

УЧЕБНИК

ДЛЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ



ОБЩАЯ ТЕОРИЯ СВЯЗИ



А. С. Аджемов
В. Г. Санников

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
Часть I. ОСНОВЫ ТЕОРИИ СИГНАЛОВ И КАНАЛОВ СВЯЗИ	9
Глава 1. МОДЕЛИ И ОПЕРАТОРЫ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ	11
1.1. Обобщенная модель системы передачи информации (СПИ) ...	11
1.2. Основные характеристики и простейшая классификация сигналов	15
1.3. Операторы передачи и приёма сигналов	18
1.3.1. Операторы передающего устройства	19
1.3.2. Операторы приемного устройства	24
1.4. Геометрическое представление преобразования сигналов в системе передачи информации	26
1.5. Особенности оптимизации преобразований сообщений и сигналов в различных метрических пространствах	33
<i>Контрольные вопросы</i>	36
Глава 2. ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЕ СИГНАЛЫ	38
2.1. Временное и спектральное представления аналоговых сигналов. Интегральные преобразования Фурье	38
2.2. Локальные частотно-временные представления аналоговых сигналов	41
2.2.1. Оконное преобразование Фурье	41
2.2.2. Вейвлет-преобразование	42
2.3. Представление аналоговых сигналов ортогональными рядами	45
2.3.1. Обобщенный ряд Фурье	45
2.3.2. Ортогональные представления финитных во времени сигналов	47
2.4. Дискретизация и восстановление аналоговых сигналов	49
2.4.1. Сигналы с ограниченным спектром. Теорема Котельникова	50
2.4.2. Временная дискретизация аналогового сигнала	51
2.4.3. Восстановление аналогового сигнала по его отсчетам ...	54
2.5. Аналитические и узкополосные сигналы. Преобразование Гильберта	56
2.5.1. Аналитический сигнал	57
2.5.2. Преобразование Гильберта	58
2.5.3. Узкополосный сигнал	59

2.6. Представления дискретно-аналоговых сигналов	61
2.6.1. От преобразования Лапласа к Z -преобразованию	61
2.6.2. Дискретное преобразование Фурье	64
2.6.3. Быстрое преобразование Фурье	68
Контрольные вопросы	74
Глава 3. СЛУЧАЙНЫЕ СИГНАЛЫ	76
3.1. Общие представления о случайных процессах	76
3.2. Вероятностные характеристики и классификация случайных процессов	78
3.3. Вероятностные и числовые характеристики одномерных случайных величин	80
3.4. Вероятностные и числовые характеристики двумерных случайных величин	84
3.5. Функция корреляции и спектральная плотность мощности случайного процесса. Преобразования Винера–Хинчина	86
3.6. Моделирование непрерывных случайных сообщений	91
Контрольные вопросы	94
Глава 4. МОДУЛИРОВАННЫЕ СИГНАЛЫ	95
4.1. Сигналы аналоговой модуляции при гармоническом переносчике	96
4.1.1. Сигналы амплитудной модуляции	96
4.1.2. Сигналы угловой модуляции	100
4.2. Особенности модуляции при случайном сообщении	105
4.3. Сигналы дискретной модуляции	109
4.3.1. Понятие о передаче данных и сигнальном созвездии	109
4.3.2. Сигналы двоичной модуляции	110
4.3.3. Сигналы M -ичной модуляции. Сигнально-кодовые конструкции	114
4.4. Модулированные сигналы при импульсном переносчике	118
Контрольные вопросы	122
Глава 5. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КАНАЛОВ СВЯЗИ	123
5.1. Особенности реальных каналов связи	123
5.2. Общая теория систем применительно к каналам связи	126
5.2.1. Физический и математический уровни описания каналов связи	126
5.2.2. Аксиомы теории систем	129
5.2.3. Математическая классификация каналов связи	132
5.3. Модели и особенности непрерывных каналов связи	134
5.3.1. Простейшие модели непрерывных каналов связи	134
5.3.2. Преобразование сигналов в нелинейных и линейных звеньях каналов связи	140
5.4. Простейшие модели дискретных каналов связи	144

5.5. Особенности оптических каналов связи	152
<i>Контрольные вопросы</i>	154
Часть II. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ И КОДИРОВАНИЯ	156
Глава 6. ИНФОРМАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ТЕОРИИ СИГНАЛОВ	158
6.1. Модель и основные характеристики системы передачи информации	158
6.1.1. Модель системы передачи информации	158
6.1.2. Внешние и внутренние характеристики системы передачи информации	160
6.1.3. Системы передачи информации с кодированием. Основные понятия	160
6.2. Информационные характеристики источников дискретных сообщений	163
6.2.1. Информационные меры Хартли и Шеннона	163
6.2.2. Энтропия дискретного ансамбля и взаимная информация	165
6.2.3. Удельная энтропия	169
6.2.4. Асимптотическая эквивалентность неравновероятных возможностей равновероятным. Энтропийная мощность	170
6.2.5. Производительность и избыточность источника	171
6.3. Информационные характеристики источников непрерывных сообщений	172
6.3.1. Энтропия непрерывного ансамбля	172
6.3.2. Дифференциальная энтропия	174
6.3.3. Условная энтропия и количество взаимной информации	177
6.3.4. Дифференциальная энтропия случайного вектора	178
6.3.5. Дифференциальная энтропия стационарного сообщения дискретного времени	179
6.3.6. Эпсилон-энтропия и эпсилон-производительность источника непрерывных сообщений. Функция скорость-искажение	180
<i>Контрольные вопросы</i>	185
Глава 7. ИНФОРМАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ТЕОРИИ КАНАЛОВ	187
7.1. Исследуемые модели каналов связи	187
7.2. Информационные характеристики дискретных каналов связи	188
7.3. Информационные характеристики непрерывных каналов связи	189
7.4. Информационная емкость и пропускная способность дискретного канала связи	190
7.4.1. Математические модели канала	190
7.4.2. Информационная емкость стационарного канала без памяти	191
7.4.3. Информационная емкость и пропускная способность m -ичного симметричного канала	192

7.4.4. Пропускная способность двоичного симметричного канала	193
7.5. Информационная емкость и пропускная способность непрерывного канала связи	193
7.5.1. Математические модели канала	193
7.5.2. Информационная емкость стационарного канала дискретного времени	194
7.5.3. Информационная емкость стационарного канала с аддитивным шумом	194
7.5.4. Пропускная способность непрерывного канала непрерывного времени	196
7.5.5. Оценка эффективности дискретного канала дискретного времени	197
Контрольные вопросы	212
Глава 8. ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ ПО КАНАЛАМ СВЯЗИ С КОДИРОВАНИЕМ СООБЩЕНИЙ. ПРЕДЕЛЬНЫЕ ТЕОРЕМЫ	213
8.1. Передача информации по каналу без ошибок. Кодирование источника	213
8.1.1. Постановка задачи	213
8.1.2. Предельные возможности эффективного кодирования. Основная теорема кодирования для канала без шума	214
8.1.3. Примеры эффективного кодирования дискретных сообщений	216
8.2. Передача информации по каналу без шумов со штрафами	219
8.2.1. Погрешность эффективного декодирования при ограничении длины кодовой последовательности символов	219
8.2.2. Удельная пропускная способность дискретного канала со штрафами	221
8.3. Передача информации по каналу с шумом. Кодирование канала	225
8.3.1. Принципы оптимального кодирования и декодирования дискретных сообщений в условиях помех	226
8.3.2. Предельные возможности помехоустойчивого кодирования. Основная теорема кодирования для канала с шумом	227
Контрольные вопросы	230
Глава 9. КОНСТРУКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ ДИСКРЕТНЫХ СООБЩЕНИЙ	231
9.1. Краткая классификация корректирующих кодов	231
9.2. Общие принципы корректирующего кодирования и декодирования дискретных сообщений с обнаружением и исправлением ошибок	234
9.3. Корректирующие линейные коды	236

9.3.1. Способы задания линейного кода. Правила кодирования	238
9.3.2. Декодирование линейных кодов при обнаружении ошибок	241
9.3.3. Декодирование линейных кодов с исправлением ошибок	244
9.3.4. Линейные коды Хэмминга	245
9.4. Циклические коды	247
9.4.1. Циклический сдвиг и полиномиальное представление кода	247
9.4.2. Порождающий полином циклического кода	250
9.4.3. Правила кодирования и декодирования циклических кодов	251
9.4.4. Мажоритарное декодирование при исправлении ошибок	259
9.5. Сверточные коды	261
9.5.1. Принципы сверточного кодирования	262
9.5.2. Решетчатая диаграмма сверточного кода	264
9.5.3. Принципы последовательного декодирования сверточных кодов	266
9.5.4. Многopороговое декодирование сверточных кодов	268
9.6. Принципы каскадного и турбо кодирования дискретных сообщений	271
9.7. Помехоустойчивость и эффективность корректирующих кодов	275
9.8. Предельные оценки числа проверочных символов в блочном линейном коде при декодировании с исправлением ошибок	277
9.9. Применение корректирующих кодов в системах с обратной связью	277
Контрольные вопросы	283
Глава 10. ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ	284
10.1. Криптосистемы защиты информации	25
10.1.1. Основные понятия и требования к средствам защиты информации	285
10.1.2. Этапы развития криптосистем защиты информации	287
10.1.3. Элементы теории чисел	288
10.2. Теоретико-информационные аспекты криптозащиты сообщений	290
10.2.1. Модель и основные понятия секретной связи	291
10.2.2. Общий вид оператора шифрования дискретных сообщений	293
10.2.3. Совершенная секретность и совершенный шифр	295
10.2.4. Свойства криптопреобразования со случайным ключом. Информационная цена криптозащиты	296
10.2.5. Взаимная информация между криптограммой и ключом. Первая криптотеорема Шеннона	297
10.2.6. Криптопреобразование сообщений с ключом конечной энтропии. Вторая криптотеорема Шеннона. Расстояние единственности	300

10.2.7. Криптограмма как зашумленное сообщение. Ключ как сдвиг в кольце алфавита. Гаммирование	301
10.3. Симметричные криптосистемы защиты информации	302
10.3.1. Основные классы криптопреобразований	302
10.3.2. Криптографические примитивы	304
10.3.3. Блочные шифры. Стандарты DES и ГОСТ 28147-89 ...	308
10.3.4. Методы формирования ключей для блочного шифра ..	313
10.4. Асимметричные криптосистемы защиты информации	317
10.4.1. Организация секретной связи	317
10.4.2. Односторонние (однаправленные) функции и функции-ловушки	318
10.4.3. Криптосистема формирования ключей Диффи-Хелмана	320
10.4.4. Односторонняя функция с «лазейкой» и шифр RSA ...	322
10.4.5. Электронная подпись RSA	324
Контрольные вопросы	326
Часть III. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ОПТИМАЛЬНОГО ПРИЕМА СООБЩЕНИЙ	327
Глава 11. ОПТИМАЛЬНЫЙ ПРИЕМ СООБЩЕНИЙ КАК СТАТИСТИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА	329
11.1. Содержание и классификация задач оптимального приема дискретных сообщений	329
11.1.1. Обнаружение сигналов	330
11.1.2. Различение сигналов	330
11.2. Проверка гипотез, критерии и показатели оптимальности приема	321
11.2.1. Критерии принятия решений	332
11.2.2. Показатели оптимальности приема	333
11.2.3. Отношение правдоподобия	335
11.3. Обобщенная структурная схема оптимального приемника	336
11.4. Оптимальная линейная фильтрация зашумленного импульсного сигнала по критерию максимума отношения сигнал/шум. Согласованный фильтр	339
11.4.1. Постановка задачи синтеза оптимального линейного фильтра	340
11.4.2. Отношение сигнал/шум на выходе ОЛФ при белом шуме	341
11.4.3. Оптимальные характеристики согласованного фильтра	341
11.4.4. Сигнальная и шумовая составляющие согласованного фильтра	343
11.4.5. Улучшение отношения сигнал/шум в согласованном фильтре	344
11.4.6. Примеры синтеза согласованных фильтров	345
11.4.7. Согласованная фильтрация импульсных сигналов, наблюдаемых на фоне коррелированного шума	347
Контрольные вопросы	348

Глава 12. ОПТИМАЛЬНЫЙ ПРИЕМ ДИСКРЕТНЫХ СООБЩЕНИЙ В ГАУССОВСКИХ КАНАЛАХ С ДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ СТРУКТУРОЙ	350
12.1. Модель и вероятностные характеристики гауссовского канала с детерминированной структурой	350
12.2. Оптимальное когерентное обнаружение сигналов на фоне аддитивных помех с равномерным спектром	352
12.3. Оптимальное когерентное различение двоичных сигналов на фоне аддитивных помех с равномерным спектром	354
12.4. Потенциальная помехоустойчивость когерентного приема двоичных сигналов	356
12.4.1. Помехоустойчивость алгоритмов обнаружения сигналов	356
12.4.2. Помехоустойчивость алгоритмов различения двоичных сигналов	359
12.4.3. Сравнение потенциальной помехоустойчивости когерентного приема сигналов двоичной модуляции	361
12.5. Оптимальные алгоритмы и помехоустойчивость когерентного приема многопозиционных сигналов на фоне аддитивных помех с равномерным спектром	264
12.5.1. Оптимальные аналоговые демодуляторы M -ичных сигналов	264
12.5.2. Потенциальная помехоустойчивость систем передачи ортогональных и симплексных сигналов	376
12.5.3. Помехоустойчивость систем с M -ичной и квадратурной АМ	370
12.6. Оптимальные алгоритмы и помехоустойчивость когерентного приема многопозиционных сигналов на фоне аддитивных помех с неравномерным спектром	375
12.6.1. Оптимальные аналоговые демодуляторы	376
12.6.2. Потенциальная помехоустойчивость демодуляторов	377
Контрольные вопросы	378
Глава 13. ОПТИМАЛЬНЫЙ ПРИЕМ ДИСКРЕТНЫХ СООБЩЕНИЙ В ГАУССОВСКИХ КАНАЛАХ СО СТОХАСТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ	379
13.1. Модель и вероятностные характеристики гауссовского канала со стохастической структурой	380
13.1.1. Прямое и косвенное описания канала связи	380
13.1.2. Исключение мешающих параметров из функционала правдоподобия	381
13.2. Оптимальное обнаружение сигналов со случайной начальной фазой на фоне аддитивных помех с равномерным спектром ..	384
13.3. Оптимальное некогерентное различение многопозиционных сигналов на фоне аддитивных помех с равномерным спектром ..	386
13.3.1. Оптимальные аналоговые демодуляторы сигналов со случайной начальной фазой	387

13.3.2. Оптимальный некогерентный прием сигналов относительной ДФМ со случайной начальной фазой	389
13.4. Потенциальная помехоустойчивость некогерентного приема сигналов дискретной модуляции	390
13.5. Сравнение потенциальной помехоустойчивости некогерентного приема сигналов ДАМ, ДЧМ и ОДФМ	394
13.6. Оптимальный некогерентный прием сигналов на фоне аддитивных помех с равномерным спектром в каналах с общими замираниями. Разнесенный прием	396
13.6.1. Оптимальные алгоритмы обнаружения и различения сигналов со случайными начальной фазой и амплитудой	396
13.6.2. Оптимальные алгоритмы различения сигналов в многолучевом канале с замираниями. Разнесенный прием	398
13.7. Помехоустойчивость систем передачи дискретных сообщений в условиях замираний	402
13.7.1. Вероятностные характеристики помехоустойчивости обнаружения сигналов со случайными начальной фазой и амплитудой	402
13.7.2. Вероятностные характеристики помехоустойчивости различения двоичных сигналов в условиях замираний	403
Контрольные вопросы	407
Глава 14. ОСОБЕННОСТИ ОПТИМАЛЬНОГО ПРИЕМА НЕПРЕРЫВНЫХ СООБЩЕНИЙ	408
14.1. Содержание и разновидности задач оптимального приема непрерывных сообщений	409
14.1.1. Оценка параметров и фильтрация сигналов	409
14.1.2. Задачи оптимального приема непрерывных сообщений	411
14.1.3. Математические модели непрерывных сообщений	411
14.2. Типовая схема и показатели помехоустойчивости систем передачи непрерывных сообщений	413
14.2.1. Типовая схема анализа помехоустойчивости	413
14.2.2. Показатели помехоустойчивости приема непрерывных сообщений	415
14.3. Введение в теорию статистического оценивания параметров ..	417
14.3.1. Постановка задачи	418
14.3.2. Функция потерь и средний риск статистической оценки ..	418
14.3.3. Состоятельные, несмещенные и достаточные оценки ...	419
14.3.4. Неравенство информации и эффективные оценки	420
14.3.5. Максимально правдоподобное оценивание	422
14.3.6. Поисковые и следящие системы оценки параметров	422
14.4. Оптимальная линейная фильтрация зашумленного сообщения по критерию минимума среднеквадратической погрешности. Фильтр Колмогорова–Винера	426
14.4.1. Постановка задачи синтеза оптимального линейного фильтра	427

14.4.2. Характеристики оптимального линейного фильтра при аналоговом наблюдении. Уравнение Винера–Хопфа	427
14.4.3. Оптимальный линейный фильтр при дискретно-аналоговом наблюдении. Синтез фильтра во временной области	429
14.4.4. Характеристики оптимального фильтра в частотной области	430
14.4.5. Пример оптимальной линейной фильтрации модели речевого сигнала, наблюдаемого в смеси с белым шумом	431
14.5. Дискретно-аналоговые алгоритмы оптимальной оценки параметров непрерывного сообщения	434
14.5.1. Оптимальная фильтрация последовательности оценок детерминированного сообщения	434
14.5.2. Оценка коэффициентов авторегрессионной модели сообщения на основе метода наименьших квадратов	436
14.5.3. Оценка коэффициентов линейного прогноза на основе рекуррентного метода наименьших квадратов	437
Контрольные вопросы	440
Глава 15. ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ВЕРНОСТЬ И АЛГОРИТМЫ ОПТИМАЛЬНОГО ПРИЕМА НЕПРЕРЫВНЫХ СООБЩЕНИЙ	441
15.1. Операторы идеального приема	441
15.2. Спектральная плотность мощности шума на выходе оптимального приемника. Понятие об идеальной системе	444
15.2.1. Максимально правдоподобная оценка спектральной плотности мощности шума на выходе приемника	444
15.2.2. Особенности прямых и непрямых методов модуляции ..	446
15.2.3. Понятие об идеальной системе	447
15.3. Потенциальная верность приема сигналов с непрерывными видами модуляции	448
15.3.1. Системы с амплитудной модуляцией и ее разновидности	449
15.3.2. Системы с угловой модуляцией	450
15.3.3. Системы с импульсной модуляцией	452
15.3.4. Пороговый эффект в широкополосных системах с нелинейными видами модуляции	453
15.4. Оптимальный прием и предельная верность оценки параметров гармонического сигнала на фоне шума с равномерным спектром	454
15.4.1. Алгоритмы оптимальной оценки векторного параметра	455
15.4.2. Оптимальная оценка амплитуды гармонического сигнала	456
15.4.3. Оценка частоты и начальной фазы гармонического сигнала	457
15.5. Оптимальный прием сигналов непрерывной модуляции на фоне гауссовского шума с известными характеристиками	460
15.5.1. Необходимые условия оптимальности оценки сообщения	460

15.5.2. Оптимальный прием сигналов на фоне гауссовского шума при передаче непрерывного гауссовского сообщения	462
15.5.3. Структурные схемы оптимальных демодуляторов гауссовского сообщения при наличии помех с равномерным спектром	462
15.5.4. Потенциальная верность фильтрации стационарного гауссовского сообщения при его наблюдении в смеси с белым шумом	464
15.6. Оптимальная рекуррентная фильтрация зашумленного сигнала в пространстве состояний. Дискретно-аналоговый фильтр Калмана	466
15.6.1. Уравнения состояния и наблюдений	466
15.6.2. Уравнения оптимальной оценки вектора состояния	467
15.6.3. Основные особенности фильтра Калмана	469
Контрольные вопросы	470
Часть IV. ПРИЛОЖЕНИЯ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ СВЯЗИ	471
Глава 16. ОСНОВЫ ТЕОРИИ И ПРИНЦИПЫ МНОГОКАНАЛЬНОЙ СВЯЗИ	473
16.1. Общие положения	473
16.1.1. Обобщенная структурная схема многоканальной связи	473
16.1.2. Принципы организации многоканальной связи	478
16.2. Линейное уплотнение и разделение сигналов	481
16.2.1. Основы теории	481
16.2.2. Структурная схема системы многоканальной связи с линейным уплотнением и разделением линейно-независимых сигналов	486
16.3. Особенности нелинейного уплотнения и разделения сигналов .	489
16.3.1. Комбинированное уплотнение и разделение	489
16.3.2. Логическое уплотнение и разделение	492
16.3.3. Разделение канальных сигналов по уровню	493
16.3.4. Взаимосвязь между комбинированным разделением и разделением сигналов по уровню	494
16.3.5. Метод разделения сомножителей	495
Контрольные вопросы	495
Глава 17. МНОГОКАНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ СООБЩЕНИЙ С ЧАСТОТНЫМ, ВРЕМЕННЫМ И КODOVЫМ УПЛОТНЕНИЕМ И РАЗДЕЛЕНИЕМ СИГНАЛОВ	497
17.1. Частотное уплотнение и разделение канальных сигналов	497
17.1.1. Условия линейного уплотнения и разделения сигналов .	497
17.1.2. Многоканальная система передачи с гармоническими поднесущими	499
17.1.3. Особенности цифровой многочастотной модуляции	501

17.1.4. Цифровая многочастотная модуляция с широкополосными ортогональными гармоническими поднесущими. ОГСР-OFDM	502
17.2. Временное уплотнение и разделение канальных сигналов	506
17.2.1. Условия линейного уплотнения и разделения сигналов ..	506
17.2.2. Многоканальная система передачи с импульсными поднесущими	508
17.3. Различение сигналов по их форме и кодовое разделение каналов	510
17.4. Основные характеристики многоканальных систем	512
17.4.1. Характеристики МСП с ЧРК	513
17.4.2. Характеристики МСП с ВРК	516
17.4.3. Пропускная способность и эффективность многоканальных систем	517
17.4.4. Оценка помехоустойчивости многоканальных систем ...	521
Контрольные вопросы	524
Глава 18. ПРИНЦИПЫ МНОГОСТАНЦИОННОГО ДОСТУПА В ЛИНИЮ СВЯЗИ	526
18.1. Многопользовательская среда и многостанционный доступ ...	526
18.1.1. Модель системы передачи с многостанционным доступом	526
18.1.2. Методы многостанционного доступа	529
18.2. Особенности формирования сигналов в асинхронно-адресных системах связи	531
18.2.1. Общие требования к сигналам	531
18.2.2. Сигналы с частотно-временным кодированием	532
18.2.3. Сложные фазоманипулированные сигналы	534
18.2.4. Межстанционные помехи	536
18.3. Особенности сотовых сетей подвижной радиосвязи	538
18.3.1. Модель сотовой телефонной сети	538
18.3.2. Способы организации структуры сети	540
18.3.3. Особенности общеевропейской цифровой системы стандарта GSM	541
18.4. Четыре поколения развития сетей широкополосного доступа ..	545
18.5. Многоантенный вход-выход и пространственно-временное кодирование сообщений	546
18.5.1. Модель системы и особенности структуры множественный вход — множественный выход	547
18.5.2. Пространственно-временное блочное кодирование. Схема Аламоути	549
Контрольные вопросы	551
Глава 19. ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ СЕТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ	552
19.1. Сеть связи как открытая система	553
19.2. Организация связи в коммутируемых сетях	554
19.3. Математическая модель сети и элементы маршрутизации	557

19.4. Особенности маршрутизации в транспортных сетях	559
19.5. Основные понятия теории распределения информации	560
19.6. Оптимизация пропускной способности каналов сети с коммутацией пакетов	566
<i>Контрольные вопросы</i>	569
Глава 20. ЭЛЕМЕНТЫ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ СВЯЗИ В БИОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ	571
20.1. Сообщения в биологических объектах	571
20.1.1. Коммуникация в живом мире	571
20.1.2. Информационный обмен в клетке. Генетический код ...	572
20.1.3. Сравнение телеграфного и генетического кодов	575
20.2. Еще раз о пространствах в биологических структурах	578
20.3. Принципы передачи сигналов в нейросенсорных системах	579
20.3.1. Нейрон как приемо-передающая информационная система	579
20.3.2. Функциональная модель нейрона и динамическая частотно-импульсная модуляция	580
20.4. Функциональная модель зрительной системы	581
20.5. Особенности преобразования сигналов в слуховой системе	585
20.5.1. Общие принципы преобразования речи на периферии слуха	586
20.5.2. Математические модели и характеристики основных структур периферии слуховой системы	589
20.6. Статистическая теория оценки качества речевой связи по разборчивости и громкости слухового восприятия речи	594
20.6.1. Рабочие характеристики слуховой системы и разборчивость речи	595
20.6.2. Стохастическая модель слуховых нейронов и громкость речи	598
<i>Контрольные вопросы</i>	602
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	604
ЛИТЕРАТУРА	606
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	610