

Минобрнауки России

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)



УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
Борисов Дмитрий Николаевич
Кафедра информационных систем

03.05.2023

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.06 Основы моделирования телекоммуникационных систем

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

09.03.02 Информационные системы и технологии

2. Профиль подготовки/специализация:

Встраиваемые вычислительные системы и интернет вещей, Информационные системы в телекоммуникациях

3. Квалификация (степень) выпускника:

Бакалавриат

4. Форма обучения:

Очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:

Кафедра информационных систем

6. Составители программы:

Савинков Андрей Юрьевич, д.т.н., профессор

7. Рекомендована:

рекомендована НМС ФКН 03.05.2023, протокол № 7

8. Учебный год:

2026-2027

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Цель: формирование у студентов базовых знаний и навыков в области моделирования на ЭВМ телекоммуникационных систем при решении задач профессиональной деятельности
Задачи учебной дисциплины:

- изучение методов моделирования телекоммуникационных систем
- изучение методов программной реализации базовых компонентов систем цифровой обработки сигналов, как при моделировании, так и при реализации телекоммуникационных систем
- достижение более глубокого понимания принципов работы телекоммуникационных систем
- понимание смысла и взаимного влияния параметров телекоммуникационных систем
- приобретение практических навыков оценки качества функционирования телекоммуникационных систем

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Учебная дисциплина относится к части блока Б1.В, формируемой участниками образовательных отношений. Для успешного освоения дисциплины необходимы знания и умения, приобретаемые при изучении следующих дисциплин: теория функций комплексного переменного, теория вероятностей и математическая статистика,

алгоритмы и структуры данных, объектноориентированное программирование, инфокоммуникационные системы и сети, язык программирования Си.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников) и индикаторами их достижения:

Код и название компетенции	Код и название индикатора компетенции	Знания, умения, навыки
ПК-2 Способен выполнять интеграцию программных модулей и компонент, выполнять верификацию программных продуктов	ПК-2.4 Проверяет работоспособность программных продуктов	Знает методику отладки и верификации программ Умеет использовать специальные инструментальные средства для автоматизации тестирования ПО Имеет навыки разработки, отладки и верификации программ моделирования телекоммуникационных систем
ПК-3 Способен выполнять работы по созданию (модификации) и сопровождению информационных систем	ПК-3.2 Знает устройство и функционирование современных ИС, протоколы, интерфейсы и форматы обмена данными	Знает основные технологии телекоммуникационных систем, принципы реализации в программных моделях базовых компонентов телекоммуникационных систем, основы планирования статистического эксперимента и основы обработки результатов моделирования

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час:

3/108

Форма промежуточной аттестации:

Зачет с оценкой, Контрольная работа

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Семестр 8	Всего
Аудиторные занятия	72	72
Лекционные занятия	36	36
Практические занятия		0
Лабораторные занятия	36	36
Самостоятельная работа	36	36
Курсовая работа		0
Промежуточная аттестация	0	0
Часы на контроль		0
Всего	108	108

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
1	Лекции		

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
1.1	Введение в моделирование телекоммуникационных систем	Цели и задачи моделирования телекоммуникационных систем, выбор языка программирования, среда моделирования, статистический эксперимент, комплексное представление сигналов	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
1.2	Программная реализация базовых элементов обработки сигнала в программных моделях телекоммуникационных систем	Генераторы псевдослучайных последовательностей, циклический избыточный код (CRC), цифровые фильтры, преобразование Фурье, преобразование Уолша-Адамара, модуляторы и демодуляторы, перемежители, помехоустойчивые коды	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
1.3	Моделирование каналов распространения сигнала и помех	Моделирование шума, моделирование замираний, моделирование многолучевых и многоантенных каналов, моделирование каналов с дисперсией временной задержки, типовые модели канала ITU-R	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
1.4	Реализация среды моделирования и планирование эксперимента	Синхронизация компонентов программной модели, захват выборок для анализа, визуализация результатов, статистический анализ результатов, доверительные интервалы, планирование эксперимента и определение объема выборки, верификация модели	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
1.5	Исследование помехоустойчивости каналов связи методом имитационного моделирования	Битовая, символьная и блоковая ошибка, канал AWGN, отношение E_b/N_0 , канал с замираниями, усреднение по времени и по совокупности реализаций, критерии завершения	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
1.6	Моделирование больших телекоммуникационных систем	Вероятностно-временные параметры телекоммуникационных систем, модели и генераторы трафика, моделирование каналов связи внутри системы, обработка результатов и анализ параметров QoS	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
2 Практические занятия			

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
3 Лабораторные работы			
3.1	Визуализация результатов моделирования	Построение двумерных и трехмерных графиков средствами Python, отображение погрешностей на графике, использование TeX для подписей и легенды	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
3.2	Реализация на С и С++ циркулярного буфера и FIFO	Реализация элемента задержки на заданное число тактов и буфера FIFO на основе циркулярного буфера	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
3.3	Реализация на С и С++ линии задержки с отводами	Реализация на основе циркулярного буфера линии задержки с отводами (базовый элемент для реализации цифровых фильтров и интерполяторов)	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
3.4	Реализация на С и С++ цифрового фильтра	Реализация на основе линии задержки с отводами КИХ и БИХ фильтров, а также сервисных функций для вычисления АЧХ фильтра и коэффициентов передачи для белого шума и псевдослучайной последовательности прямоугольных импульсов	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
3.5	Реализация на С и С++ генератора ПСП	Реализация на основе сдвигового регистра генератора М-последовательности и кода Голда, исследование автокорреляционной и взаимокорреляционной функции генераторов	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
3.6	Реализация на С и С++ генератора белого гауссовского шума	Генерация гауссовского шума методом изотропного вектора и исследование статистических характеристик полученных выборок.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
3.7	Реализация на С и С++ генератора рэлеевских замираний	Генерация рэлеевских замираний методов Джейкса и исследование статистических характеристик полученных выборок	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
3.8	Реализация на С и С++ быстрого преобразования Фурье	Реализация на С и С++ быстрого преобразования Фурье на основе алгоритма Кули-Тьюки и Чирп-алгоритма Блустейна	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
3.9	Реализация на С и С++ ресемплера на основе интерполятора Лагранжа	Реализация ресемплера, преобразующего выборку сигнала на одной частоте дискретизации в выборку того же сигнала на другой частоте дискретизации на основе полинома Лагранжа и исследование его характеристик	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
3.10	Реализация на С и С++ ресемплера на основе кубического сплайна	Реализация ресемплера, преобразующего выборку сигнала на одной частоте дискретизации в выборку того же сигнала на другой частоте дискретизации на основе кубического сплайна и исследование его характеристик	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
3.11	Реализация на С и С++ фильтра Фарроу	Реализация вычислительно эффективного управляемого элемента задержки на интервал времени, не кратный периоду дискретизации сигнала	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
3.12	Реализация на С и С++ модели многолучевого канала	Моделирование многолучевого канала замираний с заданной функцией автокорреляции, моделирование стандартных каналов ITU-R	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
3.13	Реализация на С и С++ сверточного кодера и декодера Витерби	Реализация кодера сверточного кода и декодера Витерби, оценка энергетического выигрыша от помехоустойчивого кодирования и вычислительной сложности реализации декодера	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
3.14	Реализация на С и С++ модулятора и демодулятора QAM	Реализация модулятора и мягкого демодулятора для произвольной модуляции M-QAM, исследование SER и BER	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Лекционные занятия	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа	Всего
1	Введение в моделирование телекоммуникационных систем	2				2
2	Программная реализация базовых элементов обработки сигнала в программных моделях телекоммуникационных систем	16			4	20

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Лекционные занятия	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа	Всего
3	Моделирование каналов распространения сигнала и помех	6			2	8
4	Реализация среды моделирования и планирование эксперимента	6			2	8
5	Исследование помехоустойчивости каналов связи методом имитационного моделирования	4			1	5
6	Моделирование больших телекоммуникационных систем	2				2
7	Визуализация результатов моделирования			2	1	3
8	Реализация на С и С++ циркулярного буфера и FIFO			2	1	3
9	Реализация на С и С++ линии задержки с отводами			1		1
10	Реализация на С и С++ цифрового фильтра			3	2	5
11	Реализация на С и С++ генератора ПСП			2	1	3
12	Реализация на С и С++ генератора белого гауссовского шума			1	1	2
13	Реализация на С и С++ генератора рэлеевских замираний			1	1	2
14	Реализация на С и С++ быстрого преобразования Фурье			4	4	8
15	Реализация на С и С++ ресемплера на основе интерполятора Лагранжа			2	2	4
16	Реализация на С и С++ ресемплера на основе кубического сплайна			2	2	4
17	Реализация на С и С++ фильтра Фарроу			2	2	4
18	Реализация на С и С++ модели многолучевого канала			4	2	6
19	Реализация на С и С++ сверточного кодера и декодера Витерби			6	6	12
20	Реализация на С и С++ модулятора и демодулятора QAM			4	2	6
		36	0	36	36	108

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Дисциплина требует работы с файлами-презентациями лекций и соответствующими главами рекомендованной основной литературы, а также, обязательного выполнения всех лабораторных заданий в компьютерном классе.

Самостоятельная работа проводится в компьютерных классах ФКН с использованием методических материалов расположенных на учебно-методическом сервере ФКН fs.cs.vsu.ru/library и на сервере Moodle ВГУ moodle.vsu.ru. Во время самостоятельной работы студенты используют электроннобиблиотечные системы, доступные на портале Зональной Библиотеки ВГУ по адресу www.lib.vsu.ru. Часть заданий может быть выполнена вне аудиторий на домашнем компьютере, после копирования методических указаний и необходимого ПО с учебно-методического сервера ФКН.

При использовании дистанционных образовательных технологий и электронного обучения выполнять все указания преподавателей, вовремя подключаться к online занятиям, ответственно подходить к заданиям для самостоятельной работы.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Решмин, Б. И. Имитационное моделирование и системы управления: учебно-практическое пособие / Б. И. Решмин. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2016. – 74 с. // ЭБС Университетская библиотека. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=444174

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1	Олифер, В. Г. Основы сетей передачи данных: вводный курс / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер ; Национальный Открытый Университет "ИНТУИТ". – Москва : Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2003. – 192 с. // ЭБС Университетская библиотека. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=234533

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
1	Библиотека ВГУ, http://www.lib.vsu.ru
2	Сервер учебно-методических материалов ФКН, \\fs.cs.vsu.ru/Library
3	Образовательный портал "Электронный университет ВГУ", http://edu.vsu.ru

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1	Сервер учебно-методических материалов ФКН, \\fs.cs.vsu.ru/Library
2	Образовательный портал "Электронный университет ВГУ", http://edu.vsu.ru

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

Лекции-визуализации с демонстрацией иллюстративных и графических материалов, анимации, блок-схем алгоритмов и примеров исходного кода, демонстрацией выполнения команд операционной системой, лабораторные работы.

При реализации дисциплины могут использоваться технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии на базе портала edu.vsu.ru, а также другие доступные ресурсы сети Интернет.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

1. Лекционная аудитория, оснащенная видеопроектором.
2. Компьютерный класс для проведения лабораторных занятий, оснащенный видеопроектором, компьютерами с ОС GNU/Linux с установленным ПО: GCC, MS Visual Studio Code и Python с пакетом matplotlib.

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Разделы дисциплины (модули)	Код компетенции	Код индикатора	Оценочные средства для текущей аттестации
1	Визуализация результатов моделирования Реализация на С и С++ циркулярного буфера и FIFO Реализация на С и С++ линии задержки с отводами Реализация на С и С++ цифрового фильтра Реализация на С и С++ генератора ПСП Реализация на С и С++ генератора белого гауссовского шума Реализация на С и С++ генератора рэлеевских замираний Реализация на С и С++ быстрого преобразования Фурье Реализация на С и С++ ресемплера на основе интерполятора Лагранжа Реализация на С и С++ ресемплера на основе кубического сплайна Реализация на С и С++ фильтра Фарроу Реализация на С и С++ модели многолучевого канала Реализация на С и С++ сверточного кодера и декодера Витерби Реализация на С и С++ модулятора и демодулятора QAM	ПК-2	ПК-2.4	Лабораторные работы
2	Введение в моделирование телекоммуникационных систем Программная реализация базовых элементов обработки сигнала в программных моделях телекоммуникационных систем Моделирование каналов распространения сигнала и помех Реализация среды моделирования и планирование эксперимента Исследование помехоустойчивости каналов связи методом имитационного моделирования Моделирование больших телекоммуникационных систем	ПК-3	ПК-3.2	Контрольная работа

Промежуточная аттестация

Форма контроля - Зачет с оценкой, Контрольная работа

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости выполняется по лабораторным работам.

По каждой выполненной работе должен быть предоставлен отчет, включающий исходный код разработанных программ и описание полученных результатов. По отчету преподаватель вправе задать дополнительные вопросы для уточнения уровня понимания материала.

Лабораторная работа оценивается максимум в 100 баллов.

Приведённые ниже задания рекомендуется использовать при проведении диагностических работ для оценки остаточных знаний по дисциплине

Компетенция ПК-2

Задания закрытого типа

- 1) Пусть есть два сигнала $x(t)$ и $y(t)$ со спектрами $X(f)$ и $Y(f)$ соответственно, тогда спектр свертки сигналов $x(t)$ и $y(t)$ равен
 - a) $X(f) * \text{conj}(Y(f))$
 - b) $X(f) + \text{conj}(Y(f))$
 - c) $X(f) - \text{conj}(Y(f))$
 - d) $X(f) / \text{conj}(Y(f))$
- 2) Спектр дискретного сигнала с частотой дискретизации F_d
 - a) Периодический с периодом в частотной области $1/F_d$
 - b) Непериодический в частотной области
 - c) Не определен
- 3) Наличие в тракте прохождения сигнала полосового фильтра
 - a) Приводит к изменению скорости течения модельного времени
 - b) Приводит к сдвигу начала отсчета модельного времени для компонентов модели после фильтра
 - c) Не влияет на параметры модельного времени
- 4) В предметной области телекоммуникаций под интерполяцией сигнала понимают
 - a) Вычисление значения сигнала на момент времени между отсчетами
 - b) Увеличение разрядности представления отсчетов сигнала
 - c) Очистку сигнала от шумов
- 5) Если дано множество отсчетов непрерывного сигнала, взятых через равные промежутки времени, то
 - a) Исходная форма непрерывного сигнала всегда может быть восстановлена по его отсчетам
 - b) Информация об уровне непрерывного сигнала между отсчетами потеряна
 - c) Исходная форма непрерывного сигнала может быть восстановлена по его отсчетам, если спектр сигнала ограничен максимальной частотой F_{max} и интервал между отсчетами не превышает $1/(2 * F_{\text{max}})$

Ответы на вопросы

Номер вопроса	Ответ (буква)
1	a
2	a
3	b
4	a
5	c

Задания открытого типа

- 1) Согласно требованиям технического задания на систему связи, вероятность ошибки при передаче данных не должна превышать 10^{-6} . В ходе моделирования ошибок не фиксируется, сколько экспериментов необходимо провести, чтобы утверждать, что требования выполняются с доверительной вероятностью 0.999 (ответ округлить до 10^6)
- 2) Есть КИХ фильтр с симметричной импульсной характеристикой из 17 отсчетов. Найдите задержку сигнала в фильтре (величину задержки выразите интервалах дискретизации сигнала)

Ответы на вопросы

Номер вопроса	Ответ
1	7 000 000
2	8

Задания с развёрнутым ответом

- 1) Опишите алгоритм вычисления мягких решений по отдельным битам символа модуляции QAM

Ответы на вопросы

Номер вопроса	Критерии оценивания
1	<p>Обучающийся точно описал алгоритм вычисления мягких решений по отдельным битам символа модуляции QAM – 3 балла.</p> <p>Обучающийся в целом достаточно точно описал алгоритм вычисления мягких решений по отдельным битам символа модуляции QAM, имеются незначительные неточности – 2 балла.</p> <p>Обучающийся не достаточно точно описал алгоритм вычисления мягких решений по отдельным битам символа модуляции QAM, ответ не содержит грубых ошибок – 1 балл.</p> <p>Обучающийся не достаточно точно описал алгоритм вычисления мягких решений по отдельным битам символа модуляции QAM, ответ содержит грубые ошибки – 0 баллов.</p>

20.2 Промежуточная аттестация

Задания к контрольной работе

1. Оцените PER, если длина пакета 1000 бит и BER= $1e-6$. Битовые ошибки считать статистически независимыми.
2. Предложите алгоритм генерации случайных событий на основе генератора случайных чисел, равномерно распределенных на интервале [a, b], чтобы моделировать возникновение события с заданной вероятностью p
3. Опишите алгоритм вычисления мягких решений по отдельным битам символа модуляции QAM
4. Даны коэффициенты КИХ фильтра $h[i]$. Определите нормирующий множитель для сохранения заданного отношения E_b/N_0 после фильтра, если на вход фильтра подается аддитивная смесь белого гауссовского шума и сигнала с модуляцией QAM с частотой дискретизации 4 отсчета на символ модуляции.
5. Даны коэффициенты КИХ фильтра $h[i]$. Определите групповую задержку сигнала на нулевой частоте.
6. Моделируется линия связи в канале AWGN. Найдите формулу для определения дисперсии шума через отношение E_b/N_0 (дБ) при использовании модуляции M-QAM и помехоустойчивого кода со скоростью r , если нормирующий коэффициент фильтра k

7. Было выполнено статистическое моделирование некоторого канала связи. Моделировалась передача 1000 бит данных и было зафиксировано 80 ошибок. Определите BER и доверительный интервал по вероятности 0.9
8. Согласно техническому заданию PER в системе связи не должна превышать $1e-6$ с вероятностью 0.9. Моделирование показало, что получены более высокие показатели помехоустойчивости и ошибки при моделировании не происходят. Сколько безошибочных пакетов нужно принять, чтобы подтвердить выполнение требования технического задания.

Описание технологии проведения

Контрольная работа выполняется письменно и сдается на проверку.

Оценка за контрольную работу определяется как сумма баллов, набранных за все задания. Задания 1-6 оцениваются из 10 баллов, задания 7 и 8 – из 20 баллов (максимально возможная сумма при выполнении всех заданий – 100 баллов). При ошибках в выполнении задания или не полном выполнении оценка за задание снижается.

Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины, осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций. При оценивании результатов промежуточной аттестации используется количественная шкала оценок. Оценки за контрольную и лабораторные работы суммируются и результат нормируется к 100 бальной шкале. Полученное значение определяет уровень сформированности компетенций и итоговую оценку (достаточный – удовлетворительно, хорошо, отлично или недостаточный – неудовлетворительно) согласно следующей шкале:

- оценка «отлично» – 90...100 баллов
- оценка «хорошо» – 70...89 баллов
- оценка «удовлетворительно» – 50...69 баллов
- оценка «неудовлетворительно» – 0...49 баллов