**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИОСВЯЗИ
В ВЕДОМСТВЕННОЙ СЕТИ ДЕКАМЕТРОВОЙ РАДИОСВЯЗИ
ЗА СЧЕТ СОСТАВНЫХ РАДИОЛИНИЙ С РЕТРАНСЛЯЦИЕЙ СИГНАЛОВ**

В.С. Лазоренко

Академия ФСО России, Орел, Российская Федерация

Рассмотрен вопрос повышения эффективности радиосвязи ведомственной сети декаметровой радиосвязи за счет использования ретрансляторов.

Ключевые слова: декаметровая радиосвязь, средства и комплексы радиосвязи, структура радиосети, составная радиолиния с ретрансляцией сигналов.

**IMPROVEMENT OF RADIO COMMUNICATION EFFICIENCY
IN DEPARTMENTAL NETWORK OF DECAMETER RADIOCOMMUNICATION
BY MEANS OF COMPOSITE RADIO LINKS WITH RELAYING SIGNALS**

V.S. Lazorenko

Academy FGS of Russia, Orel, Russian Federation

The issue of improving the radio communication efficiency of the departmental decimeter radio communication network through the use of repeaters is considered.

Keywords: decimeter radio communications, means and complexes of radio communications, structure of radio network, composite radio link with relaying signals.

Существующие сети ведомственной декаметровой радиосвязи по сложившейся традиции строились в основном с использованием радиально-узлового принципа с перекрытием некоторых радионаправлений линиями прямой связи. Конфигурация подобных сетей во многом определялась построением федеральных образований на территории Российской Федерации и была двухуровневой. На первом уровне строилась радиосеть, куда входила главная радиостанция, обычно расположенная в ЦФО и радиостанции от федеральных округов, которые выполняли роль узловых радиоцентров. Как правило, главная радиостанция была стационарной и делилась на отдельный радиоприемный центр и отдельный радиопередающий центр. На втором уровне образовывалась еще одна радиосеть, где главной радиостанцией была радиостанция федерального уровня, а корреспондентами были радиостанции из областных центров федерального образования [1]. При организации линий радиосвязи каждого корреспондента с каждым в радиосети по радионаправлениям возникали определенные трудности при обеспечении связи с близкорасположенными корреспондентами. Проведенный анализ расстояний между областными центрами, например в ЦФО, показывает, что интервал между ними колеблется от 100 км (Иваново – Владимир) до более 1000 км (Белгород – Кострома), поэтому организовать качественный канал декаметровой радиосвязи весьма затруднительно, особенно при учете оптимального расстояния для одноканальной трассы с точки зрения наилучшего прохождения радиоволн. Кроме этого, необходимо учитывать ограниченность пригодного по условиям распространения радиоволн участка диапазона частот и, как следствие, значительной загрузкой сосредоточенными помехами низкочастотной области декаметрового диапазона. Особенно тяжелая по помехам обстановка складывается в ночное время, когда применимый участок диапазона частот сужается от нескольких сотен килогерц до единиц мегагерц.

Одним из путей повышения эффективности радиосвязи в случаях организации надежной радиосвязи является использование составных (двухинтервальных) радиолиний с ре-

трансляцией сигналов. Данный подход позволяет создавать составные радиолинии между достаточно близко расположенными корреспондентами с использованием удаленных от них на большие расстояния до 3000 км ретрансляторов. Эта мера позволяет использовать для связи высокочастотную область декаметрового диапазона, которая в значительно меньшей степени загружена сосредоточенными помехами. Кроме того, применение дальних ретрансляторов может оказаться весьма эффективным средством обеспечения устойчивой связи в условиях возмущения ионосферы в верхних широтах, например на Севере.

Необходимо также отметить, что при связи с ретрансляцией, как правило, на стационарных радиоцентрах-ретрансляторах, расположенных обычно в глубине территории страны, появляется возможность применять мощные передатчики, а также использовать более эффективные приемные и передающие антенны.

При связи в двухинтервальных радиолиниях с одним ретранслятором вероятность связи может быть рассчитана по известной методике, описанной в литературе [2]. В самой общей постановке задача расчета вероятности связи в двухинтервальной радиолинии сводится к расчету вероятности связи по формуле

$$P(p_{\text{ош}} \leq p_{\text{ош доп}}) = \int_0^{p_{\text{ош доп}}} \omega(p_{\text{ош}}) dp_{\text{ош}}, \quad (1)$$

где $p_{\text{ош}}$ — вероятность ошибки на приеме, $p_{\text{ош доп}}$ — допустимая вероятность ошибки на приеме. Решение этой задачи можно получить, если выразить плотность распределения вероятностей ошибок в составной радиолинии $\omega(p_{\text{ош}})$ через плотности распределения вероятностей превышения уровней сигналов над уровнями помех $\omega(z_i)$ (при $i = 1, 2$) для каждого из интервалов. Вероятность ошибки в приеме элемента сигнала в двухинтервальной радиолинии определяется по формуле

$$p_{\text{ош}} = p_{\text{ош1}} + p_{\text{ош2}} - 2p_{\text{ош1}}p_{\text{ош2}}, \quad (2)$$

где $p_{\text{ош1}}$ и $p_{\text{ош2}}$ — вероятности ошибок на первом и втором интервалах радиолинии соответственно. Первый интервал радиолинии корреспондент-ретранслятор, второй — ретранслятор-корреспондент. Если для передачи сообщения используется дискретные сигналы частотного телеграфирования, то выражение для безусловной вероятности связи в составной радиолинии с одним ретранслятором будет иметь вид

$$\begin{aligned} P(p_{\text{ош}} \leq p_{\text{ош доп}}) &= \int_{10 \lg \frac{1-2p_{\text{ош доп}}}{p_{\text{ош доп}}}}^{\infty} \omega(z_1) \int_{\gamma}^{\infty} \omega(z_2) dz_2 dz_1 = \\ &= \frac{1}{2\pi\sigma_{z1}\sigma_{z2}} \int_{10 \lg \frac{1-2p_{\text{ош доп}}}{p_{\text{ош доп}}}}^{\infty} \exp\left\{-\frac{(z_1 - \bar{z}_1)^2}{2\sigma_{z1}^2}\right\} \times \\ &\quad \times \left[\int_{10 \lg \frac{1-p_{\text{ош доп}}}{p_{\text{ош доп}} - p_{\text{ош1}}}}^{\infty} \exp\left\{-\frac{(z_2 - \bar{z}_2)^2}{2\sigma_{z2}^2}\right\} dz_2 \right] dz_1, \end{aligned} \quad (3)$$

где σ_z — различные значения рассеяния вероятности связи составной радиолинии. Понятно, что числовые расчеты вероятности радиосвязи возможны только с применением специальных программных продуктов. Проведенные расчеты зависимости вероятности радиосвязи для двухинтервальной радиолинии от допустимых потерь достоверности при различных показаниях превышения уровня сигнала над уровнем помех показывают, что чем больше последний показатель, тем меньше может быть значение вероятности ошибок. С технической точки зрения это означает, что необходимо увеличивать энергетический потенциал составной радиолинии. При этом необходимо рассматривать энергетический потенциал каждого интервала от корреспондента до ретранслятора и от ретранслятора к корреспонденту с учетом того, что эти интервалы не равнозначны. В пункте ретрансляции можно использовать радиопередающие устройства с повышенной мощностью и более эффективные антенны как на передачу, так и на прием. Вместе с тем, значительные различия превышения уровней сигнала над помехами в интервалах приводит к снижению вероятности в составной

радиолинии. В связи с этим для уменьшения различий указанных параметров необходимо работать на обоих интервалах на частотах, близких к оптимальным рабочим.

Кроме того, следует отметить, что при относительно низких отношениях уровня сигнал/помеха на участке корреспондент-ретранслятор увеличения вероятности радиосвязи составной радиолинии нельзя достигнуть ни при каких сколь угодно высоких энергетических показателях участка ретранслятор-корреспондент, поскольку вероятность связи радиолинии с ретранслятором всегда будет меньше каждого из интервалов. В подобных условиях в первую очередь необходимо увеличивать энергетику интервала корреспондент – ретранслятор.

Из приведенного выше можно определить общие организационно-технические направления по повышению эффективности радиосвязи в декаметровой радиосети с использованием ретранслятора. При их определении будем ориентироваться на организацию сети радиосвязи в ЦФО.

Во-первых, стационарный пункт ретрансляции целесообразно располагать в городе Екатеринбурге. При таком подходе расстояния от областных центров до ретрансляционного пункта находятся в интервале от 1180 км (Кострома – Екатеринбург) до 1780 км (Смоленск – Екатеринбург).

Во-вторых, необходимо определиться с технической оснащенностью сети радиосвязи современными комплексами, как стационарными, так и мобильными. В качестве современных комплексов радиосвязи остановимся на следующих: модернизированном комплексе радиосвязи МКТС производства АО «ОНИИП» (Омск); «Диполь-1» производства филиала ФГУП НИИР «СОНИИР» (Самара); «Пирс» производства ОАО «РИМР» (Санкт-Петербург). Применяв методику выбора, предложенную в [3, с. 230–236] с использованием метода экспертной оценки, были получены результаты, по которым наиболее перспективным средством радиосвязи является модернизированный комплекс технических средств «МКТС» с мощностью передатчика 1 или 5 киловатт, построенный по модульному принципу с использованием транзисторных усилительных приборов. Передатчики данных комплексов показаны на рис. 1. Предлагается на пункте ретрансляции использовать два передатчика модернизированного комплекса мощностью 1 и 5 киловатт, что позволяет существенно менять энергетику радиолинии ретранслятор – корреспондент при необходимости. У мобильных корреспондентов желательно использовать однокиловаттный комплекс, развернутый на базе автомобиля КАМАЗ, разработки АО «ОНИИП».

Рис. 1. Однокиловаттный передатчик РПДУ-М1М и пятикиловаттный передатчик РПДУ-М5М

В-третьих, с целью получения высокого энергетического потенциала радиолиний от корреспондента до ретранслятора и от ретранслятора до корреспондента на стационарном пункте целесообразно использовать высокоэффективные антенно-фидерные системы на передачу и прием. В качестве антенных систем предлагается использовать логопериодическую антенну «Логос» разработки АО «ОНИИП», которая имеет две модификации, рассчитанные на работу с передатчиками мощностью 1 и 5 киловатт. Предлагаемая антенная система хорошо себя зарекомендовала при проведении трассовых испытаний между радиополигонами, расположенными в пунктах Омск и Москва. Внешний вид антенны показан на рис. 2.

Рис. 2. Логопериодическая антенна «Логос»

В-четвертых, для выравнивания энергетических потенциалов каждого из интервалов немаловажное значение приобретают децентрализованное гибкое использование частот на основе оперативного прогнозирования условий распространения радиоволн и организации частотно-диспетчерской службы, позволяющей обеспечить выбор канала лучшего качества близкого к оптимальному.

Рассмотренные направления повышения эффективности радиосвязи при их реализации позволят получить требуемые значения вероятности связи в двухинтервальной радиолинии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лазоренко В.С.* Зарождение и развитие ведомственной резервной сети коротковолновой радиосвязи // Техника радиосвязи. Омск, 2016. Выпуск 1 (28). С. 18–25.
2. Военные системы радиосвязи / под ред. В.В. Игнатова. Часть 1. Л.: ВАС, 1989. 386 с.
3. *Лазоренко В.С., Патронов Д.Ю., Сивов А.Ю.* Результаты сравнительной оценки современных комплексов радиосвязи // Радиоэлектроника, электроника и связь: сборник докладов III Международной научно-технической конференции. Омск, 2015. С. 230–236.