехмерной сцены. Structure from motion: восстановление поз камер. Неоднозначность восстановления трехмерной сцены. Ames illusion. Проективные преобразования в P3. Плоскость на бесконечности. Hierarchy of P3 homography transformations. Неоднозначность матриц проекции. Канонический вид фундаментальной матрицы. Проективная неоднозначность камер. Теорема о проективной реконструкции. Трехмерная реконструкция. Преобразование плоскости на бесконечности. Аффинная реконструкция. Нахождение плоскости на бесконечности. Нахождение матриц камеры при известных внутренних параметрах. Восстановление позы по необходимой матрице. Неоднозначность в восстановлении позы	7	2		2	4	2
8. Нахождение позы по гомографии: Алгоритм Faugeras-Lustman. Другие методы декомпозиции гомографии. Получение внутренних параметров по фокусному расстоянию и dpi (по фокусному расстоянию и 35мм). SLAM: Simultaneous Localization and Mapping. Оптимизация положения камер и точек. Углы Эйлера. Представление «ось-угол». Кватернионы. Поворот при помощи кватернионов. LM optimization for Bundle Adjustment. Sparse Bundle Adjustment.	7	2		2	4	2
9. Построение сетки и текстурирование. Meshing. Poisson Surface Reconstruction. Texturing. Non-rigid RGBD SLAM. Представление 3D данных. Восстановление модели лица человека по одной фотографии. Параметрическая модель лица	5	1		1	2	2
10. Регистрация трехмерных моделей. Алгоритм Iterative Closest Point. Нахождение R в ICP. Non-rigid ICP (NICP). Проекция morphable model на изображение. Morphable face model. Слабая перспективная проекция. Фотограмметрия	7	2		2	4	2
11. Восстановление облака точек. Chamber distance and EMD. Восстановление 3D модели по неполным данным. Восстановление по неполным данным с помощью TSDF. Дифференцируемый рендеринг. Single view reconstruction. Multi-view stereo.	7	2		2	4	2

Текущий контроль (КСР)	2			2	2	
Промежуточная аттестация – экзамен						36
Итого	108	32		18	50	58

Практические занятия (лабораторные 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 программ, направленных на: выполнение Аффинных преобразований; преобразования проективной плоскости; выполнение калибровки камеры; выполнение ректификации стереопары; нахождение позы по гомографии; регистрация трехмерных моделей.

На проведение практических 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.
- компетенций – ПК-10: Способен конвертировать результаты научно- исследовательских и/или опытно-конструкторских работ в требования ИТ-проекта, и обратно: способен обеспечить ИТ-проект необходимым исследованием и опытно-конструкторскими работами. (ПК-10.2: Иметь навыки выполнения научных исследований и опытно-конструкторских ИТ-разработок в области компьютерного зрения с применением КС).

Текущий контроль успеваемости реализуется в формах опросов на занятиях. Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме (зачет).

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся осуществляется в виде работы с рекомендованной обязательной и дополнительной литературой, подготовке к лекциям, подготовке к выполнению лабораторных работ и зачету/экзамену. Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

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

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень	Шкала оценивания сформированности компетенций
---------	---

сформированности компетенций (индикатора достижения 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 навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	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.

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 на зачете

Вопросы	Код формируемой компетенции
1. Зачем нужна геометрия в компьютерном зрении? Ортогональные матрицы. Решение систем линейных уравнений. Собственные значения и векторы. Разложение Холецкого. QR факторизация. Singular Value Decomposition.	ПК-10
2. Камера. Модель камеры-обскуры. Проекция камеры-обскуры. Возникновение проективной геометрии. Поворот в плоскости вокруг начала координат. Поворот и сдвиг в плоскости. Аффинное преобразование в плоскости. Поворот и сдвиг в трехмерном пространстве. Однородные координаты. Точка на бесконечности. Прямая на бесконечности. Проективное пространство. Проекция параллельных прямых на плоскость. Матрица проекции камеры	ПК-10
3. Вычисление исчезающих точек. Преобразования проективной плоскости. Общее линейное преобразование. Соотношение гомографии для координат пикселей. Проективное преобразование (гомография). Теорема о представлении гомографии. Свойства гомографии. Исчезающие точки и линии. Сохранение линии на бесконечности. Нахождение гомографии. Отображение гомографии для плоских объектов. Распознавание образов. Модель искажений линзы.	ПК-10
4. Pose estimation. Reprojection error. Perspective-n-Points problem. Direct Linear Transformation. Решения задачи PnP. Градиентный спуск. Метод Гаусса-Ньютона. Калибровка камеры. Нахождение матрицы проекции камеры. Разложение матрицы проекции на компоненты. Нахождение параметров дисторсии.	ПК-10
5. Векторное произведение. Смешанное произведение. Векторное произведение и алгебраическое дополнение. Стереоскоп: эпиполярная геометрия. Алгебраический вывод фундаментальной матрицы. Эпиполярные линии. Свойства. Соотношение между эпиполярными линиями. Связь фундаментальной матрицы с положением камер. Каноническая форма фундаментальной матрицы. Модельные задачи.	ПК-10
6. Ректификация. Ректификация стереопары: первое преобразование. Неопределенность в представлении фундаментальной матрицы. Ректификация стереопары: поиск согласованных гомографий. Калибровка стереокамеры. Нахождение фундаментальной матрицы. Large-Scale SLAM: Colosseum.	ПК-10
7. Восстановление трехмерной сцены. Structure from motion: восстановление поз камер. Неоднозначность восстановления трехмерной сцены. Ames illusion. Проективные преобразования в P3. Плоскость на бесконечности. Hierarchy of P3 homography transformations.	ПК-10

Неоднозначность матриц проекции. Канонический вид фундаментальной матрицы. Проективная неоднозначность камер. Теорема о проективной реконструкции. Трехмерная реконструкция. Преобразование плоскости на бесконечности. Аффинная реконструкция. Нахождение плоскости на бесконечности. Нахождение матриц камеры при известных внутренних параметрах. Восстановление позы по необходимой матрице. Неоднозначность в восстановлении позы	
8. Нахождение позы по гомографии: Алгоритм Faugeras-Lustman. Другие методы декомпозиции гомографии. Получение внутренних параметров по фокусному расстоянию и d_{pi} (по фокусному расстоянию и 35мм). SLAM: Simultaneous Localization and Mapping. Оптимизация положения камер и точек. Углы Эйлера. Представление «ось-угол». Кватернионы. Поворот при помощи кватернионов. LM optimization for Bundle Adjustment. Sparse Bundle Adjustment.	ПК-10
9. Построение сетки и текстурирование. Meshing. Poisson Surface Reconstruction. Texturing. Non-rigid RGBD SLAM. Представление 3D данных. Восстановление модели лица человека по одной фотографии. Параметрическая модель лица	ПК-10
10. Регистрация трехмерных моделей. Алгоритм Iterative Closest Point. Нахождение R в ICP. Non-rigid ICP (NICP). Проекция morphable model на изображение. Morphable face model. Слабая перспективная проекция. Фотограмметрия	ПК-10
11. Восстановление облака точек. Chamber distance and EMD. Восстановление 3D модели по неполным данным. Восстановление по неполным данным с помощью TSDF. Дифференцируемый рендеринг. Single view reconstruction. Multi-view stereo.	ПК-10

5.2.2. Типовые практические задачи для оценки сформированности компетенции ПК-10

Задачи:

1. (5 баллов) Найти ближайшую ортогональную матрицу (в смысле нормы Фробениуса) к матрице

$$A = \begin{pmatrix} 0.5 & 2.16506351 & -0.8660254 \\ -0.8660254 & 1.25 & 0.25 \\ 0 & 0.5 & 2.5 \end{pmatrix}$$

Посмотрев на результат, найти соответствующие этому преобразованию угол и направление поворота. Матрицу, угол и направление поворота распечатать в stdout

2. (5 баллов) При помощи SVD найти обратную матрицу к квадратной матрице n на n , состоящей из элементов $A_{ij} = \frac{1}{i+j-1}$, для размеров матрицы $n=3$ и $n=10$. Результат распечатать в stdout.

3. (5 баллов) При помощи SVD найти обратную матрицу к квадратной матрице n на n , состоящей из элементов $A_{ij} = i + j - 1$, для размеров матрицы $n=3$ и $n=10$. Результат распечатать в stdout.

4. (5 баллов) Написать программу, находящую все точки пересечения двух прямых на плоскости методом однородных координат. Прямые заданы уравнениями $ax+by+c = 0$, $sx+dy+e=0$. Коэффициенты задать константами на ваше усмотрение. Результат распечатать в stdout.

5. Необязательная задача (15 баллов) В книге Дж. Голуб, Ч. Ван Лоун «Матричные вычисления» теорема Эккарта-Янга доказана для 2-нормы. Доказать теорему Эккарта-Янга для нормы Фробениуса.

6. (5 баллов) Система координат камеры получается из мировой поворотом на 45 градусов вокруг оси z и трансляцией на 10 вдоль оси z . Внутренние параметры камеры: $f_x=f_y=400$, $s_x=960$, $s_y=540$. Написать программу, которая выводит на экран матрицу проекции камеры и целочисленные координаты пикселя на изображении, соответствующего трехмерной точке с координатами (10, -10, 100) в мировой системе координат.
7. (5 баллов) Используя прямое линейное преобразование (DLT) и SVD, написать программу, которая принимает на вход множество пар двумерных точек, и выводит на экран соответствующую этим парам матрицу гомографии. Написать генератор пар двумерных точек для теста алгоритма, удовлетворяющих заданному заранее преобразованию гомографии.
8. (5 баллов) Модифицировать генератор из Задачи 7 так, чтобы он выдавал $n=1000$ соответствий, из которых 10% соответствуют заданному заранее преобразованию гомографии, а остальные взяты случайно (преобразованию гомографии не удовлетворяют). Реализовать нахождение преобразования гомографии, используя DLT и RANSAC.
9. (5 баллов) Два изображения одной и той же сцены сделаны одной и той же камерой с такой же матрицей внутренних параметров, как в Задаче 6. Второй снимок сделан после поворота камеры на 30 градусов вокруг оси x относительно начала координат системы отсчета, связанной с камерой (без сдвига). Найти матрицу гомографии между двумя изображениями.
10. (5 баллов) Вывести формулу для метода Гаусса-Ньютона минимизации функции с разложением до второго порядка (используя Гессиан). У функции $\min C(\vec{\beta}) = \sum_i (y_i - f(\vec{x}_i, \vec{\beta})) = \vec{\epsilon}^T(\vec{\beta})\vec{\epsilon}(\vec{\beta})$ непрерывны вторые производные.
11. (5 баллов) Шахматная доска 8x8 клеток имеет длину клетки 0.2. Начало мировой системы координат находится в левом нижнем углу, оси X и Y направлены вдоль сторон клеток, ось Z перпендикулярна плоскости доски. Используя внутренние параметры и положение камеры относительно мировой системы координат из задачи 6 (второе домашнее задание), и предполагая отсутствие дисторсии, найти координаты проекций углов клеток на плоскость изображения. Решить задачу PnP, используя функцию `cv2.solvePnPGeneric`, для трехмерных координат клеток в мировой системе координат и найденных двумерных проекций. Сравнить полученные поворот и трансляцию с взятыми из задачи 6.
12. (15 баллов, необязательно) Найти внутренние параметры камеры и параметры дисторсии по изображениям из архива <https://drive.google.com/file/d/1m6qNqSkZYLZW9YD89zsHIgEgbjWRMvN/view?usp=sharing>. Можно использовать сэмпл `example_cpp_calibration` из OpenCV.
13. (5 баллов) Первая камера повернута относительно второй на 45 градусов по оси z и сдвинута на 10 вдоль направления оси x . У обеих камер матрицы внутренних параметров единичные. Найти и распечатать фундаментальную матрицу.
14. (5 баллов) Первая камера повернута относительно мировой системы координат на 45 градусов по оси z , а вторая – на -45 градусов по оси y и сдвинута на 10 в направлении оси x . У обеих камер матрицы внутренних параметров единичные. Найти и распечатать фундаментальную матрицу.

15. В задаче 14 найти и распечатать оба эпиполя
16. В задаче 14 найти и распечатать эпиполярную линию, проходящую через точку $(0,0)$ на первом изображении, и соответствующую ей линию на втором изображении.
17. Вторая камера сдвинута относительно первой вдоль направления оси x . Найти и распечатать вектор эпиполярной линии l' на изображении второй камеры, соответствующей эпиполярной линии на изображении первой камеры, заданной вектором $l = (0, 1, 0)^T$.
18. (5 баллов) Первая камера находится в начале координат, ее оптическая ось направлена вдоль оси z . Вторая камера сдвинута относительно первой на 1 в направлении оси x . Матрицы внутренних параметров обеих камер единичные. Сгенерировать случайный набор точек в трехмерном пространстве с $z > 0$, спроектировать их на обе камеры (`cv2.projectPoints`), по проекциям найти необходимую матрицу (`cv2.findEssentialMat`).
19. По необходимой матрице, полученной в задаче 18, получить позу первой камеры относительно второй. Для этого использовать `cv2.decomposeEssentialMat`, и из получившихся 4 решений выбрать одно, используя условие, что трехмерные точки должны быть перед камерами.
20. (5 баллов) Найти матрицу внутренних параметров камеры изображения https://drive.google.com/file/d/1mC0PI9k4q_wJt9iAn6uosEVSJb9PcZIk/view?usp=sharing, предполагая, что оптическая ось проходит строго через центр изображения, а фокусное расстояние в эквиваленте 35мм равно 6.46 дюйма.
21. (5 баллов) Используя матрицу внутренних параметров https://drive.google.com/file/d/1A4H84PLy7971Xd1ErS1bRRUpWk9_TCYI/view?usp=sharing, запустить функцию `cv2.undistort()` на изображении https://drive.google.com/file/d/1mC0PI9k4q_wJt9iAn6uosEVSJb9PcZIk/view?usp=sharing, и записать в файл изображение с компенсацией искажений линзы.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

- 1) Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. 2006. -762 с. (есть Электронная книга, 330р)
- 2) Кристиан Веглер. Трехмерное компьютерное зрение: Эффективные методы и приложения (Wöhler, Christian. 3D Computer Vision: Efficient Methods and Applications. -385pp [2009, PDF, EN, ebook])
- 3) Создание интерактивных панелей с Streamlit и Python (<https://proglib.io/p/sozdanie-interaktivnyh-paneley-s-streamlit-i-python-2021-06-21>)

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения.

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».

Автор (ы) В.Л. Ерухимов

д.т.н., проф. 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.