

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗНЕСЕННОГО ПРИЕМА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КООРДИНАТ ОКОЛОЗЕМНОГО ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЙ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ

**Терсин Владимир Владимирович**

кандидат технических наук, доцент Муромского института (филиала)  
ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

*E-mail:* vvtersin@yandex.ru.

*Адрес:* 602264 Муром, ул. Орловская, д. 23.

*Аннотация:* Исследован разностно-дальномерный алгоритм оценки положения источника излучений в трёхмерном пространстве для географической системы координат. Приёмники излучения перемещаются в космосе по средним орбитам. Получены экспериментальные зависимости точности оценок географических координат источника от ширины полосы излучаемого сигнала и дальности до источника, а также от точности определения местоположения приёмников излучения и их количества. Было выяснено, что количество каналов приёма при определённых условиях может стать минимально возможным (равным 4-м), что среднеквадратическая ошибка измерений уменьшается с ростом числа каналов и ширины полосы сигнала, а также с увеличением измерительных баз до некоторого предела, и с уменьшением расстояния между источником сигнала и его приёмниками.

*Ключевые слова:* разнесённый приём, географическая система координат, смещение оценки, среднеквадратическая ошибка, долгота, широта, высота, полоса сигнала, разностно-дальномерный алгоритм, космический аппарат, средняя орбита.

Как показал опыт последних локальных конфликтов, активная радиолокационная станция (РЛС) может быть очень быстро обнаружена, а затем подавлена средствами радиоэлектронной борьбы [1, 2] или разрушена специальными противоракетами [3, 4]. Поэтому, использование пассивных алгоритмов разнесённого приёма, среди которых наиболее распространённым является разностно-дальномерный, становится всё более актуальным. Однако, активные РЛС в настоящее время, как правило, работают в трёхмерном пространстве, измеряя полярные координаты воздушных объектов, тогда как алгоритм измерения координат точечного источника излучений разностно-дальномерным методом обычно работает в двумерном пространстве, используя декартову систему координат [5 - 7].

Измеренные активной РЛС в трёхмерной полярной системе координат дальность, азимут и угол места, позволяют легко получить высоту полёта воздушного объекта в геоцентрической системе координат, учитывающей кривизну поверхности Земли.

Для того чтобы измерить высоту точечного источника излучения с помощью разнесённого приёма, придётся непосредственно использовать либо трёхмерную геоцентрическую систему координат [8], где расстояния измеряются длинами дуг по поверхности Земли, либо трёхмерную географическую систему координат с определением, кроме высоты, долготы и широты источника излучения.

Географическая система координат плохо работает в полярных областях поверхности Земли, тогда как геоцентрическая система свободна от этого недостатка. В тоже время, географическая система позволяет измерить абсолютные координаты источника излучения, а геоцентрическая - только относительные (относительно центральной позиции).

Чем выше приёмники излучения расположены над поверхностью Земли, тем больше зона прямой видимости источника. Однако, если отсоединить приёмники от поверхности и разместить их на движущихся воздушных или космических объектах, то возникает дополни-

тельная проблема учёта ошибок измерения координат приёмников излучения.

Целью настоящей работы является исследование возможностей разностно-дальномерного алгоритма по оценке трёхмерных географических координат околоземного источника излучений с помощью космических аппаратов, находящихся на средних орбитах, и определение точности этой оценки.

Как известно [5 - 7], работа разностно-дальномерного алгоритма основана на измерении разностей хода излучённого сигнала от источника до периферийных и центрального приёмников. При использовании корреляционного приёма из каждой разности необходимо вычесть расстояние между центральной и соответствующей периферийной позицией, так как в этом случае излучённый сигнал ретранслируется с каждой периферийной позиции на центральную позицию, где и производится измерение разности хода.

Заметим, что при корреляционном приёме задача измерения расстояния превращается в задачу обнаружения сигнала в очередном дискрете по дальности. Величина дискрета определяет точность измерения расстояния и обратно пропорциональна ширине полосы сигнала. Таким сигналом может быть, например, сигнал с линейной частотной модуляцией или фазокодоманипулированный сигнал, излучаемый бортовым радиолокатором воздушного объекта, географические координаты которого необходимо измерить.

Проблемой орбитальных измерений является высокая скорость перемещения приёмных позиций. При одинаковой скорости и направлении движения всех приёмников, участвующих в измерении координат источника излучения, взаимное расположение приёмных позиций не изменяется. Такая возможность имеется при перемещении приёмных позиций друг за другом по одинаковым полярным орбитам, которые в области средних широт, где только и возможно измерение географических координат, практически параллельны.

Частота Доплера сигнала, принимаемого каждой позицией при неподвижном источнике, определяется проекцией вектора скорости движения каждого приёмника на направление, соединяющее источник и приёмник излучения. Поскольку в разностно-дальномерном методе разнесённого приёма используется взаимно корреляционный алгоритм обнаружения излучённого сигнала, где перемножаются сигналы с разным доплеровским смещением частоты и, следовательно, образуются суммарные и разностные частоты биений, то невозможно выполнить сложение результатов умножения без коррекции фазовых сдвигов, обусловленных частотой Доплера. Поэтому, либо необходимо измерять частоту, либо использовать многоканальную фильтровую систему. Частоту Доплера легко вычислить, если измерить направление прихода сигнала угломерным методом.

Заметим, что суммарная частота будет меньше разностной, если источник сигнала находится под центральной позицией.

Другой проблемой разностно-дальномерного метода является неоднозначность измерений координат при наличии нескольких источников излучения одной частоты. Для определения того, какому источнику излучения соответствует каждый сигнал, принимаемый в каждой позиции, приходится вводить избыточные измерения разности хода.

Для каждого дополнительного измерения выбираются три позиции, одна из которых является центральной. Если сложить разности хода между второй и первой, третьей и второй, а также первой и третьей позициями, то сумма будет равна нулю, так как расстояние от источника до каждого приёмника входит в эту сумму дважды, причём с противоположными знаками. Здесь разность хода между третьей и второй позициями получена с помощью дополнительного измерения. Количество дополнительных измерений разности хода должно быть на два меньше числа приёмных позиций.

Каждой разности хода между центральной и очередной, например, первой периферийной позициями с помощью дополнительного изме-

рения ставится в соответствие разность хода между центральной и следующей, например, второй периферийной позициями, относящаяся к тому же источнику излучения. В результате измеренные разности хода между центральной и каждой периферийной позициями получают сортированными в соответствии с номерами источников излучений, что позволяет последовательно вычислять их координаты. При определении координат можно задействовать избыточные разности хода, что должно повысить точность вычислений.

Поскольку разностно-дальномерный алгоритм измеряет несколько разностей хода, каждая из которых равна разности расстояний от источника излучения до двух соседних приёмных позиций, то для определения географических координат источника необходимо выразить через эти координаты расстояние от источника до каждого приёмника.

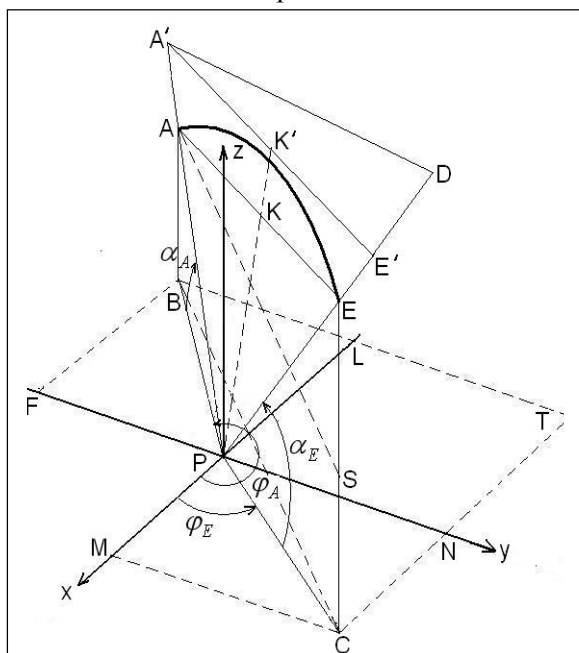


Рис.1. Геометрические построения для определения расстояния между источником и приёмником в географической системе координат

На рис.1 таким расстоянием будет длина отрезка  $\overline{A'D}$ . Поскольку при измерениях из космоса приёмник располагается выше источника излучения, то будем считать, что источник излучения находится в точке  $A'$ , а приём-

ник – в точке  $D$ . Проекции этих точек на поверхность Земли располагаются в точках  $A$  и  $E$  соответственно. Поверхность Земли представляет собой сферу радиусом  $R_T$  с центром в точке  $P$ , следовательно  $\overline{AP} = \overline{EP} = R_T$ .

С целью упрощения тригонометрических преобразований вместо непосредственного вычисления расстояния  $\overline{A'D}$  определим сначала длину отрезка  $\overline{AE}$ , зависящую только от угловых координат, то есть долготы и широты, как источника, так и приёмника излучения. Преобразуя полярные координаты точек  $A$  и  $E$  в декартовы, получаем искомые значения координат:

$$\begin{aligned} x_A &= \overline{LP} = \overline{BP} \cos \varphi_A = R_T \cos \alpha_A \cos \varphi_A, \\ y_A &= \overline{FP} = \overline{BP} \sin \varphi_A = R_T \cos \alpha_A \sin \varphi_A, \\ z_A &= \overline{AB} = R_T \sin \alpha_A, \end{aligned}$$

для точки  $A$ , а также:

$$\begin{aligned} x_E &= \overline{MP} = \overline{CP} \cos \varphi_E = R_T \cos \alpha_E \cos \varphi_E, \\ y_E &= \overline{NP} = \overline{CP} \sin \varphi_E = R_T \cos \alpha_E \sin \varphi_E, \\ z_E &= \overline{EC} = R_T \sin \alpha_E, \end{aligned}$$

для точки  $E$ .

Здесь угол  $\varphi$  – долгота, угол  $\alpha$  – широта источника или приёмника излучения, а

$$\overline{BP} = R_T \cos \alpha_A, \quad \overline{CP} = R_T \cos \alpha_E.$$

Вычисляя расстояние между точками  $A$  и  $E$  как евклидову норму в трёхмерном пространстве, после тригонометрических преобразований получаем зависимость длины отрезка  $\overline{AE}$  от искомых угловых координат источника и приёмника излучения, представленную выражением

$$\begin{aligned} \overline{AE} &= \sqrt{(\overline{MP} - \overline{LP})^2 + (\overline{NP} - \overline{FP})^2 + (\overline{EC} - \overline{AB})^2} = (1) \\ &= \sqrt{2} R_T \sqrt{1 - \cos \alpha_E \cos \alpha_A \cos(\varphi_E - \varphi_A) - \sin \alpha_E \sin \alpha_A} \end{aligned}$$

Для нахождения расстояния между источником  $A'$  и приёмником  $D$  излучения перейдём в плоскость треугольника  $A'PD$ . Здесь  $\overline{AA'} = \overline{EE'} = h_A$ ,  $\overline{ED} = h_E$ ,  $\overline{E'D} = h_E - h_A$ , где  $h_E$  – высота подъёма приёмника (над уровнем моря) в точке  $E$ ,  $h_A$  – высота подъёма источника излучения в точке  $A$ .

Отрезок  $\overline{A'E'}$  является стороной треугольника  $A'PE'$ , подобного треугольнику  $APE$  со стороной  $\overline{AE}$ , поэтому

$$\overline{A'E'} = \left(1 + \frac{h_A}{R_T}\right) \overline{AE}. \quad (2)$$

Расстояние между источником  $A'$  и приёмником  $D$  излучения, определяется из треугольника  $A'DE'$  по теореме косинусов [9]:

$$\overline{A'D}^2 = \overline{A'E'}^2 + \overline{E'D}^2 - 2 \cdot \overline{A'E'} \cdot \overline{E'D} \cdot \cos(\angle A'E'D), \quad (3)$$

где  $\overline{A'D}$ ,  $\overline{A'E'}$  и  $\overline{E'D}$  стороны треугольника, а

$$\cos(\angle A'E'D) = -\cos(\angle KEP) = -\frac{1}{2R_T} \overline{AE}.$$

Подставляя в (3) выражения для  $\overline{A'E'}$  и  $\overline{E'D}$  а также для  $\cos(\angle A'E'D)$ , получаем:

$$\overline{A'D} = R_T \left\{ \left( \frac{h_E - h_A}{R_T} \right)^2 + 2 \left( 1 + \frac{h_E}{R_T} \right) \left( 1 + \frac{h_A}{R_T} \right) \times \right. \\ \left. \times \left[ 1 - \cos \alpha_E \cos \alpha_A \cos(\varphi_E - \varphi_A) - \sin \alpha_E \sin \alpha_A \right] \right\}^{\frac{1}{2}}. \quad (4)$$

Рассуждая аналогично относительно расстояний от источника  $A'$  до каждой из  $n + 1$ -ой приемных позиций  $D_0, D_1, \dots, D_n$ , получаем в итоге систему уравнений (5), связывающую результаты измерений каждой разности хода  $\Delta \hat{R}_{ij}$  излученного сигнала до  $i$ -той и  $j$ -той приёмных позиций, географические координаты  $\varphi_E^i, \alpha_E^i, h_E^i$  и  $\varphi_E^j, \alpha_E^j, h_E^j$  которых известны, с неизвестными географическими координатами источника излучений: долготой –  $\varphi_A$ , широтой –  $\alpha_A$  и высотой над уровнем моря –  $h_A$ .

$$\frac{\Delta \hat{R}_{ij}}{R_T} = \left\{ \left( \frac{h_E^i - h_A}{R_T} \right)^2 + 2 \left( 1 + \frac{h_E^i}{R_T} \right) \left( 1 + \frac{h_A}{R_T} \right) \times \right. \\ \left. \times \left[ 1 - \cos \alpha_E^i \cos \alpha_A \cos(\varphi_E^i - \varphi_A) - \sin \alpha_E^i \sin \alpha_A \right] \right\}^{\frac{1}{2}} - \\ - \left\{ \left( \frac{h_E^j - h_A}{R_T} \right)^2 + 2 \left( 1 + \frac{h_E^j}{R_T} \right) \left( 1 + \frac{h_A}{R_T} \right) \times \right. \\ \left. \times \left[ 1 - \cos \alpha_E^j \cos \alpha_A \cos(\varphi_E^j - \varphi_A) - \sin \alpha_E^j \sin \alpha_A \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

Система из  $2n - 1$  уравнений (5), где  $n$  уравнений получены с помощью базовых измерений разности хода относительно центральной позиции с номером 0, а  $n - 1$  – с помощью вспомогательных измерений, используемых также для отождествления источников излучения, является трансцендентной и не решается аналитически. Для её решения необходимо использовать численные методы, например, метод Ньютона [10].

Для проверки качества работы алгоритма, вычисляющего оценку географических координат источников излучения, расположим орбитальные приёмные каналы на высоте 700 км, а источники излучения – на высоте 2 км над уровнем моря. Количество каналов приёма будем изменять от минимально возможного, равного четырём каналам, до максимального, равного семи каналам, хотя число каналов и не ограничено сверху. Все приёмные каналы, кроме центрального, симметрично расположим над окружностью на поверхности Земли, радиусом 600 км в геоцентрической системе координат [3], а источники излучения – на диагонали, проходящей над центром окружности: 4-ый источник над центром, 3-ий – на расстоянии 600 км от центра в сторону высоких широт, а 5-ый – на том же расстоянии в сторону низких широт. Аналогично 3-му и 5-му расположены 2-ой и 6-ой, а также 1-ый и 7-ой источники, только расстояния от центра первой пары равны 1200 км, а второй – 2400 км. Центр окружности имеет координаты:  $30^\circ$  восточной долготы,  $50^\circ$  северной широты. Наклон диагонали определяется координатами 5-го источника излучения, которые совпадают с координатами одной из вершин многоугольника.

Определение точности алгоритма, вычисляющего оценку географических координат источников излучения, производилось с помощью имитационного моделирования. Было сделано по 10000 экспериментов для каждого из 7-и источников излучения и каждого количества каналов приёма. Сразу выяснилось, что без учёта вспомогательных измерений четырёх

каналов приёма недостаточно для получения оценки координат источников излучения с помощью решения системы всего лишь из  $n$  уравнений (5) методом Ньютона.

Полученные зависимости среднеквадратической ошибки (СКО) оценки географических координат источников излучения от ширины полосы излучаемого сигнала для 5-и приёмников приведены на рис. 2 - 4. Каждой зависимости на этих рисунках соответствует определённый источник излучения. Зависимости смещения оценок географических координат источников излучения от полосы не приведены по причине отсутствия смещения.

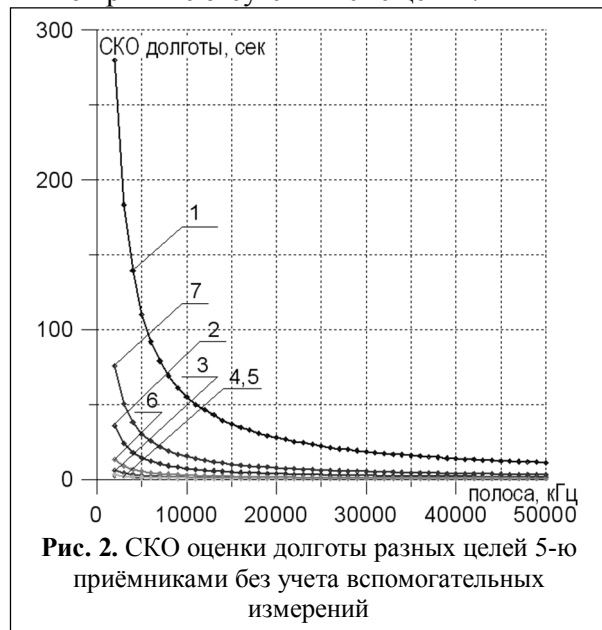


Рис. 2. СКО оценки долготы разных целей 5-ю приёмниками без учета вспомогательных измерений

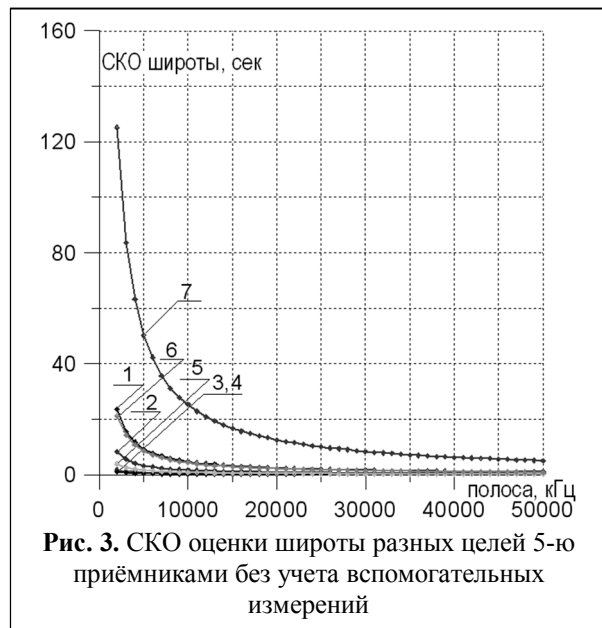


Рис. 3. СКО оценки широты разных целей 5-ю приёмниками без учета вспомогательных измерений

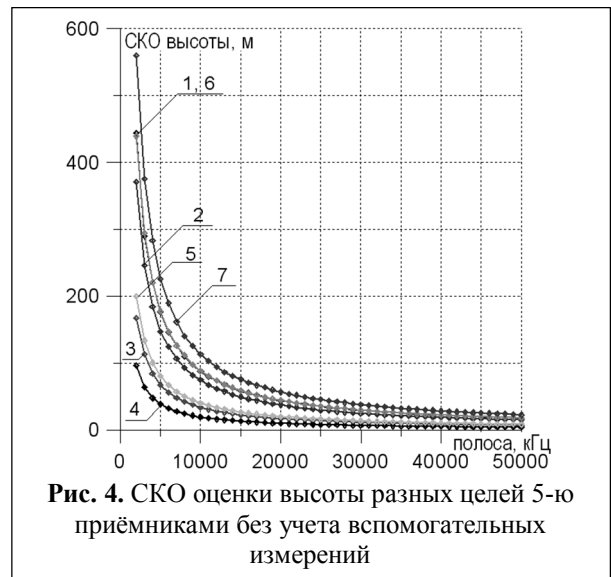


Рис. 4. СКО оценки высоты разных целей 5-ю приёмниками без учета вспомогательных измерений

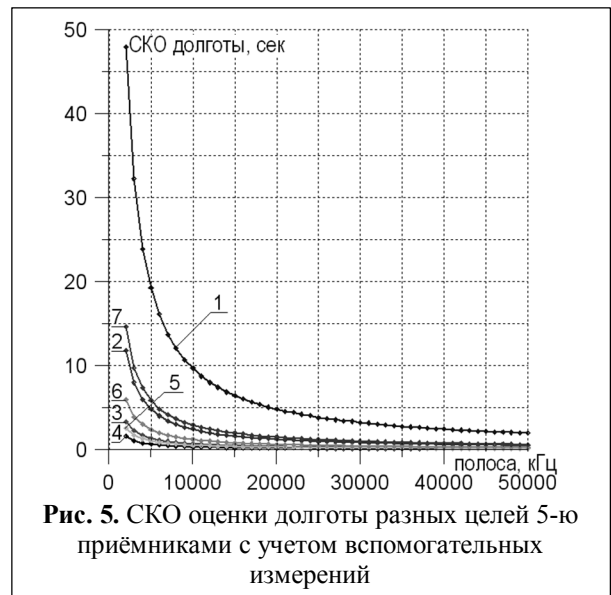


Рис. 5. СКО оценки долготы разных целей 5-ю приёмниками с учетом вспомогательных измерений

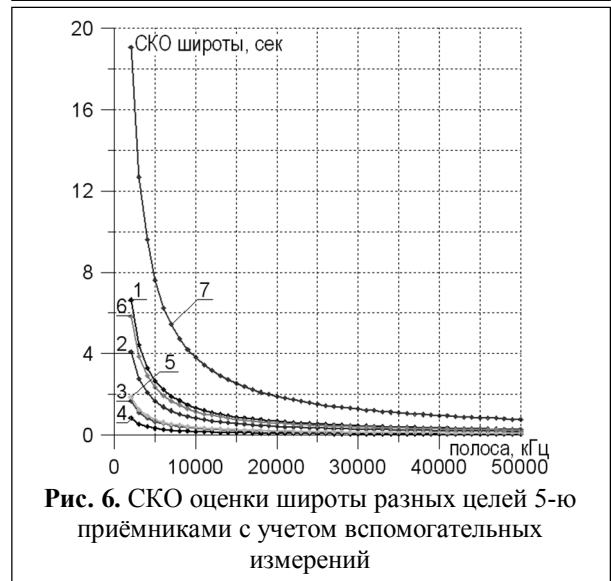
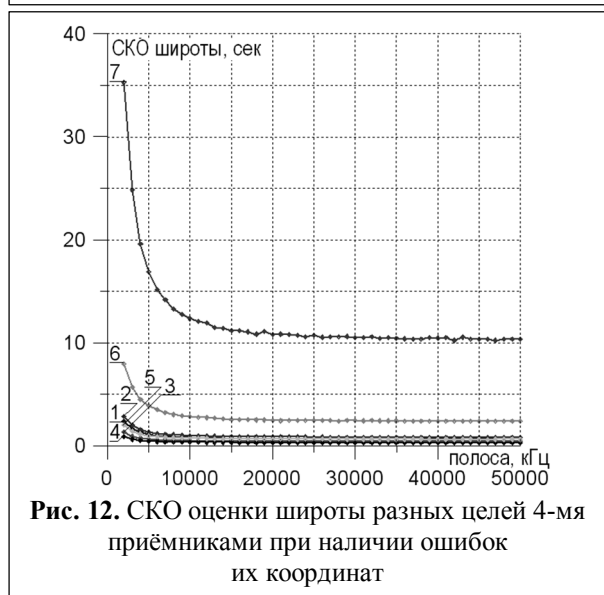
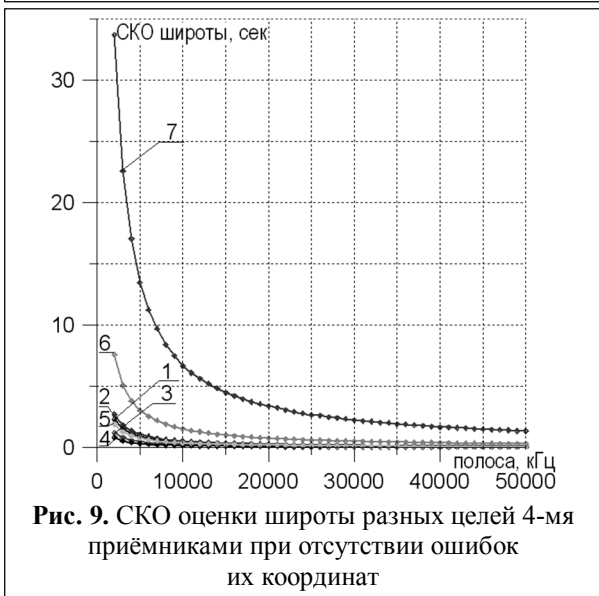
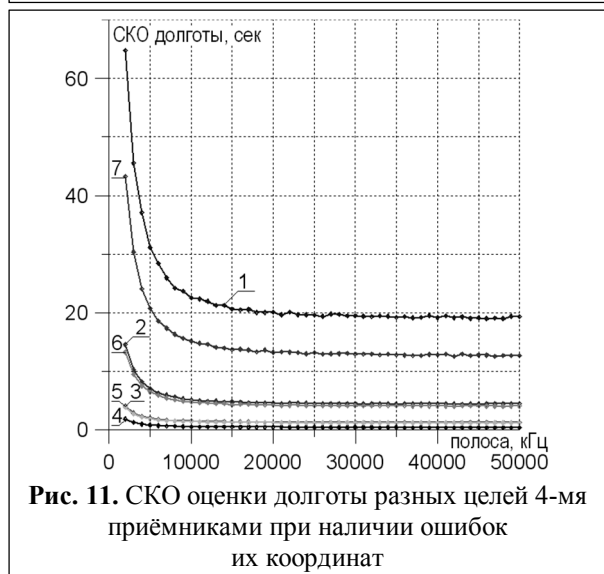
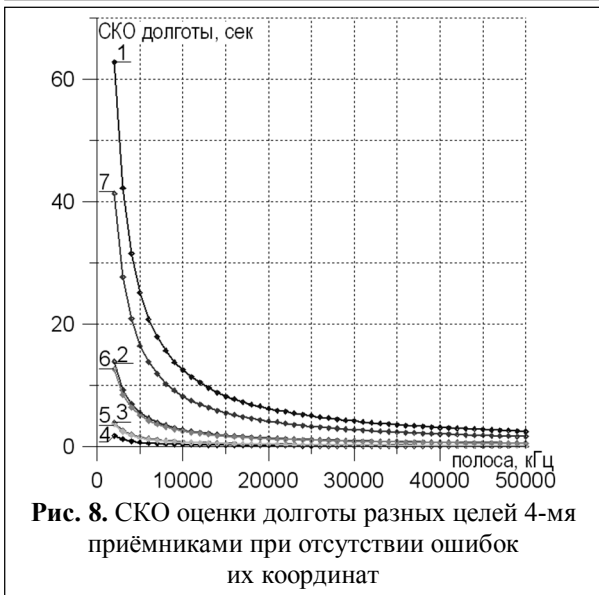
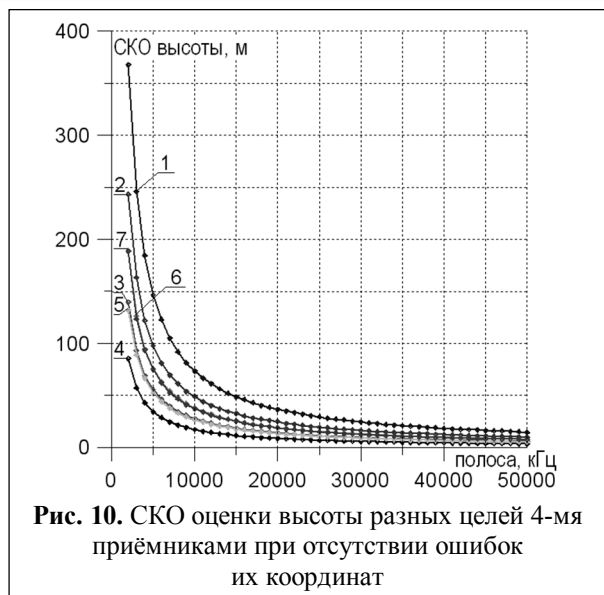
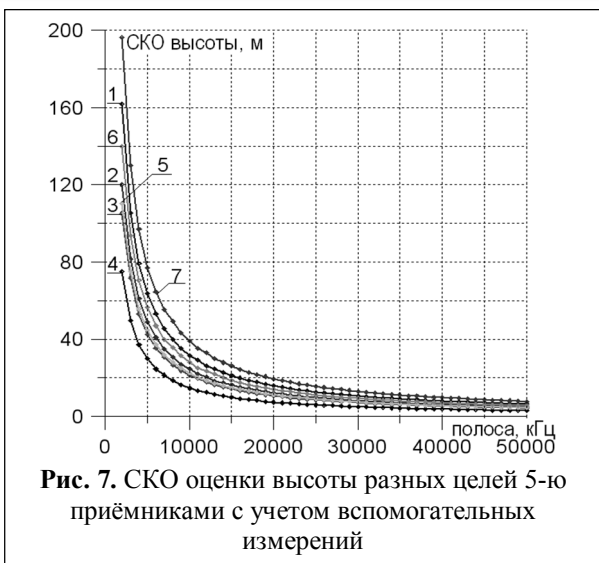
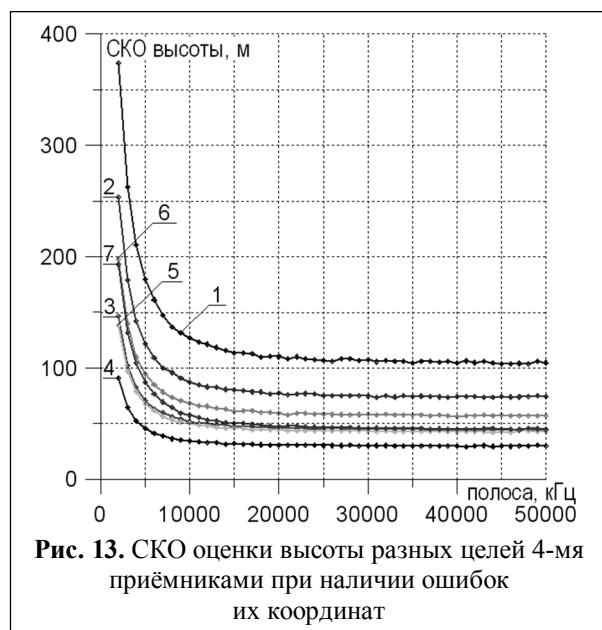


Рис. 6. СКО оценки широты разных целей 5-ю приёмниками с учетом вспомогательных измерений







Анализируя полученные зависимости можно заметить, что величина СКО оценок координат обратно пропорциональна ширине полосы сигнала, определяющей точность измерения разности расстояний от источника до каждой пары приёмников, так как при увеличении полосы в два раза СКО уменьшается также в два раза.

Если увеличим количество приёмных позиций до 6-и и 7-и, то обнаружим, что СКО оценок координат уменьшается с увеличением количества приёмников. Количественно величину уменьшения удобно определять, сравнивая СКО оценок высоты, поскольку наклон диагонали, проходящей через центральную позицию, зависит от числа приёмных позиций. Так при полосе 10 МГц и 5-и приёмниках СКО оценки высоты седьмой цели согласно рисунку 4 будет равна 115 м, первой – 95 м, четвертой – 15 м. При 6-и приёмниках получим 50, 75 и 14 м соответственно, в свою очередь, при 7-и приёмниках имеем аналогично 46, 45 и 13 м.

Из полученных результатов следует, что величина СКО оценки высоты заметно уменьшается с увеличением количества приёмников для целей 1 и 7, расположенных на максимальной дальности. Для цели 4, расположенной под центральной позицией, точность оценки высоты почти не изменяется.

Что касается величины СКО оценок угловых координат: долготы и широты, то она уменьшается от двух до полутора раз при увеличении количества приемников на единицу. Отметим, что величина СКО оценки долготы первой цели, расположенной в высоких широтах, заметно больше величины оценки СКО, расположенной в низких широтах, тогда как соотношение величин СКО оценок широты этих целей будет обратным. Такая зависимость между величинами СКО оценок широты и долготы высокоширотных и низкоширотных целей обусловлено выбором координат центральной позиции: долгота равна 30 градусам, широта – 50 градусам. Если бы центральная позиция была размещена в начале координат, то СКО широты и долготы рассмотренных целей были бы одинаковы для 5-и приёмников, где все цели, расположенные на одной прямой, повернутой на угол 45 градусов.

Необходимо учитывать также, что на величину СКО в метрах влияет изменение размера одной секунды долготы, которая на экваторе равна примерно 30 м, а на широте 60 градусов – ее величина в два раза меньше. Отсюда следует, что различие в величинах СКО оценок долготы высокоширотной (1) и низкоширотной (7) целей, выраженных в метрах, уменьшится относительно приведённых на рис. 2 также примерно в два раза.

На величину СКО оценок широты и долготы цели сильно влияет также расстояние от неё до центральной позиции. Так, при увеличении указанного расстояния в два раза СКО оценок широты и долготы увеличатся почти в 5 раз. На величину СКО оценки высоты цели изменение указанного расстояния влияет существенно меньше: при увеличении расстояния в два раза СКО увеличивается только в полтора раза.

При уменьшении в два раза радиуса окружности, на которой расположены периферийные позиции, выяснилось, что величина СКО оценок долготы и широты увеличивается примерно в четыре раза. СКО оценки высоты при этом увеличивается только в два раза. Заме-

тим, что изменение высоты цели не влияет на точность оценки её координат.

До сих пор для получения оценок трёхмерных географических координат целей мы не использовали результаты измерений дополнительных разностей хода между соседними периферийными позициями, необходимых для отождествления целей. В случае использования таких измерений появляется возможность уменьшить число приёмных позиций до минимально возможного, равного четырём. Результаты моделирования для 4-х приёмных позиций приведены на рис. 8 – 10. Полученная при этом точность измерений координат примерно соответствует точности, полученной для 6-и приёмных позиций без дополнительных измерений.

Анализируя влияние результатов использования дополнительных измерений для 5-и позиций, приведённых на рис. 5 – 7, на точность оценки координат, можно сделать вывод, что СКО оценок долготы и широты в этом случае уменьшается почти в 6 раз, а высоты – в 3 раза. Заметим, что для 6-и позиций СКО оценок всех координат уменьшилось бы примерно в 1,5 раза, а для 7-и позиций – примерно в 1,25 раза. Таким образом, с увеличением числа позиций влияние дополнительных измерений на точность оценки координат заметно уменьшается.

До сих пор мы считали, что координаты позиций известны точно. Рассмотрим теперь влияние ошибок измерения географических координат позиций на точность оценивания координат целей. Предполагаемые величины СКО оценок долготы и широты равны 0,25 сек, а высоты – 7,5 м. Результаты соответствующих измерений для 4-х позиций приведены на рис. 11 – 13, из анализа которых следует, что при наличии ошибки измерения координат приёмников величина СКО оценок координат целей

не уменьшается до нуля при расширении полосы и, соответственно, точности измерений разностей хода. Величина СКО оценок координат целей перестаёт уменьшаться, начиная с полосы 15 МГц. Уровень, на котором стабилизируется величина СКО оценок координат целей, соответствует полосе излучаемого сигнала равной примерно 7 МГц при отсутствии ошибок измерения координат позиций. Если увеличить эти ошибки в два раза, то величина этого уровня также увеличивается в два раза, а соответствующие этому уровню полосы уменьшаются во столько же раз.

### Литература

1. Вакин С.А., Шустов Л.Н. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки. – М.: Советское радио, 1968. – 448 с.
2. Атражев М.П., Ильин В.А., Марьин Н.П. Борьба с радиоэлектронными средствами. – М.: Воениздат, 1972. — 272 с.
3. Палий А.И. Радиоэлектронная борьба. – М.: Военное издательство, 1989. – 350 с.
4. Куприянов А.И. Радиоэлектронная борьба: ракеты против РЛС. – М.: Вузовская книга, 2016. – 182 с.
5. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация. – М.: Радио и связь, 1993. – 744 с.
6. Кондратьев В.С. Многопозиционные радиотехнические системы / В.С. Кондратьев, А.Ф. Котов, Л.Н. Марков; Под ред. В.В. Цветнова. – М.: Радио и связь, 1986. – 264 с.
7. Аверьянов В.Я. Разнесенные радиолокационные станции и системы. – Минск: Наука и техника, 1978. – 184 с.
8. Терсин В.В. Применение разнесенного приема для измерения третьей координаты в поле двухкоординатных радиолокационных станций // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2012, №4, С.39-46.
9. Выгодский М.Я. Справочник по элементарной математике. – М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1965. – 424 с.
10. Дьяконов В.П. Справочник по алгоритмам и программам на языке бейсик для персональных ЭВМ: Справочник. – М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1987. – 240 с.

**Поступила 15 января 2016 г.**



## Applying spaced reception to measure geographical coordinates of near-earth spacecraft radiation source

**Vladimir Vladimirovich Tersin** – Candidate of Technical Sciences Associate Professor Murom institute (branch) FGBOU VO “The Vladimir state university of Alexander Grigoryevich and Nikolay Grigoryevich Stoletovykh”.

*E-mail:* vvtersin@yandex.ru.

*Address:* Orlovskaya st., 23, Murom, 602264.

*Abstract:* Differential distance algorithm is investigated to estimate the position of a near-earth radiation source in three-dimensional space for geographical (Greenwich geocentric) coordinate system. Radiation detectors travel with identical speed in space at 700 km altitude in polar orbits. There were obtained experimental dependences of geographical coordinates estimate accuracy of radiation source on the measuring accuracy of path difference value of the emitted signal for each pair of receiving stations taking part in measurements, as well as on the range from the central position to the source. The above named was obtained via simulation modeling of the algorithm under research. Besides, the effect of the estimate accuracy of detectors position and their quantity on the accuracy of radiation source geographical coordinates was evaluated. It was found out as a result of the analysis of the dependences obtained through experiments that the receiving channels quantity in measuring emitted signal path differences not only between central and each peripheral positions, but also between the neighboring peripheral receiving positions can be reduced to four that is minimum possible for three-dimensional measurements. The quantity of receiving positions has to be not less than five without additional measurements as with smaller quantity the Newton method used for finding estimates of radiation source geographical coordinates diverges. It also appeared that the mean square error of source coordinates measurement decreases with growth channels quantity without additional measurements of path difference, but when using additional measurements this reduction is not so essential and is practically is away with seven receiving stations. Besides, the mean square error of radiation source coordinates measurement decreases in proportion to growing signal bandwidth that determines measuring accuracy value of path difference and also it also decreases with growing measuring bases to the limit defined by direct visibility of the most remote receiving station and, of course, with shortening distance between a signal source and its receivers. Additional measurements of path between neighboring peripheral receiving stations are used to identify uncorrelated radiation sources.

*Key words:* spaced reception, geographical coordinate system, bias of an estimation, mean square error, longitude, latitude, altitude, signal bandwidth, differential distance algorithm, spacecraft, medium orbit.

### References

1. Vakin S. A., Shustov L.N. Fundamentals of electronic countmeasures and intelligence. - M.: Sovetskoye radio, 1968. - 448 p.
2. Atrazhev M.P., Ilyin V.A., Maryin N. P. Warfare against radio-electronic facilities. - M.: Voenizdat, 1972. - 272 p.
3. Paliy A.I. Radio-electronic warfare. - M.: Voennoye izdatelstvo, 1989. - 350 p.
4. Kupriyanov A.I. Radio-electronic warfare: missiles against radars. - M.: Vuzovskaya kniga, 2016. - 182 p.
5. Chernyak V. S. Multiposition radar system. - M.: Radio i svyaz 1993. - 744 p.
6. Kondratyev V. S. Multiposition radio engineering systems / V. S. Kondratyev, A.F. Kotov, L.N. Markov; Ed. by V. V. Tsvetnov. - M.: Radio i svyaz 1986. - 264 p.
7. Averyanov V.Ya. Spaced radar stations and systems. - Minsk: Nauka i tekhnika, 1978. - 184 p.
8. Tersin V. V. Space method application to measure the third coordinate in the field of two-coordinate radar stations - Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnye sistemy. 2012, No. 4, P.39-46.
9. Vygodsky M. Ya. The handbook on elementary mathematics. - M.: Nauka. Ch. Ed. Board of Literature in Physics and Mathematics. 1965. – 424 p.
10. Dyakonov V.P. The handbook on algorithms and programs in BASIC language for PC: Handbook. - M.: Nauka Ch. Ed. Board of Literature in Physics and Mathematics, 1987. - 240 p.