

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  
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО  
решением президиума  
ученого совета ННГУ  
протокол от  
«31» мая 2023 г. № 6

**Рабочая программа дисциплины**

Методы проектирования мощных приборов  
СВЧ электроники  

---

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования  
магистратура  

---

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность  
03.04.03 радиофизика  

---

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы  
Физическая электроника  

---

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения  
очная  

---

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород

2023 год

## 1. Место дисциплины в структуре ООП

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
1	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина «Методы проектирования мощных приборов СВЧ электроники» Б1.В.О4 относится к части ООП направления подготовки 03.04.03 «Радиофизика», формируемой участниками образовательных отношений.

## 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**	
<i>ПК-1</i> Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области микро- и, нанoeлектроники, мощной электроники при решении задач своей профессиональной деятельности	<p>ПК-1.1. Знает принципы сбора и анализа информации, методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач.</p> <p>ПК-1.2. Умеет работать с большим объемом данных, систематизировать и анализировать информацию, полученную из различных источников.</p> <p>ПК-1.3. Владеет современными информационными и коммуникационными технологиями сбора теоретических и эмпирических</p>	<p><i>Знать</i> метод конечных интегралов для</p> <p><i>Уметь</i> проводить моделирование магнитной периодической фокусирующей системы.</p> <p><i>Владеть</i> навыками создания трехмерных моделей и выбора источников и граничных условий.</p>	<i>экзамен</i>

	данных, их анализа и представления полученных результатов исследования.		
ПК-2 Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области микро- и, нанoeлектроники, мощной электроники и оформлять их результаты	<p>ПК-2.1. Знает современное состояние исследований в области микро- и, нанoeлектроники, мощной электроники, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов.</p> <p>ПК-2.2. Умеет выбирать и применять аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи.</p> <p>ПК-2.3. Владеет навыками планирования, подготовки, проведения НИР, анализа полученных данных, формулировки выводов и рекомендаций по отдельным разделам тем в области микро- и, нанoeлектроники, мощной электроники.</p>	<p>Знать примеры реализации моделей в различных рабочих средах.</p> <p>Уметь проводить численное моделирование транспортировки электронных пучков в диодных системах с учетом объемного пространственного заряда.</p> <p>Владеть навыком PIC-моделирование мощных СВЧ генераторов и усилителей.</p>	экзамен
ПК-3 Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов	ПК-3.1. Знает нормативные документы для составления заявок, грантов, проектов НИР, требования к содержанию и правила оформления рукописей к публикации в рецензируемых	<p>Знать основные методы написания протоколов и отчетов по измерениям</p> <p>Уметь оформлять рукописи, протоколы, отчеты</p> <p>Владеть навыками оформления протоколов и отчетов</p>	экзамен

научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок	<p>научных изданиях.</p> <p>ПК-3.2. Умеет представлять результаты НИР академическому и бизнес-сообществу.</p> <p>ПК-3.3. Владеет навыками составления и подачи конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика.</p>		
--------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная форма обучения</b>
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>3 ЗЕТ</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b> <b>- занятия лекционного типа</b>	<b>32</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>29</b>
<b>КСР</b>	<b>45</b>
<b>Промежуточная аттестация – экзамен/зачет</b>	<b>экзамен</b>

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)		В том числе															
			Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них												Самостоятельная работа обучающегося, часы			
	Очная	Очно-заочная	Занятия лекционного типа		Занятия семинарского типа		Занятия лабораторного типа		Консультации		Всего						Очная	Очно-заочная
1. Введение	16		7								7				4			
2. Общие вопросы методики численного моделирования высокочастотных электронных систем	16		7								7				10			
3. Решение задач электростатики, магнитостатики, электронной оптики.	16		7								7				10			
4. Решение задач высокочастотной электродинамики.	16		7								7				10			
5. РС-моделирование мощных СВЧ генераторов и усилителей	8		4								4				10			
Промежуточная аттестация экзамен																		
Итого	108		32								32				44			

### 3.2. Содержание дисциплины

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

В соответствии с рабочей программой и тематическим планом изучение дисциплины проходит в виде аудиторной и самостоятельной работы студентов. Учебный процесс в аудитории осуществляется в форме лекционных занятий.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

## 5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю),

включающий:

### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности 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, без ошибок.	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 несущественным 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 владения материалом. 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 недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
	<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>зачтено</b>	<b>отлично</b>	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»
	<b>очень хорошо</b>	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»
	<b>хорошо</b>	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»
	<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»
<b>не зачтено</b>	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

### 5.2.1 Контрольные вопросы

вопросы	Код формируемой компетенции
Метод конечных интегралов для решения уравнений Максвелла. FDTD метод. PIC-моделирование («particle in cell» method).	ПК-1, ПК-2, ПК-3
S-параметры в сверхразмерных электродинамических системах.	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Нелинейная динамика релятивистской ЛОВ коаксиальной геометрии.	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Многоволновый черенковский генератор.	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Моделирование нелинейной динамики гиротронов.	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Методика моделирования, создание трехмерных моделей, выбор источников и граничных условий.	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Разбиение расчетной области на сетку, оптимизация параметров	ПК-1, ПК-2, ПК-3

### 5.2.2. Типовые тестовые задания для оценки сформированности компетенции ПК-1, ПК-2, ПК-3

1. Решение задач электростатики и магнитостатики. Моделирование электрических конденсаторов различной геометрии. Анализ характеристик конденсаторов. Исследование магнитной системы гиротрона. Моделирование магнитной периодической фокусирующей системы.
2. Решение задач электронной оптики. Исследования движения электронов в статических электрическом и магнитном полях. Моделирование систем формирования мощных прямолинейных и винтовых электронных пучков. Исследование влияния пространственного заряда на прохождение тока в вакуумном диоде. Исследование магнетронно-инжекционной пушки гиротрона.
3. Высокочастотная электродинамика. Расчет электродинамических характеристик резонаторов. Вычисление S-параметров. Анализ дисперсионных характеристик периодических структур.
4. РС-моделирование мощных СВЧ-генераторов и усилителей со сверхразмерными электродинамическими системами. Моделирование генераторов черенковского типа. Нелинейная динамика релятивистской ЛОВ коаксиальной геометрии. Многоволновый черенковский генератор.
5. РС-моделирование нелинейной динамики гиротронов.

### 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

#### а) основная литература:

1. Вайнштейн Л. А. - Электромагнитные волны. - М.: Радио и связь, 1988. - 440 с.-232 экз.
2. Каценеленбаум Б. З. - Теория нерегулярных волноводов с медленно меняющимися параметрами. - М.: Изд-во АН СССР, 1961. - 216 с.- 3 экз.
3. Норри Д., Фриз Ж. - Введение в метод конечных элементов. - М.: Мир, 1981. - 304 с.- 5 экз.
4. Марчук Г. И. - Методы вычислительной математики: [учеб. пособие для вузов по специальности "Приклад. математика"]. - М.: Наука, 1980. - 535 с.- 50 экз

#### б) дополнительная литература:

1. Алямовский И. В. - Электронные пучки и электронные пушки. - М.: Советское радио, 1966. - 456 с.- 4 экз
2. Современные численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. (Под ред. Дж. Холла и Дж. Уатта). М.: Мир, 1979, 640 стр. – 4 экз
3. Молоковский С. И., Сушков А. Д. - Интенсивные электронные и ионные пучки. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 302, [1] с. – 2 экз.

#### в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. ANSYS HFSS User's Manual, [www.ansys.com](http://www.ansys.com)
2. CST STUDIO SUITE User's Manual, [www.cst.com](http://www.cst.com)



## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: компьютеры, проектор, доска.

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 ННГУ по направлению подготовки 03.04.03 «Радиофизика».

Автор (ы) Заславский В.Ю.

и.о. заведующего кафедрой Маругин А.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «25» мая 2023 года, протокол № 04/23