

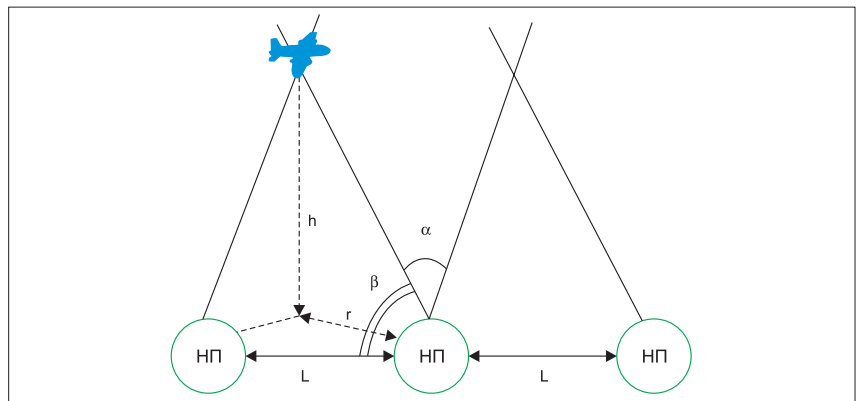
# ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ТРЕБУЕМОГО КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ ФАР СВЧ-ДИАПАЗОНА ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ СВЯЗИ С БОЛЬШИМИ ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

На современном этапе развития системы связи с подвижными объектами получили широкое распространение в сетях связи не только общего пользования, но и различных силовых структур и ведомств.

Актуальность применения подобных систем объясняется тем, что они больше других сетей связи соответствуют принципам глобализации и персонализации связи и обеспечивают повышение оперативности обмена информацией между абонентами самых различных категорий на любых расстояниях.

Одной из важнейших задач применимо к разработке сетей радиосвязи с подвижными объектами является разработка системы сопровождения корреспондента с наземного пункта. Помимо механического изменения диаграммы направленности антенны путем ее поворота приводом электродвигателя, существуют различные способы немеханического изменения максимума диаграммы направленности антенны путем ее поворота приводом электродвигателя, существуют различные способы немеханического изменения максимума диаграммы направленности. Один из способов — применение фазированной антенной решетки (ФАР). Данные антенные системы позволяют получить эффективное решение таких задач, как стабилизация луча при движении корреспондента, и уменьшить громоздкие электромеханические приводы с антенных систем, за счет этого увеличив надежность в целом. Эта антенна используется как активный элемент обработки информации о распределении в пространстве источников излучения. Таким образом, разработка систем связи с немеханическим движением луча представляется актуальной задачей.

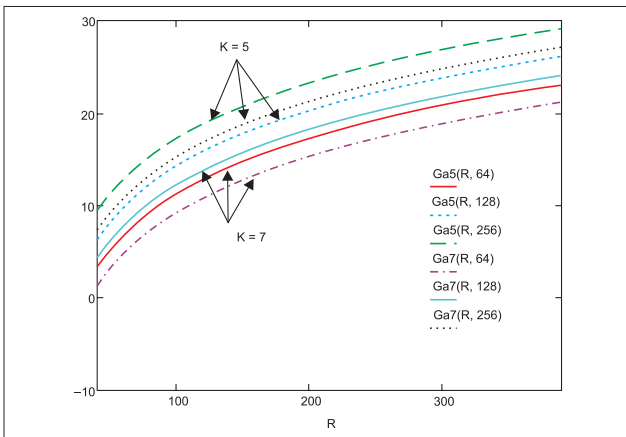
При организации сети связи на базе определенного числа наземных пунктов (НП) с большим подвижным объектом (БПО) — самолетом во время его пролета (рис. 1), требуется обеспечить сопровождение траектории его движения, а для этого необходимо знать наибольший угол изменения максимума диаграммы направленности цифровой ФАР



▲ Рис. 1. Определение расстояния между наземными пунктами

Таблица. Зависимость коэффициента усиления цифровой ФАР с учетом расстояния от БПО до НП, при различных методах модуляции, скорости передачи информации и параметрах кодирования

Вид модуляции	Параметры		Изменения требуемого коэффициента усиления антенны при изменении длины интервала 50–400 км, дБ
	Информационная скорость, кбит/с	Длина сверточного кода со скоростью 1/2	
ФМ-2	64	5	5,28–23,1
		7	3,28–21,1
	128	5	8,3–26,1
		7	6,3–24,1
ФМ-4	256	5	11,3–29,1
		7	9,3–27,1
	512	5	7,8–25,6
		7	5,8–23,6
	1024	5	10,8–28,7
		7	8,8–26,7
КАМ-16	2048	5	13,8–31,7
		7	11,8–29,7
	512	5	10,3–28,1
		7	8,3–26,1
	1024	5	13,3–31,1
		7	11,3–29,1
2048	5	16,3–34,2	
	7	14,3–32,2	



▲ **Рис. 2.** Зависимость коэффициента усиления ФАР от расстояния при модуляции методом ФМ-2, информационных скоростях 64, 128, 256 кбит/с и длине сверточного кода со скоростью 1/2 5 и 7

по азимуту ( $\alpha$ ) и углу места ( $\beta$ ), установленной на НП, при обеспечении требуемого коэффициента усиления.

При расчете требуемых углов перестройки максимума диаграммы направленности цифровой ФАР ограничимся следующими условиями: удаление БПО от НП ( $r$ ) по поверхности земли 5–390 км, высота полета БПО ( $h$ ) составляет 9–12 км без учета взлета и снижения для посадки, фактическое расстояние между БПО и НП ( $R$ ) не более 400 км, расстояние между НП ( $L$ ) не более 750 км.

С использованием несложных тригонометрических формул с учетом ограничивающих условий и рис. 1 перестройка максимума диаграммы направленности цифровой ФАР по азимуту составит  $\pm 75^\circ$ , а по углу места  $\pm 33^\circ$ . Эти данные получены с учетом, что в точке перехода сопровождения БПО от одного НП к другому его должны сопровождать сразу две антенны двух соседних НП в течение 3 мин, а по расстоянию порядка 45 км при скорости движения БПО не более 900 км/ч.

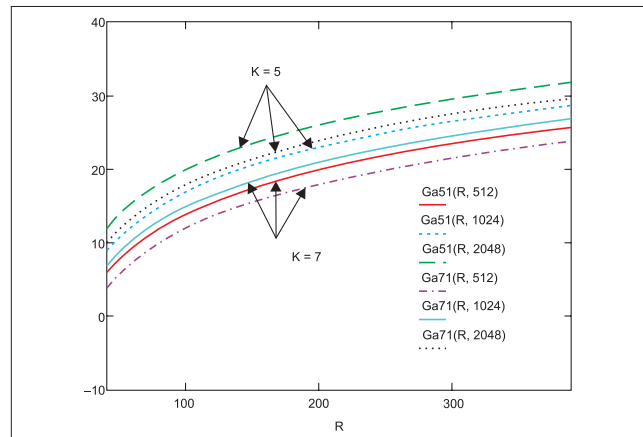
Коэффициент усиления цифровой ФАР будет зависеть от энергетики линии. Данная зависимость исследована с учетом расстояния от БПО до НП при различных методах модуляции (ФМ-2, ФМ-4, КАМ-16) и различной скорости передачи информации 64–2048 кбит/с, а также при различных параметрах кодирования. Для этого был проведен энергетический расчет на основе алгоритма вычисления основных параметров средств радиорелейной связи [1], чтобы определить нужный коэффициент усиления антенны НП на частоте 5 ГГц при следующих исходных данных:

- мощность передающего устройства: не менее 10 Вт;
- коэффициент усиления антенны БПО не менее 10 дБ;
- потери в антенно-волноводном тракте БПО: не более 5 дБ;
- потери в антенно-волноводном тракте НП: не более 1 дБ;
- требуемая вероятность ошибки: не более  $1 \times 10^{-5}$ .

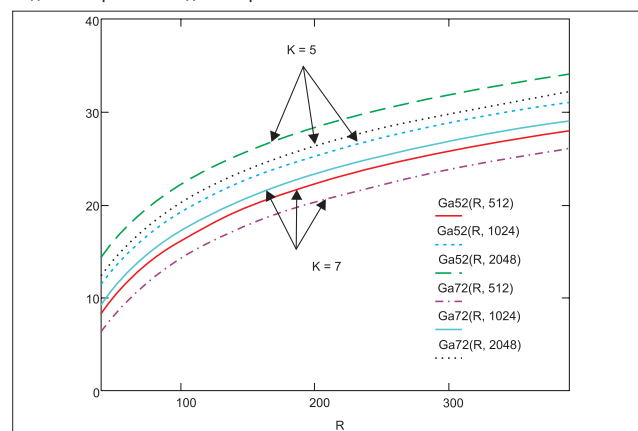
Полученные значения представлены в таблице и на рис. 2–4.

Исходя из полученных значений коэффициентов усиления антенны для различных параметров сигнала передачи информации, а также расстояния от НП до БПО в процессе его пролета с учетом изменения азимута и угла места, можно сделать вывод о том, что для обеспечения связи с заданным качеством целесообразно использовать цифровую ФАР СВЧ-диапазона.

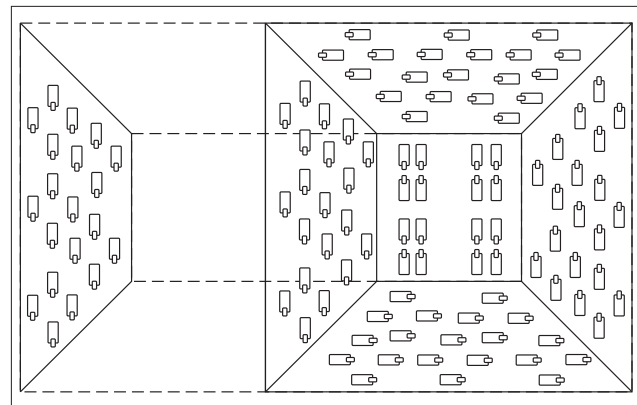
Так как предполагается, что данная антенна не будет иметь механизма автоматической юстировки, а будет закреплена неподвижно и по азимуту перпендикулярно трассе пролета и с углом места  $33^\circ$ , то внешний вид предполагаемой цифровой ФАР может быть представлен, как показано на рис. 5. Центральная часть будет иметь прямоугольную структуру расположения элементов, а боковые — гексагональную [2].



▲ **Рис. 3.** Зависимость коэффициента усиления ФАР от расстояния при модуляции методом ФМ-4, информационных скоростях 512, 1024, 2048 кбит/с и длине сверточного кода со скоростью 1/2 5 и 7



▲ **Рис. 4.** Зависимость коэффициента усиления ФАР от расстояния при модуляции методом КАМ-16, информационных скоростях 512, 1024, 2048 кбит/с и длине сверточного кода со скоростью 1/2 5 и 7



▲ **Рис. 5.** Предполагаемый вид ФАР: а) вид сбоку, б) вид спереди

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, для устойчивого и бесподстроечного ведения связи с помощью цифровой ФАР необходимо произвести расчет и моделирование параметров и расположения ее элементов так, чтобы суммарная диаграмма направленности всех элементов обеспечивала требуемые коэффициенты усиления, с учетом возможности перестройки максимума ее диаграммы направленности на вышеуказанные угловые параметры. ●

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кожухов С.А., Анисимов В.Г., Чаплыгин И.А. Алгоритмы расчета основных параметров средств радиорелейной, тропосферной и спутниковой связи. Пособие. под ред. Кожухова С.А. Орел, Академия ФСО России, 2008.
2. Базринцев Д.Ю., Коцулевский С.В. Моделирование фрагментов двухдиапазонной микрополосковой антенны // Техника радиосвязи. 2019. Вып. 3 (42).