

## АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННЫХ РАДИОСИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В ДЕКАМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ

д.т.н., проф. Ю.В. Стасев, А.С. Коломиец, В.Н. Ткаченко

Проведён анализ распространения электромагнитных волн в декаметровом диапазоне и обоснована целесообразность применения сложных сигналов в радиосистемах управления.

Современная декаметровая (ДКМ) радиосвязь находит широкое и разнообразное применение в ряде отраслей народного хозяйства, обеспечивает большое количество различных служб и в целом является важным звеном системы связи страны. Основной причиной быстрого развития ДКМ радиосвязи является возможность быстрого установления прямых связей на самые различные дальности при низких энергетических затратах. Однако, существуют целый ряд причин, приводящих к снижению устойчивости ДКМ радиосвязи. Основными из них являются: замирания сигнала, обусловленные многолучевостью при ионосферном распространении радиоволн; наличие зон молчания; а также большое число взаимных помех радиосредств из-за сильной загруженности этого диапазона частот.

Одним из методов повышения помехозащищенности канала декаметровой связи является применение систем с широкополосными сигналами (ШПС). Преимуществом ШПС является возможность использования многолучевости распространения для повышения устойчивости приема сигнала или при заданной достоверности приема для снижения мощности радиопередающего устройства. Эта возможность открывается вследствие того, что широкополосные системы могут обеспечить раздельный прием сигналов, приходящих к месту приема различными путями и, следовательно, позволяют использовать энергию нескольких интенсивных лучей [1, 3 - 5].

Если при однолучевом распространении зависимость между принимаемым и передаваемым сигналами определяется выражением [3]:

$$x(t) = \mu z(t - \Delta t), \quad (1)$$

в котором величины  $\mu$  и  $\Delta t$  характеризуют затухание и запаздывание сигнала в процессе его распространения, то при многолучевом распространении эта зависимость приобретает вид

$$x(t) = \sum_{i=1}^n \mu_i z(t - \Delta t_i), \quad (2)$$

где  $n$  – число приходящих лучей.

Следовательно, на входе приемного устройства действует сумма отдельных колебаний с изменяющимися по случайному закону фазами и амплитудами. Это приводит к явлению замирания сигнала. Различают несколько видов замираний: общие или гладкие, селективные, медленные и быстрые.

При гладких замираниях приходящий сигнал отличается от переданного случайными, но приблизительно одинаковыми для всех частотных составляющих сигнала значениями коэффициента передачи и сдвига фазы.

При селективных замираниях каждой частотной составляющей сигнала соответствует свой коэффициент передачи и свой сдвиг фаз.

Медленные замирания имеют место, если  $\mu_i$  и  $\Delta t_i$  характеризуются примерно одинаковыми значениями на протяжении приема нескольких элементов сигнала, следующих один за другим.

Для быстрых замираний характерно отсутствие взаимозависимости (корреляции) между значениями  $\mu_i$  и  $\Delta t_i$  для ряда последовательно передаваемых элементов сигнала.

Обычно для компенсации замираний предусматривают увеличение мощности на 20 дБ. Иначе дело обстоит при использовании широкополосных сигналов, поскольку при обработке ШПС согласованным фильтром происходит сжатие ШПС по времени.

В работе [1] показано, что широкополосные сигналы с большими базами обладают свойствами:

$$T/\tau_0 \approx B; \quad (3)$$

$$V/v_{\max} \approx \sqrt{\alpha B}, \quad (4)$$

где  $\alpha$  - некоторая постоянная, зависящая от базы  $B$ .

Соотношение (3) определяет сжатие ШПС. Соотношение (4) характеризует подавление боковых пиков.

Обычно в ДКМ диапазоне число лучей, соизмеримых по мощности с основным, не превышает трех - четырех. Если задержка между лучами  $\Delta t$  больше длительности центрального пика  $\tau_0$ , то лучи разделяются и центральные пики различных лучей можно разделить один от другого, а затем и объединить, устроив задержку между ними.

Таким образом, условие  $\Delta t > \tau$  обеспечивает разделение лучей. В общем виде  $F \Delta t > 1$ .

ДКМ диапазон характеризуется не только мультипликативными помехами, но и сосредоточенными по спектру помехами, возникающими за

счет взаимных помех радиосредств, работающих в этом диапазоне, а также преднамеренных помех. Помехоустойчивость радиосистемы полностью определяется отношением сигнал - помеха на выходе фильтра

$$q_n^2 = \frac{2PcT}{N_n}, \quad (5)$$

где  $N_n$  – спектральная плотность мощности помехи на входе приемника.

Если средняя мощность помехи  $P_n$  ограничена и помеха действует в полосе частот сигнала, то

$$q_n^2 = 2\rho^2 B, \quad (6)$$

где  $\rho = Pc/P_n$ .

Соотношение (6) является основополагающим в технике с мощными помехами и указывает метод борьбы – применение ШПС с большими базами. В общем случае усиление обработки ШПС для произвольных помех в [1] определено как

$$R_{\text{ШПС}} \approx 2B. \quad (7)$$

В [3] проведен сравнительный анализ помехоустойчивости и надежности работы широкополосных и узкополосных систем в загруженном диапазоне частот, а также дается сравнительная оценка ШПС - систем с узкополосными системами, в которых рабочие частоты подбираются методом проб на основании анализа состояния диапазона.

Применяя ШПС в загруженных диапазонах частот, оказывается возможным одновременной работы сравнительно большому числу передатчиков. Их селекция на приемном конце осуществляется не по частоте, а по форме сигнала. Возможное же различие форм сигнала может быть весьма большим. Оно тем больше, чем больше база сигнала. При использовании широко распространенных методов селекции по частоте и узкополосных систем за каждым направлением связи закрепляется определенный частотный канал. Незанятость этого канала ни в коей мере не улучшает условия связи по другим каналам.

При использовании широкополосных систем получаем дополнительные весьма значительные возможности по повышению эффективности использования частотного диапазона, без применения достаточно сложных мероприятий по обеспечению поиска незанятых каналов и перестройки их на эти каналы в данный момент времени.

К широкополосным системам предъявляются противоречивые требования: низкий уровень боковых лепестков автокорреляционной функции и взаимно-корреляционной функции (при ярко выраженной их форме); большая длина псевдослучайных последовательностей; большая ширина спектра.

При осуществлении радиосвязи ионосферной волной в ДКМ диапазоне канал следует рассматривать как канал с переменными параметра-

ми, приводящими к замираниям сигнала и флюктуациям фазы колебаний в точке приема. Поэтому основным способом приема в этих условиях является некогерентный прием. В настоящее время в Украине для передачи информации по линиям радиосвязи широко применяются дискретные сигналы АТ(А1), ИТ(F1), ДИТ(F6), ОФТ(F9). Для специальных целей используются и широкополосные сигналы. Из приведенных сравнительных характеристик по помехозащищенности при прочих равных условиях широкополосные сигналы обеспечивают гораздо более высокую вероятность передачи сообщений по ДКМ радиоканалам, чем узкополосные.

Анализ особенностей распространения электромагнитных волн в дециметровом диапазоне показывает, что с точки зрения эффективности передачи информации целесообразно использовать сложные ППРЧ сигналы, обеспечивающие стабильность характеристик на интервале элементов сигнала и широкополосность за счет «прыганья» по частоте. Таким образом, применение широкополосных сигналов, в частности ППРЧ сигналов, обеспечит повышение помехозащищенности радиосистем управления при мощных внутрисистемных и преднамеренных помехах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
2. Диксон Р.К. Широкополосные системы / Под ред. В. И. Журавлева. – М.: Связь, 1979. – 302 с.
3. Семенов А.М., Сикарев А.А. Широкополосная радиосвязь. – Воениздат, 1970. – 280 с.
4. Помехозащищенность систем со сложными сигналами / Под ред. Г. И. Тузова. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.
5. Головин О.В. Дециметровая радиосвязь. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.
6. Сикарев А.А., Соболев В.В. Функционально - устойчивые демодуляторы сложных сигналов. – М.: Радио и связь, 1998. – 224 с.

*Поступила в редколлегию 12.03.2001*

---