

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  
президиумом Ученого совета ННГУ  
протокол от  
«14» декабря 2021 г. № 4

**Рабочая программа дисциплины**

Моделирование систем и сетей телекоммуникаций

---

Уровень высшего образования  
Специалитет

---

Направление подготовки / специальность  
10.05.02 Информационная безопасность телекоммуникационных систем

---

Направленность образовательной программы  
Системы подвижной цифровой защищенной связи

---

Форма обучения  
очная

---

Нижний Новгород

2022 год

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Моделирование систем и сетей телекоммуникаций» относится к дисциплинам обязательной части основной образовательной программы по специальности 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем».

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
1	Блок 1. Дисциплины (модули) Обязательная часть	Дисциплина Б1.О.29 «Моделирование систем и сетей телекоммуникаций» относится к обязательной части ООП специальности 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем».

## 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	
ОПК-12. Способен формулировать задачи, планировать и проводить исследования, в том числе эксперименты и математическое моделирование объектов, явлений и процессов телекоммуникационных систем, включая обработку и оценку достоверности их результатов	ОПК-12.1. Знает: - физические явления и эффекты, используемые при обработке, хранении, передаче и уничтожении информации - принципы и основные этапы математического и имитационного моделирования систем и сетей телекоммуникаций - типовые модели систем и сетей телекоммуникаций - общие принципы формализации процессов функционирования систем и сетей телекоммуникаций - номенклатуру параметров, измеряемых в телекоммуникационных системах  ОПК-12.2: Умеет: - анализировать и применять физические явления и эффекты для решения практических задач обеспечения информационной безопасности - разрабатывать математические	Знать: - основные методы формализации систем и составления моделей - методы математического моделирования для решения профессиональных задач - методы оценки эффективности технических и программно-аппаратных средств защиты телекоммуникационных систем по результатам моделирования - критерии аттестации телекоммуникационных систем по требованиям защиты информации - требования нормативных правовых актов и нормативных методических документов в области информационной безопасности защищенных телекоммуникационных систем	Собеседование

	<p>и имитационные модели систем и сетей телекоммуникаций, проводить расчет и анализ их характеристик</p> <p>- проводить расчет и анализ показателей качества функционирования исследуемых систем и сетей телекоммуникаций</p> <p>- определять возможности применения и применять аппарат математической статистики для постановки и решения прикладных задач</p> <p>ОПК-12.3: Владеет:</p> <p>- навыками проведения физического эксперимента и обработки его результатов</p> <p>- навыком имитационного моделирования функционирования систем и сетей телекоммуникаций</p>	<p>Уметь:</p> <p>- составлять формальное описание системы и проводить моделирование</p> <p>- применять математический аппарат для численного моделирования систем и сетей телекоммуникаций</p> <p>- интерпретировать и оценивать достоверность результатов математического моделирования</p> <p>- определять роль схемотехнических элементов в электрической цепи</p> <p>- оценивать уровень информационной безопасности защищенных телекоммуникационных систем</p> <p>Владеть:</p> <p>- навыками проведения физического эксперимента и обработки его результатов</p> <p>- навыком имитационного моделирования функционирования систем и сетей телекоммуникаций</p>	
--	--	---	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>	
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>5</b>	
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>180</b>	
в том числе		
<b>аудиторные занятия (контактная работа)</b>		
- занятия лекционного типа	32	
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32	
- КСР	2	
самостоятельная работа	69	
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>45</b>	
	<b>экзамен</b>	

### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание 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		Занятия лабораторного типа		Всего				
	очная	очная	очная	очная	очная	очная	очная	очная	очная	очная	очная	очная	
1. Системный подход к моделированию.	12	12	4	4	0	0	0	0	4	4	8	8	
2. Технологии построения моделей.	30	30	6	6	0	0	8	8	14	14	16	16	
3. Технологии проведения вычислительного эксперимента.	28	28	6	6	0	0	10	10	16	16	12	12	
4. Статистические модели многолучевых каналов связи.	24	24	4	4	0	0	8	8	12	12	12	12	
5. Статистические модели многолучевых каналов для ММО систем связи.	16	16	6	6	0	0	0	0	6	6	10	10	
6. Пространственно-временное кодирование и декодирование в ММО системах связи.	23	23	6	6	0	0	6	6	12	12	11	11	
Аттестация	45	45											
КСР	2	2								2	2		
Итого	180	180	32	32	0	0	32	32	66	66	69	69	

Практические занятия (семинарские 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.

Практическая подготовка предусматривает:

Выполнение лабораторных работ, направленных на решение прикладных задач в малых группах и индивидуально, контроль самостоятельной работы обучающихся в форме проверки домашних заданий

На проведение практических занятий (семинарских занятий /лабораторных работ) в форме практической подготовки отводится 32 ч.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП:

Применение фундаментальных знаний, полученных в области математических и (или) естественных наук.

Создание, анализ и реализация новых компьютерных моделей в современном естествознании технике, экономике и управлении.

Исследование механизмов обеспечения информационной безопасности телекоммуникационных систем, сетей и устройств, технических и программно-аппаратных средств защиты информации.

- компетенций:

ОПК-12. Способен формулировать задачи, планировать и проводить исследования, в том числе эксперименты и математическое моделирование объектов, явлений и процессов телекоммуникационных систем, включая обработку и оценку достоверности их результатов.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках: занятий лабораторного типа.

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

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

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

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

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала.  Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от	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 негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

	ответа						
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения.  Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки.  Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
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», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»

	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», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

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

### 5.2.1. Контрольные вопросы

Вопросы	Код формируемой компетенции
1. Роль и место моделирования в познании окружающего мира. Определение системы, модели и математического моделирования.	ОПК-12
2. Виды моделирования и их классификация.	ОПК-12
3. Классический и системный подход к моделированию.	ОПК-12
4. Декомпозиция и структуризация систем.	ОПК-12
5. Основы системного подхода к моделированию.	ОПК-12
6. Основные этапы моделирования	ОПК-12
7. Уровни математического моделирования радиотехнических и информационных систем.	ОПК-12
8. Формализация модели. Концептуальные модели и их формализация.	ОПК-12
9. Математические схемы моделирования. Понятие входных и выходных переменных и параметров. Динамические и статические модели.	ОПК-12
10. Непрерывно-детерминированные модели.	ОПК-12
11. Дискретно-детерминированные модели.	ОПК-12
12. Дискретно-стохастические модели.	ОПК-12
13. Основные принципы перехода от формального описания к математическим моделям.	ОПК-12
14. Классификация методов построения математических моделей радиосистем.	ОПК-12
15. Формальное описание комплексов на уровне радиосистем	ОПК-12
16. Формальное описание радиосистем на уровне радиоканалов	ОПК-12
17. Формальное описание радиосистем и радиоканалов на уровне устройств	ОПК-12
18. Формальное описание радиоустройств на уровне функциональных звеньев	ОПК-12
19. Принципы организации моделирования на ЭВМ, Методы численного интегрирования, дискретизация непрерывных процессов.	ОПК-12
20. Принципиальная и функциональная схемы.	ОПК-12
21. Математические модели элементов радиосистем и радиоустройств на основе принципиальных схем.	ОПК-12
22. Математические модели элементов радиосистем и радиоустройств на основе функциональных схем.	ОПК-12
23. Моделирование частотно-неселективного и частотно-селективного канала (классическая модель Кларка). Спектр Джейкса.	ОПК-12
24. Формирование релейских канальных коэффициентов с заданной корреляционной матрицей. Процедура ортогонализации (декорреляции) канальных коэффициентов.	ОПК-12

25. Моделирование основных характеристик системы связи (шенноновская спектральная эффективность, вероятность некодированной и кодированной битовой ошибки, вероятность блочной ошибки, пропускная способность).	ОПК-12
26. Гауссова модель многолучевого канала. Плотность вероятности углов прихода сигнала на базовую станцию. Угловые флуктуации центра излучения.	ОПК-12
27. Статистические характеристики авиационных моделей (разные сценарии). Методология моделирования ДМВ2 радиоканала (математическая модель, алгоритм генерации канальных коэффициентов).	ОПК-12
28. Спектральная эффективность ММО канала без обратной связи.	ОПК-12
29. «Водоналивной» алгоритм распределения мощности между передающими антеннами. Спектральная эффективность ММО канала с обратной связью.	ОПК-12
30. Спектральная эффективность ММО канала с обратной связью при различных корреляционных свойствах замираний сигналов в антеннах.	ОПК-12
31. Общая схема пространственно-временного кодирования в ММО системе. Нелинейный максимально-правдоподобный приемник в ММО системе.	ОПК-12
32. Линейный ZF-приемник и линейный МСКО-приемник в ММО системах.	ОПК-12
33. Формирование независимых собственных подканалов в ММО системе с обратной связью.	ОПК-12
34. Методы распределения мощности между собственными подканалами.	ОПК-12
35. Методы совместной оптимизации скорости передачи данных и вероятности битовой ошибки в ММО-системах.	ОПК-12
36. Ортогональные коды при произвольном числе передающих и приемных антенн. Вероятность битовой ошибки и спектральная эффективность.	ОПК-12
37. Пространственно-временные решетчатые коды.	ОПК-12
38. Понятие о пространственном разделении пользователей.	ОПК-12
39. Проекционный метод пространственного разделения двух пользователей.	ОПК-12
40. Пространственное разделение произвольного числа пользователей с помощью проекционного метода.	ОПК-12

### 5.2.2. Типовые задания для оценивания сформированности умений и навыков компетенции ОПК-12

1. Для заданной характеристики фазового дискриминатора (синусоидальной, трапецеидальной, пилообразной) построить грубые фазовые портреты математической модели ФАП с пропорционально-интегрирующим фильтром в областях различного динамического поведения.
2. Для заданного значения параметра пропорциональности фильтра и определенной характеристики фазового дискриминатора (синусоидальной, трапецеидальной, пилообразной) рассчитать границу области захвата в режим синхронизации для математической модели системы ФАП с пропорционально-интегрирующим фильтром.
3. Рассчитать параметры системы фазовой автоподстройки частоты с фазовым дискриминатором «исключающее ИЛИ» и пропорционально-интегрирующим фильтром для синтеза частоты  $f_{\text{вых}}$  (значения из таблицы). Общие фиксированные параметры:  $U_{\text{low}}=0$  В,  $U_{\text{high}}=5$  В,  $f_{\text{ог}}=40$  МГц.

Номер варианта	$f_{\text{вых}}$ , МГц	S, МГц/В
1	100	10
2	150	20
3	200	20
4	250	30



5	300	30
6	350	40
7	400	40
8	450	40

4. Рассчитать параметры пропорционально-интегрирующего фильтра в цепи управления. Используя пакет схемотехнического моделирования построить амплитудно-частотную характеристику фильтра.
5. Используя готовый проект в пакете схемотехнического моделирования для исследования системы фазовой автоподстройки частоты с пропорционально-интегрирующим фильтром, рассчитать зависимость полосы захвата от параметра инерционности фильтра.
6. Построить графики напряжений на выходе фазового дискриминатора и на выходе фильтра нижних частот в различных динамических режимах для схемы, используемой в задании 5.
7. Используя готовый проект в пакете схемотехнического моделирования для исследования системы фазовой автоподстройки частоты с RLC фильтром, пронаблюдать и зафиксировать качественно различные осциллограммы колебаний напряжения в цепи управления и спектры при увеличении индуктивности в фильтре.

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

а) основная литература:

1. Советов Б. Я., Яковлев С. А. - Моделирование систем : Курсовое проектирование : [для вузов по специальности "Автоматизир. системы упр."]. - М. : Высшая школа, 1985. - 271 с.
2. Ермолаев В.Т., Флакман А.Г. Теоретические основы обработки сигналов в беспроводных системах связи. Монография. – Нижний Новгород: ННГУ, 2011. – 368
3. В.Т. Ермолаев, А.А. Мальцев, А.Г. Флакман, О.В. Болховская, А.В. Ключев. Мобильная связь: вопросы теории и типовые задачи. Учебное пособие. / Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2014. 234 с.

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

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: Лекционный зал, компьютерный класс для проведения лабораторных занятий. 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 специальности 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем».

Автор(ы): Мищенко М.А.

Заведующий кафедрой: Матросов В.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «09» декабря 2021 года, протокол № 07/21.