

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Радиофизический факультет

---

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Физика шумов и флуктуаций

---

Уровень высшего образования

Магистратура

---

Направление подготовки / специальность

03.04.03 - Радиофизика

---

Направленность образовательной программы

Нелинейные колебания и волны

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.02.01 Физика шумов и флуктуаций относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области физики и радиофизики при решении задач своей профессиональной деятельности	<p>ПК-1.1: Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач</p> <p>ПК-1.2: Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий</p>	<p>ПК-1.1: Способен применять принципы сбора и анализа информации, рассматривать и оценивать современные научные достижения, а также генерировать новые идеи при решении исследовательских и практических задач</p> <p>ПК-1.2: Способен работать с большим объемом данных, систематизировать и анализировать информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий</p>	Индивидуальное устное собеседование	Зачёт: Тест
ПК-2: Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области физики и	<p>ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов</p> <p>ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы</p>	<p>ПК-2.1: Способен анализировать современное состояние исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов</p> <p>ПК-2.2:</p>	Индивидуальное устное собеседование	Зачёт: Тест

радиофизики и оформлять их результаты	исследования в соответствии с типом поставленной задачи ПК-2.3: Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР ПК-2.4: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики	Способен выбирать и применять аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи  ПК-2.3: Не предусмотрено  ПК-2.4: Способен анализировать полученные данные, формулировать выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики		
ПК-3: Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок	ПК-3.1: Использует знание нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР, применяет заданные требования и правила при оформлении рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях ПК-3.2: Представляет результаты НИР академическому и бизнес-сообществу ПК-3.3: Участвует в составлении и подаче конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика	ПК-3.1: Не предусмотрено  ПК-3.2: Не предусмотрено  ПК-3.3: Не предусмотрено	Индивидуальное устное собеседование	Зачёт: Дискуссионное обсуждение

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>2</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
<b>- занятия лекционного типа</b>	<b>32</b>

- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	1
самостоятельная работа	39
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/ лабора- торные работы), часы	Всего	
	Ф О	Ф О	Ф О	Ф О	Ф О
Тема 1. Классификация и описание шумов	8	3	0	3	5
Тема 2. Тепловой шум	8	3	0	3	5
Тема 3. Дробовой шум	9	3	0	3	6
Тема 4. Генерационно–рекомбинационный шум	8	4	0	4	4
Тема 5. Шум лавинообразования	8	4	0	4	4
Тема 6. Взрывной шум	4	2	0	2	2
Тема 7. Фликкерный шум	8	4	0	4	4
Тема 8. Основные модели фликкерного шума	10	5	0	5	5
Тема 9. Методы эквивалентного представления шумов	8	4	0	4	4
Аттестация	0				
КСР	1				1
Итого	72	32	0	33	39

### Содержание разделов и тем дисциплины

Цель курса. Ознакомление с физическими механизмами шумообразования, методами учета и описания шумов и флуктуаций параметров в радиоэлектронных приборах (в основном, твердотельных).

Введение

1. Классификация и описание шумов. 1.1. Классификация шумов. 1.2. Функция корреляции и спектры.

1.3. Мощность шума в полосе частот

2. Тепловой шум. 2.1. Формула Найквиста. 2.2. Учёт квантовомеханических эффектов. 2.3. Шум комплексного двухполюсника. 2.3.1. Интегрирующая RC – цепочка. 2.3.2. Последовательная RC – цепочка. 2.3.3. Высокочастотный колебательный контур

3. Дробовой шум. 3.1. Дробовой шум как пуассоновский случайный процесс. 3.2. Формула Шотки для спектра дробового шума. 3.2.1. Эффект депрессии дробового шума. 3.2.2. Учёт конечности времени пролёта носителей. 3.2.3. Нестационарный дробовой шум

4. Генерационно–рекомбинационный шум (ГРШ). 4.1. Общие сведения. 4.2. Уравнение Ланжевена для

ГРШ. 4.3. Спектр генерационно–рекомбинационного шума. 4.4. Мультипликативный характер ГРШ  
5. Шум лавинообразования. 5.1. Введение. 5.2. Спектр стационарного шума. Формула А.С. Тагера  
6. Взрывной шум  
7. Фликкерный шум. 7.1. Введение. 7.2. Форма спектра фликкерного шума. 7.3. Спектрально-корреляционный анализ фликкерного шума. 7.4. Нестационарность фликкерного шума. 7.5. Мультипликативность шума  
8. Основные модели фликкерного шума. 8.1. Модель Дю Пре – Ван дер Зила. 8.1.1. Спектр фликкерного шума как суперпозиция лоренцевых спектров. 8.1.2. Термоактивированные процессы, как причина фликкерного шума. 8.2. Модель Мак Уортера – Ван дер Зила. 8.3. Фликкерные импульсные последовательности. 8.3.1. Общий подход. 8.3.2. Модель Шенфельда – Малахова. 8.3.3. Модель Халфорда. 8.3.4. Фликкерный шум как суперпозиция случайных процессов телеграфного типа. 8.4. Модель двухуровневых систем. 8.5. Эмпирическая формула Хоухе – Клайнпеннина – Фандамме  
9. Методы эквивалентного представления шумов. 9.1. Коэффициент шума двухполюсника. 9.2. Эквивалентная шумовая температура. 9.3. Эквивалентное шумовое сопротивление. 9.4. Эквивалентная шумовая проводимость. 9.5. Взаимосвязь шумовых параметров формулы Найквиста. 9.6. Эквивалентный шумовой ток (насыщенного диода). 9.7. Взаимосвязь описаний по Найквисту и Шотки

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

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

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

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Якимов А.В. Введение в физику шумов. Учебное пособие. 2-е издание, переработанное и дополненное. // Фонд образовательных электронных ресурсов. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет. Регистрационный номер 2935.22.04. Дата издания 27.06.2022. 103 с. <http://www.lib.unn.ru/students/src/2935.pdf> (Дата последнего обращения: 02.06.2024)

#### **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

##### **5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

##### **5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Индивидуальное устное собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-1:**

Сформированность компетенции в целом соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач

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

Сформированность компетенции в целом соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач

### 5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Индивидуальное устное собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

Сформированность компетенции в целом соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач

### Критерии оценивания (оценочное средство - Индивидуальное устное собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки

## 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений 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	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и несущест	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

			не в полном объеме	в полном объеме, но некоторые с недочетами	некоторые с недочетами	енными недочетам и, выполнены все задания в полном объеме	
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

#### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-1

Сформированность компетенции в целом соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач

### 5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-2

Сформированность компетенции в целом соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки

### 5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Дискуссионное обсуждение) для оценки сформированности компетенции ПК-3

Сформированность компетенции в целом соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Дискуссионное обсуждение)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки

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

Основная литература:

1. Якимов Аркадий Викторович. Введение в физику шумов : учеб. пособие для студентов ННГУ, обучающихся по направлениям подгот. 03.03.03 и 03.04.03 "Радиофизика", 02.03.02 "Фундам. информатика и информ. технологии", 10.05.02 Информ. безопасность телекоммуникац. систем" / А. В. Якимов ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - 2-е изд., перераб. и доп. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2022. - 102 с. - ISBN 978-5-91326-753-5 : 82.93., 2 экз.
2. Якимов Аркадий Викторович. Введение в физику шумов : учебное пособие / А. В. Якимов ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - 2-е изд., перераб. и доп. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2022. - 103 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=796924&idb=0>.



## Дополнительная литература:

1. Ключев А. В. Шумы в радиоэлектронных приборах : учебное пособие / Ключев А. В., Якимов А. В. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2023. - 65 с. - Рекомендовано Учёным советом радиофизического факультета для студентов ННГУ, специализирующихся в лаборатории "Лаборатория перспективных квантовых стандартов частоты и систем точного времени" в рамках Программы стратегического академического лидерства "Приоритет 2030". - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Инженерно-технические науки., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=867967&idb=0>.
2. Введение в квантовые стандарты частоты : учебное пособие / А. В. Ключев, К. Г. Мишагин, В. А. Поляков [и др.] ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2023. - 43 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=877770&idb=0>.
3. Малахов Аскольд Николаевич. Флуктуации в автоколебательных системах. - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1968. - 660 с. - 33.00., 33 экз.
4. Левин Борис Рувимович. Теоретические основы статистической радиотехники. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1989. - 656 с. - 8280.00., 6 экз.
5. Жалуд Вацлав. Шумы в полупроводниковых устройствах / под общ. ред. А. К. Нарышкина. - М. : Советское радио, 1977 ; Прага : Изд-во техн. лит., 1977. - 416 с. : ил. - 1.50., 2 экз.
6. Зеегер К. Физика полупроводников : пер. с англ. Р. Бразиса [и др.] / под ред. Ю. К. Пожелы. - М. : Мир, 1977. - 615 с. : ил. - 2.90., 14 экз.
7. Тагер Александр Семенович. Лавинно-пролетные диоды и их применение в технике СВЧ. - М. : Советское радио, 1968. - 480 с. : ил. - 1.58., 2 экз.
8. Букингем Майкл. Шумы в электронных приборах и системах / пер. с англ. А. Б. Мещерякова [и др.] ; под ред. В. Н. Губанкова. - М. : Мир, 1986. - 398 с. : ил. - 20.00., 3 экз.
9. Белоусов Анатолий Прокофьевич. Коэффициент шума. - М. : Радио и связь, 1981. - 111 с. : ил. - 0.25., 3 экз.

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

Якимов А.В. Введение в физику шумов. Учебное пособие. 2-е издание, переработанное и дополненное. // Фонд образовательных электронных ресурсов. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет. Регистрационный номер 2935.22.04. Дата издания 27.06.2022. 103 с. <http://www.lib.unn.ru/students/src/2935.pdf> (Дата последнего обращения: 02.06.2024)

## 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.04.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Якимов Аркадий Викторович, доктор физико-математических наук, профессор.

Заведующий кафедрой: Мальцев Александр Александрович, доктор физико-математических наук.

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