

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский  
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДАЮ:

Декан \_\_\_\_\_ Матросов В.В.

« 29 » \_\_\_\_\_ июня 2020 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Б1.Б.40 Моделирование систем и сетей телекомму-  
никаций

\_\_\_\_\_ (наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

\_\_\_\_\_ специалитет

\_\_\_\_\_ (бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

10.05.02 Информационная безопасность телекоммуникационных систем

\_\_\_\_\_ (указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Системы подвижной цифровой защищенной связи

\_\_\_\_\_ (указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

\_\_\_\_\_ специалист

\_\_\_\_\_ (бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

\_\_\_\_\_ очная

\_\_\_\_\_ (очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2020 г.

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Моделирование систем и сетей телекоммуникаций» относится к дисциплинам базовой части (блок Б1.Б) основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) высшего образования по специальности 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем» на радиофизическом факультете ННГУ. Дисциплина изучается в 9-м и 10-м семестрах. Трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единиц.

### Целями освоения дисциплины являются:

- формирование представления о моделировании и его роли в проектировании и исследовании систем и сетей телекоммуникаций;
- изложение основополагающих принципов моделирования систем и сетей телекоммуникаций и использования его результатов;
- формирование системного мышления и мировоззрения.

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

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций
<i>ОПК-6</i> способность применять методы научных исследований в профессиональной деятельности (этап освоения: базовый, завершающий)	31 (ОПК-6). Знать основные методы формализации систем и составления моделей. 32 (ОПК-6). Знать методы математического моделирования для решения профессиональных задач У1 (ОПК-6). Уметь составлять формальное описание системы и проводить моделирование. У2 (ОПК-6). Уметь применять математический аппарат для численного моделирования систем и сетей телекоммуникаций. У3 (ОПК-6) Уметь определять роль схмотехнических элементов в электрической цепи У4 (ОПК-6) Уметь интерпретировать и оценивать достоверность результатов математического моделирования

Окончательное завершение формирования компетенций, предусмотренных в рамках данной дисциплины, происходит при прохождении производственной практики и подготовки ВКР.

## 3. Структура и содержание дисциплины «Моделирование систем и сетей телекоммуникаций»

Объем дисциплины составляет 7 зачетных единиц, всего 252 часа, из которых 131 час составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (64 часа занятий лекционного типа, 64 часа занятия лабораторного типа, в том числе 4 часа – мероприятия текущего кон-

троля успеваемости, 3 часа мероприятия промежуточной аттестации), 121 час составляет самостоятельная работа обучающегося.

#### Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	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	
1. Системный подход к моделированию.	26	8			8	18
2. Технологии построения моделей.	52	14		10	24	28
3. Технологии проведения вычислительного эксперимента.	48	10		20	30	18
4. Статистические модели многолучевых каналов связи.	55	12		18	30	25
5. Статистические модели многолучевых каналов для ММО систем связи.	26	10			10	16
6. Пространственно-временное кодирование и декодирование в ММО системах связи.	42	10		16	26	16
В т.ч. текущий контроль	4			4	4	
Промежуточная аттестация – зачет, экзамен						

Текущий контроль успеваемости проходит в рамках занятий лабораторного типа. Итоговый контроль осуществляется на зачете и экзамене.

#### **4. Образовательные технологии**

В соответствии с рабочей программой и тематическим планом изучение дисциплины проходит в виде аудиторной и самостоятельной работы студентов. Учебный процесс в аудитории осуществляется в форме занятий лекционного и лабораторного типа.

#### **Образовательные технологии, способствующие формированию компетенций**

*используемые на занятиях лекционного типа:*

- лекции с проблемным изложением учебного материала.

**используемые на занятиях лабораторного типа:**

- регламентированная самостоятельная деятельность студентов;
- решение проблемных ситуаций для реализации технологии коллективной мыслительной деятельности.

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

### **5.1 Темы лабораторных работ:**

1. Моделирование систем: Анализ динамики и расчет динамических характеристик системы ФАП с пропорционально-интегрирующим фильтром
2. Исследование динамики системы фазовой автоподстройки частоты в среде схемотехнического моделирования ADS.
3. Пуассоновские процессы. Особенности простых и сложных процессов.
4. Исследование преобразований сигналов согласованными фильтрами.

Порядок выполнения работ, задания и вопросы приведены в [11, 12].

Самостоятельная работа подразумевает работу с научной и научно-методической литературой. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы – основная и дополнительная литература.

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

- 6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, навыков), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования

**ОПК-6:** способность применять методы научных исследований в профессиональной деятельности

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)	
	Не зачтено	Зачтено
<u><b>Знания</b></u> Знать основные методы формализации систем и составления моделей Знать методы математического моделирования для решения профессиональных задач	Минимально допустимый уровень знаний. Допущены грубые ошибки	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок
<u><b>Умения</b></u> Уметь составлять формальное описание системы и проводить моделирование Уметь применять математический аппарат для численного	Продemonстрированы основные умения. Не решены типовые задачи или решены с грубыми ошибками. Выполнены не все задания, или выполнены 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.

<p>моделирования систем и сетей телекоммуникаций</p> <p>Уметь определять роль схемотехнических элементов в электрической цепи</p> <p>Уметь интерпретировать и оценивать достоверность результатов математического моделирования</p>		
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 50 %	50 – 100 %

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<p><u>Знания</u></p> <p>Знать основные методы формализации систем и составления моделей.</p> <p>Знать методы математического моделирования для решения профессиональных задач.</p>	Отсутствие знаний основных методов формализации систем и составления моделей и методов математического моделирования для решения профессиональных задач.	Наличие грубых ошибок в знании основных методов формализации систем и составления моделей и методов математического моделирования для решения профессиональных задач.	Знание основных методов формализации систем и составления моделей и методов математического моделирования для решения профессиональных задач с рядом ошибок	Знание основных методов формализации систем и составления моделей и методов математического моделирования для решения профессиональных задач с незначительными ошибками	Знание основных методов формализации систем и составления моделей и методов математического моделирования для решения профессиональных задач с незначительными погрешностями	Знание основных методов формализации систем и составления моделей и методов математического моделирования для решения профессиональных задач без ошибок и погрешностей	Знание основных и дополнительных методов формализации систем и составления моделей и методов математического моделирования для решения профессиональных задач
Шкала оценок по проценту правильных контрольных заданий	0-20%	20-50%	50-70%	70-80%	80-90%	90-99%	100%

## 6.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Промежуточный контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде зачета и экзамена, на которых определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала
- способности студентов использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Зачет и экзамен проводятся в устной форме и заключаются в ответе студентом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ. Практическая часть зачета предусматривает отчет по выполненным лабораторным работам (студент должен уметь обосновать описанные в протоколе принципы метода, основываясь на теоретических познаниях и полученном практическом экспериментальном опыте).

### Критерии оценок.

Оценка	Уровень подготовки
Зачтено	Хорошая подготовка. Студент дает ответ на все теоретические вопросы билета при наличии неточностей. Студент активно работал на занятиях лабораторного типа. Выполнение контрольных экзаменационных заданий более 50%.
Не зачтено	Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на наводящие и дополнительные вопросы экзаменатора. Выполнение контрольных экзаменационных заданий до 50%.

№ пп	Оценка, её обозначение и соответствующий ей числовой балл	Определение (уровень подготовки, характеризуемый оценкой)
1	Превосходно (прев; 5,5)	Превосходная подготовка с очень незначительными погрешностями. Выполнение контрольных экзаменационных заданий 100%
2	Отлично (отл; 5)	Подготовка, уровень которой существенно выше среднего с некоторыми ошибками. Выполнение контрольных экзаменационных заданий не менее 90%
3	Очень хорошо (очхор; 4,5)	В целом хорошая подготовка с рядом заметных ошибок. Выполнение контрольных экзаменационных заданий не менее 80%
4	Хорошо (хор; 4)	Хорошая подготовка, но со значительными ошибками. Выполнение контрольных экзаменационных заданий не менее 70%

5	Удовлетворительно (уд; 3)	Подготовка, удовлетворяющая минимальным требованиям. Выполнение контрольных экзаменационных заданий не менее 50%
6	Не удовлетворительно (неуд; 2)	Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания. Выполнение контрольных экзаменационных заданий не менее 20%
7	Плохо (плох; 1)	Подготовка совершенно недостаточная. Выполнение контрольных экзаменационных заданий менее 20%

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине, характеризующих сформированность компетенций

**Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:**

- устные и письменные ответы на вопросы.

**Для оценивания результатов обучения в виде умений используются следующие процедуры и технологии:**

- отчет о лабораторном занятии

**Для проведения итогового контроля сформированности компетенции используются:** устный опрос, решение практических задач.

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

6.4.1 Контрольные вопросы для устного опроса:

1. Роль и место моделирования в познании окружающего мира. Определение системы, модели и математического моделирования.
2. Виды моделирования и их классификация.
3. Классический и системный подход к моделированию.
4. Декомпозиция и структуризация систем.
5. Основы системного подхода к моделированию.
6. Основные этапы моделирования
7. Уровни математического моделирования радиотехнических и информационных систем.
8. Формализация модели. Концептуальные модели и их формализация.
9. Математические схемы моделирования. Понятие входных и выходных переменных и параметров. Динамические и статические модели.
10. Непрерывно-детерминированные модели.
11. Дискретно-детерминированные модели.
12. Дискретно-стохастические модели.
13. Основные принципы перехода от формального описания к математическим моделям.
14. Классификация методов построения математических моделей радиосистем.

15. Формальное описание комплексов на уровне радиосистем
16. Формальное описание радиосистем на уровне радиоканалов
17. Формальное описание радиосистем и радиоканалов на уровне устройств
18. Формальное описание радиоустройств на уровне функциональных звеньев
19. Принципы организации моделирования на ЭВМ, Методы численного интегрирования, дискретизация непрерывных процессов.
20. Принципиальная и функциональная схемы.
21. Математические модели элементов радиосистем и радиоустройств на основе принципиальных схем.
22. Математические модели элементов радиосистем и радиоустройств на основе функциональных схем.
23. Моделирование частотно-неселективного и частотно-селективного канала (классическая модель Кларка). Спектр Джейкса.
24. Формирование релейских канальных коэффициентов с заданной корреляционной матрицей. Процедура ортогонализации (декорреляции) канальных коэффициентов.
25. Моделирование основных характеристик системы связи (шенноновская спектральная эффективность, вероятность некодированной и кодированной битовой ошибки, вероятность блоковой ошибки, пропускная способность).
26. Гауссова модель многолучевого канала. Плотность вероятности углов прихода сигнала на базовую станцию. Угловые флуктуации центра излучения.
27. Статистические характеристики авиационных моделей (разные сценарии). Методология моделирования ДМВ2 радиоканала (математическая модель, алгоритм генерации канальных коэффициентов).
28. Спектральная эффективность ММО канала без обратной связи.
29. «Водоналивной» алгоритм распределения мощности между передающими антеннами. Спектральная эффективность ММО канала с обратной связью.
30. Спектральная эффективность ММО канала с обратной связью при различных корреляционных свойствах замираний сигналов в антеннах.
31. Общая схема пространственно-временного кодирования в ММО системе. Нелинейный максимально-правдоподобный приемник в ММО системе.
32. Линейный ZF-приемник и линейный МСКО-приемник в ММО системах.
33. Формирование независимых собственных подканалов в ММО системе с обратной связью.
34. Методы распределения мощности между собственными подканалами.
35. Методы совместной оптимизации скорости передачи данных и вероятности битовой ошибки в ММО-системах.
36. Ортогональные коды при произвольном числе передающих и приемных антенн. Вероятность битовой ошибки и спектральная эффективность.
37. Пространственно-временные решетчатые коды.
38. Понятие о пространственном разделении пользователей.
39. Проекционный метод пространственного разделения двух пользователей.



40. Пространственное разделение произвольного числа пользователей с помощью проекционного метода.

### Типовые задания для оценивания сформированности умений и навыков по компетенциям ОПК-6

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.

#### 6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 г. №55-ОД,

Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

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

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., Флакسمан 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. Флакسمан, 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.

#### 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Лекционный зал, компьютерный класс для проведения лабораторных занятий.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по специальности информационная безопасность телекоммуникационных систем.

Автор (ы):

Мищенко М.А.

Флакسمан А.Г.

Рецензент (ы)

Жуков С.Н.

Заведующий кафедрой

Матросов В.В.

Заведующий кафедрой

Мальцев А.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «25» июня 2020 года, протокол № 03/20 .