

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

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Математические модели систем с распределенными параметрами

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

01.03.02 - Прикладная математика и информатика

Направленность образовательной программы

Математическое моделирование и вычислительная математика

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.06.01 Математические модели систем с распределенными параметрами 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-4: Способен применять методы математического и компьютерного исследования при анализе задач на основе знаний фундаментальных математических и компьютерных наук	ПК-4.1: Знает фундаментальные и теоретические основы, необходимые для исследования научных проблем ПК-4.2: Умеет самостоятельно применять полученные знания для анализа объекта исследования, определять цели и задачи исследования, а также выбирать корректный метод исследования научной проблемы ПК-4.3: Имеет практический опыт научно-исследовательской деятельности, а именно решения научных задач в соответствии с поставленной целью и выбранной методикой	ПК-4.1: Знать фундаментальные и теоретические основы, необходимые для исследования научных проблем в области современного естествознания ПК-4.2: Уметь самостоятельно применять полученные знания для анализа объекта исследования, определять цели и задачи исследования математического моделирования современного естествознания ПК-4.3: Владеть опытом научно-исследовательской деятельности, а именно решения научных задач в соответствии с поставленной целью и выбранной методикой моделирования	Задачи Опрос	Зачёт: Контрольные вопросы Задачи

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	2

Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	1
самостоятельная работа	39
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	
	Ф	Ф	Ф	Ф	Ф
Введение	3	1	1	2	1
Детерминированные и вероятностные модели	8	1	1	2	6
Динамические системы с дискретным и непрерывным временем	10	2	2	4	6
Равновесная и неравновесная термодинамика	15	4	4	8	7
Системы с распределенными параметрами. Уравнение теплопроводности, волновое уравнение.	5	1	1	2	3
Электромагнитное поле	10	2	2	4	6
Математические модели микромира	13	3	3	6	7
Релятивистская механика	7	2	2	4	3
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	16	16	33	39

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Понятие модели. Познавательная роль модели. Математика как язык описания природы и язык точных наук. Динамическая система. Фазовое пространство, изображающая точка, фазовая траектория. Эволюционные процессы и динамические системы. Фазовый портрет. Состояния равновесия динамической системы. Аттрактор. Репеллер.
2. Математическое и физическое моделирование. Анализ размерностей. П-теорема
3. Детерминированные и вероятностные модели. Случайные величины. Распределение скоростей молекул в газе (распределение Максвелла-Больцмана).

Распределение молекул газа в силовом поле (распределение Больцмана). Распределение Гиббса. Барометрическая формула. О тепловом расширении тел. Флуктуации. Средне-квадратичная и относительная флуктуации

4. Динамические системы с дискретным временем. Диаграмма Ламерея.

5. Динамические системы с непрерывным временем. Экспоненциальные процессы. Экспоненциальная функция. Периоды удвоения и полураспада. Примеры экспоненциальных процессов: радиоактивный распад, процесс разряда конденсатора, торможение парашютиста, остывание тел, ослабление интенсивности излучения при прохождении через поглощающую среду. Рост народонаселения, развитие производства, экономики, науки, накопление знаний.

6. Логистическая модель. Уравнение Ферхюльста. Примеры биологических и социальных объектов. Задача об эволюции числа рыб в водоеме в зависимости от интенсивности рыболовства. Задача о планировании с обратной связью.

Модель хищник-жертва.

7. Математическая модель засоления водоема с заливом сточными водами с растворенным загрязнителем. Равновесный водный режим и равновесная соленость. Возможность непредсказуемых смен равновесного уровня. Загадки Каспийского моря.

8. Структура сил и устойчивость движения. Теоремы Лагранжа, Кельвина и Тета. Волчок Лагранжа. Левитация тел в силовых полях. Устойчивость гибкого вала с регулируемым числом оборотов.

9. Автоколебания. Разрывные колебания тормозной колодки. Колебания скрипичной струны. Долгопериодические изменения угловой скорости вращения Земли.

10. Модель Лоренца. Странный аттрактор Лоренца

11. Изолированные, закрытые открытые процессы. Термодинамическое равновесие. Неравновесное состояние. Необратимый и обратимый процессы Предмет термодинамики: классическая, линейная нелинейная термодинамика.

12. Наука о равновесиях и равновесных процессах. Аксиомы классической термодинамики
1 аксиома. Температура.

Функция состояния и функция процесса. Понятия работы и теплоты.

2 аксиома. Внутренняя энергия. Первое начало термодинамики.

3 аксиома. Второе начало термодинамики. Энтропия. Соотношение Гиббса. Закон возрастания энтропии. Энтропия идеального газа. Статистическое толкование энтропии.

4 аксиома. Третье начало термодинамики.

Адиабатический и политропный процессы идеального газа.

13. Аппарат классической термодинамики. Уравнения состояния. Термодинамические потенциалы. Критерии наличия равновесия и его устойчивости.

14. Неравновесные процессы. Локальное термодинамическое равновесие.

15. Эволюционные процессы в открытых системах Самоорганизация. Диссипативные структуры ячейки Бенара, реакция Белоусова-Жаботинского.

16. Системы с распределенными параметрами.

Уравнение теплопроводности.

Волновое уравнение. Волна. Фронт волны. Плоская волна. Фазовая скорость волны. Дисперсия. Дисперсионное уравнение. Групповая скорость

17. Электромагнитное поле. Вектор напряженности электрического поля и вектор магнитной индукции. Уравнения Максвелла. Электромагнитная волна

18. Бегущие волны и дисперсионное уравнение. Задача об изменении температуре поверхностного слоя Земли под влиянием суточных и годовых колебаний температуры над ней. Скорость образования льда на поверхности водоема.

19. Математические модели объектов микромира

Корпускулярные свойства света. Фотон. Фотоэлектрический эффект.

Волны де Бройля.

20. Пси-функция. Уравнение Шредингера.

Формализм отыскания возможных значений физической величины и вероятности, с которыми она принимает эти значения

Принцип неопределенности.

21. Движение квантовой частицы в некоторых простых одномерных полях Свободное движение квантовой частицы. Частица в бесконечно глубокой потенциальной яме.

22. Специальная теория относительности

Принцип относительности. Классическая механика, преобразования Галилея.

Принцип существования наибольшей скорости распространения взаимодействия Релятивистская динамика.

23. Преобразование Лоренца.

Кинематические эффекты «замедления» времени и «сокращения длины».

Сложение скоростей.

24. Импульс. Релятивистская динамика. Энергия.

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 рамках дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы (порядок их выполнения, форма контроля):

- повторение материала, пройденного на занятиях лекционного типа (в течение всего семестра, опрос на занятиях лекционного и семинарского типа),
- самостоятельное изучение отдельных вопросов программы (1 раз в семестр, опрос на занятиях семинарского типа),
- подготовка к занятиям семинарского типа, решение задач по списку, представленному преподавателем (в течение всего семестра, опрос на занятиях семинарского типа),
- подготовка к промежуточному контролю успеваемости (зачет).

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 - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

- Определить дальность полета пули S с помощью метода размерностей. Пуля выпущена горизонтально со скоростью над Землей.
- Найти статистический вес наиболее вероятного распределения 10 одинаковых молекул по двум одинаковым половинам сосуда. Определить вероятность такого распределения.
- Какое количество тепла необходимо сообщить макроскопической системе, находящейся при $T=290\text{ K}$, чтобы ее статистический вес увеличился на 1%? Найти изменение энтропии моля идеального газа при изохорическом, изотермическом и изобарическом процессах.
- Найти спектр собственных колебаний воздушного столба в трубе длиной l с одним закрытым концом.
- Найти спектр собственных колебаний воздушного столба в трубе длиной l с открытыми концами.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три не существенные ошибки, исправленные по требованию преподавателя
не зачтено	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Опрос) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

1. Динамическая система. Фазовое пространство, изображающая точка, фазовая траектория. Эволюционные процессы и динамические системы. Фазовый портрет.
2. Математическое и физическое моделирование. П- теорема.
3. Вероятностные модели. Распределение скоростей молекул в газе (распределение Максвелла). Распределение молекул газа в силовом поле (распределение Больцмана).
4. Тепловое расширение тел.
5. Флуктуации. Среднеквадратичная и относительная флуктуации.
6. Динамические системы с дискретным временем. Диаграмма Ламерея.
7. Экспоненциальные процессы. Примеры экспоненциальных процессов.
8. Уравнение Ферхюльста. Примеры биологических и социальных объектов. Задача об эволюции числа рыб в водоеме в зависимости от интенсивности рыболовства.
9. Изолированные, закрытые открытые процессы. Термодинамическое равновесие. Неравновесное состояние. Предмет термодинамики: классическая, линейная нелинейная термодинамика.
10. Наука о равновесиях и равновесных процессах. Аксиомы классической термодинамики.

Критерии оценивания (оценочное средство - Опрос)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три не существенные ошибки, исправленные по требованию преподавателя
не зачтено	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя

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

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень 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 несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	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 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-4

1. Динамическая система. Фазовое пространство, изображающая точка, фазовая траектория. Эволюционные процессы и динамические системы. Фазовый портрет.
2. Математическое и физическое моделирование. П- теорема.
3. Вероятностные модели. Распределение скоростей молекул в газе (распределение Максвелла). Распределение молекул газа в силовом поле (распределение Больцмана).
4. Тепловое расширение тел.
5. Флуктуации. Среднеквадратичная и относительная флуктуации.
6. Динамические системы с дискретным временем. Диаграмма Ламерея.
7. Экспоненциальные процессы. Примеры экспоненциальных процессов.
8. Уравнение Ферхюльста. Примеры биологических и социальных объектов. Задача об эволюции числа рыб в водоеме в зависимости от интенсивности рыболовства.
9. Изолированные, закрытые открытые процессы. Термодинамическое равновесие. Неравновесное состояние. Предмет термодинамики: классическая, линейная нелинейная термодинамика.
10. Наука о равновесиях и равновесных процессах. Аксиомы классической термодинамики.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-4

1. Определить дальность полета пули S с помощью метода размерностей. Пуля выпущена горизонтально со скоростью над Землей.
2. Найти статистический вес наиболее вероятного распределения 10 одинаковых молекул по двум одинаковым половинам сосуда. Определить вероятность такого распределения.
3. Какое количество тепла необходимо сообщить макроскопической системе, находящейся при $T=290\text{ К}$, чтобы ее статистический вес увеличился на 1%? Найти изменение энтропии моля идеального газа при изохорическом, изотермическом и изобарическом процессах.
4. Найти спектр собственных колебаний воздушного столба в трубе длиной l с одним закрытым концом.
5. Найти спектр собственных колебаний воздушного столба в трубе длиной l с открытыми концами.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три не существенные ошибки, исправленные по требованию преподавателя
не зачтено	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя

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

Основная литература:

1. Неймарк Юрий Исаакович. Математические модели в естествознании и технике : учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлению 510200 "Прикладная математика и информатика" и специальности 010200 "Прикладная математика и информатика" / ННГУ. - Н. Новгород : Изд-во Нижегород. ун-та, 2004. - 401 с. - ISBN 5-85746-496-X : 80.00., 156 экз.

Дополнительная литература:

1. Юдович Виктор Иосифович. Математические модели естественных наук : учеб. пособие. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2011. - 336 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1118-4 : 678.42., 2 экз.
2. Блехман Илья Израилевич. Механика и прикладная математика : Логика и особенности приложений математики. - М. : Наука, 1983. - 328 с. : ил. - 2.90., 2 экз.
3. Анищенко В. С. Знакомство с нелинейной динамикой : лекции соровского профессора : учеб. пособие. - М. ; Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2002. - 144 с. - ISBN 5-93972-116-8 : 88.30., 1 экз.

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

1. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics.htm>
2. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/theoretical.htm>
3. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/thermal.htm>
4. Соросовский образовательный журнал. Электронный журнал. Режим доступа к статьям: www.issep.rssi.ru/cgi-bin/rubr.pl

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: мультимедийная техника (компьютер, 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 подготовки/специальности 01.03.02 - Прикладная математика и информатика.

Автор(ы): Новиков Валерий Вячеславович, доктор физико-математических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Игумнов Леонид Александрович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 13.12.2023, протокол № 3.