

# ВВЕДЕНИЕ

Этот учебник называется «Общая теория связи». И в этом названии содержатся три очень важных компонента. Во-первых, речь пойдет о связи (иногда употребляют термины, пришедшие из английского языка, а именно: *коммуникации, телекоммуникации*). Во-вторых, о связи как способе взаимодействия между людьми, а также способах взаимодействия между людьми и созданными ими объектами, например компьютерами, способами и методами «общения» компьютеров между собой и различными устройствами. В-третьих, о том, как осуществляется связь вообще в живой природе на самых разных уровнях, например, общение пчел, «общение» на клеточном уровне, передача информации в нейросенсорных системах и т. д. И в этом смысле предлагается общий взгляд на связь между самыми разными объектами, не только созданными человеком, но и самой Природой. Показывается их удивительная похожесть и совершенство при наличии различных исходных условий. Итак, речь пойдет о связи, *об общей связи*. А в основе описания всего этого будут использоваться общие теоретические построения, которые оказываются применимы к самым разным объектам и условиям осуществления взаимодействия, «общения» между ними.

Учебник «Общая теория связи» во многом базируется на идеях, рассмотренных в различных книгах, посвященных теории передачи сигналов или теории электрической связи, поскольку именно электрическая связь стала реальным способом взаимодействия людей, находящихся на больших расстояниях, и заложила основы для современного общества, которое все чаще называют *информационным*.

Данный учебник в основном предназначен для подготовки специалистов в области связи, информационных технологий, радиотехники. Однако его более общий охват рассматриваемых вопросов может быть полезен и для других направлений подготовки, поскольку современные системы связи приобрели глобальный характер, занимая все больше места в самых разных сферах деятельности человека: в его личной жизни, профессиональной работе, общественной активности и т. д. и т. п.

Общая теория связи относится к числу фундаментальных дисциплин подготовки специалистов различного уровня: бакалавров, специалистов, магистров, владеющих современными методами анализа и синтеза систем и устройств связи различного назначения. Она имеет цель сформировать знания основ теории кодирования, методов передачи, хранения, распределения и приема дискретных и непрерывных сообщений, цифровых методов передачи сообщений, принципов построения многоканальных систем передачи и методов повышения эффективности систем электросвязи, а также умений

использовать методы анализа систем электрической связи для количественной оценки их эффективности и помехоустойчивости.

Предметом изучения дисциплины являются закономерности процессов преобразования и передачи сообщений в системах связи. Кроме того, показана всеобщность действующих законов на примерах «живой природы», в которой также происходят вышеназванные процессы, но с определенными особенностями, характерными для типа «переносчика» сообщений, когда в основе лежат не преобразования с электрическими, электромагнитными сигналами, а преобразования в биохимической области.

Отталкиваясь от интуитивно понятных общих принципов и определений, в учебнике приводится описание различных источников сообщений (сигналов), несущих информацию о тех или иных процессах, объектах, явлениях и проч. Прослеживается весь «путь» прохождения сообщений (сигналов) от источника к получателю со всеми особенностями их преобразований, согласований с используемой средой передачи и восстановления.

Знания и умения по дисциплине являются составной частью общепрофессиональной подготовки к самостоятельной инженерно-эксплуатационной деятельности, а так же в сфере разработки новых систем связи.

Дисциплина базируется на предшествующем изучении физики, высшей математики, теории вероятности и математической статистики, теории электрических цепей. В свою очередь «Общая теория связи» является базовой для следующих дисциплин: сети связи и системы коммутации; многоканальные телекоммуникационные системы; телекоммуникационные оптические системы и сети; системы и устройства радиосвязи; системы и устройства спутниковой и радиорелейной связи; системы и устройства подвижной радиосвязи; интеллектуальные сети и системы связи и др.

Студенты, освоившие программу дисциплины «Общая теория связи», должны обладать следующими компетенциями:

- способностью понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны;
- способностью владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки и передачи информации;
- готовностью использовать современные достижения науки и передовые инфокоммуникационные технологии, методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в научно-исследовательской работе в области инфокоммуникационных технологий и систем связи.

Основы современной общей теории связи были заложены в фундаментальных работах В.А. Котельникова по теории потенциальной помехоустойчивости (1947 г.) и К. Шеннона по теории информации (1948 г.). Отдельные вопросы теории связи рассматривались в более ранних работах Х. Найквиста (1928 г.) и В.А. Котельникова (1933 г.), в которых сформулирована и доказана теорема отсчетов, в работе Р. Хартли (1928 г.), где была введена логарифмическая мера количества информации. В создании и развитии

статистической теории связи большую роль сыграли работы А.Я. Хинчина (1938 г.) по корреляционной теории стационарных случайных процессов, А.Н. Колмогорова (1941 г.) и Н. Винера (1947 г.) по интерполированию и экстраполированию стационарных случайных последовательностей, А. Вальда (1950 г.) по теории статистических решений. Дальнейшее развитие теория получила в работах В.И. Сифорова, А.А. Харкевича, Л.М. Финка, Б.Р. Левина, Р.Л. Добрушина, Д.Д. Кловского, Д. Миддлтона, Р. Райса, Р. Галлагера, К. Хелстром, А. Файнштейна, Р. Фано и многих других отечественных и зарубежных ученых.

Современная теория связи позволяет достаточно полно оценить различные системы связи по многим параметрам, и в частности по их помехоустойчивости и эффективности, и тем самым определить, какие из них являются наиболее перспективными. При этом достаточно четко указываются не только возможности совершенствования существующих систем связи, но и пути создания новых, более совершенных систем.

В настоящее время при современных достижениях микро- и наноэлектроники и возможностях программной реализации сложных методов обработки сигналов в реальном времени речь идет о создании систем, в которых достигаются показатели эффективности, близкие к предельно возможным. Оказывается, что наиболее совершенные системы связи должны быть интеллектуальными системами, обладающими возможностями саморегулирования и адаптации в зависимости от изменяющейся ситуации, зависящей от среды передачи, действующих мешающих факторов (помех, взаимного влияния), требований к качеству передачи сообщений (скорость передачи, задержка, помехоустойчивость, информационная защищенность) и проч.

Однако не следует думать, что во всех случаях необходимо стремиться к созданию сложных систем, отбрасывая простые системы, как менее совершенные. Разработка наиболее совершенных систем передачи информации всегда должна базироваться на технико-экономическом расчете. Сложность систем не должна превосходить определенного экономически обоснованного уровня. По этой причине не следует чрезмерно усложнять системы в погоне за их максимальным совершенством. В ряде случаев более простые системы могут иметь необходимую (требуемую) степень совершенства, а экономически быть более целесообразными и в силу этого иметь большее практическое значение.

Особый интерес представляют здесь решения, которые реализовала Природа в построении своих «систем связи», что, надо отметить, во многих случаях остается на сегодняшний день не до конца понятным и объяснимым.

Конечно, с самого начала в учебнике «Общая теория связи» нам придется договориться о терминах и об определенных ограничениях при их использовании, что, как будет показано ниже, имеет существенное значение для построения общей теории связи. Зачастую легко воспринимаемые в обиходе понятия имеют глубокий философский смысл, и их точное определение весьма затруднено. Однако для их использования в теоретических

построениях нам придется формально определить их и установить им определенную количественную меру.

Следует отметить, что современные представления об общей теории связи начали складываться за последние годы, базируясь на фундаментальных работах в области физики, математики, биологии, медицины и даже экономики, когда стала очевидной проблема эффективности телекоммуникационных систем. И это тенденция современного развития науки, когда после этапа «разделения» наступает период «интеграции» знаний.

В теории связи также можно выделить несколько этапов и отдельных направлений, когда развитие теории и практики шли, как тогда казалось отдельно, не пересекаясь. Однако позднее стали ясны общие принципы, позволившие находить более эффективные решения и проверять их совершенство, как бы с разных углов зрения. В этой связи структура учебника представлена в четырех частях.

*Первая часть* посвящена основам теории сигналов и каналов связи (главы 1–5); *во второй части* даются основы теории информации и кодирования (главы 6–10); *третья часть* посвящена основам теории оптимального приема дискретных и аналоговых сообщений (главы 11–15); *четвертая часть* (главы 16–20) содержит приложения общей теории связи к вопросам практического применения при построении различных технических систем и сетей связи. При этом, как уже отмечалось, приводятся также примеры того, как это реализовано Природой в биологических системах.

Прежде чем мы перейдем к изложению объявленных выше вопросов, необходимо обсудить, а что вообще реализуют системы связи. Кажется, что ответ прост. Системы связи обеспечивают передачу информации от одного пользователя (абонента) к другому или, уточняя, от источника информации к получателю. Однако если задать вопрос о том, а что такое *информация*, то сразу возникают затруднения, поскольку данное понятие, зачастую, оказывается синонимично таким понятиям, как сообщения или сигналы. Во многих случаях это допустимо, но при построении общей теории связи такое «свободное» толкование названных понятий приводит к серьезным ошибкам, что недопустимо.

Понятие *информация*, так же как и понятия времени, пространства, массы тела и проч., вполне естественно воспринимаются на интуитивном уровне. Однако при попытке дать им точное определение возникает множество трудностей, неоднозначности понимания, сложности формализации и т. д. Поэтому условимся *информацией называть объективно существующее неотъемлемое свойство объектов, процессов, явлений, отражающее их особенности и разнообразие в различных метрических или топологических пространствах*. Отметим, что *информация*, так же как и время, скорее всего, имеет не материальный характер, в рамках наших представлений об окружающем нас материальном мире. *Информация* отображается в форме (в виде) *сообщений*, имеющих ту или иную материальную структуру.

*Сообщения* преобразуются в *сигналы*, которые непосредственно передаются по системе связи. При этом на различных этапах доставки сигналов

к получателю одни виды сигналов могут многократно преобразовываться в другие виды сигналов, что обеспечивает необходимые согласования с различными элементами системы связи.

В результате формируется цепочка: *Информация* → *Сообщение* → *Сигнал*. А затем наоборот: *Сигнал* → *Сообщение* → *Информация*.

Рассмотрим пример.

Некто, выиграв огромный денежный приз в лотерею, решил сообщить об этом окружающим. Данную информацию он отобразил в виде текстового сообщения в письме, которое он отправил в налоговую инспекцию, а также в виде речевого сообщения, обратившись сначала к находящемуся рядом другу, а затем по телефону к своей знакомой. При этом речевое сообщение при передаче по телефону трансформировалось в электрический сигнал. Помимо этого наш Некто, воспользовавшись одной из социальных сетей, сообщил о своем выигрыше всем, кто мог воспринять это сообщение. Несложно проследить обратные цепочки. Однако реакция на полученную информацию у различных получателей будет совершенно разная. Наша фантазия легко «достроит» возможное развитие событий. И при этом мы убеждаемся сколь разнообразно и непросто описание происходящего. Казалось бы одна и та же информация, но сколь различны результаты ее восприятия разными получателями и последствия этого. А если добавить сюда еще возможные ошибки и прочие влияющие факторы, то станет понятна сложность систем связи, объединяющих сегодня миллиарды людей и триллионы разнообразных источников и получателей сообщений в виде различных датчиков, приборов и компьютеров.

Конечно, современные телекоммуникации не могут только замыкаться внутри страны. Сегодня связь — это глобальное явление, преодолевающее границы и расстояния, стирающее различие между культурами, что, как это часто бывает, становится «другой стороной медали» и может представлять определенные опасности и угрозы для сохранения культурных и национальных традиций и культур. Поэтому не случайно, что в настоящее время и в перспективе одной из важнейших проблем становится проблема информационной безопасности во всем многообразии ее проявления, не только на техническом и технологическом уровнях, но также на этическом и культурном уровнях.

Отметим также, что различные сообщения «предъявляют» различные требования к системам связи, которые характеризуются определенными количественными характеристиками, такими как: скорость передачи сигналов, полоса пропускания каналов, вероятность ошибки, энергетические затраты, задержка в системе связи, время доставки сообщений, надежность, экономичность и т. д. и т. п. При этом следует помнить о потенциально достижимых границах выше названных показателей, накладывающих обоснованные ограничения на системы связи, и критически относиться к появляющимся иногда рекламным заявлениям, в которых толи в силу недостаточной осведомленности и образованности, толи в силу нечестного навязывания рекламируемых изделий, такого рода ограничения игнорируются.

Учебник «Общая теория связи» соответствует современным представлениям в этой области и может быть успешно использован для преподавания соответствующей дисциплины по направлениям: «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», «Радиотехника», «Прикладная математика». Помимо этого учебник будет весьма полезен и для других направлений в сферах информационных технологий и радиоэлектроники. Основанием для этого является глубокая интеграция современных информационных систем, электроники и связи.

Система образования в Российской Федерации в настоящее время является многоуровневой: бакалавриат, магистратура и аспирантура, что требует создания адекватного методического обеспечения. *Общая теория связи* — это область знаний, необходимая на всех уровнях образования, которую следует представлять целостной и взаимоувязанной во всех ее проявлениях, хотя и с разной степенью детализации и строгостью изложения доказательств и обоснования предлагаемых решений для различных уровней образования. Исходя из этого, данный учебник написан и с подробным описанием физической сущности рассматриваемых процессов, и с должной иллюстративностью, и с необходимой детализацией и математической строгостью изложения материала, что позволяет его использовать для преподавания на всех уровнях образования.

При этом естественно для бакалавриата следует опускать сложные математические конструкции, сосредотачиваясь на физической сути процессов, их иллюстрациях и приложениях. Тогда как для магистрантов и, в особенности, для аспирантов будет очень полезным математически строгое и последовательное изложение материала. Полагаем, что такой подход является конструктивным и более эффективным, по сравнению с тем, как если бы для каждого уровня образования в отдельности создавались учебники, отражающие уже не общую теорию связи, а только ее части, в результате чего могло бы быть утеряно общее понимание фундаментальных законов столь важной общепрофессиональной дисциплины.

Учебник написан в соответствии с программой курса «Общая теория связи» и с учетом опыта его преподавания в МТУСИ.

Авторы выражают огромную благодарность и признательность академику РАН, доктору физ.-мат. наук, профессору Сигову Александру Сергеевичу; доктору техн. наук, заведующему кафедрой информационно-телекоммуникационных систем и технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета, профессору Жилиякову Евгению Георгиевичу, заведующему кафедрой теоретических основ радиотехники и связи ПГУТИ, доктору техн. наук, доценту Горячкину Олегу Валерьевичу, доктору техн. наук, профессору кафедры «Общая теория связи» МТУСИ Волчкову Валерию Павловичу за проделанную ими работу по рецензированию данного учебника, что позволило улучшить его содержание.

Авторы также будут признательны всем, кто, заметив возможные неточности и опечатки в учебнике, сообщат нам об этом: tes\_mtuci@mail.ru.