

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО

решением Ученого совета ННГУ

протокол № 4 от 26.04.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Терагерцовая фотоника

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

09.04.02 - Информационные системы и технологии

Направленность образовательной программы

Информационные технологии в системах космической связи и дистанционного зондирования Земли

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.06 Терагерцовая фотоника относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

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	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-13: Способен понимать и применять в научно-исследовательской и прикладной деятельности современный математический аппарат, основные законы естествознания, современные языки программирования, программное обеспечение, операционные системы, сетевые технологии	<p>ПК-13.1: Знает: современный математический аппарат, основные законы естествознания, современные языки программирования и программное обеспечение</p> <p>ПК-13.2: Умеет: проводить разработку алгоритмического и программного обеспечения в области информационных технологий в научных исследованиях</p> <p>ПК-13.3: Имеет: практический опыт владения существующими методами и алгоритмами решения задач цифровой обработки сигналов, опыт работы с научными источниками</p>	<p>ПК-13.1: Знает: современный математический аппарат, основные законы естествознания, знает тенденции развития терагерцовой фотоники, принципы действия современных систем и функциональных устройств, применяемых в терагерцовом частотном диапазоне, современные языки программирования и программное обеспечение</p> <p>ПК-13.2: Умеет: проводить разработку алгоритмического и программного обеспечения в области информационных технологий в научных исследованиях</p> <p>ПК-13.3: Имеет: практический опыт владения существующими методами и алгоритмами решения задач цифровой обработки сигналов, опыт работы с научными источниками</p>	Отчет по лабораторным работам	Зачёт: Контрольные вопросы

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	1
самостоятельная работа	43
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование 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 (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0
Тема 1. Основные тенденции развития терагерцовой фотоники и оптоэлектроники. Особенности терагерцового диапазона частот, тепловое излучение. Космическое излучение	6	2	2	4	2
Тема 2. . Основные представления квантовой физики. Вращательные и колебательно-вращательные переходы в молекулах	6	2	2	4	2
Тема 3. Источники излучения терагерцового частотного диапазона: источники с умножением частоты (микроволновый подход), оптический подход - источники с оптической накачкой, квантово-каскадные лазеры (непрерывные и импульсные) Мощные источники терагерцового излучения (гиротроны). Сверхсильные терагерцовые поля.	12	4	4	8	4
Тема 4. Детектирование терагерцового излучения.	12	4	4	8	4
Тема 5. Терагерцовый имиджинг: создание, обработка и применение терагерцовых изображений	12	4	4	8	4
Тема 6. Терагерцовая спектроскопия с приемом сигнала во временной области (Time-domain spectroscopy)	8	2	2	4	4
Тема 7. Терагерцовая спектроскопия высокого разрешения. Спектроскопия газов, паров. Схемы абсорбционных спектрометров высокого разрешения .	12	4	4	8	4
Тема 8. Биомедицинские приложения терагерцового излучения (нестационарная спектроскопия высокого разрешения)	10	2	4	6	4

Тема 9. Биомедицинские приложения терагерцового излучения (ТГц спектроскопия с приемом сигнала во временной области, TDS). Метаматериалы и функциональные материалы ТГц диапазона частот	8	2	2	4	4
Тема 10. Дистанционное зондирование атмосферы с помощью терагерцового излучения. Лидары.	12	4	2	6	6
Тема 11. Терагерцовая связь и передача информации.	9	2	2	4	5
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	108	32	32	65	43

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Основные тенденции развития терагерцовой фотоники и оптоэлектроники. Особенности терагерцового диапазона частот, тепловое излучение. Космическое излучение
2. Основные представления квантовой физики. Вращательные и колебательно-вращательные переходы в молекулах.
3. Источники излучения терагерцового частотного диапазона: источники с умножением частоты (микроволновый подход), оптический подход - источники с оптической накачкой, квантово-каскадные лазеры (непрерывные и импульсные)
Мощные источники терагерцового излучения (гиротроны). Сверхсильные терагерцовые поля.
4. Детектирование терагерцового излучения.
5. Терагерцовый имиджинг: создание, обработка и применение терагерцовых изображений
6. Терагерцовая спектроскопия с приемом сигнала во временной области (Time-domain spectroscopy)
7. Терагерцовая спектроскопия высокого разрешения. Спектроскопия газов, паров. Схемы абсорбционных спектрометров высокого разрешения .
8. Биомедицинские приложения терагерцового излучения (нестационарная спектроскопия высокого разрешения).
9. Биомедицинские приложения терагерцового излучения (ТГц спектроскопия с приемом сигнала во временной области, TDS). Метаматериалы и функциональные материалы ТГц диапазона частот.
10. Дистанционное зондирование атмосферы с помощью терагерцового излучения. Лидары.
11. Терагерцовая связь и передача информации.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

В качестве материала для самостоятельного изучения предлагаются научные публикации в журналах по тематике дисциплины, в том числе, от ее авторов:

- 1) К. И. Зайцев, И. Н. Долганова, Н. В. Черномырдин, Г. А. Командин, Д. В. Лаврухин, И. В. Решетов, В. Н. Курлов, Д. С. Пономарев, В. В. Тучин, И. Е. Спектор, В. Е. Карасик
Применение терагерцовых технологий в биофотонике. Часть 1: методы терагерцовой спектроскопии и визуализации тканей// Фотоника. Т13 Выпуск #7 с. 680-687, 2019
<https://www.photonics.su/journal/article/7936>
- 2) К. И. Зайцев, И. Н. Долганова, Н. В. Черномырдин, Г. А. Командин, Д. В. Лаврухин, И. В. Решетов, В. Н. Курлов, Д. С. Пономарев, В. В. Тучин, И. Е. Спектор, В. Е. Карасик

Применение терагерцовых технологий в биофотонике. Часть 2: Спектроскопия и визуализация злокачественных новообразований// Фотоника. Т13 Выпуск #8 с.736-743, 2019

<https://www.photonics.su/journal/article/8014>

- 3) В.Д.Еремка. Вакуумные источники электромагнитного излучения терагерцового интервала частот: зигзаги развития от клинотрона до клиноорбиктрона// Изв. вузов «ПНД», т. 21, № 1, 2013
- 4) В. Е. Запевалов. Эволюция гиротронов// Изв.Вузов. Радиофизика, Том LIV, № 8–9, с.559-572, 2011
- 5) И. С. Гибин, П. Е. Котляр. Приемники излучения терагерцового диапазона (об-зор) // Успехи прикладной физики, 2018, том 6, № 2, с.117-129
- 6) В.Л.Вакс, Е.Г.Домрачева, А.А. Ластовкин,С.И. Приползин, Е.А.Собакинская, М.Б.Черняева,В.А.Анфертьев. Приемники излучения терагерцового частотного диапазона// Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, 2013, № 6 (1), с. 81–87.
- 7) В.Л. Вакс, Е.Г. Домрачева, С.И.Приползин, Е.А. Собакинская, М.Б. Черняева “Прецизионные спектрометры на основе квантово-каскадных лазеров. Проблемы и возможные пути их решения”// Вестник Нижегородского университета им. Н.И.Лобачевского, 2011. №6 (1), с. 93-98.
- 8) В.Л.Вакс, Е.Г.Домрачева, Е.А.Собакинская, М.Б.Черняева. Анализ выдыхаемого воздуха: физические методы, приборы и медицинская диагностика // Успехи физических наук, 184 (7), 739–758 (2014).
- 9) В.Л. Вакс, В.А. Анфертьев, В.Ю. Балакирев, С.А. Басов, Е.Г. Домрачева, А.В. Иллюк, П.В. Куприянов, С.И. Приползин, М.Б. Черняева «Спектроскопия высокого разрешения терагерцового частотного диапазона для аналитических приложений»//Успехи физических наук, 190 765–776 (2020) DOI: 10.3367/UFNr.2019.07.038613
- 10) Царев М.В. Генерация и регистрация терагерцового излучения ультракороткими лазерными импульсами: Учебное пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2011. – 75 с.
- 11) В.Ю. Соболева, С.И. Гусев, М.К. Ходзицкий. Биосенсор на основе метапленки для определения концентрации глюкозы в крови человека//Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2018, том 18, № 3 с.377-383, doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-3-377-383

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам) для оценки сформированности компетенции ПК-13:

Лабораторные работы:

1. Изучение синтезатора частоты на основе чипа ADF4351

Цель работы: изучить принципы работы синтезатора частоты с ФАПЧ

Описание: Лабораторная работа посвящена изучению синтезатора с фазовой автоподстройкой частоты. Стенд работы включает синтезатор на основе чипа ADF4351, анализатор спектра и ПК для управления синтезатором. К изучению предлагаются спектры синтезированных сигналов в зависимости от выбранного пути синтеза сигнала. В процессе изучения предлагается освоить базовые навыки работы с анализатором спектра.

2. Исследование передачи данных с помощью макета на чипах CC1101

Цель работы: изучение основ передачи данных с помощью макета приемопередатчика на основе чипа CC1101

Описание работы: Лабораторная работа посвящена изучению канала связи, реализованного на макете приемопередающего модуля, работающего на частоте 433 МГц на основе чипов CC1101 (часть свободного диапазона частот, LPD433). В ходе работы будет произведена передача данных с помощью предложенного макета и изучение устойчивости канала к помехам. Будут рассмотрены варианты передачи данных, использующие разные типы модуляций: AM, FSK, PSK. В каждом варианте передачи данных будет добавляться амплитудно-частотный (фазовый) шум, будет изучено влияние последнего на устойчивость связи.

Критерии оценивания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Оценку «зачтено» заслуживает студент, практически полностью освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, выполнивший учебные задания в рамках лабораторных работ, в основном сформировал практические навыки профессионального применения, отраженные в отчетах по лабораторным работам.
не зачтено	Оценку «не зачтено» заслуживает студент, не освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания в рамках лабораторных работ не выполнил, практические навыки в отчетах по лабораторным работам не отражены или не сформированы.

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатор достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
Знания	Отсутствие	Уровень	Минимальн	Уровень	Уровень	Уровень	Уровень

	знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	о допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	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 несущественными 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 базовых навыков. 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 оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «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».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-13

1. Особенности терагерцового диапазона частот, тепловое излучение. Космическое излучение
2. Основные представления квантовой физики. Вращательные переходы в молекулах.
3. Основные представления квантовой физики. Колебательные и колебательно-вращательные переходы в молекулах.
4. Принципы создания систем стабилизации частоты (системы фазовой автоподстройки частоты)
5. Принципы создания систем стабилизации частоты (системы синхронизации частоты по линии поглощения газа)
6. Источники излучения терагерцового частотного диапазона: лампы обратной волны (микроволновый подход)
7. Источники излучения терагерцового частотного диапазона: источники с умножением частоты (микроволновый подход) с использованием умножителей на диодах с барьером Шоттки
8. Источники излучения терагерцового частотного диапазона: источники с умножением частоты (микроволновый подход) с использованием умножителей на сверхрешетках
9. Источники излучения ТГц диапазона (оптический подход): генерация разностной частоты с использованием источников с оптической накачкой
10. Источники излучения ТГц диапазона (оптический подход): квантово-каскадные лазеры (непрерывные и импульсные)
11. Мощные источники терагерцового излучения (гиротроны)
12. Приемные системы терагерцового излучения: болометры
13. Приемные системы терагерцового излучения: диоды с барьером Шоттки
14. Приемные системы терагерцового излучения: детекторы и смесители на горячих электронах (Hot electron bolometers- НЕВ)
15. Приемные системы терагерцового излучения: сверхпроводящие приемники на основе структур сверхпроводник-изолятор- сверхпроводник (SIS)
16. Метаматериалы и функциональные материалы ТГц диапазона частот.
17. Терагерцовая спектроскопия с приемом сигнала во временной области (Time-domain spectroscopy)
18. Терагерцовая спектроскопия высокого разрешения. Спектроскопия газов, паров.
19. Схемы абсорбционных ТГц спектрометров высокого разрешения .
20. Терагерцовый имиджинг: создание, обработка и применение терагерцовых изображений
21. Применение терагерцовой спектроскопии с приемом сигнала во временной области (Time-domain spectroscopy) для биомедицинских приложений
22. Применение терагерцовой нестационарной спектроскопии высокого разрешения для биомедицинских приложений.
23. Дистанционное зондирование атмосферы с помощью терагерцового излучения. Лидары.
24. Терагерцовая связь и передача информации: распространение излучения в атмосфере Земли.

25. Терагерцовая связь и передача информации: типы модуляции, используемые при передаче информации
26. Терагерцовая связь и передача информации: антенны, используемые в ТГц диапазоне – антенны Кассегрена.
27. Терагерцовая связь и передача информации: особенности построения канала внутриаомосферной связи
28. Терагерцовая связь и передача информации: особенности построения канала межспутниковой связи

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Оценку «зачтено» заслуживает студент, практически полностью освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, посвященный тенденциям развития терагерцовой фотоники, принципам действия современных систем и функциональных устройств, применяемых в терагерцовом частотном диапазоне; выполнивший учебные задания, в основном сформировал практические опыт работы с научными источниками
не зачтено	Оценку «не зачтено» заслуживает студент, не освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, посвященный тенденциям развития терагерцовой фотоники, принципам действия современных систем и функциональных устройств, применяемых в терагерцовом частотном диапазоне; учебные задания не выполнил, опыт работы с научными источниками не сформирован

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

Основная литература:

1. Игнатов А. Н. Оптоэлектроника и нанофотоника / Игнатов А. Н. - 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2020. - 596 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции Лань - Физика. - ISBN 978-5-8114-5149-4., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=707934&idb=0>.
2. Физика полупроводниковых приборов. / Лебедев А.И. - Москва : Физматлит, 2008., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=634877&idb=0>.
3. Борн Макс. Основы оптики / пер с англ. С. Н. Бреуса [и др.] ; под ред. Г. П. Мотулевич. - 2-е изд., испр. - М. : Наука, 1973. - 719 с. : ил. - 5.10., 1 экз.
4. Андреев Вадим Сергеевич. Теория нелинейных электрических цепей : [учеб. пособие для электротехн. ин-тов связи]. - М. : Радио и связь , 1982. - 281 с. : ил. - 9.35., 10 экз.
5. Качмарек Франтишек. Введение в физику лазеров / пер. с пол. В. Д. Новикова ; под ред. М. Ф. Бухенского. - М. : Мир, 1981. - 540 с. : ил. - 2.70., 3 экз.
6. Таунс Ч. Радиоспектроскопия / пер. с англ. В. Г. Веселого [и др.] ; под ред. Н. А. Ирисовой и Б. Д. Осипова. - М. : Изд-во иностр. лит., 1959. - 436 с. : черт. - 45.25., 1 экз.

Дополнительная литература:

1. Физика. Квантовая физика : учебное пособие / Андреев А. Д., Павлов Ф. Ф., Федюшин В. Б.,

Черных Л. М. - Санкт-Петербург : СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2021. - 54 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича - Физика. - ISBN 978-5-89160-222-9., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=779848&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

-

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: в том числе,

–высокотехнологичным оборудованием: станция приема и управления спутниками "Завиток-М"; радиочастотное оборудование, включая усилители, генераторы сигналов, источники тока, технологическое оборудование, включая термостол, паяльные станции, настольные лупы и стереоскопический микроскоп; средства измерения, включая детекторы, осциллографы, мультиметры, анализаторы спектра;
–вычислительными ресурсами: современными компьютерами и 3 мобильными рабочими местами на базе современных ПК;
–специализированным прикладным программным обеспечением: программное обеспечение ТМПО-Pro ViLab обработки данных, используется для обработки данных измерений, параметров антенн, генерации и анализа графиков;
–офисным и мультимедийным оборудованием, включая оборудование для представления презентаций и организации видеоконференцсвязи, специализированная мебель.

Перечисленное оборудование входит в состав Учебно-лабораторного интерактивного комплекса систем космической связи для проведения занятий для студентов при обучении созданию автоматизированных измерительных систем на основе интерактивного управления программируемыми средствами измерения, систем обработки сигналов, проектированию оборудования космических систем связи, измерениям параметров радиотехнических систем, а также для проведения практических занятий, предусмотренных программой.

Специальное образовательное пространство (СОП) Учебно-лабораторный интерактивный комплекс систем космической связи (уч. корп.3, ауд. 511, 516) создано научно-образовательным отделением космической связи ПИШ ННГУ и утверждено приказом ННГУ №06.49-04-0669/23 от 29.12.2023 г. для реализации образовательных программ (ОП) ПИШ ННГУ, в том числе, ОП «Информационные технологии в системах космической связи и дистанционного зондирования Земли» направления подготовки 09.04.02 «Информационные системы и технологии», разработанной с целью исполнения Программы развития ПИШ ННГУ в рамках федерального проекта Минобрнауки России "Передовые инженерные школы" государственной программы Российской Федерации "Научно-технологическое развитие Российской Федерации" (<https://analytics.engineers2030.ru/schools/unn>).

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 подготовки/специальности 09.04.02 - Информационные системы и технологии.

Автор(ы): Вакс Владимир Лейбович, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Морозов Олег Александрович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 15.04.2024, протокол № б/н.