

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**

Сверхразмерные электродинамические системы

---

Уровень высшего образования

Магистратура

---

Направление подготовки / специальность

03.04.03 - Радиофизика

---

Направленность образовательной программы

Физическая электроника

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.02.02 Сверхразмерные электродинамические системы 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-1: Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области радиофизики, микро- и наноэлектроники, мощной электроники при решении задач своей профессиональной деятельности	ПК-1.1: Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач ПК-1.2: Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий	ПК-1.1: Знать основные типы замедляющих систем для черенковских приборов СВЧ диапазона.  ПК-1.2: Уметь рассчитывать фазовые и групповые скорости пространственных гармоник замедляющих систем. Владеть современными методами расчета дисперсионных характеристик замедляющих систем.	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы Задачи
ПК-2: Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области радиофизики, микро- и наноэлектроники, мощной электроники и оформлять их результаты	ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области микро- и наноэлектроники, мощной электроники, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи	ПК-2.1: Знать теорию возбуждения электромагнитных волн в волноводе заданными источниками.  ПК-2.2: Уметь находить сопротивление связи различных мод в круглых и прямоугольных волноводах.  ПК-2.3: Владеть методами анализа спектра мод в прямоугольных и круглых волноводах в заданной полосе частот.	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы Задачи

	<p>ПК-2.3: Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР</p> <p>ПК-2.4: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области микро- и наноэлектроники, мощной электроники</p>	<p>ПК-2.4:</p> <p>Владеть навыками оформления и анализа полученных результатов проделанной работы</p>		
<p>ПК-3: Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок</p>	<p>ПК-3.1: Использует знание нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР, применяет заданные требования и правила при оформлении рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях</p> <p>ПК-3.2: Представляет результаты НИР академическому и бизнес-сообществу</p> <p>ПК-3.3: Участвует в составлении и подаче конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика</p>	<p>ПК-3.1:</p> <p>Знать современное состояние исследований в выбранной области Радиофизики</p> <p>ПК-3.2:</p> <p>Уметь кратко и доходчиво излагать и обосновывать необходимость проведения исследований по выбранной теме.</p> <p>ПК-3.3:</p> <p>Владеть навыками составления и оформления презентации, описывающих основные, наиболее важные, результаты выполненной работы.</p>	Собеседование	<p>Зачёт:</p> <p>Контрольные вопросы</p> <p>Задачи</p>

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>2</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	1
самостоятельная работа	39
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>0</b>
	<b>Зачёт</b>

#### 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
1. Введение. Уравнения Максвелла. Теория регулярных волноводов и резонаторов.	8	4		4	4
2. Метод связанных волн.	9	4		4	5
3. Теория периодических резонаторов в случае слабой продольной неоднородности.	9	4		4	5
4. Метод поперечных сечений при отсутствии критических сечений.	9	4		4	5
5. Метод поперечных сечений при наличии критических сечений.	9	4		4	5
6. Метод плоских поперечных сечений для сверхразмерных электродинамических систем.	9	4		4	5
7. Применение метода плоских поперечных сечений для расчета нерегулярных сверхразмерных электродинамических систем.	9	4		4	5
8. Метод плоских поперечных сечений для многосвязных областей.	9	4		4	5
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	32	0	33	39

#### Содержание разделов и тем дисциплины

1. Введение. Уравнения Максвелла. Теория регулярных волноводов и резонаторов.
2. Метод связанных волн.
3. Теория периодических резонаторов в случае слабой продольной неоднородности.
4. Метод поперечных сечений при отсутствии критических сечений.
5. Метод поперечных сечений при наличии критических сечений.
6. Метод плоских поперечных сечений для сверхразмерных электродинамических систем.
7. Применение метода плоских поперечных сечений для расчета нерегулярных сверхразмерных электродинамических систем.
8. Метод плоских поперечных сечений для многосвязных областей.

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

#### **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.

--

#### **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 - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-1:**

1. Понятие ТЕ, ТМ, гибридных волн. Линейная, эллиптическая поляризация волн.
2. Уравнения для мембранных функций.
3. Дисперсионные соотношения для волн в линиях передачи.
4. Понятие фазовой и групповой скорости волн.
5. Структуры симметричных волн цилиндрического волновода.
6. Моды шепчущей галереи.
7. Низшая мода прямоугольного волновода.
8. Структура гибридной моды HE<sub>11</sub>.
9. Поверхностные заряды и токи на стенках линии передачи.
10. Потери в стенках линии передачи.

##### **5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-2:**

1. Концепция Бриллюэна.
2. Формула пересчета импедансов. Согласование линий передачи.
3. Электромагнитные колебания в полых резонаторах.
4. Затухание собственных колебаний в резонаторах.
5. Граничное условие Леонтовича.
6. Возбуждение электромагнитных волн в волноводах заданными источниками.
7. Лемма Лоренца.
8. Возбуждение резонаторов. Уравнения возбуждения.
9. Дифракционная и омическая добротности.
10. Селекция мод в резонаторах гиротронного типа.
11. Селекция колебаний по продольному индексу в гиротронных резонаторах.
12. Электродинамические свойства резонаторов эллиптического сечения.

##### **5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-3:**

1. Метод плоских поперечных сечений.
2. Полуволновый отражатель, основанный на возбуждении квазикритической волны в области сверхразмерного участка.

3. Связанные резонаторы с трансформацией мод.
4. Связанные коаксиальный и цилиндрический резонаторы.
5. Определение матрицы рассеяния.
6. Методы определения собственных мод высокодобротных резонаторов.
7. Теорема Флоке.
8. Брэгговские отражатели и резонаторы на основе металлических структур.
9. Моды TE и TM планарного диэлектрического волновода.
10. Гибридные волноводные моды.
11. Брэгговские структуры на основе диэлектрических волноводов.
12. Метод связанных волн.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи, возможны негрубые ошибки. Выполнены все задания. Имеется минимальный и выше набор навыков для решения стандартных задач, допускаются некоторые недочеты.
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки.

### 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 отдельными 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 некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми 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	<b>превосходно</b>	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
	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	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	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	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-1**

1. Понятие ТЕ, ТМ, гибридных волн. Линейная, эллиптическая поляризация волн.
2. Уравнения для мембранных функций.
3. Дисперсионные соотношения для волн в линиях передачи.
4. Понятие фазовой и групповой скорости волн.
5. Структуры симметричных волн цилиндрического волновода.
6. Моды шепчущей галереи.
7. Низшая мода прямоугольного волновода.
8. Структура гибридной моды HE<sub>11</sub>.
9. Поверхностные заряды и токи на стенках линии передачи.
10. Потери в стенках линии передачи.

#### **5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2**

1. Концепция Бриллюэна.
2. Формула пересчета импедансов. Согласование линий передачи.
3. Электромагнитные колебания в полых резонаторах.
4. Затухание собственных колебаний в резонаторах.
5. Граничное условие Леонтовича.
6. Возбуждение электромагнитных волн в волноводах заданными источниками.
7. Лемма Лоренца.
8. Возбуждение резонаторов. Уравнения возбуждения.
9. Дифракционная и омическая добротности.
10. Селекция мод в резонаторах гиротронного типа.
11. Селекция колебаний по продольному индексу в гиротронных резонаторах.
12. Электродинамические свойства резонаторов эллиптического сечения.

#### **5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-3**

1. Метод плоских поперечных сечений.
2. Полуволновый отражатель, основанный на возбуждении квазикритической волны в области сверхразмерного участка.
3. Связанные резонаторы с трансформацией мод.
4. Связанные коаксиальный и цилиндрический резонаторы.
5. Определение матрицы рассеяния.
6. Методы определения собственных мод высокодобротных резонаторов.
7. Теорема Флоке.
8. Брэгговские отражатели и резонаторы на основе металлических структур.
9. Моды ТЕ и ТМ планарного диэлектрического волновода.
10. Гибридные волноводные моды.
11. Брэгговские структуры на основе диэлектрических волноводов.
12. Метод связанных волн.



### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Негрубые ошибки. Выполнены все задания. Имеется минимальный и выше набор навыков для решения стандартных задач, допускаются некоторые недочеты.
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки.

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

1. Указать при каких условиях справедлива теорема Флоке.
2. Написать систему уравнений для описания структуры моды в круглом волноводе, запитываемом гармоническим сигналом.

#### 5.3.5 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Найти групповую скорость волны в замедляющей системе по заданной дисперсионной характеристике.
2. Найти фазовую скорость волны в замедляющей системе по заданной дисперсионной характеристике.
3. Оценить диффракционные потери в круглом резонаторе, если известен тип распространяющейся волны.

#### 5.3.6 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-3

1. Оценить омические потери в круглом резонаторе, если известен тип распространяющейся волны.
2. Оценить диффракционные потери в прямоугольном резонаторе, если известен тип распространяющейся волны.
3. Оценить омические потери в прямоугольном резонаторе, если известен тип распространяющейся волны.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми. Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи, возможны негрубые ошибки. Выполнены все задания. Имеется минимальный и выше набор навыков для решения стандартных задач, допускаются некоторые недочеты
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки.

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

Основная литература:

1. Каценеленбаум Борис Захарович. Теория нерегулярных волноводов с медленно меняющимися параметрами / АН СССР, Ин-т радиотехники и электроники. - М. : Изд-во АН СССР, 1961. - 216 с. : черт. - 0.96., 2 экз.
2. Вайнштейн Лев Альбертович. Электромагнитные волны. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1988. - 440 с. : ил. - ISBN 5-256-00064-0 (в пер.) : 2.90., 225 экз.
3. Ваганов Роальд Борисович. Многоволновые волноводы со случайными нерегулярностями / под ред. Б. З. Каценеленбаума. - М. : Советское радио, 1972. - 231 с. : черт. - 0.77., 1 экз.
4. Гапонов Виктор Иванович. Электроника : учеб. пособие для вузов. Ч. 1. Физические основы / [ред. В. Б. Брагинский]. - М. : Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1960. - 516 с. - 1.06., 24 экз.

Дополнительная литература:

1. Шевчик Владимир Николаевич. Аналитические методы расчета в электронике СВЧ. - М. : Советское радио, 1970. - 584 с. : черт. - 2.10., 1 экз.
2. Сушков Александр Данилович. Вакуумная электроника : Физико-технические основы : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям подготовки бакалавров, магистров и дипломиров. специалистов "Электроника и микроэлектроника". - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2004. - 464 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 5-8114-0530-8 : 379.94., 20 экз.
3. Гайдук Владимир Илларионович. Физические основы электроники сверхвысоких частот. - М. : Советское радио, 1971. - 600 с. : ил. - 1.82., 4 экз.

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.

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 03.04.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Заславский Владислав Юрьевич, кандидат физико-математических наук  
Мануилов Владимир Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор.

Заведующий кафедрой: Оболенский Сергей Владимирович, доктор технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18.12.2023, протокол № 09/23.