

## Предисловие

Последние годы характеризуются бурным развитием средств радиосвязи, возрождением интереса к радиотехнологиям. Стремление к глобализации и персонализации, желание потребителей иметь связь в любом месте, в любое время и с любым человеком на планете вызвали появление сотовой радиосвязи с подвижными объектами, а совершенствование и удешевление схемотехники сделали экономически выгодным применение радиодоступа или, как сейчас говорят, решение проблемы «последней мили» на основе радиотехнологий.

Существенный скачок отмечается и в развитии таких традиционных радиотехнологий, как телевидение, радиовещание, радиорелейная связь. Так, например, разработаны принципы телевидения высокой четкости (ТВЧ), информационного телевидения и др.

Прогресс в области радиотехнологий достаточно широко освещается в литературе – в специальных журналах появляются статьи, издаются монографии. В то же время назрела необходимость в издании, которое было бы полезно широкому кругу читателей – от учащегося колледжа или студента вуза до руководителя предприятия связи.

Перед Вами второй том (четвертое издание) трехтомного учебного пособия «Телекоммуникационные системы и сети». Если в первом томе рассмотрены теоретические и практические вопросы так называемой проводной связи, то второй том посвящен проблемам беспроводной связи.

Следует заметить, что в настоящее время достаточно трудно выделить области знаний, которые были бы необходимы для практической деятельности только специалистам проводной или же, наоборот, беспроводной связи. Особенно это относится к теоретическим вопросам. В этой связи тем, кто приступил к изучению второго тома, полезно познакомиться с содержанием первой части первого тома, где рассматриваются теоретические основы электросвязи. Среди них – спектры сигналов, виды модуляции, принципы многоканальной передачи, методы защиты от ошибок и многие другие вопросы, рассмотрение которых будет полезно для более успешного освоения материала книги.

А надо ли знать будущим специалистам в области радиосвязи, что такое современные протоколы передачи данных или что такое интеллектуальные сети и цифровые сети интегрального обслуживания (вопросы, изложенные в первом томе)? На эти вопросы не может быть другого ответа, кроме «Да»! Недаром в государственном образовательном стандарте для студентов, обучающихся по направлению «Телекоммуникации», введен курс «Основы построения телекоммуникационных систем и сетей».

Авторы пособия приложили немало усилий, отбирая материал для книги. Они постарались сделать книгу не только доходчивой для учащихся, но и максимально полезной для специалистов электросвязи, включив в пособие специальные разделы, детализирующие основные положения книги. Сюда, в первую очередь, относятся материалы по построению и проектированию радиорелейных линий связи (гл. 13), некоторые разделы 14 главы. Разумеется, по указанию преподавателя студенты могут опустить этот материал.

Прошло несколько лет после выхода в свет третьего (стереотипного) издания второго тома. Книга разошлась и возникла необходимость в ее переиздании с включением в нее материалов, базирующихся на последних достижениях в области радиосвязи, телевидения, спутниковой и радиорелейной связи. Если в предыдущих изданиях в учебном пособии содержался материал по сотовой связи и вопросам беспроводного доступа, то в четвертом издании этот материал был исключен, что в большей степени отвечает заголовку пособия (радиосвязь, радиовещание, телевидение). Кроме того авторы исходили из того, что сегодня имеется множество хороших учебников и учебных пособий по этой тематике. Это позволило сделать книгу более компактной. В отличие от прошлых изданий в данном издании более широко освещены вопросы радиорелейной и спутниковой связи. Содержание учебного пособия соответствует требованиям государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования третьего поколения по изучению дисциплин профессионального цикла следующих направлений подготовки:

#### 11.03.01 – «Радиотехника»

Профили:

- «Аудиовизуальная техника»;
- «Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов».

#### 11.03.02 – «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Профили:

- «Цифровое телерадиовещание»;
- «Системы мобильной связи»;

- «Системы радиосвязи и радиодоступа».

09.03.02 – «Информационные системы и технологии».

Профиль: «Информационные технологии в медиаиндустрии».

Кроме того, учебное пособие может быть полезным студентам, обучающимся по направлениям «Экономика» и «Менеджмент».

В подготовке пособия кроме лиц, указанных на титульном листе, привлекались д.т.н., профессор СПбГУТ Ковалгин Ю. А. (глава 6) и д.т.н. Величко В. В. (раздел 13.7).

В настоящее время ведется переработка третьего тома трехтомника «Телекоммуникационные системы и сети», в котором предполагается дать современный материал по построению сетей следующего поколения, включая описание так называемых программно-конфигурируемых сетей, которые в англоязычной литературе называются сетями SDN (Software-defined networks). Так же предполагается в новой редакции 3-го тома посвятить отдельную главу вопросам надежности и безопасности в мультисервисных телекоммуникационных сетях.

*Профессор В.П. Шувалов*

## Введение

Второй том учебного пособия посвящен вопросам построения телекоммуникационных сетей и систем, использующих для приема и передачи информации средства радиосвязи.

Книга состоит из трех частей:

1. Радиосвязь и радиовещание (гл. 1-6).
2. Телевидение. Системы цифрового телевизионного вещания (гл. 7-12).
3. Радиорелейная и спутниковая связь (гл. 13-14).

В современном мировом информационном пространстве эфирное звуковое радиовещание продолжает оставаться одним из важнейших глобальных средств массовых коммуникаций.

Оценивая перспективы развития эфирного звукового радиовещания и обеспечения информационной безопасности страны, необходимо сделать следующие выводы:

– для большинства населения нашей страны наземное эфирное радиовещание продолжает оставаться основным общедоступным источником приема государственных радиопрограмм;

– мощное радиовещание является важным ресурсом информационного обеспечения населения, прежде всего сельского, на труднодоступных и удаленных территориях РФ, в которых отсутствует вещание в ОВЧ-диапазонах;

– для нашей страны, обладающей большими территориями, для иного назначения в особый период имеет большое значение развитие информационных технологий и обеспечение информационной безопасности страны;

– в настоящее время альтернативы мощному радиовещанию в целях обеспечения информационной независимости не существует;

– внедрение на сетях мощного радиовещания цифрового стандарта DRM и создание современных программно-коммуникационных устройств для приема вещательных сигналов открывает новый этап использования ДВ-, СВ- и КВ-диапазонов.

Принципиально важным условием модернизации отрасли является возможность перевода в диапазонах ДВ, СВ и КВ передатчиков радиовещания после модернизации на цифровой стандарт.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 марта 2010 г. № 445-р принято решение о внедрении в Российской Федерации системы цифрового радиовещания DRM (Digital Radio Mondiale).

К основным преимуществам и положительным сторонам данного стандарта относятся:

1. Высокое качество звучания транслируемых радиопрограмм по сравнению с аналоговым.

2. Использование радиоканалов, занимающих полосы, не нарушающие существующее частотное планирование.

3. Экономический фактор, обеспечивающий сокращение расходов на эксплуатацию цифровых передатчиков по сравнению с аналоговыми на 25...30%. Это обусловлено значительным сокращением потребляемой электроэнергии при сохранении существующих площадей зон обслуживания передатчиков.

4. Большие возможности для создания современной высокоэффективной системы оповещения населения о чрезвычайных ситуациях (ЧС) и в особый период с адресной передачей дополнительной информации.

Проблемам радиосвязи и радиовещания посвящены гл. 1-6. Вопросы распространения радиоволн, необходимые для понимания сути книги, достаточно подробно изложены в первой главе. Здесь же представлены общие принципы организации радиосвязи и дано описание антенно-фидерных устройств. Во второй главе дано подробное описание принципов построения передающих и приемных устройств радиосвязи и вещания. Системы и сети звукового вещания описаны в гл. 3, а методы обработки звуковых сигналов – в гл. 4. Принципам проводного вещания и вопросам оповещения посвящена гл. 5. Детальной проработке подверглась гл. 6 (спутниковое и цифровое радиовещание).

В разделе 6.1 рассмотрены вопросы радиовещания в формате «Wegener/Panda-1», позволяющем обеспечить передачу стереозвука. Этот формат используется в спутниковых системах «Intelsat» и «Entelsat» и ряде других. В разделе 6.2 представлено описание аналого-цифровой системы спутникового радиовещания формата ADR, который пользуется популярностью у слушателей и рекламодателей в Европе. Передача звуковых сигналов в форматах C-MAC и D2-MPC рассмотрена в разделе 6.3. В главе также представлены системы DSR цифрового спутникового радиовещания, DAB (Digital Audio Broadcasting) и DRM. DRM позволяет получить качество звукового сигнала близкое или такое же как в УКВ диапазоне. Плюсом цифрового стандарта DRM является возможность транслировать программы в стереорежиме, передавать различную дополнительную информацию, передачу сообщений ГО и МЧС в тех полосах, которые выделены для AM вещания.

К одной из самых разветвленных сетей РФ относится сеть телевизионного вещания (ТВ). Эта сеть является одной из крупнейших в мире. По абонентской базе она занимает первое место в Европе. В телевидении, как и в радиовещании, наблюдается переход на цифровые методы обработки, передачи и консервации ТВ сигналов, что дает, по сравнению с аналоговыми, следующие преимущества:

1. Передача ТВ сигнала в двоичной форме по линии связи с помехами позволяет значительно увеличить помехоустойчивость передачи.

2. Передача ТВ сигнала в двоичной форме по многозвенной линии связи позволяет производить многократную регенерацию и скремблирование цифрового сигнала в промежуточных пунктах, осуществлять цифровую коррекцию искажений и подавление флуктуационных и периодических помех в промежуточных пунктах и таким образом предотвращает накопление помех вдоль всей линии. Поэтому качество изображения в цифровой ТВ системе практически полностью определяется качеством сигнала, созданного на ТВ центре, и почти не зависит от протяженности линий связи. Другими словами, цифровая ТВ система обеспечивает прозрачную передачу видеосигналов. В данном случае под прозрачностью понимается неизменность сигналов источника, когда сохраняются первоначальное качество видеоматериала и его способность к дальнейшей обработке.

3. Цифровые системы открывают широкие возможности обработки ТВ сигнала в цифровой форме для устранения в нем статистической и физиологической избыточности перед передачей по каналу связи, т.е. обеспечивают высокую степень сжатия видеоинформации.

4. Допускается более широкая унификация аппаратуры ТВ и других стволов линий связи с целью создания однотипных коммутирующих, корректирующих и других устройств.

5. Обеспечиваются гибкость передачи, позволяющая плавно изменять скорость передачи цифровых сигналов в канале связи при соответствующем изменении качества декодированного изображения, адаптируемость к требованиям конкретного потребителя.

6. Сравнительно легко реализуются операции по уплотнению ТВ канала дополнительной информацией. Упрощается аппаратура для передачи одновременно с видеосигналом сигналов звукового сопровождения, звукового вещания, контрольных частот, сигналов точного времени, сигналов телеигр, телегазет и ряда других видов информации. Таким образом, обеспечивается возможность введения новых служб вещания, развлечений, образования, бытового обслуживания.

7. Возможность регенерации цифрового сигнала позволяет без потери качества широко консервировать ТВ программы, осуществлять их тиражирование. Хранение информации в двоичном коде может быть неограниченно долгим и допускает многократные обращения к записям. В случае необходимости хранящаяся информация легко регенерируется, что особенно важно для создания фондовых и архивных материалов. Интеграция локальной памяти домашнего компьютерного комплекса (магнитные диски, записываемые оптические диски) в систему цифрового телевидения означает возможность автоматической записи программ, предназначенных для конкретного зрителя.

8. Полное проникновение цифровой техники в ТВ тракт от камеры до монтажных аппаратных удешевляет производство ТВ программ. Цифровая техника предлагает более эффективную и менее дорогую автоматизацию ТВ вещания.

В целом переход ТВ в цифровую эру вызвало [2]:

- стремительное развитие альтернативных средств доставки контента, таких как ОТТ (Over the Top), когда в качестве телевизора используется экран персонального компьютера;

- появление концепции «второго устройства», то есть одновременное пользование телевизором и персональным компьютером. При этом «второе устройство» используется для того, чтобы найти дополнительную информацию, имеющую отношение к программе, получить рекламируемую услугу и т.д.;

- появление концепции «красной кнопки» – интерактивного информационного телевидения на базе различных технологий. Суть идеи состоит в том, что во время просмотра телевизионной программы можно нажать красную кнопку пульта дистанционного управления и получить заранее подготовленную телекомпанией контекстно-зависимую информацию. Например, во время просмотра «Непутевых заметок» посмотреть предложения туристических фирм и т.п.;

- предоставление телематических услуг при помощи телевизора (доступ в Интернет, Электронная почта, просмотр Web-страниц и т.п.);

- появление дополнительных ресурсов для эфирного распространения телепередач на базе технологий цифрового телевидения стандартов DVB-T и DVB-T2.

Использование всех вышеперечисленных новшеств связано с цифровым телевидением:

- появление мобильного телевидения на базе профиля DVB-T2 Lite, а также стандарта консорциума 3GPP. Мобильное телевидение – это дополнительное средство доставки телепрограмм на носимые устройства;

- появление новых форматов изображений и звука: HDTV, 3D – телевидение, перспективное телевидение сверхвысокой четкости UHD TV (Ultra High Definition Television), новый стандарт компрессии HEVC (High Efficiency Video Coding) и так далее.

Следует заметить, что главы второй части (Телевидение. Системы цифрового телевизионного вещания) подверглись тщательной переработке в свете упомянутых выше особенностей развития телевизионной отрасли. Здесь даны физические основы телевидения (гл. 7); представлены основные принципы функционирования телевизионных систем (гл. 8); описана передача сигналов цифрового телевидения по эфирным каналам связи (гл. 9); детально разобраны конструктивные особенности приемопередающей аппаратуры системы цифрового наземного телевизионного вещания DVB-T/T2 (гл. 10); особенностям

формирования наземной сети телевизионного вещания посвящена гл. 11; цифровое телевизионное вещание по спутниковым, кабельным и интернет-сетям представлено в гл. 12. Детальное и доходчивое изложение вопросов построения телевизионных систем и сетей с учетом современного состояния отрасли позволяет рассматривать материал гл. 7-12 как отдельное пособие, которое можно использовать для первоначального самостоятельного изучения курса «Телевидение» без обращения к первым гл. (1-6) второго тома.

Немалую роль в обеспечении населения РФ услугами телерадиовещания должны сыграть радиорелейная, а также спутниковая связь и вещание (гл. 13 и 14).

В среде специалистов идет постоянная дискуссия о месте радиорелейных линий связи в отрасли. Часто звучит мнение о том, что «рост трафика и увеличение нагрузки на транспортную сеть ведут к постепенному вытеснению радиорелейного оборудования волоконно-оптическими линиями связи» [3]. Однако ожидать, что в ближайшие десятилетия ВОЛС вытеснят РРЛ, не имеет смысла. Да, будет некое перераспределение, ВОЛС займут доминирующее положение в городах. Но абсолютное количество РРЛ уменьшаться не будет, скорее, наоборот. Более того, в ряде случаев РРЛ могут очень качественно дополнять ВОЛС в качестве резерва. Поскольку они не подвержены длительным простоям, вызванным, например, обрывом кабеля, то их использование в качестве резервного канала является разумным решением.

Новый скачок развитию РРЛ дает цифровое ТВ, поскольку для организации вещания DVB-T, особенно в одночастотном режиме, такие линии могут оказаться идеальным решением по качеству связи, стоимости и скорости развертывания [3].

Другим важным драйвером совершенствования РРЛ является развитие мобильных сетей на базе LTE. Они потребуют гораздо больших скоростей передачи, что сделает большую часть пролетов негодной для использования. Основным требованием к РРЛ будет качественное Ethernet-функционирование, включающее в себя механизмы QoS, Ethernet OAM (Operations, Administration and Maintenance), CFM (Connectivity Fault Management). Также следует отметить интеграцию в радиорелейную систему новейших методов помехоустойчивого кодирования, таких как LDPC, для улучшения бюджета радиоканала на 3,5...4 дБ по сравнению с традиционными системами.

Важнейшим элементом мирового рынка телекоммуникаций является отрасль спутниковой связи и вещания. Динамика, структура и тенденции развития этой сферы деятельности зависят от экономического состояния мировой экономики в целом, экономического состояния отдельных регионов и ряда других факторов. Не далее, чем 10 лет назад существовали опасения, что наземные волоконно-оптические и беспроводные технологии вытеснят спутниковую связь. Однако спутнико-



вая отрасль устояла благодаря разработке, внедрению и развитию новых технологий, которые позволили внедрить новые услуги (спутниковое цифровое телевизионное и звуковое вещание, телевидение высокого разрешения, спутниковый широкополосный доступ и т.п.) и существенно увеличивать спрос на спутниковые емкости. Сегодня все операторы спутниковой связи внедряют вместо стандартной телефонии перспективные видео и мультимедийные виды сервисов [4], [5].

Отрасль спутниковой связи и вещания включает несколько типов деятельности, выполняющих различные роли и функции в процессе предоставления услуг конечным пользователям. Традиционно к основным типам деятельности относят:

- разработку и производство космических аппаратов (КА) связи и вещания, выполняемую космическими корпорациями;
- пусковые услуги, предоставляемые компаниями, организующими запуски ракет-носителей на полигонах запуска;
- предоставление телекоммуникационных услуг конечным пользователям, выполняемое провайдерами, спутниковыми операторами, дилерами и пр.;
- производство и продажу наземного приемо-передающего оборудования, осуществляемую производителями оборудования.

Спутниковая связь и вещание и в период мирового экономического кризиса остается коммерчески выгодным видом космической деятельности. За истекшие годы XXI в. отрасль космической связи и вещания развивалась динамично и поступательно. Об этом убедительно свидетельствуют оценки объема и структуры рынка, полученные разными исследовательскими компаниями (*Euroconsult, Frost&Sullivan, Northern Sky Research u Satellite Industry Association*). Согласно исследованиям компании *SIA* (*State of the Satellite Industry report, may 2013*) доходы от услуг спутниковой связи и доходы всей отрасли за 2001-2013 гг. выросли более чем в 3 раза [7].

Динамику развития отрасли подтверждают и данные о запусках геостационарных коммерческих спутников связи и вещания в период с 2001 г. по 2013 г. За этот период геостационарная орбита (ГСО) пополнилась 245 коммерческими спутниками различного назначения (фиксированной, подвижной и радиовещательной спутниковой службы), причем более чем на 150 спутниках была в той или иной мере реализована функция радиовещательной спутниковой службы (непосредственное телевизионное и звуковое вещание). Если в 90-е гг. XX в. средняя годовая норма запуска составляла около 30 спутников в год, то в первые пять лет XXI в. средняя годовая норма запуска упала до 17 спутников в год (без учета спутников, потерянных в аварийных запусках). В последующие пять лет она поднялась до 20 спутников в год. За три года второго десятилетия XXI в. средняя годовая норма запуска составила 20 спутников.

Объем аудитории радио в России остается значительным. В 2014 году в среднем раз в сутки к радио обращались почти 64 % населения, раз в неделю – почти 90 %. По данным TNS [6] среднесуточное время радиослушания сопоставимо со среднесуточным временем телевизионных просмотров и составляет 4 часа 14 минут.

В интересах обеспечения государственного управления и развития экономики РФ Россвязью разработана Концепция Целевой программы по развитию орбитальной группировки спутников связи и вещания гражданского назначения на период 2016-2025 гг.

Реализация указанной целевой программы позволит достичь следующих результатов:

- удовлетворение потребностей в услугах фиксированной спутниковой связи федеральных и региональных государственных органов, силовых министерств и ведомств на 100 %;
- обеспечение получения информации о чрезвычайных ситуациях для населения РФ средствами спутниковых технологий на 100 %;
- обеспечение получения услуг широкополосного доступа, телефонии, радио и телевидения средствами спутниковых технологий для населения РФ на 100%;
- охват всей территории РФ, в том числе северных районов страны, включая Арктический регион, связью и вещанием на 100 %.

## Список литературы

1. **Радиовещание в России:** состояние, тенденции и перспективы развития. По материалам доклада Федерального Агентства по печати и массовым коммуникациям «Радиовещание в России в 2012 г. Состояние, тенденции и перспективы развития. Москва, 2013 г. Электронный ресурс: federal book.ru>...SVAYZ...Radioveshanie v rossii.pdf.
2. **Серов А.** Перспективы развития телевизионных технологий. Электронный ресурс: mediavision-mag.ru/uploads/01%20 2013/28\_31%201%20 2013.pdf.
3. **Радиорелейные линии** связи во второй декаде XXI в. Электронный ресурс: <http://www.qtech.ru/articles/2.html>.
4. **Крылов А.** Спутниковые системы связи и вещания. Состояние и перспективы развития. Электронный ресурс: [mosspaceclub.ru/3 part/krilov\\_2.pdf](http://mosspaceclub.ru/3 part/krilov_2.pdf).
5. **Плахов И.** Тенденции развития спутниковой связи. Технологии и средства связи, № , 2014. – С. 58-59. <http://www.rtrs.ru/news/read/1266/>
7. Производство и эксплуатация спутников связи и вещания. [http://vestnik-qlonass.ru/stati/proizvodstvo\\_i\\_ekspluatatsiya\\_sputnikov\\_svyazi\\_i\\_veshchaniya/](http://vestnik-qlonass.ru/stati/proizvodstvo_i_ekspluatatsiya_sputnikov_svyazi_i_veshchaniya/)