

Лекция 2.

Блок-схема станции радиотехнической разведки.

Типовая станция радиотехнической разведки состоит из антенного устройства, приемника, анализатора параметров принимаемого сигнала, пеленгационной части, устройства запоминания и обработки полученной информации, аппаратуры контроля, блоков питания. Блок-схема станции радиотехнической разведки представлена на рис. 1.

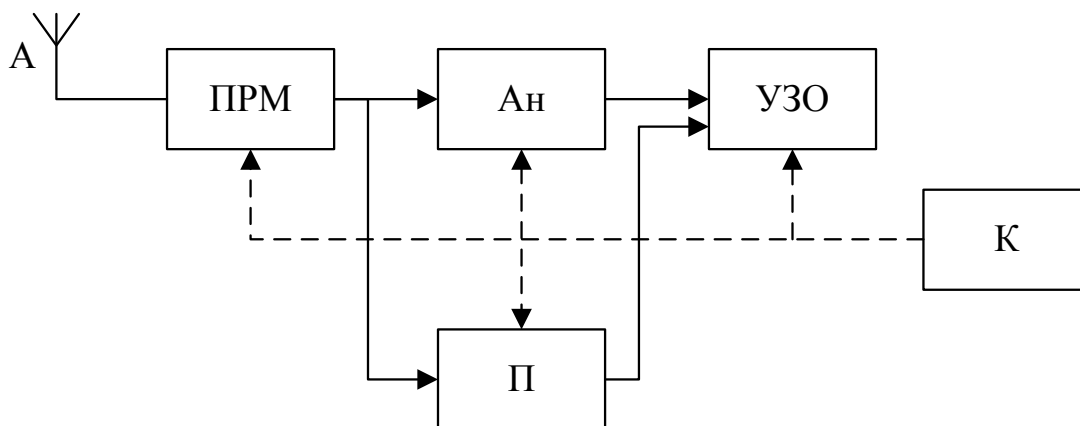


Рис. 1.

Антенное устройство (А) должно быть широкополосным, обладать высокой пропускной способностью и обеспечивать пеленгацию источника с необходимой точностью. Кроме того антенны станции РТР разведки должны иметь минимальные боковые лепестки, чтобы исключить ложное определение направления на пеленгуемый источник. Удовлетворить всем требованиям с помощью одной антенны часто бывает невозможно, поэтому обычно применяют несколько антенн, перекрывающих весь разведываемый частотный диапазон.

Приемники станций радиотехнической разведки (ПРМ) характеризуются следующими основными параметрами:

- перекрываемым диапазоном частот;
- временем перестройки (пропускной способностью);
- чувствительностью;
- точностью определения параметров принимаемых сигналов;
- разрешающей способностью;
- способом поиска разведываемого сигнала по несущей частоте и вероятностью его обнаружения.

Наиболее важной технической характеристикой разведывательного приемника является полный диапазон частот, в котором с его помощью можно осуществлять поиск разведываемых сигналов. Желательно, чтобы один разведывательный приемник перекрывал по возможности более широкий диапазон частот.

Анализатор параметров (Ан) принимаемого сигнала служит для оценки параметров и опознавания образа разведываемого радиоэлектронного средства. С

его помощью, например, могут измеряться временные, спектральные и энергетические параметры принимаемых сигналов, а также производится определение поляризации излучения разведываемого устройства. К временным параметрам сигналов относятся:

- длительности сигналов и временные интервалы между ними;
- вид модулирующей функции.

К спектральным параметрам сигналов относятся:

- высокочастотный спектр
- спектр огибающей сигнала.

Энергетической характеристикой принимаемого сигнала является его мощность и спектральная плотность.

Анализаторы характеризуются количеством измеряемых параметров, диапазоном измерений, точностью и разрешающей способностью.

Пеленгаторное устройство (П) служит для определения угла прихода радиоволн, а следовательно, и определения местоположения разведываемого устройства. К пеленгаторам предъявляются высокие требования по следующим параметрам:

- быстродействию (в пределах возможности измерения пеленга по одному импульсу);
- точности пеленгации;
- разрешающей способности.

Устройство запоминания и обработки полученной информации (УЗО) обеспечивает автоматическое запоминание параметров принимаемых сигналов: частоты, длительности импульсов, периода следования и т. д. Это устройство на основании данных, выдаваемых анализатором, должно производить опознавание образа разведываемого устройства.

Аппаратура контроля (К) обеспечивает автоматический или полуавтоматический контроль за работой отдельных блоков. С ее помощью осуществляется управление станцией разведки в целом.

Радиопеленгация.

Радиопеленгатор (РП) определяет направление прихода электромагнитной волны источника радиоизлучения относительно опорного направления.

Основные технические характеристики радиопеленгаторов

Наиболее важные показатели качества радиопеленгаторов:

- точность пеленгования;
- чувствительность;
- помехоустойчивость;
- быстродействие;
- разрешающая способность;
- диапазон рабочих частот;
- вид пеленгуемого сигнала.

Точность радиопеленгатора определяется угловой ошибкой пеленгования. Обычно точность характеризуется среднеквадратической ошибкой (СКО) пеленгования, вычисляемой как

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (\theta_i - \hat{\theta}_i)^2}$$

где θ_i — истинный азимут; $\hat{\theta}_i$ — азимут, измеренный радиопеленгатором; N — число измерений. При определении точности пеленгатора проводят большое число измерений, варьируя азимуты расположения ИРИ и частоту излучения.

Чувствительность радиопеленгатора — это минимальное значение напряженности электромагнитного поля, при котором пеленгование осуществляется при заданных характеристиках пеленгования, например при заданной СКО. Чувствительность радиопеленгатора определяется чувствительностью его приемных трактов, конструкцией антенной системы и алгоритмом вычисления пеленга.

Помехоустойчивость — это характеристика пеленгатора, показывающая возможность его работы в условиях воздействия помех. Помехоустойчивость пеленгатора определяется помехоустойчивостью его приемных трактов и антенных систем, пространственной селективностью, зависящей от конструкции антенн, типом устройства отображения, методом обработки и степенью адаптации к помеховой обстановке.

Быстродействие радиопеленгатора определяется минимальным временем, в течение которого происходит процесс настройки пеленгатора на заданную частоту и взятие пеленга.

Разрешающая способность — это характеристика радиопеленгатора, определяющая возможность отдельного пеленгования источников радиоизлучения с близкими параметрами. Различают разрешающую способность по частоте и разрешающую способность по углу.

Диапазон рабочих частот радиопеленгатора задает частотную область, в которой осуществляется радиопеленгование с заданными характеристиками точности и чувствительности.

Вид пеленгуемого сигнала. Этот параметр определяет виды радиосигналов, для источников которых пеленгатор способен вычислять пеленг. Вид пеленгуемого сигнала напрямую связан с полосой пропускания радиоприемного тракта пеленгатора и его быстродействием. Чем шире полоса пропускания, тем более широкополосные и кратковременные сигналы можно запеленговать. Кроме того, способность пеленговать кратковременные периодические сигналы будет зависеть от математической обработки, которую реализует блок цифровой обработки пеленгатора.

По методу получения информации о направлении на источник излучения РП делятся на амплитудные, фазовые и амплитудно-фазовые, а по способу извлечения этой информации - на одноканальные (последовательного типа) и многоканальные (моноимпульсные).

В настоящее время в системах радиотехнической разведки наибольшее распространение имеют следующие виды пеленгаторов:

1. Системы на основе вращающейся направленной антенны (либо вращающейся диаграммы направленности).
2. Двухканальные автоматические пеленгаторы (Ватсона-Ватта, Эдкока).
3. Фазовые радиопеленгаторы.
4. Доплеровские и квазидоплеровские пеленгаторы.
5. Корреляционные интерферометры.
6. Радиопеленгаторы со сверхразрешением.

Так как в настоящее время наиболее востребованными являются широкодиапазонные системы (с коэффициентом перекрытия по диапазону 100 и даже более), то для реализации подобных систем наиболее применимы фазовые радиопеленгаторы.

Второму критерию (по виду модуляции и ширине полосы пеленгуемого сигнала) удовлетворяют несколько типов пеленгационных устройств — амплитудные пеленгаторы, пеленгаторы Ватсона-Ватта и Эдкока.

Возможностью азимутального разделения нескольких сигналов в различной степени обладают разные виды амплитудных пеленгаторов на основе направленных антенн, а также пеленгаторы со сверхразрешением.

Каждый из используемых методов пеленгования имеет свои достоинства и недостатки, но для многофункциональных систем радиотехнической разведки предпочтительнее использовать пеленгаторы со сверхразрешением. Они делают возможным пеленгование практически любых видов радиосигналов, в том числе широкополосных со сложными видами модуляции, имеют возможность одновременной обработки и различения нескольких сигналов в одном частотном канале, причем как когерентных (при многолучевом приеме излучения единственного источника), так и некогерентных (при приеме радиосигналов от нескольких источников с перекрывающимися спектрами).

Амплитудные методы пеленгации.

1. **Системы на основе вращающейся направленной антенны (либо вращающейся диаграммы направленности).**

Исторически самыми первыми были амплитудные методы радиопеленгации, основанные на анализе амплитудного распределения поля, создаваемого

пеленгуемым сигналом, на раскрытие приемной антенны. Существуют следующие разновидности амплитудного метода: метод максимума, минимума и равносигнальный метод.

При пеленговании по **методу максимума** индикатором пеленга служит максимум ДН вращающейся антенной системы. Результирующее напряжение U на выходе антенны определяется ее ДН $F(\alpha, \beta)$, где α — азимут, β — угол места, и зависит от напряженности поля E в точке приема:

$$U = EF(\alpha, \beta). \quad (1)$$

Угловая координата ИРИ отсчитывается в тот момент, когда амплитуда сигнала на выходе радиоприемника достигнет максимума (рис. 2). При этом нормаль к фазовому фронту проходящей волны оказывается перпендикулярной плоскости раскрытия антенны, а направление максимума ДН совпадает с направлением на источник радиоизлучения.

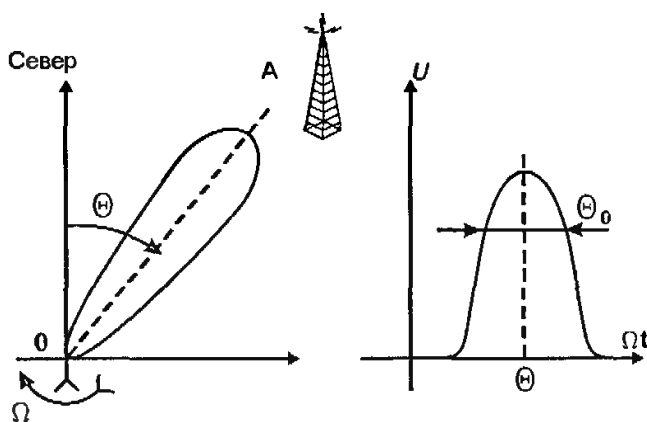


Рис. 2.

Достоинства метода максимума: относительно малое влияние шумов на точность пеленгования, так как в направлении максимума ДН принимается максимально возможная энергия пеленгуемого сигнала; возможность разрешения нескольких источников излучения с разными азимутами в одном частотном канале; недорогая реализация, поскольку может использоваться только одноканальный приемник. Недостатком метода является невысокая точность пеленгаторов из-за малой кривизны ДН вблизи максимума. Точность определения угла невысока и имеет порядок одной пятой ширины Θ_0 ДН антенны:

$$\Delta\theta \approx 0,2\Theta_0. \quad (2)$$

Для определения пеленга антенну вращают (либо вращают ДН), наблюдая выходное напряжение. Можно либо поворачивать антенну до получения максимума выходного напряжения, либо вращать ее непрерывно.

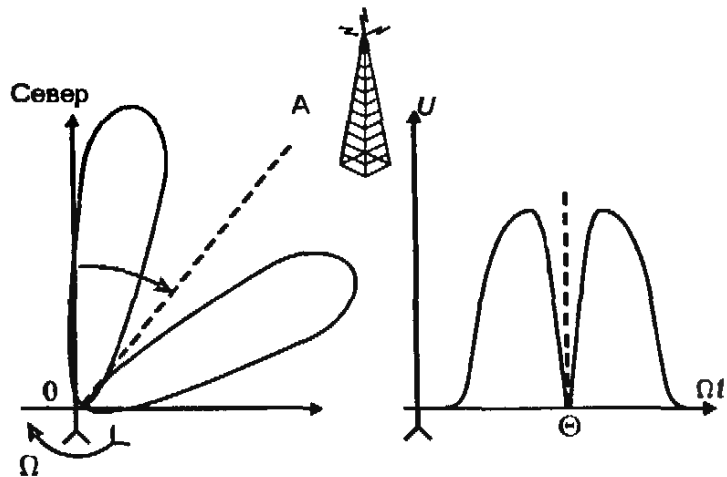


Рис. 3.

При пеленговании по минимуму в качестве индикатора пеленга выступает минимум ДН, причем он должен быть единственным (рис. 3). Такую диаграмму можно, например, получить при использовании пары антенн с узкой ДН. Ввиду того, что минимум результирующей ДН довольно острый, удастся повысить точность пеленгования по сравнению с методом максимума до одной десятой ширины ДН:

$$\Delta\theta \approx 0,1\theta_0. \quad (3)$$

Недостаток систем, использующих метод минимума, — снижение точности пеленгования при низких отношениях сигнал-шум за счет дополнительного уменьшения сигнала минимумом ДН. Это может привести к ошибочному определению направления на объект.

Равносигнальный метод — это компромисс между двумя вышеуказанными методами. Он реализуется с помощью двух направленных антенн, развернутых в азимутальной плоскости (рис. 4). Истинным направлением на источник излучения считается то, которое лежит между двумя максимумами ДН двух антенн, при этом уровни сигналов на выходе обеих антенн равны.

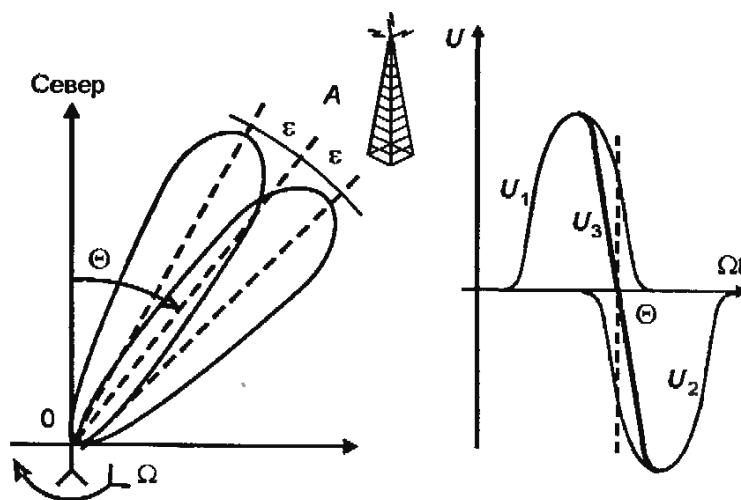


Рис. 4.

Если ДН пары антенн $F(\theta)$ одинаковы, а их максимумы развернуты на угол, то их можно описать функциями $F(\theta+\varepsilon)$ и $F(\theta-\varepsilon)$. Направление θ , соответствующее

пересечению ДН, называется равносигнальным. Сигналы с выходов антенн отфильтровываются, усиливаются, детектируются, а затем сравниваются (вычитаются друг из друга). В результате зависимость амплитуды результирующего напряжения от углового направления на объект принимает вид

$$u = U_1(\theta) - U_2(\theta) = k [F(\theta+\varepsilon) - F(\theta-\varepsilon)] \quad (4)$$

Эта зависимость выходного сигнала пеленгатора от угла прихода радиоволны является пеленгационной характеристикой и при симметричности ДН антенн будет нечетной функцией.

При небольшом отклонении равносигнального направления от направления на источник радиосигнала полярность напряжения будет показывать знак отклонения, а уровень напряжения — значения отклонения. Это является следствием нечетности пеленгационной характеристики и линейности ее центральной части.

2. Двухканальные автоматические пеленгаторы (Ватсона-Ватта, Эджкока)

Антенная система такого пеленгатора представляет собой две неподвижные взаимно перпендикулярные рамки (рис. 5).

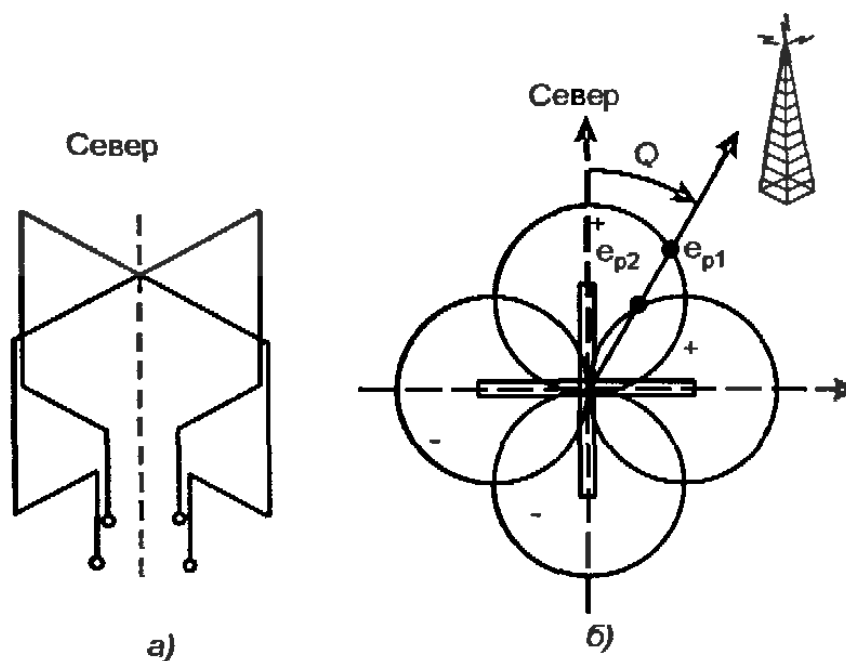


Рис. 5.

Сигналы от источника радиоизлучения, наводимые в рамках, определяются выражениями:

$$\begin{aligned} e_{p1}(t) &= E_p \cos\theta \sin(\omega_0 t), \\ e_{p2}(t) &= E_p \sin\theta \sin(\omega_0 t). \end{aligned} \quad (5)$$

Сигналы с выхода каждой рамки поступают на идентичные по параметрам приемные каналы, где они фильтруются, усиливаются и преобразуются на промежуточную частоту $\omega_{пр}$

$$\begin{aligned}
 u_1(t) &= U_0 \cos\theta \sin(\omega_{\text{пр}}t), \\
 u_2(t) &= U_0 \sin\theta \sin(\omega_{\text{пр}}t).
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

где U_0 — максимальное выходные напряжение на промежуточной частоте.

Далее, если в качестве индикаторного блока используется электронно-лучевая трубка (ЭЛТ), то сигнал $u_1(t)$ поступает на вертикальные отклоняющие пластины, а сигнал $u_2(t)$ на горизонтальные пластины. Электронный луч прочерчивает на экране диаметральною линию, отклоненную в зависимости от величины и знаков $u_1(t)$ и $u_2(t)$ на угол, определяемый соотношением

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{u_1}{u_2} = \operatorname{tg}\theta
 \tag{7}$$

Этому соотношению соответствуют два угла $\varphi = \theta$ и $\varphi = \theta + \pi$, т.е. имеется неоднозначность отсчета пеленга.

Для того чтобы устранить неоднозначность пеленга, применяется дополнительная ненаправленная антенна, сигнал с которой фазуется таким образом, чтобы он находился в фазе (или противофазе) с сигналом первой рамки, когда источник радиоизлучения находится строго на севере. Сигнал с ненаправленной антенны после фильтрации, усиления и преобразования на промежуточную частоту поступает на управляющий электрод ЭЛТ и своим отрицательным полупериодом гасит половину развертки луча, соответствующего ложному направлению.

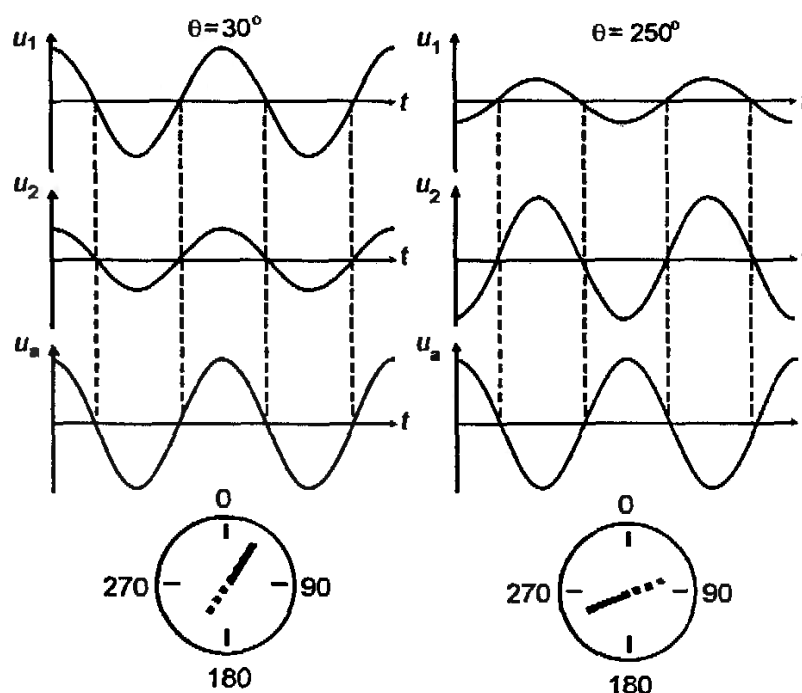


Рис. 6.

На рис. 6 показаны выходные напряжения основных каналов $u_1(t)$ и $u_2(t)$, а также сигнал дополнительного третьего канала для углов прихода радиоволны $\theta = 30^\circ$ и $\theta = 250^\circ$.

При угле прихода радиоволны $\theta = 30^\circ$ напряжение гасит изображение, соответствующее отрицательным волнам напряжений $u_1(t)$ и $u_2(t)$. Если угол составляет $\theta = 250^\circ$, то гасится изображение, соответствующее положительным волнам напряжений $u_1(t)$ и $u_2(t)$.

Таким образом, однозначный пеленг на индикаторе получается при использовании запирающего сигнала, получаемого при помощи ненаправленной антенны. Это было предложено в 1926 г. Ватсоном-Ваттом. Структурная схема радиопеленгатора, реализующего рассмотренный принцип, представлена на рис. 7.

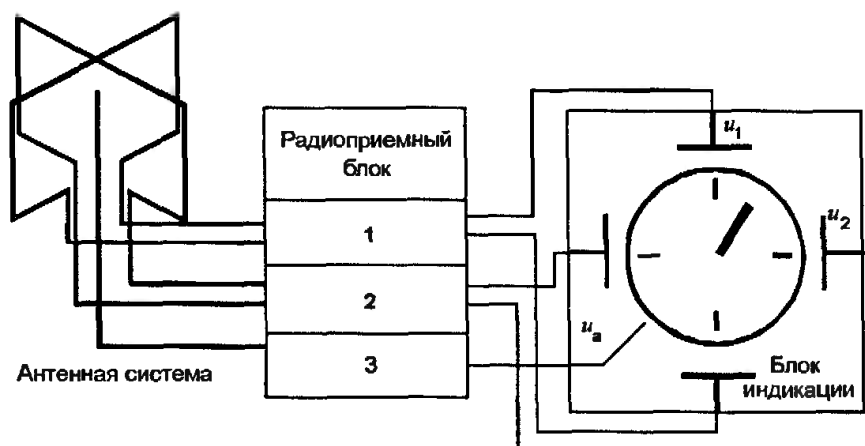


Рис. 7.

В диапазоне декаметровых волн пеленгатор с перекрещенными рамочными антеннами, особенно в ночное время, будет давать большие ошибки, вызванные приемом на горизонтальные части антенн отраженных от ионосферы крутопадающих радиоволн.

Если в качестве антенной системы использовать две пары идентичных противофазно соединенных вертикальных вибраторов с взаимно перпендикулярными базами, которые много меньше длины волны, то ДН такой системы будет идентична антенне с взаимно перпендикулярными рамками. Но антенная система со штырями обеспечивает меньшие ошибки пеленгования при наличии радиоволн, отраженных от ионосферы, по сравнению с рамочной антенной.

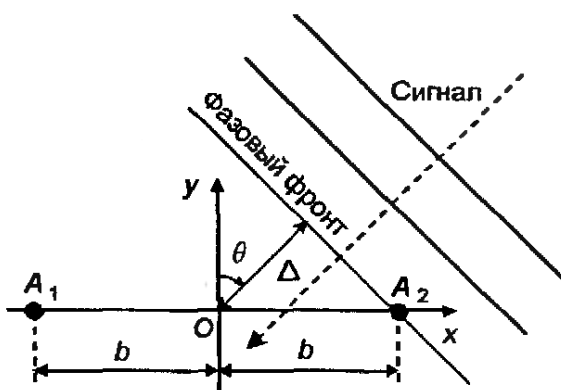


Рис. 8.

Пусть в двух точках плоскости A_1 и A_2 на расстоянии $2b$ друг от друга расположены одинаковые антенны (рис. 8). На антенны действует вертикально поляризованная волна, направление прихода которой в горизонтальной плоскости задается углом θ . Для простоты будем полагать, что угол β прихода в вертикальной плоскости равен нулю. Тогда напряжения на выходах антенн можно записать в виде

$$\begin{aligned} u_{A1}(t) &= U_0 \cos(\omega_0 t - \varphi_A), \\ u_{A2}(t) &= U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_A), \end{aligned} \quad (8)$$

где φ_A — фазовый сдвиг волны в точке A_1 по отношению к точке O или фазовый сдвиг в точке O по отношению к точке A_2 .

Включим антенны противофазно, тогда результирующее напряжение u_p на выходе будет

$$u_p = u_{A2} - u_{A1} = -2U_0 \sin \varphi_A \sin(\omega_0 t). \quad (9)$$

Сдвиг фаз φ_A определяется расстоянием Δ , как показано на рис. 8. Это расстояние волна пройдет за время

$$\tau_3 = \Delta/c, \quad (10)$$

где c — скорость света. Используя равенство

$$c = \omega\lambda/2\pi, \quad (11)$$

где λ — длина волны, получим

$$\tau_3 = 2\pi\Delta/\omega_0\lambda, \quad (12)$$

Тогда

$$\varphi_A = \omega_0\tau_3 = 2\pi\Delta/\lambda \quad (13)$$

В свою очередь, путь

$$\Delta = b \sin \theta. \quad (14)$$

Подставив (14) в (13), получим

$$\varphi_A = 2\pi b \sin \theta / \lambda. \quad (15)$$

Используя формулу (15), выражение для результирующего напряжения на выходе антенной пары запишем в виде

$$u_p = -2U_0 \sin(2\pi b \sin \theta / \lambda) \sin(\omega_0 t). \quad (16)$$

При малой базе между антеннами $b/\lambda \ll 1$ справедливо приближенное равенство

$$\sin(2\pi b \sin \theta / \lambda) \approx 2\pi b \sin \theta / \lambda \quad (17)$$

следовательно, (16) можно упростить:

$$u_p \approx U_p \sin \theta \sin(\omega_0 t). \quad (16)$$

где $U_p = -4U_0\pi b / \lambda$ — результирующая амплитуда напряжения на выходе антенной пары.

Таким образом, пеленгационная пара с малой базой, составленная из включенных противофазно элементов, будет иметь ДН виде восьмерки, такую же, как у рамочной антенны.

Антенная система из двух пеленгационных пар с взаимно перпендикулярными базами получила название антенны Эдкока. Пеленгатор Ватсона Ватта с антенной системой Эдкока по сравнению с пеленгатором с обычными рамочными антеннами имеет меньшие ошибки пеленгования, вызванным радиоволнами, отраженными от ионосферы.