

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

Уравнения математической физики

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

01.03.02 - Прикладная математика и информатика

Направленность образовательной программы

Прикладная математика и информатика (общий профиль)

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.25 Уравнения математической физики относится к обязательной части 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-1: Способен решать актуальные задачи прикладной математики и информатики | <p>ПК-1.1: Обладает базовыми знаниями, полученными в области математических и (или) естественных наук, программирования и информационных технологий для решения актуальных задач прикладной математики и информатики</p> <p>ПК-1.2: Умеет применять базовые знания математических и естественных наук, основ программирования и информационных технологий при решении актуальных задач прикладной математики и информатики</p> <p>ПК-1.3: Имеет практический опыт решения актуальных задач прикладной математики и информатики</p> | <p>ПК-1.1:</p> <p>Знать: основные факты из математического анализа, геометрии и алгебры и других дисциплин, на которые опирается изучение уравнений математической физики</p> <p>ПК-1.2:</p> <p>Уметь: решать математические задачи и проблемы методами математической физики, аналогичные ранее изученным:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Уметь определять тип уравнения в частных производных 2. Приводить уравнение к каноническому виду; 3. Решать типовые начально-краевые задачи методом разделения переменных (метод Фурье); 4. Решать типовые задачи методом Даламбера 5. Решать задачи с использованием специальных функций. Знать основные свойства специальных функций. 6. Доказывать ранее изученные в рамках дисциплины математические утверждения; 7. Проводить доказательства | Отчет по лабораторным работам Задачи | <p>Зачёт:</p> <p>Контрольная работа</p> <p>Контрольные вопросы</p> <p>Экзамен:</p> <p>Контрольные вопросы</p> <p>Задачи</p> |

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | <p>математических утверждений не аналогичных ранее изученным, но тесно примыкающих к ним</p> <p>ПК-1.3: Владеть:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. терминологией предметной области; 2. приемами аналитического решения задач и интерпретации результатов. 3. навыками поиска информации в рамках предметной области в сети Интернет и других источниках. 4. навыками использования универсальных математических пакетов для выполнения расчетов; 5. навыками интерпретации результатов численного исследования | | |
|--|--|--|--|--|

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

| | |
|--|------------------------------------|
| | очная |
| Общая трудоемкость, з.е. | 8 |
| Часов по учебному плану | 288 |
| в том числе | |
| аудиторные занятия (контактная работа): | |
| - занятия лекционного типа | 64 |
| - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы) | 96 |
| - КСР | 3 |
| самостоятельная работа | 89 |
| Промежуточная аттестация | 36 Экзамен, 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 | Самостоятельная |

| | | взаимодействи с преподавателем), часы из них | | | работа обучающегося, часы |
|--|-------------|---|--|-------------|---------------------------------|
| | | Занятия лекционного типа | Занятия семинарского типа (практические занятия/ лабора торные работы), часы | Всего | |
| | о ф о | о ф о | о ф о | о ф о | о ф о |
| Тема 1. Постановка задач с уравнениями математической физики | 33 | 10 | 14 | 24 | 9 |
| Тема 2. Элементарные методы решения основных задач | 36 | 12 | 15 | 27 | 9 |
| Тема 3. Метод Фурье и теория оператора Штурма-Лиувилля | 38 | 10 | 19 | 29 | 9 |
| Тема 4. Начально-краевые задачи в пространстве 2х и 3х измерений | 51 | 10 | 20 | 30 | 21 |
| Тема 5. Теория специальных функций | 51 | 12 | 18 | 30 | 21 |
| Тема 6. Теория потенциала | 40 | 10 | 10 | 20 | 20 |
| Аттестация | 36 | | | | |
| КСР | 3 | | | 3 | |
| Итого | 288 | 64 | 96 | 163 | 89 |

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Введение. Постановка задач с уравнениями математической физики.

1.1. Вводная часть. Обзор основных разделов курса. Некоторые вопросы истории и примеры.

1.2. Вывод основных уравнений математической физики Уравнение поперечных колебаний струны и продольных колебаний стержня. Электромагнитное поле и сведение уравнений Максвелла к волновым уравнениям. Распространение тепла и уравнение теплопроводности. Основные граничные условия.

1.3. Постановка начально-краевых и граничных задач. Корректность задачи и пример Адамара

2. Элементарные методы решения основных задач.

2.1. Метод бегущих волн. Формула Даламбера.

2.2. Метод продолжения в задачах на полупрямой

2.3. Элементы анализа размерности и построение автомодельных решений в задачах с уравнением теплопроводности.

2.4. Фундаментальное решение уравнения теплопроводности и формула Пуассона решения задачи с уравнением теплопроводности на прямой.

2.5. Метод продолжения в задачах с уравнением теплопроводности на полупрямой и отрезке.

3. Метод Фурье и теория оператора Штурма-Лиувилля.

3.1. Схема метода Фурье. Построение собственного базиса. Обобщенный ряд Фурье. Примеры.

3.2. Явление резонанса. Коэффициенты обобщенного ряда Фурье в резонансном случае.

3.3. Оператор Штурма-Лиувилля. Его собственные функции и собственные значения. Их свойства. Вещественность собственных значений. Ортогональность собственных функций.

3.4. Обращение оператора Штурма-Лиувилля. Построение обратного оператора. Собственные функции и собственные значения обратного оператора. Неравенство Бесселя. Локализация собственных значений оператора Штурма- Лиувилля.

3.5. Итерированные ядра и степени обратного оператора. Теорема о разложении итерированных ядер в ряд по собственным функциям оператора Штурма-Лиувилля.

3.6. Функции, представленные через ядро. Теорема Гильберта-Шмидта. Теорема Стеклова и обоснование метода Фурье.

4. Начально-краевые задачи в пространстве 2х и 3х измерений.

4.1. Постановка основных задач.

4.2. Проекционный метод Фурье. Построение обобщенных рядов Фурье по собственным функциям оператора. Свойства собственных функций и собственных значений оператора Лапласа.

4.3. Примеры решения типовых задач. Задачи о колебаниях круглой и прямоугольной мембран. Задачи о колебаниях объемов. Задачи теплопроводности в пространстве 2-х и 3-х измерений

5. Теория специальных функций.

5.1. Разделение переменных в задаче о собственных функциях оператора Лапласа в цилиндрических координатах.

5.2. Функции Бесселя и Неймана. Общие цилиндрические функции.

5.3. Ортогональность цилиндрических функций.

5.4. Разложение в ортогональный ряд по функциям Бесселя.

5.5. Разделение переменных в задаче о собственных функциях оператора Лапласа в сферической системе координат.

5.6. Полиномы Лежандра. Общие ортогональные многочлены и их свойства.

5.7. Общие сферические функции и разложение в ряд по сферическим функциям.

5.8. Шаровые функции и их свойства.

6. Теория потенциала.

6.1. Основные задачи с уравнениями эллиптического типа. Задачи Дирихле и Неймана. Электростатические аналогии.

6.2. 2-я теорема Грина. Функция Грина и представление решений задач Дирихле и Неймана с помощью функций Грина.

6.3. Примеры построения функций Грина.

6.4. Основное интегральное соотношение теории гармонических функций.

6.5. Потенциалы простого и двойного слоя.

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.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используются:

- электронный курс "Уравнения математической физики (Дерендяев Н.В.), Уравнения математической физики 5, Уравнения математической физики 6"

(<https://e-learning.unn.ru/enrol/index.php?id=6176>, <https://e-learning.unn.ru/enrol/index.php?id=1656>, <https://e-learning.unn.ru/enrol/index.php?id=1657>).

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-1:

Примеры лабораторных работ:

такие методы решения задач (методы доказательства, методы построения графиков)

3. Распространение тепла в конечном стержне

Лабораторная работа предназначена для развития интуиции, способствующей более глубокому пониманию процессов распространения тепла в физических системах. Рассматривается смешанная краевая задача для одномерных уравнений параболического типа. Предусматривается возможность моделирования различных типов задач с учетом физических особенностей тела, а также при условии конвективного теплообмена с окружающей средой по закону Ньютона на боковой поверхности. В процессе выполнения лабораторной работы исследуется вклад начальных и граничных условий и неоднородностей, как в уравнении, так и в граничных условиях, в стационарный режим. Демонстрируется физический смысл функции Грина.

4. Специальные функции

Данная лабораторная работа является непосредственным обобщением и продолжением лабораторной работы №1 и предназначена для закрепления знаний, полученных на лекционных и практических занятиях, посвященных специальным функциям и их применению в задачах математической физики. Рассматриваются специальные функции (функции Бесселя I и II родов, классические ортогональные многочлены, такие как полиномы Лежандра, Чебышева и другие), возникающие в физических задачах с отличными от стандартных граничными условиями.

Полный перечень приведен в ФОС дисциплины.

Критерии оценивания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|--|
| зачтено | Задание лабораторной работы выполнено верно или с негрубыми ошибками. |
| не зачтено | Задание лабораторной работы не выполнен или выполнен с грубыми ошибками. |

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

Примеры задач:

Задача 1.

Решить задачу Коши для полубесконечной струны при $u_{tt}'' = u_{xx}''$, $u(x,0) = 0$, $u_t'(x,0) = \sin x$,

$$u_t'(0,t) = 0. \text{ Ответ: } u(x,t) = \left\{ \frac{1}{2} \int_{x-t}^{x+t} \sin s ds, t < x \text{ и } \frac{1}{2} \left(\int_{0t}^{x+t} \sin s ds + \int_0^{t-x} \sin s ds \right), t > x \right\} /$$

Задача 2.

На струну с жестко закрепленными концами с некоторого момента времени, принимаемого за начальный, начинает действовать непрерывно распределенная сила с линейной плотностью $A \sin \alpha x$. Найти вынужденные колебания струны. Ответ: имеем уравнение

$$u_{tt}''(x,t) = a^2 u_{xx}''(x,t) + A \sin \alpha x, u(0,t) = u(l,t) = 0, u(x,0) = 0, u_t'(x,0) = 0. \text{ Тогда}$$

$$u(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{l}{\pi n a} \left(\int_0^t \sin \frac{\pi n}{l} a(t-\tau) f_n(\tau) d\tau \right) \sin \frac{\pi n}{l} x, \text{ где } f_n(\tau) = \frac{2}{l} \int_0^l A \sin \alpha x \sin \frac{\pi n}{l} x dx.$$

Задача 3

Найти закон свободных колебаний однородной струны длины l с жестко закрепленными концами, если в начальный момент времени она представляла квадратичную параболу высоты h , симметричную относительно перпендикуляра к середине струны. Начальные скорости равны нулю. Ответ: уравнение $u_{tt}''(x,t) = a^2 u_{xx}''(x,t)$, $u(0,t) = u(l,t) = 0$, $u_t'(x,0) = 0$,

$$u(x,0) = \frac{4h}{l^2} x(l-x). \text{ Тогда } u(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos \frac{\pi n}{l} a t \sin \frac{\pi n}{l} x \text{ и } A_n = \frac{2}{l} \int_0^l \frac{4h}{l^2} x(l-x) \sin \frac{\pi n}{l} x dx.$$

Полный перечень приведен в ФОС дисциплины.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|---|
| зачтено | Задача решена верно или с негрубыми ошибками. |
| не зачтено | Задача не решена или допущены грубые ошибки. |

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 | | | | |
| <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 | Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме | Продемонстрированы 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 некоторым и недочетами | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов | Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов | Продемонстрирован 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 - Контрольная работа) для оценки сформированности компетенции ПК-1

Пример типового задания для контрольной работы 1.

Найти решение начально-краевой задачи:

1.

$$u_t = \kappa u_{xx} + f(x); \quad x \in [0, l] \\ u(0, t) = \alpha t; \quad u_x(l, t) = 0 \quad u(x, 0) = 0$$

2.

$$u_t = \kappa u_{xx} + A \sin \omega t; \quad x \in [0, l] \\ u(0, t) = 0; \quad u_x(l, t) = q = \text{const} \quad u(x, 0) = 0$$

Пример типовых заданий для контрольной работы 2

Найти решение начально-краевой задачи в кольце $a \leq r \leq b$.

1.

$$u_t = \kappa \Delta u + f(r); \\ u(a, \phi, t) = A \sin \omega t; \quad u_r(b, \phi, t) = 0; \quad u(r, \phi, 0) = 0$$

2.

$$u_t = \kappa \Delta u + A \sin \omega t; \\ u(a, \phi, t) = u_0 = \text{const}; \quad u_r(b, \phi, t) = 0; \quad u(r, \phi, 0) = 0$$

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольная работа)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|--|
| зачтено | Задания контрольной работы выполнены верно или с негрубыми ошибками. |
| не зачтено | Контрольная работа не выполнена или выполнены с грубыми ошибками. |

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

Примеры вопросов:

| |
|---|
| 1. Поперечные колебания струны. |
| 2. Распространение тепла в твердом теле. |
| 3. Уравнение продольных колебаний стержня. |
| 4. Корректность постановок задач математической физики. Пример Адамара некорректно поставленной задачи. |
| 5. Классификация и приведение к каноническому виду уравнений в частных производных второго порядка с двумя независимыми переменными. |
| 6. Решение задачи о свободных поперечных колебаниях струны методом <u>разделения переменных</u> (методом Фурье). <u>Физическая интерпретация</u> решения. |
| 7. Общая схема метода Фурье решения однородной начально-краевой задачи для гиперболического (параболического) уравнения. |
| 8. <u>Решение методом</u> Фурье неоднородной начально-краевой задачи для гиперболического (параболического) уравнения. |
| 9. Задача Штурма- <u>Лиувилля</u> . Функция Грина этой задачи и ее свойства. Интегральное представление функций через функцию Грина. Приведение задачи Штурма- <u>Лиувилля</u> к интегральному уравнению. |
| 10. Свойства собственных значений и собственных функций задачи Штурма- <u>Лиувилля</u> , теоремы Стеклова. |

Полный перечень приведен в ФОС дисциплины.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|--|
| зачтено | Ответы на вопросы верны или допущены незначительные ошибки. |
| не зачтено | Ответа на вопросы нет или ответ содержит грубые ошибки и неточности. |

5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

Примеры вопросов:

| |
|---|
| Поперечные колебания струны |
| Распространение теплов в твердом теле. |
| Уравнение продольных колебаний стержня. |
| Уравнение продольных колебаний стержня. |
| Классификация и приведение к каноническому виду уравнений частных производных второго порядка с двумя независимыми переменными. |
| Решение задачи о свободных поперечных колебаниях струны методом разделения переменных (методом Фурье). Физическая интерпретация решения. |
| Общая схема метода Фурье решения однородной начально-краевой задачи для гиперболического (параболического) уравнения. |
| Решение методом Фурье неоднородной начально-краевой задачи для гиперболического (параболического) уравнения. |
| Задача Штурма-Лиувилля. Функция Грина этой задачи и ее свойства. Интегральное представление функций через функцию Грина. Приведение задачи Штурма-Лиувилля к интегральному уравнению. |

Полный перечень приведен в ФОС дисциплины.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

| Оценка | Критерии оценивания |
|---------------------|---|
| превосходно | Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки |
| отлично | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок |
| очень хорошо | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок |
| хорошо | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок |
| удовлетворительно | Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок |
| неудовлетворительно | Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. |
| плохо | Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа |

5.3.4 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1

Примеры задач:

Задача 5.

Полугограниченная струна $0 \leq x < +\infty$ в начальный момент времени имеет форму:

Начертить профиль струны для моментов времени: $t_k = \frac{kc}{2a}$, $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$.

Задача 6.

Определить стационарное распределение температуры в бруске, сечение которого представляет собой криволинейный прямоугольник, две другие – отрезками радиусов. Одна из изогнутых граней ($r = b$) имеет температуру T_0 , второй ($r = a$) – происходит конвективный теплообмен с окружающей средой нулевой температуры, а остальные грани теплоизолированы.

Задача 7.

Однородная квадратная мембрана, имеющая в начальный момент времени $t = 0$ форму:

$u(x, y, 0) = T \sin \frac{\pi x}{\ell} \sin \frac{\pi y}{\ell} (T = const)$ начала колебаться без начальной скорости. Найти закон свободных колебаний мембраны, если она закреплена вдоль своего контура.

Задача 8.

Начальная температура $t < 0$ неограниченного стержня, поверхность которого теплоизолирована, равна нулю. В начальный момент времени в точке $x = \xi$ стержня выделилось мгновенно Q единиц тепла. Найти температуру стержня при $t > 0$.

Задача 8. Найти распределение температуры в пластине, грань $x = 0$ которой излучает тепло в окружающую среду по закону Ньютона, а другая грань $x = a$ поддерживается при температуре T_0 , равной начальной температуре пластины.

Полный перечень приведен в ФОС дисциплины.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

| Оценка | Критерии оценивания |
|---------------------|--|
| превосходно | Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов |
| отлично | Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме |
| очень хорошо | Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами |
| хорошо | Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами |
| удовлетворительно | Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме |
| неудовлетворительно | При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. |
| плохо | Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений |

| Оценка | Критерии оценивания |
|--------|--|
| | вследствие отказа обучающегося от ответа |

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

Основная литература:

1. Тихонов Андрей Николаевич. Уравнения математической физики : учеб. пособие для вузов. - Изд. 5-е, стер. - М. : Наука, 1977. - 736 с. - 1.80., 56 экз.
2. Будаков Борис Михайлович. Сборник задач по математической физике : учеб. пособие для студентов ун-тов. - Изд. 3-е. - М. : Наука, 1980. - 688 с., 60 ил. - 2.80., 129 экз.
3. Владимиров Василий Сергеевич. Уравнения математической физики : Учебник для вузов; Учебник. - 2-е изд. - Москва : Издательская фирма "Физико-математическая литература" (ФИЗМАТЛИТ), 2008. - 400 с. - ВО - Бакалавриат. - ISBN 978-5-9221-0310-7., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=609364&idb=0>.
4. Годунов Сергей Константинович. Уравнения математической физики : учеб. пособие для студентов физ.-мат. специальностей ун-тов. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Наука, 1979. - 391 с. - 1.10., 61 экз.
5. Кошляков Николай Сергеевич. Уравнения в частных производных математической физики : [учеб. пособие для мех.-мат. и физ. фак. ун-тов]. - [2-е изд.]. - М. : Высшая школа, 1970. - 710 с. : с черт. - 1-е изд. вышло под загл.: Дифференциальные уравнения математической физики. - 1.07., 132 экз.

Дополнительная литература:

1. Дерендяев Николай Васильевич. Проекционный метод Фурье : учебно-методическое пособие / Н. В. Дерендяев, А. В. Калинин ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2012. - 75 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=851280&idb=0>.
2. Владимиров Василий Сергеевич. Уравнения математической физики : [учеб. для физ.-техн. специальностей вузов]. - 5-е изд., доп. - М. : Наука, 1988. - 512 с. : ил. - 1.30., 81 экз.

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

Суслова И.Б., Баденко Г.В. «Математическая физика». —Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. [Электронный ресурс]. // Современная цифровая образовательная среда РФ. [сайт]. URL: <https://online.edu.ru/public/course?cid=4192>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

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 01.03.02 - Прикладная математика и информатика.

Автор(ы): Калинин Алексей Вячеславович, доктор физико-математических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Калинин Алексей Вячеславович, доктор физико-математических наук.

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