

А. И. Сенин, И. В. Крючков, С. В. Чернавский,  
С. И. Нефедов, Г. А. Лесников

## **МНОГОАДРЕСНАЯ ШИРОКОПОЛОСНАЯ СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ МНОГОПОЗИЦИОННЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ**

*Рассмотрены вопросы проектирования системы передачи информации для многопозиционных радиолокационных станций. Выполнен выбор диапазона частот, обоснован выбор типа модуляции сигнала, описаны алгоритмы взаимного наведения и слежения антенн. Исследованы алгоритмы оценки параметров модулированного сигнала.*

**E-mail:** [chernavsky\\_sv@list.ru](mailto:chernavsky_sv@list.ru)

**Ключевые слова:** многопозиционная радиолокационная станция, система передачи информации, модуляция с непрерывной фазой, синхронизация, индекс модуляции.

Современные радиолокационные станции (РЛС) используют для решения различных задач. Наиболее широкое применение находят РЛС совмещенного типа. Одним из недостатков таких систем является низкая живучесть. Избавиться от указанного недостатка можно путем перехода к многопозиционным РЛС (МПРЛС), которые состоят из многих подвижных приемопередающих модулей, распределенных в пространстве, и центрального модуля. Структурная схема описанной МПРЛС приведена на рис. 1.

При построении МПРЛС возникает ряд сложностей. В частности, для их функционирования необходима система передачи информации (СПИ). В данной работе рассмотрены вопросы проектирования таких СПИ.

В задачи СПИ многопозиционной РЛС входят передача информации управления с центрального модуля, а также передача служебной и радиолокационной информации с приемопередающих модулей на центральный модуль. В рассматриваемой СПИ центральный модуль соединен с каждым из приемопередающих модулей отдельной линией связи. Приемопередающие модули не соединены друг с другом напрямую. Каждая линия связи при такой архитектуре является дуплексной, причем по направлению от центрального модуля передается незначительный объем управляющей информации, в то время как от каждого приемопередающего модуля поступает огромный объем радиолокационной информации. Наибольшую сложность представляет построение линии связи для передачи радиолокационных данных.

Проанализируем технические решения именно этой проблемы. Рассматриваемая линия связи должна удовлетворять ряду *требований*: иметь широкую полосу частот для передачи большого объема информации, быть скрытной. К аппаратуре линии связи предъявляются требования низкой стоимости, малых габаритов и массы.

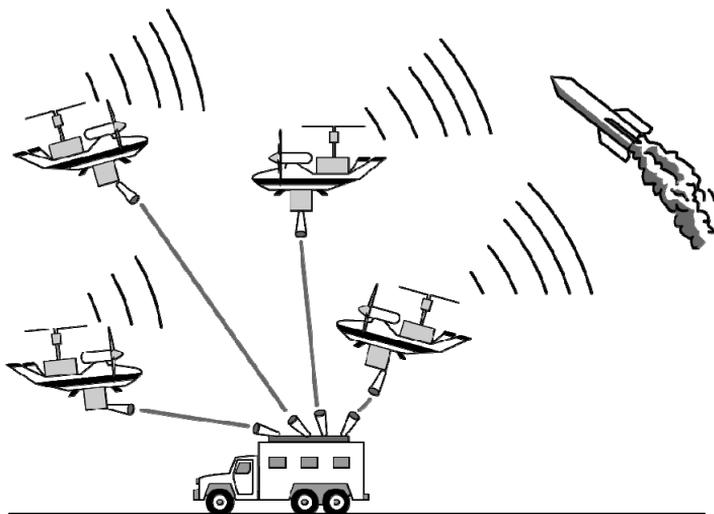
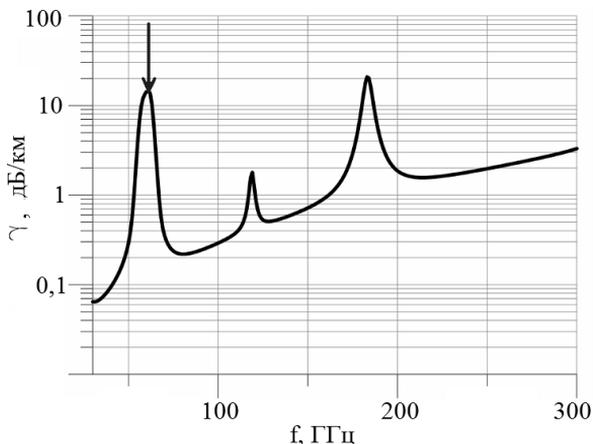


Рис. 1. Структурная схема МПРЛС

Требование высокой скорости передачи информации ограничивает выбор рабочего диапазона частот. В качестве возможных вариантов можно рассматривать оптический диапазон, а также диапазоны миллиметровых и сантиметровых волн. В оптическом диапазоне наблюдается сильная зависимость от погодных условий, что является серьезным недостатком. В сантиметровом диапазоне размеры антенных систем оказываются достаточно большими, что неприемлемо при жестких требованиях к массе и габаритам. Наиболее подходящим является миллиметровый диапазон, а именно полоса частот вблизи 60 ГГц [1—4]. В данном диапазоне существует линия поглощения молекулярным кислородом. На рис. 2 представлена зависимость коэффициента затухания от частоты в диапазоне КВЧ, рассчитанная согласно рекомендациям Международного союза электросвязи [5].

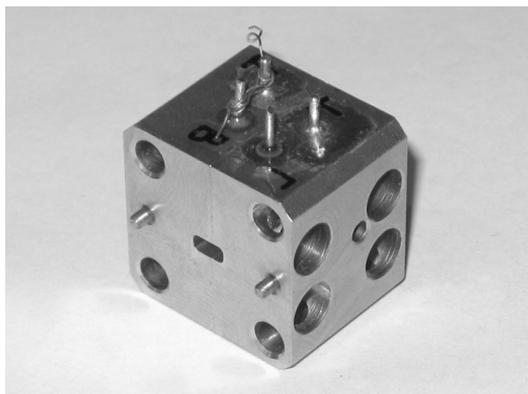
Как видно на рис. 2, на частотах вблизи 60 ГГц затухание радиоволн может превосходить 10 дБ/км. Для передачи информации на большие расстояния данное явление носит негативный характер, однако для СПИ небольшого радиуса действия это является положительным фактором, поскольку совместно с использованием антенн с узкими диаграммами направленности позволяет обеспечить скрытность системы передачи информации.



**Рис. 2. Зависимость коэффициента затухания от частоты**

Для работы в диапазоне 60 ГГц промышленность выпускает генераторы на диодах Ганна, позволяющие разрабатывать недорогую миниатюрную аппаратуру. На рис. 3 приведен внешний вид такого генератора, а ниже представлены его основные характеристики:

Параметр	Значение
Центральная частота, ГГц .....	57,7
Выходная мощность, мВт.....	40
Нестабильность несущей частоты (-40...+60 °С), МГц.....	±100
Диапазон перестройки частоты, МГц .....	±750

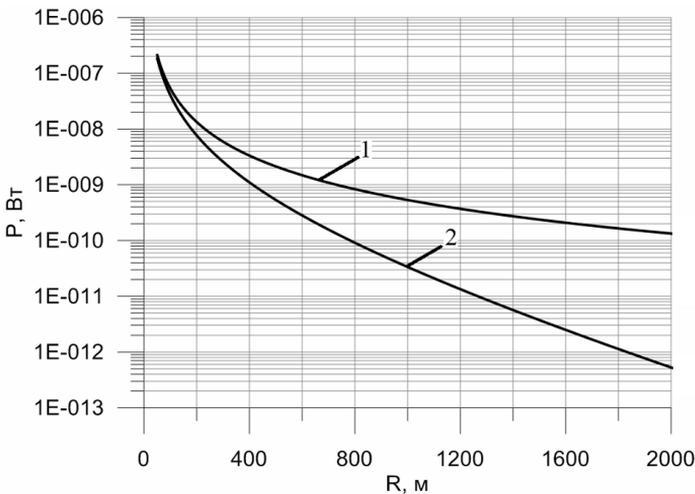


**Рис. 3. Генератор диапазона 60 ГГц**

С использованием данного генератора в НИИ Радиоэлектронной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана разработана аналоговая часть приемного устройства диапазона 60 ГГц, которая состоит из смесителя, гетеродина и усилителя промежуточной частоты. Параметры аналоговой части приемного устройства диапазона 60 ГГц приведены ниже:

Параметр	Значение
Промежуточная частота, ГГц .....	1,7
Коэффициент шума, дБ .....	9
Коэффициент усиления, дБ .....	40
Глубина регулировки усиления, дБ .....	30

Для проектируемой линии связи планируется использовать передающую и приемную антенны с узкими диаграммами направленности с коэффициентами направленного действия равными 21 и 29 дБ соответственно. На рис. 4 показаны зависимости принимаемой мощности от дальности между приемопередающим модулем и центральным модулем для параметров, приведенных выше, и несущей частоте сигнала  $f_0 = 58$  ГГц при наличии и отсутствии молекулярного поглощения.



**Рис. 4. Зависимости принимаемой мощности от расстояния между приемопередающим и центральным модулем:**

1 — без молекулярного поглощения; 2 — при молекулярном поглощении

При построении СПИ, работающих в диапазоне 60 ГГц и использующих указанную элементную базу, приходится решать ряд проблем, связанных с низким уровнем излучаемой генераторами мощности, высоким уровнем взаимных помех, нестабильностью приемных и передающих устройств.

Проблема низкого уровня мощности решается рациональным выбором типа модуляции и помехоустойчивого кодирования. Выбранный генератор ограничивает возможные типы модуляции для данной СПИ. Среди типов модуляции, обеспечивающих простоту конструкции передающего устройства, можно выделить амплитудную модуляцию, фазовую модуляцию, прямую частотную модуляцию, а также

модуляцию с непрерывной фазой. Наиболее подходящим для данной системы передачи данных является модуляция с непрерывной фазой [6]. Среди указанных типов модуляции сигнал с непрерывной фазой обеспечивает наилучшую спектральную эффективность СПИ. Оптимальным выбором параметров сигнала можно обеспечить высокую помехоустойчивость СПИ [6, 7].

Узкие диаграммы направленности антенн и подвижность приемопередающих модулей МПРЛС определяют необходимость применения устройств наведения и слежения. Процедуры взаимного наведения для рассматриваемой СПИ аналогичны используемым в межспутниковых линиях связи [8—10]. Для реализации процедур слежения могут быть применены методы, известные из радиолокации, а именно: коническое сканирование и моноимпульсный метод [11]. Поскольку передача информации в диапазоне 60 ГГц происходит только в одном направлении (от приемопередающего модуля к центральному модулю), то на приемопередающем модуле можно использовать только коническое сканирование антенной. На центральном модуле возможно применение обоих вариантов слежения. Хотя моноимпульсный метод дает меньшие ошибки слежения, более целесообразным является коническое сканирование, поскольку при этом не требуется усложнение приемной системы центрального модуля.

Сильное молекулярное поглощения приводит к большей зависимости принимаемой мощности сигнала от расстояния и, как следствие, к сильным взаимным помехам. Для снижения их влияния необходимо применение регулировки мощности излучаемых сигналов, а также соответствующей процедуры распределения частотных каналов. Для решения данной проблемы используют методы глобальной нелинейной оптимизации. В среде Matlab была разработана имитационная модель, позволяющая оптимально подобрать мощность излучаемого сигнала и частотный канал для каждого приемопередающего модуля. В качестве целевой функции использовалось количество доступных каналов связи между приемопередающим и центральными модулями. При этом считалось, что канал доступен, если отношение энергии сигнала к сумме спектральной плотности мощности шума и энергии помехи на времени одного информационного символа больше 6 дБ. Моделирование проводилось для 10 приемопередающих модулей, которые хаотично двигались. При этом все проекции скорости каждого из приемопередающего модуля оставались непрерывными и были ограничены значением 10 м/с. Максимальное расстояние от центрального модуля до любого приемопередающего модуля было ограничено значением 1 км. Моделирование показало, что усредненный по времени и по номеру приемопередающего модуля выигрыш в отношении энергии сигнала к сумме спек-

тральной плотности мощности шума и энергии помехи на длительности одного информационного символа составляет примерно 1,5...2 дБ. Недостатком алгоритмов глобальной оптимизации является их чрезмерные вычислительные затраты, поэтому актуальной задачей остается разработка субоптимальных алгоритмов.

Проблема нестабильности приемных и передающих устройств диапазона 60 ГГц приводит к необходимости разработки алгоритмов оценки параметров передаваемого сигнала. В качестве оцениваемых параметров в данном случае выступают несущая и тактовая частоты, начальная фаза сигнала и индекс модуляции. Различные варианты алгоритмов синхронизации приведены в работе [12]. В статье [13] описаны имитационные модели для некоторых из этих алгоритмов, касающихся частотной синхронизации, приведены результаты моделирования.

Оценка индекса модуляции — отдельная задача. Алгоритм оценки индекса модуляции сигнала с непрерывной фазой, основанный на приближенном решении уравнения правдоподобия описан в работе [14].

Таким образом, в работе рассмотрен вопрос проектирования систем передачи информации для многопозиционных РЛС. Сформулированы основные требования к системе передачи информации. Обоснован выбор диапазона работы. Описаны основные проблемы, возникающие в процессе проектирования, и методы их решения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Распространение миллиметровых волн на приземных линиях связи / Г.К. Загорин, А.Ю. Зражевский, Е.В. Коньков // Успехи современной радиоэлектроники. — 2001. — № 10. — С. 53–71.
2. Крейн Р. К. Фундаментальные ограничения, связанные с процессами распространения радиоволн // ТИИЭР. 1981. — Т. 69. — № 2. — С. 64–80.
3. Быстров Р. П., Потапов А. А., Соколов А. В. Миллиметровая радиолокация с фрактальной обработкой / Под ред. Р.П. Быстрова и А.В. Соколова. — М.: Радиотехника, 2005. — 368 с.
4. Быстров Р. П., Петров А. В., Соколов А. В. Миллиметровые волны в системах связи // Журнал радиоэлектроники. — 2000. — № 5. URL: <http://jre.cplire.ru/mac/may00/5/text.html> (дата обращения 21.09.2012).
5. Recommendation ITU-R P.676-9 Attenuation by atmospheric gases. — 2012. — P. 24.
6. Anderson J.B., Aulin T., Sundberg C. E-W. Digital Phase Modulation. — New York: Plenum, 1986. — P. 504.
7. Крючков И. В., Сенин А. И., Чернавский С. В. Спектральные и энергетические характеристики сигналов с непрерывной фазой и гауссовской фильтрацией для широкополосной системы связи // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. — 2011. — № 4. — С. 111–118.
8. Шереметьев А. Г., Толпарев Р. Г. Лазерная связь. — М.: Связь. — 1974. — 384 с.

9. Гальярди Р. М., Карп Ш. Оптическая связь / Под ред. А.Г. Шереметьева. – М.: Связь, 1978. – 424 с.
10. Лазерная космическая связь / Под ред. М. Кацмана. – М.: Радио и связь, 1993. – 240 с.
11. Справочник по радиолокации / Под ред. М. Сколника. – Нью-Йорк, 1970; Пер. с англ. В 4 т. Т. 1–4 / под общ. ред. К.Н. Трофимова. – М.: Сов. радио, 1977.
12. D'Andrea A. N., Mengali U. Synchronization Techniques for Digital Receivers. – New York: Plenum, 1997. – 520 p.
13. Сенин А. И., Крючков И. В., Лесников Г. А., Чернавский С. В. Исследование алгоритмов восстановления частоты несущей для высокоскоростной системы связи с частотной модуляцией с непрерывной фазой // Радиолокация, радионавигация и связь: Тез. докл. XVIII Международной конференции. – Воронеж, 2012. – С. 493–503.
14. Сенин А. И., Чернавский С. В., Лесников Г. А. Оценка индекса модуляции частотно-модулированного сигнала с непрерывной фазой // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. – 2012. – № 3.

Статья поступила в редакцию 17.09.2012