

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)

УТВЕРЖДАЮ:

Декан \_\_\_\_\_ Матросов В.В.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

**Численное моделирование  
электростатических полей**

(наименование дисциплины (модуля))

**Уровень высшего образования**

**Аспирантура**

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

**Направление подготовки / специальность**

**03.06.01 «Физика и астрономия»**

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

**Направленность образовательной программы**

**Радиофизика**

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

**Квалификация (степень)**

**Исследователь. Преподаватель-  
исследователь**

(бакалавр / магистр / специалист)

**Форма обучения**

**Очная**

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород

2021 г.

## 1. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы (ООП)

Дисциплина «Численное моделирование электростатических полей» относится к числу профессиональных дисциплин, является дисциплиной выбора и изучается на втором году обучения в третьем семестре.

Освоение дисциплины обучающимися опирается на знания, умения, навыки и компетенции, которые должны иметь выпускники бакалавриата и магистратуры радиофизического факультета, получившие хорошую аттестацию на экзаменах по общим курсам физики, математического анализа, дифференциальных уравнений, электроники.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ООП (компетенциями выпускников)

**Таблица 1**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине**

<b>Код формируемой компетенции</b>	<b>Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций</b>
ПК-1 – Способность самостоятельно ставить научные задачи и формулировать новые идеи в области радиофизики  (базовый этап)	З(ПК-1)-1 – знать методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях, знать основные методы моделирования электромагнитных полей в областях произвольной геометрии. У(ПК-1)-1 – уметь определять наиболее актуальные направления исследований, уметь определять наиболее актуальные направления исследований, уметь выбирать адекватные методы численного расчета, наиболее эффективные при решении задачи с учетом специфики геометрии области и электронного пучка. У(ПК-1)-2 – уметь самостоятельно формулировать новые научные задачи в области радиофизики и предполагаемые методы их решения, исходя из тенденций развития науки в области радиофизики и этапов профессионального роста, уметь использовать наиболее экономичные методы решения систем линейных уравнений, возникающих при дискретизации задачи. У(ПК-1)-3 – уметь при решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений, уметь решать практические задачи по анализу и оптимизации распределения электрического и магнитного полей с целью получения заданных характеристик электронных интенсивных пучков в мощных электронных приборах СВЧ. В(ПК-1)-1 – владеть навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях; навыками выбора численных параметров для обеспечения заданной точности расчета электромагнитных полей. В(ПК-1)-2 – владеть навыками технологиями планирования

	<p>профессиональной деятельности в сфере научных исследований; навыками оценки времени моделирования на компьютере одномерных, двумерных и трехмерных полей.</p> <p>В(ПК-1)-3 – владеть навыками самостоятельной постановки, критического переосмысления и решения новых задач в области радиофизики; навыками использования современных средств вычислительной техники для расчетов; навыками расчета сложных электронно-оптических систем мощных генераторов и усилителей СВЧ.</p>
<p>ПК-2 – Способность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению новых научных результатов с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта</p> <p>(базовый этап)</p>	<p>З(ПК-2)-1 – знать современное состояние науки в области радиофизики, основные тенденции развития современных численных методов решения уравнений математической физики.</p> <p>З(ПК-2)-2 – знать современные подходы к моделированию различных явлений в области радиофизики и оценке полученных результатов, знать современные подходы к моделированию процессов формирования и взаимодействия с СВЧ полем активной среды в виде электронного пучка в наиболее распространенных СВЧ генераторах и усилителях.</p> <p>З(ПК-2)-3 – знать требования к содержанию и правила оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях.</p> <p>У(ПК-2)-1 – уметь представлять научные результаты по теме диссертационной работы в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях.</p> <p>У(ПК-2)-2 – уметь представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес-сообществу в виде удобном для практического использования.</p> <p>В(ПК-2)-1 – владеть навыками моделирования различных явлений в области радиофизики и оценки полученных результатов; навыками моделирования элементов современных генераторов и усилителей СВЧ диапазона.</p> <p>В(ПК-2)-2 – владеть современными информационными и коммуникационными технологиями сбора теоретических и эмпирических данных, их анализа и представления полученных результатов исследования; навыками выбора современных пакетов прикладных программ, предназначенных для моделирования электромагнитных полей и процессов взаимодействия с ними электронных пучков в волноведущих системах.</p> <p>В(ПК-2)-3 – владеть методами планирования, подготовки, проведения НИР, анализа полученных данных, формулировки выводов и рекомендаций по направленности <b>Радиофизика</b>.</p>
<p>ПК-3 – Способность к внедрению научных достижений и разработок в области радиофизики</p> <p>(базовый этап)</p>	<p>З(ПК-3)-1 – знать нормативные документы для составления заявок, грантов, проектов НИР.</p> <p>З(ПК-3)-2 – знать требования к содержанию и правила оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях, знать порядок оформления рукописи по вопросам курса</p> <p>У(ПК-3)-1 – уметь самостоятельно интерпретировать результаты научного исследования и сопоставлять их с простыми физическими моделями электрического и</p>

	<p>магнитного поля.</p> <p>У(ПК-3)-2 – уметь оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области радиофизики и возможности их внедрения.</p> <p>У(ПК-3)-3 – уметь готовить заявки на получение научных грантов и заключения контрактов по НИР в области радиофизики и численного анализа сложных электронно-оптических и электродинамических структур СВЧ приборов.</p> <p>У(ПК-3)-4 – уметь представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес-сообществу.</p> <p>В(ПК-3)-1 – владеть навыками составления и подачи конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по разработке новых алгоритмов численного анализа сложных электронных приборов СВЧ.</p> <p>В(ПК-3)-2 – владеть навыками представления научных результатов исследования в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях и заявок на изобретения.</p>
--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины «Численное моделирование электростатических полей»

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляют контактную работу обучающегося с преподавателем (35 часов занятия лекционного типа, 1 час мероприятия по аттестации) и 36 часов – самостоятельную работу аспиранта.

**Таблица 2**

**Структура дисциплины**

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	В том числе					
		Контактная работа, часов					Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
1. Введение	4	2	-	-	-	2	2
2. Общие вопросы моделирования электронно-оптических систем (ЭОС)	13	6	-	-	-	6	7
3. Метод сеток	19	9	-	-	-	9	9
4. Метод конечных элементов	16	7	-	-	-	7	7
5. Методы интегральных уравнений и вспомогательных зарядов	12	6	-	-	-	6	6
6. Методика выбора метода решения полевой задачи при численном моделировании	10	5	-	-	-	5	5
Аттестация по дисциплине – зачет	1	1	-	-	-	1	-
Итого	72	36	-	-	-	36	36

**Таблица 3****Содержание дисциплины**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятия	Форма текущего контроля*
1	Введение	Предмет и задачи курса. Численное моделирование и его этапы. Разделы курса.	Лекции	-
2	Общие вопросы моделирования электронно-оптических систем (ЭОС)	Требования к ЭОС приборов СВЧ электроники. Система уравнений электронного потока в ЭОС. Метод итераций. Метод трубок тока и проблема моделирования распределения плотности объемного заряда	Лекции	выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте
3	Метод сеток	Понятие о методе сеток. Расчет поля в триодной структуре. Метод сеток в области произвольной формы. Сетки с переменным шагом. Анализ геометрии области. Аппроксимация граничных условий. Аппроксимация уравнения Пуассона. Методы решения разностных уравнений (метод прогонки, простая итерация, верхняя релаксация, метод продольно-поперечной прогонки). Методы неполной матричной факторизации (метод Булеева). Скорость сходимости и точность метода сеток. Примеры использования метода сеток.	Лекции	-
4	Метод конечных элементов	Основные понятия метода конечных элементов (конечный элемент, пробная функция, элементный вектор и т.д.). Метод конечных элементов в двумерной области. Виды и классификация конечных элементов. Понятие о локальных координатах и криволинейных конечных элементах. Моделирование режимов работы магнетронно-инжекционной пушки на базе метода конечных элементов.	Лекции	выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте
5	Методы интегральных уравнений и вспомогательных зарядов	Метод интегральных уравнений. Методика сведения задачи к системе линейных алгебраических уравнений большого порядка. Расчет электрического поля в методе интегральных уравнений. Расчет ЭОС клистрона. Сложность описания поля вблизи поверхности электродов.	Лекции	выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте

		Метод вспомогательных источников.		
6	Методика выбора метода решения полевой задачи при численном моделировании	Сравнительная характеристика различных методов решения дифференциальных уравнений в частных производных	Лекции	-

#### 4. Образовательные технологии

Еженедельно **текст** прочитанной лекции и соответствующие вопросы для контроля текущей успеваемости из списка **5.4** рассылаются по электронной почте обучающимся для стимулирования самостоятельной внеаудиторной работы и создания личного **портфолио** по дисциплине «**Численное моделирование электростатических полей**»

#### 5. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

1. Еженедельный контроль посещаемости аудиторных занятий.
2. Как оценочный способ контроля самостоятельной работы аспирантов и одновременно разновидность интерактивного обучения используется форма выборочной проверки (в соответствии со **списком вопросов 5.4**) состояния отдельных частей индивидуального **портфолио** обучающегося не менее двух раз в течение семестра.
3. Трансляции по электронной почте на адреса всех аспирантов, изучающих дисциплину «**Численное моделирование электростатических полей**», ответа преподавателя на индивидуальный вопрос (по программе дисциплины) одного из обучающихся.

#### 4. Список вопросов для контроля текущей успеваемости

1. Основные положения метода трубок тока.
2. Методика сведения уравнений в частных производных к системе линейных алгебраических уравнений в методе сеток.
3. Анализ геометрии области в методе сеток.
4. Методы решения сеточных уравнений. Скорость сходимости методов.
5. Основные понятия метода конечных элементов (конечный элемент, пробная функция, элементный вектор и т.д.).
6. Методика использования метода конечных элементов в областях произвольной формы.
7. Задание граничных условий в методе конечных элементов. Решение неоднородных уравнений.
8. Методика получения системы линейных алгебраических уравнений большого порядка в методах интегральных уравнений и вспомогательных источников. Достоинства и недостатки методов.
9. Сравнительная характеристика различных методов решения дифференциальных уравнений в частных производных.

#### 6. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине

**6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования**

Дисциплина «**Численное моделирование электростатических полей**» вносит определённый **долевой** вклад в **формирование компетенций** выпускников Основной Образовательной Программы (ПК–1; ПК–2 и ПК–3), *которое* предусмотрено

утверждённым рабочим *Учебным планом* подготовки аспирантов по направлению 03.06.01 Физика и астрономия и направленности 01.04.03 – «Радиофизика» на 2020-2021 учебный год. Содержание компетенций ПК–1; ПК–2 и ПК–3 с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, представлено в разделе 2 настоящей РПД. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования приведено в приложении 1.

## **6.2. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.** **Описание шкал оценивания**

Оценка результатов обучения в соответствии с *Учебным планом* производится на основании анализа предоставленных обучающимся документов его личного **портфолио**. Оценивание компетенций обучающегося на всех стадиях их формирования осуществляется **по пятибальной шкале**. Показатели и критерии оценивания компетенций, которые формируются у обучающихся в процессе изучения дисциплины, представлены в таблицах Приложения 1, являющегося неотъемлемой частью РПД.

## **6.3. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, необходимых для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций.**

1. Основные положения метода трубок тока.
2. Методика сведения уравнений в частных производных к системе линейных алгебраических уравнений в методе сеток.
3. Анализ геометрии области в методе сеток.
4. Методы решения сеточных уравнений. Скорость сходимости методов.
5. Основные понятия метода конечных элементов (конечный элемент, пробная функция, элементный вектор и т.д.).
6. Методика использования метода конечных элементов в областях произвольной формы.
7. Задание граничных условий в методе конечных элементов. Решение неоднородных уравнений.
8. Методика получения системы линейных алгебраических уравнений большого порядка в методах интегральных уравнений и вспомогательных источников. Достоинства и недостатки методов.
9. Сравнительная характеристика различных методов решения дифференциальных уравнений в частных производных.

Для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенции (части компетенции) **ПК-1**, используются следующие вопросы из вышеприведенного списка: 2,8.

Для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенции (части компетенции) **ПК-2**, используются следующие вопросы из вышеприведенного списка: 1-6.

Для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенции (части компетенции) **ПК-3**, используются следующие вопросы из вышеприведенного списка: 6-9

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Численное моделирование электростатических полей»**

### **а) Основная литература:**

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. - Теоретическая физика: учеб. пособие : в 10 т. Т. 8. - М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1992. - 664 с.
2. Трубецков Д. И., Храмов А. Е. - Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков: в 2 т. - М.: Физматлит, 2003.
3. Трубецков Д. И. - Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков. Т. 2. - М., 2004. - 648 с.

### **б) Дополнительная литература:**

1. Электронные приборы сверхвысоких частот: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Радиофизика и электроника"/Андрюшкевич В. С., Будников Н. П., Бочаров Е. П., Григорьев М. А., Жарков Ю. Д., [и др.]. - Саратов: Изд-во Сарат.
2. Гайдук В. И., Палатов К. И., Петров Д. М. - Физические основы электроники сверхвысоких частот. - М.: Советское радио, 1971. - 600 с.
3. Электронные приборы СВЧ: [учеб. пособие для вузов по специальности "Электрон. приборы"]./Березин В. М. , Буряк В. С., Гутцайт Э. М., [и др.]. - М.: Высшая школа, 1985. - 296 с.

### **в) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

Электронно-библиотечные системы (электронная библиотека):

<http://e.lanbook.com/>;

<http://www.biblioclub.ru>.

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

Для обучения дисциплине имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории, компьютерным оборудованием. Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие программе дисциплины.



Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации).

Автор \_\_\_\_\_ В.Н. Мануилов

Рецензент \_\_\_\_\_ Н.Д. Миловский

Зав. кафедрой квантовой радиофизики и электроники \_\_\_\_\_ С.А. Бельков

Программа рекомендована на заседании кафедры квантовой радиофизики и электроники от \_\_\_\_\_ года, протокол № \_\_\_\_.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от \_\_\_\_\_ 2021 года, протокол № \_\_\_\_.

### Карты компетенций, в формировании которых участвует дисциплина

Дисциплина «Численное моделирование электростатических полей» вносит долевой вклад в *формирование профессиональных компетенций* ПК–1; ПК–2 и ПК–3 выпускников Основной Образовательной Программы аспирантуры по направлению 03.06.01 Физика и астрономия и направленности 01.04.03 – «Радиофизика». В настоящем Приложении 1 представлены **шифры планируемых результатов обучения** (см раздел 2 РПД) и **критерии оценивания результатов обучения**.

#### ПК-1 Способность самостоятельно ставить научные задачи и формулировать новые идеи в области радиофизики

Шифры планир. результатов	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
З(ПК-1)-1	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания методов критического анализа и оценки современных научных достижений, методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, методов анализа электромагнитных полей при сложной геометрии расчетной области	Общие, но не структурированные знания методов критического анализа и оценки современных научных достижений, методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач и методов моделирования электронных пучков и формирующих их полей в областях произвольной формы.	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных методов критического анализа и оценки современных научных достижений, методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе междисциплинарных, а также знания основных методов моделирования электромагнитных полей и электронных пучков	Сформированные системные знания методов критического анализа и оценки современных научных достижений, методах моделирования электромагнитных полей и электронных пучков позволяющие генерировать новые идеи при решении исследовательских и практических задач, в том числе междисциплинарных
У(ПК-1)-1	Отсутствие умений	Частично освоенное умение определять наиболее актуальные направления исследований и умение использовать современные методы численного моделирования для расчета электронных приборов СВЧ	В целом успешное, но не систематическое использование умения анализировать распределения электромагнитных полей в областях сложной формы	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы использование умения определять наиболее актуальные направления исследований и адекватные методы моделирования СВЧ приборов.	Сформированное умение определять наиболее актуальные направления исследований и умение анализировать поведение активной среды в виде электронного пучка в СВЧ приборах

У(ПК-1)-2	Не умеет и не готов формулировать новые научные задачи в области радиофизики и предполагаемые методы их решения. Не знает основные идеи и подходы, положенные в основу численного моделирования СВЧ приборов.	Имея базовые представления о тенденциях развития науки в области радиофизики и этапах профессионального роста, не способен сформулировать новые научные задачи в области радиофизики и предполагаемые методы их решения. Частично умеет объяснить основные идеи, подходы, положенные в основу численного моделирования СВЧ приборов	При формулировке новых научных задач в области радиофизики не учитывает тенденции развития науки в области радиофизики и индивидуально-личностные особенности. В целом успешное, но не систематизированное умение объяснять основные идеи, подходы, положенные в основу численного моделирования СВЧ приборов	Формулирует новые научные задачи в области радиофизики, исходя из тенденций развития науки в области радиофизики и индивидуально-личностных особенностей, но не полностью учитывает возможные этапы профессиональной деятельности. В целом успешное, но с небольшими недочетами умение объяснять основные идеи подходы, положенные в основу численного моделирования СВЧ приборов	Готов и умеет формулировать новые научные задачи в области радиофизики и предполагаемые методы их решения, опираясь на детальное знание подходов, положенных в основу численного моделирования СВЧ приборов
У(ПК-1)-3	Отсутствие умений	Частично освоенное умение при решении исследовательских и практических задач, в частности задач по анализу и оптимизации распределения электрических и магнитных полей, генерировать идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений.	В целом успешное, но не систематическое осуществляемое умение при решении исследовательских и практических задач, в частности задач по анализу и оптимизации распределения электрических и магнитных полей, генерировать идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение при решении исследовательских и практических задач, в частности задач по анализу и оптимизации распределения электрических и магнитных полей, генерировать идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений	Сформированное умение при решении исследовательских и практических задач, в частности задач по анализу и оптимизации распределения электрических и магнитных полей, генерировать идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений
В(ПК-1)-1	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение технологий критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, а также задач расчета электромагнитных полей	В целом успешное, но не систематическое применение технологий критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, а также задач расчета электромагнитных полей	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение технологий критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, а также задач расчета электромагнитных полей	Успешное и систематическое применение технологий критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, а также задач расчета электромагнитных полей

В(ПК-1)-2	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение технологий планирования профессиональной деятельности и навыков оценки времени моделирования на компьютере одномерных, двумерных и трехмерных полей.	В целом успешное, но не систематическое применение технологий планирования профессиональной деятельности и навыков оценки времени моделирования на компьютере одномерных, двумерных и трехмерных полей.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение технологий планирования профессиональной деятельности и навыков оценки времени моделирования на компьютере одномерных, двумерных и трехмерных полей.	Успешное и систематическое применение технологий планирования профессиональной деятельности и навыков оценки времени моделирования на компьютере одномерных, двумерных и трехмерных полей.
В(ПК-1)-3	Отсутствие навыков	Фрагментарное владение отдельными навыками анализа радиофизических задач, отдельными навыками использования современных средств вычислительной техники для расчетов электромагнитных полей.	В целом успешное, но не систематическое владение основными навыками самостоятельной постановки, критического переосмысления и решения новых задач в области радиофизики; основными навыками использования современных средств вычислительной техники для расчетов электромагнитных полей.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение основными навыками самостоятельной постановки, критического переосмысления и решения новых задач в области радиофизики; основными навыками использования современных средств вычислительной техники для расчетов электромагнитных полей.	Успешное и систематическое владение навыками самостоятельной постановки, критического переосмысления и решения новых задач в области радиофизики; навыками использования современных средств вычислительной техники для расчетов электромагнитных полей.

**ПК-2 Способность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению новых научных результатов с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта**

Шифры планир. результатов	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
3(ПК-2)-1	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современном состоянии науки в области радиофизики и основных тенденциях развития современных численных методов решения уравнений математической физики.	Неполные представления о современном состоянии науки в области радиофизики и основных тенденциях развития современных численных методов решения уравнений математической физики.	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы, представления о современном состоянии науки в области радиофизики и основных тенденциях развития современных численных методов решения уравнений математической физики.	Сформированные систематические представления о современном состоянии науки в области радиофизики и основных тенденциях развития современных численных методов решения уравнений математической физики.

3(ПК-2)-2	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современных подходах к моделированию различных явлений в области радиофизики, моделированию процессов формирования и взаимодействия с СВЧ полем активной среды и оценке полученных результатов.	В целом успешные, но несистемные представления о современных подходах к моделированию различных явлений в области радиофизики, моделированию процессов формирования и взаимодействия с СВЧ полем активной среды и оценке полученных результатов	В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы, представления о современных подходах к моделированию различных явлений в области радиофизики, моделированию процессов формирования и взаимодействия с СВЧ полем активной среды и оценке полученных результатов	Сформированные систематические представления о современных подходах к моделированию различных явлений в области радиофизики, моделированию процессов формирования и взаимодействия с СВЧ полем активной среды и оценке полученных результатов
3(ПК-2)-3	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о требованиях к содержанию и правилам оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях	Общие представления о требованиях к содержанию и правилам оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления о требованиях к содержанию и правилам оформления рукописей, наличие однократного опыта публикаций в рецензируемых научных изданиях	Сформированные представления о требованиях к содержанию и правилам оформления рукописей, наличие неоднократного опыта публикаций в рецензируемых научных изданиях
У(ПК-2)-1	Отсутствие умений	Фрагментарное использование методов подготовки научных результатов к публикации в рецензируемых научных изданиях	В целом успешное, но не систематическое использование методов подготовки научных результатов к публикации в рецензируемых научных изданиях	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы использование методов подготовки научных результатов к публикации в рецензируемых научных изданиях	Сформированное умение использовать методов подготовки научных результатов к публикации в рецензируемых научных изданиях
У(ПК-2)-2	Отсутствие умений	Умение представлять результаты НИР узкому кругу специалистов	В целом успешное умение представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому сообществу	Успешное умение представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес-сообществу	Сформированное умение представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес-сообществу; определять целевые группы и форматы продвижения результатов собственной научной деятельности
В(ПК-2)-1	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков моделирования различных явлений в области радиофизики, моделирования элементов современных генераторов и усилителей СВЧ диапазона и оценки полученных результатов	В целом успешное, но не систематическое применение навыков моделирования различных явлений в области радиофизики, моделирования элементов современных генераторов и усилителей СВЧ диапазона и оценки полученных результатов	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков моделирования различных явлений в области радиофизики, моделирования элементов современных генераторов и усилителей СВЧ диапазона и оценки полученных результатов	Успешное и систематическое применение навыков моделирования различных явлений в области радиофизики, моделирования элементов современных генераторов и усилителей СВЧ диапазона и оценки полученных результатов

В(ПК-2)-2	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение современных информационных и коммуникационных технологий сбора теоретических и эмпирических данных, современных пакетов прикладных программ, предназначенных для моделирования электромагнитных полей, их анализа и представления полученных результатов.	В целом успешное, но не систематическое применение современных информационных и коммуникационных технологий сбора теоретических и эмпирических данных, современных пакетов прикладных программ, предназначенных для моделирования электромагнитных полей, их анализа и представления полученных результатов исследования и	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение современных информационных и коммуникационных технологий сбора теоретических и эмпирических данных, современных пакетов прикладных программ, предназначенных для моделирования электромагнитных полей, их анализа и представления полученных результатов исследования	Успешное и систематическое применение современных информационных и коммуникационных технологий сбора теоретических и эмпирических данных, современных пакетов прикладных программ, предназначенных для моделирования электромагнитных полей, их анализа и представления полученных результатов исследования
В(ПК-2)-3	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение методов планирования, подготовки и проведения НИР, анализа и обсуждения полученных данных	В целом успешное, но не систематическое применение методов планирования, подготовки, проведения НИР, анализа полученных данных	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение методов планирования, подготовки, проведения НИР, анализа полученных данных, формулировка выводов по результатам НИР	Успешное и систематическое применение методов планирования, подготовки и проведения НИР и анализа и обсуждения полученных результатов; формулировка выводов и рекомендаций по результатам НИР

### ПК-3 Способность к внедрению научных достижений и разработок в области радиофизики

Шифры планирования результатов	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
3(ПК-3)-1	Отсутствия знаний	Фрагментарные представления о нормативных документах для составления заявок, грантов, проектов НИР	Неполные представления о нормативных документах для составления заявок, грантов, проектов НИР	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР	Сформированные систематические знания нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР
3(ПК-3)-2	Отсутствия знаний	Фрагментарные представления о требованиях к содержанию и правилам оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях	Общие представления о требованиях к содержанию и правилах оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления о требованиях к содержанию и правилам оформления рукописей, наличие однократного опыта публикаций в рецензируемых научных изданиях	Сформированные представления о требованиях к содержанию и правилам оформления рукописей, наличие неоднократного опыта публикаций в рецензируемых научных изданиях

У(ПК-3)-1	Отсутстви е умений	Фрагментарное использование умения самостоятельно интерпретировать результаты научного исследования результаты научного исследования и сопоставлять их с простыми физическими моделями электрического и магнитного полей.	В целом успешное, но не систематическое использование умения самостоятельно интерпретировать результаты научного исследования и сопоставлять их с простыми физическими моделями электрического и магнитного полей.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы использование умения самостоятельно интерпретировать результаты научного исследования и сопоставлять их с простыми физическими моделями электрического и магнитного полей.	Сформированное умение самостоятельно интерпретировать результаты научного исследования и сопоставлять их с простыми физическими моделями электрического и магнитного полей.
У(ПК-3)-2	Отсутстви е умений	Фрагментарное использование умения оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области радиофизики и возможности их внедрения	В целом успешное, но не систематическое использование умения оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области радиофизики и возможности их внедрения	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы использование умения оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области радиофизики и возможности их внедрения	Сформированное умение оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области радиофизики и возможности их внедрения
(ПК-3)-3	Отсутстви е умений	Умение готовить отдельные материалы для заявки на получение научных грантов по поручению научного руководителя	В целом успешное, но не систематическое использование умения готовить заявки на получение научных грантов и заключения контрактов по НИР радиофизики и численного анализа сложных электронно- оптических и электродинамических структур СВЧ приборов.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение готовить предложения по тематике и плану реализации исследовательских проектов, а также оформлять проект согласно установленным требованиям	Сформированное умение готовить предложения по тематике и плану реализации исследовательских проектов; обосновывать предложения с точки зрения реалистичности сроков, трудозатрат и ресурсной обеспеченности; оформлять проект согласно установленным требованиям
(ПК-3)-4	Отсутстви е умений	Умение представлять результаты НИР узкому кругу специалистов	В целом успешное, умение представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому сообществу	Успешное умение представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес-сообществу	Сформированное умение представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес-сообществу; определять целевые группы и форматы продвижения результатов собственной научной деятельности

В(ПК-3) -1	Отсутстви е навыков	Фрагментарное применение навыков составления и подачи конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по разработке новых алгоритмов численного анализа сложных электронных приборов СВЧ .	В целом успешное, но не систематическое применение навыков составления и подачи конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по разработке новых алгоритмов анализа сложных электронных приборов СВЧ .	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков составления и подачи конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по разработке новых алгоритмов численного анализа сложных электронных приборов СВЧ .	Успешное и систематическое применение навыков составления и подачи конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по разработке новых алгоритмов численного анализа сложных электронных приборов СВЧ .
В(ПК-3)-2	Отсутстви е навыков	Фрагментарное применение навыков представления научных результатов исследования в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях и заявок на изобретения	В целом успешное, но не систематическое применение навыков представления научных результатов исследования в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях и заявок на изобретения	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков представления научных результатов исследования в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях и заявок на изобретения	Сформированное владение навыками представления научных результатов исследования в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях и заявок на изобретения