

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНТРАНС РОССИИ)
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ
(РОСАВИАЦИЯ)
ФГОУ ВПО «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ»

ОБЩАЯ ТЕОРИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ по изучению дисциплины и задания по выполнению курсового проекта

Для студентов командного, инженерно-технического
и заочного факультетов
Специализация – организация радиотехнического обеспечения
полетов (ОРТОП)

Санкт-Петербург
2011

Одобрено и рекомендовано к изданию
Учебно-методическим советом Университета

Ш87(03)

Общая теория радиоэлектронных систем: Методические указания по изучению дисциплины и задания по выполнению курсового проекта/ СПб ГУГА. С.-Петербург, 2011. – 42 с.

Издаются в соответствии с программой дисциплины «Общая теория радиоэлектронных систем» и предназначены для студентов заочного, командного и инженерно-технического факультетов специализации «Организация радиотехнического обеспечения полетов». Содержат методические указания к изучению теоретического материала и краткие теоретические сведения и рекомендации, необходимые для выполнения курсового проекта.

Табл. 9, библи. 30 назв., прилож. 1.

Составитель В.К. Кульчицкий, канд.техн.наук доц.

Рецензент Е.Н. Зайцев, д-р.техн.наук проф.

© Санкт-Петербургский государственный университет
гражданской авиации, 2011

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Радиоэлектронные системы (РЭС) являются элементами комплекса технических средств, обеспечивающего навигацию и посадку воздушных судов, управление воздушным движением и авиационную электросвязь. Находящиеся в эксплуатации в гражданской авиации (ГА) радиоэлектронные системы отличаются большим разнообразием как по функциональному предназначению и составу решаемых задач, так и по особенностям их функционирования, диапазонам рабочих частот, классам излучений применяемых сигналов, конструктивному исполнению, используемой элементной базе и т.д. Однако общие принципы построения этих систем едины.

Задача изучения дисциплины «Общая теория радиоэлектронных систем» заключается в том, чтобы получить систематические знания по следующим вопросам:

- представление сигналов и помех в различных сечениях каналов передачи (извлечения) информации;
- оценка информационных характеристик источников сообщений и каналов передачи (извлечения) информации;
- кодирование сообщений и сигналов;
- оптимальный прием сигналов;
- цифровая обработка дискретных и непрерывных сигналов;
- принципы построения и функционирования основных радиотехнических устройств РЭС ГА;
- системно-технический анализ РЭС.

Объем программы учебной дисциплины «Общая теория радиоэлектронных систем» определен на основе типового учебного плана.

Дисциплина «Общая теория радиоэлектронных систем» является общеинженерной дисциплиной, базирующейся на знании основ физики, высшей математики, теории вероятностей, математической статистики, теории случайных процессов, основ радиотехнического обеспечения полетов и теории радиотехнических цепей и сигналов, и формирующей основополагающие знания, необходимые для изучения РЭС ГА.

В результате изучения дисциплины студент **должен знать:**

методы представления сигналов различных видов и классов излучений и особенности применения этих методов; структуру и особенности построения каналов передачи и извлечения информации и назначение их элементов; назначение, классификацию, принципы построения и функционирования антенно-фидерных устройств,

радиоприемников и радиопередатчиков, составляющих основу РЭС ГА;

уметь:

анализировать особенности преобразований сигналов при их прохождении по каналу передачи информации и описывать эти сигналы, применяя различные методы их представления; анализировать влияние различных факторов на качество функционирования антенно-фидерных устройств, радиоприемников и радиопередатчиков;

иметь представление:

о способах оптимального приема сигналов, кодировании, информационных характеристиках источников сообщений и пропускной способности каналов передачи и извлечения информации и перспективах развития РЭС ГА.

С целью закрепления знаний и контроля усвоения изученного материала студенты выполняют курсовой проект, расчетно-графические работы и домашние контрольные задания.

При изучении дисциплины можно пользоваться соответствующей технической литературой, учебниками и учебными пособиями любых авторов и любых годов издания и издательств.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Кульчицкий В.К. Общая теория радиоэлектронных систем. Ч.1. Каналы, сигналы, помехи: Учеб. пособие/ ГУГА. С.-Петербург, 2011.
2. Васин В.А. и др. Радиосистемы передачи информации: Учебник для вузов/ под ред. И.Б. Федорова и В.В. Калмыкова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005.
3. Гришин П.В., Кульчицкий В.К. Дискретные сигналы в авиационных радиоэлектронных системах: Учеб. пособие/ Академия ГА. СПб., 2004.
4. Кульчицкий В.К. Общая теория радиоэлектронных систем: Методические указания по выполнению лабораторных работ по исследованию характеристик дискретных сигналов/ ГУГА. С.-Петербург, 2011.
5. Кульчицкий В.К., Шомников М.А. Общая теория радиоэлектронных систем. Средства авиационной электросвязи и передачи данных. Методические указания по выполнению лабораторных работ по помехоустойчивому кодированию/ Академия ГА. С.-Петербург, 2004.

6. Фролов В.И., Кондряков В.А., Колосова Л.А. Организация и средства авиационной связи/ ОЛАГА. Л., 1989.

7. Кульчицкий В.К. Приемные высокочастотные тракты радиозлектронных систем авиационной электросвязи: Учеб. пособие/ Академия ГА. СПб., 2005.

Дополнительная

8. Верещака А.И., Олянюк П.В. Авиационное радиооборудование: Учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1996.

9. Есипенко В.И., Зельманов С.С. Теория электрической связи. – Нижний Новгород: НГТУ, 2007.

10. Деев В.В. Методы модуляции и кодирования в современных системах связи. – СПб.: Наука, 2007.

11. Нефедов В.И. Основы радиоэлектроники и связи. – М.: Высш. школа, 2005.

12. Ахмедов Р.М. и др. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Новые информационные технологии в авиации: Учеб. пособие/ Под ред. С.Г. Пятко и А.И. Красова. – СПб.: Политехника, 2004.

13. Кульчицкий В. К. Стационарные радиоцентры. Ч. 1. Основы построения стационарных радиоцентров: Конспект лекций. – СПб.: СПбВВИУС, 1992.

14. Кульчицкий В. К. Стационарные радиоцентры. Ч. 2. Стационарные приемные радиоцентры: Конспект лекций. – СПб.: СПбВВИУС, 1994.

15. Кульчицкий В. К. Стационарные радиоцентры. Ч. 3. Стационарные передающие радиоцентры и системы управления стационарными радиоцентрами: Конспект лекций. – СПб.: ВУС, 2003.

16. Головин О.В., Чистяков Н.И., Шварц В., Хардон Агиляр И. Радиосвязь/ Под ред. проф. О.В. Головина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001.

17. Головин О.В. Радиоприемные устройства. – М.: Высшая школа, 1997.

18. Белов Л.А. и др.; Устройства генерирования и формирования радиосигналов: Учебник для вузов/ Под ред. Г.М. Уткина. – М.: Радио и связь, 1994.

19. Кочержевский Г.Н., Ерохин Г.А., Козырев Н.Д. Антенно-фидерные устройства: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1989.

20. Волкова В.Н. и др. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи. – М.: Радио и связь, 1983.

21. Ильницкий Л.Я., Болбот А.А. Антенные устройства аэропортов гражданской авиации. – М.: Транспорт, 1983.

22. Болбот А.А., Ильницкий Л.Я., Куприянов И.И. Связные и навигационные антенны самолетов. – М.: Транспорт, 1978.

23. Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В., Финк Л.М. Теория передачи сигналов: Учебник для вузов. – М.: Связь, 1980.

Справочная

24. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Справочник/ Под ред. В.И. Савицкого. – М.: Транспорт, 1986.

25. Давыдов П.С., Иванов П.А. Эксплуатация авиационного радиоэлектронного оборудования: Справочник. – М.: Транспорт, 1990.

26. Кузнецов А.А. и др. Эксплуатация средств УВД: Справочник. – М.: Транспорт, 1983.

27. Авиационная радионавигация: Справочник/ Под ред. А.А. Сосновского. – М.: Транспорт, 1990.

28. Радиосвязь. Термины и определения. ГОСТ 24375 – 80. – М.: Издательство стандартов, 1980.

29. Авиационная радиосвязь: Справочник/ Под ред. П.В. Олянюка. – М.: Транспорт, 1989.

30. Сухих Н.Н. и др. Методические указания по выполнению выпускных квалификационных работ в Университете ГА. СПб – УГА, 2010.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Введение

Изучить назначение радиоэлектронных систем гражданской авиации (РЭС), их классификацию, обобщенные структурные схемы, а также обобщенную структурную схему канала передачи, получения и извлечения информации.

Изучить особенности распространения сигналов в различных средах.

[1 – 3, 7, 8, 9, 11].

Раздел 1. Методы представления сигналов и помех

Повторить методы представление сигналов и помех рядом и преобразованиями Фурье, их комплексное и статистическое представление, а также спектральное представление случайных сигналов и помех.

Изучить вопросы преобразования статистических характеристик случайных сигналов и помех в линейных и нелинейных радиотехнических устройствах.

[1 – 4, 9 – 11, 23].

Раздел 2. Передача (извлечение) дискретных сообщений

Изучить общие принципы преобразования дискретных сообщений в первичный электрический сигнал, основные виды манипуляции.

Рассмотреть прием сообщений как статистическую задачу, основные критерии оптимизации (Котельникова, Байеса, Неймана-Пирсона), принципы построения оптимальных схем когерентного и некогерентного приема дискретных сигналов, квазиоптимальный прием, прием дискретных сигналов в каналах с переменными параметрами, принципы цифровой обработки дискретных сигналов и синхронизации демодуляторов.

[2, 9, 11, 23].

Раздел 3. Передача непрерывных сообщений

Изучить принципы преобразования непрерывных сообщений в первичный электрический сигнал, основные виды модуляции.

Рассмотреть вопросы приема непрерывных сообщений, критерии верности приема, понятие выигрыша и принципы построения цифровых систем передачи.

[2, 9, 11, 23].

Раздел 4. Основные понятия теории информации

Изучить основные понятия теории информации и информационные характеристики источника сообщений (энтропия, производительность) и канала связи (скорость передачи, пропускная способность, объем сигнала).

[2, 9, 11, 23].

Раздел 5. Основные понятия теории кодирования

Изучить основные понятия, задачи кодирования, классификацию кодов, помехоустойчивое кодирование, рассмотреть основные примитивные, несистематические, систематические, непрерывные и каскадные коды и принципы построения кодеров и декодеров.

Изучить арифметику конечных полей, коды БЧХ (Боуза-Чоудхари-Хоквингема), Голея, Рида-Соломона, неравномерные коды (префиксные, Шеннона-Фано, Хаффмена, арифметические), принципы кодирования непрерывных сообщений.

[2, 5, 6, 9, 10, 23].

Раздел 6. Многоканальные системы передачи

Изучить принципы построения многоканальных систем передачи, рассмотреть частотное и временное уплотнения сигналов.

[2, 10, 11, 23].

Раздел 7. Антенно-фидерные устройства

Повторить основы теории распространения электромагнитных волн. Изучить принципы расчета полей излучения линейных и апертурных антенн, параметры антенн, влияние земной поверхности, метеоусловий и местных предметов на характеристики антенн, особенности конструкции и характеристики бортовых и наземных антенн различных диапазонов волн, состав и основные сведения об элементах антенно-фидерных трактов и вопросы согласования антенн с фидерами.

[8, 11, 16, 19, 21, 22].

Раздел 8. Радиопередающие устройства

Изучить принципы построения, обобщенные структурные схемы, состав и назначение элементов радиопередатчиков и синтезаторов частоты и их основные качественные показатели.

Повторить вопросы формирования радиосигналов, применяемых в РЭС ГА, и их спектрально-временные характеристики.

Изучить принципы построения усилителей мощности (генераторов с внешним возбуждением) на лампах и транзисторах и их режимы работы и рассмотреть особенности построения радиопередатчиков различного назначения (телефонных с амплитудной, однополосной и угловой модуляциями, телеграфных, многоканальных для радиорелейной и спутниковой связи, радиолокационных).

[8, 11, 16, 18].

Раздел 9. Радиоприемные устройства

Изучить обобщенную структурную схему радиоприемника, коэффициент шума радиоприемника, основные технические характеристики радиоприемников, помехи радиоприему, основные схемы построения радиоприемников (прямого усиления и супергетеродинные) и назначение их элементов, общий и частные тракты приема и рассмотреть особенности построения радиоприемников различного назначения (связных, многоканальной связи, радиолокационных).

[7, 8, 11, 16, 17].

Раздел 10. Системно-технические основы построения радиоэлектронных систем

Изучить основные определения, понятия и закономерности теории систем, методику анализ РЭС как сложной системы.

Изучить параметры управления РЭС и рассмотреть вопросы оценки эффективности и принципы оптимизации РЭС и перспективы их развития.

[12 – 15, 20].

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА «Расчет канала передачи информации»

Курсовой проект охватывает учебный материал большинства разделов изучаемой дисциплины и выполняется студентами в течение всего периода ее изучения.

Цель выполнения курсового проекта

1. Закрепление теоретических знаний, полученных при изучении дисциплины.
2. Закрепление навыков расчета:
 - информационных параметров источника сообщений и канала передачи информации;
 - спектрально-временных характеристик сигналов, используемых в каналах передачи информации;
 - структурных схем канала передачи информации и отдельных его элементов;
 - основных характеристик блочных, непрерывных и статистических кодов.
3. Получение навыков оформления отчетов по технической, научно-технической и научно-исследовательской работе.

Структура курсового проекта

Курсовой проект состоит из отдельных заданий, позволяющих рассчитать как основные характеристики канала передачи информации в различных его сечениях, так и отдельные его функциональные элементы:

Задание 1. Разработать структурные схемы заданных каналов передачи информации.

Задание 2. Рассчитать информационные характеристики заданных источников сообщений.

Задание 3. Закодировать алфавит источника дискретных сообщений неравномерным кодом Хаффмена.

Задание 4. Рассчитать спектрально-временные характеристики передаваемых первичных электрических сигналов.

Задание 5. Закодировать передаваемый дискретный первичный электрический сигнал циклическим кодом.

Задание 6. Закодировать передаваемый преобразованный

дискретный первичный электрический сигнал сверточным кодом.

Задание 7. Рассчитать спектрально-временные характеристики передаваемых радиосигналов.

Задание 8. Рассчитать помехоустойчивость приема дискретного радиосигнала.

Задание 9. Рассчитать информационные характеристики заданных каналов передачи информации.

Задание 10. Декодировать принятую кодовую последовательность.

Результаты выполнения некоторых заданий курсового проекта и их исходные данные используются при выполнении других заданий проекта.

Требования к оформлению курсового проекта

1. Вариант выполнения заданий курсового проекта определяется как сумма двух последних цифр учебного шифра (номера зачетной книжки).

2. Пояснительная записка курсового проекта выполняется на листах формата А4. На каждой странице оставляется поле для замечаний преподавателя. В верхней части листа проставляется номер страницы.

3. В начале каждого выполняемого задания приводятся исходные данные, содержащие: название задания, полные названия задаваемых параметров, их обозначения, числовые значения и единицы измерения.

4. Приводимые в пояснительной записке рисунки (схемы, графики, диаграммы и т.д.) должны иметь название, краткое описание или необходимые пояснения.

5. Все расчеты должны сопровождаться необходимыми пояснениями. Первоначально формулы записываются в общем виде с указанием источника (конспект лекций, используемая литература). Затем также в общем виде производятся необходимые подстановки в формулы и их упрощение. Только в заключительной (итоговой) формуле символы заменяются числовыми значениями. Полученные результаты расчетов, при необходимости, округляются с учетом допустимой инженерной точности и указывается размерность полученных численных результатов.

6. По результатам выполнения каждого задания должны быть сделаны выводы.

7. Весь графический материал выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ или ТУ. На координатных осях указываются масштаб и обозначения.

8. В конце работы необходимо указать список использованной литературы.

9. Курсовой проект должен быть оформлен в соответствии с Методическими указаниями [30].

10. Курсовой проект, оформленный небрежно или не в соответствии с настоящими указаниями, на проверку не принимается.

Задание 1. Разработать структурные схемы заданных каналов передачи информации

Исходные данные:

- информация, подлежащая передаче, – русский текст: фамилия, имя и отчество студента;
- текст передается в виде речевого (телефонного) и буквенного (телеграфного) сообщений;
- в канале передачи дискретной информации предусмотрено помехоустойчивое кодирование;
- среда распространения сигнала – атмосфера;
- данные, приведенные в табл. 1.

Выполнить:

- разработать обобщенные структурные схемы заданных информационных направлений и структурные схемы заданных каналов передачи дискретной и непрерывной информации, указав места формирования и тракты прохождения первичных электрических сигналов и радиосигналов при передаче и приеме сообщений;
- описать назначение каждого элемента канала передачи информации;
- определить высоту полета воздушного судна.

Пояснения.

1. Из задания следует, что для передачи информации используется два источника сообщений: источник непрерывных (речевых) сообщений и источник дискретных (буквенных) сообщений.

2. При разработке структурных схем заданных информационных направлений и каналов передачи информации необходимо определить назначение информационных направлений и указать название каналов передачи информации

Таблица 1

Исходные данные для выполнения Задания 1

| № варианта | Дальность передачи телеграфной информации, км | Характеристика условий информационного обмена диспетчера УВД и командира ВС | |
|-------------------|--|--|---|
| | | Дальность передачи телефонной информации, км | Высота подъема наземной антенны, м |
| 0 | 300 | 50 | 5 |
| 1 | 600 | 70 | 10 |
| 2 | 1200 | 100 | 15 |
| 3 | 2000 | 150 | 20 |
| 4 | 3000 | 250 | 25 |
| 5 | 4000 | 400 | 30 |
| 6 | 50 | 300 | 15 |
| 7 | 70 | 200 | 20 |
| 8 | 100 | 100 | 25 |
| 9 | 150 | 300 | 30 |
| 10 | 250 | 60 | 10 |
| 11 | 400 | 120 | 15 |
| 12 | 4000 | 50 | 20 |
| 13 | 3000 | 70 | 25 |
| 14 | 2000 | 100 | 5 |
| 15 | 1000 | 150 | 10 |
| 16 | 800 | 250 | 30 |
| 17 | 7000 | 400 | 10 |
| 18 | 10000 | 450 | 15 |

3. При описании назначений элементов каналов передачи информации необходимо указать название используемых технических средств и обосновать возможный диапазон рабочих частот используемой каналообразующей аппаратуры.

Задание 2. Рассчитать информационные характеристики заданных источников сообщений

Исходные данные:

- данные, приведенные в табл.2;
- скорость передачи сигнала v_c (приведена в табл.4);
- сведения, полученные при выполнении Задания 1

Выполнить:

- определить частное количество информации $i_{\text{тф}}(x_k)$, содержащееся в k -ом символе алфавита источника сообщений, $k \in \overline{1, L_{\text{ис}}}$, где $L_{\text{ис}}$ – объем алфавита источника сообщений.

- определить энтропию $H_{\text{тф}}(x)$ и максимальную энтропию $H_{\text{тф макс}}(x)$ источника речевого (телефонного) сообщения;

- определить производительность $H'_{\text{тф}}(x)$ и максимальную производительность $H'_{\text{тф макс}}(x)$ источника речевого (телефонного) сообщения;

- сравнить максимальные энтропии $H_{\text{тф}}(x)$ источников речевых (телефонных) сообщений, объемы алфавитов которых соответственно равны $L_{\text{ис}}$ и объему русского алфавита $L_{\text{ис рус}} = 32$;

- определить максимальную энтропию $H_{\text{тг макс}}(x)$ и максимальную производительность источника буквенного (телеграфного) сообщения $H'_{\text{тг макс}}(x)$.

Пояснения.

1. В данном задании объем алфавита источника сообщений $L_{\text{ис}}$ равен количеству различных символов (букв русского алфавита), используемых в тексте, составленном при выполнении Задания 1.

2. Для определения частного количества информации $i_{\text{тф}}(x_k)$ необходимо знать вероятности $p(x_k)$ использования k -го символа алфавита источника сообщений в заданном тексте.

В данном задании эти вероятности равны частоте использования символов (букв) русского алфавита в заданном тексте:

Таблица 2

Исходные данные для выполнения Задания 2

| № варианта | Код телеграфного аппарата |
|-------------------|----------------------------------|
| 0 | МТК № 2 |
| 1 | МТК № 3 |
| 2 | МТК № 5 |
| 3 | МТК № 2 |
| 4 | МТК № 3 |
| 5 | МТК № 5 |
| 6 | МТК № 2 |
| 7 | МТК № 3 |
| 8 | МТК № 5 |
| 9 | МТК № 2 |
| 10 | МТК № 3 |
| 11 | МТК № 5 |
| 12 | МТК № 2 |
| 13 | МТК № 3 |
| 14 | МТК № 5 |
| 15 | МТК № 2 |
| 16 | МТК № 3 |
| 17 | МТК № 5 |
| 18 | МТК № 2 |

$$p(x_k) = \frac{N_k}{N}, \quad k \in \overline{1, L_{\text{ис}}},$$

где N_k - количество символов (букв) k в тексте сообщения;

N - количество символов (букв) в тексте сообщения.

3. Скорость формирования символов (букв) источником речевых сообщений $v_{\text{тф}}$ определяется исходя из следующего условия: источник речевого сообщения формирует 1,5...2 стандартных слова в секунду (стандартное слово – МОСКВА).

4. Объем алфавита источника буквенных (телеграфных) сообщений $L_{\text{тг}}$ равен числу кодовых комбинаций, используемых для кодирования в заданном коде телеграфного аппарата (см. табл. 2). Коды МТК приведены в [5, Приложение 1].

Пример. В коде МТК № 3 для кодирования используется 35 кодовых комбинаций, т.е. для него $L_{\text{тг}} = 35$.

5. Скорость формирования символов источником буквенных (телеграфных) сообщений $v_{\text{тг}}$ определяется по формуле

$$v_{\text{тг}} = \frac{v_{\text{с}}}{n},$$

где $v_{\text{с}}$ – скорость передачи сигнала (см. табл. 4);

n – длина кодовой комбинации (КК) соответствующего кода телеграфного аппарата.

6. Таблица значений двоичных логарифмов приведена в Приложении.

Задание 3. Закодировать алфавит источника дискретных сообщений неравномерным кодом Хаффмена

Исходные данные:

- буквенное (телеграфное) сообщение – текст, составленный в Задании 1;
- сведения, полученные при выполнении Задания 2.

Выполнить:

- построить код Хаффмена для кодирования символов алфавита источника сообщений;
- определить среднюю длину \bar{n} КК кода Хаффмена и сравнить ее с длинами КК следующих равномерных кодов:
 - кода МТК из Задания 2 (см. табл. 2);

- равномерного минимального кода, кодирующего символы (буквы) алфавита источника сообщений объемом $L_{ис}$;

- определить время $t_{прд}$, необходимое для передачи заданного сообщения, закодированного кодом Хаффмена, и сравнить его с временем передачи этого сообщения, но закодированного указанными выше равномерными кодами.

Пояснения.

1. В данном задании объем алфавита источника сообщений $L_{ис}$ равен количеству различных символов (букв русского алфавита) в тексте, составленном в Задании 1;

2. Состав алфавита источника сообщений и вероятности $p(x_k)$ использования его символов в сообщении определены в Задании 2;

3. Записать символы алфавита в порядке убывания вероятностей их использования, построить таблицу кодирования и определить КК кода Хаффмена.

Пример:

Дано: Пусть текст сообщения – фамилия студента – Гордиенко, т.е. $N = 9$. Скорость передачи сигнала $v_c = 100$ Бод.

Решение.

– Определим состав алфавита источника сообщений и вероятности $p(x_k)$ использования его символов в сообщении.

Объем алфавита источника сообщений $L_{ис} = 8$ символов: **г, о, р, д, и, е, н, к.**

Обозначим: $x_1 = \mathbf{o}$; $x_2 \dots x_8 = \mathbf{г, р, д, и, е, н, к}$.

Вероятности использования символов алфавита для формирования сообщения:

$$p(x_1) = 2/9 \approx 0,22; \quad p(x_2) = \dots = p(x_8) = 1/9 \approx 0,11.$$

Для выполнения условия $\sum_{k=1}^8 p(x_k) = 1$ примем

$$p(x_1) = 0,23.$$

(В курсовом проекте эти данные берутся из Заданий 1 и 2.)

– Построим таблицу кодирования и определим кодовые комбинации кода Хаффмена. (Результаты кодирования приведены в табл. 3.)

– Определим среднюю длину КК кода Хаффмена по формуле

$$\bar{n} = (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_i + \dots + x_L) / L_{ис},$$

где x_i – количество разрядов в КК, соответствующей i -му символу алфавита.

Тогда $\bar{n} = 3,125$.

– Определим длину КК равномерного минимального кода, кодирующего символы (буквы) источника сообщений, по формуле

$$n_{\text{МК}} = \lceil \log L_{\text{ис}} / \log m \rceil,$$

где $\lceil y \rceil$ – ближайшее целое число, большее или равное y .

Т.к. $L_{\text{ис}} = 8$, $m = 2$, то $n_{\text{МК}} = 3$.

Время, необходимое для передачи сообщения кодом Хаффмена, определяется по формуле

$$t_{\text{прд}} = (\alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 x_3 + \dots + \alpha_i x_i + \dots + \alpha_L x_L) / v_c,$$

где α_i – количество символов x_i в тексте.

Время, необходимое для передачи сообщения равномерным минимальным кодом, определяется по формуле

$$t_{\text{прд МК}} = N n_{\text{МК}} \tau.$$

Время, необходимое для передачи сообщения заданным кодом МТК определяется по формуле

$$t_{\text{прд МТК}} = N n_{\text{МТК}} \tau.$$

Задание 4. Рассчитать спектрально-временные характеристики передаваемых первичных электрических сигналов

Исходные данные:

- данные, приведенные в табл.4;
- сведения, полученные при выполнении Задания 1.

Выполнить:

- для канала передачи дискретной информации определить временные характеристики заданного дискретного ПЭС и изобразить в масштабе его временное представление $a_{\text{дс}}(t)$;

- рассчитать, используя конспект лекций и основные теоретические сведения из [1,3, 4], постоянную составляющую A_0 и десять гармоник A_k , $k = [1,10]$, спектра амплитуд $A(f)_{\text{пэс дс}}$ заданного дискретного ПЭС $a_{\text{дс}}(t)$;

- изобразить в масштабе рассчитанный спектр амплитуд $A(f)_{\text{пэс дс}}$ заданного дискретного ПЭС;

- определить ширину спектра дискретного ПЭС $\Delta F_{\text{пэс дс}}$;

- проверить на компьютере правильность произведенных расчетов, подставив полученные данные в соответствующее задание лабораторной работы №1 [4], и зарисовать с экрана монитора получившееся временное представление рассчитанного дискретного ПЭС $a_{\text{дс}}(t)$;

- определить ширину спектра заданного непрерывного ПЭС $\Delta F_{\text{пэс ис}}$.

Исходные данные для выполнения Задания 4

| № варианта | Скорость передачи (v_c), Бод | Скважность (q) | Длительность посылки «нажатие» (τ_n), мс | Длительность элементарной посылки (τ), мс | Период (T), мс | Уровень посылки «нажатие» (U_1), В | Уровень посылки «отжатие» (U_2), В |
|------------|----------------------------------|--------------------|---|--|--------------------|--|--|
| 0 | 50 | 1,5 | - | - | - | +2 | - 2 |
| 1 | 100 | 1,25 | - | - | - | +3 | - 2 |
| 2 | 200 | 3 | - | - | - | +3 | - 1 |
| 3 | 300 | 7/6 | - | - | - | +5 | 0 |
| 4 | 500 | 4 | - | - | - | +5 | - 5 |
| 5 | 50 | - | 40 | - | 80 | +2 | - 3 |
| 6 | 100 | - | 20 | - | 30 | +2 | - 2 |
| 7 | 200 | - | 5 | - | 30 | +3 | - 2 |
| 8 | 300 | - | 6,66 | - | 13,32 | +3 | - 1 |
| 9 | 500 | - | 2 | - | 10 | +5 | 0 |
| 10 | 50 | - | 40 | - | 60 | +5 | - 5 |
| 11 | 100 | - | 10 | - | 50 | +2 | - 3 |
| 12 | 200 | - | 5 | - | 15 | +2 | - 2 |
| 13 | 300 | - | 3,33 | - | 23,33 | +3 | - 2 |
| 14 | 500 | - | 6 | - | 8 | +3 | - 1 |
| 15 | - | 3/2 | - | 20 | - | +5 | 0 |
| 16 | - | 5/4 | - | 10 | - | +5 | - 5 |
| 17 | - | 3 | - | 5 | - | +2 | - 3 |
| 18 | - | 1,5 | - | 3,33 | - | +2 | - 2 |

Примечание. Студенты Заочного факультета выполняют задания, требующие использование компьютера, во время сессии при выполнении соответствующей лабораторной работы [4].

Пояснения.

1. В данном задании передаваемым буквенным (телеграфным) сообщением является контрольное сообщение, которое в оконечной аппаратуре преобразуется в периодический дискретный первичный электрический сигнал с заданными в табл. 4 характеристиками.

2. Для проверки на компьютере правильности произведенных расчетов спектра амплитуд $A(f)_{\text{пэс дс}}$ заданного дискретного ПЭС необходимо подставлять в Задание 6 Лабораторной работы № 1 [4] значения рассчитанных спектральных составляющих с учетом знака, а не их модуль;

3. Заданное речевое (телефонное) сообщение преобразуется в оконечной аппаратуре в стандартный первичный электрический сигнал тональной частоты $a_{\text{тн}}(t)$ [1].

Задание 5. Закодировать передаваемый дискретный первичный электрический сигнал циклическим кодом

Исходные данные:

- характеристики помехоустойчивости циклического кода, который необходимо построить, приведены в табл.5;
- информационная кодовая последовательность, кодируемая циклическим кодом, представляет собой последовательность кодовых комбинаций телеграфного кода МТК, определенного для каждого варианта курсового проекта в Задании 2 (табл. 2).

Выполнить:

- построить циклический код (n, k) с требуемыми характеристиками помехоустойчивости;
- закодировать свои инициалы в построенном циклическом коде и записать их в виде КК двоичного кода;
- построить кодовую последовательность, получающуюся на выходе кодера циклического кода.

Таблица 5

Исходные данные для выполнения Задания 5

| № варианта | Минимальное кодовое расстояние $d_{\text{мин}}$ | Кратность обнаруживаемых ошибок $\Delta_{\text{обн}}$ | Кратность исправляемых ошибок $\Delta_{\text{испр}}$ |
|------------|--|--|---|
| 0 | ≥ 3 | - | - |
| 1 | ≥ 4 | - | - |
| 2 | ≥ 5 | - | - |
| 3 | ≥ 6 | - | - |
| 4 | ≥ 7 | - | - |
| 5 | - | ≥ 2 | - |
| 6 | - | ≥ 3 | - |
| 7 | - | ≥ 4 | - |
| 8 | - | ≥ 5 | - |
| 9 | - | ≥ 6 | - |
| 10 | - | - | ≥ 1 |
| 11 | - | - | ≥ 2 |
| 12 | - | - | ≥ 3 |
| 13 | - | - | ≥ 4 |
| 14 | ≥ 3 | - | - |
| 15 | - | ≥ 4 | - |
| 16 | - | - | ≥ 1 |
| 17 | - | ≥ 5 | - |
| 18 | - | - | ≥ 2 |

Пояснения.

1. Основными характеристиками помехоустойчивости любого избыточного кода являются минимальное кодовое расстояние d_{\min} и связанные с ним характеристики обнаруживающей и исправляющей способности кода: кратность (количество) обнаруживаемых $\Delta_{\text{обн}} < d_{\min}$ и исправляемых $\Delta_{\text{испр}} < \lfloor d_{\min}/2 \rfloor$ ошибок.

2. Построить циклический код (n, k) – это значит найти для него образующий полином $P_{\text{обр}}(x)$. Вид образующего полинома определяет его характеристики помехоустойчивости и длину проверочной (избыточной) части КК: степень образующего полинома равна числу проверочных символов КК r , а число слагаемых полинома – равно минимальному кодовому расстоянию d_{\min} для данного кода.

3. Найдем образующий полином методом факторизации, т.е. разложения на множители бинома $(x^n + 1)$. Длина КК n выбирается из условий: $n \geq k + r$ и $d_{\min} \geq r + 1$.

Пример.

Дано. Пусть информационная кодовая последовательность образована КК кода МТК № 2, длина КК которого $m = 5$, и пусть $d_{\min} = 4$.

Решение.

– Выберем длину информационной части КК циклического кода равной длине КК кода МТК № 2, т.е. $k = m = 5$ (в общем случае k может не равняться m).

– Длина КК n выбирается из условия $n \geq k + r$, где $r \geq d_{\min} - 1 = 3$. Выберем $n = 5 + 3 = 8$, т.е. построим циклический код $(8, 5)$.

– Для нахождения образующего полинома кода $(8, 5)$ проведем факторизацию бинома $(x^8 + 1)$:

а) разделим бином $(x^8 + 1)$ на $(x + 1)$ и получим полином

$$x^7 + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + x + 1. \quad (1)$$

(Все действия с полиномами: сложение, вычитание, умножение и деление проводятся по mod 2 [5].)

б) представим полином (1) в виде произведения двух полиномов:

полинома степени $r = n - k = 8 - 5 = 3$:

$$(x^3 + a_1x^2 + a_2x + 1), \quad (2)$$

и полинома степени $k - 1 = 5 - 1 = 4$:

$$(x^4 + b_1x^3 + b_2x^2 + b_3x + 1), \quad (3)$$

т.е.

$$\begin{aligned} & (x^7 + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + x + 1) = \\ & = (x^3 + a_1x^2 + a_2x + 1)(x^4 + b_1x^3 + b_2x^2 + b_3x + 1). \end{aligned}$$

Раскрывая скобки, получим:

$$x^7 + (a_1 + b_1)x^6 + (a_2 b_1 + a_2 + b_2)x^5 + (1 + a_2 b_1 + a_1 b_2 + b_3)x^4 + (b_1 + a_2 b_2 + a_1 b_3 + 1)x^3 + (b_2 + a_2 b_3 + a_1)x^2 + (a_2 + b_3)x + 1. \quad (4)$$

в) определим коэффициенты полиномов (2) и (3), приравняв полиномы (1) и (4). Полином (4) равен полиному (1), если равны их коэффициенты при соответствующих слагаемых, поэтому приравняем все коэффициенты полинома (4) к 1 и получим систему уравнений:

$$a_1 + b_1 = 1; \quad a_2 b_1 + a_2 + b_2 = 1; \quad 1 + a_2 b_1 + a_1 b_2 + b_3 = 1; \\ b_1 + a_2 b_2 + a_1 b_3 + 1 = 1; \quad b_2 + a_2 b_3 + a_1 = 1; \quad a_2 + b_3 = 1.$$

Решая эту систему уравнений, получим:

$$a_1 = a_2 = 1; \quad b_1 = b_2 = b_3 = 0.$$

г) определим образующие полиномы для циклических кодов длины $n = 8$, подставляя значения коэффициентов в полиномы (2) и (3):

$P_{\text{обр}}(x) = x^3 + x^2 + x + 1$ – образующий полином для циклического кода (8, 5);

$P_{\text{обр}}(x) = x^4 + 1$ – образующий полином для циклического кода (8, 4).

Первый образующий полином состоит из 4 слагаемых и, следовательно, построенный на его основе циклический код имеет $d_{\text{мин}} = 4$, что удовлетворяет заданию. Второй циклический код имеет $d_{\text{мин}} = 2$ и не удовлетворяет заданию.

Поэтому, выполняя условия задания, для помехоустойчивого кодирования в канале передачи информации выбираем циклический код (8, 5), который обязательно обнаруживает 3 ошибки и исправляет 1 ошибку.

Если найденные образующие полиномы не удовлетворяют условию, то факторизация проводится для биннома с другим значением величины n .

Студентам Заочного факультета при выполнении курсового проекта можно не строить циклический код, а выбрать его из числа приведенных в [5, 6] и обосновать возможность его применения для решения поставленной задачи.

4. При построении информационной кодовой последовательности необходимо учитывать, что в КК кода МТК младший разряд расположен слева.

Пример. Сообщение – инициалы «ЯАБ». В коде МТК №2 букве «Я» соответствует КК 11101, букве «А» - 11000 и букве «Б» - 10011, тогда информационная кодовая последовательность запишется: 101110001111001, т.к. в КК кода МТК № 2 младший разряд расположен слева.

5. Если информационная часть построенного или выбранного циклического кода не равна длине КК кода МТК, то для кодирования

информационной кодовой последовательности циклическим кодом (n, k) необходимо:

- разделить информационную кодовую последовательность на отрезки по k кодовых символов в каждом (свободные младшие разряды последнего отрезка кодовых символов дополняются символами 0);

- записать отрезки кодовых символов в полиномиальной форме;

- закодировать отрезки кодовых символов циклическим кодом (n, k) .

Пример. Построен циклический код $(7, 4)$ с образующим полиномом $P_{\text{обр}}(x) = x^3 + x^2 + 1$.

Разделим информационную кодовую последовательность 101110001111001 на отрезки по $k = 4$ кодовых символов в каждом: 1011, 1000, 1111, 0010.

Эти отрезки кодовых символов представляют собой информационные части КК циклического кода $(7, 4)$. Первый из них имеет вид 1011. Представим его в полиномиальной форме

$$P_1(x) = x^3 + x + 1.$$

Зная образующий полином $P_{\text{обр}}(x)$ и полином информационной части КК циклического кода $P_i(x)$, можно определить в полиномиальной форме КК циклического кода:

$$P_n(x) = P_1(x)x^{n-k} + R(x),$$

где $R(x)$ – остаток от деления $P_1(x)x^{n-k}$ на образующий полином $P_{\text{обр}}(x)$.

Разделим $P_1(x)x^3$ на $P_{\text{обр}}(x)$ и найдем $R(x)$:

$$\begin{aligned} P_1(x)x^3 / P_{\text{обр}}(x) &= (x^3 + x + 1)x^3 / (x^3 + x^2 + 1) = \\ &= (x^6 + x^4 + x^3) / (x^3 + x^2 + 1). \end{aligned}$$

В результате деления этих полиномов получили остаток $R(x) = x^2$, тогда КК циклического кода в полиномиальной форме имеет вид $P_n(x) = x^6 + x^4 + x^3 + x^2$, которому соответствует следующее ее представление в двоичной форме: 1011100.

Аналогично кодируются остальные отрезки кодовых символов информационной кодовой последовательности.

На выход кодера первыми поступают кодовые символы старших разрядов.

6. Для построения кодовой последовательности, получающейся на выходе кодера циклического кода, надо расположить полученные КК одна за другой.

Задание 6. Закодировать передаваемый преобразованный дискретный первичный электрический сигнал сверточным кодом

Исходные данные:

- несистематический сверточный код НСК 1/2 задан образующими полиномами (табл. 6);
- на вход кодера сверточного кода поступает кодовая последовательность, образованная кодовыми комбинациями циклического кода, полученными при выполнении Задания 5.

Выполнить:

- составить структурную схему кодера для заданного несистематического сверточного кода НСК 1/2;
- построить диаграмму состояний кодера сверточного кода;
- определить характеристики помехоустойчивости заданного сверточного кода.
- закодировать бинарную кодовую последовательность, поступающую на вход кодера сверточного кода.

Пояснения.

1. Все сведения, необходимые для выполнения данного задания, приведены в [5].
2. Основной характеристикой помехоустойчивости сверточного кода является *свободное расстояние* $d_{св}$, равное минимальному количеству единиц в кратчайшем замкнутом пути по диаграмме состояний кодера от нулевого узла к нулевому узлу.

Задание 7. Рассчитать спектрально-временные характеристики передаваемых радиосигналов

Исходные данные:

- данные, приведенные в табл.7;
- сведения, полученные при выполнении Задания 4.

Выполнить:

- изобразить в масштабе временное представление дискретного радиосигнала $s(t)$, полученного в результате модуляции несущего сигнала первичным электрическим сигналом, рассчитанным в Задании 4;

Таблица 6

Исходные данные для выполнения Задания 6 (код НСК 1/2)

| № варианта | Первый образующий полином $g_1(x)$ | Второй образующий полином $g_2(x)$ |
|------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 0 | $1 + x + x^2$ | $x + x^2$ |
| 1 | $1 + x + x^2$ | $1 + x^2$ |
| 2 | $1 + x + x^2$ | $1 + x$ |
| 3 | $x + x^2$ | $1 + x + x^2$ |
| 4 | $1 + x^2$ | $1 + x + x^2$ |
| 5 | $1 + x$ | $1 + x + x^2$ |
| 6 | $1 + x + x^2$ | $x + x^2$ |
| 7 | $1 + x + x^2$ | $1 + x^2$ |
| 8 | $1 + x + x^2$ | $1 + x$ |
| 9 | $x + x^2$ | $1 + x + x^2$ |
| 10 | $1 + x^2$ | $1 + x + x^2$ |
| 11 | $1 + x$ | $1 + x + x^2$ |
| 12 | $1 + x + x^2$ | $x + x^2$ |
| 13 | $1 + x + x^2$ | $1 + x^2$ |
| 14 | $1 + x + x^2$ | $1 + x$ |
| 15 | $x + x^2$ | $1 + x + x^2$ |
| 16 | $1 + x^2$ | $1 + x + x^2$ |
| 17 | $1 + x$ | $1 + x + x^2$ |
| 18 | $1 + x + x^2$ | $x + x^2$ |

Таблица 7

Исходные данные для выполнения Задания 7

| № варианта | Класс излучения дискретного радиосигнала | Класс излучения непрерывного радиосигнала | Амплитуда несущего колебания, В |
|------------|--|---|---------------------------------|
| 0 | АТ | ОПС _{под} | 1 |
| 1 | ЧТ | ОПС _{осл} | 2 |
| 2 | ЧТ | АМ | 3 |
| 3 | ОФТ | ЧМ ($m_f \cong 1$) | 4 |
| 4 | ФТ | ОПС _{под} | 5 |
| 5 | АТ | ОПС _{осл} | 1 |
| 6 | ЧТ | АМ | 2 |
| 7 | ЧТ | ЧМ ($m_f \ll 1$) | 3 |
| 8 | ОФТ | ОПС _{под} | 4 |
| 9 | ОФТ | ОПС _{осл} | 5 |
| 10 | АТ | АМ | 1 |
| 11 | ЧТ | ЧМ ($m_f \gg 1$) | 2 |
| 12 | ЧТ | ОПС _{под} | 3 |
| 13 | ОФТ | ОПС _{осл} | 4 |
| 14 | ОФТ | АМ | 5 |
| 15 | АТ | ЧМ ($m_f \cong 1$) | 1 |
| 16 | ЧТ | ОПС _{под} | 2 |
| 17 | ЧТ | ОПС _{осл} | 3 |
| 18 | ОФТ | АМ | 4 |

- рассчитать и изобразить в масштабе спектр амплитуд $A(f)_{pc}$ заданного дискретного радиосигнала $s(t)$;
- определить ширину спектра дискретного радиосигнала Δf_{dc} ;
- определить ширину спектра непрерывного радиосигнала Δf_{nc} ;
- записать полные обозначения радиосигналов заданных классов излучений в соответствии с Регламентом радиосвязи.

Пояснения.

1. При формировании дискретных радиосигналов модулирующим сигналом является ПЭС (см. Задание 4).

2. При формировании радиосигналов ОФТ обязательно задать правило его формирования и учесть это правило при перекодировании ПЭС.

3. Для расчета спектра амплитуд $A(f)_{pc}$ заданного радиосигнала $s(t)$ необходимо, используя конспект лекций и основные теоретические сведения, изложенные в [3, 4], рассчитать десять гармоник спектра амплитуд A_k заданного радиосигнала, амплитуду составляющей спектра радиосигнала на частоте несущего колебания A_n (для радиосигналов АТ, ФТ и ОФТ) или амплитуды спектральных составляющих на частотах «нажатие» $A_{наж}$ и «отжатие» $A_{отж}$ и величину сдвига частот $\Delta f_{сдв}$ (для радиосигнала ЧТ). (Несущее колебание – это гармоническое колебание, частота которого равна любой частоте из рабочего диапазона частот радиоэлектронной системы.)

4. Сдвиг частоты $\Delta f_{сдв}$ определяется с учетом следующих условий:

$$\Delta f_{сдв} \geq (1 \dots 2) \Delta F_{пэс} \text{ и } \Delta f_{сдв} = \Delta f_{станд},$$

где $\Delta F_{пэс}$ – ширина спектра дискретного ПЭС (см. Задание 4);

$\Delta f_{станд}$ – стандартный сдвиг частоты ($\Delta f_{станд} = 125, 200, 250, 400, 500, 800, 1000$ Гц).

5. Ширина спектра дискретного радиосигнала Δf_{dc} определяется для сигналов АТ, ЧТ и ФТ при модуляции несущего колебания первичным электрическим сигналом $a(t)$ (см. Задание 4).

6. Ширина спектра непрерывного радиосигнала Δf_{nc} определяется для сигналов АМ, ОПС_{под} и ОПС_{осл} при модуляции несущего колебания стандартным первичным электрическим сигналом тональной частоты $a_{тч}(t)$, ширина спектра которого рассчитана в Задании 4.

7. Обозначение классов излучений радиосигналов в соответствии с Регламентом радиосвязи приведено в [1].

Задание 8. Рассчитать помехоустойчивость приема дискретного радиосигнала

Исходные данные:

- данные, приведенные в табл.8;
- сведения, полученные при выполнении Задания 4;
- сведения, полученные при выполнении Задания 7.

Выполнить:

- определить помехоустойчивость приема дискретного радиосигнала;
- определить мощность сигнала P_c на входе приемной каналообразующей аппаратуры;
- определить коэффициент передачи среды распространения сигнала $\mu_{\text{срс}}$.

Пояснения.

1. Вероятности ошибки при приеме сигнала определяются по следующим формулам [2]:

- когерентный прием:

$$P_{\text{ош ког}} = 1 - F(\gamma h);$$

где $F(\gamma h)$ – функция Лапласа (значения функции Лапласа приведены в табл. 9);

- некогерентный прием:

$$P_{\text{ош неког}} = \frac{1}{2} e^{-\frac{\gamma^2 h^2}{2}};$$

- квазиоптимальный прием:

$$P_{\text{ош квопт}} = \frac{1}{2} e^{-\frac{\gamma^2 h^2}{2 \Delta FT}},$$

где γ^2 – коэффициент, зависящий от класса излучения радиосигнала: $\gamma_{\Delta T}^2 = 1/2$; $\gamma_{\text{ЧТ}}^2 = 1$; $\gamma_{\text{ФТ(ОФТ)}}^2 = 2$;

h^2 – отношение мощностей сигнала и помехи на входе демодулятора, т.е. на входе приемной КОА;

$\Delta F = \Delta f_c$ – ширина спектра принимаемого сигнала (см. Задания 7);

T – длительность элементарной посылки (см. Задание 4).

2. Для определения мощности сигнала на входе приемной КОА P_c воспользуемся формулой

$$h^2 = P_c / P_{\text{пом}},$$

тогда

Таблица 8

Исходные данные для выполнения Задания 8

| № варианта | Спектральная плотность мощности помехи на входе приемной КОА G_0 , Вт/Гц | Отношение мощностей сигнал/помеха на входе приемной КОА h^2 , дБ | Амплитуда несущего колебания на выходе передающей КОА $U_{пер}$, В | Способы приема сигнала в приемной КОА |
|------------|---|---|--|---------------------------------------|
| 0 | $7,1 \cdot 10^{-7}$ | 10 | 10 | когерентный |
| 1 | $3,2 \cdot 10^{-6}$ | 5 | 10 | когерентный |
| 2 | $1,4 \cdot 10^{-5}$ | 0 | 10 | когерентный |
| 3 | $7,2 \cdot 10^{-8}$ | 5 | 5 | когерентный |
| 4 | $1,2 \cdot 10^{-9}$ | 8 | 5 | когерентный |
| 5 | $1,9 \cdot 10^{-10}$ | 10 | 5 | когерентный |
| 6 | $2,1 \cdot 10^{-4}$ | 10 | 5 | некогерентный |
| 7 | $2,9 \cdot 10^{-5}$ | 20 | 5 | некогерентный |
| 8 | $4,6 \cdot 10^{-6}$ | 30 | 5 | некогерентный |
| 9 | $1,9 \cdot 10^{-3}$ | 10 | 5 | некогерентный |
| 10 | $7,1 \cdot 10^{-7}$ | 20 | 15 | некогерентный |
| 11 | $3,2 \cdot 10^{-6}$ | 30 | 15 | некогерентный |
| 12 | $1,4 \cdot 10^{-5}$ | 10 | 15 | квазиоптимальный |
| 13 | $7,2 \cdot 10^{-8}$ | 20 | 15 | квазиоптимальный |
| 14 | $1,2 \cdot 10^{-9}$ | 30 | 15 | квазиоптимальный |
| 15 | $1,9 \cdot 10^{-10}$ | 10 | 15 | квазиоптимальный |
| 16 | $2,1 \cdot 10^{-4}$ | 20 | 10 | квазиоптимальный |
| 17 | $2,9 \cdot 10^{-3}$ | 30 | 10 | квазиоптимальный |
| 18 | $4,6 \cdot 10^{-2}$ | 10 | 10 | квазиоптимальный |

Таблица 9

Таблица функции Лапласа $F(x)$

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

| x | $F(x)$ | x | $F(x)$ |
|-----|---------|-----|---------|
| 0,0 | 0,50000 | 2,0 | 0,97725 |
| 0,1 | 0,53983 | 2,1 | 0,98214 |
| 0,2 | 0,57926 | 2,2 | 0,98610 |
| 0,3 | 0,61791 | 2,3 | 0,98928 |
| 0,4 | 0,65542 | 2,4 | 0,99180 |
| 0,5 | 0,69146 | 2,5 | 0,99379 |
| 0,6 | 0,72575 | 2,6 | 0,99534 |
| 0,7 | 0,75804 | 2,7 | 0,99653 |
| 0,8 | 0,78814 | 2,8 | 0,99744 |
| 0,9 | 0,81594 | 2,9 | 0,99813 |
| 1,0 | 0,84134 | 3,0 | 0,99865 |
| 1,1 | 0,86643 | 3,1 | 0,99903 |
| 1,2 | 0,88493 | 3,2 | 0,99931 |
| 1,3 | 0,90320 | 3,3 | 0,99952 |
| 1,4 | 0,91924 | 3,4 | 0,99966 |
| 1,5 | 0,93319 | 3,5 | 0,99977 |
| 1,6 | 0,94520 | 3,6 | 0,99984 |
| 1,7 | 0,95543 | 3,7 | 0,99989 |
| 1,8 | 0,96407 | 3,8 | 0,99993 |
| 1,9 | 0,97128 | 3,9 | 0,99995 |

$$P_c = h^2 P_{\text{пом}},$$

где $P_{\text{пом}} = G_{\text{од}} \Delta F_c$ – мощность помех на входе приемной КОА.

3. Так как

$$P_c = \mu_{\text{срс}}^2 P_{\text{пер}},$$

где $\mu_{\text{срс}}$ – коэффициент передачи среды распространения сигнала;

$P_{\text{пер}}$ – средняя мощность переданного сигнала,

то коэффициент передачи среды распространения сигнала $\mu_{\text{срс}}$ может быть найден по формуле

$$\mu_{\text{срс}} = \sqrt{\frac{P_c}{P_{\text{пер}}}}.$$

Средняя мощность переданного сигнала $P_{\text{пер}}$ (при сопротивлении нагрузки $R_{\text{нагр}} = 1 \text{ Ом}$) определяется по формуле

$$P_{\text{пер}} = (U_{\text{пер}} / \Pi_{\text{рс}})^2,$$

где $\Pi_{\text{рс}}$ – пикфактор переданного сигнала [1];

$U_{\text{пер}}$ – амплитуда несущего колебания на выходе передающей КОА.

Задание 9. Рассчитать информационные характеристики заданных каналов передачи информации

Исходные данные:

- сведения, полученные при выполнении Задания 4;
- сведения, полученные при выполнении Задания 8.

Выполнить:

- определить пропускные способности дискретного $C'_{\text{дис}}$ и непрерывного $C'_{\text{непр}}$ каналов передачи информации с помехами (помеха типа «белый шум»).

Пояснения.

1. Пропускная способность дискретного канала передачи информации определяется по формуле

$$C'_{\text{дис}} = v_c (1 + q \log q + p_{\text{ош}} \log p_{\text{ош}}),$$

где v_c – скорость передачи элементарных посылок по каналу передачи информации (см. Задание 4);

$q = (1 - p_{\text{ош}})$ – вероятность правильного приема элементарной посылки;

$p_{\text{ош}}$ – вероятность ошибки при приеме элементарной посылки (см. Задание 8).

2. Пропускная способность непрерывного канала передачи информации определяется по формуле Шеннона [2]:

$$C'_{\text{непр}} = F_{\text{в нс}} \log(1 + h^2),$$

где $F_{\text{в нс}}$ – верхняя частота спектра непрерывного ПЭС (см. Задание 4);

h^2 – величина отношения мощностей сигнал/помеха на выходе приемной КОА (считать равным значению h^2 в Задании 8).

Задание 10. Декодировать принятую кодовую последовательность

Исходные данные:

- сведения, полученные при выполнении Задания 5;
- сведения, полученные при выполнении Задания 6;
- сведения, полученные при выполнении Задания 8.

Выполнить:

- построить диаграмму декодирования принятой кодовой последовательности, закодированной кодом НСК-1/2 (см. Задание 6), в соответствии с алгоритмом Витерби;

- декодировать принятую кодовую последовательность в декодере сверточного кода, записать ее в виде последовательности 1 и 0 и сравнить с кодовой последовательностью, поступившей на вход кодера сверточного кода (см. Задание 6);

- определить проверочный полином $P_{\text{пров}}(x)$ для циклического кода, построенного при выполнении Задания 5;

- проверить правильность принятых кодовых комбинаций циклического кода;

- рассчитать вероятность необнаружения ошибки $p_{\text{ню}}$ в принятой кодовой комбинации циклического кода;

- рассчитать вероятность ошибки при приеме кодовой комбинации $p_{\text{ош кк}}$ циклического кода.

Пояснения.

1. Для выполнения данного задания достаточно изучить теоретический материал, приведенный в [5].

2. Значение вероятности ошибки $p_{\text{ош}}$, необходимое для расчета $p_{\text{ню}}$ и $p_{\text{ош кк}}$, рассчитано в Задании 8.

Значения двоичных логарифмов целых чисел от 1 до 1000

| Q | log₂ Q | Q | log₂ Q |
|-----------|--------------------------|-----------|--------------------------|-----------|--------------------------|-----------|--------------------------|------------|--------------------------|
| | | 25 | 4,644 | 50 | 5,644 | 75 | 6,229 | 100 | 6,644 |
| 1 | 0,000 | 26 | 700 | 51 | 672 | 76 | 248 | 101 | 658 |
| 2 | 1,000 | 27 | 755 | 52 | 700 | 77 | 267 | 102 | 672 |
| 3 | 1,585 | 28 | 807 | 53 | 728 | 78 | 285 | 103 | 687 |
| 4 | 2,000 | 29 | 858 | 54 | 755 | 79 | 304 | 104 | 700 |
| 5 | 2,322 | 30 | 4,907 | 55 | 5,781 | 80 | 6,322 | 105 | 6,714 |
| 6 | 2,585 | 31 | 4,954 | 56 | 807 | 81 | 340 | 106 | 728 |
| 7 | 2,807 | 32 | 5,000 | 57 | 833 | 82 | 358 | 107 | 741 |
| 8 | 3,000 | 33 | 044 | 58 | 858 | 83 | 375 | 108 | 755 |
| 9 | 3,170 | 34 | 087 | 59 | 883 | 84 | 392 | 109 | 768 |
| 10 | 3,332 | 35 | 5,129 | 60 | 5,907 | 85 | 6,409 | 110 | 6,781 |
| 11 | 459 | 36 | 170 | 61 | 931 | 86 | 426 | 111 | 794 |
| 12 | 585 | 37 | 209 | 62 | 951 | 87 | 443 | 112 | 807 |
| 13 | 700 | 38 | 248 | 63 | 977 | 88 | 459 | 113 | 820 |
| 14 | 807 | 39 | 285 | 64 | 6,000 | 89 | 476 | 114 | 833 |
| 15 | 3,907 | 40 | 5,322 | 65 | 6,022 | 90 | 6,492 | 115 | 6,845 |
| 16 | 4,000 | 41 | 358 | 66 | 044 | 91 | 508 | 116 | 858 |
| 17 | 087 | 42 | 392 | 67 | 066 | 92 | 524 | 117 | 870 |
| 18 | 170 | 43 | 426 | 68 | 087 | 93 | 539 | 118 | 883 |
| 19 | 248 | 44 | 459 | 69 | 109 | 94 | 555 | 119 | 895 |
| 20 | 4,322 | 45 | 5,492 | 70 | 6,129 | 95 | 6,570 | 120 | 6,907 |
| 21 | 392 | 46 | 524 | 71 | 150 | 96 | 585 | 121 | 919 |
| 22 | 459 | 47 | 555 | 72 | 170 | 97 | 600 | 122 | 931 |
| 23 | 524 | 48 | 585 | 73 | 190 | 98 | 615 | 123 | 943 |
| 24 | 585 | 49 | 615 | 74 | 209 | 99 | 629 | 124 | 954 |

Продолжение табл.

| Q | log₂ Q |
|------------|--------------------------|------------|--------------------------|------------|--------------------------|------------|--------------------------|------------|--------------------------|
| 125 | 6,966 | 150 | 7,229 | 175 | 7,451 | 200 | 7,644 | 225 | 7,814 |
| 126 | 977 | 151 | 238 | 176 | 459 | 201 | 651 | 226 | 820 |
| 127 | 989 | 152 | 248 | 177 | 468 | 202 | 658 | 227 | 827 |
| 128 | 7,000 | 153 | 257 | 178 | 476 | 203 | 665 | 228 | 833 |
| 129 | 011 | 154 | 267 | 179 | 484 | 204 | 672 | 229 | 839 |
| 130 | 7,022 | 155 | 7,276 | 180 | 7,492 | 205 | 7,679 | 230 | 7,845 |
| 131 | 033 | 156 | 285 | 181 | 500 | 206 | 687 | 231 | 852 |
| 132 | 044 | 157 | 295 | 182 | 508 | 207 | 693 | 232 | 858 |
| 133 | 055 | 158 | 304 | 183 | 516 | 208 | 700 | 233 | 864 |
| 134 | 066 | 159 | 313 | 184 | 524 | 209 | 707 | 234 | 870 |
| 135 | 7,077 | 160 | 7,322 | 185 | 7,531 | 210 | 7,714 | 235 | 7,877 |
| 136 | 087 | 161 | 331 | 186 | 539 | 211 | 721 | 236 | 883 |
| 137 | 098 | 162 | 340 | 187 | 547 | 212 | 728 | 237 | 889 |
| 138 | 109 | 163 | 349 | 188 | 555 | 213 | 735 | 238 | 895 |
| 139 | 119 | 164 | 358 | 189 | 562 | 214 | 741 | 239 | 901 |
| 140 | 7,129 | 165 | 7,366 | 190 | 7,570 | 215 | 7,748 | 240 | 7,907 |
| 141 | 140 | 166 | 375 | 191 | 577 | 216 | 755 | 241 | 913 |
| 142 | 150 | 167 | 384 | 192 | 585 | 217 | 762 | 242 | 919 |
| 143 | 160 | 168 | 392 | 193 | 592 | 218 | 768 | 243 | 925 |
| 144 | 170 | 169 | 401 | 194 | 600 | 219 | 775 | 244 | 931 |
| 145 | 7,180 | 170 | 7,409 | 195 | 7,607 | 220 | 7,781 | 245 | 7,937 |
| 146 | 190 | 171 | 418 | 196 | 615 | 221 | 788 | 246 | 943 |
| 147 | 200 | 172 | 426 | 197 | 622 | 222 | 794 | 247 | 948 |
| 148 | 209 | 173 | 435 | 198 | 629 | 223 | 801 | 248 | 954 |
| 149 | 219 | 174 | 443 | 199 | 637 | 224 | 807 | 249 | 960 |

Продолжение табл.

| Q | log_e Q |
|------------|--------------------------|------------|--------------------------|------------|--------------------------|------------|--------------------------|------------|--------------------------|
| 250 | 7,966 | 275 | 8,103 | 300 | 8,229 | 325 | 8,344 | 350 | 8,451 |
| 251 | 972 | 276 | 109 | 301 | 234 | 326 | 349 | 351 | 455 |
| 252 | 977 | 277 | 114 | 302 | 238 | 327 | 353 | 352 | 459 |
| 253 | 983 | 278 | 119 | 303 | 243 | 328 | 358 | 353 | 464 |
| 254 | 989 | 279 | 124 | 304 | 248 | 329 | 362 | 354 | 468 |
| 255 | 7,994 | 280 | 8,129 | 305 | 8,253 | 330 | 8,366 | 355 | 8,472 |
| 256 | 8,000 | 281 | 134 | 306 | 257 | 331 | 371 | 356 | 476 |
| 257 | 006 | 282 | 140 | 307 | 262 | 332 | 375 | 357 | 480 |
| 258 | 011 | 283 | 145 | 308 | 267 | 333 | 379 | 358 | 484 |
| 259 | 017 | 284 | 150 | 309 | 271 | 334 | 384 | 359 | 488 |
| 260 | 8,022 | 285 | 8,155 | 310 | 8,276 | 335 | 8,388 | 360 | 8,492 |
| 261 | 028 | 286 | 160 | 311 | 281 | 336 | 392 | 361 | 496 |
| 262 | 033 | 287 | 165 | 312 | 285 | 337 | 397 | 362 | 500 |
| 263 | 039 | 288 | 170 | 313 | 290 | 338 | 401 | 363 | 504 |
| 264 | 044 | 289 | 175 | 314 | 295 | 339 | 405 | 364 | 508 |
| 265 | 8,050 | 290 | 8,180 | 315 | 8,299 | 340 | 8,409 | 365 | 8,512 |
| 266 | 055 | 291 | 185 | 316 | 304 | 341 | 414 | 366 | 516 |
| 267 | 061 | 292 | 190 | 317 | 308 | 342 | 418 | 367 | 520 |
| 268 | 066 | 293 | 195 | 318 | 313 | 343 | 422 | 368 | 524 |
| 269 | 071 | 294 | 200 | 319 | 317 | 344 | 426 | 369 | 527 |
| 270 | 8,077 | 295 | 8,205 | 320 | 8,322 | 345 | 8,430 | 370 | 8,531 |
| 271 | 082 | 296 | 209 | 321 | 326 | 346 | 434 | 371 | 535 |
| 272 | 087 | 297 | 214 | 322 | 331 | 347 | 438 | 372 | 539 |
| 273 | 093 | 298 | 219 | 323 | 335 | 348 | 442 | 373 | 543 |
| 274 | 098 | 299 | 224 | 324 | 340 | 349 | 447 | 374 | 547 |

Продолжение табл.

| Q | log₂ Q |
|------------|--------------------------|------------|--------------------------|------------|--------------------------|------------|--------------------------|------------|--------------------------|
| 375 | 8,551 | 400 | 8,644 | 425 | 8,731 | 450 | 8,814 | 475 | 8,892 |
| 376 | 555 | 401 | 647 | 426 | 735 | 451 | 817 | 476 | 895 |
| 377 | 558 | 402 | 651 | 427 | 738 | 452 | 820 | 477 | 898 |
| 378 | 562 | 403 | 655 | 428 | 741 | 453 | 823 | 478 | 901 |
| 379 | 566 | 404 | 658 | 429 | 745 | 454 | 827 | 479 | 904 |
| 380 | 8,570 | 405 | 8,662 | 430 | 8,748 | 455 | 8,830 | 480 | 8,907 |
| 381 | 574 | 406 | 665 | 431 | 752 | 456 | 833 | 481 | 910 |
| 382 | 577 | 407 | 669 | 432 | 755 | 457 | 836 | 482 | 913 |
| 383 | 581 | 408 | 672 | 433 | 758 | 458 | 839 | 483 | 916 |
| 384 | 585 | 409 | 676 | 434 | 762 | 459 | 842 | 484 | 919 |
| 385 | 8,589 | 410 | 8,679 | 435 | 8,765 | 460 | 8,845 | 485 | 8,922 |
| 386 | 592 | 411 | 683 | 436 | 768 | 461 | 849 | 486 | 925 |
| 387 | 596 | 412 | 687 | 437 | 771 | 462 | 852 | 487 | 928 |
| 388 | 600 | 413 | 690 | 438 | 775 | 463 | 855 | 488 | 931 |
| 389 | 604 | 414 | 693 | 439 | 778 | 464 | 858 | 489 | 934 |
| 390 | 8,607 | 415 | 8,697 | 440 | 8,781 | 465 | 8,861 | 490 | 8,937 |
| 391 | 611 | 416 | 700 | 441 | 785 | 466 | 864 | 491 | 940 |
| 392 | 615 | 417 | 704 | 442 | 788 | 467 | 867 | 492 | 943 |
| 393 | 618 | 418 | 707 | 443 | 791 | 468 | 870 | 493 | 945 |
| 394 | 622 | 419 | 711 | 444 | 794 | 469 | 873 | 494 | 948 |
| 395 | 8,626 | 420 | 8,714 | 445 | 8,798 | 470 | 8,877 | 495 | 8,951 |
| 396 | 629 | 421 | 718 | 446 | 801 | 471 | 880 | 496 | 954 |
| 397 | 633 | 422 | 721 | 447 | 804 | 472 | 883 | 497 | 957 |
| 398 | 637 | 423 | 725 | 448 | 807 | 473 | 886 | 498 | 960 |
| 399 | 640 | 424 | 728 | 449 | 811 | 474 | 889 | 499 | 963 |

Продолжение табл.

| Q | log₂ Q |
|------------|--------------------------|------------|--------------------------|------------|--------------------------|------------|--------------------------|------------|--------------------------|
| 500 | 8,966 | 525 | 9,036 | 550 | 9,103 | 575 | 9,167 | 600 | 9,229 |
| 501 | 969 | 526 | 039 | 551 | 106 | 576 | 170 | 601 | 231 |
| 502 | 972 | 527 | 041 | 552 | 109 | 577 | 172 | 602 | 234 |
| 503 | 974 | 528 | 044 | 553 | 111 | 578 | 175 | 603 | 236 |
| 504 | 977 | 529 | 047 | 554 | 114 | 579 | 176 | 604 | 238 |
| 505 | 8,980 | 530 | 9,050 | 555 | 9,116 | 580 | 9,180 | 605 | 9,241 |
| 506 | 983 | 531 | 053 | 556 | 119 | 581 | 182 | 606 | 243 |
| 507 | 986 | 532 | 055 | 557 | 122 | 582 | 185 | 607 | 246 |
| 508 | 989 | 533 | 058 | 558 | 124 | 583 | 187 | 608 | 248 |
| 509 | 992 | 534 | 061 | 559 | 127 | 584 | 190 | 609 | 250 |
| 510 | 8,994 | 535 | 9,063 | 560 | 9,129 | 585 | 9,192 | 610 | 9,253 |
| 511 | 997 | 536 | 066 | 561 | 132 | 586 | 195 | 611 | 255 |
| 512 | 9,000 | 537 | 069 | 562 | 134 | 587 | 197 | 612 | 257 |
| 513 | 003 | 538 | 071 | 563 | 137 | 588 | 200 | 613 | 260 |
| 514 | 006 | 539 | 074 | 564 | 140 | 589 | 203 | 614 | 262 |
| 515 | 9,008 | 540 | 9,077 | 565 | 9,142 | 590 | 9,205 | 615 | 9,264 |
| 516 | 011 | 541 | 079 | 566 | 145 | 591 | 207 | 616 | 267 |
| 517 | 014 | 542 | 082 | 567 | 147 | 592 | 209 | 617 | 269 |
| 518 | 017 | 543 | 085 | 568 | 150 | 593 | 212 | 618 | 271 |
| 519 | 020 | 544 | 087 | 569 | 152 | 594 | 214 | 619 | 274 |
| 520 | 9,022 | 545 | 9,090 | 570 | 9,155 | 595 | 9,217 | 620 | 9,276 |
| 521 | 025 | 546 | 093 | 571 | 157 | 596 | 219 | 621 | 278 |
| 522 | 028 | 547 | 095 | 572 | 160 | 597 | 222 | 622 | 281 |
| 523 | 031 | 548 | 098 | 573 | 162 | 598 | 224 | 623 | 283 |
| 524 | 033 | 549 | 101 | 574 | 165 | 599 | 226 | 624 | 285 |

Продолжение табл.

| Q | log₂ Q |
|------------|--------------------------|------------|--------------------------|------------|--------------------------|------------|--------------------------|------------|--------------------------|
| 625 | 9,288 | 650 | 9,344 | 675 | 9,399 | 700 | 9,451 | 725 | 9,502 |
| 626 | 290 | 651 | 347 | 676 | 401 | 701 | 453 | 726 | 504 |
| 627 | 292 | 652 | 349 | 677 | 403 | 702 | 455 | 727 | 506 |
| 628 | 295 | 653 | 351 | 678 | 405 | 703 | 457 | 728 | 508 |
| 629 | 297 | 654 | 353 | 679 | 407 | 704 | 459 | 729 | 510 |
| 630 | 9,299 | 655 | 9,355 | 680 | 9,409 | 705 | 9,461 | 730 | 9,512 |
| 631 | 301 | 656 | 358 | 681 | 412 | 706 | 464 | 731 | 514 |
| 632 | 304 | 657 | 360 | 682 | 414 | 707 | 468 | 732 | 516 |
| 633 | 306 | 658 | 362 | 683 | 416 | 708 | 468 | 733 | 518 |
| 634 | 308 | 659 | 364 | 684 | 418 | 709 | 470 | 734 | 520 |
| 635 | 9,311 | 660 | 9,366 | 685 | 9,420 | 710 | 9,472 | 735 | 9,522 |
| 636 | 313 | 661 | 369 | 686 | 422 | 711 | 474 | 736 | 524 |
| 637 | 315 | 662 | 371 | 687 | 424 | 712 | 476 | 737 | 526 |
| 638 | 317 | 663 | 373 | 688 | 426 | 713 | 478 | 738 | 527 |
| 639 | 320 | 664 | 375 | 689 | 428 | 714 | 480 | 739 | 529 |
| 640 | 9,322 | 665 | 9,377 | 690 | 9,430 | 715 | 9,482 | 740 | 9,531 |
| 641 | 324 | 666 | 379 | 691 | 433 | 716 | 484 | 741 | 533 |
| 642 | 326 | 667 | 382 | 692 | 435 | 717 | 486 | 742 | 535 |
| 643 | 329 | 668 | 384 | 693 | 437 | 718 | 488 | 743 | 537 |
| 644 | 331 | 669 | 386 | 694 | 439 | 719 | 490 | 744 | 539 |
| 645 | 9,333 | 670 | 9,388 | 695 | 9,441 | 720 | 9,492 | 745 | 9,541 |
| 646 | 335 | 671 | 390 | 696 | 443 | 721 | 494 | 746 | 543 |
| 647 | 338 | 672 | 392 | 697 | 445 | 722 | 496 | 747 | 545 |
| 648 | 340 | 673 | 394 | 698 | 447 | 723 | 498 | 748 | 547 |
| 649 | 342 | 674 | 397 | 699 | 449 | 724 | 500 | 749 | 549 |

Продолжение табл.

| Q | log₂ Q |
|------------|--------------------------|------------|--------------------------|------------|--------------------------|------------|--------------------------|------------|--------------------------|
| 750 | 9,551 | 775 | 9,598 | 800 | 9,644 | 825 | 9,688 | 850 | 9,731 |
| 751 | 553 | 776 | 600 | 801 | 646 | 826 | 690 | 851 | 733 |
| 752 | 555 | 777 | 602 | 802 | 647 | 827 | 692 | 852 | 735 |
| 753 | 557 | 778 | 604 | 803 | 649 | 828 | 693 | 853 | 736 |
| 754 | 558 | 779 | 605 | 804 | 651 | 829 | 695 | 854 | 738 |
| 755 | 9,560 | 780 | 9,607 | 805 | 9,653 | 830 | 9,697 | 855 | 9,740 |
| 756 | 562 | 781 | 609 | 806 | 655 | 831 | 699 | 856 | 741 |
| 757 | 564 | 782 | 611 | 807 | 656 | 832 | 700 | 857 | 743 |
| 758 | 566 | 783 | 613 | 808 | 658 | 833 | 702 | 858 | 745 |
| 759 | 568 | 784 | 615 | 809 | 660 | 834 | 704 | 859 | 747 |
| 760 | 9,570 | 785 | 9,617 | 810 | 9,662 | 835 | 9,706 | 860 | 9,748 |
| 761 | 572 | 786 | 618 | 811 | 664 | 836 | 707 | 861 | 750 |
| 762 | 574 | 787 | 620 | 812 | 665 | 837 | 709 | 862 | 752 |
| 763 | 576 | 788 | 622 | 813 | 667 | 838 | 711 | 863 | 753 |
| 764 | 577 | 789 | 624 | 814 | 669 | 839 | 713 | 864 | 756 |
| 765 | 9,579 | 790 | 9,626 | 815 | 9,671 | 840 | 9,714 | 865 | 9,757 |
| 766 | 581 | 791 | 628 | 816 | 672 | 841 | 716 | 866 | 758 |
| 767 | 583 | 792 | 629 | 817 | 674 | 842 | 718 | 867 | 760 |
| 768 | 585 | 793 | 631 | 818 | 676 | 843 | 719 | 868 | 762 |
| 769 | 587 | 794 | 633 | 819 | 678 | 844 | 721 | 869 | 763 |
| 770 | 9,589 | 795 | 9,635 | 820 | 9,679 | 845 | 9,723 | 870 | 9,765 |
| 771 | 591 | 796 | 637 | 821 | 681 | 846 | 725 | 871 | 767 |
| 772 | 592 | 797 | 638 | 822 | 682 | 847 | 726 | 872 | 768 |
| 773 | 594 | 798 | 640 | 823 | 685 | 848 | 727 | 873 | 770 |
| 774 | 596 | 799 | 642 | 824 | 687 | 849 | 730 | 874 | 771 |

Продолжение табл.

| Q | log₂ Q | Q | log₂ Q |
|------------|--------------------------|------------|--------------------------|------------|--------------------------|------------|--------------------------|--------------|--------------------------|
| 875 | 9,773 | 892 | 9,801 | 919 | 9,844 | 946 | 9,886 | 973 | 9,926 |
| 876 | 775 | 893 | 803 | 920 | 845 | 947 | 887 | 974 | 928 |
| 877 | 776 | 894 | 804 | 921 | 847 | 948 | 889 | 975 | 929 |
| 878 | 778 | 895 | 806 | 922 | 849 | 949 | 890 | 976 | 931 |
| 879 | 780 | 896 | 807 | 923 | 850 | 950 | 892 | 977 | 932 |
| 880 | 9,781 | 897 | 9,809 | 924 | 9,852 | 951 | 9,893 | 978 | 9,934 |
| 881 | 783 | 898 | 811 | 925 | 853 | 952 | 895 | 979 | 935 |
| 882 | 785 | 899 | 812 | 926 | 855 | 953 | 896 | 980 | 937 |
| 883 | 786 | 900 | 814 | 927 | 856 | 954 | 898 | 981 | 938 |
| 884 | 788 | 901 | 815 | 928 | 858 | 955 | 899 | 982 | 940 |
| 885 | 9,790 | 902 | 9,817 | 929 | 9,860 | 956 | 9,901 | 983 | 9,941 |
| 886 | 791 | 903 | 819 | 930 | 861 | 957 | 902 | 984 | 943 |
| 887 | 793 | 904 | 820 | 931 | 863 | 958 | 904 | 985 | 944 |
| 888 | 794 | 905 | 822 | 932 | 864 | 959 | 905 | 986 | 945 |
| 889 | 796 | 906 | 823 | 933 | 866 | 960 | 907 | 987 | 947 |
| 890 | 9,798 | 907 | 9,825 | 934 | 9,867 | 961 | 9,908 | 988 | 9,948 |
| 891 | 799 | 908 | 827 | 935 | 869 | 962 | 910 | 989 | 950 |
| 892 | 801 | 909 | 828 | 936 | 870 | 963 | 911 | 990 | 951 |
| 893 | 803 | 910 | 830 | 937 | 872 | 964 | 913 | 991 | 953 |
| 894 | 804 | 911 | 831 | 938 | 873 | 965 | 914 | 992 | 954 |
| 895 | 9,806 | 912 | 9,833 | 939 | 9,875 | 966 | 9,916 | 993 | 9,956 |
| 896 | 807 | 913 | 834 | 940 | 877 | 967 | 917 | 994 | 957 |
| 897 | 809 | 914 | 836 | 941 | 878 | 968 | 919 | 995 | 959 |
| 898 | 811 | 915 | 838 | 942 | 880 | 969 | 920 | 996 | 960 |
| 899 | 812 | 916 | 839 | 943 | 881 | 970 | 922 | 997 | 961 |
| 890 | 9,798 | 917 | 9,841 | 944 | 9,883 | 971 | 9,923 | 998 | 9,963 |
| 891 | 799 | 918 | 842 | 945 | 884 | 972 | 925 | 999 | 964 |
| | | | | | | | | 1000 | 9,965 |
| | | | | | | | | 10000 | 13,288 |