

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский университет дружбы народов»

Факультет физико-математических и естественных наук

Рекомендовано МССН

09.00.00 «Информатика и  
вычислительная техника»

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Наименование дисциплины:**

**«Анализ производительности сетей подвижной связи»**

**Рекомендуется для направления подготовки**

**09.03.03 — Прикладная информатика**

*(указываются код и наименования направления(ий)*

*подготовки (специальности (ей) и/или профилей (специализаций)*

Квалификация (степень) выпускника бакалавр

*(указывается квалификация (степень) выпускника в соответствии с ОС ВО РУДН)*

## 1. Цели и задачи дисциплины

Целью данной дисциплины изучение принципов построения сетей сотовой подвижной связи. Дисциплина исследует зарождение подвижной связи, изучает поколения связи 2G-4G, их эволюцию и сервисные требования. Изучается принцип передачи обслуживания абонента (жесткий хэндовер), исследуется архитектура сети, радиоинтерфейс, кодирование канала, определяются методы инициации хэндовера. В дисциплине проводится обзор сетей подвижной связи, исследована архитектура сети CDMA и UMTS, определена совместимость стандартов, изучается архитектура и параметры мобильного WiMAX. Дисциплина исследует перспективы развития сетей сотовой связи и их переход к сетям связи четвертого поколения, таким как LTE. Исследуются основные функциональные элементы и архитектура сети LTE, адресация, нумерация, установление соединения в сети UMTS/IMS, строится диаграмма установления соединения между оборудованием двух пользователей подсистемы IMS. С помощью аппарата теории телетрафика проводится анализ типовых моделей процесса обслуживания вызова в соте сети подвижной связи с конечным и бесконечным числом абонентов.

Задачей дисциплины является исследование стандартов связи, разработка математических моделей обслуживания вызовов, исследование вероятностно-временных характеристик для математических моделей с помощью известных алгоритмов.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП

Цикл, к которому относится дисциплина: Блок 1 «Дисциплины (модули)», часть, формируемая участниками образовательных отношений, дисциплина по выбору.

В таблице № 1 приведены предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций дисциплины в соответствии с матрицей компетенций ОП ВО.

Таблица № 1

### Предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций

№ п/п	Шифр и наименование компетенции	Предшествующие дисциплины	Последующие дисциплины (группы дисциплин)
Универсальные компетенции			
	УК-1		
Общепрофессиональные компетенции			
	ОПК-1, ОПК-6, ОПК-10	Теория вероятностей и математическая статистика Основы математической теории телетрафика, Модели для анализа качества сетей следующего поколения	-
Профессиональные компетенции (вид профессиональной деятельности: научно-исследовательский)			
	ПК-7	Основы математической теории телетрафика, Модели для анализа качества сетей следующего поколения	-
Профессионально-специализированные компетенции специализации			

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций: УК-1, ОПК-1; ОПК-6, ОПК-10; ПК-7

УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач

- УК-1.1 Знает принципы сбора, отбора и обобщения информации, методики системного подхода для решения профессиональных задач
- УК-1.2 Умеет анализировать и систематизировать разнородные данные, оценивать эффективность процедур анализа проблем и принятия решений в профессиональной деятельности
- УК-1.3 Владеет навыками научного поиска и практической работы с информационными источниками; методами принятия решений

ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности:

- ОПК-1.1 Знает основы математики, физики, вычислительной техники и программирования
- ОПК-1.2 Умеет решать стандартные профессиональные задачи с применением естественнонаучных и общеинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования
- ОПК-1.3 Владеет навыками теоретического и экспериментального исследования объектов профессиональной деятельности

ОПК-6 Способен анализировать и разрабатывать организационно-технические и экономические процессы с применением методов системного анализа и математического моделирования

- ОПК-6.1 Знает основы теории систем и системного анализа, дискретной математики, теории вероятностей и математической статистики, методов оптимизации и исследования операций, нечетких вычислений, математического и имитационного моделирования
- ОПК-6.2 Умеет применять методы теории систем и системного анализа, математического, статистического и имитационного моделирования для автоматизации задач принятия решений, анализа информационных потоков, расчета экономической эффективности и надежности информационных систем и технологий
- ОПК-6.3 Владеет навыками проведения инженерных расчетов основных показателей результативности создания и применения информационных систем и технологий

ОПК-10. Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности.

- ОПК-10.1 Знает базовые принципы цифровых технологий и методов, необходимых в профессиональной деятельности в области прикладной информатики для: изучения и моделирования объектов профессиональной деятельности, анализа данных, представления информации и пр.
- ОПК-10.2 Умеет применять необходимые в профессиональной деятельности цифровые технологии и методы в области прикладной информатики для: изучения и моделирования объектов профессиональной деятельности, анализа данных, представления информации и пр.
- ОПК-10.3 Владеет необходимыми в профессиональной деятельности технологиями и методами в области прикладной информатики для: изучения и моделирования объектов профессиональной деятельности, анализа данных, представления информации и пр. В результате изучения дисциплины студент должен

ПК-7 Проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований

- ПК-7.1 Знает основы научно-исследовательской деятельности в области информационных технологий, знает основные методы решения прикладных задач, современные методы информационных технологий

- ПК-7.2 Умеет применять полученные знания для решения стандартных задач в области информационных технологий и в собственной научно-исследовательской деятельности
- ПК-7.3 Имеет практический опыт научно-исследовательской деятельности в области информационных технологий

В результате изучения дисциплины студент должен:

**Знать:** базовые знания из разделов теории телетрафика, методы анализа производительности сетей подвижной связи, основные законы теоретического исследования

**Уметь:** использовать разделы теории телетрафика для решения практических задач, уметь оперировать законами теоретического исследования, уметь применять теоретические сведения об информационно-коммуникационных технологий в практических исследованиях.

**Владеть:** современным математическим аппаратом, вычислительными средствами и базовыми математическими знаниями.

#### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр, модуль
		Сем. 7, мод.14
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	54	54
В том числе:	-	-
<i>Лекции</i>	18	18
<i>Практические занятия (ПЗ)</i>		
<i>Семинары (С)</i>		
<i>Лабораторные работы (ЛР)</i>	36	36
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	90	90
Общая трудоемкость	час	144
	зач. ед.	4

#### 5. Содержание дисциплины

##### 5.1. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
1.	Сети подвижной связи. Поколение 2G.	Архитектура сети GSM. Мобильная станция. Подсистема базовых станций. Сетевая подсистема. Радиоинтерфейс сети. Множественный доступ и структура каналов. Кодирование канала и модуляция. Принципы передачи обслуживания. Определение и типы хэндовера. Методы инициации хэндовера. Зона хэндовера. Анализ полнодоступной модели с потерями. Анализ неполнодоступной модели с потерями. Анализ неполнодоступной модели с бесконечной очередью и нетерпеливыми заявками. Анализ неполнодоступной модели с двумя очередями и нетерпеливыми заявками. Алгоритмы поиска ВВХ. Сети спутниковой связи. Модель фрагмента спутниковой связи. Схемы одностороннего и двухстороннего доступа между абонентом и спутником связи. Геостационарные, средневысотные и низкоорбитальные спутники.

		Основные области применения.
2.	Сети подвижной связи. Поколение 3G.	Обзор сетей подвижной связи. Эволюция. Поколения. Алгоритм Кауфмана-Робертса. Системы мобильной связи на основе технологии CDMA. Архитектура сети CDMA2000, кодирование. Регистрация в сети. Работа сети CDMA. Регистрация, обмен сигналами между мобильной и базовой станциями. Система мобильной связи UMTS. Архитектура UMTS. Процедуры мягкого и жесткого хэндовера в UMTS.
3.	Сети подвижной связи. Поколение 4G.	Мобильный WiMAX. Обеспечение качества обслуживания. Частичное повторное использование частоты. Архитектура и параметры мобильного WiMAX. Перспективы развития сетей сотовой связи и перехода к сетям LTE. Основные функциональные элементы. Особенности архитектуры сети LTE. Построение и функционирование радиointерфейса сети LTE. Адресация, идентификация, нумерация мобильных абонентов. Построение сигнальной диаграммы установления сессии между мобильными терминалами двух пользователей подсистемы IMS.

## 5.2 Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекц.	Практические занятия и лабораторные работы		СРС	Всего час.
			ПЗ/С	ЛР		
1.	Сети подвижной связи. Поколение 2G.	6		12	24	42
2.	Сети подвижной связи. Поколение 3G.	6		12	30	48
3.	Сети подвижной связи. Поколение 4G.	6		12	36	54
	<b>Итого:</b>	<b>18</b>		<b>36</b>	<b>90</b>	<b>144</b>

## 6. Лабораторный практикум

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудо-емкость (час.)
1.	Сети подвижной связи. Поколение 2G.	Исследование вероятностных характеристик моделей обслуживания вызовов в сети поколения 2G. Анализ двухпоточковой неполнодоступной СМО с потерями. Анализ двухпоточковой полнодоступной СМО с бесконечной очередью и нетерпеливыми заявками. Анализ двухпоточковой неполнодоступной СМО с двумя очередями.	12
2.	Сети подвижной связи.	Исследование вероятностных характеристик моделей обслуживания вызовов в сети поколения 3G. Анализ двухпоточковой неполнодоступной СМО с двумя	12

	Поколение 3G.	очередями и конечным числом абонентов. Решение задач с помощью алгоритма Кауфмана-Робертса. Исследование процедуры мягкого хэндовера. Построение моделей обслуживания вызовов в сетях поколения 3G.	
3.	Сети подвижной связи. Поколение 4G.	Построение моделей обслуживания вызовов в сетях поколения 4G. Учет эластичности трафика данных. Управление радиоресурсами и качеством в сети LTE. Процедуры регистрации и установления соединений в сети UMTS/IMS. Установление сессии между мобильными терминалами подсистемы IMS. Построение сигнальной диаграммы установления сессии между мобильными терминалами двух пользователей подсистемы IMS.	12
	Итого:		36

### **7. Практические занятия (семинары)**

Не предусмотрены.

### **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Мультимедийная аудитория для проведения лекционных занятий. Компьютерные (дисплейные) классы с доступом к сети Интернет и электронно-образовательной среде Университета для выполнения обучающимися практических работ по дисциплине, для проведения обучающимися самостоятельной работы и компьютерного тестирования обучающихся (при необходимости).

### **9. Информационное обеспечение дисциплины**

а) программное обеспечение

- ОС Windows, MS Office (программа корпоративного лицензирования (Microsoft Subscription) Enrollment for Education Solutions), браузер Firefox (лицензия MPL-2.0) или браузер Chrome (лицензия Google Chrome Terms of Service); Adobe Reader (Adobe Software License Agreement)
- ОС Linux, офисный пакет LibreOffice (лицензия MPL-2.0), ПО для просмотра pdf (например, evince (лицензия GPL-2+ CC-BY-SA-3.0)), sci-mathematics/octave (лицензия GPL-3), Scilab scientific software sci-mathematics/scilab (лицензия GPL-2), sci-visualization/gnuplot (лицензия gnuplot)

б) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

- Сайт библиотеки РУДН <http://lib.rudn.ru/>
- ТУИС <http://esystem.pfur.ru/>

### **10. Учебно-методическое обеспечение дисциплины:**

а) основная литература

1. Берлин, А.Н. Сотовые системы связи : учебное пособие / А.Н. Берлин. - Москва : Интернет-Университет Информационных Технологий, 2009. - 360 с. : табл., схем. - (Основы информационных технологий). - ISBN 978-5-9963-0104-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232987>
2. Иверсен, В.Б. Разработка телетрафика и планирование сетей : курс / В.Б. Иверсен ; Национальный Открытый Университет "ИНТУИТ". - Москва : Интернет-Университет Информационных Технологий, 2011. - 559 с. : табл., схем. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=234000>

б) дополнительная литература

1. Вишневский, В.М. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G / В.М. Вишневский, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. - Москва : РИЦ "Техносфера", 2009. - 470 с. - (Мир связи). - ISBN 978-5-94836-223-6 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=89407>

### **11. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины.**

Учебным планом на изучение дисциплины отводится один семестр. В течение семестра (модуля) выполняются лабораторные работы и контрольные мероприятия. В конце семестра производится итоговый контроль знаний.

#### **11.1 Структура практических занятий**

Лабораторное занятие подразумевает проверку наличия выполненного задания самостоятельной работы, разбор типичных ошибок, возникших в контрольных работах, доказательство теоретических оснований для практики текущей темы, разбор практических методов и решение соответствующих задач, в том числе с использованием вычислительно-программного комплекса, корректировка заданий для самостоятельной работы студентов. Также в лабораторной работе предполагаются дискуссии, работы, выполняемые малой группой, выполнение творческих задания. На некоторых занятиях проводится аудиторная контрольная работа.

#### **11.2. Самостоятельная работа студента**

Самостоятельная работа студентов по дисциплине состоит из заданий в форме тестовых (контрольных) работ, презентаций. Внеаудиторными формами и инструментами самостоятельной работы студентов по дисциплине являются: выполнение домашних заданий (практических и теоретических); выполнение домашних тестовых (контрольных) работ (как средство подготовки к аудиторным тестовым (контрольным) работам); подготовка к практическим занятиям как работа с лекционным материалом.

### **12. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)**

ФОС по дисциплине представлен в приложении к данной программе.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО РУДН.

#### **Разработчики:**

доцент кафедры прикладной информатики  
и теории вероятностей

Е.В. Маркова

#### **Заведующий кафедрой**

прикладной информатики  
и теории вероятностей, д.т.н., проф.

К.Е. Самуйлов

#### **Руководитель программы**

Заведующий кафедрой  
информационных технологий, д.ф.-м.н.

Ю.Н. Орлов

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский университет дружбы народов»  
Факультет физико-математических и естественных наук*

*Кафедра прикладной информатики и теории вероятностей*

# **ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

## **ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

Анализ производительности сетей подвижной связи

(наименование дисциплины)

09.03.03 — Прикладная информатика

(код и наименование направления подготовки)

Бакалавр

Квалификация (степень) выпускника



## Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине Анализ производительности сетей подвижной связи

Направление: 09.03.03 — Прикладная информатика

шифр                      название

Код контр. компетенции или ее части	Контр. раздел дисциплины	Контролируемая тема дисциплины	Фонды оценочных средств					Пром. атт.	Баллы темы	Баллы раздела
			Текущий контроль							
			Вып. КР 1	Вып. ЛР 1	Вып. КР2	Вып. ЛР 2	Вып. ДР	Итог. контр. знаний		
УК-1, ОПК-1; ОПК-6, ОПК-10; ПК-7	Сети подвижной связи. Поколение 2G.	Архитектура сети GSM. Мобильная станция. Подсистема базовых станций. Сетевая подсистема. Радиоинтерфейс сети. Множественный доступ и структура каналов. Кодирование канала и модуляция. Принципы передачи обслуживания. Определение и типы хэндовера. Методы инициации хэндовера. Зона хэндовера. Анализ полнодоступной модели с потерями. Анализ неполнодоступной модели с потерями. Анализ неполнодоступной модели с бесконечной очередью и нетерпеливыми заявками. Анализ неполнодоступной модели с двумя очередями и нетерпеливыми заявками. Алгоритмы поиска ВВХ. Сети спутниковой связи. Модель фрагмента спутниковой связи. Схемы одностороннего и двухстороннего доступа между абонентом и спутником связи. Геостационарные, средневьсотные и низкоорбитальные спутники. Основные области применения.	15	10	0	5	3	0	33	33
УК-1, ОПК-1; ОПК-6, ОПК-10; ПК-7	Сети подвижной связи. Поколение 3G.	Обзор сетей подвижной связи. Эволюция. Поколения. Алгоритм Кауфмана-Робертса. Системы мобильной связи на основе технологии CDMA. Архитектура сети CDMA2000, кодирование. Регистрация в сети. Работа сети CDMA. Регистрация, обмен сигналами между мобильной и базовой станциями. Система мобильной связи UMTS. Архитектура UMTS. Процедуры мягкого и жесткого хэндовера в UMTS.	5	5	10	5	3	10	38	38
УК-1, ОПК-1; ОПК-6,	Сети подвижной связи.	Мобильный WiMAX. Обеспечение качества обслуживания. Частичное повторное использование частоты. Архитектура и параметры мобильного	0	0	10	5	4	10	29	29

ОПК-10; ПК-7	Поколение 4G.	WiMAX. Перспективы развития сетей сотовой связи и перехода к сетям LTE. Основные функциональные элементы. Особенности архитектуры сети LTE. Построение и функционирование радиointерфейса сети LTE. Адресация, идентификация, нумерация мобильных абонентов. Построение сигнальной диаграммы установления сессии между мобильными терминалами двух пользователей подсистемы IMS.								
-----------------	---------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

УК-1, ОПК-1; ОПК-6, ОПК-10; ПК-7

УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач

- УК-1.1 Знает принципы сбора, отбора и обобщения информации, методики системного подхода для решения профессиональных задач
- УК-1.2 Умеет анализировать и систематизировать разнородные данные, оценивать эффективность процедур анализа проблем и принятия решений в профессиональной деятельности
- УК-1.3 Владеет навыками научного поиска и практической работы с информационными источниками; методами принятия решений

ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности:

- ОПК-1.1 Знает основы математики, физики, вычислительной техники и програм-мирования
- ОПК-1.2 Умеет решать стандартные профессиональные задачи с применением естественнонаучных и общеинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования
- ОПК-1.3 Владеет навыками теоретического и экспериментального исследования объектов профессиональной деятельности

ОПК-6 Способен анализировать и разрабатывать организационно-технические и экономические процессы с применением методов системного анализа и математического моделирования

- ОПК-6.1 Знает основы теории систем и системного анализа, дискретной математики, теории вероятностей и математической статистики, методов оптимизации и исследования операций, нечетких вычислений, математического и имитационного моделирования
- ОПК-6.2 Умеет применять методы теории систем и системного анализа, математического, статистического и имитационного моделирования для автоматизации задач принятия решений, анализа информационных потоков, расчета экономической эффективности и надежности информационных систем и технологий
- ОПК-6.3 Владеет навыками проведения инженерных расчетов основных показателей результативности создания и применения информационных систем и технологий

ОПК-10. Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности.

- ОПК-10.1 Знает базовые принципы цифровых технологий и методов, необходимых в профессиональной деятельности в области прикладной информатики для: изучения и моделирования объектов профессиональной деятельности, анализа данных, представления информации и пр.
- ОПК-10.2 Умеет применять необходимые в профессиональной деятельности цифровые технологии и методы в области прикладной информатики для: изучения и моделирования объектов профессиональной деятельности, анализа данных, представления информации и пр.
- ОПК-10.3 Владеет необходимыми в профессиональной деятельности технологиями и методами в области прикладной информатики для: изучения и моделирования объектов профессиональной деятельности, анализа данных, представления информации и пр. В результате изучения дисциплины студент должен

ПК-7 Проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований

- ПК-7.1 Знает основы научно-исследовательской деятельности в области информационных технологий, знает основные методы решения прикладных задач, современные методы информационных технологий
- ПК-7.2 Умеет применять полученные знания для решения стандартных задач в области информационных технологий и в собственной научно-исследовательской деятельности
- ПК-7.3 Имеет практический опыт научно-исследовательской деятельности в области информационных технологий

# Типовые задачи для промежуточного контроля знаний

## по дисциплине Анализ производительности сетей подвижной связи

1. Определить вероятностные характеристики для одной из моделей.
2. Анализ полнодоступной модели с одним и двумя потоками заявок.
1. Анализ неполнодоступной модели с одним и двумя потоками заявок.
2. Исследование вероятности блокировки многократного хэндовер-вызова.
3. Изобразить диаграмму интенсивностей переходов Марковского процесс для модели обслуживания вызовов второго поколения и записать систему уравнений локального баланса для одной из моделей.
4. Подбор структурных параметров сети для выполнения ограничений на QoS-параметры.
5. Вероятность блокировки нового вызова.
6. Вероятность блокировки хэндовер-вызова.
7. Полнодоступная двухпоточковая модель обслуживания вызовов без очереди. Схематически изобразить модель. Ввести случайный процесс. Изобразить диаграмму интенсивностей переходов. Выписать СУГБ, СУЛБ. Вывести стационарные вероятности и найти вероятность потерь 1- и 2-вызовов.
8. Неполнодоступная двухпоточковая модель обслуживания вызовов без очереди. Схематически изобразить модель. Ввести случайный процесс. Изобразить диаграмму интенсивностей переходов. Выписать СУГБ, СУЛБ. Вывести стационарные вероятности и найти вероятность потерь 1- и 2-вызовов.
9. Полнодоступная двухпоточковая модель обслуживания вызовов с бесконечной очередью (для 2-заявок) и нетерпеливыми заявками ((A): 2-заявка может находиться в очереди не более случайного времени, имеющего экспоненциальное распределение с параметром « $\gamma$ »). (B): 2-заявка, ожидающая в очереди, может покинуть СМО с интенсивностью « $\mu_1$ », что соответствует окончанию разговора в зоне хэндовера). Схематически изобразить модель. Ввести случайный процесс. Изобразить диаграмму интенсивностей переходов. Выписать СУГБ, СУЛБ. Выписать баланс вероятностных потоков 2-заявок, поступающих в очередь и покидающих ее. Вывести стационарные вероятности и найти вероятность потерь 1- и 2-вызовов.
10. Полнодоступная двухпоточковая модель обслуживания вызовов с конечной очередью (для 2-заявок) и нетерпеливыми заявками ((A): 2-заявка может находиться в очереди не более случайного времени, имеющего экспоненциальное распределение с параметром « $\gamma$ »). (B): 2-заявка, ожидающая в очереди, может покинуть СМО с интенсивностью « $\mu_1$ », что соответствует окончанию разговора в зоне хэндовера). Схематически изобразить модель. Ввести случайный процесс. Изобразить диаграмму интенсивностей переходов. Выписать СУГБ, СУЛБ. Выписать баланс вероятностных потоков 2-заявок, поступающих в очередь и покидающих ее. Вывести стационарные вероятности и найти вероятность потерь 1- и 2-вызовов.
11. Неполнодоступная двухпоточковая модель обслуживания вызовов с бесконечной очередью (для 2-заявок) и нетерпеливыми заявками ((A): 2-заявка может находиться в очереди не более случайного времени, имеющего экспоненциальное распределение с параметром « $\gamma$ »). (B): 2-заявка, ожидающая в очереди, может покинуть СМО с интенсивностью « $\mu_1$ », что соответствует окончанию разговора в зоне хэндовера). Схематически изобразить модель. Ввести случайный процесс. Изобразить диаграмму интенсивностей переходов. Выписать СУГБ, СУЛБ.

- Выписать баланс вероятностных потоков 2-заявок, поступающих в очередь и покидающих ее. Вывести стационарные вероятности и найти вероятность потерь 1- и 2-вызовов.
12. Неполнодоступная двухпоточковая модель обслуживания вызовов с конечной очередью (для 2-заявок) и нетерпеливыми заявками ((A): 2-заявка может находиться в очереди не более случайного времени, имеющего экспоненциальное распределение с параметром « $\gamma$ ». (B): 2-заявка, ожидающая в очереди, может покинуть СМО с интенсивностью « $\mu_1$ », что соответствует окончанию разговора в зоне хэндовера). Схематически изобразить модель. Ввести случайный процесс. Изобразить диаграмму интенсивностей переходов. Выписать СУГБ, СУЛБ. Выписать баланс вероятностных потоков 2-заявок, поступающих в очередь и покидающих ее. Вывести стационарные вероятности и найти вероятность потерь 1- и 2-вызовов.
  13. Неполнодоступная двухпоточковая модель обслуживания вызовов с двумя бесконечными очередями. Схематически изобразить модель. Ввести случайный процесс. Выписать упрощающие предположения для модели.
  14. Алгоритм Кауфмана-Робертса.
  15. Процедуры мягкого и жесткого хэндовера в UMTS.
  16. Исследование вероятностных характеристик моделей обслуживания вызовов в сети поколения 3G.
  17. Анализ двухпоточковой неполнодоступной СМО с двумя очередями и конечным числом абонентов.
  18. Построение моделей обслуживания вызовов в сетях поколения 3G.

## Типовые вопросы для итогового контроля знаний

### по дисциплине Анализ производительности сетей подвижной связи

1. Зарождение сети сотовой подвижной связи.
2. Опишите основные телекоммуникационные сервисы, предоставляемые сетью сотовой подвижной связи.
3. Дать определение соты и кластера (макросоты).
4. Опишите все элементы архитектуры сети GSM (изобразите архитектуру сети GSM). Опишите подробно Мобильную станцию и дайте понятие IMEI- и IMSI-кодам.
5. Опишите все элементы архитектуры сети GSM (изобразите архитектуру сети GSM). Опишите подробно подсистему базовых станций.
6. Опишите все элементы архитектуры сети GSM (изобразите архитектуру сети GSM). Опишите подробно сетевую подсистему.
7. Опишите радиointерфейс сети GSM на примере GSM-900. TDMA и FDMA. Разнос несущих частот.
8. Опишите структуру суперкадра TDMA.
9. Классификация логических и физических каналов. Логические каналы: каналы трафика и каналы управления.
10. Сверточное кодирование и чередование (перемежение) блоков.
11. Сетевые аспекты. Архитектура протокола сигнализации в GSM. Подуровень управления радиоресурсами.
12. Сетевые аспекты. Архитектура протокола сигнализации в GSM. Подуровень управления мобильностью. Подуровень управления соединением.
13. Определение хэндовера. Межсотовый и внутрисотовый хэндовер. Жесткий и мягкий хэндовер.

14. Методы инициации хэндовера. Метод сравнения мощностей. Метод порогового значения. Метод гистерезиса. Комбинированный метод инициации хэндовера.
15. Зона хэндовера. Вызовы, порождающие нагрузку на базовую станцию соты.
16. Структурные параметры сети. Переход от физической модели к математической.
17. Определение зоны хэндовера. Поведение абонента в зоне хэндовера и возможные варианты окончания разговора в зоне хэндовера.
18. Сети спутниковой связи. Модель фрагмента спутниковой связи. Схемы одностороннего и двухстороннего доступа между абонентом и спутником связи.
19. Опишите основные функциональные возможности спутниковой связи. Сравните количество и обслуживание абонентов с помощью геостационарных, низкоорбитальных и средневисотных спутников. Приведите известные Вам примеры
20. Обзор сетей подвижной связи. Эволюция. Поколения.
21. Системы мобильной связи на основе технологии CDMA.
22. Архитектура сети CDMA2000, кодирование.
23. Регистрация в сети CDMA2000.
24. Регистрация, обмен сигналами между мобильной и базовой станциями в сети CDMA2000.
25. Система мобильной связи UMTS. Архитектура UMTS.
26. Мобильный WiMAX. Обеспечение качества обслуживания. Частичное повторное использование частоты.
27. Архитектура и параметры мобильного WiMAX.
28. Перспективы развития сетей сотовой связи и перехода к сетям LTE.
29. Основные функциональные элементы. Особенности архитектуры сети LTE.
30. Построение и функционирование радиоинтерфейса сети LTE. Адресация, идентификация, нумерация мобильных абонентов.
31. Построение сигнальной диаграммы установления сессии между мобильными терминалами двух пользователей подсистемы IMS.
32. Построение моделей обслуживания вызовов в сетях поколения 4G.
33. Учет эластичности трафика данных. Построение моделей обслуживания вызовов.
34. Управление радиоресурсами и качеством связи в сети LTE.
35. Процедуры регистрации и установления соединений в сети UMTS/IMS.
36. Установление сессии между мобильными терминалами подсистемы IMS.

## **Пример экзаменационного билета**

### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № N**

1. Зарождение сети сотовой подвижной связи в СССР и других странах.
2. Полнодоступная двухсервисная модель Эрланга с одинаковой интенсивностью обслуживания: пространство состояний, множества блокировок и приема, диаграмма интенсивностей переходов, СУГБ, СУЛБ, распределение вероятностей, вероятностные характеристики.

## **Пример лабораторной работы**

Рассматривается полнодоступная двухсервисная модель Эрланга с разными интенсивностями обслуживания и разными требованиями:  $C = 9$ ;  $b_1 = 3$ ;  $b_2 = 4$ .

1. Выписать пространство состояний  $X$ ;
2. Построить диаграмму интенсивностей переходов;

3. Выписать множества блокировок запросов  $B_1, B_2$ ;
4. Выписать множества приема запросов  $S_1, S_2$ ;
5. Составить СУЧБ;
6. Найти стационарное распределение вероятностей в общем виде.

## Пример домашнего задания

Дано: Модель с двумя потоками «Энгсет»

- а. Число обслуживающих приборов  $C = 4$ .
- б. Число источников 1-заявок  $N_1 = 4$ .
- в. Интенсивность поступления 1-заявок  $\varepsilon_1 = 3$ .
- г. Интенсивность обслуживания 1-заявок  $\mu_1 = 1.5$ .
- д. Число источников 2-заявок  $N_2 = 2$ .
- е. Интенсивность поступления 2-заявок  $\varepsilon_2 = 0.25$ .
- Интенсивность обслуживания 2-заявок  $\mu_2 = 0.75$ .

Задания:

- а. Выписать пространство состояний  $X$ .
- б. Выписать множества блокировок  $B_1$  и  $B_2$ .
- в. Выписать множества приема  $\bar{B}_1$  и  $\bar{B}_2$ .
- г. Нарисовать диаграмму интенсивностей переходов.
- д. Показать на диаграмме интенсивностей переходов множества  $X, B_1, B_2, \bar{B}_1$  и  $\bar{B}_2$ .
- е. Выписать матрицу интенсивностей переходов.
- ж. Составить систему уравнений глобального баланса.
- з. Доказать обратимость случайного процесса.
- и. Составить систему уравнений частичного баланса.
- к. Найти распределение вероятностей состояний системы  $p$ .
- л. Найти интенсивность предложенной нагрузки  $Y_{\text{предл}}^1, Y_{\text{предл}}^2$  и  $Y_{\text{предл}}$ .
- м. Найти интенсивность потерянной нагрузки  $Y_{\text{пот}}^1, Y_{\text{пот}}^2$  и  $Y_{\text{пот}}$ .
- н. Найти интенсивность обслуженной нагрузки  $Y_{\text{обсл}}^1, Y_{\text{обсл}}^2$  и  $Y_{\text{обсл}}$ .
- о. Найти вероятность блокировки по времени  $E_1$  и  $E_2$ .
- п. Найти вероятность блокировки по вызовам  $B_1$  и  $B_2$ .
- р. Найти вероятность блокировки по нагрузке  $C_1$  и  $C_2$ .
- с. Найти среднее число заявок  $\bar{N}_1, \bar{N}_2$  и  $\bar{N}$ .