

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)**

**Экстремальная электроника**

(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)

Нижний Новгород

2021 г.

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

Дисциплина «Экстремальная электроника» относится к числу профессиональных дисциплин, является дисциплиной выбора и изучается на первом году обучения в первом 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 курсах общей физики, физики твердого тела, полупроводниковой электроники, математического анализа, дифференциальных уравнений, классической (теоретической) механики и квантовой механики.

## 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, понимать процессы, происходящие при деградации полупроводников при радиационном воздействии, знать общие положения и уметь их классифицировать. У(ПК-1)-1 – уметь определять наиболее актуальные направления исследований, уметь классифицировать источники радиационного излучения и знать их основные характеристики. 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 регистрировать изменения вольтамперных и вольтфарадных характеристик р-п-переходов при облучении. У(ПК-1)-3 – уметь при решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений, уметь сравнивать деградации р-п – переходов и диодов Шоттки. 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, владеть навыком анализа деградации характеристик полевых и биполярных транзисторов. В(ПК-1)-2 – владеть навыками технологиями планирования профессиональной деятельности в сфере научных исследований, владеть навыками анализа взаимодействия радиационного излучения с арсенидом галлия и остаточных радиационных эффектах в GaAs-полупроводниковых приборах и интегральных микросхемах. 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, владеть навыками в моделировании радиационного воздействия с помощью физико-топологической модели.
ПК-2 – Способность к са-	З(ПК-2)-1 – знать современное состояние науки в области радио-

<p>мостоятельному 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>физики, иметь понятие о современной радиационной стойкости оптоэлектронных и полупроводниковых приборов.</p> <p>З(ПК-2)-2 – знать современные подходы к моделированию различных явлений в области радиофизики и оценке полученных результатов, знать о моделях полупроводниковых приборов, в особенности о моделях электронно-дырочных переходов и транзисторных структур.</p> <p>З(ПК-2)-3 – знать требования к содержанию и правила оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях, в том числе в публикациях по теме радианной стойкости полупроводниковых приборов.</p> <p>У(ПК-2)-1 – уметь представлять научные результаты по теме диссертационной работы в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях, в том числе в публикациях по теме терагерцовых полупроводниковых приборов.</p> <p>У(ПК-2)-2 – уметь представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес-сообществу, в том числе результаты НИР способные к коммерческому внедрению в технологии разработки специальной радиационно-стойкой аппаратуры.</p> <p>В(ПК-2)-1 – владеть навыками моделирования различных явлений в области радиофизики и оценки полученных результатов, владеть навыками проводить моделирование параметров полупроводниковых приборов с учетом наноразмеров, изменяющейся внешней температуры и радиационных облучений.</p> <p>В(ПК-2)-2 – владеть современными информационными и коммуникационными технологиями сбора теоретических и эмпирических данных, их анализа и представления полученных результатов исследования, владеть навыком проводить статистический анализ параметров радиационно-стойких полупроводниковых приборов, сопоставлять его с данными эксперимента и проводить обобщение полученных результатов.</p> <p>В(ПК-2)-3 – владеть методами планирования, подготовки, проведения НИР, анализа полученных данных, формулировки выводов и рекомендаций по направленности <b>Радиофизика</b>, владеть методикой составления программы - методики полупроводниковых приборов на радиационную стойкость и обобщать, в ходе эксперимента, результаты.</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, особенно при составлении заявок, грантов, проектов НИР по теме радиационной стойкости полупроводниковых приборов.</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 теме радианной стойкости полупроводниковых приборов.</p> <p>У(ПК-3)-1 – уметь самостоятельно интерпретировать результаты научного исследования, уметь проводить эксперимент по теме радианной стойкости полупроводниковых приборов и проводить анализ полученных данных.</p> <p>У(ПК-3)-2 – уметь оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области радиофизики и возможности их внедрения, уметь применять полученные данные в специальном оборудовании, которое используется при радиацион-</p>

	<p>ном облучении.</p> <p>У(ПК-3)-3 – уметь готовить заявки на получение научных грантов и заключения контрактов по НИР в области радиофизики, в особенности по темам связанным с деградацией параметров терагерцевых полупроводниковых приборов.</p> <p>У(ПК-3)-4 – уметь представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес-сообществу, в том числе работы по темам связанным со стойкостью полупроводниковых приборов.</p> <p>В(ПК-3)-1 – владеть навыками составления и подачи конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика, владение навыком подачи заявки на выполнение работ по темам связанным со стойкостью полупроводниковых приборов.</p> <p>В(ПК-3)-2 – владеть навыками представления научных результатов исследования в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях и заявок на изобретения, в том числе для научных результатов по радиационной стойкости полупроводниковых приборов и возможностях их применения в специальной аппаратуре.</p>
--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины «Экстремальная электроника»

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					Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Контактная работа, часов					
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
1. Введение. Источники радиационного излучения	12	6	-	-	-	6	6
2. Деградация электрофизических характеристик полупроводников при радиационном воздействии	12	6	-	-	-	6	6
3. Влияние радиационного излучения на приборы с р – n – переходами и диэлектрическими слоями.	12	6	-	-	-	6	6
4. Радиационные эффекты в GaAs – полупроводниковых приборах и интегральных схемах. Радиационная стойкость оптоэлектронных приборов	12	6	-	-	-	6	6
5. Технологические и физические ограничения миниатюризации транзисторов при радиационном воздействии.	12	6	-	-	-	6	6
6. Моделирование радиационного воздействия с помощью физико-	11	5	-	-	-	5	6

топологической модели.							
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. Источники радиационного излучения	Радиационная среда и ее основные характеристики.	Лекции	-
2	Деградация электрофизических характеристик полупроводников при радиационном воздействии	Общие положения и классификация. Смещения атомов под действием нейтронов и протонов. Образование дефектов смещения под действием быстрых электронов и гамма-квантов. Области разупорядочения. Возбуждение неравновесных электронов и дырок.	Лекции	Выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте
3	Влияние радиационного излучения на приборы с р – n – переходами и диэлектрическими слоями.	Устойчивые изменения вольтамперных характеристик р-n-переходов при облучении. Температурные изменения вольт-амперных характеристик облученных р-n – переходов. Влияние облучения на емкостные свойства р-n - переходов. Ток ионизации в р-n – переходе. Переходные ионизационные эффекты в р-n – переходах. Сравнение деградации р-n – переходов и диодов Шоттки. Лавинно-пролетные диоды. Деградация характеристик биполярных транзисторов.	Лекции	Выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте
4	Радиационные эффекты в GaAs – полупроводниковых приборах и интегральных схемах. Радиационная стойкость оптоэлектронных приборов	Особенности взаимодействия радиационного излучения с арсенидом галлия. Остаточные радиационные эффекты в GaAs-полупроводниковых приборах и интегральных микросхемах. Переходные радиационные эффекты. Радиационно-стойкие волоконно-оптические системы передачи данных. Воздействие ионизирующих излучений на оптоэлектронные приборы. Радиационная стойкость полупроводниковых фотопреобразователей. Оптически управляемые СВЧ устройства. Отличия в воздействии радиации и оптического излучения на ППП	Лекции	Выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте
5	Технологические и физические ограничения миниатюризации транзисторов при радиационном воздействии.	Горизонтальные конфигурации и минимизация горизонтального размера. Вертикальный размер и слоистые структуры	Лекции	Выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте

				что
6	Моделирование радиационного воздействия с помощью физикотопологической модели.	Модели электронно-дырочных переходов. Транзисторные структуры и их модели. Влияние ионизирующего излучения на шумовые свойства транзисторов. Пассивные элементы ИС и их модели. Вторичные ионизационные эффекты в интегральных структурах	Лекции	Выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте

#### 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 «**Экстремальная электроника**».

#### 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 «**Экстремальная электроника**», ответа преподавателя на индивидуальный вопрос (по программе дисциплины) одного из обучающихся.

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

1. Какие виды излучений характерны для ядерного взрыва?
2. Какие виды излучений характерны для ядерных энергетических установок?
3. Какие виды излучений характерны для космического пространства?
4. Какие виды излучений используются в технологических процессах производства дискретных полупроводниковых приборов и интегральных микросхем?
5. В чем заключаются основные особенности взаимодействия нейтронов с веществом?
6. В чем заключаются основные особенности взаимодействия легких заряженных частиц с веществом?
7. Образование дефектов смещения под действием быстрых электронов и гамма-квантов. Области разупорядочения.
8. Влияние радиационного излучения на приборы с  $p-n$  – переходами и диэлектрическими слоями. Температурные изменения.
9. Деградация характеристик биполярных транзисторов.
10. Радиационные эффекты в GaAs – полупроводниковых приборах и интегральных схемах.
11. Особенности взаимодействия радиационного излучения с арсенидом галлия
12. Радиационная стойкость оптоэлектронных приборов
13. Модели электронно-дырочных переходов
14. Транзисторные структуры и их модели.
15. Влияние ионизирующего излучения на шумовые свойства транзисторов.

#### 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 «Экстремальная электроника» 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 пятибалльной 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. Какие виды излучений характерны для ядерного взрыва?
2. Какие виды излучений характерны для ядерных энергетических установок?
3. Какие виды излучений характерны для космического пространства?
4. Какие виды излучений используются в технологических процессах производства дискретных полупроводниковых приборов и интегральных микросхем?
5. В чем заключаются основные особенности взаимодействия нейтронов с веществом?
6. В чем заключаются основные особенности взаимодействия легких заряженных частиц с веществом?
7. Образование дефектов смещения под действием быстрых электронов и гамма-квантов. Области разупорядочения.
8. Влияние радиационного излучения на приборы с  $p - n$  – переходами и диэлектрическими слоями. Температурные изменения.
9. Деградация характеристик биполярных транзисторов.
10. Радиационные эффекты в GaAs – полупроводниковых приборах и интегральных схемах.
11. Особенности взаимодействия радиационного излучения с арсенидом галлия
12. Радиационная стойкость оптоэлектронных приборов
13. Модели электронно-дырочных переходов
14. Транзисторные структуры и их модели.
15. Влияние ионизирующего излучения на шумовые свойства транзисторов.

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

Для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенции (части компетенции) **ПК-2**, используются следующие вопросы из вышеприведенного списка: 10-12.

Для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенции (части компетенции) **ПК-3**, используются следующие вопросы из вышеприведенного списка: 5, 8, 8-15.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Экстремальная электроника»**

а) основная литература:

1. Вавилов В.С., Кекелидзе Н.П., Смирнов Л.С. Действие излучений на полупроводники. – М.: Наука, 1988. – 192 с.
2. Оболенский С.В., Демарина Н.В., Волкова Е.В. Основы физики полупроводников. Транс-

порт носителей заряда в электрических полях: Учебное пособие - Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, 2007. - 67 с.

3. Волкова Е.В., Оболенский С.В. Полупроводниковые диоды: Учебное пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2013. – 89 с.

б) дополнительная литература:

1. Пасынков В. В., Чиркин Л. К. - Полупроводниковые приборы: [учеб. для вузов по специальности "Полупроводники и диэлектрики" и "Полупроводниковые и микроэлектронные приборы"]. - М.: Высшая школа, 1987. - 478, [1] 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 \_\_\_\_\_ С.В. Оболенский

Рецензент \_\_\_\_\_

Заведующий 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 «Экстремальная электроника» 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, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач. Частичные знания о процессах, происходящих при деградации полупроводников при радиационном воздействии.	Общие, но не структурированные знания методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач. Успешное, но не сформированное до конца понимание процессов, происходящих при деградации полупроводников при радиационном воздействии.	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе междисциплинарных. Хорошо структурированные, но содержащие отдельные пробелы знания об общих положениях деградации полупроводников при радиационном воздействии, а также умение их грамотно классифицировать.	Сформированные системные знания методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе междисциплинарных. Полные, хорошо структурированные знания о деградации полупроводников при радиационном воздействии, и их классификации.
У(ПК-1)-1	Отсутствие умений и знаний	Частично освоенное умение определять наиболее актуальные направления исследований. Частичные знания об источниках радиационного излучения.	В целом успешное, но не систематическое использование умения определять наиболее актуальные направления исследований. Общие, но не структурированные знания об источниках радиационного излучения и их характеристиках.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы использование умения определять наиболее актуальные направления исследований. Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания об источниках радиационного излучения и их характеристиках.	Сформированное умение определять наиболее актуальные направления исследований. Полностью сформированные знания о классификации источников радиационного излучения и их характеристиках.

У(ПК-1)-2	Не умеет и не готов формулировать новые научные задачи в области радиофизики и предполагаемые методы их решения, исходя из тенденций развития науки и этапов профессионального роста. Не умеет регистрировать изменения вольтамперных и вольтфарадных характеристик р-п-переходов при облучении.	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 регистрировать изменения вольтамперных и вольтфарадных характеристик р-п-переходов при облучении.	При формулировке новых научных задач в области радиофизики не учитывает тенденции развития науки в области радиофизики и индивидуально-личностные особенности. Общие умения при регистрации изменений вольтамперных и вольтфарадных характеристик р-п-переходов при облучении.	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. Успешное, но содержащее отдельные пробелы умение регистрации изменений вольтамперных и вольтфарадных характеристик р-п-переходов при облучении.	Готов и умеет формулировать новые научные задачи в области радиофизики и предполагаемые методы их решения, исходя из тенденций развития науки в области радиофизики, этапов профессионального роста, индивидуально-личностных особенностей. Умеет регистрировать изменения вольтамперных и вольтфарадных характеристик р-п-переходов при облучении.
У(ПК-1)-3	Отсутствие умений и знаний	Частично освоенное умение при решении исследовательских и практических задач генерировать идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений. Фрагментарное умение сравнивать деградации р-п – переходов и диодов Шоттки.	В целом успешное, но не систематическое осуществление умения при решении исследовательских и практических задач генерировать идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений. Частичное умение сравнивать деградации р-п – переходов и диодов Шоттки.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение при решении исследовательских и практических задач генерировать идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений. В целом успешно, но с небольшими недочетами умеет сравнивать деградации р-п – переходов и диодов Шоттки.	Сформированное умение при решении исследовательских и практических задач генерировать идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений. Умеет сравнивать деградации р-п – переходов и диодов Шоттки.
В(ПК-1)-1	Отсутствие навыков и знаний	Фрагментарное применение технологий критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач и анализа деградации характеристик полевых и биполярных транзисторов	В целом успешное, но не систематическое применение технологий критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач и анализа деградации характеристик полевых и биполярных транзисторов	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 и анализа деградации характеристик полевых и биполярных транзисторов	Успешное и систематическое применение технологий критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач и анализа деградации характеристик полевых и биполярных транзисторов

В(ПК-1)-2	Отсутствие навыков и знаний	Фрагментарное применение технологий планирования профессиональной деятельности и анализа взаимодействия радиационного излучения с арсенидом галлия и остаточных радиационных эффектов в GaAs-полупроводниковых приборах и интегральных микросхемах	В целом успешное, но не систематическое применение технологий планирования профессиональной деятельности и анализа взаимодействия радиационного излучения с арсенидом галлия и остаточных радиационных эффектов в GaAs-полупроводниковых приборах и интегральных микросхемах	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение технологий планирования профессиональной деятельности и анализа взаимодействия радиационного излучения с арсенидом галлия и остаточных радиационных эффектов в GaAs-полупроводниковых приборах и интегральных микросхемах	Успешное и систематическое применение технологий планирования профессиональной деятельности и анализа взаимодействия радиационного излучения с арсенидом галлия и остаточных радиационных эффектов в GaAs-полупроводниковых приборах и интегральных микросхемах
В(ПК-1)-3	Отсутствие навыков и знаний	Фрагментарное владение отдельными навыками анализа радиофизических задач, отдельными навыками использования современных средств вычислительной техники для расчетов и владение навыками в моделировании радиационного воздействия с помощью физико-топологической модели	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 и владение навыками в моделировании радиационного воздействия с помощью физико-топологической модели	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 и владение навыками в моделировании радиационного воздействия с помощью физико-топологической модели	Успешное и систематическое владение навыками самостоятельной постановки, критического переосмысления и решения новых задач в области радиофизики; навыками использования современных средств вычислительной техники для расчетов и владение навыками в моделировании радиационного воздействия с помощью физико-топологической модели

**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. Имеет частичное понятие о современной радиационной стойкости оптоэлектронных и полупроводниковых приборов.	Неполные представления о современном состоянии науки в области радиофизики и о современной радиационной стойкости оптоэлектронных и полупроводниковых приборов.	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы, представления о современном состоянии науки в области радиофизики и о современной радиационной стойкости оптоэлектронных и полупроводниковых приборов.	Сформированные систематические представления о современном состоянии науки в области радиофизики и о современной радиационной стойкости оптоэлектронных и полупроводниковых приборов.

З(ПК-2)-2	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современных подходах к моделированию различных явлений в области радиофизики и оценке полученных результатов и о моделях полупроводниковых приборов, в особенности о моделях электронно-дырочных переходов и транзисторных структур	В целом успешные, но несистемные представления о современных подходах к моделированию различных явлений в области радиофизики и оценке полученных результатов и о моделях полупроводниковых приборов, в особенности о моделях электронно-дырочных переходов и транзисторных структур	В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы, представления о современных подходах к моделированию различных явлений в области радиофизики и оценке полученных результатов и о моделях полупроводниковых приборов, в особенности о моделях электронно-дырочных переходов и транзисторных структур	Сформированные систематические представления о современных подходах к моделированию различных явлений в области радиофизики и оценке полученных результатов и о моделях полупроводниковых приборов, в особенности о моделях электронно-дырочных переходов и транзисторных структур
З(ПК-2)-3	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о требованиях к содержанию и правилах оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях, в том числе в публикациях по теме радианной стойкости полупроводниковых приборов.	Общие представления о требованиях к содержанию и правилах оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях, в том числе в публикациях по теме радианной стойкости полупроводниковых приборов.	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления о требованиях к содержанию и правилах оформления рукописей, наличие однократного опыта публикаций в рецензируемых научных изданиях, в том числе в публикациях по теме радианной стойкости полупроводниковых приборов.	Сформированные представления о требованиях к содержанию и правилах оформления рукописей, наличие неоднократного опыта публикаций в рецензируемых научных изданиях и о моделях полупроводниковых приборов, в особенности о моделях электронно-дырочных переходов и транзисторных структур, в том числе в публикациях по теме радианной стойкости полупроводниковых приборов.
У(ПК-2)-1	Отсутствие умений	Фрагментарное использование методов подготовки научных результатов к публикации в рецензируемых научных изданиях, в том числе в публикациях по теме терагерцевых полупроводниковых приборов	В целом успешное, но не систематическое использование методов подготовки научных результатов к публикации в рецензируемых научных изданиях, в том числе в публикациях по теме терагерцевых полупроводниковых приборов	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы использование методов подготовки научных результатов к публикации в рецензируемых научных изданиях, в том числе в публикациях по теме терагерцевых полупроводниковых приборов	Сформированное умение использовать методов подготовки научных результатов к публикации в рецензируемых научных изданиях, в том числе в публикациях по теме терагерцевых полупроводниковых приборов
У(ПК-2)-2	Отсутствие умений	Умение представлять результаты НИР узкому кругу специалистов, в том числе результаты НИР способные к коммерческому внедрению в технологии разработки специальной радиационно-стойкой аппаратуры	В целом успешное умение представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому сообществу, в том числе результаты НИР способные к коммерческому внедрению в технологии разработки специальной радиационно-стойкой аппаратуры	Успешное умение представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес-сообществу, в том числе результаты НИР способные к коммерческому внедрению в технологии разработки специальной радиационно-стойкой аппаратуры	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 том числе результаты НИР способные к коммерческому внедрению в технологии разработки специальной радиационно-стойкой аппаратуры

В(ПК-2)-1	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков моделирования различных явлений в области радиофизики, оценки полученных результатов и владение навыками проводить моделирование параметров полупроводниковых приборов с учетом наноразмеров, изменяющейся внешней температуры и радиационных облучений	В целом успешное, но не систематическое применение навыков моделирования различных явлений в области радиофизики, оценки полученных результатов и владение навыками проводить моделирование параметров полупроводниковых приборов с учетом наноразмеров, изменяющейся внешней температуры и радиационных облучений	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков моделирования различных явлений в области радиофизики и оценки полученных результатов и владение навыками проводить моделирование параметров полупроводниковых приборов с учетом наноразмеров, изменяющейся внешней температуры и радиационных облучений	Успешное и систематическое применение навыков моделирования различных явлений в области радиофизики, оценки полученных результатов и владение навыками проводить моделирование параметров полупроводниковых приборов с учетом наноразмеров, изменяющейся внешней температуры и радиационных облучений
В(ПК-2)-2	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение современных информационных и коммуникационных технологий сбора теоретических и эмпирических данных, их анализа и представления полученных результатов исследования и проведение статистического анализа параметров радиационно-стойких полупроводниковых приборов, сопоставление его с данными эксперимента и проведение обобщения полученных результатов	В целом успешное, но не систематическое применение современных информационных и коммуникационных технологий сбора теоретических и эмпирических данных, их анализа и представления полученных результатов исследования и проведение статистического анализа параметров радиационно-стойких полупроводниковых приборов, сопоставление его с данными эксперимента и проведение обобщения полученных результатов	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение современных информационных и коммуникационных технологий сбора теоретических и эмпирических данных, их анализа и представления полученных результатов исследования и проведение статистического анализа параметров радиационно-стойких полупроводниковых приборов, сопоставление его с данными эксперимента и проведение обобщения полученных результатов	Успешное и систематическое применение современных информационных и коммуникационных технологий сбора теоретических и эмпирических данных, их анализа и представления полученных результатов исследования и проведение статистического анализа параметров радиационно-стойких полупроводниковых приборов, сопоставление его с данными эксперимента и проведение обобщения полученных результатов
В(ПК-2)-3	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение методов планирования, подготовки и проведения НИР, анализа и обсуждения полученных данных и составления программы - методики полупроводниковых приборов на радиационную стойкость и обобщать, в ходе эксперимента, результаты	В целом успешное, но не систематическое применение методов планирования, подготовки, проведения НИР, анализа полученных данных и составления программы - методики полупроводниковых приборов на радиационную стойкость и обобщать, в ходе эксперимента, результаты	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение методов планирования, подготовки, проведения НИР, анализа полученных данных, формулировка выводов по результатам НИР и составления программы - методики полупроводниковых приборов на радиационную стойкость и обобщать, в ходе эксперимента, результаты	Успешное и систематическое применение методов планирования, подготовки и проведения НИР и анализа и обсуждения полученных результатов; формулировка выводов и рекомендаций по результатам НИР и составления программы - методики полупроводниковых приборов на радиационную стойкость и обобщать, в ходе эксперимента, результаты

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

Шифры планир. результатов	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5

З(ПК-3)-1	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о нормативных документах для составления заявок, грантов, проектов НИР. Частичное применение их при составлении заявок, грантов, проектов НИР по теме радиационной стойкости полупроводниковых приборов.	Неполные представления о нормативных документах для составления заявок, грантов, проектов НИР и представления об их применении при составлении заявок, грантов, проектов НИР по теме радиационной стойкости полупроводниковых приборов	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР и знания о их применении при составлении заявок, грантов, проектов НИР по теме радиационной стойкости полупроводниковых приборов	Сформированные систематические знания нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР и знания о их применении при составлении заявок, грантов, проектов НИР по теме радиационной стойкости полупроводниковых приборов
З(ПК-3)-2	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о требованиях к содержанию и правилах оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях, представления о порядке оформления рукописи по теме радиационной стойкости полупроводниковых приборов.	Общие представления о требованиях к содержанию и правилах оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях и представления о порядке оформления рукописи по теме радиационной стойкости полупроводниковых приборов.	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления о требованиях к содержанию и правилах оформления рукописей, наличие однократного опыта публикаций в рецензируемых научных изданиях и представления о порядке оформления рукописи по теме радиационной стойкости полупроводниковых приборов.	Сформированные представления о требованиях к содержанию и правилах оформления рукописей, наличие неоднократного опыта публикаций в рецензируемых научных изданиях и представления о порядке оформления рукописи по теме радиационной стойкости полупроводниковых приборов.
У(ПК-3)-1	Отсутствие умений	Фрагментарное использование умения самостоятельно интерпретировать результаты научного исследования и умения проводить эксперимент по теме радиационной стойкости полупроводниковых приборов и проводить анализ полученных данных	В целом успешное, но не систематическое использование умения самостоятельно интерпретировать результаты научного исследования и умения проводить эксперимент по теме радиационной стойкости полупроводниковых приборов и проводить анализ полученных данных	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы использование умения самостоятельно интерпретировать результаты научного исследования и умения проводить эксперимент по теме радиационной стойкости полупроводниковых приборов и проводить анализ полученных данных	Сформированное умение самостоятельно интерпретировать результаты научного исследования и умения проводить эксперимент по теме радиационной стойкости полупроводниковых приборов и проводить анализ полученных данных
У(ПК-3)-2	Отсутствие умений	Фрагментарное использование умения оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области радиофизики и возможности их внедрения и умения применять полученные данные в специальном оборудовании, которое используется при радиационном облучении	В целом успешное, но не систематическое использование умения оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области радиофизики и возможности их внедрения и умения применять полученные данные в специальном оборудовании, которое используется при радиационном облучении	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы использование умения оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области радиофизики и возможности их внедрения и умения применять полученные данные в специальном оборудовании, которое используется при радиационном облучении	Сформированное умение оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области радиофизики и возможности их внедрения и умение применять полученные данные в специальном оборудовании, которое используется при радиационном облучении

(ПК-3)-3	Отсутствие умений	Умение готовить отдельные материалы для заявки на получение научных грантов по поручению научного руководителя, в особенности по темам связанным с деградацией параметров терагерцовых полупроводниковых приборов	В целом успешное, но не систематическое использование умения готовить заявки на получение научных грантов и заключения контрактов по НИР, в особенности по темам связанным с деградацией параметров терагерцовых полупроводниковых 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, в особенности по темам связанным с деградацией параметров терагерцовых полупроводниковых приборов	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, в особенности по темам связанным с деградацией параметров терагерцовых полупроводниковых приборов
(ПК-3)-4	Отсутствие умений	Умение представлять результаты НИР узкому кругу специалистов, в том числе результаты работы по темам связанным со стойкостью полупроводниковых приборов	В целом успешное, умение представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому сообществу, в том числе результаты работы по темам связанным со стойкостью полупроводниковых приборов	Успешное умение представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес-сообществу, в том числе результаты работы по темам связанным со стойкостью полупроводниковых приборов	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 том числе результаты работы по темам связанным со стойкостью полупроводниковых приборов
В(ПК-3) -1	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков составления и подачи конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика и применение навыка подачи заявки на выполнение работ по темам связанным со стойкостью полупроводниковых приборов	В целом успешное, но не систематическое применение навыков составления и подачи конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика и применение навыка подачи заявки на выполнение работ по темам связанным со стойкостью полупроводниковых приборов	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков составления и подачи конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика и применение навыка подачи заявки на выполнение работ по темам связанным со стойкостью полупроводниковых приборов	Успешное и систематическое применение навыков составления и подачи конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика и применение навыка подачи заявки на выполнение работ по темам связанным со стойкостью полупроводниковых приборов
В(ПК-3)-2	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков представления научных результатов исследования в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях и заявок на изобретения, в том числе для научных результатов по радиационной стойкости полупроводниковых приборов и возможностях их применения в специальной аппаратуре	В целом успешное, но не систематическое применение навыков представления научных результатов исследования в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях и заявок на изобретения, в том числе для научных результатов по радиационной стойкости полупроводниковых приборов и возможностях их применения в специальной аппаратуре	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков представления научных результатов исследования в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях и заявок на изобретения, в том числе для научных результатов по радиационной стойкости полупроводниковых приборов и возможностях их применения в специальной аппаратуре	Сформированное владение навыками представления научных результатов исследования в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях и заявок на изобретения, в том числе для научных результатов по радиационной стойкости полупроводниковых приборов и возможностях их применения в специальной аппаратуре