

ЭВОЛЮЦИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СИСТЕМ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ СВЯЗИ

Изучается история становления и развития отечественной радиорелейной связи в послевоенный период. Особое внимание уделяется радиорелейной связи прямой видимости, а также тропосферной (загоризонтной) радиорелейной связи. Рассматриваются основные этапы эволюции техники станционных сооружений и радиорелейных линий, а также место и роль радиорелейной связи в системе радиосвязи страны.

Ключевые слова: техника; радиорелейные линии; многоканальная связь.

Радиорелейная связь представляет собой разновидность радиосвязи, осуществляемой посредством цепочки приёмопередающих радиостанций, как правило, отстоящих друг от друга на расстояние прямой видимости их антенн. Радиорелейную связь (РР) использовали для многоканальной передачи телефонных, телеграфных и телевизионных сигналов на дециметровых и сантиметровых волнах. В этом диапазоне волн была возможна одновременная работа большого числа радиопередатчиков с шириной спектра сигналов до нескольких десятков МГц. Кроме того, в указанном диапазоне наблюдался низкий уровень атмосферных и промышленных помех радиоприёму, а также применялись остронаправленные антенны [1. С. 383; 2. С. 5–6].

По своим техническим возможностям, количеству передаваемых сообщений, дальности и устойчивости действия радиорелейные линии (РРЛ) не уступали даже коаксиальным кабельным линиям связи. В условиях больших расстояний, ландшафта и рельефа нашей страны РРЛ находили широкое применение: их можно было сооружать там, где кабельные линии проложить очень трудно (в горных районах, тайге, через водные преграды, в пустынях и т.д.). Магистраль РР состояла из двух оконечных и нескольких промежуточных станций, ретранслировавших сигналы между собой. Промежуточные станции располагались обычно на расстоянии порядка 40 км друг от друга; их антенны (параболические или рупорные) монтировались на мачтах или башнях высотой 70–80 м (в зависимости от рельефа местности). Оборудование устанавливалось в специальном здании либо размещалось в самой башне. Мощность передатчиков промежуточных станций была равна всего нескольким ваттам. При этом приёмные станции обладали высокой чувствительностью и малым уровнем собственных шумов. Для увеличения количества передаваемых сообщений РРЛ имели несколько стволов (в том числе резервный ствол). Радиорелейная связь первоначально применялась для организации многоканальных линий телефонной и телевизионной связи, в которых сообщения передавались с помощью аналогового электрического сигнала. Одна из первых таких линий протяжённостью 200 км с пятью телефонными каналами появилась в США в 1935 г. Она соединяла Нью-Йорк и Филадельфию.

В 1932–1934 гг. в СССР была разработана приёмопередающая РР аппаратура, работавшая на метровых волнах, и созданы опытные линии связи. Первая отечественная система «Краб», применявшаяся на радиорелейной линии через Каспийское море, между Красноводском и Баку (1953–1954 гг.), работала в метровом

диапазоне [3. С. 46]. В те годы для РРЛ считалось наиболее целесообразным применение импульсной модуляции, техника которой была хорошо освоена в радиолокации, одновременно с временным уплотнением. Казалось, что при тогдашнем уровне развития технологий это сулит большие преимущества. Однако цикл теоретических исследований и экспериментальных разработок, проведённых в Научно-исследовательском институте радио, подтвердил складывавшееся в то время у специалистов в области радиорелейной связи мнение, что сочетание частотной модуляции с частотным уплотнением позволит создать линии, не уступающие даже наиболее совершенным коаксиальным кабельным системам.

Как оказалось, радиорелейная связь не только не уступала по технико-экономическим показателям кабельным линиям, но и имела перед ними ряд неоспоримых преимуществ. РР работала на ультракоротких волнах (УКВ), которые распространялись подобно лучам света в пределах «прямой видимости». Связь УКВ, в свою очередь, обладала высокой устойчивостью: уровень сигнала был постоянным и слабо зависел от времени года, часов суток и метеорологических условий. Единственным источником помех являлись внутренние шумы приёмника [4. С. 88]. Таким образом, первые работы по технико-экономическому анализу УКВ многоканальных РР линий связи и их сравнению с кабельными линиями были проведены в СССР ещё в предвоенные годы. В них обосновывалась целесообразность широких разработок такого рода систем и доказывалась их экономическая эффективность. Инициатива проведения технико-экономического анализа и научной разработки этого вопроса принадлежала ЦНИИС, где в 1940 г. была создана, а затем в 1944 г. восстановлена лаборатория по разработке УКВ РР систем связи. После войны работы по созданию и внедрению УКВ РР систем связи получили значительный размах. К 1945–1946 гг. была начата разработка системы УКВ РР связи на 12 телефонных каналов, в которой использовались волна длиной 20 см и импульсно-фазовая модуляция.

Вслед за этим в 1954–1956 гг. было разработано семейство радиорелейной аппаратуры «Стрела», работавшей в диапазоне 1600–2000 МГц: «Стрела П» на 12 телефонных каналов с частотной модуляцией (ЧМ) для пригородной связи; «Стрела М» – на 24 канала с ЧМ для магистральной связи дальностью до 2500 км; «Стрела Т» – система для трансляции одной телевизионной программы дальностью 300–400 км [5. С. 406]. На аппаратуре «Стрела» был построен ряд первых отече-

ственных радиорелейных линий. К середине 1950-х гг., когда большие преимущества радиорелейной связи стали очевидными, встал вопрос о разработке мощной радиорелейной системы, позволяющей передавать одновременно с телевидением сотни телефонных сообщений.

В 1957 г. такая РР система была создана – *P-60/120*. Она предназначалась для использования на внутриобластных и республиканских линиях связи, работала в диапазоне частот 1600–2000 МГц, имела два телефонных дуплексных ствола (ёмкостью 60 или 120 телефонных (ТФ) каналов каждый) и один телевизионный симплексный ствол [6. С. 25]. Принципиальные решения отдельных узлов и общее построение оборудования во многом напоминало «Стрелу», но при разработке учитывались все рекомендации Международного консультативного комитета по радиовещанию (МККР). В соответствии с ними, например, промежуточные частоты передатчика и приёмника были одинаковы и равны 70 МГц. Дальность действия телефонного ствола системы *P-60/120* при выполнении норм МККР составляла 2500 км, а телевизионного ствола – 1000 км [7. С. 11].

Все основные узлы *P-60/120* являлись универсальными и использовались для организации как телефонного, так и телевизионного стволов. Такое универсальное использование аппаратуры обеспечивалось применением в ней широкополосных частотных модуляторов и демодуляторов. Для системы *P-60/120* была разработана оригинальная перископическая система с двумя наклонными зеркалами: нижним эллиптическим и верхним плоским. В перископических системах, использовавшихся за рубежом, внизу устанавливалась параболическая антенна, направленная на верхнее зеркало. Такая конструкция оказалась совершенно непригодной для местных условий, так как при снегопадах параболическая антенна наполнялась бы снегом. В системе *P-60/120* использовалась постанционная система резервирования, в которой при выходе из строя комплекта приёмно-передающей аппаратуры на какой-либо станции этот комплект отключался от антенны и вместо него подключался резервный. Переход на резервный комплект производился автоматически, он мог быть осуществлён и дистанционно с помощью сигналов телеуправления и телесигнализации, передаваемых с главной станции на промежуточные. *P-60/120* начали устанавливать на РРЛ с 1958 г. – её разработка заложила основу для создания в последующие годы отечественной радиорелейной аппаратуры большой ёмкости. Магистральным РРЛ были выделены полосы частот в диапазонах 4 и 6 ГГц. В этих диапазонах, при одинаковых габаритных размерах антенн и прочих равных условиях, излучаемая в эфир мощность увеличивалась в 2,5–3 раза за счёт большого коэффициента усиления антенны. Это было существенно для достижения качественных показателей передаваемых сигналов.

Первой советской магистральной радиорелейной аппаратурой большой ёмкости была система *P-600* (известная также под названием «Весна»), разработанная в 1958 г. Тогда же началось и её серийное производство. Радиорелейная система связи (РРСС) *P-600* в 1960-е гг. являлась основной системой для магистральных линий союзного значения: она работала в диапазоне частот

3400–3900 МГц, имела 4 дуплексных ствола, 2 ствола «горячего резерва» и ствол служебной связи (любой из стволов мог быть как телефонным, так и телевизионным), ёмкость телефонного ствола – 600 ТФ каналов [8. С. 7]. Для уплотнения телефонного ствола использовались девять 60-канальных групп типовой аппаратуры уплотнения коаксиального кабеля К-1920. Это позволяло дополнительно организовать в одном стволе 540 ТФ каналов. В этом же стволе могли быть дополнительно организованы 48 ТФ каналов с помощью системы уплотнения К-60. Телевизионный ствол *P-600* позволял передавать программу чёрно-белого телевидения. Дальность действия системы *P-600* составляла 2500 км при выполнении норм МККР. Телевизионная программа со звуковым сопровождением могла быть выделена на любом промежуточном пункте линии и подана на автоматизированный местный ретранслятор. Это позволяло обеспечить телевизионным вещанием удалённые от местных телецентров населённые пункты.

В системе *P-600* использовались рупорно-параболические антенны с коэффициентом усиления 40 дБ, соединявшиеся с ней волноводами. Для уменьшения искажений длину волновода по возможности сокращали, поэтому *P-600* часто устанавливали в специальной кабине на вершине башни. На узловых станциях, где имелось большое количество приёмно-передающих комплектов аппаратуры и антенн, использовались железобетонные башни. Антенны и приёмно-передающая аппаратура устанавливались в верхних этажах башни, а нижние этажи использовались для устройств электропитания и жилья технического персонала [5. С. 409]. На магистральных линиях, оборудованных системой *P-600*, применялось поствольное резервирование. При повреждении на одном из рабочих стволов передаваемые по нему сигналы телефонии или телевидения автоматически переключались на вход резервного ствола. Такая замена производилась на участке линии, включавшем до 10 станций. На линиях с небольшим числом стволов обычно применялось постанционное резервирование (как в системе *P-60/120*).

С внедрением в серийное производство радиорелейных систем *P-60/120* и *P-600* («Весна») в СССР началось широкое развитие радиорелейной связи прямой видимости. На базе этих систем в течение 1958–1967 гг. была создана разветвлённая сеть РРЛ, обеспечивавшая программу Центральной студии телевидения значительную часть территории СССР. После модернизации *P-600* в 1965 г. появилась система *P-600М*, имевшая повышенную устойчивость и надёжность в эксплуатации, а в последующие годы – *P-6002М*, *P-600-2МВ*. Основные технические показатели данных систем приведены в табл. 1.

Таблица 1
Технические характеристики РРСС типа **P-600**

Параметр	P-600	P-600М	P-6002М
Диапазон частот, ГГц	3,4–3,9	3,4–3,9	3,4–3,9
Поучастковая система резервирования	2+1	2+1	2+1
Мощность передатчика, Вт	2	2	5
Коэффициент шума приёмника, дБ	14	14	14
Ёмкость ТФ ствола, каналов ТЧ	240	360	600

На базе имевшихся достижений в области радиорелейной техники и опыта конструирования аппаратуры

Р-600 в стране велась разработка многоствольных систем с числом телефонных каналов в стволе до 1800. Развиваясь на первом этапе, главным образом, как средство подачи телевизионных программ, сеть радиорелейных линий постепенно всё больше и больше использовалась для передачи сигналов многоканальной телефонии, включая все виды вторичного уплотнения (тональный телеграф, фототелеграф и т.п.), а также для передачи сигналов вещания и бинарной информации. По групповым трактам осуществлялась передача газетных полос фотоэлектрическим методом для печатания центральных газет в местных типографиях. На ответвлениях от магистралей, в сетях связи внутри областей, районов, на линиях связи, обслуживавших трубопроводы, энергосистемы, железные дороги, широко применялись *радиорелейные системы связи средней и малой ёмкости*. Протяжённость и пропускная способность таких линий были относительно невелики, поэтому их оборудование было значительно проще и дешевле РРСС магистральных линий. Широкое применение в таких системах высокочастотных транзисторов, диодов и других малогабаритных элементов повышало их надёжность и энергоэффективность, уменьшало габариты, а также стоимость строительства и эксплуатации.

Радиорелейные линии средней и малой ёмкости использовали иные диапазоны частот, чем магистральные линии. Системы средней ёмкости (60–300 ТФ каналов) обычно работали в полосах частот около 7, 8 и 11 ГГц. На этих частотах в то время нельзя было обойтись без применения СВЧ-ламп в передатчике и гетеродине приёмника, но благодаря большому усилению антенн мощность передатчика могла быть очень малой. Кроме того, в отведённом диапазоне частот можно было разместить несколько радиоканалов с шириной полосы, достаточной для систем средней ёмкости [6. С. 34]. Радиорелейные системы малой ёмкости (6–24 ТФ канала) работали на сравнительно низких частотах – около 150 и 400 МГц. Выбор этого диапазона был обусловлен возможностью создания аппаратуры целиком на полупроводниковых приборах без применения ламп и более благоприятными условиями распространения радиоволн, благодаря чему антенны могли устанавливаться на сравнительно невысоких мачтах. Преёмниками ламповых систем Р-60/120 и Р-600, представлявших собой вкуче с предшествовавшими им разработками первое поколение РР аппаратуры, стали магистральные комплексы большой ёмкости «Дружба» и «Восход». Система «Дружба» работала в полосе частот 5670–6170 МГц. Она предусматривала возможность организации до восьми дуплексных стволов связи и до двух узкополосных стволов служебной связи. Телефонные стволы системы были рассчитаны на уплотнение их 1920 ТФ каналами с помощью К-1920 [9. С. 17]. Разработанная совместно с венгерскими инженерами «Дружба» была выполнена почти полностью на полупроводниковых приборах.

Радиорелейная система «Восход» работала в полосе частот 3400–3900 МГц и предназначалась, главным образом, для обслуживания магистрали Москва – Дальний Восток. Она обеспечивала организацию восьми широкополосных рабочих стволов, из которых четыре предназначались для работы на основном маги-

стральном направлении и четыре – на ответвлениях или на пересекающихся магистралях. Все стволы были одинаково пригодны для передачи сигналов как многоканальной телефонии, так и телевидения [10. С. 63–64]. Телефонный ствол обеспечивал передачу до 1920 ТФ каналов или одну программу телевидения совместно с двумя каналами звукового сопровождения и двумя каналами вещания. Дальность действия системы составляла не менее 12,5 тыс. км [11. С. 6].

Для обеспечения высокой надёжности в системе «Восход» были предусмотрены применение разнесённого по высоте приёма с быстродействующей системой автоматического выбора и параллельная работа передатчиков. Система разнесённого приёма, весьма эффективно решая задачу борьбы с замиранием сигналов на интервалах РРЛ, одновременно позволяла автоматически резервировать приёмники станции. Параллельная работа передатчиков обеспечивала их автоматическое резервирование и удвоение выходной мощности, которая составляла 10 Вт. Вся система автоматического резервирования приёмопередающего оборудования замыкалась в пределах каждой станции, поэтому в «Восходе» не было необходимости передавать по служебным каналам какие-либо сигналы для управления работой системы резервирования (как это имело место в радиорелейных системах с поучастковой системой резервирования стволов). Таким образом, особенностью системы «Восход» являлось отсутствие специального резервного ствола, что позволяло сделать все радиостволы рабочими и, следовательно, лучше использовать отведённую для системы полосу частот.

Разработанные РРСС представляли собой второе поколение радиорелейной аппаратуры, поскольку их элементная база основывалась на полупроводниковых приборах. Вместе с тем «Дружба» и «Восход», а также разработанная несколько позднее система «Рассвет-2» не могли полностью отказаться от ламповых элементов. В период их создания уровень развития полупроводниковой техники не обеспечивал необходимой ёмкости стволов при требуемых показателях энергоэффективности. В гетеродинных трактах и выходных ступенях передатчиков указанных систем применялись лампы бегущей волны (ЛБВ), а тракт усиления промежуточной частоты «Рассвет-2» был выполнен на электронных лампах. Такие системы потребляли большое количество электроэнергии. Тем не менее наличие двух высококачественных магистральных систем связи «Восход» и «Дружба», работавших в различных диапазонах частот, способствовало решению задачи узлообразования, при котором в одном пункте могли сходиться до 6–8 магистральных РР линий. Таким образом, две параллельно работавшие системы давали возможность создания мощной РР магистрали с очень большой пропускной способностью.

В целом за период 1965–1975 гг. радиорелейная связь заняла прочное положение в системе связи страны. В эти годы в СССР было построено более 1500 радиорелейных станций, из которых 70% являлись промежуточными станциями, 18% – узловыми и 12% – оконечными. На 750 радиорелейных станциях были установлены мощные телевизионные ретрансляционные станции (РТС) или маломощные телевизионные ретрансляторы типа

ТРСА [12. С. 61]. Общий объём телефонных каналов, организованных на РРЛ прямой видимости, к тому времени составлял около 11 млн кан.-км, а их протяжённость превышала 70 тыс. км.

К середине 1970-х гг. парк отечественной радиорелейной аппаратуры пополнился новыми разработками – комплексом «Рассвет-2», предназначенным для магистральных РРЛ, и советско-венгерской системой ГТТ-8000/300 – для зонавых и внутриобластных РРЛ. Радиорелейная система «Рассвет» была рассчитана на работу в полосе частот 3400–3900 МГц. Она обеспечивала организацию восьми дуплексных стволов связи, по каждому из которых можно было передавать многоканальные телефонные сигналы либо сигналы чёрно-белого или цветного телевидения, звукового сопровождения и вещания. Радиорелейная аппаратура ГТТ-8000/300 работала в полосе частот 7900–8400 МГц. Телефонный ствол был рассчитан на передачу сигналов 300 ТФ каналов, телевизионный – на передачу сигналов чёрно-белого или цветного

телевидения и сигналов четырех каналов звукового сопровождения и радиовещания. Для местной связи была разработана и выпускалась серийно радиорелейная аппаратура «Контейнер» на шесть резервируемых телефонных каналов в одном высокочастотном стволе.

Качественно новым этапом в развитии отечественной радиорелейной связи явилась разработка в середине 1970-х гг. системы «КУРС» – комплекс унифицированных радиорелейных систем связи (подробнее см.: [12. С. 68–79]). Аппаратура «КУРС» была разработана с учётом возможности широкого применения индустриальных методов строительства радиорелейных линий. Комплекс охватывал четыре системы связи, работавшие в диапазонах 2, 4, 6 и 8 ГГц [13. С. 3]. В диапазонах 4 и 6 ГГц создавались системы для магистральных РРЛ, а в диапазонах 2 и 8 ГГц – для внутриобластных РРЛ [11. С. 6]. В табл. 2 приведены основные технические характеристики магистральных систем «КУРС-4» и «КУРС-6».

Таблица 2

Технические характеристики «КУРС-4» и «КУРС-6»

Тип аппаратуры	Полоса частот, ГГц	Число стволов	Вид информации	Число каналов ТЧ	Мощность, потребляемая, Вт
«КУРС-4»	3,4–3,9	3 + 1 или 7 + 1	ТФ и ТВ	720	145
«КУРС-6»	5,67–6,17	3 + 1 или 7 + 1	ТФ и ТВ	1320	230

Системы «КУРС-2» и «КУРС-8» предназначались для ответвлений на магистральных линиях связи и для зонавых сетей. Диапазон частот «КУРС-2» составлял 1750–2000 МГц. Обеспечивалась передача в одном высокочастотном стволе до 300 ТФ каналов или программа телевидения совместно с двумя каналами звукового сопровождения и вещания. Количество стволов ВЧ: три дуплексных и один симплексный. «КУРС-8» работала в диапазоне частот 7900–8400 МГц. В ней обеспечивалась передача в одном ВЧ стволе до 300 ТЧ каналов или программы телевидения совместно с двумя каналами звукового сопровождения и вещания. Количество ВЧ стволов – четыре или восемь дуплексных. Для внутриобластных линий связи была разработана упрощённая модификация системы «КУРС-8», получившая название «Область-1». Она работала в диапазоне 8 МГц, обеспечивая передачу в высокочастотном стволе до 300 ТФ каналов [10. С. 64–65]. Следует отметить, что несмотря на значительное увеличение энергоэффективности передатчика «КУРС», большие энергозатраты для поддержания необходимого температурного режима в аппаратных помещениях (+5 – +40°C), в целом, практически не уменьшили энергоёмкость станции. Невысокой являлась и разработка системы на отказ [14. С. 3]. Кроме того, не в полной мере внедрялись индустриальные методы строительства, а принципы эксплуатации и строительства РРЛ по сути остались теми же, что и на ранее разработанных РРСС [15. С. 2].

Перспективные разработки надёжных и энергоэффективных РР систем связывались с применением микросхем, гибридно-интегральных схем и новейших достижений в технике активной СВЧ элементной базы. Этим современным на тот момент тенденциям и требованиям удовлетворяла унифицированная РРСС третьего поколения «Электроника-Связь». Приемопередающая

аппаратура данной системы выполнялась в виде малогабаритного герметичного контейнера, который крепился непосредственно к антенне или размещался традиционно внизу у антенной опоры. Система потребляла малое количество электроэнергии и работала в весьма широком интервале температур. Последнее обстоятельство было особенно существенно для обеспечения качественной связи в малонаселённых районах страны с резко континентальным климатом. Актуальность реализации взаимосвязи элементной базы с радиорелейной системотехникой обуславливала необходимость разработки принципиально новых проектных решений и решения вопросов ремонтпригодности аппаратуры, а также перевода её на необслуживаемый режим работы.

1970-е гг. явились началом бурного развития цифровых РРСС [16. С. 26]. Первыми отечественными многопролётными системами, в которых могли быть организованы стволы и тракты для передачи потоков цифровой информации со скоростями 8,448 и 2,048 Мбит/с, являлись системы «КУРС». Если разработку цифровых РРСС в освоенных диапазонах частот для магистральных линий целесообразно было проводить на базе аналогового оборудования СВЧ и трактов поднесущей частоты (ПЧ) с применением соответствующих методов модуляции, то для зонавых и местных сетей необходимо было создавать принципиально новые цифровые системы [14. С. 4]. Существенные преимущества систем передачи с временным разделением сигналов, возможность их объединения с системой коммутации и переход к единой цифровой системе связи, использующей одни и те же методы для передачи сообщений и их коммутации, позволяли говорить о перспективности цифровых РРСС.

К 1980 г. началось серийное освоение цифровых систем «Электроника-Связь-1Ц» для зонавых сетей свя-

зи и «Радан», работавших в диапазоне 10,7–11,7 ГГц. Аппаратура систем имела малые габаритные размеры и в перспективе могла быть осуществлена её комплексная миниатюризация. Начало 1980-х гг. явилось своеобразным рубежом, временем перехода от аналоговой к цифровой радиоаппаратуре. В указанный период создавались смешанные, или гибридные, аналого-цифровые РРСС. Так, в ряде унифицированных РРСС «Электроника-Связь» предусматривалась возможность организации «универсальных» стволов, по которым могли передаваться как аналоговые сигналы, так и цифровые потоки. Последней советской разработкой для магистральной радиорелейной связи было создание комплекса РРСС «Радуга». В его состав вошли: приёмопередающее оборудование, работавшее в диапазоне 4 ГГц – «Радуга-4», в диапазоне 6 ГГц – «Радуга-6», а также оборудование резервирования «Радуга». Для «Радуги» было разработано новое поколение унифицированного оборудования «Рапира-М», включавшее оконечную аппаратуру телефонных и телевизионных стволов; модемы с частотной модуляцией (ЧМ-модемы); аппаратуру служебной связи и телеобслуживания.

Магистральная радиорелейная система «Радуга-Рапира-М» позволяла создавать магистральные РРЛ в двух диапазонах частот: 4 ГГц (в полосе частот 3 400–3 900 МГц) и 6 ГГц (в полосе частот 5 670–6 170 МГц). В каждом диапазоне была возможна организация до семи рабочих и одного резервного стволов. По каждому из рабочих стволов обеспечивалась в режиме передачи многоканальной (аналоговой) телефонии передача сигналов 1 920 каналов ТЧ и при необходимости дополнительно 48 каналов ТЧ в спектре 60–252 кГц, а также передача в одном из телефонных стволов сигналов служебной связи в спектре 0,3–52 кГц, которые были необходимы для нормальной работы РРЛ. В режиме передачи телевидения система обеспечивала трансляцию видеосигнала и сигналов 4 каналов звукового сопровождения и вещания [3. С. 50].

Радиорелейная связь прямой видимости (с расстоянием в 40 км при отсутствии ретрансляторов) не могла обеспечить связью ни Крайний Север, ни удалённые районы Сибири. Ретрансляционные станции требовали создания инфраструктуры, необходимой для обеспечения жизнедеятельности обслуживающего персонала. Экономические затраты на инфраструктуру зачастую оказывались несоизмеримыми с потребностями в области связи. Это являлось основанием для исследования иных принципов распространения радиоволн, обеспечивающих передачу больших объёмов информации на значительные расстояния. В СССР исследования тропосферного распространения радиоволн с целью создания аппаратуры связи начались в середине 1950-х гг. [17. С. 3]. Одним из авторов идеи создания *линий тропосферной (загоризонтной) связи* с расстояниями между пунктами в сотни километров стал советский ученый В.А. Смирнов. Особенность этих линий заключается в использовании эффекта рассеяния радиоволн на неоднородностях (спорадических слоях) атмосферы (подробнее см.: [18. С. 5–7]). Мощность передатчиков таких линий была примерно в тысячу раз больше, чем в РРСС прямой видимости, а применяе-

мые приёмники имели высокую чувствительность и малый уровень собственных шумов. Для повышения устойчивости и надёжности связи на тропосферных радиорелейных линиях (ТРРЛ) использовалась система двоякого приёма. Тропосферные радиорелейные линии применялись, главным образом, для связи в труднодоступных, малонаселённых районах, где было практически затруднено или экономически нецелесообразно строить РРЛ прямой видимости. Они обходились в несколько раз дешевле строительства обычных радиорелейных или проводных линий. В северных районах тропосферные линии являлись практически единственным надёжным видом связи.

В районах с большой плотностью населения и разветвлённой сетью дорог применение ТРРЛ являлось нецелесообразным, поскольку они не могли конкурировать с радиорелейными линиями прямой видимости по своей пропускной способности. Вследствие большого затухания сигнала на трассе и искажений, вызванных его многолучевой структурой, ёмкость одного ствола ТРРЛ при частотном уплотнении обычно не превышала 60–120 ТФ каналов. Кроме того, вследствие большой излучаемой мощности станции тропосферной линии создавали помехи другим радиосредствам, работавшим в том же диапазоне частот, а также оказывали вредное действие на здоровье людей, проживавших вблизи этих станций. По существовавшим медицинским нормам длительное пребывание людей в электромагнитном поле дециметровых и сантиметровых волн допускалось в том случае, если плотность потока мощности не превышала 10 мкВт/кв. см. Вблизи передающей антенны, в зоне её главного луча, плотность потока мощности обычно превышала эту норму. Поэтому станции тропосферных линий строили на расстоянии 5–10 км от населённых пунктов.

Расстояние между станциями *тропосферной радиорелейной системы (ТРРС)* составляло 200–300 км (до 600 км) при применении передатчиков мощностью от 1 до 10 кВт и антенн с площадью раскрытия 20×20 кв. м. Благодаря этому число промежуточных станций на тропосферной радиорелейной линии было в 5–6 раз меньше, чем на обычной радиорелейной линии такой же длины. Однако станции тропосферной линии были сложнее и дороже обычных [6. С. 39]. Наиболее подходящим диапазоном волн для тропосферных систем являлась полоса частот 700–1000 МГц. В отличие от обычных радиорелейных линий на всех станциях тропосферных линий содержался обслуживающий персонал. Удалённое обслуживание не применялось вследствие большого расстояния между станциями и отсутствия хороших путей сообщений в тех районах, где применялись эти линии. В подавляющем большинстве случаев тропосферные линии применялись для многоканальной телефонной и телеграфной связи, а также для передачи бинарной информации. Специфическими особенностями каналов связи ТРРЛ являлись повышенный уровень шума, быстрые изменения этого уровня во времени и повышенная нестабильность остаточного затухания. Всё это являлось следствием большого затухания сигнала на трассе и интерференции волн, переизлучённых движущимися неоднородностями тропосферы. Поэтому развитие техники тропосфер-

ной радиорелейной связи проходило в двух основных направлениях: увеличения дальности связи и её пропускной способности. Первая отечественная тропосферная станция *ТР-60/120* была построена в 1960-х гг. Впоследствии на основе системы *ТР-60/120* была развёрнута сеть тропосферных линий протяжённостью более 15 000 км, содержащая 55 промежуточных станций. Также была построена ТРПЛ между СССР и Индией длиной 700 км, которая в 1981 г. связала Москву и Дели. Попытка осуществить передачу чёрно-белого телевидения в диапазоне 700–1000 МГц успеха не имела, однако в диапазоне 5000 МГц это стало возможным.

Появление в конце 1960-х – начале 1970-х гг. средств спутниковой связи и широкое их применение начиная с 1980-х гг., а также значительное удешевление строительства РРСС прямой видимости значительно сократили область использования ТРПС. Тропосферная связь была вытеснена, главным образом, с магистральных направлений и перешла на обслуживание внутризонавых, местных сетей, а также ответвлений от магистральных линий [19. С. 6]. Тем не менее, несмотря на широкое применение спутниковых средств в сетях и системах связи и развитие проводных сетей, можно полагать, что средства тропосферной связи и в наши дни перспективны для использования в сетях как специального, так и коммерческого назначения, особенно в труднодоступной местности. По мнению специалистов, в сетях специального назначения преимуществом ТРПС перед спутниковой связью является более высокая живучесть в условиях вооружённых конфликтов или антитеррористических операций. Использование тропосферных станций возможно также при развертывании линий связи в высоких северных широтах, где применение спутниковой связи через геостационарные спутники принципиально невозможно [3. С. 52]. Таким образом, развитие отечественной радиорелейной связи с момента её

возникновения шло по двум основным направлениям: непрерывное увеличение числа каналов, передаваемых на одной несущей частоте, и освоение всё более высокочастотных диапазонов.

Занимаясь разработкой новых радиорелейных систем, связисты решали задачи создания РРСС с большой пропускной способностью, работающих как в освоенных, так и в новых, более высоких диапазонах частот. Параллельно усилия инженеров были направлены на совершенствование организации эксплуатации сети РРЛ с помощью вычислительной техники, систем управления и отображения информации о работе как отдельных РРЛ, так и сети в целом. Важнейшей задачей являлась также разработка более эффективных источников питания для РРСС, включая аккумулярованное энергии ветра и солнца.

Необходимость снижения массогабаритных показателей (с целью перехода в дальнейшем к комплексной миниатюризации), стоимости, потребления электроэнергии, а также повышения надёжности и оптимизации проектирования при выполнении условий электромагнитной совместимости приводила к тому, что конечный критерий экономичности тех или иных РРСС всегда имел сложный комплексный характер. В послевоенном СССР была создана обширная сеть аналоговых магистральных и внутризонавых радиорелейных линий, что сегодня делает экономически целесообразным использование существующих радиорелейных станций для организации цифровых трактов. В настоящее время процесс модернизации аналоговых радиорелейных линий в цифровые называют цифровизацией. К числу радиорелейных станций (РРС), цифровизация которых возможна, относятся: «Восход-М», «КУРС-4», «КУРС-6», «КУРС-4М», «ГТТ-70/4000», «ГТТ-70/8000», «Ракита-8», «Радуга-4», «Радуга-6», «Радуга-АЦ», «Комплекс» и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Большая советская энциклопедия. М. : Советская энциклопедия, 1969–1978. Т. 21.
2. Аренберг А.Г. Распространение дециметровых и сантиметровых волн. М. : Советское радио, 1957. 304 с.
3. Украинцев Ю.Д., Цветов М.А. История связи и перспективы развития телекоммуникаций : учеб. пособие. Ульяновск : УлГТУ, 2009. 128 с.
4. Резников М.Р. 50 лет советской связи. М. : Связь, 1967. 136 с.
5. Развитие связи в СССР. 1917–1967 / под общ. ред. Н.Д. Псурцева. М. : Связь, 1967. 479 с.
6. Бородич С.В. Радиорелейная связь // 70 лет радио / под ред. А.Д. Фортуненко. М. : Связь, 1965. С. 24–48.
7. Сергейчук К.Я. Развитие средств связи в 1959–1965 гг. М. : Связьиздат, 1958. 20 с.
8. Псурцев Н.Д. Пути развития радио в СССР // 70 лет радио / под ред. А.Д. Фортуненко. М. : Связь, 1965. С. 5–10.
9. Каменский Н.Н. Радиорелейная связь в СССР // Электросвязь. 1970. № 4. С. 15–19.
10. Резников М.Р. Радио и телевидение вчера, сегодня, завтра. М. : Связь, 1977. 96 с.
11. Псурцев Н.Д. Основные достижения в области радио // 80 лет радио / под ред. А.Д. Фортуненко. М. : Связь, 1975. С. 5–10.
12. Каменский Н.Н. Радиорелейная связь // 80 лет радио / под ред. А.Д. Фортуненко. М. : Связь, 1975. С. 61–79.
13. Талызин Н.В. Десятая пятилетка: связь, телевидение, радиовещание // Радио. 1976. № 3. С. 1–3.
14. Мартынов Л.М. Основные тенденции развития радиорелейных систем связи прямой видимости // Электросвязь. 1981. № 11. С. 3–5.
15. Шамшин В.А. Новый этап в планировании развития электросвязи страны // Электросвязь. 1980. № 1. С. 1–5.
16. Бородич С.В. Некоторые пути повышения эффективности радиосистем передачи // Электросвязь. 1980. № 4. С. 26–32.
17. Давыденко Ю.И. Дальняя тропосферная связь. М. : Воениздат, 1968. 212 с.
18. Немировский А.С. Тропосферные линии связи // Радио. 1976. № 5. С. 5–7.
19. Немировский А.С. Состояние и пути развития тропосферных систем магистральной и зонавой связи // Электросвязь. 1981. № 11. С. 5–8.

Статья представлена научной редакцией «История» 24 января 2013 г.