



Подробнее о пеленгации и определении источников излучений читайте в материалах, опубликованных в печати, а также в разделе «Публикации» на нашем сайте http://rfcmd.ru/taxonomy_menu/2

6.10. Пеленгация и определение местоположения источников излучений

Операторы станций РК часто сталкиваются с трудностями определения истинного азимута, угла места и местоположения источника излучения. Причинами многих ошибок при выполнении задач пеленгации являются особенности распространения радиоволн разных диапазонов в каждом конкретном случае. Между тем, зная эти особенности, можно существенно повысить достоверность определения необходимых параметров местоположения излучающего средства.

На рис. 6.10 представлены основные типы траекторий, по которым могут прийти к пеленгатору сигналы исследуемого источника излучений; ниже даны пояснения к этому рисунку.

В настоящее время частотный диапазон, требующий наибольшего внимания службы РК, простирается от 300 кГц до 18 ГГц. Рассмотрим основные особенности распространения радиоволн в этом диапазоне частот.

В пределах прямой видимости (траектория 1, рис. 6.10) распространяются радиоволны любой частоты этого диапазона; однако либо из-за относительно малой мощности источника излучения, либо из-за больших потерь на трассе по разным причинам уровень сигнала у антенны станции РК может оказаться ниже чувствительности измерительной или пеленгационной систем, и задача станции может стать невыполнимой.

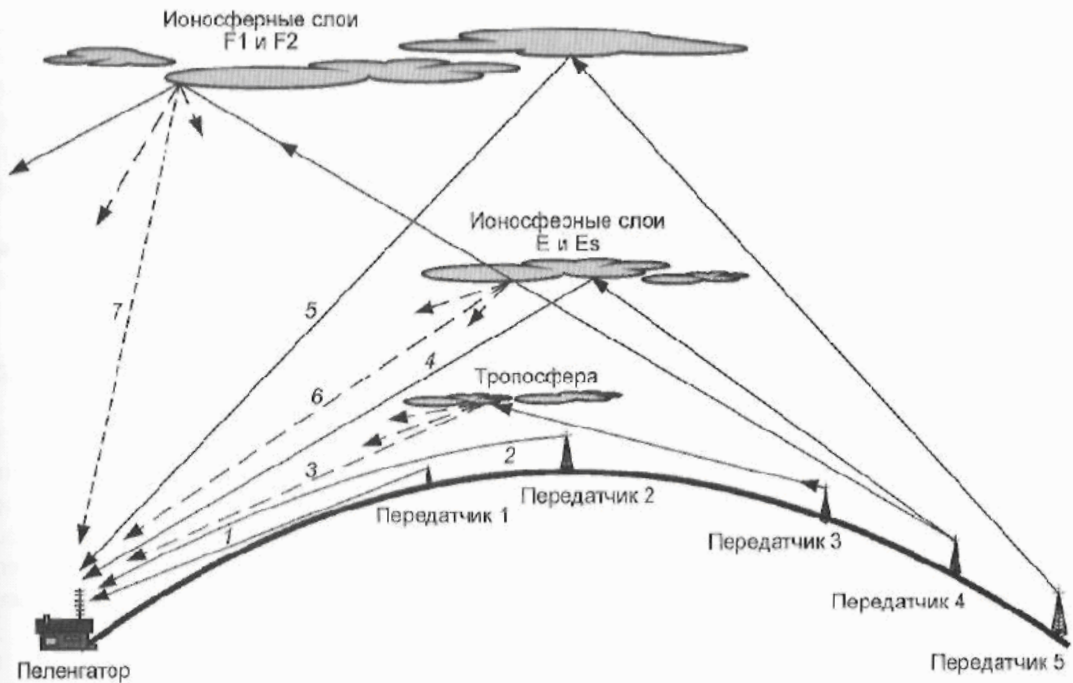


Рис. 6.10. Основные типы траекторий при распространении радиоволн НЧ-СВЧ диапазонов от передатчиков, расположенных на земной поверхности:

- 1 — траектория прямой видимости (имеет место на всех диапазонах);
- 2 — траектория с огибанием вокруг земли (в диапазонах НЧ-ВЧ — так называемая земная волна; в диапазонах ОВЧ-УВЧ с дифракцией за счет непостоянства с высотой коэффициента преломления воздуха);
- 3 — тропосферное рассеяние (в диапазонах ОВЧ-СВЧ);
- 4 — отражение от нижней ионосферы (в диапазонах СЧ-ОВЧ);
- 5 — отражение от верхней ионосферы (в диапазонах ВЧ и ОВЧ);
- 6 — рассеяние от нижней ионосферы (в диапазонах ВЧ-ОВЧ);
- 7 — рассеяние от верхней ионосферы (в диапазонах ВЧ-ОВЧ)

В диапазонах НЧ-ВЧ такой вид распространения часто называют земной волной. При этом, если земная волна может иметь приемлемый для работы станции уровень сигнала передатчика, удаленного не на одну сотню километров, то из-за возрастающих с ростом частоты потерь в подстилающей поверхности и частично ионизированной днем среде распространения предельно-допустимое расстояние уже на СЧ часто не превышает ста километров, а на ВЧ — нескольких десятков километров.

Траектория 2 демонстрирует явление огибания радиоволной земной поверхности (дифракция), играющее существенную роль на метровых и дециметровых волнах и позволяющее работать с загоризонтными источниками излучений.

Рассеянные на неоднородностях тропосферы ОВЧ/СВЧ сигналы могут быть приняты с расстояний в несколько сотен километров, однако уровень их, как правило, весьма мал.

При ионосферном распространении (высокочастотная часть полосы СЧ, вся полоса ВЧ и длинноволновая часть ОВЧ) возможен прием как отраженных от ионизированных слоев сигналов (траектории 4 и 5), так и рассеянных ионосферными неоднородностями (траектории 6 и 7).

Технология определения местоположения источника излучения имеет несколько разновидностей:

- метод триангуляции, состоящий в определении пеленгов с помощью двух (рис. 6.11) и более стационарных пеленгаторов (диапазоны НЧ–УВЧ — по земной волне и СЧ, ВЧ — по ионосферной волне) или с помощью одного мобильного пеленгатора, с которого необходимо определять пеленги на передатчик из нескольких мест приема (диапазоны НЧ–УВЧ — по земной волне);
- метод определения местоположения одной станцией (ОМОС — для диапазонов СЧ и ВЧ по ионосферной волне — рис. 6.12).

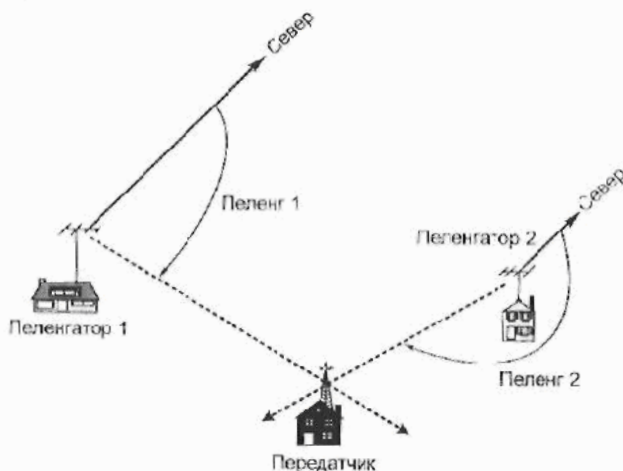


Рис. 6.11. Схема пеленгования с помощью двух стационарных пеленгаторов

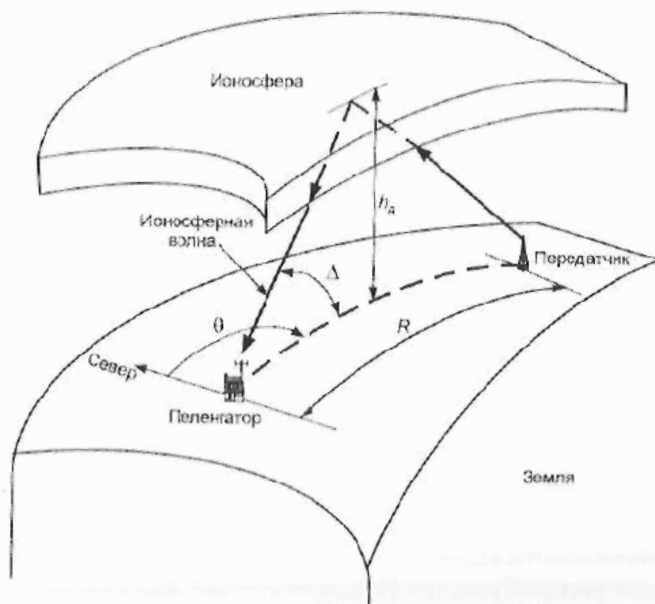


Рис. 6.12. К методу определения местоположения источника излучений одной станцией (ОМОС)

С целью уменьшения ошибки при определении пеленга на источник излучений оператору следует не только пользоваться численными выходными данными пеленгатора (азимут, напряженность поля и т.д.), но и уметь определять более тонкие характеристики исследуемого сигнала (скорость и глубину замираний, соотношение «зеркальной» и рассеянной составляющих, статистику параметров сигнала во времени и т.п.), т.е. уметь оценивать влияние природных и промышленных факторов на траекторию проходящей радиоволны.

В данном разделе рассмотрены эти особенности и даны рекомендации операторам станций РК по повышению надежности оценки пеленгов и местоопределения источников излучений.

6.10.1. Пеленгационные системы с фазовой задержкой

Такие системы широко распространены и требуют наличия по крайней мере двух приемных антенн. В общем случае в горизонтальной плоскости фронт волны, проходящий под некоторым углом к базовой линии между двумя антеннами (рис. 6.13), достигает одной антенны раньше, чем другой. Временное запаздывание прихода волны между антеннами позволяет получить разность фаз между выходными напряжениями с двух антенн, которая определяет направление прихода волны.

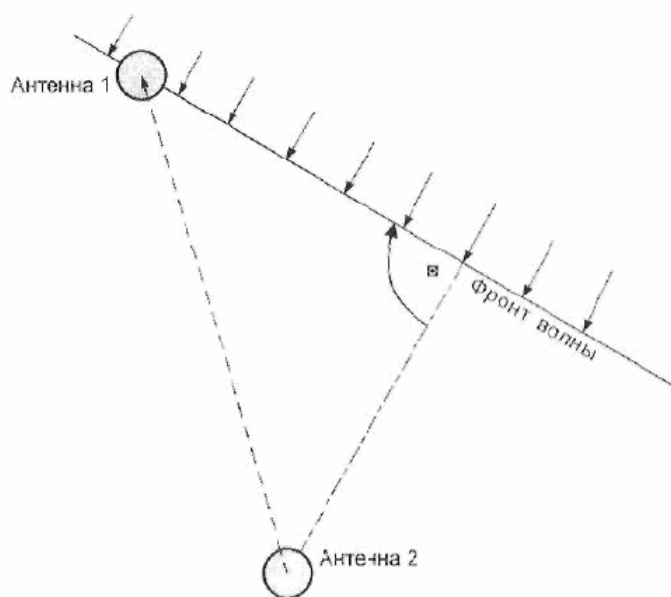


Рис. 6.13. Образование фазовой задержки между ЭДС двух антенн, разнесенных в пространстве

Если использовать только две антенны, то это даст неоднозначность направления прихода волны, так как такая же фазовая задержка на выходе антенны может быть получена с сигналом, проходящим с противоположного направления. Чтобы исключить эту неоднозначность, используется вторая пара антенн, установленная перпендикулярно к базовой линии первой пары. Сравнивая относительные фазы на выходах двух пар антенн, можно определить истинное направление прихода волны.

Однако процесс местоопределения источника излучения значительно сложнее, чем определение двух азимутов прихода волны от этого источника. Существует ряд эффектов, которые должен учитывать оператор пеленгатора. Эти эффекты могут привести к тому, что пеленгатор даст неправильные пеленги. Главными причинами возникновения этих эффектов является воздействие окружающей среды на радиоволны, приходящие от источника излучения. Такими причинами являются:

- поглощение энергии волны, проходящей близко к земной поверхности;
- переотражения радиоволн от проводящих предметов;
- рассеяние радиоволн от неоднородностей;
- дифракция радиоволн (преломление луча на препятствии и «засвечивание» полем сигнала территории в зоне радиотени);
- рефракция радиоволн (их искривление и преломление в атмосфере).

Использование пеленгатора в неоднородной среде, такой, например, как городская застройка, ставит ряд сложных проблем, с которыми часто сталкиваются операторы станций РК в ОВЧ/УВЧ диапазонах. Такие проблемы более подробно будут рассмотрены в следующих разделах. В ряде случаев эти проблемы не могут быть решены, и это ведет к невыполнению задач РК.

6.10.2. Влияние поглощения энергии волны, близкой к земной поверхности

Рассмотрим радиоволну в вертикальной плоскости, распространяющуюся параллельно земной поверхности. Часть волны, которая фактически контактирует с землей, взаимодействует с ней и объектами, расположенными на земной поверхности. Энергия этой «земной» волны вдоль трассы зависит от диэлектрической проницаемости подстилающей поверхности, которая намного больше, чем у воздуха.

Известно, что радиоволна распространяется через среду с высокой диэлектрической проницаемостью медленнее, чем через среду с низкой проницаемостью. В результате часть энергии сигнала, проходящая близко к земной поверхности, распространяется медленнее, чем та, которая проходит далеко от земной поверхности. Различие в скорости вызывает изгиб волнового фронта в области, примыкающей к земле, и фронт волны наклоняется вперед в направлении распространения. Вектор энергии в передней части радиоволны всегда перпендикулярен волновому фронту. Поэтому энергия в области волнового фронта, примыкающей к земле, распространяется к ней наклонно. Это означает, что значительная часть энергии волны, близко расположенной к земле, будет ею поглощена, у земной поверхности волна лишится части энергии. Следовательно, потери энергии для земной волны значительно больше, чем для волны, распространяющейся в свободном пространстве. В диапазоне частот ОВЧ/УВЧ этот эффект очень заметен. Интенсивность сигнала в точке, находящейся лишь на несколько метров выше поверхности земли, может быть заметно выше, чем в точках, расположенных на высоте менее 2 м над землей.

Пример действия этого эффекта на точность пеленга приведен на рис. 6.14. Здесь рассмотрен случай, когда на подвижный пеленгатор, движущийся вдоль трассы распространения, поступают две волны: ослабленная земная, идущая близко к земной поверхности и приходящая прямо от источника излучения, и более сильная, проходящая высоко над земной поверхностью и отраженная (перед тем как она принимается пеленгатором), например, от верхней части многоэтажного здания. Если оценивать азимут на источник излучения по более сильному сигналу отраженной от здания волны, то это может дать существенную ошибку.

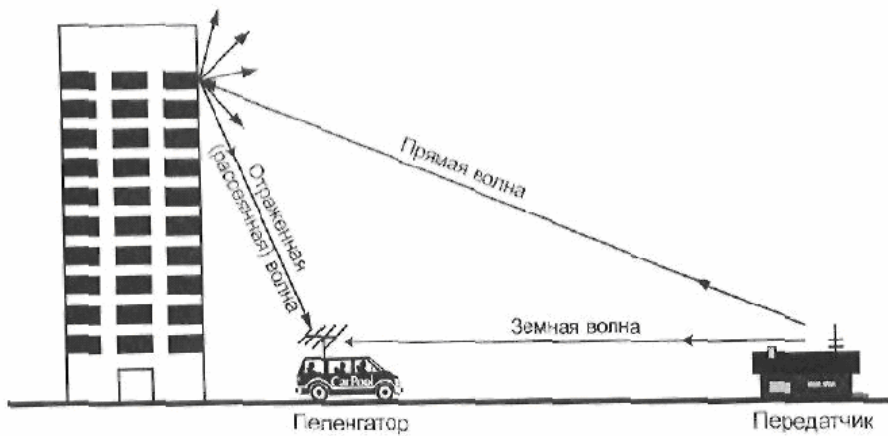


Рис. 6.14. Эффект ложного пеленга при ослабленной земной волне

6.10.3. Ложные пеленги при отражении и рассеянии радиоволн

С идеальными отражениями радиозолн на практике, особенно в городах, в диапазонах ОВЧ/УВЧ сталкиваются редко. Такие отражения могут иметь место лишь в тех случаях, когда размер объекта, на который падает волна, велик по сравнению с длиной волны, а объект имеет однородную поверхность. Таким объектом может быть также протяженная стена с архитектурными выступами и углублениями, размеры которых малы по сравнению с длиной волны. Отражение радиоволны, близкое к идеальному, может произойти от боковой металлической или железобетонной стены здания без окон, металлического ангара и т.п.

В большинстве же практических случаев при падении радиоволны на различные сооружения, неровности рельефа местности и т.п. происходит рассеяние энергии волны по многим направлениям. При этом условия пеленгования могут дополнительно осложняться тем, что прямая волна от источника излучения является слабой (см. рис. 6.14) или совсем отсутствует (рис. 6.15).

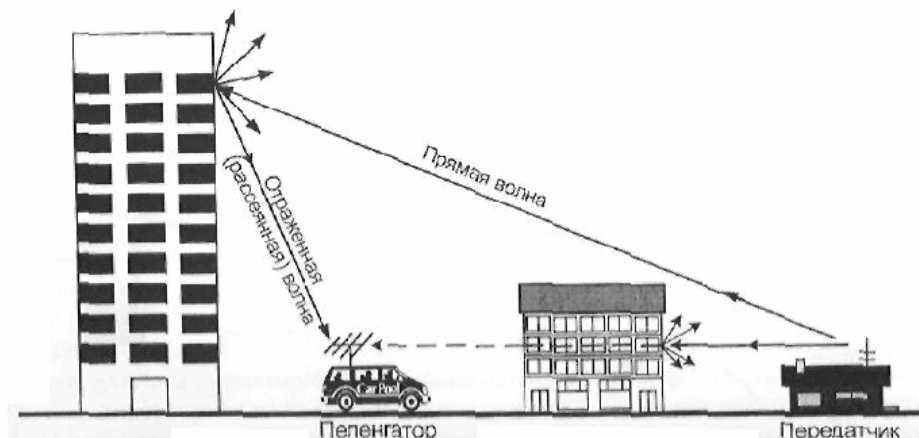


Рис. 6.15. Ложный пеленг в зоне радиотени

При многолучевости в месте установки антенны пеленгатора энергия радиосигнала от источника излучения приходит к ней по нескольким траекториям. Одна из них может быть прямой, т.е. прямо от передающей антенны к антенне пеленгатора. Возможен и такой вариант, когда прямая траектория вообще отсутствует, а энергия сигнала (рассеянная или отраженная) достигает антенны пеленгатора двумя или более путями. В каждом частном случае в антенне пеленгатора наводится суммарный ток сигнала от каждой составляющей в соответствии с принципом суперпозиции. Уровень сигнала на выходе антенны, являющегося суммой составляющих, фаза каждой из которых изменяется случайным образом, может испытывать значительные флуктуации. Так, например, перемещение антенны при изменении положения мобильной станции (даже на несколько десятков сантиметров) вызывает изменения фаз этих составляющих и может привести к весьма заметному и быстрому изменению интенсивности сигнала и, как следствие, к ошибкам пеленга.

6.10.4. Ошибка пеленга из-за береговой рефракции

На трассе «море–суша» резко меняется проводимость подстилающей поверхности, и происходят изменение наклона фронта волны и соответственно приращение фазы радиоволны. Когда радиоволна распространяется не перпендикулярно к линии берега, приращение фазы происходит не одновременно во всех точках фронта волны. В результате при переходе волны с моря на сушу фазовая скорость в разных точках фронта волны уменьшается неодновременно, и линия равных фаз электромагнитной волны искажается.

Результаты исследований [5] показали, что в случае, если сигнал приходит к берегу под углом θ , отличным от прямого (рис. 6.16), траектория луча от источника излучения до пеленгатора испытывает искривление на угол $\Delta\theta$. Поэтому кажущийся пеленг на источник излучения с берега отличается от истинного, т.е. пеленгация источника излучений осуществляется с некоторой ошибкой. Следует отметить, что береговой эффект сильно проявляется на частотах СЧ диапазона и ниже. На ВЧ он проявляется слабо мало, а на частотах выше 30 МГц вовсе отсутствует.

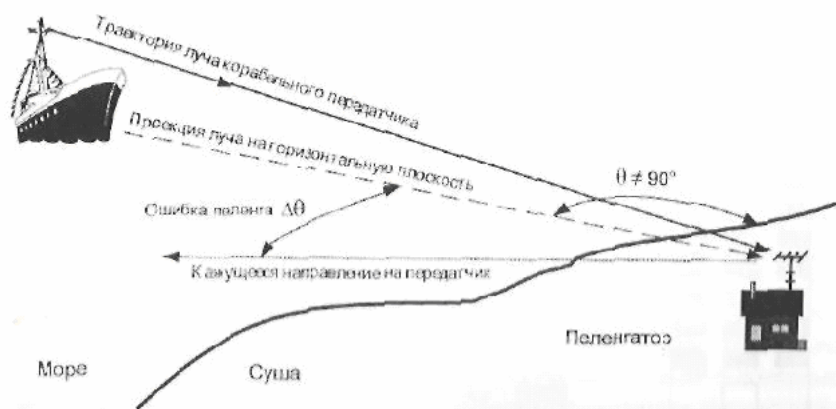


Рис. 6.16. Ошибка пеленга на трассе «море–суша» при приеме сигнала по отношению к береговой черте под углом, отличным от прямого

6.10.5. Влияние растительности на точность отсчета пеленга

Явления изгибания фронта земной волны могут происходить не только из-за рассмотренных выше эффектов перепада диэлектрической проницаемости почвы и потери энергии сигнала, но и из-за наличия в данной местности зарослей кустарника или деревьев. Если пеленгатор находится в местности с неравномерно расположенной растительностью, то это также может приводить к ошибке пеленга. Поэтому рекомендуется выбирать площадку для установки антенны пеленгатора по возможности в местности с однородной окружающей средой, лучше всего — на склоне холма, на котором в направлении ожидаемого прихода сигнала отсутствуют деревья и кусты.

6.10.6. Понятие апертуры антенны

Апертура антенны — это характеристика поглощающей способности приемной антенны по отношению к принимаемому сигналу. Если говорят, что апертура антенны составляет 1 м^2 , то это означает, что антенна поглощает (принимает) количество энергии, эквивалентное той части приходящей к пункту приема энергии сигнала, которое проходит через «окно» площадью в 1 м^2 , расположенное непосредственно у приемной станции. Следует обратить внимание, что это понятие не относится к каким-либо физическим размерам антенны.

Рассмотрим свойства большой по сравнению с длиной волны антенны, работающей в условиях многолучевости. Одним из примеров таких антенн является директорная антенна, имеющая несколько директоров и называемая также либо антенной типа «волновой канал», либо по имени ее изобретателей — антенной Уда-Яги.

Линейный размер этой антенны, если смотреть вдоль ее оси в направлении главного лепестка, не превышает размеров одиночного диполя. Однако апертура ее значительно больше, чем у диполя. Это объясняется следующим образом. Если фронт приходящей волны перпендикулярен оси директорной антенны, волна взаимодействует с элементами антенны (директорами), что вызывает уменьшение фазовой скорости волны. Поэтому директорную антенну можно назвать замедляющей структурой. При этом та часть фронта волны, которая примыкает к директорам, отстает по фазе от той части, которая удалена от оси антенны. Это создает изгиб фронта волны, форма которого становится похожей на часть сферы, обращенной открытой частью к директорам, что приводит к переносу энергии сигнала с периферии антенны к ее оси, поскольку волновой вектор всегда перпендикулярен фронту волны. Таким образом, энергия перераспределяется и течет к директорам из областей, удаленных от оси антенны, тем самым увеличивая ее апертуру. Следовательно, директорная антенна обладает способностью поглощать энергию сигнала с большой площади фронта волны, перпендикулярного ее оси.

Рассмотрим теперь поведение антенны в условиях многолучевости, когда к приемной антенне приходят несколько составляющих сигнала с разных направлений. При перемещении антенны по азимуту может случиться, что одна из составляющих многолучевого сигнала будет приходить по направлению оси антенны, играя в суммарном токе антенны преобладающую роль по сравнению с составляющими, приходящими с других направлений. Это может вызвать большую ошибку пеленга, поэтому, за исключением некоторых специальных случаев, длинная директорная антенна не используется в мобильных пеленгаторах.

Короткая директорная антенна (число директоров 1–3) может обеспечить необходимым усилением пеленгатор и приблизительно определять пеленг по преобладающей компоненте. Однако она не в состоянии выделить более слабые сигналы других составляющих и дать значения их пеленгов.

Известен способ получения большой апертуры для пеленгации при работе с пеленгационной антенной малой апертуры — способ так называемой искусственной апертуры. Он заключается в перемещении антенны в пространстве с измерением пеленга наиболее сильной составляющей сигнала в ряде точек на пути следования. Размер такой апертуры равен расстоянию перемещения антенны. Этим методом нельзя определить точный пеленг на источник излучения в каждой точке измерений (рис. 6.17), но в динамике он дает неплохие результаты.

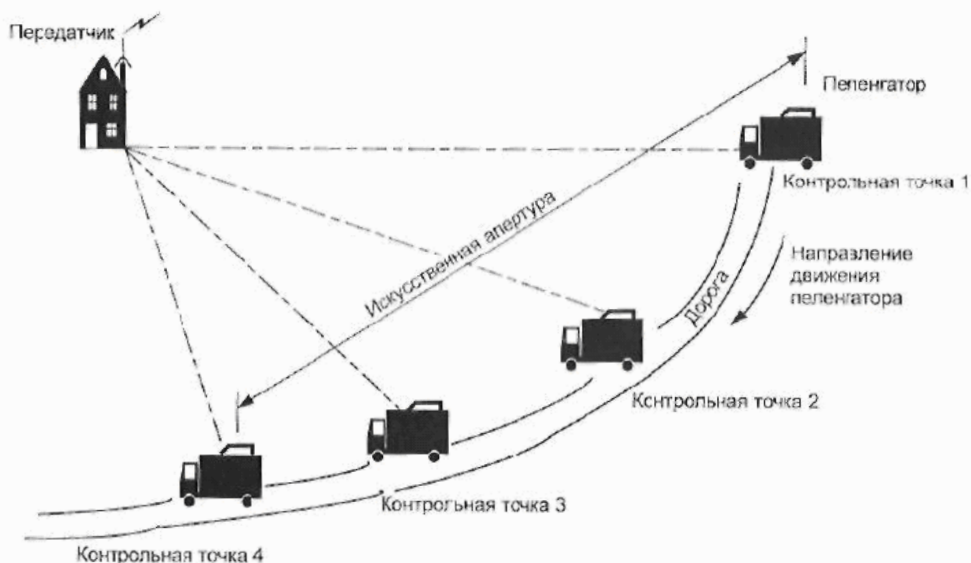


Рис. 6.17. К понятию искусственной апертуры

Пеленгационная антенна мобильной станции РК имеет, как правило, относительно небольшую апертуру в стационарном режиме. Поэтому она очень чувствительна к локальным значениям фазы искаженного фронта приходящей волны.

В случае передвижения в условиях многолучевости станция РК может дать довольно широкий разброс мгновенных значений измеренного пеленга. При остановке мобильной станции скорее всего измеренный пеленг будет неправильным.

С помощью пеленгационной антенны можно создать искусственную апертуру двумя способами. Первый способ заключается в том, что, используя специальное электронное оборудование на станции и измеренные значения пеленгов на остановках мобильной станции, в пределах размера искусственной апертуры (см. рис. 6.17) можно рассчитать усредненный пеленг. Однако процесс определения пеленга при этом занимает много времени, так что получить достоверный пеленг при малом времени работы передатчика не представляется возможным. Если имеется возможность отсчет пеленга в контрольных точках в пределах расстояния искусственной апертуры брать в движении, то это значительно сокращает время определения местоположения.

Второй способ основан на способности оператора по совокупности мгновенных отсчетов пеленга на дисплее движущегося пеленгатора выбрать наиболее часто повторяющееся значение.

6.10.7. Требования к площадке для пеленгатора

При выборе места для размещения пеленгатора последний следует располагать на приподнятом и свободном от застройки и густой растительности месте. Проводимость почвы по возможности на всей площадке должна быть высокой и приблизительно одинаковой. Для того чтобы на площадке мог быть размещен пеленгатор, на ней должны отсутствовать:

- массивные электропроводящие конструкции, такие, как линии электропередачи, телефонные линии, громоздкие антенны;
- сети подземных трубопроводов и коммуникаций;
- проволочные ограждения, высокие здания, мосты;
- железнодорожные линии, водонапорные башни, фабричные трубы;
- высокие деревья, реки, каналы, озера, береговая линия моря.

Кроме того, для размещения пеленгатора непригодны следующие места:

- горные долины и подножия холмов;
- места по соседству с высокими утесами или глубокими ущельями;
- места с резкими изменениями электрических свойств почвы;
- скалы или обнажения горных пород.

Следует отметить, что на точность определения параметров местоположения источника излучения мобильным пеленгатором заметное влияние оказывают и металлические детали кузова станции. При определении пеленга ошибка зависит от направления прихода сигнала по отношению к станции, т.е. от расположения кузова машины относительно направления прихода луча. В современных пеленгаторах эта ошибка корректируется введением в программу вычисления азимута специальной поправки.

6.10.8. Основные системы пеленгаторов

Функционально любой пеленгатор состоит из антенны, приемного оборудования и процессора определения направления.

Основные параметры и свойства пеленгатора следующие:

- точность определения азимута;
- чувствительность;
- помехозащищенность;
- быстрота получения результата.

Антенные системы пеленгаторов. В диапазонах СЧ–ОВЧ антенные системы состоят из элементарных антенн — рамочных и разного рода вибраторов: симметричных и несимметричных, полуволновых и более коротких, горизонтальных и вертикальных.

Обычно используют вертикальное расположение рамочной антенны, которая работает эффективно на частотах до 30 МГц, и вертикальные вибраторы разного рода.

Пеленгаторы СЧ/ВЧ диапазона должны принимать сигналы с вертикальными углами наклона в диапазоне по крайней мере от 0° до 70° , поэтому для получения соответствующих диаграмм направленности (ДН) в вертикальной плоскости антенны располагают вблизи земной поверхности.

В вертикальной плоскости ДН рамочной антенны и вертикального вибратора весьма схожи. Единственное их различие состоит в том, что рамочная антенна может принимать сигналы под углами наклона до 90° , тогда как вертикальный вибратор имеет провал на уг-

лах вблизи 90° . В горизонтальной плоскости вибратор имеет круговую ДН, тогда как у рамочной антенны ДН — «восьмерка». Поэтому для выполнения условий приема на рамочную антенну в пределах 360° приходится использовать две перекрещенные «рамки» с соответствующим схемным дополнением — усилителем, работающим на кабель, и фазовращающим устройством, позволяющим принимать раздельно волны с правосторонней и левосторонней поляризацией, на которые расщепляется волна, прошедшая через ионосферу.

Антенные системы ОВЧ/УВЧ пеленгаторов обычно состоят из вертикальных полуволновых симметричных вибраторов, расположенных на высоте над землей в несколько длин волны. Этим достигается уменьшение влияния на ДН антенны местных предметов и земной поверхности. Кроме того, ДН такой антенны в вертикальной плоскости должна быть достаточно широкой, чтобы охватить весь сектор углов прихода сигналов.

Поскольку полуволновый вибратор обладает резонансными свойствами и, следовательно, конечной полосой пропускания, то для перекрытия требуемого диапазона частот антенные системы часто проектируют из нескольких блоков, каждый из которых охватывает один из поддиапазонов полной полосы рабочих частот пеленгатора.

В пеленгаторах для определения направления используют в основном два метода обработки принимаемых сигналов — амплитудный и фазовый.

Дадим краткое описание четырех основных типов пеленгаторов, которые широко применяются на практике.

Первый тип пеленгатора использует амплитудный метод обработки принимаемого сигнала и имеет специальную антенну, ДН которой сформирована таким образом, что она имеет глубокий минимум в определенном направлении. Применение такой антенны позволяет существенно повысить точность пеленгации. Простейший вариант такого пеленгатора состоит из приемника и специальной рамочной антенны. Поскольку рамка не дает однозначности при определении направления на источник излучений, то на рис. 6.18 показан способ определения местоположения передатчика путем трехкратного замера пеленга из разных точек, а на рис. 6.19 — принцип взаимодействия мобильного и стационарного пеленгаторов.

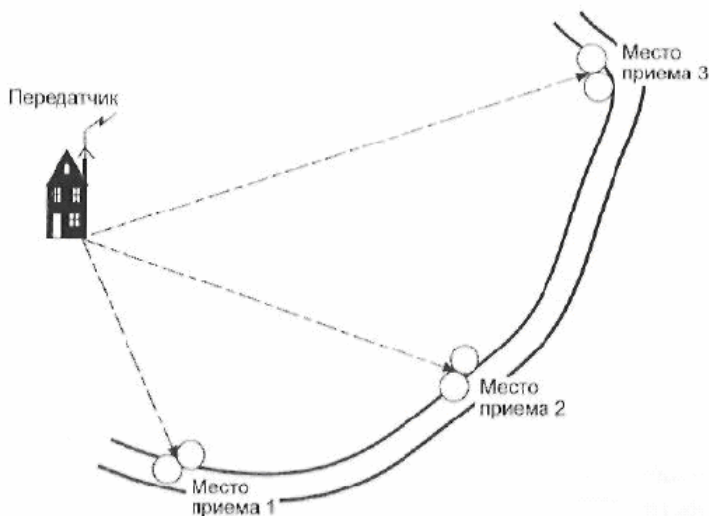


Рис. 6.18. Местоопределение источника излучений с помощью рамочной антенны

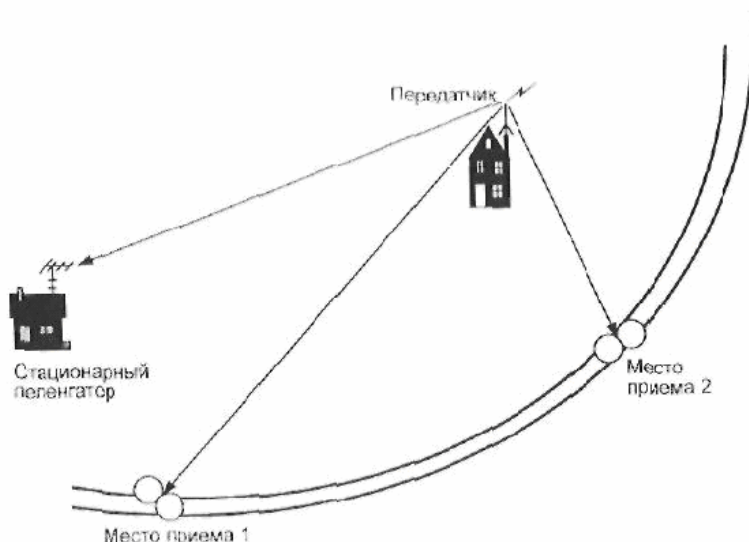


Рис. 6.19. Совместная работа стационарного пеленгатора и мобильной станции или носимого пеленгатора с рамочной антенной

С целью исключения неоднозначности отсчета пеленга на передатчик можно использовать комбинацию рамочной антенны и вертикального несимметричного вибратора (штыря). При этом диаграмма направленности имеет форму кардиоиды с одним ярко выраженным минимумом. Хотя подобного рода пеленгаторы не обладают высокими характеристиками, без них вряд ли можно обойтись при работе земной волной.

В диапазоне свыше 30 МГц в простейшем пеленгаторе можно использовать различные антенны, например директорную.

Плавное вращение на 360° острой ДН можно осуществить электронным путем при неподвижных антеннах. Для этого применяют антенную систему из расположенных по окружности n вертикальных антенн. Принцип образования и вращения ДН в круговой антенной системе (рис. 6.20) заключается в следующем. Из n антенн системы берется m антенн, которые образуют пеленгаторную группу. В сигнальные цепи этих антенн при помощи антенного коммутатора вводят цепи такой временной задержки, чтобы уравнять фазы ЭДС антенн группы в направлении OO' и как бы привести антенны к точкам на прямой AA_1 [5]. Центральной линией OO' антенны группы делятся на две подгруппы. Складывая ЭДС антенн правой и левой подгрупп, формируют антенну с суммарной ДН, на выходе которой действует напряжение U_1 . Вычитая эти ЭДС, формируют антенну с разностной ДН, на выходе которой действует напряжение U_2 . Эти ДН показаны на рис. 6.20 соответственно сплошной и штриховой линиями.

При повороте подвижной части антенного коммутатора изменяются задержки в антенных цепях, и сами антенны переключаются таким образом, что центр прямой AA_1 поворачивается синхронно с поворотом коммутатора по внутренней пунктирной окружности, причем линия антенн занимает положения BB_1 , CC_1 и т.д. Когда линия антенн перпендикулярна направлению на передатчик, получается максимальное напряжение по суммарной диаграмме направленности и минимальное по разностной.

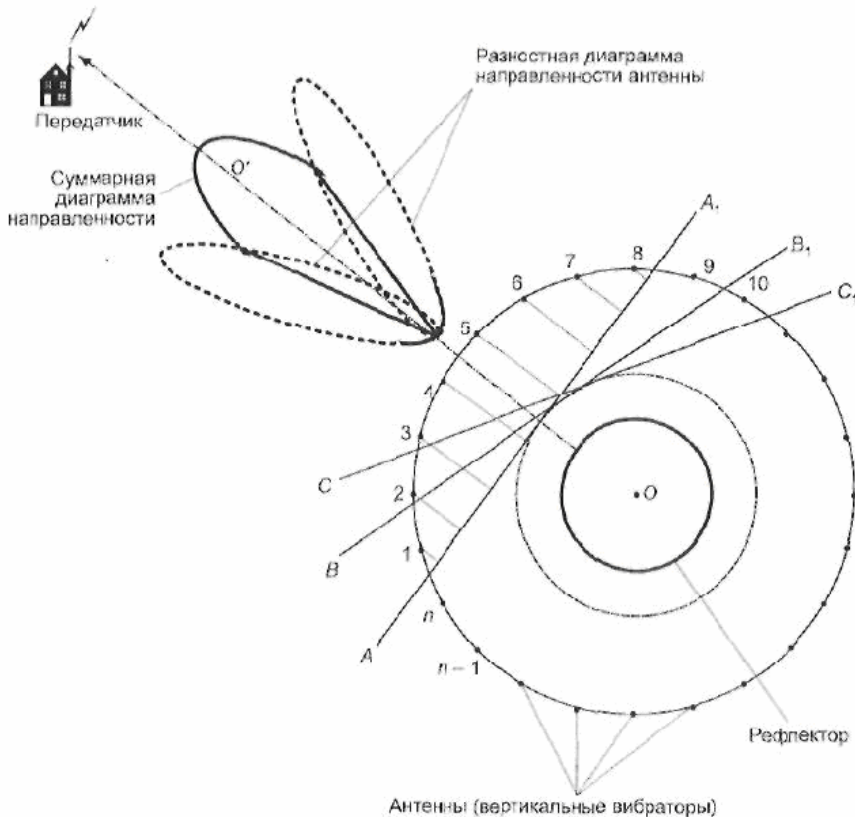


Рис. 6.20. Принцип использования круговой антенной системы

На рис. 6.21 приведена схема антенного коммутатора, который состоит из статора и ротора. Они имеют параллельные пластины, служащие для создания емкостной связи между ними. К пластинам статора подключены антенны, к пластинам ротора монтируются цепи временных задержек, состоящие из сосредоточенных элементов L и C или из отрезков кабеля. Ротор имеет две симметричные половины, служащие для создания двух половин группы антенн.

Пеленгование заключается в отыскании максимума уровня сигнала на выходе антенны с суммарной ДН или минимума уровня сигнала на выходе антенны с разностной ДН. Угол, указанный на шкале антенного коммутатора, соответствует азимуту на источник излучения.

Второй тип пеленгатора представляет собой пеленгатор Ватсона–Ватта. В этом пеленгаторе поле передатчика в пункте приема воздействует на две перпендикулярные друг другу антенны, отношение выходных напряжений которых близко к значению тангенса измеряемого азимута на передатчик (рис. 6.22).

Первоначально применяли перекрещенные рамочные антенны, которые давали выходные напряжения, пропорциональные соответственно синусу и косинусу азимута на передатчик. Это делало довольно простым определение тангенса азимута и, следовательно, пеленга. Оба сигнала после прохождения двух каналов (U_1 и U_2) подаются на отклоняющие пластины электроннолучевой трубки. Если фазовые и амплитудные характеристики каналов одинаковы, то след луча на экране будет прямой линией с углом наклона, равным отношению напряжений с выходов двух антенн, что, как было сказано, дает возможность легко определить пеленг.

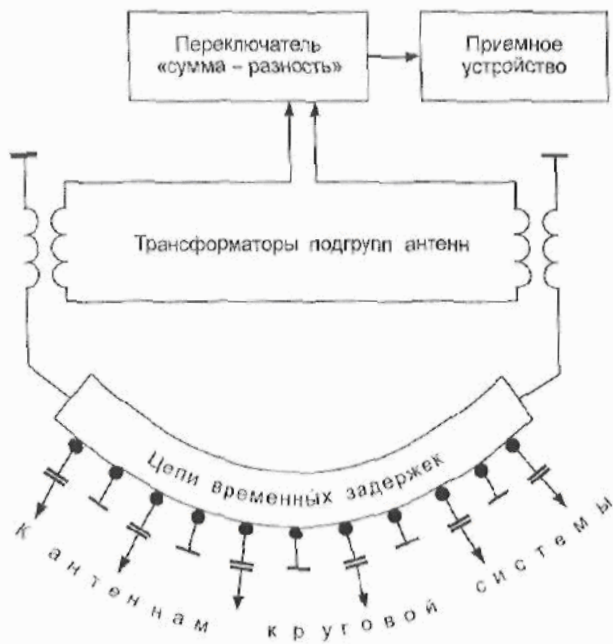


Рис. 6.21. Схема антенного коммутатора для круговой антенной системы

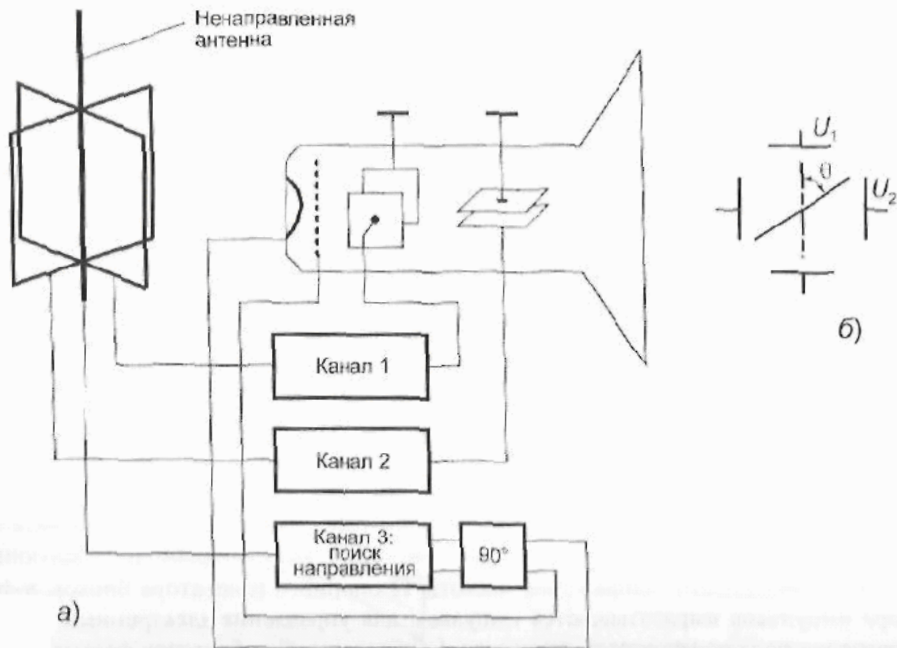


Рис. 6.22. Структурная схема пеленгатора Ватсона-Ватта с перекрещенными рамочными антеннами (а) и линия пеленга на экране (б)

Достоинством таких пеленгаторов является быстрое определение пеленга, главный недостаток — малая апертура антенной системы, поскольку для достижения требуемой точности необходимо, чтобы диаметр антенной системы не превышал одной длины волны.

В *третьем типе пеленгатора* для определения направления на источник излучения используют эффект Доплера, возникающий при вращении его ненаправленной антенны вокруг центральной точки. На выходе такой антенны сигнал от источника излучения оказывается модулированным по фазе, в которой содержится информация о пеленге на передатчик. Модуляция возникает за счет того, что, согласно эффекту Доплера, мгновенное значение частоты сигнала, принятого на вращающуюся антенну пеленгатора, повышается, когда она приближается к направлению на передатчики, и понижается, когда она удаляется от этого направления, поскольку скорость вращения антенны геометрически складывается со скоростью распространения сигнала.

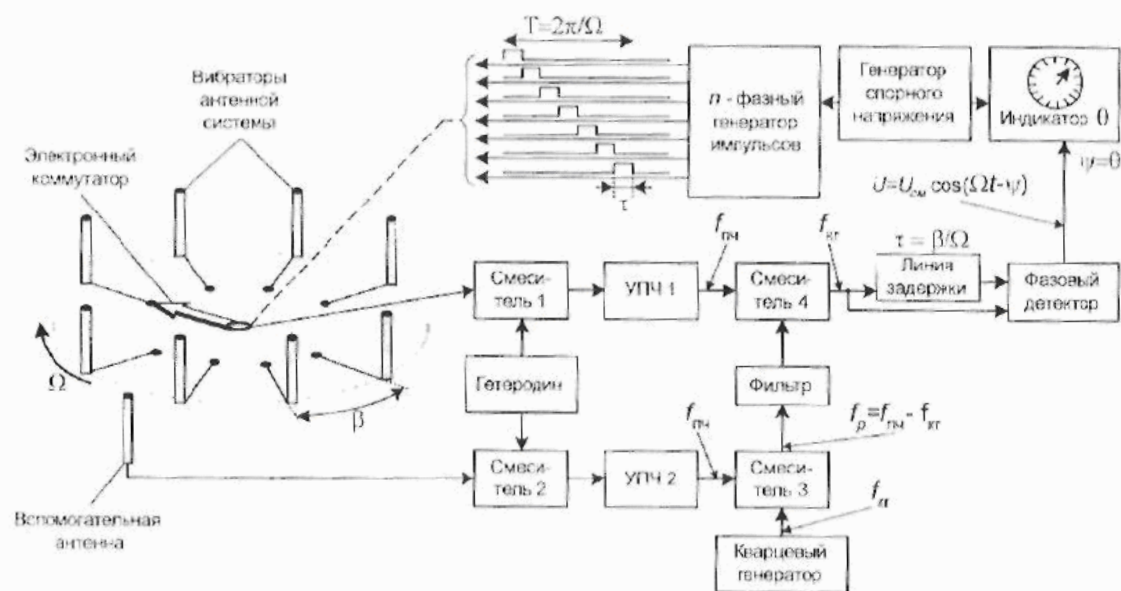


Рис. 6.23. Упрощенная функциональная схема автоматического радиопеленгатора с использованием эффекта Доплера

Искомое значение пеленга выдается аппаратурой после демодуляции сигнала и сравнения его по фазе с эталонным сигналом поворота антенны в горизонтальной плоскости.

Поскольку механическое вращение антенны с достаточно высокой скоростью невозможно, то для обеспечения требуемых скоростных характеристик пеленгатора эффект, эквивалентный ее вращению, достигается циклическим переключением 16 или 32 вибраторов, равномерно распределенных по окружности.

Примером реализации аппаратуры этого типа может служить схема автоматического дифференциально-фазового радиопеленгатора (рис. 6.23), который работает следующим образом. Из синусоидального напряжения частоты Ω опорного генератора блоком n-фазного генератора импульсов вырабатываются импульсы для управления электронным коммутатором, поочередно подключающим к смесителю 1 вибраторы. С вибраторов фазомодулированное напряжение и сигнал от вспомогательной антенны, расположенной в центре антенной системы, поступают на двухканальную схему, состоящую из идентичных смесителей и УПЧ.

Напряжение ПЧ канала вспомогательной антенны и напряжение кварцевого генератора частоты $f_{кв}$ воздействуют на смеситель 3, с выхода которого напряжение разностной частоты подается через фильтр на смеситель 4, на который со смесителя 1 канала фазомодулированных сигналов также подается напряжение ПЧ; на выходе смесителя 1 формируется напряжение частоты $f_{кв}$, фаза которого модулирована частотой вращения антенной системы Ω . Это напряжение подается на фазовый детектор как непосредственно, так и через линию задержки.

В фазовом детекторе выделяется напряжение частоты Ω , фаза которого соответствует азимуту на пеленгуемый передатчик. Это напряжение подается на индикатор, где в результате его взаимодействия с опорным напряжением регистрируется пеленг θ .

Более подробно работа такого пеленгатора описана в монографии [6]. Он имеет следующие достоинства:

- широкая апертура;
- возможность использования стандартных приемников, к которым не предъявляются требования по идентичности каналов,

и недостатки:

- необходимость использования малогабаритных вибраторов для предотвращения взаимного влияния их друг на друга (снижение точности пеленгования);
- громоздкость конструкции.

При организации системы РК на местах и закупке оборудования потребуется оценить эффективность и оптимальность аппаратуры разных типов; в этом должны помочь перечни достоинств и недостатков пеленгаторов различных типов.

Четвертый тип пеленгатора, называемый интерферометрическим, для определения направления на источник излучения использует измерения разности фаз $\delta\Phi_{12}$ между сигналами, принятыми от пеленгуемого источника двумя расположенными достаточно близко друг от друга антеннами 1 и 2 (рис. 6.24).

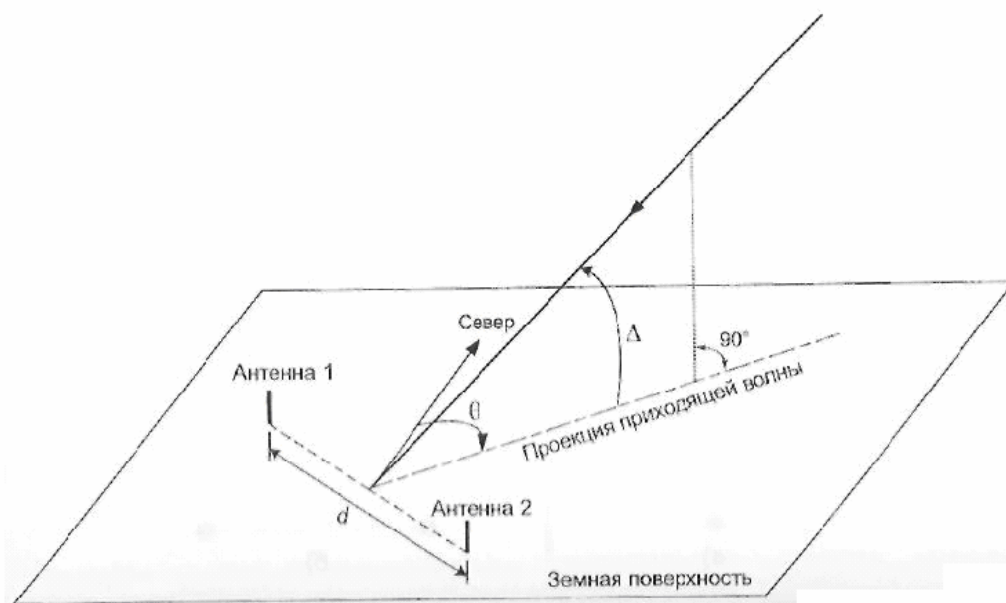


Рис. 6.24. К расчету разности фаз выходных напряжений антенн 1 и 2

Измеренная разность фаз

$$\delta\Phi_{12} = \frac{2\pi d(\sin\theta \cos\Delta)}{\lambda} + 2\pi k,$$

где θ — азимут; Δ — угол возвышения; d — расстояние между антеннами 1 и 2; λ — длина волны; k — произвольное целое число.

Для исключения неопределенности в измерении θ и Δ необходима третья антенна.

В широкополосном интерферометре для сокращения времени счета использован метод быстрого преобразования Фурье (рис. 6.25). Преобразование Фурье производит частотно-временную конверсию и сохраняет на каждом цикле анализа информацию о зависимости разности фаз от времени между каналами.



Рис. 6.25. Структурная схема широкополосного фазового интерферометра

Для такого пеленгатора можно использовать антенные системы как с малой (рис. 6.26), так и с широкой (рис. 6.27) апертурой, но для всенаправленной пеленгации при этом требуется антенная решетка, состоящая как минимум из пяти элементов, например симметричных вибраторов (рис. 6.28) или перекрещенных рамок (рис. 6.29).

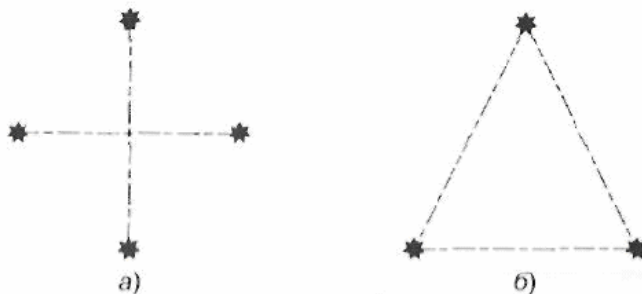


Рис. 6.26. Структуры антенн с малой апертурой для однозначного пеленгования:
 а — квадратная структура $d/\lambda \approx 2\sqrt{2}$; б — треугольная структура $d/\lambda \approx 1\sqrt{3}$

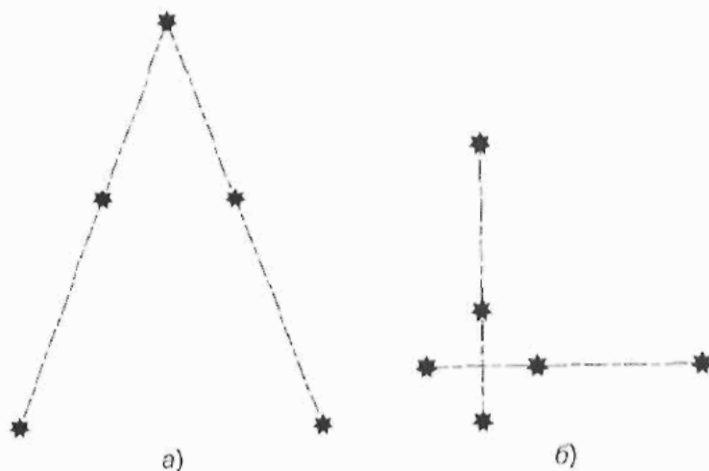


Рис. 6.27. Структуры антенн решеток с широкой апертурой ($d/\lambda > 1$)

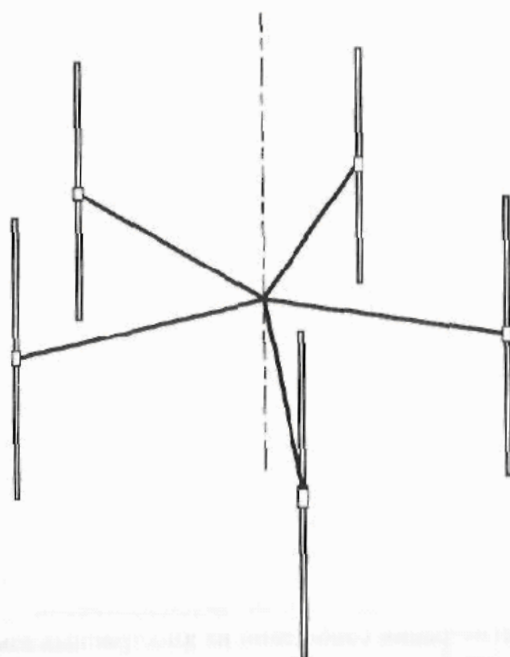


Рис. 6.28. Схема одного этапа ОВЧ/УВЧ пеленгационной антенны фирмы Thomson-CSF из пяти вертикальных симметричных вибраторов

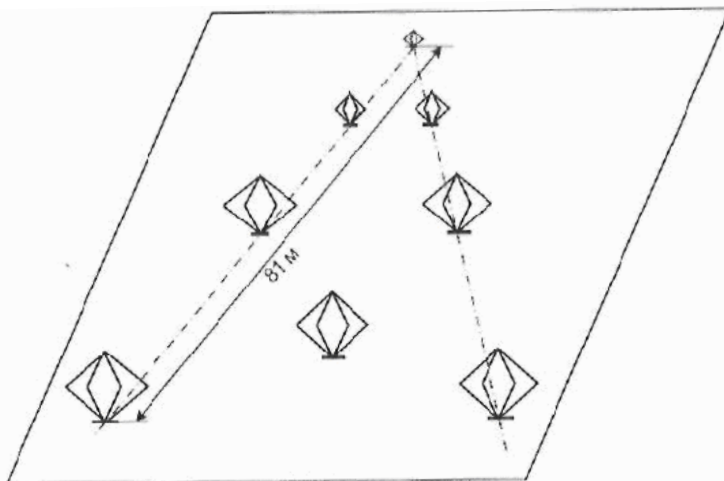


Рис. 6.29. Антенная система инферометрического СЧ/ВЧ пеленгатора фирмы Thomson-CSF, состоящая из перекрещенных рамочных антенн

Пеленгатор имеет следующие достоинства:

- высокая скорость пеленгования;
- возможность работы антенной системы, имеющей большую апертуру, без ограничения высоты подвеса;
- адаптируемость антенной структуры для работы с различными транспортными средствами,

и недостатки:

- необходимость нескольких идентичных высокостабильных каналов приема;
- высокие требования к отсутствию местных предметов на антенном поле.