

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Векторный и тензорный анализ

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

03.03.03 - Радиофизика

Направленность образовательной программы

Радиофизика и электроника

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.16 Векторный и тензорный анализ 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
ОПК-1: Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности;	ОПК-1.1: Обладает фундаментальными знаниями в области физики и радиофизики ОПК-1.2: Анализирует физические аспекты теории и возможности ее использования для решения научно-исследовательских задач ОПК-1.3: Решает научно-исследовательские задачи, в том числе в сфере педагогической деятельности	ОПК-1.1: Знает основные понятия векторного и тензорного анализа. Умеет применять основной аппарат векторного и тензорного анализа для решения задач профессиональной деятельности. Имеет опыт практического применения основного аппарата векторного и тензорного анализа для решения задач по физике и радиофизике. ОПК-1.2: Знает методы доказательства основных утверждений векторного и тензорного анализа. Умеет применять основной аппарат векторного и тензорного анализа к анализу физических аспектов теории при решении научно-исследовательских задач. Владеет опытом анализа физических аспектов векторного и тензорного анализа и возможностей ее использования для решения научно-исследовательских задач.	Контрольная работа	Экзамен: Контрольные вопросы Практическое задание

		<p>ОПК-1.3:</p> <p>Знает методы решения ключевых задач векторного и тензорного анализа.</p> <p>Умеет решать практические задачи в области физики и радиофизики с помощью прикладных аспектов векторного и тензорного анализа.</p> <p>Владеет навыками применения аппарата векторного и тензорного анализа для решения задач профессиональной деятельности.</p>		
--	--	--	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	5
Часов по учебному плану	180
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	2
самостоятельная работа	69
Промежуточная аттестация	45 Экзамен

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/ лабора торные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о

Тема 1. Векторные функции	4	2		2	2
Тема 2. Криволинейные интегралы	24	6	6	12	12
Тема 3. Поверхностные интегралы	28	6	8	14	14
Тема 4. Теория поля	38	8	11	19	19
Тема 5. Операции теории поля в ортогональных криволинейных координатах	14	4	3	7	7
Тема 6. Тензоры	10	2	2	4	6
Тема 7. Основы дифференциальной геометрии	15	4	2	6	9
Аттестация	45				
КСР	2			2	
Итого	180	32	32	66	69

Содержание разделов и тем дисциплины

Практические занятия организуются, в том числе в форме практической подготовки. На практических занятиях более подробно изучается программный материал в плоскости отработки практических умений и навыков и усвоения следующих тем:

1. Криволинейные интегралы 1-го типа.
2. Криволинейные интегралы 2-го типа.
3. Формула Грина.
4. Поверхностные интегралы 1-го рода.
5. Приложения поверхностного интеграла 1-го рода.
6. Поверхностные интегралы 2-го рода.
7. Вычисление объемов тел с помощью поверхностного интеграла 2-го рода.
8. Контрольная работа по теме «Криволинейные и поверхностные интегралы».
9. Основные понятия теории поля.
10. Действия с вектором «набла».
11. Применение «набла» для сложных операций второго порядка.
12. Формула Гаусса-Остроградского.
13. Формула Стокса.
14. Задачи теории поля.
15. Контрольная работа по теме «Теория поля».
16. Действия с тензорами.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие знаний, умений и навыков применения аппарата векторного и тензорного анализа для решения задач профессиональной деятельности. Текущий контроль успеваемости реализуется в форме проведения контрольных работ и проверки выполнения домашних заданий.

Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме (экзамен).

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.

Самостоятельная работа студента при изучении дисциплины «Векторный и тензорный анализ» включает выполнение практических заданий под контролем преподавателя, а также подготовку к контрольным работам и экзамену.

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 - Контрольная работа) для оценки сформированности компетенции ОПК-1:

Контрольная работа по теме “Криволинейные и поверхностные интегралы”

Вариант 1.

Задание 1. Вычислить криволинейный интеграл 2-го типа

$$\int_L (x^2 + y^2)dx + (x^2 - y^2)dy,$$

где L – кривая, заданная уравнением

$$y = 1 - |1 - x| \quad (0 \leq x \leq 2).$$

Задание 2. Не прибегая к формуле Остроградского, вычислить поверхностный интеграл 2-го типа

$$\iint_S xdydz + ydzdx + zdx dy,$$

где S – внешняя сторона сферы $x^2 + y^2 + z^2 = a^2$.

Задание 3. С помощью формулы Остроградского вычислить поверхностный интеграл

$$\iint_S x^2 dydz + y^2 dzdx + z^2 dxdy,$$

где S – внешняя сторона границы куба $0 \leq x \leq a, \quad 0 \leq y \leq a, \quad 0 \leq z \leq a$.

Вариант 2.

Задание 1. Вычислить криволинейный интеграл 2-го типа

$$\int_L (2a - y)dx + xdy,$$

где L – арка циклоиды $x = a(t - \sin t), \quad y = a(1 - \cos t) \quad (0 \leq t \leq 2\pi)$.

Задание 2. Вычислить поверхностный интеграл 1-го типа

$$\iint_S x^2 ds,$$

где S – поверхность, отсекаемая от верхней части конуса $z^2 = k^2(x^2 + y^2)$ цилиндром $x^2 + y^2 - 2ax = 0$.

Задание 3. С помощью формулы Остроградского вычислить поверхностный интеграл

$$\iint_S x^3 dydz + y^3 dzdx + z^3 dxdy,$$

где S – внешняя сторона сферы $x^2 + y^2 + z^2 = a^2$.

Вариант 1.

Задание 1. Найти производную поля $u = \ln(x^2 + y^2)$ в точке $M(x_0, y_0)$ по направлению, перпендикулярному к линии уровня поля u , проходящей через данную точку $M(x_0, y_0)$.

Задание 2. Показать, что напряженность поля $F(M)$ сил тяготения в точке $M(x, y, z)$, создаваемой массой m , сосредоточенной в точке $O(0, 0, 0)$, является градиентом скалярного поля.

Задание 3. В установившемся потоке несжимаемой идеальной жидкости скорость каждой частицы направлена к началу координат и по величине равна $1/r^2$ (r – радиус-вектор частицы). Вычислить количество жидкости, вытекающей из области V за единицу времени.

Задание 4. Доказать, что $\Delta(uv) = u\Delta v + v\Delta u + 2(\nabla u \cdot \nabla v)$.

Задание 5. Найти циркуляцию векторного поля

$$\vec{a} = -y^2 \vec{i} + x^2 \vec{j} + (x + y) \vec{k}$$

вдоль окружности C , полученной пересечением цилиндра $x^2 + y^2 = x + y$ плоскостью $z = 1$.

Вариант 2.

Задание 1. Дано скалярное поле $u = \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}$. Построить поверхности уровня и поверхности равного модуля градиента поля.

Задание 2. Найти дивергенцию гравитационного силового поля, создаваемого конечной системой притягивающих центров.

Задание 3. С помощью формулы Гаусса-Остроградского вычислить интеграл:

$$\iint_S x^3 dy dz + y^3 dx dz + z^3 dx dy, \text{ где } S - \text{внешняя сторона сферы } x^2 + y^2 + z^2 = a^2.$$

Задание 4. Применяя формулу Стокса, вычислить интеграл:

$$\oint_C (y^2 - z^2) dx + (z^2 - x^2) dy + (x^2 - y^2) dz, \text{ где } C - \text{сечение поверхности куба}$$

$0 \leq x \leq a, 0 \leq y \leq a, 0 \leq z \leq a$ плоскостью $x + y + z = \frac{3}{2}a$, пробегаемое против хода часовой стрелки, если смотреть с положительной стороны оси Ox .

Задание 5. Найти работу поля $A = (y + z)\vec{i} + (2 + x)\vec{j} + (x + y)\vec{k}$ вдоль кратчайшей дуги большого круга сферы

$$x^2 + y^2 + z^2 = 25, \text{ соединяющей точки } M(3, 4, 0) \text{ и } N(0, 0, 5).$$

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольная работа)

Оценка	Критерии оценивания
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», при этом хотя бы

Оценка	Критерии оценивания
	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»
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. 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	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые	Продемонстрированы все основные умения. Решены все	Продемонстрированы все основные умения. Решены все	Продемонстрированы все основные умения. Решены	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные

	вследствие отказа обучающегося от ответа	умения. Имели место грубые ошибки	задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	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 - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

1. Определение векторной функции скалярного аргумента. Предел векторной функции по Коши и по Гейне, его свойства. Непрерывность векторной функции.
2. Производная векторной функции скалярного аргумента, ее геометрический смысл.
3. Правила дифференцирования векторных функций скалярного аргумента. Интегрирование векторной функции.
4. Определение векторной функции многих переменных. Предел и непрерывность. Понятие годографа.
5. Дифференцируемость векторной функции многих переменных. Теорема о существовании частных производных у дифференцируемой функции.
6. Формула Тейлора для векторной функции скалярного аргумента. Остаточный член в форме Лагранжа.
7. Определение пространственной кривой, ее виды и способы задания.
8. Понятие длины кривой. Теорема о вычислении длины пространственной кривой.
9. Определение криволинейного интеграла 1-го рода, его свойства.
10. Теорема о вычислении криволинейного интеграла 1-го рода.
11. Определение криволинейного интеграла 2-го рода, его свойства.
12. Условия независимости криволинейного интеграла от пути интегрирования.
13. Отыскание функции по ее полному дифференциалу.
14. Формула Грина.
15. Определение поверхности, ее виды. Двусторонние и односторонние поверхности.
16. Кривые на поверхности. Касательная плоскость и нормаль к гладкой поверхности.
17. Понятие площади поверхности. Теорема о вычислении площади поверхности.
18. Определение поверхностного интеграла 1-го рода, его сведение к двойному интегралу. Физические приложения поверхностного интеграла 1-го рода.
19. Определение поверхностного интеграла 2-го рода, его сведение к двойному интегралу.
20. Представление поверхностного интеграла 2-го рода в декартовой системе координат.
21. Формула Гаусса-Остроградского, ее применение к вычислению объемов тел.

22. Формула Стокса.
23. Определение скалярного поля, поверхностей и линий уровня. Типы скалярных полей. Производная по направлению.
24. Градиент скалярного поля, его физический смысл. Связь с производной по направлению и поверхностью уровня.
25. Определение векторного поля, векторные линии и векторные трубки. Поток и вращение векторного поля. Физический смысл потока на примере стационарного течения жидкости.
26. Понятие аддитивной функции области, ее предела и производной по объему.
27. Инвариантное определение градиента скалярного поля и проверка формулы его вычисления в декартовой системе координат.
28. Инвариантное определение дивергенции векторного поля. Теорема о вычислении дивергенции в декартовой системе координат. Инвариантный вид формулы Гаусса-Остроградского.
29. Физический смысл дивергенции.
30. Инвариантное определение ротора векторного поля. Теорема о вычислении ротора в декартовой системе координат.
31. Физический смысл ротора.
32. Оператор Гамильтона. Правила действий с вектором “набла”. Общая теорема Гаусса-Остроградского.
33. Дифференциальные операции второго порядка. Оператор Лапласа.
34. Потенциальное поле. Теорема о вычислении потенциала. Критерий потенциальности поля.
35. Понятие циркуляции векторного поля, ее физический смысл. Инвариантный вид формулы Стокса.
36. Соленоидальное поле. Теорема о вычислении векторного потенциала. Критерий соленоидальности поля.
37. Закон сохранения интенсивности векторной трубки.
38. Лапласово векторное поле. Теорема о лапласовом поле.
39. Основная теорема векторного анализа.
40. Обратная задача векторного анализа.
41. Основной и взаимный базисы. Ковариантные и контравариантные координаты вектора. Теорема о построении взаимного базиса.

42. Определение криволинейных координат в пространстве. Координатные линии и координатные поверхности. Теорема о нахождении локальных базисов (основного и взаимного).
43. Определение ортогональных криволинейных координат. Критерий ортогональности. Элемент длины. Коэффициенты Ламе.
44. Градиент в ортогональных криволинейных координатах.
45. Дивергенция и лапласиан в ортогональных криволинейных координатах.
46. Ротор в ортогональных криволинейных координатах.
47. Дифференциальные операции теории поля в цилиндрических координатах.
48. Дифференциальные операции теории поля в сферических координатах.
49. Естественная параметризация пространственной кривой. Основной трехгранник.
50. Формулы Френе.
51. Общие формулы для кривизны и кручения пространственной кривой.
52. Первая квадратичная форма поверхности.
53. Теорема о вычислении длины кривой на поверхности, площади поверхности и угла между кривыми на поверхности.
54. Вторая квадратичная форма поверхности.
55. Теорема о кривизне кривой на поверхности.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
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», 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

Оценка	Критерии оценивания
	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»
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»

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

1. Вычислить криволинейный интеграл 2-го типа $\int_L (x^2 + y^2)dx + (x^2 - y^2)dy$, где L – кривая, заданная уравнением: $y = 1 - |1 - x|$ ($0 \leq x \leq 2$).
2. Не прибегая к формуле Остроградского, вычислить поверхностный интеграл 2-го типа $\iint_S xdydz + ydzdx + zdx dy$, где S – внешняя сторона сферы $x^2 + y^2 + z^2 = a^2$.
3. С помощью формулы Остроградского вычислить поверхностный интеграл $\iint_S x^2 dydz + y^2 dzdx + z^2 dxdy$, где S – внешняя сторона границы куба $0 \leq x \leq a$, $0 \leq y \leq a$, $0 \leq z \leq a$.
4. Вычислить массу M сферы, если поверхностная плотность в каждой ее точке равна квадрату расстояния этой точки до некоторой большой окружности сферы.
5. Вычислить поверхностный интеграл 1-го типа $\iint_S \frac{ds}{r^n}$, где S – сфера $x^2 + y^2 + z^2 = R^2$, а r – расстояние от точки сферы до фиксированной точки P , отстоящей от центра сферы на расстояние l ($l > R$).
6. Найти производную поля $u = \ln(x^2 + y^2)$ в точке $M(x_0, y_0)$ по направлению, перпендикулярному к линии уровня поля u , проходящей через данную точку $M(x_0, y_0)$.
7. Показать, что напряженность поля $F(M)$ поля сил тяготения в точке $M(x, y, z)$, создаваемой массой m , сосредоточенной в точке $O(0, 0, 0)$, является градиентом скалярного поля.
8. В установившемся потоке несжимаемой идеальной жидкости скорость каждой частицы направлена к началу координат и по величине равна $1/r^2$ (r – радиус-вектор частицы). Вычислить количество жидкости, вытекающей из области V за единицу времени.
9. Доказать, что $\Delta(uv) = u\Delta v + v\Delta u + 2(\nabla u \cdot \nabla v)$.
10. Найти циркуляцию векторного поля $\vec{a} = -y^2\vec{i} + x^2\vec{j} + (x + y)\vec{k}$ вдоль окружности C , полученной пересечением цилиндра $x^2 + y^2 = x + y$ плоскостью $z = 1$.
11. Найти векторные линии поля $A = x\vec{i} + y\vec{j} - z\vec{k}$.

12. Показать, что центральное векторное поле $\vec{A} = \frac{f(r)}{r} \vec{r}$ является потенциальным и найти его потенциал.
13. Привлекая формулу Стокса, вычислить поток ротора поля $A = yi + zj + xk$ через часть поверхности $z^2 = 4(1 - x^2 - y^2)^4$, “накрывающей” начало координат плоскости xOy .
14. Доказать, что $[\nabla \times [\nabla \times A]] = \nabla(\nabla \cdot A) - \nabla^2 A$. Во что трансформируется данное соотношение в случае, если поле A - соленоидальное, потенциальное?
15. Найти поток векторного поля $A = x^2 yi - xy^2 j + z(x^2 + y^2)k$ из области V , ограниченной поверхностями $x^2 + y^2 = 2z$, $z = 2$.

Критерии оценивания (оценочное средство - Практическое задание)

Оценка	Критерии оценивания
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», 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»
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»

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

Основная литература:

1. Будак Б. М. Кратные интегралы и ряды / Будак Б. М., Фомин С. В. - 3-е изд. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2002. - 549 с. - Рекомендовано Министерством образования Российской Федерации в качестве учебника для студентов физических и физико-математических факультетов университетов. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ФИЗМАТЛИТ - Математика. - ISBN 5-9221-0300-8., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=665706&idb=0>.
2. Кочин Николай Евграфович. Векторное исчисление и начала тензорного исчисления. - Изд. 9-е. - М. : Наука, 1965. - 426 с. : черт. - 1.90., 4 экз.
3. Демидович Б. П. Сборник задач и упражнений по математическому анализу : учебное пособие для вузов / Демидович Б. П. - 25-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2023. - 624 с. - Книга из коллекции Лань - Математика. - ISBN 978-5-507-47148-5., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=865605&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Арфкен Г. Математические методы в физике / сокр. пер. с англ. В. В. Чепкунова. - М. : Атомиздат, 1970. - 712 с. - 3.42., 2 экз.
2. Гольдфайн И. А. Векторный анализ и теория поля / под ред. Р. Г. Гутера. - 2-е изд. - М. : Наука, 1968. - 128 с. - 0.22., 1 экз.
3. Рашевский Петр Константинович. Риманова геометрия и тензорный анализ. - Изд. 3-е. - М. : Наука, 1967. - 664 с. : черт. - 2.63., 58 экз.
4. Джеффрис Гарольд. Методы математической физики : [в 3 вып.] : пер. с англ. Вып. 3 / под ред. В. Н. Жаркова. - М. : Мир, 1970. - 344 с. : с черт. - 2.00., 1 экз.

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

http://www.unn.ru/books/met_files/OVTA.pdf

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), 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 ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.03.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Дубков Александр Александрович, доктор физико-математических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Павлов Игорь Сергеевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18 декабря 2023 г., протокол № 09/23.