Учреждение образования
«Витебский государственный университет им.П.М. Машерова»

Дисциплина:

«Теория информации»

Составил:
ст.преподаватель
кафедры теоретической физики
А.А. Яхновец

2012 г.

План практических занятий:

№	Наименование практического занятия	Кол-во часов
1	**Сверточные коды и их характеристики**. Древовидные и решетчатые коды. Описание сверточных кодов с помощью многочленов. Матричное описание сверточных кодов. Некоторые простые сверточные коды. Алгоритм декодирования Витерби	4
2	**Кодирование в непрерывных каналах**. Непрерывные каналы и теоремы кодирования в непрерывных каналах. Пропускная способность непрерывного канала с аддитивным гауссовым шумом.	2
	Итого практических занятий	**6**

Список литературы:

№п/п	Перечень литературы	Год издания
1	2	3
Основная		
1	Кудряшов, Б.Д. Теория информации / Б.Д. Кудряшов. СПб.: Питер, 320 с.	2009.
2	Дмитриев, В.И., Прикладная теория информации / В.И. Дмитриев. М.: Высшая школа,. 320 с.	1989
3	Кларк, Дж. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи / Дж. Кларк, Дж. Кейн. М.: Радио и связь, 392 с.	1987.
4	Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, 2-е издание / М.: Издательский дом «Вильямс»,. 1104 с.	2003
Дополнительная		
5	Колесник, В.Д. Курс теории информации / В.Д. Колесник. М.: Наука, 416 с.	1982.
6	Блейхут, Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки / Р. Блейхут. М.: Мир, 576 с.	1986.
7	Галлагер, Р. Теория информации и надежная связь / Р. Галлагер. М.: Сов. Радио, 720 с.	1974.

1. Введение.

Теория информации – наука с точно известной датой рождения. Ее появление на свет связывают с опубликованием Клодом Шенноном работы «Математическая теория связи» в 1948 г. С точки зрения Шеннона, теория информации – раздел математической теории связи. Поэтому круг задач теории информации можно пояснить с помощью представленной на рисунке 1 структурной схемы типичной системы передач или хранения информации.

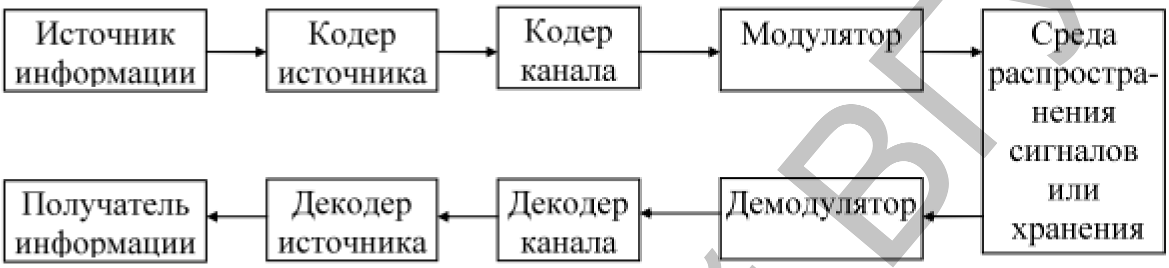

Рисунок 1 – Блок-схема системы связи

Под **источником информации** понимается любое устройство или объект живой природы, порождающие сообщения, которые должны быть перемещены в пространстве или во времени. Это может быть клавиатура компьютера, человек, аналоговый выход видеокамеры и т.п.

Цель кодера источника – представление информации в наиболее компактной форме. Это нужно для того, чтобы максимально эффективно использовать ресурсы канала связи либо запоминающего устройства.

В теории информации можно выделить следующие разделы:

1. Кодирование дискретных источников. Иногда эту часть теории информации называют кодированием без потерь, кодированием для канала без шума, сжатием информации.
2. Кодирование информации для передачи по каналу с шумом. Речь идет о защите информации от помех в каналах связи.
3. Кодирование с заданным критерием качества. В некоторых системах связи искажения информации допустимы. Более того, информация аналоговых источников вообще не может быть представлена в цифровой форме без искажений. В данном разделе речь идет о методах кодирования, обеспечивающих наилучший компромисс между качеством (оцениванием некоторой объективной мерой искажения) и затратами на передачу информации.
4. Кодирование информации для систем со многими пользователями. Здесь обсуждается оптимальное взаимодействие абонентов, использующих какой-либо общий ресурс, например, канал связи.
5. Секретная связь, системы защиты информации от несанкционированного доступа. Здесь также можно указать широкий круг актуальных задач, лежащих на стыке теории информации, теории вычислительной сложности алгоритмов, исследования операций, теории чисел.

Теорией информации называется наука, изучающая количественные закономерности, связанные с получением, передачей, обработкой и хранением информации. Теория информации в настоящее время становится необходимым математическим аппаратом при изучении всевозможных процессов управления.

Теория информации представляет собой не просто прикладную науку, в которой применяются вероятностные методы исследования, а должна рассматриваться как раздел теории вероятностей.

Получение, обработка, передача и хранение различного рода информации – непременное условие работы любой управляющей системы. В этом процессе всегда происходит обмен информацией между различными звеньями системы. Простейший случай – передача информации от управляющего устройства к исполнительному органу (передача команд). Более сложный случай – замкнутый контур управления, в котором информация о результатах выполнения команд передается управляющему устройству с помощью так называемой «обратной связи».

Любая информация для того, чтобы быть переданной, должна быть соответственным образом «закодирована», т.е. переведена на язык специальных символов или сигналов. Сигналами, передающими информацию, могут быть электрические импульсы, световые или звуковые колебания, механические перемещения и т.д.

Одной из задач теории информации является отыскание наиболее экономных методов кодирования, позволяющих передать заданную информацию с помощью минимального количества символов. Эта задача решается как при отсутствии, так и при наличии искажений (помех) в канале связи.

Другая типичная задача теории информации ставится следующим образом: имеется источник информации (передатчик), непрерывно вырабатывающий информацию, и канал связи, по которому эта информация передается в другую инстанцию (приемник). Какова должна быть пропускная способность канала связи для того, чтобы канал «справлялся» со своей задачей, т. е. передавал всю поступающую информацию без задержек и искажений?

Ряд задач теории информации относится к определению объема запоминающих устройств, предназначенных для хранения информации, к способам ввода информации в эти запоминающие устройства и вывода ее для непосредственного использования.

Чтобы решать подобные задачи, нужно, прежде всего, научиться измерять количественно объем передаваемой или хранимой информации, пропускную способность каналов связи и их чувствительность к помехам (искажениям). Основные понятия теории информации, излагаемые в настоящей главе, позволяют дать количественное описание процессов передачи информации и наметить некоторые математические закономерности, относящиеся к этим процессам.

2. Дискретизация и квантование сигналов.

Разумной мерой информации, содержащейся в сообщении является мера, монотонно связанная с затратами на передачу сообщения.

Сообщения представляют собой случайные события.

Сигналы могут быть объектами теоретических исследований и практического анализа только в том случае, если указан способ их математического описания – математическая модель сигнала. Математическое описание позволяет абстрагироваться от физической природы сигнала и материальной формы его носителя, проводить классификацию сигналов, выполнять их сравнение, устанавливать степень тождества, моделировать системы обработки сигналов. Как правило, описание сигнала задается функциональной зависимостью определенного информационного параметра сигнала от независимой переменной (аргумента) – $s(x)$, $y(t)$ и т.п. Такая форма описания и графического представления сигналов называется **динамической** (сигнал в реальной динамике его поведения по аргументам). Функции математического описания сигналов могут быть как вещественными, так и комплексными. Выбор математического аппарата описания определяется простотой и удобством его использования при анализе и обработке сигналов.

Отметим двойственность применения описания сигналов функциями типа $s(t)$ и т.п. С одной стороны $s(t)$ – это величина, равная значению функции в момент времени t. С другой стороны мы обозначаем через $s(t)$ и саму функцию, т.е. то правило, по которому каждому значению t ставится в соответствие определенная величина s. В большинстве аналитических выражений это не вызывает недоразумений и при однозначном соответствии значений сигналов их аналитическим выражениям принимается по умолчанию.

Сделаем также одно замечание по терминологии описания сигналов. В теоретических работах по анализу сигналов конкретные значения величины сигнала (отсчеты значений по аргументу) часто именуют координатами сигнала. В отраслях знаний, связанных с геологией и горным делом, и в геофизической практике в том числе, этот термин используется по своему прямому смысловому назначению – пространственных координат результатов измерений, и является неизменным атрибутом всех геолого-геофизических данных. С учетом последнего фактора условимся применять термин “координата” по своему традиционному смысловому назначению в качестве обобщающего термина для независимых переменных сигнальных функций. При этом под понятием *координат* значений сигнала будем понимать не только какие-либо пространственные координаты, как это непосредственно имеет место для результатов измерений при геолого-геофизических съемках, но и любые другие аргументы, на числовой оси которых отложены значения или отсчеты сигнала и рассматривается динамика его изменения.

3. Мера и количество информации.

В современной науке, технике и общественной жизни большую роль играет информация и связанные с ней операции: получение информации, передача информации, переработка ее, хранение и т.п. Значение информации, по-видимому, переросло значение другого важного фактора, который играл доминирующую роль в прошлом веке, а именно – энергии. В будущем, в связи с усложнением науки, техники, экономики и других отраслей, значение правильного управления ими будет все возрастать, и поэтому будет возрастать значение информации.

Информация является более трудным для исследования вопросом, чем, скажем, энергия, занимающая определенное, давно выясненное место в физике. Информация имеет две стороны: количественную и качественную. Иногда важным является общее количество информации, а иногда – качественный вид сообщения, его конкретное содержание. Кроме того, переработка информации из одного вида в другой является технически более сложной задачей, чем, скажем, превращение энергии из одной формы в другую. Все это затрудняет разработку теории информации и ее использование. Не исключено, что во многих практических задачах ситуация такова, что обращение к общей теории информации не приносит пользы, и их следует решать независимыми инженерными методами. И, тем не менее, общая теория информации существует, существуют такие образцовые ситуации и задачи, в которых основную роль играют закономерности общей теории. Поэтому теория информации важна и с практической точки зрения, не говоря уже о ее большой принципиальной роли, философской роли, роли в формировании кругозора исследователя. Из сказанного видно, насколько нелегким делом было открытие закономерностей теории информации.

Важнейшим этапом в этом отношении явились работы К. Шеннона, опубликованные в 1948-1949гг. И по постановке задачи, и по результатам они были многими восприняты как неожиданность. Более внимательное осмысливание, однако, приводит к заключению, что новая теория продолжает и развивает прежние идеи, а именно, идеи статистической термодинамики, связанные с именем Л. Больцмана. Не случайной является глубокая общность математического аппарата этих двух направлений, доходящая до прямого совпадения формул (например, для энтропии дискретных случайных величин). Кроме того, **логарифмическая мера** для количества информации, являющаяся исходной в теории Шеннона, была предложена применительно к задачам связи еще в 1928г. в работе Р. Хартли. Понятие количества информации тесно связано с понятием **энтропии**, являющейся мерой неопределенности. **Приобретение информации** сопровождается **уменьшением неопределенности**, поэтому **количество информации можно измерять количеством исчезнувшей неопределенности, т.е. энтропии**. В случае дискретного сообщения, т.е. дискретной случайной величины, энтропия определяется формулой Больцмана

$$H_x = – S\, P(x) \ln P(x)$$

где x – случайная величина, а $P(x)$ – ее распределение вероятностей. Формула является следствием (в асимптотическом смысле) более простой формулы Хартли $H = \ln M$. Важным результатом теории информации является тот факт, что множества реализаций **энтропийно устойчивой** случайной величины можно разбить на два подмножества. Первое из них имеет исчезающе малую вероятность, и поэтому его можно отбросить. Второе подмножество содержит приблизительно e^{Hx} реализации (т.е. вариантов записи), оно часто **значительно меньше** полного числа реализаций. Реализации этого второго множества приближенно можно считать **равновероятными**. Следуя терминологии, введенной Больцманом, эти равновероятные реализации можно называть **микросостояниями**. Теория информации является математической теорией, использующей понятия и методы теории вероятностей. При ее изложении нет особой надобности придерживаться специальной информационной терминологии, применяемой обычно в приложениях. Понятие **сообщение** без ущерба для теории можно заменить на понятие **случайной величины**, понятие **последовательности сообщений** – на **случайный процесс** и т.п. Тогда для применения общей теории, разумеется, требуется правильная формализация прикладных понятий и перевод их с прикладного языка на язык теории вероятностей. Основные результаты, относящиеся к дискретным случайным величинам (или процессам), которые имеют конечное или счетное число состояний, могут быть обобщены на случай непрерывных (и вообще произвольных) величин, принимающих значения из многомерного действительного пространства. При таком обобщении приходится преодолевать известные трудности, мириться с определенным усложнением важнейших понятий и формул. Основное усложнение заключается в следующем. Если применительно к дискретным случайным величинам для определения энтропии было достаточно **одной меры**, одного распределения вероятностей, то в общем случае для определения энтропии необходимо ввести **две меры**. Поэтому энтропия теперь характеризует не одну меру (степень неопределенности в ней), а две меры, и характеризует тем самым **соотношение** между этими двумя мерами. В нашем изложении формула для энтропии в обобщенной версии аргументируется (выводится из больцмановской формулы) на примере уплотнения точек, изображающих случайные величины. Специально теории информации посвящены вышедшие на русском языке книги Голдмана, Файнстейна, Фано, по которым удобно знакомится с простейшими понятиями.

4. Кодирование дискретных источников.

Преобразование *дискретного* сообщения в сигнал обычно осуществляется в виде двух операций - кодирования и модуляции. Кодирование представляет собой преобразование сообщения в последовательность кодовых символов.

Простейшим примером дискретного сообщения является текст. Любой текст состоит из конечного числа элементов: букв, цифр, знаков препинания. Их совокупность называется алфавитом источника сообщения. Так как число элементов в алфавите конечно, то их можно пронумеровать и тем самым свести передачу сообщения к передаче последовательности чисел.

Так, для передачи букв русского алфавита (их 32) необходимо передать числа от 1 до 32. Для передачи любого числа, записанного в десятичной форме, требуется передача одной из десяти цифр от 0 до 9 для каждого десятичного разряда. То есть для передачи букв русского алфавита нужно иметь техническую возможность передачи и приема десяти различных сигналов, соответствующих различным цифрам.

На практике при кодировании дискретных сообщений широко применяется двоичная система счисления.

При кодировании происходит процесс преобразования элементов сообщения в соответствующие им числа (*кодовые символы*). Каждому элементу сообщения присваивается определенная совокупность кодовых символов, которая называется кодовой комбинацией. Совокупность кодовых комбинаций, обозначающих дискретные сообщения, образует код.

Правило кодирования может быть выражено кодовой таблицей, в которой приводятся алфавит кодируемых сообщений и соответствующие им кодовые комбинации. Множество возможных кодовых символов называется кодовым алфавитом, а их количество m - основанием кода.

В общем случае при основании кода m правила кодирования N элементов сообщения сводятся к правилам записи N различных чисел в m-ичной системе счисления. Число разрядов n, образующих кодовую комбинацию, называется значностью кода, или длиной кодовой комбинации. В зависимости от системы счисления, используемой при кодировании, различают двоичные и m-ичные (недвоичные) коды.

Коды, у которых все комбинации имеют одинаковую длину, называют равномерными. Для равномерного кода число возможных комбинаций равно m^n. Примером такого кода является пятизначный *код Бодо*, содержащий пять двоичных элементов (m=2, n=5). Число возможных кодовых комбинаций равно 2^5=32, что достаточно для кодирования всех букв алфавита. Применение равномерных кодов не требует передачи разделительных символов между кодовыми комбинациями.

Неравномерные коды характерны тем, что у них кодовые комбинации отличаются друг от друга не только взаимным расположением символов, но и их количеством. Это приводит к тому, что различные комбинации имеют различную длительность. Типичным примером неравномерных кодов является *код Морзе*, в котором символы 0 и 1 используются только в двух сочетаниях - как одиночные (1 и 0) или как тройные (111 и 000). Сигнал, соответствующий одной единице, называется точкой, трем единицам - тире. Символ 0 используется как знак, отделяющий точку от тире, точку от точки и тире от тире. Совокупность 000 используется как разделительный знак между кодовыми комбинациями.

По помехоустойчивости коды делят на простые (примитивные) и корректирующие. Коды, у которых все возможные кодовые комбинации используются для передачи информации, называются простыми, или кодами без избыточности. В простых равномерных кодах превращение одного символа комбинации в другой, например 1 в 0 или 0 в 1, приводит к появлению новой комбинации, т. е. к ошибке.

Корректирующие коды строятся так, что для передачи сообщения используются не все кодовые комбинации m^n, а лишь некоторая часть их (так называемые *разрешенные* кодовые комбинации). Тем самым создается возможность обнаружения и исправления ошибки при неправильном воспроизведении некоторого числа символов. Корректирующие свойства кодов достигаются введением в кодовые комбинации дополнительных (избыточных) символов.

Декодирование состоит в восстановлении сообщения по принимаемым кодовым символам. Устройства, осуществляющие кодирование и декодирование, называют соответственно кодером и декодером. Как правило, кодер и декодер выполняются физически в одном устройстве, называемым кодеком.

Рассмотрим основные принципы построения *корректирующих кодов* или *помехоустойчивого кодирования*.

Напомним, что расстоянием Хэмминга между двумя кодовыми n-последовательностями, b_i и b_j, которое будем далее обозначать $d(i; j)$, является число разрядов, в которых символы этих последовательностей не совпадают.

Говорят, что в канале произошла ошибка кратности q, если в кодовой комбинации q символов приняты ошибочно. Легко видеть, что кратность ошибки есть не что иное, как расстояние Хэмминга между переданной и принятой кодовыми комбинациями, или, иначе, вес вектора ошибки.

Рассматривая все разрешенные кодовые комбинации и определяя кодовые расстояния между каждой парой, можно найти наименьшее из них $d = \min d(i; j)$, где минимум берется по всем парам разрешенных комбинаций. Это минимальное кодовое расстояние является важным параметром кода. Очевидно, что для простого кода d=1.

Обнаруживающая способность кода характеризуется следующей теоремой. Если код имеет d>1 и используется декодирование по методу обнаружения ошибок, то все ошибки кратностью $q<d$ обнаруживаются. Что же касается ошибок кратностью q^3 d, то одни из них обнаруживаются, а другие нет.

Исправляющая способность кода при этом правиле декодирования определяется следующей теоремой. Если код имеет d>2 и используется декодирование с исправлением ошибок по наименьшему расстоянию, то все ошибки кратностью $q<d/2$ исправляются. Что же касается ошибок большей кратности, то одни из них исправляются, а другие нет.

Задача кодирования состоит в выборе кода, обладающего максимально достижимым d. Впрочем, такая формулировка задачи неполна. Увеличивая длину кода n и сохраняя число кодовых комбинаций М, можно получить сколь угодно большое значение d. Но такое «решение» задачи не представляет интереса, так как с увеличением n уменьшается возможная скорость передачи информации от источника.

Если длина кода n задана, то можно получить любое значение d, не превышающее n, уменьшая число комбинаций M. Поэтому задачу поиска наилучшего кода (в смысле максимального d) следует формулировать так: при заданных M и n найти код длины n, содержащий M комбинаций и имеющий наибольшее возможное d. В общем виде эта задача в теории кодирования не решена, хотя для многих значений n и M ее решения получены.

На первый взгляд помехоустойчивое кодирование реализуется весьма просто. В память кодирующего устройства (кодера) записываются разрешенные кодовые комбинации выбранного кода и правило, по которому с каждым из M сообщений источника сопоставляется одна из таких комбинаций. Данное правило известно и декодеру.

Получив от источника определенное сообщение, кодер отыскивает соответствующую ему комбинацию и посылает ее в канал. В свою очередь, декодер, приняв комбинацию, искаженную помехами, сравнивает ее со всеми M комбинациями списка и отыскивает ту из них, которая ближе остальных к принятой.

Однако даже при умеренных значениях n такой способ весьма сложный. Покажем это на примере. Пусть выбрана длина кодовой комбинации n=100, а скорость кода примем равной 0.5 (число информационных и проверочных символов равно). Тогда число разрешенных комбинаций кода будет $2^{50}>10^{15}$. Соответственно размер таблицы будет 100 $10^{15}=10^{17}$ бит > 10^{16} байт = 10000 Тбайт.

Таким образом, применение достаточно эффективных (а значит, и достаточно длинных) кодов при табличном методе кодирования и декодирования технически невозможно.

Поэтому основное направление теории помехоустойчивого кодирования заключается в поисках таких классов кодов, для которых кодирование и декодирование осуществляются не перебором таблицы, а с помощью некоторых регулярных правил, определенных алгебраической структурой кодовых комбинаций.

Одним из таких классов являются линейные блоковые коды. Линейными называются такие двоичные коды, в которых множество всех разрешенных блоков является линейным пространством относительно операции поразрядного сложения по модулю 2.

Если записать k линейно-независимых блоков в виде k строк, то получится матрица размером $n \times k$, которую называют порождающей или производящей матрицей кода G.

Множество линейных комбинаций образует линейное пространство, содержащее 2^k блоков, т.е. линейный код, содержащий 2^k блоков длиной n, обозначают (n, k). При заданных n и k существует много различных (n, k)-кодов с различными кодовыми расстояниями d, определяемых различными порождающими матрицами. Все они имеют *избыточность* $e_k=1-k/n$ или *относительную скорость* $R_k=k/n$.

Чаще всего применяют систематические линейные коды, которые строят следующим образом. Сначала строится простой код длиной k, т.е. множество всех k-последовательностей двоичных символов, называемых информационными. Затем к каждой из этих последовательностей приписывается $r = n - k$ проверочных символов, которые получаются в результате некоторых линейных операций над информационными символами.

Простейший систематический код $(n,n-1)$ строится добавлением к комбинации из n-1 информационных символов одного проверочного, равного сумме всех информационных символов по модулю 2. Такой код $(n,n-1)$ имеет d=2 и позволяет обнаружить одиночные ошибки и называется кодом с одной проверкой на четность.

Преимуществом линейных, в частности систематических, кодов является то, что в кодере и декодере не нужно хранить большие таблицы всех кодовых комбинаций, а при декодировании не нужно производить большое количество сравнений.

Однако для получения высокой верности связи следует применять коды достаточно большой длины. Применение систематического кода в общем случае, хотя и позволяет упростить декодирование по сравнению с табличным способом, все же при значениях n порядка нескольких десятков не решает задачу практической реализации.

5. Кодирование в дискретных каналах.

Простейшими кодами, с помощью которых можно выполнять сжатие информации, являются коды без памяти. Наилучшим из кодов, обладающих свойствами, перечисленными выше, является код Хаффмана.

Код Хаффмана – это двоичный префиксный код без памяти. Далее рассмотрим некоторые теоретические основы этого кода.

Префиксным множеством двоичных последовательностей S называется конечное множество двоичных последовательностей таких, что ни одна последовательность в этом множестве не является префиксом, или началом, другой последовательности в S.

Например, множество двоичных слов $S_1 = \{00,01,100,110,1010,1011\}$ является префиксным множеством, а $S_2 = \{00,001,1110\}$ – не является.

Каждый префиксный код является дешифрируемым (обратное неверно).

Кодирование кодом без памяти осуществляется следующим образом:

1. Необходимо составить полный список символов $a_1, a_2, ..., a_k$ алфавита A входного сигнала; на j-ом месте стоит символ с вероятностью $P(a_j)$, то есть на *1*-ом месте стоит наиболее часто встречающийся символ.
2. Для любого a_j назначить кодовое слово w_j из префиксного множества двоичной последовательности S.
3. На выходе кодера объединить в одну последовательность все полученные двоичные слова.

Если $S = \{w_1, w_2, ..., w_k\}$ – префиксное множество, то можно определить некоторый вектор $V(S) = (l_1, l_2, ..., l_k)$, состоящий из чисел, являющихся длинами соответствующих префиксных последовательностей (l_i является длиной w_i). Вектор $V(S)$ состоит из неуменьшающихся положительных целых чисел и называется вектор Крафта. Для него выполняется неравенство Крафта:

$$\sum_{i=1}^{k} 2^{-l_i} \le 1. \qquad (1)$$

Длины двоичных последовательностей в префиксном множестве удовлетворяют данному соотношению. Если в (1) строгое равенство, то <u>код</u> называется оптимальным.

Средняя длина двоичной последовательности на выходе кодера – это $\bar{l}(Y)$. Лучший код без памяти – это код, для которого средняя длина $\bar{l}(Y)$ минимальна. Для того, чтобы это выполнялось, необходимо найти соответствующий вектор Крафта $V(S) = (l_1, l_2, ..., l_k)$. Простым перебором такую задачу трудно осуществить при больших k.

6. Основные понятия помехоустойчивого кодирования.

Помехоустойчивые коды – это коды, позволяющие обнаружить и (или) исправить ошибки в кодовых словах, которые возникают при передачи по каналам связи. Эти коды строятся таким образом, что для передачи сообщения используется лишь часть кодовых слов, которые отличаются друг от друга более, чем в один символ. Эти кодовые слова называются разрешенными, все остальные не используются и называются запрещенными.

Теорема Шеннона (о кодировании в дискретных каналах с шумом).

Пусть пропускная способность канала $C = H_{\max}(A)$, скорость создания информации $V = H_{ист}(X)F_{ист}$, где $H_{ист}(X)$ – энтропия источника, $F_{ист}$ – частота следования символов источника.

1. Прямая теорема.

Если скорость создания информации V источником на входе зашумленного канала без памяти с пропускной способностью C такова, что $V < C$, то существует такой код, при котором вероятность ошибки на приемном конце сколь угодно мала, а скорость передачи информации сколь угодно близка к скорости её создания.

2. Обратная теорема.

Если $V > C$, то никакой код не может сделать вероятность ошибок на приемном конце сколь угодно малой и достигнуть надежности, меньшей, чем $V - C$, а скорость передачи информации сколь угодно близкой к скорости её создания. Основной способ повышения помехоустойчивости системы передачи информации – разумное введение избыточности в передаваемый сигнал A.

Помехозащитные коды делятся на *две группы*:

1. Код с исправлением ошибок имеет цель восстановить с вероятностью близкой к единице посланное сообщение.
2. Код с обнаружением ошибок имеет цель выявить с вероятностью близкой к единицы наличие ошибок.

Введем основные параметры помехоустойчивых кодов:

- Расстояние Хэмминга (кодовое расстояние между двумя кодовыми словами) d – число позиций, в которых два кодовых двоичных слова отличаются друг от друга.
- Кодовое расстояние кода d_0 – наименьшее расстояние Хэмминга между различными словами кода.

Считают, что в канале произошла q-кратная ошибка, если кодовое слово на выходе канала отличается от кодового слова на входе ровно в q символах (то есть $d = q$).

Основные зависимости:

- $d_0 \geq q_{обнар} + 1$ – код позволяет обнаружить любую ошибку кратности $q_{обнар}$, если его кодовое расстояние удовлетворяет этому условию.
- $d_0 \geq 2q_{исправ} + 1$ – код позволяет исправить любую ошибку кратности $q_{исправ}$, если его кодовое расстояние удовлетворяет этому условию.
- Граница Хэмминга: $r = n - k \geq \log_2 \sum_{i=0}^{q_{ист}} C_n^i$, где n – длина кодового слова, k – количество информационных разрядов, r – количество проверочных разрядов. Это выражение является нижней границей в том смысле, что оно устанавливает то минимальное соотношение корректирующих и информационных разрядов, ниже которого код не может сохранять заданные корректирующие способности.

- Граница Плоткина: $d_0 \le n\dfrac{2^{k-1}}{2^k - 1}$.

Границы Хэмминга и Плоткина являются нижними границами для кодового расстояния при заданных n, k, задающими минимальную избыточность, при которой существует помехоустойчивый код, имеющий минимальное кодовое расстояние и гарантированно исправляющий $q_{исправ}$-кратные ошибки.

- Граница Варшамова-Гильберта: $2^{n-k} = 2^r > \sum_{i=0}^{d_0-2} C_{n-1}^i$ является нижней границей для числа проверочных разрядов r в случае кодов большой разрядности, необходимого для обеспечения заданного кодового расстояния d_0.

Среди всех корректирующих кодов наибольшее применение нашли систематические коды (далее будем рассматривать именно такие коды). Систематическим кодом (n,k) называется двоичный корректирующий код, удовлетворяющий следующим требованиям:

1. Все кодовые слова содержат n символов, из которых k информационных и r проверочных. Проверочные и информационные занимают определенные позиции в кодовом слове.
2. Сумма по модулю два ($\oplus$) любых кодовых слов снова дает кодовое слово, принадлежащее данному систематическому коду.

7. Линейные блоковые коды и их характеристики.

Самый большой класс разделимых кодов составляют линейные коды, у которых значения проверочных символов определяются в результате проведения линейных операций над определенными информационными символами. Для случая двоичных кодов каждый проверочный символ выбирают таким, чтобы его сумма с определенными информационными символами была равна нулю. Символ проверочной позиции имеет значение 1, если число единиц информационных разрядов, входящих в данное проверочное равенство, нечетно и 0, если оно четно. Число проверочных равенств (а, следовательно, и число проверочных символов) и номера конкретных информационных разрядов, входящих в каждое из равенств, определяется тем, какие и сколько ошибок должен исправлять или обнаруживать данный код. Проверочные символы могут располагаться на любом месте кодовой комбинации.

При декодировании определяется справедливость проверочных равенств. В случае двоичных кодов такое определение сводится к проверкам на четность числа единиц среди символов, входящих в каждое из равенств (включая проверочный). Совокупность проверок дает информацию о том, имеется ли ошибка, а в случае необходимости и о том, на каких позициях символы искажены.

Любой двоичный линейный код является групповым, так как совокупность входящих в него кодовых комбинаций образует группу. Уточнение понятий линейного и группового кода требует ознакомления с основами линейной алгебры.

Математическое введение к линейным кодам. Основой математического описания линейных кодов является линейная алгебра (теория векторных пространств, теория матриц, теория групп). Кодовые комбинации рассматривают как элементы множества, например кодовые комбинации двоичного кода принадлежат множеству положительных двоичных чисел.

Множества, для которых определены некоторые алгебраические операции, называют *алгебраическими системами.* Под *алгебраической операцией* понимают однозначное сопоставление двум элементам некоторого третьего элемента по определенным правилам. Обычно основную операцию называют сложением (обозначают $a+b=c$) или *умножением* (обозначают $a \times b = c$), а обратную ей — *вычитанием* или *делением,* даже если эти операции проводятся не над числами и неидентичные соответствующим арифметическим операциям.

Рассмотрим кратко основные алгебраические системы, широко используемые в теории корректирующих кодов. *Группой* называют множество элементов, в котором определена одна основная операция и выполняются следующие аксиомы:

1. В результате применения операции к любым двум элементам группы образуется элемент этой же группы (требование замкнутости).

2. Для любых трех элементов группы a, b и c удовлетворяется равенство $(a+b)+c = a+(b+c)$ (если основная операция — сложение) и равенство *a(bc) == (ab)c* (если основная операция — умножение).

3. В любой группе G_n существует однозначно определенный элемент, удовлетворяющий при всех значениях *a* из G_n условию $a+0=a+0=a$ (если основная операция — сложение) или условно $a \times 1 = 1 \times a = a$ (если основная операция—умножение).

В первом случае этот элемент называют *нулем* и обозначают символом 0, а во втором — *единицей* и обозначают символом 1.

4. Всякий элемент а группы обладает элементом, однозначно определенным уравнением $a+(-a) = -a+a = 0$ (если основная операция сложение) или уравнением $aa^{-1} = a^{-1}a = 1$ (если основная операция — умножение).

В первом случае этот элемент называют *противоположным* и обозначают (-*a),* а во втором — *обратным* и обозначают a^{-1}.

Если операция, определенная в группе, коммутативна, т. е. справедливо равенство $a+b=b+a$ (для группы по сложению) или равенство $ab=ba$(для группы по умножению), то группу называют *коммутативной* или *абелевой.*

Группу, состоящую из конечного числа элементов, называют конечной. Число элементов в группе называют *порядком* группы.

Чтобы рассматриваемое нами множество $n-$разрядных кодовых комбинаций было конечной группой, при выполнении основной операции число разрядов в результирующей кодовой комбинации не должно увеличиваться. Этому условию удовлетворяет операция символического поразрядного сложения по заданному модулю *q* (*q* — простое число), при которой цифры одинаковых разрядов элементов группы складываются обычным порядком, а Результатом сложения считается остаток **от** деления полученного числа на модуль *q*.

При рассмотрении двоичных кодов используется операция *сложения по модулю 2.* Результатом сложения цифр данного разряда является 0, если сумма единиц в нем четна, и 1, если сумма единиц в нем нечетна
например:

$$\begin{array}{r} 1011101 \\ \oplus\ 0111101 \\ \underline{0001110} \\ 1101110 \end{array}$$

Подмножества группы, являющиеся сами по себе группами относительно операции, определенной в группе, называют подгруппами. Например, подмножество трехразрядных кодовых комбинаций: 000, 001, 010, 011 образуют подгруппу указанной в примере группы трехразрядных кодовых комбинаций.

Пусть в абелевой группе G_n задана определенная подгруппа *A.* Если В — любой не входящий в А элемент из G_n, то суммы (по модулю 2) элементов *B* с каждым из элементов подгруппы А образуют смежный класс группы G_n по подгруппе А, порождаемый элементом *B.*

Элемент *B,* естественно, содержится в этом смежном классе, так как любая подгруппа содержит нулевой элемент. Взяв последовательно некоторые элементы *B,* группы, не вошедшие в уже образованные смежные классы, можно разложить всю группу на смежные классы по подгруппе А.

Элементы *B,* называют образующими элементами смежных классов подгруппы.

В таблице разложения, иногда называемой *групповой таблицей,* образующие элементы обычно располагают в крайнем левом столбце, причем крайним левым элементом подгруппы является нулевой элемент.

Кольцом называют множество элементов *R,* на котором определены две операции (сложения и умножения), такие, что:

1) множество *R* является коммутативной группой по сложению;

2) произведение элементов $a \in R$ и $b \in R$ есть элемент *R* (замкнутость по отношению к умножению);

3) для любых трех элементов a, b и c из *R* справедливо равенство *a(bc) = (ab)c* (ассоциативный закон для умножения);

4) для любых трех элементов *a, b* и *c* из *R* выполняются соотношения *a(b + c) = ab+ ac* и *(b+c)a= ba+ ca* (дистрибутивные законы).

Если для любых двух элементов кольца справедливо соотношение *ab = ba,* кольцо называют *коммутативным.* Кольцо может не иметь единичного элемента по умножению и обратных элементов.

Примером кольца может служить множество действительных четных целых чисел относительно обычных операций сложения и умножения.

Полем *F* называют множество по крайней мере двух элементов, в котором определены две операции — сложение и умножение, и выполняются следующие аксиомы:

1) множество элементов образует коммутативную группу по сложению;

2) множество ненулевых элементов образует коммутативную группу по умножению;

3) для любых трех элементов множества *a, b, c* выполняется соотношение (дистрибутивный закон)

$a(b+c) = ab+ac.$

Поле *F* является, следовательно, коммутативным кольцом с единичным элементом по умножению, в котором каждый ненулевой элемент обладает обратным элементом. Примером поля может служить множество всех действительных чисел.

Поле *GF(P),* состоящее из конечного числа элементов *P*, называют *конечным полем* или *полем Галуа.* Для любого числа *P*, являющегося степенью простого числа *q*, существует поле, насчитывающее *P* элементов. Например, совокупность чисел по модулю *q*, если *q* — простое число, является полем.

Поле не может содержать менее двух элементов, поскольку в нем должны быть, по крайней мере, единичный элемент относительно операции сложения (0) и единичный элемент относительно операции умножения (1). Поле, включающее только 0 и 1, обозначим *GF* (2). Правила сложения и умножения в поле с двумя элементами следующие:

+	0	1
0	0	1
1	1	0

X	0	1
0	0	0
1	0	1

Двоичные кодовые комбинации, являющиеся упорядоченными последовательностями из *n* элементов поля *GF* (2), рассматриваются в теории кодирования как частный случай последовательностей из *n* элементов поля *GF(P).* Такой подход позволяет строить и анализировать коды с основанием, равным степени простого числа.

В общем случае суммой кодовых комбинаций A_j и A_i, называют комбинацию $A_f = A_i + A_j$, в которой любой символ A_k *(k=1,* 2, *..., n)* представляет собой сумму $k-x$ символов исходных комбинаций, причем суммирование производится по правилам поля *GF(P).* При этом вся совокупность n-разрядных кодовых комбинаций оказывается абелевой группой.

В частном случае, когда основанием кода является простое число *q*, правило сложения в поле *GF(q)* совпадает с правилом сложения по заданному модулю *q*.

Линейный код как подпространство линейного векторного пространства. В рассмотренных алгебраических системах (группа, кольцо, поле) операции относились к одному классу математических объектов (элементов). Такие операции называют *внутренними законами композиции элементов.*

В теории кодирования широко используются модели, охватывающие два класса математических объектов (например, L и Ω). Помимо внутренних законов композиции в них задаются внешние законы композиции элементов, по которым любым элементам $\omega \in \Omega$ и $a \in L$ ставится в соответствие элемент $c \in L$.

Линейным векторным пространством над полем элементов *F* (скаляров) называют множество элементов *V* (векторов), если для него выполняются следующие аксиомы:

1) множество *V* является коммутативной группой относительно операции сложения;

2) для любого вектора *v* из *V* и любого скаляра с из *F* определено произведение *cv*, которое содержится в *V* (замкнутость по отношению умножения на скаляр);

3) если и и *v* из *V* векторы, а *c* и *a* из *F* скаляры, то справедливо *c(c+v) = cu+cv*, *(c+ d)v = cv + dv* (дистрибутивные законы);

4) если v—вектор, а *c* и *d*—скаляры, то *(cd)v = c(dv)* и $1 \times v = v$ (ассоциативный закон для умножения на скаляр).

Выше было определено правило поразрядного сложения кодовых комбинаций, при котором вся их совокупность образует абелеву группу. Определим теперь операцию умножения последовательности из *n* элементов поля *GF(P)* (кодовой комбинации) на элемент поля а; из *GF(P)* аналогично правилу умножения вектора на скаляр:

$$a_i(a_1, a_2, ..., a_n) = (a_i a_1, a_i a_2, ..., a_i a_n)$$

[умножение элементов производится по правилам поля GF(P)].

Поскольку при выбранных операциях дистрибутивные законы и ассоциативный закон (п. 3, 4) выполняются, все множество n-разрядных кодовых комбинаций можно рассматривать как векторное линейное пространство над полем *GF(P),* а кодовые комбинации — как его векторы.

Если в линейном пространстве последовательностей из *n* элементов поля *GF(P)* дополнительно задать операцию умножения векторов, удовлетворяющую определенным условиям (ассоциативности, замкнутости, билинейности по отношению к умножению на скаляры), то вся совокупность n-разрядных кодовых комбинаций превращается в линейную коммутативную алгебру над полем коэффициентов *GF(P).*

Подмножество элементов векторного пространства, которое удовлетворяет аксиомам векторного пространства, называют *подпространством.*

Линейным кодом называют множество векторов, образующих подпространство векторного пространства всех n-разрядных кодовых комбинаций над полем *GF(P).*

В случае двоичного кодирования такого подпространство комбинаций над полем *GF* (2) образует любая совокупность двоичных кодовых комбинаций, являющаяся подгруппой группы всех n-разрядных двоичных кодовых комбинаций. Поэтому любой двоичный линейный код является групповым.

УО «Витебский государственный университет имени П.М.Машерова»

УТВЕРЖДАЮ
Ректор УО "ВГУ им. П.М. Машерова"
___________________ А.П. Солодков
« ___ » __________________ 2012 г.
Регистрационный № УД-________/р.

________________Теория информации___________________
(название дисциплины)

УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОСТИ:

____01 - 31 04 01____ _________Физика (по направлениям)____________
(код специальности) (наименование специальности)

Факультет _______физический____

Кафедра _________теоретической физики__________________________

Курс (курсы) _________4____

Семестр (семестры) ______7____

Лекции ____26_______ (количество часов)

Экзамен ________________ (семестр)

Практические (семинарские) занятия _____6______ (количество часов)

Зачет _________7___________ (семестр)

Лабораторные занятия ____________ (количество часов)

Курсовой проект (работа) ________ (семестр)

Всего аудиторных часов по дисциплине ____32_______ (количество часов)

Всего часов по дисциплине ____41______ (количество часов)

Форма получения высшего образования _дневная____

Составитель: ст.преподаватель Яхновец А.А.

2012г.

Учебная программа составлена на основе типовой программы «Теория информации», утвержденной 15.10.2009г. ТД-G.223/тип

Рассмотрена и рекомендована к утверждению на заседании кафедры теоретической физики (протокол № от г.)

Заведующий кафедрой

Ю.В.Трубников

Одобрена и рекомендована к утверждению Научно-методическим советом Учреждения Образования “Витебский государственный университет имени П.М. Машерова” (протокол № от)

Председатель

А.Л.Гладков

1. Пояснительная записка

1.1. Цель преподавания дисциплины

Дисциплина «Теория информации» знакомит студентов с основными методами оценки количественных характеристик систем передачи и хранения информации, методами сравнения информационных систем между собой, способами повышения их надежности и эффективности использования.

Цель преподавания дисциплины:

– освоение студентами основных положений теории информации и методов помехоустойчивого кодирования.

Общее количество часов – 41, аудиторное количество часов – 32, из них: лекции – 26, практические занятия - 6.

1.2. Задачи изучения дисциплины

Задачи изучения дисциплины:

- приобретение знаний и освоение студентами методов анализа информационных систем и каналов связи, соединяющих источники информации с ее потребителями;
- изучение основных классов помехоустойчивых кодов;
- освоение методик построения оптимального (или близкого к оптимальному) кода, структурных схем кодирующих и декодирующих устройств.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- методы дискретизации и квантования сигналов;
- факторы, определяющие информационные свойства системы;
- основные классы и методы построения помехоустойчивых кодов;

уметь:

- оценивать информационные характеристики каналов связи;
- применять методы помехоустойчивого кодирования;
- использовать методы дискретизации сигналов.

.

1.3. Перечень дисциплин с указанием разделов (тем), усвоение которых студентами необходимо для изучения дисциплины

№п/п	Наименование дисциплины	Раздел, тема
1	2	3
1	Математический анализ	Все разделы
2	Аналитическая геометрия и линейная алгебра	Все разделы
3	Дифференциальные уравнения	Все разделы
4	Теория вероятностей	Все разделы

2. Содержание программы по разделам, темам, вопросам

2.1. Наименование разделов, тем, их содержание, объем в часах лекционных занятий

№ п/п	Наименование тем	Содержание	Объем в часах
1	2	3	4
	1 семестр		
1	Введение	Предмет теории информации. Базовые понятия и принципы. Основные компоненты системы связи и их характеристики.	2
2	Дискретизация и квантование сигналов	Математическое представление сигналов. Равномерная дискретизация. Спектр дискретизированного сигнала. Теорема Котельникова. Квантование сигналов. Сигма-дельта АЦП.	4
3	Мера и количество информации	Дискретные и непрерывные случайные величины, понятие неопределенности. Количество информации по Р.Хартли и К.Шеннону. Количество информации и энтропии. Условная информация и условная энтропия. Количество информации между дискретными ансамблями. Непрерывные ансамбли и обобщение понятия количества информации. Взаимная информация для дискретных и непрерывных ансамблей. Относительная энтропия и ее свойства.	4
4	Кодирование дискретных источников	Дискретные источники. Кодирование дискретных источников равномерными кодами. Скорость создания информации дискретным источником без памяти при равномерном кодировании. Неравномерное кодирование дискретных источников. Коды с однозначным декодированием. Кодовые деревья и неравенство Крафта. Групповые коды.	4
5	Кодирование в дискретных каналах	Классификация каналов связи. Симметричные дискретные каналы связи без памяти. Двоично-симметричный канал со стиранием. Пропускная способность дискретных каналов. Теоремы кодирования для дискретных каналов без памяти.	4
6	Основные понятия помехоустойчивого кодирования	Классификация кодов. Разрешенные и запрещенные кодовые состояния, вектор ошибки, синдром. Мягкое и жесткое декодирование. Границы для кодов.	2
7	Линейные блоковые коды и их характеристики	Коды с обобщенными проверками на четность. Кодовое расстояние. Таблица опознавателей. Порождающая и проверочная матрицы. Арифметика конечных полей. Полиномиальные и циклические коды. Важнейшие классы групповых кодов. Коды Рида-Соломона и методы их декодирования. Неалгебраические методы декодирования линейных блоковых кодов. Перестановочное декодирование. Пороговое декодирование. Мягкое декодирование блоковых кодов. Коды с чередованием, каскадные коды, турбокоды	6
	Итого лекций		**26**

2.2. Практические занятия, их наименование и объем в часах

№	Наименование практического занятия	Кол-во часов
1	**Сверточные коды и их характеристики**. Древовидные и решетчатые коды. Описание сверточных кодов с помощью многочленов. Матричное описание сверточных кодов. Некоторые простые сверточные коды. Алгоритм декодирования Витерби	4
2	**Кодирование в непрерывных каналах**. Непрерывные каналы и теоремы кодирования в непрерывных каналах. Пропускная способность непрерывного канала с аддитивным гауссовым шумом.	2
	Итого практических занятий	**6**

2.3. Лабораторные занятия, их наименование и объем в часах

№	Наименование лабораторной работы	Кол-во часов
	Итого лабораторных занятий	

3. Учебно-методическая карта дисциплины

Номер раздела, темы занятия	Название раздела, темы, занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов				Материальное обеспечение занятия (наглядные, методические пособия и др.)	Литература	Форма контроля знаний
		лекции	практические занятия	лабораторные занятия	управляемая самостоятельная работа студента			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	**Введение** Предмет теории информации. Базовые понятия и принципы. Основные компоненты системы связи и их характеристики.	**2**					[1] [2] [3] [4]	Самостоятельная работа. Зачет
2	**Дискретизация и квантование сигналов** Математическое представление сигналов. Равномерная дискретизация. Спектр дискретизированного сигнала. Теорема Котельникова. Квантование сигналов. Сигма-дельта АЦП.	4					[1] [2] [3] [4]	Самостоятельная работа. Зачет
3	**Мера и количество информации** Дискретные и непрерывные случайные величины, понятие неопределенности. Количество информации по Р.Хартли и К.Шеннону. Количество информации и энтропии. Условная информация и условная энтропия. Количество информации между дискретными ансамблями. Непрерывные ансамбли и обобщение понятия количества информации. Взаимная информация для дискретных и непрерывных ансамблей. Относительная энтропия и ее свойства.	4					[1] [2] [3] [4]	Самостоятельная работа. Зачет

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	**Кодирование дискретных источников** Дискретные источники. Кодирование дискретных источников равномерными кодами. Скорость создания информации дискретным источником без памяти при равномерном кодировании. Неравномерное кодирование дискретных источников. Коды с однозначным декодированием. Кодовые деревья и неравенство Крафта. Групповые коды.	4					[1] [2] [3] [4]	Самостоятельная работа. Зачет
5	**Кодирование в дискретных каналах** Классификация каналов связи. Симметричные дискретные каналы связи без памяти. Двоично-симметричный канал со стиранием. Пропускная способность дискретных каналов. Теоремы кодирования для дискретных каналов без памяти.	4					[1] [2] [3] [4]	Самостоятельная работа. Зачет
6	**Основные понятия помехоустойчивого кодирования** Классификация кодов. Разрешенные и запрещенные кодовые состояния, вектор ошибки, синдром. Мягкое и жесткое декодирование. Границы для кодов.	2					[1] [2] [3] [4]	Самостоятельная работа. Зачет
7	**Линейные блоковые коды и их характеристики.** Коды с обобщенными проверками на четность. Кодовое расстояние. Таблица опознавателей. Порождающая и проверочная матрицы. Арифметика конечных полей. Полиномиальные и циклические коды. Важнейшие классы групповых кодов. Коды Рида-Соломона и методы их декодирования. Неалгебраические методы декодирования линейных блоковых кодов. Перестановочное декодирование. Пороговое декодирование. Мягкое декодирование блоковых кодов. Коды с чередованием, каскадные коды, турбокоды.	6					[1] [2] [3] [4]	Самостоятельная работа. Зачет

1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	**Сверточные коды и их характеристики**. Древовидные и решетчатые коды. Описание сверточных кодов с помощью многочленов. Матричное описание сверточных кодов. Некоторые простые сверточные коды. Алгоритм декодирования Витерби.		4				[1] [2] [3] [4]	Самостоятельная работа. Зачет
9	**Кодирование в непрерывных каналах**. Непрерывные каналы и теоремы кодирования в непрерывных каналах. Пропускная способность непрерывного канала с аддитивным гауссовым шумом.		2				[1] [2] [3] [4]	Самостоятельная работа. Зачет
	Итого	**26**	**6**					

4. Информационная (информационно-методическая) часть

4.1. Основная и дополнительная литература

№п/п	Перечень литературы	Год издания
1	2	3
Основная		
1	Кудряшов, Б.Д. Теория информации / Б.Д. Кудряшов. СПб.: Питер, 320 с.	2009.
2	Дмитриев, В.И., Прикладная теория информации / В.И. Дмитриев. М.: Высшая школа,. 320 с.	1989
3	Кларк, Дж. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи / Дж. Кларк, Дж. Кейн. М.: Радио и связь, 392 с.	1987.
4	Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, 2-е издание / М.: Издательский дом «Вильямс»,. 1104 с.	2003
Дополнительная		
5	Колесник, В.Д. Курс теории информации / В.Д. Колесник. М.: Наука, 416 с.	1982.
6	Блейхут, Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки / Р. Блейхут. М.: Мир, 576 с.	1986.
7	Галлагер, Р. Теория информации и надежная связь / Р. Галлагер. М.: Сов. Радио, 720 с.	1974.

4.2 а). Перечень наглядных и других пособий, методических указаний по проведению конкретных видов учебных занятий, а также методических материалов к используемым в учебном процессе техническим средствам

№№ п/п	Перечень пособий
1	2

б) Методические материалы, раскрывающие методику использования ЭВМ в учебном процессе

Протокол согласования

учебной программы по дисциплине «Теория информации» для специальностей:
1-31 04 01 «Физика (по направлениям)» с другими дисциплинами специальности

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
1	2	3	4