

## ЛОКАЛИЗАЦИЯ МОБИЛЬНОЙ РАДИОКОНТРОЛЬНОЙ СТАНЦИЕЙ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ С УЧЕТОМ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ (МАТЕРИАЛ ДЛЯ НОВОЙ РЕДАКЦИИ СПРАВОЧНИКА МСЭ ПО РАДИОКОНТРОЛЮ)

### Особенности пеленгования в городских условиях

Определение местоположения источника радиоизлучения (ИРИ) мобильным пеленгатором в городских условиях является нетривиальной задачей, поскольку в условиях города принимаемый пеленгатором радиосигнал всегда является результатом сложения многих случайных компонентов, обусловленных отражением от местных предметов: неровностей рельефа, сооружений из разных строительных материалов, линий электропередач, автомобилей и других объектов, а также дифракцией. Так как эти компоненты имеют случайные амплитуды и фазы, то суммарное поле также будет случайно меняться. При движении станции наблюдается изменяющаяся интерференционная картина, когда уровень принимаемого сигнала меняется относительно некоторого среднего значения. Также задача усложняется тем, что в большинстве случаев в условиях города между пеленгуемым источником и мобильным пеленгатором нет прямой видимости.

Таким образом, пеленгование источника радиоизлучения в условиях города сопряжено с серьезными трудностями, вызванными многолучевым распространением сигнала и возможным отсутствием прямой видимости, а получение надежной оценки координат источника невозможно без применения методов статистической обработки результатов пеленгования [1].

В одиночных мобильных станциях для определения местоположения источников используется несколько методов:

- метод привода;
- квазистационарный метод;
- метод вычисления координат источников в движении.

Кроме того, возможен комбинированный метод, когда используются два или три перечисленных метода.

**Метод привода** основан на движении мобильного пеленгатора в зону расположения источника радиоизлучения по направлению пеленга. С уменьшением расстояния до источника увеличивается амплитуда пеленгуемого сигнала, что служит дополнительным признаком движения пеленгатора в правильном направлении.

При использовании метода привода обычно используется одноканальный режим пеленгования источника. Окно программы [2, 3, 4] управления аппаратурой в режиме одноканального пеленгования при поиске ИРИ по методу привода показано на рисунке 1. В программе имеются средства, облегчающие оператору использование метода привода. Это графики истории амплитуд (расположен слева вверху) и истории пеленгов (расположен правее). Графики историй имеют общую ординату, на которой выводится время. Абсциссой графика истории амплитуд служит уровень пеленгуемого сигнала в децибелах, а абсциссой истории значений пеленгов - значение пеленга в градусах. Графики истории позволяют проследить во времени динамику изменения значений амплитуды сигнала и пеленгов. Кроме того, на лимбе вместе с мгновенными значениями пеленга отображается кривая плотности распределения пеленгов по направлению (гистограмма пеленгов), максимум которой соответствует направлению наиболее вероятного прихода пеленгов. Изменение направления максимума кривой распределения пеленгов фиксируется на графике истории пеленгов. В условиях сильной интерференции, угловое значение максимума показывает предпочтительное направление движения пеленгатора.

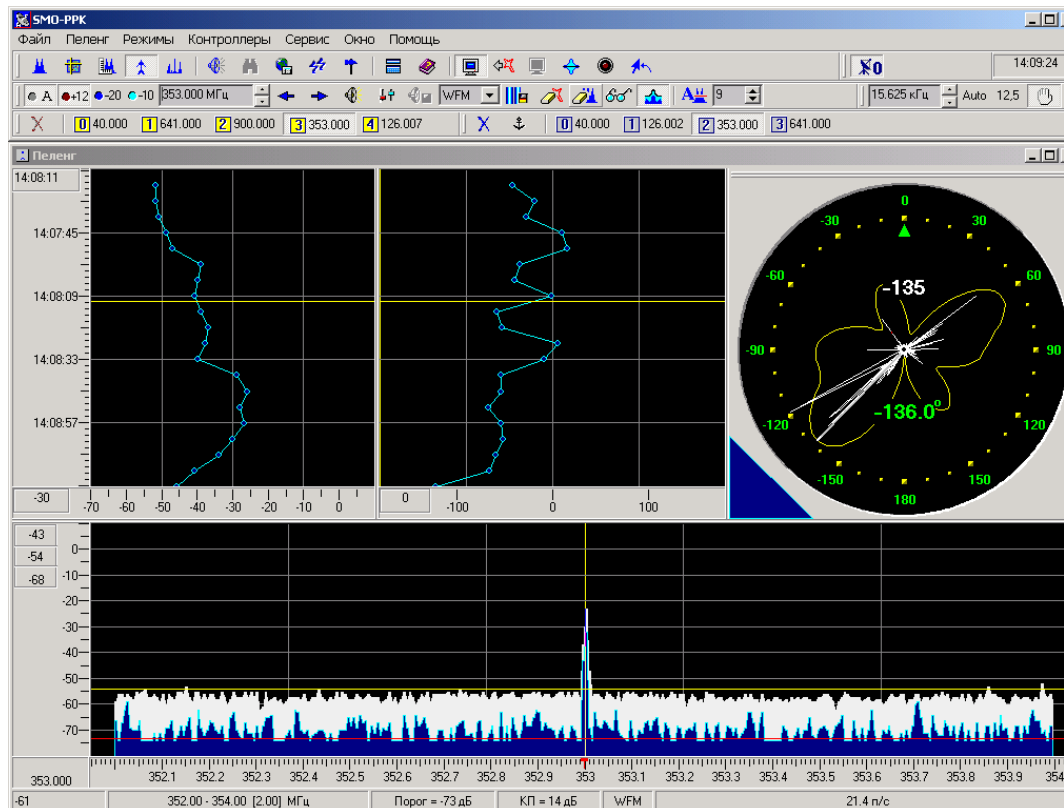


Рисунок 1. Вид окна программы в режиме «Пеленг»

Проанализируем графики истории амплитуд и пеленгов на рисунке 1. Возрастание амплитуды сигнала от  $-50$  дБмВ до  $-30$  дБмВ и значения пеленгов в переднем секторе свидетельствуют, что сначала автомобиль приближался к источнику радиоизлучения, затем источник остался с левой стороны по ходу движения, так как пеленги переместились в задний левый сектор, а амплитуда сигнала стала уменьшаться. Теперь для точного выхода на источник мобильный комплекс должен развернуться на  $180$  градусов и вернуться назад.

Достоинствами метода привода являются сравнительно небольшое время поиска и уменьшение влияния ошибок, вызванных окружающими объектами, поскольку комплекс все время находится в движения, возможность работы без карты местности. К недостаткам метода относится необходимость того, чтобы во время движения станции ИРИ периодически выходил в эфир, а также возможная потеря скрытности проведения операции из-за приближения станции к источнику на небольшую дистанцию.

**Квазистационарный метод** основан на получении нескольких отдельных измерений пеленгов из фиксированных позиций, которые находятся на значительном удалении от объекта, как это показано на рисунке 2.

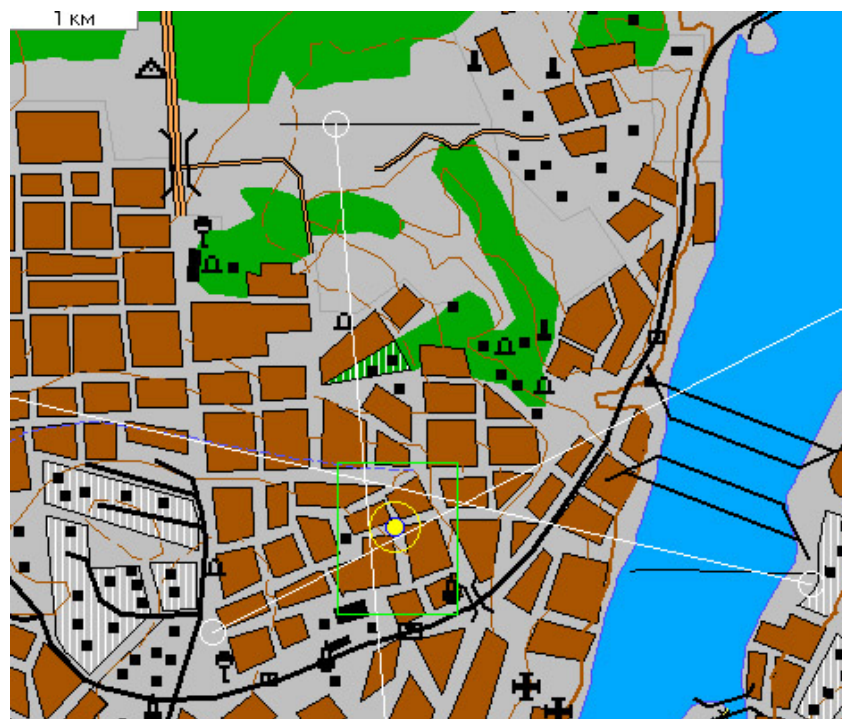


Рисунок 2. Квазистационарный метод определения местоположения ИРИ

В этом методе выбирается место расположения мобильного пеленгатора, желательно вдали от источников систематических помех – высоких зданий, линий электропередач, трамвайных путей, металлических оград и подобных объектов. Целесообразно, чтобы пеленгатор располагался на господствующей возвышенности. Включается режим накопления и построения гистограммы пеленгов. В течение некоторого интервала времени производится накопление пеленгов. По одному или нескольким максимумам гистограммы пеленгов на карте прокладываются направления пеленгов. Затем пеленгатор перемещается на следующую позицию и процедура пеленгования повторяется. По результатам прокладки пеленгов на карте из нескольких стационарных позиций производится расчет местоположения ИРИ.

Квазистационарный метод предполагает использование для пеленгования развернутую на мачте выносную пеленгационную антенную систему, которая имеет большую чувствительность и точность пеленгования по сравнению с антенной на крыше автомобиля и обеспечивает больший радиус зоны действия.

К достоинствам квазистационарного метода можно отнести наглядность получаемых результатов, возможность работы на значительном удалении от источника, что облегчает скрытное проведение процедуры пеленгования. К недостаткам метода относится необходимость выбора «хороших» позиций для пеленгования источника и развертывания антенной системы на мачте, что, как правило, сопряжено с существенными затратами времени, а также возможность получения ошибочных пеленгов за счет влияния городских объектов, окружающих позицию.

Для эффективного применения метода целесообразно заранее произвести поиск мест, пригодных для пеленгования радиостанций в заданном районе, и обработать маршрут быстрого перемещения станции от одной позиции к другой.

**Метод вычисления координат ИРИ в движении основан на том, что** при движении станции по маршруту производится непрерывное пеленгование источников радиоизлучений, и вся совокупность пеленгов от начала сеанса используется для расчета местоположения источников. В процессе сеанса работы по мере накопления пеленгов с большой базой расчетное положение источников рекуррентно уточняется. При этом траектория движения станции может быть произвольной и проходить вдали от пеленгуемого ИРИ.

Метод вычисления координат ИРИ в движении требует использования статистических алгоритмов, поскольку при движении по маршруту, вдали от источника, только малая часть измеренных пеленгов будет соответствовать истинному направлению на ИРИ.

Во всех алгоритмах расчета координат ИРИ мобильная станция радиомониторинга, находящаяся в движении, рассматривается как многопозиционная система с поочередной обработкой принимаемых сигналов из точек, составляющих маршрут станции. Определение координат ИРИ осуществляется путём пространственно-временной обработки результатов измерения пеленгов или амплитуд принимаемых сигналов.

Исходными данными для расчетов являются: выборка пеленгов  $\hat{\theta}_n$ , измеренных с учётом курсового угла пеленгатора, координаты пеленгатора на момент приёма  $\dot{Z}_n = X_n + j \cdot Y_n$ , где  $n = 0, \dots, N-1$  - номер пункта приёма, дугой  $\cap$  обозначена оценка измеряемой величины, точкой – комплексная величина.

### **Алгоритмы вычисления координат источников радиоизлучения**

Проведем анализ нескольких статистических алгоритмов вычисления координат ИРИ, пригодных для использования в одиночной мобильной станции. Ограничимся рассмотрением трех алгоритмов, основанных на критерии максимального правдоподобия [2, 5, 6]:

- алгоритм максимума правдоподобия;

- амплитудный алгоритм;
- амплитудно-угломерный алгоритм.

**Алгоритм максимума правдоподобия** основан на описании выборки некоррелированных пеленгов **многомерной нормальной плотностью распределения вероятностей**

$$w[\hat{\theta}, x, y] = \frac{1}{(2\pi \cdot \sigma_{\theta}^2)^{\frac{N}{2}}} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_{\theta}^2} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} (\hat{\theta}_n - \theta_n(x, y))^2}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{\theta}^2$  - дисперсия измерений пеленгов, зависящая от инструментальной ошибки пеленгования, отношения сигнал-шум, условий

распространения радиоволн,  $\hat{\theta}_n$  - выборка значений пеленгов,  $\theta_n(x, y)$  - неизвестное истинное значение пеленга для n-ой позиции мобильной станции.

Оценка координат ИРИ соответствует координатам **максимума функции правдоподобия (1)** или **минимума оценочной дисперсии**.

$$(\hat{x}, \hat{y}) = \arg \left( \min_{(x, y)} \left( \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} (\hat{\theta}_n - \theta_n(x, y))^2 \right) \right), \quad (2)$$

где  $\arg(c)$  обозначает операцию вычисления значений аргументов функции  $c$ .

Рассматриваемый алгоритм может быть реализован как последовательная итерационная процедура вычисления координат ИРИ по мере поступления пеленгов.

Недостатком алгоритма является то, что он не может вычислять координаты ИРИ в случае перемещения мобильной станции по непосредственно по направлению к источнику или от источника, поскольку в этом случае все пеленги ложатся на одной линии и вычислить координаты минимума функции оценочной дисперсии не удастся.

**Амплитудный алгоритм** основан на учёте зависимости амплитуды поля источника от расстояния до него. Исходные данные: выборка амплитуды и координаты пеленгатора на момент приёма. В предположении, что выборочные комплексные амплитуды сигналов  $\hat{S}_n$  не связаны между собой, они задаются **многомерной нормальной плотностью распределения вероятностей**

$$w[\hat{S}, x, y] = \frac{1}{(2\pi \cdot \sigma^2)^{\frac{N}{2}}} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma^2} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} \left( \hat{S}_n - \frac{\mu}{r_n^p(x, y)} \cdot e^{i\varphi_n} \right)^2}, \quad (3)$$

где  $\sigma^2$  - дисперсия шума в канале приема,  $\varphi_n$  - начальная фаза сигнала,  $\mu$  - энергетический параметр,  $r_n(x, y) = |\dot{z}(x, y) - \dot{Z}_n|$  - расстояние от источника до точки приёма.

Зависимость амплитуды напряжённости поля в точке приёма от пространственного положения источника в данном случае определяется параметром распространения. Эта зависимость может быть более сложной с учётом рельефа местности, плотности застройки. Энергетический параметр  $\mu$  определяется мощностью излучения, высотами поднятия антенн передатчика и пеленгатора, длиной волны излучения. Выполнив максимизацию **функции правдоподобия (3)** по неизвестным параметрам  $\mu$  и  $\varphi_n$ , приходим к выражению

$$(\hat{x}, \hat{y}) = \arg \min_{(x, y)} \left( \sum_{n=0}^{N-1} |\hat{S}_n|^2 - \frac{\left( \sum_{n=0}^{N-1} |\hat{S}_n|^2 \cdot r_n^{-p}(x, y) \right)^2}{\sum_{n=0}^{N-1} r_n^{-2p}(x, y)} \right). \quad (4)$$

В программной реализации амплитудного алгоритма целесообразно учитывать также зависимости напряжённости поля от рельефа местности, городской застройки, лесных массивов, а также отражений сигналов от кварталов застройки.

В качестве примера, на рисунке 3 показана поверхность уровней сигнала, полученная в ходе определения местоположения ИРИ. Белый кружок соответствует расчетной точке, флажками показаны точки измерения и уровни сигналов, использованные для вычисления координат ИРИ.

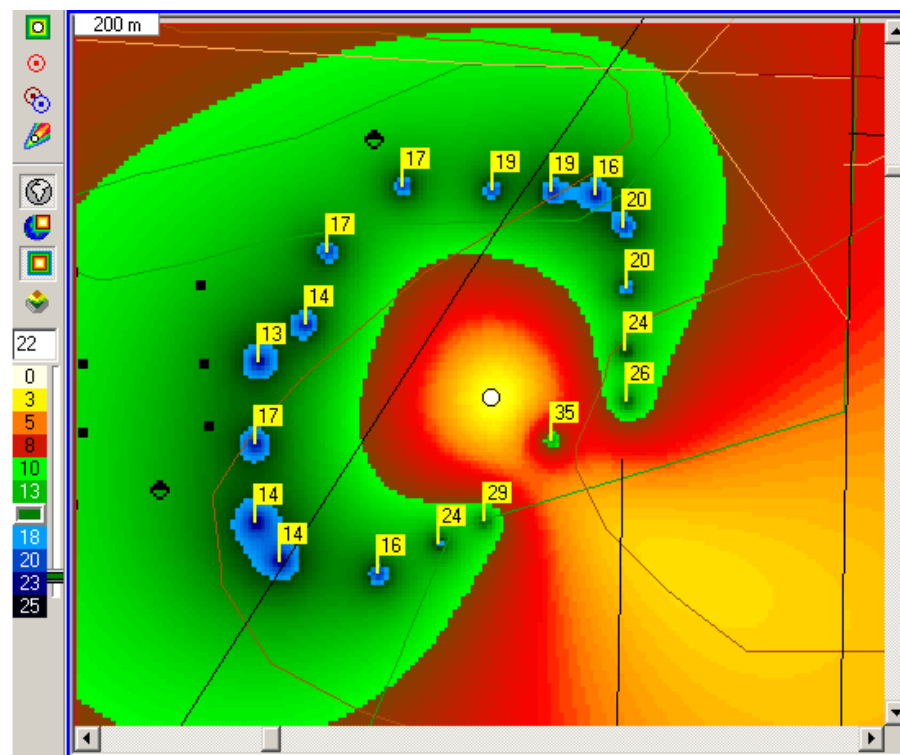


Рисунок 3. Поверхность уровней сигнала и расчетная точка по амплитудному алгоритму

Для реализации амплитудного алгоритма достаточно наличие измерительного приемника и навигационной аппаратуры, при этом непосредственно радиопеленгатор не требуется, что в ряде случаев оказывается предпочтительным по критерию стоимости оборудования.

Очевидно, что при использовании амплитудного алгоритма необходимо выбирать такой маршрут движения станции, чтобы наблюдалось явное изменение амплитуды сигнала.

Недостатком амплитудного алгоритма является низкая чувствительность - невозможность работы при низких отношениях сигнал-шум, поскольку в этом случае невозможно точное измерение амплитуды сигнала.

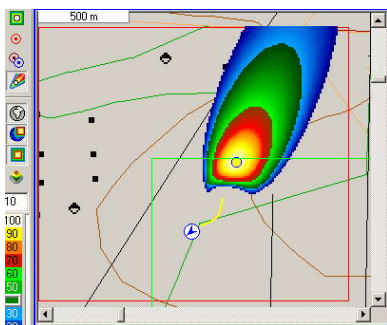


**Амплитудно-угломерный** алгоритм основан на комплексном использовании информации об амплитуде и пеленге, фактически он объединяет алгоритм максимума правдоподобия и амплитудный алгоритм. Правило оценки координат при независимых измерениях состоит в минимизации произведения

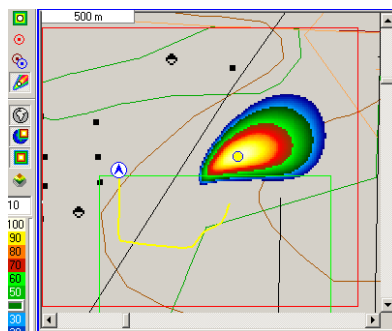
$$(\hat{x}, \hat{y}) = \arg \min_{(x, y)} \left\{ \left( \sum_{n=0}^{N-1} (\hat{\theta}_n - \theta_n(x, y))^2 \right) \cdot \left( \sum_{n=0}^{N-1} |\hat{S}_n|^2 - \frac{\left( \sum_{n=0}^{N-1} |\hat{S}_n|^2 \cdot r_n^{-p}(x, y) \right)^2}{\sum_{n=0}^{N-1} r_n^{-2p}(x, y)} \right) \right\}. \quad (5)$$

Учёт совокупности значений пеленгов и амплитуд, зависящих от координат источника, в (5), обеспечивает уменьшение времени местоопределения ИРИ. Кроме того, обеспечивается оценка координат ИРИ при движении мобильной станции на ИРИ, что невозможно при использовании алгоритм максимума правдоподобия.

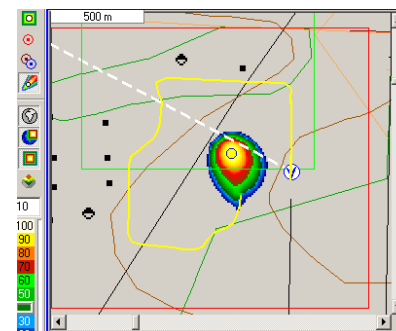
При программной реализации для амплитудно-угломерного алгоритма целесообразно отображать на картографическом фоне функцию правдоподобия, которая показывает зону наиболее вероятного расположения ИРИ. На рисунке 4 приведены примеры отображения функции правдоподобия для амплитудно-угломерного алгоритма для нескольких точек маршрута движения станции, который показан желтой линией. По мере накопления данных зона вероятного расположения ИРИ сужается, его координаты уточняются.



а) Начало движения



б) Продолжение движения



в) Дальнейшее продолжение движения

Рисунок 4. Графическое отображение функции правдоподобия для амплитудно-угломерного алгоритма

Таким образом, амплитудно-угломерный алгоритм хорошо сочетается с работой станции по методу привода, при этом на карте имеется наглядное отображение зоны вероятного расположения источника, что является хорошим подспорьем для оператора при выборе направления движения станции.

### Условия проведения натуральных испытаний

Было выбрано два маршрута, каждый длиной около 4 км, в городских и загородных условиях. Маршруты движения показаны на рисунках 5 и 6 прерывистыми линиями. Черными прямоугольниками на рисунке показаны городские кварталы, зеленым цветом – лесная зона. Место расположения ИРИ помечено на рисунках белым крестиком. Начало маршрута – точка А находилось на минимальном расстоянии от ИРИ. Мобильная станция двигалась по кольцу от точки А к точке К по часовой стрелке.



Рисунок 5. Маршрут в городской зоне

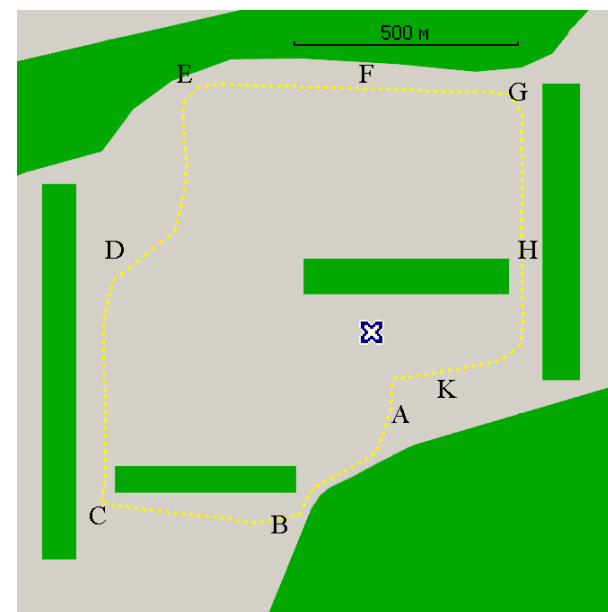


Рисунок 6. Маршрут в загородной зоне.

В качестве ИРИ использовался маломощный тестовый генератор со штыревой антенной и выходной мощностью не более 30 мВт, запрограммированный для работы на двух радилюбительских частотах  $f_1 = 145$  МГц,  $f_2 = 434$  МГц. Вид излучения – непрерывный гармонический сигнал. В городской зоне ИРИ располагался на нижнем этаже многоэтажного здания, а в загородной зоне – непосредственно на земле.

Для маршрута в городской зоне характерно наличие кварталов с многоэтажными зданиями. Практически на всем протяжении маршрута отсутствовала прямая видимость (прямое прохождение радиоволны от ИРИ к мобильной станции). В то же время загородный маршрут пролегал почти по открытому месту, имелись только несколько лесных полос, показанных на рисунке 6 зеленым цветом.

Для обоих маршрутов скорость движения автомобиля составляла не более 40 км/час. Во время движения производилось пеленгование и измерение амплитуды сигнала ИРИ, измеренные значения, а также координаты станции и ее курсовой угол сохранялись в базе данных.

Для проведения испытаний использовалась мобильная станция радиомониторинга на базе микроавтобуса, оборудованная корреляционно-интерферометрическим радиопеленгатором с легкоъемной антенной системой, установленной на крыше и измерительным радиоприемным устройством. Инструментальная точность пеленгования радиопеленгатора на выбранных для испытаний частотах была не хуже 2 градусов.

### **Результаты испытаний**

По полученным результатам были оценена вероятность ошибки пеленгования  $P(\delta < \Delta)$  - вероятность того, что ошибка измерения пеленга  $\delta$  будет меньше заданной величины  $\Delta$ . Ошибка пеленгования  $\delta = |\alpha_{ист} - \alpha|$ , где  $\alpha_{ист}$  - истинный пеленг, вычисленный на основе известных координат ИРИ и мобильной станции,  $\alpha$  - измеренный пеленг. Результаты оценки вероятности ошибки пеленгования представлены на рисунке 7. Зависимости 1 и 2 получены для загородной зоны, 3 и 4 для городской. При этом зависимости 1 и 3 соответствуют частоте 434 МГц, зависимости 2 и 4 – частоте 145 МГц.

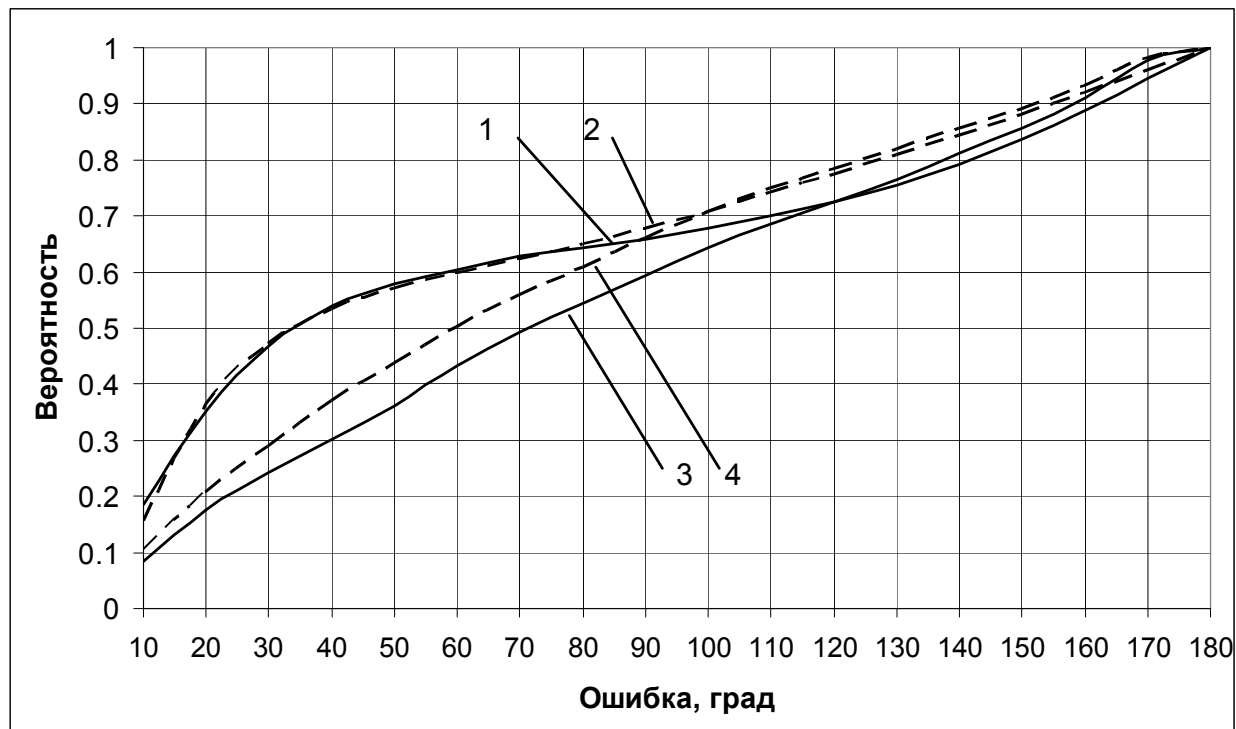


Рисунок 7. Оценка вероятности ошибки пеленгования

Как видно из рисунка, вероятность взятия пеленгов с ошибкой меньше  $10^\circ$  в загородной зоне составляет около 0,2, а в городской зоне около 0,1, а вероятность взятия пеленгов с ошибкой меньше  $20^\circ$  в загородной зоне около 0,4, а городской около 0,2. В городской зоне наблюдается ухудшение точности пеленгования на более высокой частоте. Можно предположить, что основное влияние на точность пеленгования оказывает интерференция радиоволн, вызванная их многолучевым распространением, которая в условиях города из-за наличия большого числа различных неоднородностей будет проявляться сильнее. Поэтому в загородных условиях вероятность ошибки оказалась существенно меньше, чем в городской черте.

На рисунке 8 показаны полученные зависимости амплитуды принимаемых сигналов на входе измерительного приемника (в децибелах по отношению к микровольту) от позиций на маршруте движения. Зависимости 1 и 2 получены для загородной зоны, 3 и 4 для городской. При этом зависимости 1 и 3 соответствуют частоте 434 МГц, зависимости 2 и 4 – частоте 145 МГц. Как видно из рисунка, эти зависимости имеют флуктуирующий характер относительно сравнительно медленно меняющегося среднего значения. Размах пульсаций в отдельных точках превышает 10 дБ. В начале маршрута – точке А, где мобильная станция находилась от ИРИ на минимальном удалении,

амплитуды сигналов за городом и в городе сравнимы по величине, однако далее, по мере движения станции по маршруту в городе по сравнению с загородной зоной наблюдается более сильное ослабление радиосигналов.

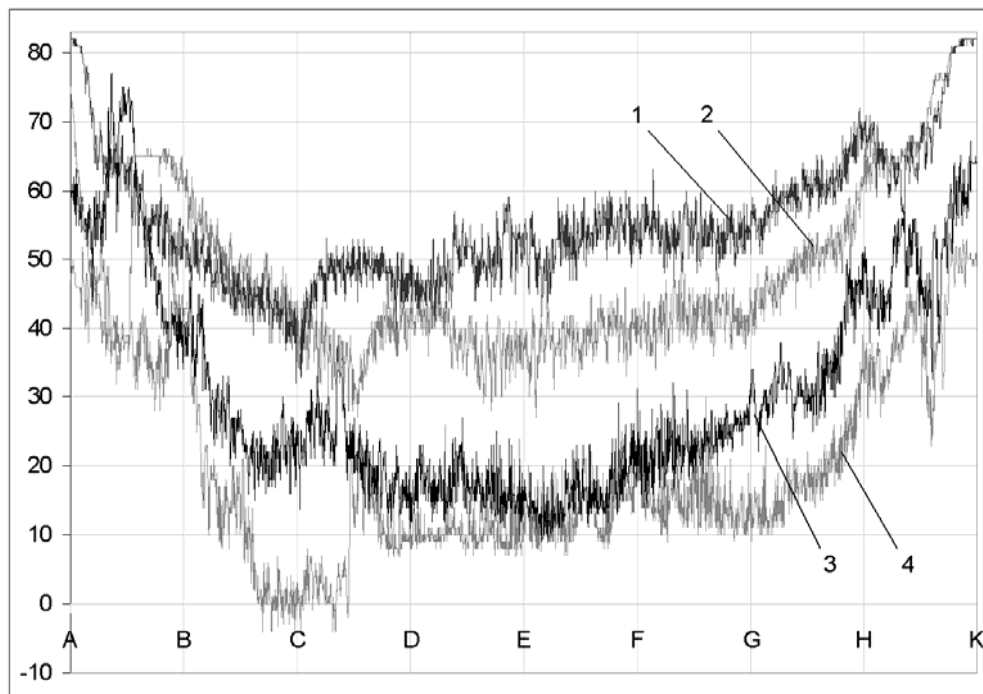


Рисунок 8. Зависимости амплитуды радиосигнала от позиции станции на маршруте движения

Зависимости, приведенные на рисунках 7 и 8, подтверждают, что вычисление местоположение ИРИ одиночной мобильной станцией радиомониторинга является задачей, требующей использования расчетных алгоритмов.

Перейдем к сравнению ошибок оценки местоположения ИРИ для рассмотренных статистических алгоритмов. Ошибки будем определять как решение обратной геодезической задачи, когда по известным географическим координатам двух точек, требуется найти расстояние между ними. В качестве первой точки берем место расположения ИРИ, координаты его известны, вторая точка-это расчетная точка местоположения ИРИ, координаты которой вычислены с помощью проверяемого алгоритма.

Отметим, что подобная проверка не является строгой, поскольку она проводится только для двух конкретных частот и двух конкретных маршрутов движения станции. Также здесь не учитываются погрешности навигационной аппаратуры при определении "истинных" координат ИРИ, координат и курсового угла мобильной станции при движении.

В таблице 1 приведены результаты значения ошибок определения местоположения ИРИ, выраженные в метрах, для полных маршрутов ABCDEFGHK в городе и загородной зоне.

В левом столбце таблицы указаны названия алгоритмов вычисления координат. Далее в таблице приведены ошибки местоопределения для частот 146 МГц и 434 МГц. Сокращениями ВГ и ЗГ помечены столбцы для измерений в городе (ВГ) и за городом (ЗГ). В крайнем правом столбце таблицы указано среднее значение для ошибок по каждому алгоритму. Значения ошибок округлены до 10 м.

Таблица 1. Полученные значения ошибок местоопределения

Алгоритм вычисления координат	Частота ИРИ				Средняя ошибка
	146 МГц		434 МГц		
	ВГ	ЗГ	ВГ	ЗГ	
Максимум правдоподобия	90	60	50	40	60
Амплитудный без учета рельефа	140	50	90	120	100
Амплитудный с учетом рельефа	100	40	50	120	77.5
Амплитудно-угломерный	20	40	70	60	47.5

Среднее значение ошибки, меньшее 50 м, показал амплитудно-угломерный алгоритм, наибольшее среднее значение ошибки, равное 100 м, оказалось у амплитудного алгоритма, не использующего сведений о рельефе местности. Учет рельефа в амплитудном алгоритме привел к уменьшению ошибки местоопределения почти на одну треть. Среднее значение ошибки местоопределения в условиях города, вычисленное по данным таблицы 1, составило 76 м, а среднее значение ошибки в загородной зоне – 51 м.

Результаты, приведенные в таблице 1, подтверждают, что все три алгоритма имеют приемлемую для практики точность местоопределения ИРИ. Поэтому для выбора предпочтительного алгоритма следует рассмотреть дополнительные соображения.

### **Рекомендации по использованию методов и алгоритмов пеленгации в реальных условиях работы подвижной радиоконтрольной станции**

Если в состав мобильной станции входит быстродействующее радиооборудование, навигационная аппаратура и соответствующее программное обеспечение, то, как свидетельствует практика, чаще всего используется комбинированный метод поиска ИРИ, сочетающий в себе методы привода и пеленгования в движении. При такой комбинации происходит непрерывный прием радиосигналов, что важно для пеленгования периодических или кратковременно работающих ИРИ. Кроме того, возможно использование многоканального

пеленгования для определения координат нескольких ИРИ одновременно, обеспечивается скрытность работы станции, поскольку она находится в движении в потоке городского транспорта.

Алгоритм максимума правдоподобия применительно к одиночной мобильной станции не вычисляет местоположения ИРИ при использовании метода привода, поэтому целесообразно применять амплитудно-угломерный алгоритм, работающий одновременно по пеленгам и по уровням напряженности поля. Дополнительный довод в пользу амплитудно-угломерного алгоритма состоит в том, что его работа сопровождается наглядным отображением на карте зоны вероятного расположения ИРИ.

Если мобильная станция оснащена только измерительным приемником, то следует использовать амплитудный алгоритм, который обеспечивает приемлемую точность при наличии цифровой карты с рельефом местности и кварталами застройки. Недостатком амплитудного алгоритма является низкая чувствительность - невозможность работы при низких отношениях сигнал-шум.

Для мобильной станции, оснащенной радиопеленгатором, применяются алгоритмы, основанные на измеренных пеленгах. При этом по сравнению амплитудным алгоритмом обычно достигается большая точность определения координат ИРИ за меньшее время наблюдения, возможно вычисление местоположения ИРИ при малых отношениях сигнал-шум и с кратковременными видами передач.

Таким образом, для одиночной станции радиомониторинга, оснащенной радиопеленгатором, способным измерять также уровень сигнала, предпочтительно использование амплитудно-угломерного алгоритма. Если радиопеленгатор не измеряет уровень сигнала, то применяется алгоритм максимума правдоподобия. И, наконец, если имеется только измерительный приемник, то для местоопределения ИРИ используется амплитудный алгоритм.

## Литература

1. Справочник по радиоконтролю. МСЭ 2002. Женева. 2004. – 584 с.
2. Глазнев А.А., Козьмин В.А., Литвинов Г.В., Шадрин И.А. Многостанционные системы радиоконтроля и определения местоположения источников радиоизлучения. - Специальная техника. Специальный выпуск. М. 2002. С. 20-29 ([http://ircos.ru/zip/spc\\_teh.pdf](http://ircos.ru/zip/spc_teh.pdf))
3. Ашихмин А. В., Козьмин В. А., Рембовский А. М. Наземные мобильные комплексы радиоконтроля и пеленгования. Специальная техника. Специальный выпуск, 2002. С. 30-41 ([http://ircos.ru/zip/spc\\_teh.pdf](http://ircos.ru/zip/spc_teh.pdf))
4. Ашихмин А.В., Жуков А.А., Козьмин В.А., Шадрин И.А., Локализация источников радиоизлучения и измерение напряженности поля с помощью мобильной станции радиоконтроля. - Специальная техника. Специальный выпуск. М. 2003. С. 9-18 ([http://ircos.ru/zip/spc\\_teh2.zip](http://ircos.ru/zip/spc_teh2.zip))
5. Ашихмин А.В., Коровин А.Г., Рембовский А.М., Козьмин В.А. Распределенные системы радиомониторинга и пеленгования. Специальная техника, № 5., Москва, 2006. С.38-53 ([http://ircos.ru/zip/st5\\_06.pdf](http://ircos.ru/zip/st5_06.pdf))

6. Козьмин В.А., Савельев А.М., Уфаев В.А., Чубов Е.А. Сравнение методов местоопределения источников радиоизлучения. Специальная техника, №1 . М. 2007. С. 30-38 ([http://ircos.ru/zip/st1\\_07.pdf](http://ircos.ru/zip/st1_07.pdf))