

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Утверждено:  
на заседании кафедры  
протокол от «23» мая 2019 г. № 7

Согласовано:  
Председатель УМК факультета /института

Зав. кафедрой Бахтизин Р.З. /  \_\_\_\_\_

Балапанов М.Х. /  \_\_\_\_\_

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**Дисциплина «Флуктуационные процессы в физических системах»**  
*(наименование дисциплины)*

**Блок 1. Вариативная часть, обязательные дисциплины Б1.В.02**  
*(Цикл дисциплины и его часть (базовая, вариативная, дисциплина по выбору))*


**Программа магистратуры**

**Направление подготовки:**

**03.04.03 «Радиофизика»**  
*код и наименование направления подготовки (специальности)*

Направленность (профиль) подготовки  
**«Цифровые технологии обработки информации»**

Квалификация  
магистр

Разработчик (составитель) <u>профессор, д.ф.-м.н., профессор</u> <i>(должность, ученая степень, ученое звание)</i>	 / <u>Гоц С.С.</u> <i>(подпись, Фамилия И.О.)</i>
--	--

Для приема: 2019 г.

Уфа 2019

Составитель (составители)

Гоц С.С.

### Список документов и материалов

1. Перечень планируемых результатов обучения дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы	4
2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы;	5
3. Содержание рабочей программы 3.1. Объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся (Приложение А) 3.2. Список вопросов по курсу «Флуктуационные процессы в физических системах» 3.3. Темы лабораторных работ по курсу «Флуктуационные процессы в физических системах»	7
4. Фонд оценочных средств по дисциплине;	10
4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания	10
4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы..... Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций	11
4.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций	
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины. 5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины; 5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет" (далее - сеть «Интернет») и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины ;	17
6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине 6.1 Учебно-лабораторное оборудование 6.2 Технические и электронные средства обучения и контроля знаний студентов 6.3 Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)	19
<i>Приложение А. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)</i>	22
<i>Приложение Б. Тесты контроля качества усвоения дисциплины</i>	26
<i>Приложение В. Пример оформления отчетов по РГР.</i>	29

1. Перечень планируемых результатов обучения дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы (с ориентацией на карты компетенций)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОП ВО по данному направлению подготовки:

**ОПК-4-** способностью к свободному владению профессионально-профилированными знаниями в области информационных технологий, использованию современных компьютерных сетей, программных продуктов и ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет" (далее - сеть "Интернет") для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки

**ПК-3** способностью применять на практике навыки составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей

**ПК-6** способностью составлять обзоры перспективных направлений научно-инновационных исследований, готовность к написанию и оформлению патентов в соответствии с правилами.

Результаты обучения		Формируемые компетенции с указанием кода	Примечание
<b>Знания.</b> Необходимо знать:	Аналоговые и цифровые методы измерения характеристик флуктуационных процессов в радиофизических системах	ПК-3	Данная компетенция формируется в 17-ти дисциплинах
	Методы математического описания и моделирования флуктуационных процессов в физических системах	ПК-3	
	Историю и перспективы развития исследований в области изучения флуктуационных процессов	ОПК-4 ПК-6	Данные компетенции формируются в 12-ти дисциплинах
<b>Умения</b>	Выполнять расчеты статистических характеристик флуктуационных процессов на основе теории вероятностей и статистических методов	ПК-3	
	Оценки перспектив применения флуктуационных методов для изучения радиофизических систем	ОПК-4 ПК-6	
	Решения математических задач по исследованию случайных процессов	ПК-3	
<b>Владения</b> (навыки, опыт деятельности)	Навыками применения флуктуационной спектроскопии и теории случайных полей для оценки состояния различных физических и технических систем	ОПК-4 ПК-6	
	Навыками компьютерных расчетов статистических, корреляционных и спектральных характеристик флуктуаций	ПК-3	
	Навыками планирования научных исследований в области флуктуационной спектроскопии	ОПК-4 ПК-6	

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Флуктуационные процессы в физических системах» относится к вариативной части дисциплин для подготовки магистров направления 03.04.03 «Радиофизика» по профилю «Цифровые технологии обработки информации». Дисциплина изучается в первом семестре 1 курса магистратуры. Данная дисциплина является базовой в плане теоретической подготовки высококвалифицированных работников, владеющих современными статистическими методами расчета радиоэлектронных и инфокоммуникационных систем.

В курсе «Флуктуационные процессы в физических системах» используются единые принципы статистических расчетов случайных процессов. В свою очередь, теоретической базой курса «Флуктуационные процессы в физических системах» являются основные сведения из дисциплин естественно-научного и профессионального циклов: математики, информатики, физики, дискретной математики, теории вероятностей и математической статистики, теории электрических цепей, электроники, аналоговой и цифровой схемотехники.

Целью преподавания дисциплины «Флуктуационные процессы в физических системах» является изучение различных флуктуационных процессов в физических, радиоэлектронных и инфокоммуникационных системах.

Основными задачами освоения дисциплины «Флуктуационные процессы в физических системах» является следующее:

- Знакомство с основными методами математического описания флуктуационных процессов с различной степенью стохастичности;
- Изучение аналоговых и цифровых методов измерения статистических, корреляционных и спектральных характеристик флуктуационных процессов;
- Изучение основных видов флуктуационных процессов в физических системах (тепловой шум, дробовой шум, генерационно-рекомбинационный шум, фликкер-шум, импульсные помехи и шумы);
- Изучение методов математического описания случайных полей;

В результате изучения дисциплины «Флуктуационные процессы в физических системах» у студентов должны сформироваться знания, навыки и умения, позволяющие самостоятельно проводить теоретический анализ и экспериментальные исследования флуктуационных процессов в аналоговых и цифровых радиофизических системах и устройствах; осуществлять формирование, преобразование и обработку случайных сигналов; оценивать реальные и предельные возможности статистических, корреляционных и спектральных характеристик радиофизических систем.

Предусмотренный программой «Флуктуационные процессы в физических системах» учебный материал является не только базой для последующего изучения специальных дисциплин, но имеет также самостоятельное значение для формирования дипломированных специалистов по направлению 03.04.03 «Радиофизика».

В курсе «Флуктуационные процессы в физических системах» предполагается более глубокое изучение отдельных разделов, связанных с методами математического описания флуктуационных процессов и случайных полей. При изучении указанных теоретических разделов особое внимание уделяется практической реализации информационно-измерительных

систем, предназначенных для исследования флуктуационных процессов в радиофизических и в радиотехнических системах.

Приступая к изучению курса «Флуктуационные процессы в физических системах», студенты должны свободно владеть основными понятиями и методами теории линейных и нелинейных электрических цепей, теории вероятностей, математического анализа, линейной алгебры, комбинаторики, информатики и вычислительной техники. Приступая к выполнению лабораторных и практических занятий по курсу «Флуктуационные процессы в физических системах», студенты должны свободно владеть практическими навыками работы на современных персональных компьютерах в среде Linux, Windows, Office, должны знать хотя бы два алгоритмических языка высокого уровня (Pascal, Delphi, Basic, C++, ...), иметь навыки работы с электро- и радиоизмерительными приборами.

На лабораторных занятиях студенты приобретают навыки работы с электро- и радиоаппаратурой, измерительными приборами, компьютерной техникой и периферийным оборудованием, прорабатывают и закрепляют учебный материал на конкретных практических задачах и примерах.

В курсе «Флуктуационные процессы в физических системах» предполагается основное внимание уделить рассмотрению вопросов, связанных с математическим описанием случайных процессов, теории информации, экспериментальным методам исследования случайных процессов.

Курс «Флуктуационные процессы в физических системах» состоит из двух модулей. Первый модуль посвящен рассмотрению основных понятий, связанных с математическим описанием флуктуационных процессов и случайных полей. Второй модуль курса посвящен рассмотрению основных видов флуктуаций в физических системах.

### **3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся) Приложение А.**

#### **3.1. Объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся. Приложение А.**

#### **3.2 Список вопросов по курсу «Флуктуационные процессы в физических системах»**

1. Основные вопросы данной дисциплины. Специфика математических методов описания флуктуационных процессов.
2. Особенности математического описания, моделирования и экспериментального исследования флуктуационных процессов с различной степенью стохастичности.
3. Описание флуктуационных процессов в физических системах с помощью одномерной функции распределения.
4. Аналоговые методы исследования статистики флуктуационных процессов. Оценка вида одномерной функции распределения с помощью осциллографа.
5. Цифровые методы измерения одномерной функции распределения флуктуационных процессов.
6. Центрированные флуктуационные процессы в радиофизических системах.
7. Описание флуктуационных процессов с помощью статистических моментов и кумулянтов.
8. Статистическое оценивание. Несмещенные и состоятельные оценки. Формулы, корректирующие смещенность оценок моментных функций первых четырех порядков для БГШ. Проблемы оценки статистических моментов для низкочастотных флуктуационных процессов.
9. Эргодичность флуктуационных процессов в физике. Использование эргодичности для статистического усреднения и усреднения во времени.
10. Эквивалентность описания флуктуационных процессов в физических системах с помощью характеристической функции и функции распределения.
11. Флуктуационные процессы в физических системах, имеющих нулевые, положительные и отрицательные коэффициенты асимметрии и эксцесса.
12. Флуктуационные процессы в физических системах с нормальным законом распределения. Особенности применимости центральной предельной теоремы для флуктуационных процессов в нанoeлектронных приборах.
13. Описание флуктуационных процессов с помощью стохастических дифференциальных уравнений. Уравнение Фоккера-Планка.
14. Компенсационные радиометры сигналов. Нуль- радиометры сигналов. Модуляционные радиометры сигналов.
15. Описание флуктуационных процессов с помощью двумерной функции распределения. ДФР флуктуационных процессов с нормальной статистикой.
16. Описание флуктуационных процессов с помощью ковариационных, автокорреляционных и взаимно-корреляционных функций.
17. Экспериментальные методы оценки коэффициента корреляции.
18. Описание флуктуационных процессов с помощью энергетических частотных спектров.
19. Математическая модель  $\delta$ -коррелированного шума.
20. Анализ частотных спектров флуктуационных процессов с помощью дискретного и быстрого преобразования Фурье.
21. Пространственно-временные флуктуационные процессы на межфазовых границах и на поверхности твердых тел.

22. Математическое описание и моделирование профилей случайных полей, сочетающих в себе регулярные и нерегулярные составляющие.
23. Пространственно-корреляционные функции случайных полей, имеющих регулярную и хаотическую составляющие.
24. Оценка характеристик регулярных и хаотических составляющих профилей случайных полей с помощью одномерного и двумерного преобразования Фурье.
25. Флуктуационные процессы, связанные с импульсными случайными процессами. Дробовой шум в линейных и в нелинейных электрических цепях.
26. Спектры дробового шума на высоких частотах.
27. Депрессия дробового шума в электровакуумных приборах.
28. Депрессия дробового шума в металлах.
29. Термодинамически равновесные флуктуации в физических системах и их описание в классическом и в квантово-механическом приближениях.
30. Тепловые флуктуации в линейных и нелинейных электрических цепях с различными механизмами диссипации энергии.
31. Эквивалентная температура дробового шума термоэлектронных и полевых эмиссионных приборов.
32. Флуктуации числа носителей в полупроводниковых материалах. Генерационно-рекомбинационный шум.
33. Флуктуации подвижности носителей заряда в полупроводниковых материалах.
34. Флуктуационная спектроскопия энергетических характеристик и времен релаксации.
35. Фликкер-шум. Основные свойства фликкер-шума. Механизмы возникновения ФШ.
36. Описание флуктуационных процессов в физических системах с помощью эмпирической формулы Нооге.
37. Оценка диапазона частот  $1/f$  шума в физических системах на основе различных математических моделей флуктуаторов.
38. Оценка нижней граничной частоты и времени деградации в физических системах с  $1/f^y$  флуктуациями.
39. Некратное интегрирование флуктуационных процессов в радиотехнических системах.
40. Флуктуационные процессы с двухуровневым и многоуровневым квантованием. АКФ и СПМ флуктуационных процессов с квантованием по уровню.



### 3.3. Список тем лабораторных работ

1. Изучение алгоритмов вычисления одномерной функции распределения флуктуационных процессов.
2. Изучение алгоритмов вычисления кумулянтных коэффициентов флуктуационных процессов.
3. Изучение алгоритмов и программной реализации вычисления автокорреляционной функции флуктуационных процессов.
4. Изучение алгоритмов и программной реализации цифровых методов измерения спектральной плотности мощности флуктуационных процессов.
  - а) реализация программы измерения СПМ шума на основе алгоритма ДПФ;
  - б) реализация программы измерения СПМ шума на основе алгоритма БПФ
5. Исследование спектральной плотности мощности и АКФ двухуровневых флуктуационных процессов
  - программа для генерирования двухуровневого флуктуационного процесса;
  - исследование АКФ двухуровневого флуктуационного процесса;
  - исследование СПМ двухуровневого флуктуационного процесса;
6. Исследование с помощью программы 3d Image межфазовых границ физических объектов с позиции моделей случайных полей.
  - а) Подготовка файла изображения межфазовой границы физического объекта (случайного поля) с помощью цифрового фотоаппарата или цифрового микроскопа;
  - б) Чтение файла изображения случайного поля и построение трехмерного изображения с помощью программы 3d Image.
  - в) Получение яркостных профилей строк изображения.
  - г) Расчет одномерных пространственно-корреляционных функций профилей строк.
  - д) Расчет коэффициентов (степени) стохастичности и регулярности (кристалличности) различных участков межфазовой границы.

#### 4. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

##### Формирование компетенции ПК-3:

Способность применять на практике навыки составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей

Этап, уровень освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения (по пятибалльной системе)			
		2 (Неудовлетворительно)	3 (Удовлетворительно)	4 (Хорошо)	5 (Отлично)
Первый этап (знания)	Знать: 1. Аналоговые и цифровые методы измерения характеристик флуктуационных процессов в радиофизических системах; 2. Методы математического описания и моделирования флуктуационных процессов в физических системах	Показывает полное незнание, непонимание материала или имеет фрагментарные знания небольшой части материала, допускает грубые ошибки	Имеет значительные пробелы в знаниях, допускает существенные ошибки в ответах	Знает почти всё, допускает незначительные ошибки в ответах	В совершенстве знает: весь материал по программе дисциплины
Второй этап (умения)	Уметь: 1. Выполнять расчеты статистических характеристик флуктуационных процессов на основе теории вероятностей и статистических методов; 2. Решать математические задачи по исследованию случайных процессов.	Не умеет:	Умеет, но допускает значительные ошибки, неточности.	Умеет, допускает незначительные ошибки, малозначительные неточности.	Умеет в совершенстве.
Третий этап (владение навыками)	Владеть: Навыками компьютерных расчетов статистических, корреляционных и спектральных характеристик флуктуаций	Практически не владеет	Владеет слабо, допускает значительные ошибки	Владеет, допускает незначительные ошибки	Владеет в совершенстве

**Формирование компетенции ОПК-4:**

Способность к свободному владению профессионально-профилированными знаниями в области информационных технологий, использование современных компьютерных сетей, программных продуктов и ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет" (далее - сеть "Интернет") для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки.

**Формирование компетенции ПК-6:**

Способность составлять обзоры перспективных направлений научно-инновационных исследований, готовность к написанию и оформлению патентов в соответствии с правилами.

Этап, уровень освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения (по пятибалльной системе)			
		2 (Неудовлетворительно)	3 (Удовлетворительно)	4 (Хорошо)	5 (Отлично)
Первый этап (знания)	Знать: Историю и перспективы развития исследований в области изучения флуктуационных процессов	Показывает полное незнание материала или имеет фрагментарные знания небольшой части материала, допускает грубые ошибки	Имеет значительные пробелы в знаниях, допускает существенные ошибки в ответах	Знает почти всё, допускает незначительные ошибки в ответах	В совершенстве знает: весь материал по программе дисциплины
Второй этап (умения)	Уметь: Оценки перспектив применения флуктуационных методов для изучения радиофизических систем	Не умеет:	Умеет, но допускает значительные ошибки, неточности.	Умеет, допускает незначительные ошибки, малозначительные неточности.	Умеет в совершенстве.
Третий этап (владение навыками)	Владеть: 1. Навыками планирования научных исследований в области флуктуационной спектроскопии; 2. Навыками применения флуктуационной спектроскопии и теории случайных полей для оценки состояния различных физических и технических систем	Практически не владеет	Владеет слабо, допускает значительные ошибки	Владеет, допускает незначительные ошибки	Владеет в совершенстве

**4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы Формирование компетенций ОПК-4, ПК-3, ПК-6.**

Результаты обучения		Компетенции	Оценочные средства
<b>1-й этап</b> <b>Знания.</b> Необходимо знать:	Математические методы описания, расчетов и измерения физических характеристик сигналов, помех, флуктуационных процессов в физических системах	<b>ОПК-1</b>	Проверка конспектов по списку вопросов п.п.3.2,
	Аналоговые и цифровые методы получения и обработки сигналов и измерительной информации в радиофизических системах	<b>ОПК-1</b>	Тест (дополнительно)
	Перспективы развития статистической радиофизики	<b>ОПК-2</b>	Изучение теоретического материала по описаниям лабораторных работ
<b>2-й этап</b> <b>Умения</b>	Осуществлять математическое и компьютерное моделирование случайных процессов, сигналов, помех, каналов связи	<b>ОПК-1</b>	Собеседование по конспектам по списку вопросов п.п.3.2
	Выполнять расчеты основных статистических характеристик случайных процессов на основе теории вероятностей и статистических методов	<b>ОПК-1</b>	Составление и отладка компьютерных программ по списку заданий лабораторных работ № 1-6
	Выполнять количественную и качественную оценку шумовых характеристик радиофизических систем	<b>ОПК-1</b>	
	Рассчитывать с помощью аналитических и численных методов статистические характеристики случайных полей	<b>ОПК-2</b>	Выполнение расчетно-графических работ.
<b>3-й этап</b> <b>Владения</b> (навыки, опыт деятельности)	Навыками составления компьютерных программ в объеме, достаточном для реализации математических моделей стохастических сигналов, помех, линейных и нелинейных преобразований сигналов	<b>ОПК-2</b>	Коллоквиум по списку вопросов п.п.3.2
	Навыками компьютерных расчетов статистических, корреляционных и спектральных характеристик случайных процессов	<b>ОПК-1</b>	Проведение статистических расчетов согласно заданиям лабораторных работ № 1 – 6
	Методами решения математических задач по исследованию случайных процессов	<b>ОПК-1</b>	
	Навыками проведения экспериментальных исследований случайных процессов и случайных полей в радиофизических системах	<b>ОПК-1</b>	Выполнение расчетно-графических работ.

Примечание. Описания лабораторных работ № 1 – 5 и РГР доступны студентам в виде файлов на каждом из 12-ти компьютеров к.316. Описания обновляются несколько раз за каждый семестр сообразно обновлению МТО и программного обеспечения (ПО).

Формирование данных компетенций осуществляется на лекциях, лабораторных занятиях, при самостоятельном изучении литературных источников. При текущем и рубежном контроле оценка уровня освоения данной компетенции осуществляется преподавателем исходя из письменных (конспекты) и устных ответов на следующие вопросы:

#### **Вопросы к текущему и рубежному контролю по теоретическому материалу**

1. Специфика математических методов описания флуктуационных процессов.
2. Флуктуационные процессы с различной степенью стохастичности.
3. Описание флуктуационных процессов с помощью одномерной функции распределения.
4. Аналоговые методы исследования статистики флуктуаций с помощью осциллографа.
5. Цифровые методы измерения одномерной функции распределения флуктуаций.
6. Центрированные флуктуационные процессы в радиотехнике и в радиофизике.
7. Описание и анализ флуктуаций с помощью статистических моментов и кумулянтов.
8. Статистическое оценивание. Несмещенные и состоятельные оценки. Формулы, корректирующие смещенность оценок моментных функций первых четырех порядков для БГШ.
9. Эргодичность флуктуационных процессов в радиофизике и в радиотехнике.
10. Описание флуктуаций с помощью характеристической функции и функции распределения.
11. Флуктуационные процессы в физических системах, имеющих нулевые, положительные и отрицательные коэффициенты асимметрии и эксцесса.
12. Флуктуационные процессы в физических системах с нормальным законом распределения. Особенности применимости центральной предельной теоремы в наноэлектронике.
13. Описание флуктуационных процессов с помощью стохастических дифференциальных уравнений. Уравнение Фоккера-Планка.
14. Компенсационные радиометры сигналов. Нуль-радиометры. Модуляционные радиометры.
15. Описание флуктуационных процессов с помощью двумерной функции распределения.
16. Ковариационные, автокорреляционные и взаимно-корреляционные функции флуктуаций.
17. Экспериментальные методы оценки коэффициента корреляции.
18. Описание флуктуационных процессов с помощью энергетических частотных спектров.
19. Математическая модель  $\delta$ -коррелированного шума.
20. Анализ частотных спектров с помощью дискретного и быстрого преобразования Фурье.
21. Пространственно-временные флуктуационные процессы на поверхности твердых тел.
22. Моделирование случайных полей с регулярными и нерегулярными составляющими.
23. Пространственно-корреляционные функции случайных полей, имеющих регулярную и хаотическую составляющие.
24. Оценка характеристик регулярных и хаотических составляющих профилей случайных полей с помощью одномерного и двумерного преобразования Фурье.
25. Импульсные случайные процессы. Дробовой шум в линейных и в нелинейных системах.
26. Спектры дробового шума на высоких частотах.
27. Депрессия дробового шума в электровакуумных приборах.
28. Депрессия дробового шума в металлах.
29. Теория теплового шума в классическом и в квантово-механическом приближениях.
30. Тепловые флуктуации в линейных и нелинейных электрических цепях с различными механизмами диссипации энергии.
31. Эквивалентная температура дробового шума в эмиссионных приборах.

32. Флуктуации числа носителей в полупроводниках. Генерационно-рекомбинационный шум.
33. Флуктуации подвижности носителей заряда в полупроводниковых материалах.
34. Флуктуационная спектроскопия энергетических характеристик и времен релаксации.
35. Фликкер-шум. Основные свойства фликкер-шума. Механизмы возникновения ФШ.
36. Эмпирическая формула Нооге для  $1/f$  шума.
37. Оценка диапазона частот  $1/f$  шума в физических системах.
38. Оценка нижней граничной частоты и времени деградации систем с  $1/f^{\gamma}$  флуктуациями.
39. Некратное интегрирование флуктуационных процессов в радиотехнических системах.
40. Флуктуационные процессы с двухуровневым и многоуровневым квантованием.

#### 4.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

В ходе освоения дисциплины предусмотрена текущая, промежуточная и итоговая аттестация.

**Текущий контроль** - это контроль над всеми видами аудиторной и внеаудиторной работы студентов по данному дисциплинарному модулю, результаты которой оцениваются до рубежного контроля.

Каждый модуль предусматривает от трех до пяти этапов текущего контроля. Список вопросов, задач или заданий по каждому этапу текущего контроля доводится до студентов заранее в устной форме и на электронных носителях. Успешное выполнение каждого задания преподаватель фиксирует в своем журнале.

Текущий контроль по лабораторным занятиям проводится в виде отметки о выполнении работы, предоставлении отчета по работе и расчетно-графической работе (РГР), защиты отчета по лабораторной работе и РГР.

Критерии оценивания компетенций по зачетной РГР

Результаты обучения		Компетенции	Критерий оценивания	
			Не зачтено	Зачтено
<b>1-й этап</b> <b>Знания.</b> Необходимо знать:	Математические методы описания, расчетов и измерения физических характеристик сигналов, помех, флуктуационных процессов в физических системах	<b>ОПК-1</b>	Не знает	знает
	Аналоговые и цифровые методы получения и обработки сигналов и измерительной информации в радиофизических системах	<b>ОПК-1</b>	Не знает	знает
	Перспективы развития статистической радиофизики	<b>ОПК-2</b>	Не знает	знает
<b>2-й этап</b> <b>Умения</b>	Осуществлять математическое и компьютерное моделирование случайных процессов, сигналов, помех, каналов связи	<b>ОПК-1</b>	Не знает	знает
	Выполнять расчеты основных статистических характеристик случайных процессов на основе теории вероятностей и статистических методов	<b>ОПК-1</b>	Не знает	знает
	Выполнять количественную и качественную оценку шумовых характеристик радиофизических систем	<b>ОПК-1</b>	Не знает	знает
	Рассчитывать с помощью аналитических и численных методов статистические характеристики случайных полей	<b>ОПК-2</b>	Не знает	знает
<b>3-й этап</b>	Навыками составления компьютерных программ в объеме, достаточном для	<b>ОПК-2</b>	Не знает	знает

Владения (навыки, опыт деятель- ности)	реализации математических моделей стохастических сигналов, помех, линейных и нелинейных преобразований сигналов			
	Навыками компьютерных расчетов статистических, корреляционных и спектральных характеристик случайных процессов	<i><b>ОПК-1</b></i>	Не знает	знает
	Методами решения математических задач по исследованию случайных процессов	<i><b>ОПК-1</b></i>	Не знает	знает
	Навыками проведения экспериментальных исследований случайных процессов и случайных полей в радиофизических системах	<i><b>ОПК-1</b></i>	Не знает	знает

Зачет по РГР выставляется после выполнения всех заданий по пяти РГР, составления и сдачи отчетов, оформленных на ЭВМ и распечатанных на бумаге.

**Рубежный контроль** – проверка полноты знаний, умений и навыков по материалу модуля в целом.

Рубежный контроль проводится в форме коллоквиума или собеседования. К собеседованию студенты готовят развернутые планы ответов по списку вопросов. Вопросы охватывают материал целого модуля и также включают темы лекционных занятий, лабораторных работ, практических занятий и самостоятельной работы.

**Итоговый контроль** – форма контроля, проводимая по завершении изучения дисциплины в семестре.

Итоговый контроль по дисциплине «Флуктуационные процессы в физических системах» проводится во время сессии в первом семестре в форме зачета по расчетно-графическим работам и экзамена по теоретическому материалу.

Структура экзаменационного билета:

Билет состоит из двух теоретических вопросов. Вопросы к экзамену приведены в разделе 3.2. РПД.

**Образец экзаменационного билета:**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
 ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет»  
 Физико-технический институт

Кафедра физической электроники и нанофизики

Экзаменационный билет № XX

По дисциплине «Статистическая радиофизика»

1. Описание флуктуационных процессов с помощью стохастических дифференциальных уравнений. Уравнение Фоккера-Планка.
2. Некратное интегрирование флуктуационных процессов в радиотехнических системах.

«Утверждаю»

Зав. кафедрой ФЭиН, профессор



Р.З.Бахтизин

**Критерии оценки итогового контроля.**

При приеме экзамена используется 5-бальная система оценок.

**5 баллов – оценка отлично.**

Ответы на вопросы должны показать глубокие, прочные знания студента. Ответы должны быть логичными и доказательными. Студенту необходимо знать основные понятия, термины, развернутые определения, использовать современные данные науки. Студент должен устанавливать причинно-следственные связи, применять знания в новой ситуации. Студент должен продемонстрировать умение делать аргументированные выводы.

**4 балла – оценка хорошо.**

Ответ студента должен показать глубокие, прочные знания. Ответ должен быть логичным и доказательным. Студенту необходимо знать основные понятия, термины, развернутые определения, использовать данные современной науки. Студенту необходимо устанавливать причинно-следственные связи, излагать материал с учетом принципов объективности и научности. В ответе допускаются отдельные несущественные неточности.

**3 балла – оценка удовлетворительно.**

Ответы на вопросы должны показать знания поставленных вопросов. Необходимо знать основные понятия, термины, развернутые определения, фактический материал, использовать данные современной науки. В ответе могут допускаться существенные ошибки и неточности.

**2 балла – оценка неудовлетворительно.**

Ответы на поставленные вопросы не соответствуют их содержанию или минимальной полноте изложения основных понятий, терминов, определений, примеров реализации. Студент не умеет составлять и анализировать схемы, применяемые в системах связи, устанавливать причинно-следственные связи, излагать материал с учетом принципов научности и объективности, анализировать указанные источники. Ответ студента не соответствует вопросу, а так же при отсутствии ответа и при отказе от ответа.



Для допуска к экзамену студент должен прослушать весь курс лекций, пройти собеседование и успешно сдать коллоквиум по теоретическим вопросам, выполнить пять лабораторных работ, выполнить пять расчетно-графических работ (РГР), составить по ним отчеты в установленной форме и получить зачет по РГР.

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

### 5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

#### Основная литература

1. Гоц С.С. Основы описания и компьютерных расчетов характеристик случайных процессов в статистической радиофизике. Уфа, 2005, 166 с (В библиотеке БашГУ – 5 экз., в кабинете 316 к. – 10 экземпляров).
2. Якимов А.В. Физика шумов и флуктуаций параметров. Нижний Новгород, 2013, 84 с. [http://www.unn.ru/books/met\\_files/Yakimov\\_Noise.pdf](http://www.unn.ru/books/met_files/Yakimov_Noise.pdf)
3. Ахманов С.А., Флуктуационные процессы в физических системах и оптика. Случайные колебания и волны в линейных системах.- Физматлит, 2010, 425 с. (Электронный ресурс)/ Ахманов С.А.- М.: Физматлит, 2010. <http://bookre.org/reader?file=1471896>

#### Дополнительная литература

1. Гоц С.С. Основы построения и программирования автоматизированных систем цифровой обработки сигналов. 4-е издание. - Уфа, 2009, 221 с.
2. **Гоц, Сергей Степанович.** Теория электрической связи : курс лекций .— Уфа : БашГУ, 2009-.Ч. 2 [Электронный ресурс] .— 2009 .— Электрон. версия печ. публикации .— Доступ возможен через Электронную библиотеку БашГУ .— <URL:<https://elib.bashedu.ru/dl/read/GotsTeorElektrSvyzi2.pdf>>.
3. Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику. Часть 1. Случайные процессы. М.: Наука, 1976, 494 с. (В библиотеке и в кабинете к.316)
4. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. Часть 2. Случайные поля. 1978.(в кабинете к.316) и на сайте <http://techlibrary.ru/>
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика, ч.1. М.: Наука, 1976, 584 с.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Том 09. Статистическая физика. Часть 2. 1978.

### 5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет" (далее - сеть «Интернет»), необходимых для освоения дисциплины (модуля);

#### А). Ресурсы Интернет.

1. Электронная библиотечная система. ЭБ БашГУ. — Собственная электронная библиотека учебных и научных электронных изданий, которая включает издания преподавателей БашГУ. Авторизованный доступ по паролю из любой точки сети Интернет. Регистрация в Библиотеке БашГУ, дальнейший доступ из любой точки сети Интернет. — <https://elib.bashedu.ru/>
2. Электронная библиотечная система .Университетская библиотека онлайн. — Полнотекстовая БД учебных и научных электронных изданий. Авторизованный доступ по паролю из любой точки сети Интернет. Регистрация в Библиотеке БашГУ, дальнейший доступ из любой точки сети Интернет. — <https://biblioclub.ru/>
3. Электронная библиотечная система издательства .Лань. — Полнотекстовая БД учебных и научных электронных изданий. Авторизованный доступ по паролю из любой точки сети Интернет. Регистрация в Библиотеке БашГУ,

дальнейший доступ из любой точки сети Интернет. — <https://e.lanbook.com/>  
 4. Электронный каталог Библиотеки БашГУ — Справочно-поисковый аппарат библиотеки. Включает в себя систему каталогов и картотек, справочно-библиографический фонд. — <http://www.bashlib.ru/catalogi/>

**1. Гоц, Сергей Степанович**. Теория электрической связи : курс лекций .— Уфа : БашГУ, 2009-.

Ч. 2 [Электронный ресурс] .— 2009 .— Электрон. версия печ. публикации .— Доступ возможен через Электронную библиотеку БашГУ .—

<URL:<https://elib.bashedu.ru/dl/read/GotsTeorElektrSvyzi2.pdf>>.

2. [www.yandex.ru](http://www.yandex.ru)

3. [https://www.google.ru/?gfe\\_rd=cr&ei=DNypVuLhCcG9wAPrmIHABw&gws\\_rd=ssl](https://www.google.ru/?gfe_rd=cr&ei=DNypVuLhCcG9wAPrmIHABw&gws_rd=ssl)

4. [www.scopus.com](http://www.scopus.com)

5. [www.bashlib.ru](http://www.bashlib.ru)

6. [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)

7. [www.aps.org](http://www.aps.org)

8. <http://journals.aps.org>

**6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**  
**6.1 Учебно-лабораторное оборудование**

5	«Флуктуационные процессы в физических системах»	<p>1. учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа: лаборатория 316 (физмат корпус).</p> <p>2. учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций, учебная аудитория для текущего контроля и промежуточной аттестации: лаборатория 316 (физмат корпус).</p>	<p align="center"><b>Лаборатория № 316</b></p> <p>1. Колонки Microlab 2.0 PRO3, тема 237, инв. № 000000028114.</p> <p>2. Блок питания HY HY 3003, HY 3003 D-2, Цифровой Element 305 D, 4шт., инв.№ 000002101043128, 000002101043181, 000002101043178, 210134000002848.</p> <p>3. Модем Asus, инв.№ 000002101043035.</p> <p>4. Мультиметр MY890G, инв. № 000000000001080.</p> <p>5. Стол аудиторный (12 шт.), инв. № 000001101060978, 000001101060979, 000001101060980, 000001101060981, 000001101060982, 000001101060983, 000001101060984, 000001101060985, 000001101060986, 000001101060987, 000001101060988, 000001101060989</p> <p>6. Стол письменный «Ронда» (венге/дуб/молочный) ДСВ мебель, г. Пенза, (3шт.), инв. № ИСПР00012964.</p> <p>7. Стул «Визи», (9 шт.), инв. № 000000000001551.</p> <p>8. Генератор GFG-8215A, АНР 1002, 2 шт., инв.№ 000002101043080, 000002101043334.</p> <p>9. Компьютер в составе: системный блок Core i3-530, монитор BenQ, мышь, кл-ра, инв. № 000002101048114.</p> <p>10. Лазерный принтер HP Laser Jet 1000W, инв.№ 000002101041480.</p> <p>11. Монитор 0.20 Samsung Sync Master 783 DF, 2 шт., инв. № 000001101043240, 000001101043242.</p> <p>12. Монитор 17” Samsung Sam Tron 76E TCO”99, инв. № 000002101041709.</p> <p>13. Монитор Beng FP91G+U silver-black 19’, инв. № 000002101046670.</p> <p>14. Монитор LG L1942P-SF silver 19’ инв. № 000002101047450.</p> <p>15. Ноутбук р G62-b11ER/DVD-RW 15.6”, инв.№ 000002101048115.</p> <p>16. Осциллограф ОСУ-20 (20МГц, 2 кан.), ОСУ-10, 2 шт., инв.№ 000002101043084, 000002101043308.</p> <p>17. Персональный компьютер в комплекте Моноблок iRU 502 21.5”, 2 шт., инв.№ 410134000001148, 410134000001140.</p> <p>18. Принтер HP Laser Jet P1102, инв. № 000002101048112.</p> <p>19. Проектор Aser P1220 1024*768, инв.№ 210134000000220.</p> <p>20. Проектор мультимидийный Epson EB-X8, инв.№ 000002101048119.</p> <p>21. Системный блок компьютера Pent4 , инв. № 000001101043837.</p> <p>22. Стеллаж архивный СТФЛ 244-2,0, г. Уфа, (2 шт.), инв. № 210134000003623, 210136000004245.</p>	<p>1. Maple 16: Universities or Equivalent Degree Granting Institutions New License 5 to 100 Users Academic, договор №263 от 07.12.2012 г. Подтверждается лицензией №854 от 25.12.2015г. Срок лицензии - бессрочно. (316)</p> <p>2. Права на программы для ЭВМ AcademicEdition Networked Volume Licenses RAD Studio XE7 Professional Concurrent ELC. Договор № 114 от 12.11.2014 г.. Срок действия документа –бессрочно.</p> <p>3. Windows 8 Russian. Windows Professional 8 Russian Upgrade. Лицензия: OLP NL Academic Edition. Договор №104 от 17.06.2013 г. Срок лицензии - бессрочная.</p> <p>4. Microsoft Office Standard 2013 Russian. OLP NL Academic Edition. Договор №114 от 12.11.2014 г. Срок лицензии - бессрочная.</p> <p>5.«Права на программы для ЭВМ Office Standart 2013 Russian OLP NL Academic Edition», гражданско-правовой договор № 114 от 12 ноября 2014 г. Срок лицензии – бессрочно.</p>
---	---	--	--	---

		<p>23. Шкаф комбинированный секция №09 (венге/дуб/молочный), г. Пенза, инв. № 210136000004244.</p> <p>24. Огнетушитель порошковый закачной ОП-8 (з), (10л., 8 кг.), инв. № ИСПР00013412.</p>	
	<p><b>3. учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа:</b> лаборатория 316 (физмат корпус), лаборатория 314 (физмат корпус).</p>	<p><b>Лаборатория № 314</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Генератор GFG 8219 А, инв.№ 000002101043285.</li> <li>2. Монитор 19” Samsung, инв.№ 000001101043469.</li> <li>3. Осциллограф С-1-220 (20 МГц, 2 кан.), инв.№ 000002101043304.</li> <li>4. персональный компьютер в комплекте моноблок iRU 502 21.5’, инв. № 410134000001129.</li> <li>5. Сплит Система Panasonic CS/CU PC 12 DKD, инв.№ 000002101043054.</li> <li>6. Шкаф витрина ШВ 190/1, инв. № 000001101062306.</li> <li>7. Блок питания НУ 1803, инв.№ 000002101043156</li> <li>8. Жалюзи горизонтальные, инв. № 00002101065502.</li> <li>9. Жалюзи горизонтальные, инв. № 00002101065503.</li> <li>10. Мультиметр М 830, инв. № 000000000001078 (2 шт.).</li> <li>11. Мультиметр, инв. № 000000000001074.</li> <li>12. Мультиметр М 890 G, инв. № 000000000001080.</li> <li>13. Портрет, инв. № 000000000001364.</li> <li>14. Сетевой фильтр, инв. № 000ИСПР00001556 (3 шт.).</li> <li>15. Стол компьютерный СК-106, инв. № 000001101062316.</li> <li>16. Стол компьютерный СК-106, инв. № 000001101062311.</li> <li>17. Стол компьютерный СК-106, инв. № 000001101062315.</li> <li>18. Стул «Визи», инв. № 000000000001551 (2 шт.).</li> <li>19. Стул офисный, инв. № 000000000001556 (3 шт.).</li> <li>20. Тумба приставная ТП4Я, 4 ящика, инв. № 000001101062317.</li> <li>21. Сверхвысоковакуумный сканирующий туннельный микроскоп (ВУП-4).</li> <li>22. Огнетушитель порошковый закачной ОП-8 (з), (10л., 8 кг.), инв. № ИСПР00013412.</li> </ol>	
	<p><b>4. помещения для самостоятельной работы:</b> читальный зал № 2 (физмат корпус), зал доступа к электронной информации библиотеки (вход через читальный зал № 2 физмат корпус).</p>	<p><b>Читальный зал № 2</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Научный и учебный фонд.</li> <li>2. Научная периодика.</li> <li>3. ПК (моноблок) - 3 шт.</li> <li>4. Wi-Fi доступ для мобильных устройств.</li> <li>5. Неограниченный доступ к ЭБС и БД.</li> <li>6. Количество посадочных мест – 50.</li> </ol> <p><b>Зал доступа к электронной информации библиотеки</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ПК (моноблок) – 8 шт., подключенных к сети Интернет.</li> <li>2. Неограниченный доступ к электронным БД и ЭБС.</li> <li>3. Количество посадочных мест – 8.</li> </ol>	

Для проведения лабораторного практикума по дисциплине «Флуктуационные процессы в физических системах» предназначена специализированная лаборатория – «Цифровая обработка сигналов и изображений», расположенная в аудитории № 316 физико-математического корпуса. Лаборатория укомплектована современными радиоизмерительными приборами и персональными компьютерами.

**Лабораторные работы №1 – 6** выполняются на 12-ти лабораторных установках, созданных на основе современных персональных компьютеров Pentium – III и Pentium IV.

Имеется локальная компьютерная сеть и Internet 10/100 Мбит/с.

К четырем персональным компьютерам подключены аналого-цифровые преобразователи АЦП Ф4222 через параллельный порт.

В двух компьютерах установлены интерфейсные платы ввода-вывода L-154.

В шести персональных компьютерах установлены платы SB с акустическим оборудованием и программным обеспечением.

Лаборатория оборудована лазерным принтером.

В лаборатории имеются следующие измерительные приборы:

Универсальные осциллографы – 6 шт.

Генераторы шума Г2-37, Г2-57.

Генераторы низкочастотных сигналов Г3-109, Г3-102, Г3-111, Г3-118.

Генераторы сигналов с прямым цифровым синтезом.

Генераторы высокочастотных сигналов Г4-106, Г4-116.

Генераторы импульсов Г5-54, Г5-60 – 6 шт.

Селективные вольтметры В6-1, WMS-4, SMV-11.

Регулируемые источники питания – 10 шт.

Цифровые мультиметры – 6 шт.

Милливольтметры переменного тока – 4 шт.

Частотомеры ЧЗ-34 и ЧЗ-35.

Анализатор сигналов С4-34.

## **6.2 Технические и электронные средства обучения и контроля знаний студентов**

При проведении лекций используются персональные компьютеры с показом графического и текстового материала через мультимедийный проектор, мониторы и телевизоры. Для воспроизведения звука используются высококачественные усилители и акустические системы.

Широко используются цифровые видеокамеры, цифровые фотоаппараты и средства цифровой записи и обработки изображений.

Ряд учебных материалов и все описания лабораторных работ, практических занятий доступны студентам на электронных носителях.

## **6.3. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

1. Операционные системы DOS 6.22 Dos 7.0.
2. Операционная система Linux.
3. Операционные системы Windows XP, Windows 7, Windows 8.1, Windows 10
4. Пакет программ Open Office.
5. Программа 3D Image.
6. Программа «Двухканальный анализатор сигналов»
7. Программа «Генератор сигналов»
8. Среда программирования «Turbo Pascal 7»
9. Среда программирования Delphi.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.В.02 «Флуктуационные процессы в физических системах»  
на 1-й семестр

Очная  
форма обучения

*Рабочую программу осуществляют:*

*Лекции: Гоц Сергей Степанович*

*проф. кафедры ФЭиН, д. ф.-м. н., проф.*

*Лабораторные и практические занятия: Гоц Сергей Степанович*

*проф. кафедры ФЭиН, д. ф.-м. н., проф.*

<b>Вид работы</b>	<b>Объем дисциплины</b>
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	5/180
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	35.7
лекций	16
практических/ семинарских	0
лабораторных	18
Самостоятельная работа СР	117.3
других (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности, предусматривающие работу обучающихся с преподавателем) ФКР	1.7
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся включая подготовку к экзамену/зачету (контроль)	27

Форма(ы) контроля:

экзамен \_\_\_ 1 \_\_\_ семестр

зачет \_\_\_ 1 \_\_\_ семестр

## Продолжение приложения А

№ п.п	Тема и содержание разделов дисциплины	Форма изучения материалов: лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)				Основная и дополнит. литература, рекомендуемая студентам (№ из списка)	Задания по самостоятельной работе студентов	Форма контроля самостоятельной работы
		Лекции	ПР/СЕМ	Лабораторные работы	СР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Модуль 1. Математическое описание случайных процессов и случайных полей</b>								
1	<p>1. Основные вопросы данной дисциплины. Специфика математических методов описания флуктуационных процессов.</p> <p>2. Особенности математического описания, моделирования и экспериментального исследования флуктуационных процессов с различной степенью стохастичности.</p> <p>3. Описание флуктуационных процессов в физических системах с помощью одномерной функции распределения.</p> <p>4. Аналоговые методы исследования статистики флуктуационных процессов. Оценка вида одномерной функции распределения с помощью осциллографа.</p> <p>5. Цифровые методы измерения одномерной функции распределения флуктуационных процессов.</p> <p>6. Центрированные флуктуационные процессы в радиотехнических системах и в радиофизике.</p> <p>7. Описание и анализ флуктуационных процессов с помощью статистических моментов и кумулянтов.</p> <p>8. Статистическое оценивание. Несмещенные и состоятельные оценки. Формулы, корректирующие смещенность оценок моментных функций первых четырех порядков для БГШ. Проблемы оценки статистических моментов для низкочастотных флуктуационных процессов.</p> <p>9. Эргодичность флуктуационных процессов в физике. Использование эргодичности для статистического усреднения и усреднения во времени.</p> <p>10. Эквивалентность описания флуктуационных процессов в физических системах с помощью характеристической функции и функции распределения.</p>	8	-	8	57. 3	Л.1  Л.2  Л.3	С.3 - 40  С. 3-138  Составление отчетов по лабораторно-торным работам № 1 – 4,  Подготовка рабочих конспектов проработки теоретических вопросов.	Защита отчетов по лабораторным работам  Проверка расчетно-графических работ  Проверка отчетов по самостоятельной работе.  Проверка рабочих конспектов проработки вопросов.  Коллоквиум

## Продолжение приложения А

<p>11. Флуктуационные процессы в физических системах, имеющих нулевые, положительные и отрицательные коэффициенты асимметрии и эксцесса.</p> <p>12. Флуктуационные процессы в физических системах с нормальным законом распределения. Особенности применимости центральной предельной теоремы для флуктуационных процессов в нанoeлектронных приборах.</p> <p>13. Описание флуктуационных процессов с помощью стохастических дифференциальных уравнений. Уравнение Фоккера-Планка.</p> <p>14. Компенсационные радиометры сигналов. Нуль- радиометры сигналов. Модуляционные радиометры сигналов.</p> <p>15. Описание флуктуационных процессов с помощью двумерной функции распределения. ДФР флуктуационных процессов с нормальной статистикой.</p> <p>16. Описание флуктуационных процессов с помощью ковариационных, автокорреляционных и взаимно-корреляционных функций.</p> <p>17. Экспериментальные методы оценки коэффициента корреляции.</p> <p>18. Описание флуктуационных процессов с помощью энергетических частотных спектров.</p> <p>19. Математическая модель <math>\delta</math>-коррелированного шума.</p> <p>20. Анализ частотных спектров флуктуационных процессов с помощью дискретного и быстрого преобразования Фурье.</p> <p>21. Пространственно-временные флуктуационные процессы на межфазовых границах и на поверхности твердых тел.</p> <p>22. Математическое описание и моделирование профилей случайных полей, сочетающих в себе регулярные и нерегулярные составляющие.</p> <p>23. Пространственно-корреляционные функции случайных полей, имеющих регулярную и хаотическую составляющие.</p> <p>24. Оценка характеристик регулярных и хаотических составляющих профилей</p>	Л.1	С.3 - 40	<p>Защита отчетов по лабораторным работам</p> <p>Проверка расчетно-графических работ</p> <p>Проверка отчетов по самостоятельной работе.</p> <p>Проверка рабочих конспектов проработки вопросов.</p> <p>Коллоквиум</p> <p>Экзамен</p>
	Л.2	С. 3-138	
	Л.3	Составление отчетов по лабораторным работам № 1 – 5,	
		Подготовка рабочих конспектов проработки теоретических вопросов.	
Расчетно-графическая работа № 1. Расчет на ЭВМ одномерной функции распределения случайных процессов	Л1.	Рассчитать ОФР 8-ми случайных процессов	РГР № 1
Расчетно-графическая работа № 2 Расчет на ЭВМ кумулянтных коэффициентов случайных процессов	Л1	Рассчитать кумулянты 8-ми случайных процессов	РГР № 2
Расчетно-графическая работа № 3 Расчет на ЭВМ автокорреляционной функции случайных процессов	Л1	Рассчитать АКФ 8-ми случайных процессов	РГР № 3
Расчетно-графическая работа № 4 Расчет на ЭВМ спектральных характеристик случайных процессов	Л1	Рассчитать СПМ 8-ми случайных процессов	РГР № 4
Расчетно-графическая работа № 5 . Расчет на ЭВМ двумерной функции распределения случайных процессов	Л1	Рассчитать ДФР 8-ми случайных процессов	РГР № 5



Модуль 2. Основные виды флуктуаций в физических система								
2	<p>25. Флуктуационные процессы, связанные с импульсными случайными процессами. Дробовой шум в линейных и в нелинейных электрических цепях.</p> <p>26. Спектры дробового шума на высоких частотах.</p> <p>27. Депрессия дробового шума в электровакуумных приборах.</p> <p>28. Депрессия дробового шума в металлах.</p> <p>29. Термодинамически равновесные флуктуации в физических системах и их описание в классическом и в квантово-механическом приближениях.</p> <p>30. Тепловые флуктуации в линейных и нелинейных электрических цепях с различными механизмами диссипации энергии.</p> <p>31. Эквивалентная температура дробового шума термоэлектронных и полевых эмиссионных приборов.</p> <p>32. Флуктуации числа носителей в полупроводниковых материалах. Генерационно-рекомбинационный шум.</p> <p>33. Флуктуации подвижности носителей заряда в полупроводниковых материалах.</p> <p>34. Флуктуационная спектроскопия энергетических характеристик и времен релаксации.</p> <p>35. Фликкер-шум. Основные свойства фликкер-шума. Механизмы возникновения ФШ.</p> <p>36. Описание флуктуационных процессов в физических системах с помощью эмпирической формулы Нооге.</p> <p>37. Оценка диапазона частот <math>1/f</math> шума в физических системах на основе различных математических моделей флуктуаторов.</p> <p>38. Оценка нижней граничной частоты и времени деградации в физических системах с <math>1/f^{\alpha}</math> флуктуациями.</p> <p>39. Некратное интегрирование флуктуационных процессов в радиотехнических системах.</p> <p>40. Флуктуационные процессы с двухуровневым и многоуровневым квантованием. АКФ и СПМ флуктуационных процессов с квантованием по уровню.</p>	10	-	8	60	Л1.  Л2.	С. 73 - 126  С. 139-212  Составление отчётов по лабораторным работам и РГР № 1 – 5  Подготовка рабочих конспектов проработки теоретических вопросов.	Защита отчетов по лабораторным работам Проверка отчетов по самостоятельной работе  Тесты,  Коллоквиум  Проверка расчетно-графических работ. Зачет  Экзамен
	Всего часов	18	0	16	117 .3			

**Примечание 1.** Часы на самостоятельную работу не включают время на подготовку к экзамену (контроль). Учебных часов на подготовку к экзамену 43.8 часов

**Примечание 2.** В таблицу не включены запланированные 1.7 часа ФКР (финальная контактная работа: групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности во время семестра, подразумевающие контактную работу обучающихся с преподавателем).

## Тесты контроля качества усвоения дисциплины

1. В радиофизике процессом называют
  1. Превращение энергии из одной формы в другую;
  2. Зависимость какой-либо характеристики от времени;
  3. Зависимость какой-либо характеристики от пространственных координат;
  4. Передачу информации по каналам связи.
  
2. Хаотическими называют процессы, которые
  1. Характеризуют нарушение научных законов;
  2. Лишены каких-либо закономерностей изменения во времени;
  3. Имеют признаки случайного и детерминированного изменения во времени;
  4. Имеют признаки случайного и детерминированного изменения в пространстве;
  5. Хаотично распределены в пространстве и времени.
  
3. Случайными называются поля, описываемые с помощью
  1. Теории случайных процессов;
  2. специальных сертифицированных «дорожных карт»;
  3. Пространственных многомерных функций;
  4. Пространственно-временных случайных функций;
  5. Топографических карт.
  
4. Основное преимущество синхронного режима анализа флуктуационных процессов заключается в том, что
  1. За счет Отсутствия обратных связей обеспечивается высокая степень устойчивости работы;
  2. Обеспечивается высокая степень точности управления;
  3. Обеспечивается высокая степень точности задания периода дискретизации во времени;
  4. Обеспечивается высокая степень точности соответствия периода дискретизации во времени быстрдействию системы;
  5. Обеспечивается высокая степень точности соответствия ступенек квантования по уровню числу двоичных разрядов;
  
5. Основное преимущество асинхронного режима анализа флуктуационных процессов заключается в том, что
  1. За счет обратных связей обеспечивается высокая степень устойчивости работы;
  2. Обеспечивается высокая степень точности управления;
  3. Обеспечивается высокая степень точности задания периода дискретизации во времени;
  4. Обеспечивается высокая степень точности соответствия периода дискретизации во времени быстрдействию системы;
  5. Обеспечивается высокая степень точности соответствия ступенек квантования по уровню числу двоичных разрядов;
  
6. Спектральная плотность мощности позволяет описывать
  1. Временные спектры длительностей элементарных флуктуаций;
  2. Среднюю энергию сигнала за время наблюдения;
  3. Амплитудное распределение флуктуаций;

4. Частотные спектры флуктуаций;
  5. Фазово-частотные характеристики флуктуаций.
7. Спектральная плотность позволяет описывать
1. Временные спектры длительностей элементарных флуктуаций;
  2. Среднюю энергию сигнала за время наблюдения;
  3. Амплитудные спектры сигналов;
  4. Частотные спектры флуктуаций;
  5. Амплитудно-частотные и фазово-частотные характеристики флуктуаций.
8. При проведении измерений спектров флуктуаций элайзинг связан
1. С квантованием сигнала по уровню;
  2. С аддитивными помехами;
  3. С наличием замираний сигналов в каналах связи;
  4. С квантованием сигнала во времени;
  5. С мультипликативными помехами.
9. Для подавления элайзинга в цифровых системах измерений флуктуаций необходимо
1. Правильно выбирать методы кодирования сигналов;
  2. Правильно выбирать разрядность АЦП и ЦАП;
  3. Правильно согласовывать частоту дискретизации сигналов во времени со спектром сигналов;
  4. Использовать гальванические развязки на приемной и передающей стороне;
  5. Использовать помехоустойчивое кодирование.
10. Для уменьшения шумов квантования необходимо
1. Применять неравномерное кодирование;
  2. Правильно выбирать разрядность АЦП и ЦАП;
  3. Правильно согласовывать частоту дискретизации сигналов во времени со спектром сигналов;
  4. Использовать равномерное кодирование;
  5. Использовать экономное кодирование.
11. При цифровых измерительных системах шумы квантования приводят к ухудшению
1. Амплитудно-частотных характеристик ;
  2. Фазово-частотных характеристик;
  3. Динамического диапазона анализа сигналов;
  4. Нелинейных искажений сигналов;
  5. Быстродействия обработки сигналов.
12. Для уменьшения краевых искажений необходимо
1. Применять выделяющие временные оконные функции;
  2. Увеличить частоту дискретизации;
  3. Уменьшить частоту дискретизации;
  4. Использовать равномерное кодирование;
  5. Фиксировать частоту дискретизации.
13. Для уменьшения апертурных искажений необходимо
1. Применять выделяющие временные оконные функции;
  2. Увеличить частоту дискретизации;
  3. Уменьшить время одной выборки при дискретизации во времени;
  4. Использовать равномерное кодирование;
  5. Фиксировать частоту дискретизации.
14. Спектральная плотность мощности тепловых флуктуаций напряжения на образце
1. Прямо пропорциональна сопротивлению образца;
  2. Обратно пропорциональна сопротивлению образца;

3. Обратна пропорционална току через образец;
  4. Пропорционална квадрату тока через образец;
  5. Прямо пропорционална приложенному напряжению.
15. Спектральная плотность мощности дробового шума
1. Прямо пропорционална сопротивлению образца;
  2. Обратна пропорционална сопротивлению образца;
  3. Обратна пропорционална току через образец;
  4. Пропорционална току через образец;
  5. Прямо пропорционална приложенному напряжению.
16. Согласно теореме Котельникова для точного восстановления непрерывного сигнала с ограниченным спектром по его отсчетным значениям необходимо
1. Запоминать предыдущее отсчетное значение до появления следующего значения;
  2. Использовать линейную интерполяцию сигнала по его отсчетным значениям;
  3. Использовать полиномы высокого порядка, рассчитанные на основе отсчетных значений;
  4. Использовать экстраполяторы сигнала;
  5. Пропустить отсчетные значения через фильтр нижних частот с частотой среза, согласованной с частотой дискретизации сигнала.
17. Спектральная плотность мощности фликкер-шума на образце
1. Прямо пропорционална сопротивлению образца;
  2. Обратна пропорционална сопротивлению образца;
  3. Обратна пропорционална частоте в степени, близкой к 1;
  4. Всегда пропорционална току через образец;
  5. Прямо пропорционална приложенному напряжению.
18. Отображение флуктуаций на фазовой плоскости позволяет:
1. оценивать частотный спектр флуктуаций;
  2. оценивать фазово-частотные характеристики флуктуаций;
  3. оценивать степень стохастичности флуктуаций;
  4. разлагать флуктуации на элементарные составляющие;
  5. оценивать функцию распределения флуктуаций по амплитуде.
19. При цифровой обработке сигналов повторная дискретизация сигналов по времени и по уровню
1. Увеличивает уровень флуктуаций;
  2. Позволяет очистить сигнал от шумов;
  3. Устраняет джиттер;
  4. Увеличивает искажения сигналов;
  5. Уменьшает нелинейные искажения сигналов.
20. Генерационно-рекомбинационный шум наблюдается:
1. В цифровых генераторах сигналов;
  2. В проволочных резисторах;
  3. В полупроводниковых приборах;
  4. В аналоговых генераторах сигналов;
  5. В мощных генераторных лампах.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
КАФЕДРА ФИЗИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ И НАНОФИЗИКИ

**РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4**  
**РАСЧЕТ НА ЭВМ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК**  
**СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ**

**Дисциплина «Флуктуационные процессы в физических системах»**  
*(наименование дисциплины)*

**Программа магистратуры**

**Направление подготовки:**

**03.04.03 «Радиофизика»**

*код и наименование направления подготовки (специальности)*

Направленность (профиль) подготовки

**«Цифровые технологии обработки информации»**

Исполнитель:

студент 1 курса магистратуры

*(должность, ученая степень, ученое звание)*

\_\_\_\_\_ / \_Иванов А.А.

*(подпись, Фамилия И.О.)*

Уфа 2018

Цель работы: Изучение численных методов вычисления графиков реализации случайного процесса и его спектральной плотности мощности.

### Описание работы

Расчетно-графическая работа (РГР) № 4 выполняется на персональном компьютере Pentium IV в среде операционной системы Windows XP, Windows 7, Windows 8.1 или Windows 10. Для вычисления случайного процесса и его спектральной плотности мощности (СПМ) используется разработанная в БашГУ на кафедре физической электроники и нанофизики компьютерная программа Project\_PSD.exe.

### Задания по работе

1. Запустите в работу компьютерную программу Project\_PSD.exe. Получите и скопируйте в таблицу (см. рисунок) рабочие панели с графиками реализации случайного процесса и его спектральной плотности мощности для восьми видов случайных процессов:

- 1) гауссовского процесса;
- 2) Марковского-1 процесса ( $m$ -связного процесса);
- 3) Марковского 2 процесса ( $m$ -связного процесса);
- 4) Марковского 3 процесса (с цифровым фильтром нижних частот);
- 5) гармонического процесса со случайной начальной фазой;
- 6) равновероятного случайного процесса;
- 7) нелинейного процесса;
- 8) бинарного процесса.

2. Для каждого из указанных выше восьми случайных процессов последовательно устанавливайте и вычислять графики реализации случайного процесса и его спектральной плотности мощности для следующих значений параметра сигнала: 1, 2, 3, 5, 10, 50. Число циклов усреднения должно быть не менее 50.

3. Изучите влияние числа циклов повторения или усреднения на погрешности вычисления спектральной плотности мощности. Используйте следующий ряд значений числа циклов усреднения:

5, 10, 20, 50.

4. Изучите влияние нелинейного степенного преобразования марковского-1 случайного процесса на его спектральную плотность мощности. Параметр сигнала установите равным 5. Величину показателя степени устанавливайте равной 0.8, 1, 1.5, 2, 3.

5. Изучите влияние нелинейного экспоненциального преобразования марковского-1 случайного процесса его спектральную плотность мощности. Параметр сигнала установите равным 10. Величину показателя степени устанавливайте равной 0.8, 1, 1.5, 2, 3.

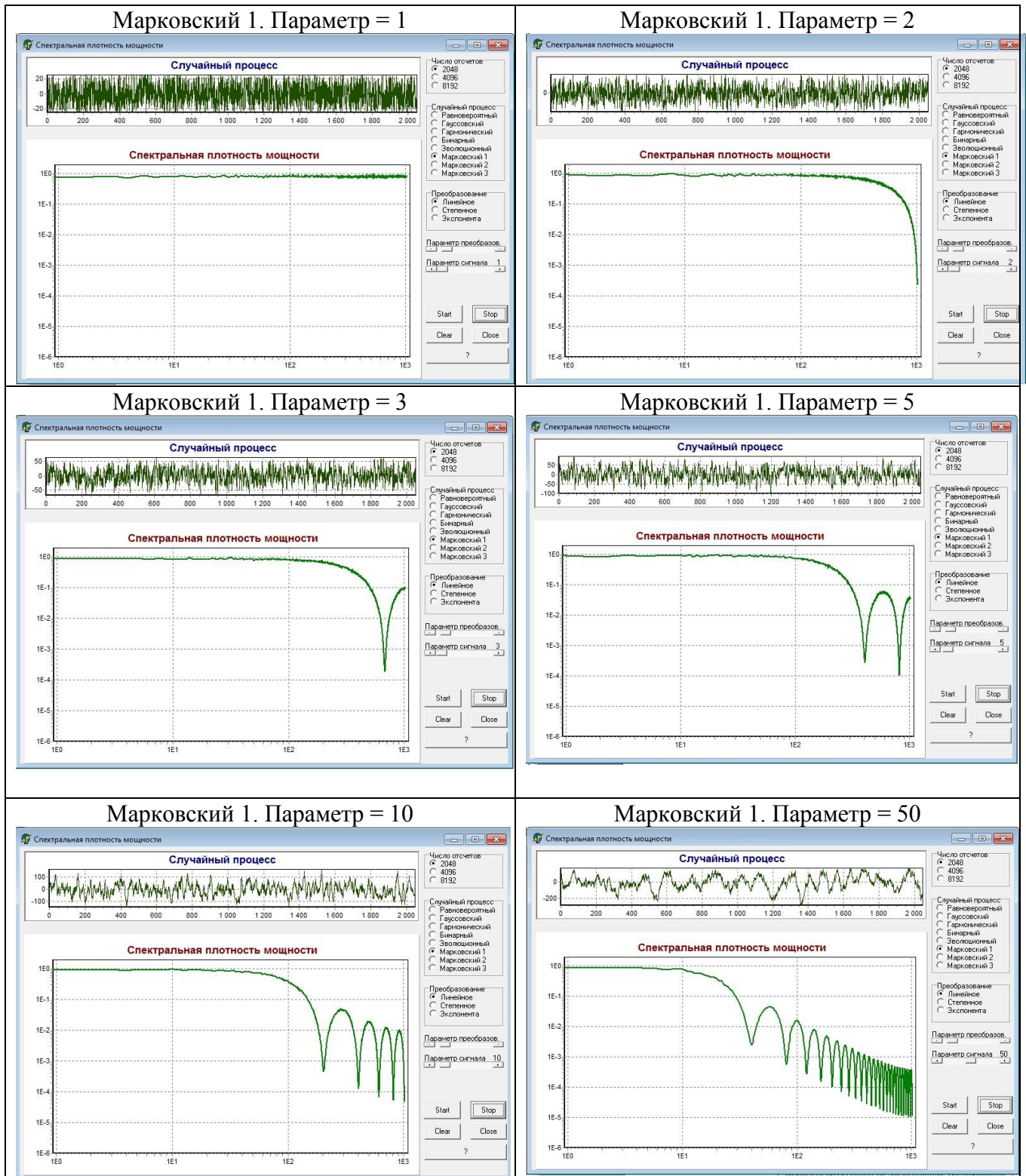
6. Составьте по предложенному преподавателем варианту программу для вычисления и построения графика случайного процесса и его спектральной плотности мощности одного из трех марковских случайных процессов.

### Содержание отчета

Отчет по расчетно-графической работе должен содержать:

- 1) Титульный лист, оформленный по приведенной выше форме;
- 2) название расчетно-графической работы,
- 3) цель работы,
- 4) текст составленной по заданию и заданному преподавателем варианту компьютерной программы для выполнения расчетов случайного процесса и его спектральной плотности мощности,
- 5) графики реализации случайного процесса и его спектральной плотности мощности для каждого из восьми видов случайных процессов при шести численных значениях параметрах сигнала. Промежуточные выводы по полученным результатам с обязательным указанием физического смысла параметра сигнала;
- 6) графики реализации случайного процесса и его спектральной плотности мощности после степенного нелинейного преобразования марковского-1 процесса (показатели степени от 0.8 до 3). Промежуточные выводы по полученным результатам.
- 7) Спектральную плотность мощности после экспоненциального нелинейного преобразования марковского 1 процесса (показатели степени от 0.8 до 3). Промежуточные выводы по полученным результатам.
- 8) После выполнения всех заданий по полученным результатам необходимо сформулировать итоговые выводы по РГР.

### Пример оформления одного из заданий по РГР



Вывод 1. Марковский 1 случайный процесс формируется путем \_\_\_\_\_

Вывод 2. Спектральная плотность мощности (СПМ) Марковского 1 случайного процесса меняется по форме в зависимости от величины параметра сигнала (**связанности**).

Вывод 3. При увеличении связанности случайного процесса частота перегиба СПМ \_\_\_\_\_

Вывод 4. К особенностям частотной зависимости СПМ Марковского 1 случайного процесса следует отнести \_\_\_\_\_