

## Определение координат источника радиоизлучения

© А.А. Грешилов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Описывается метод определения координат источника радиоизлучения при приеме радиосигналов одного источника радиоизлучения с использованием нелинейных (в том числе круговых) антенных систем (АС) произвольной формы, состоящих из слабонаправленных и направленных элементов (вibrаторов). Также рассмотрены методы определения пеленгов. Применяются многопозиционные системы регистрации, размещенные как на земле, так на летательных аппаратах. Повышения точности и скорости нахождения координат источника радиоизлучения достигают благодаря использованию особенностей нелинейных АС, позволяющих устранить влияние неучтенной помехи на значения пеленгов, и путем сведения алгоритма нахождения параметров сигнала к прямому расчету по элементарным формулам. Точечные оценки координат одного источника радиоизлучения проводят по имеющемуся набору измерений пеленгов различными методами с учетом погрешностей всех измерений и получают эллипсоид рассеяния координат ИРИ.*

**Ключевые слова:** пеленг, антенные системы, источник радиоизлучения, итерационный процесс, обратная матрица.

**Введение.** Пеленгация источников радиоизлучения (ИРИ) имеет место в процессе мониторинга радиоэлектронной обстановки. При этом необходимо определять азимутальные, угломестные пеленги ИРИ и амплитуду сигнала, по которым устанавливают координаты источника радиоизлучения. Пеленгатор регистрирует излучение путем записи сигналов на элементы (вibrаторы) антенной системы (АС). Выполняя различные действия над сигналами, принимаемыми вibrаторами, определяют параметры излучения, а затем координаты источника радиоизлучения. Проблема состоит в том, чтобы понять, какие действия над сигналами окажутся эффективнее. Данной проблеме посвящены работы [1, 2]. В частности, наиболее полно проблема определения координат источника излучения (ИРИ) рассмотрена в [2]. Прием сигналов ИРИ осуществляется в заданной полосе частот  $\Delta F$  перемещающимся в пространстве бортовым пеленгатором на летно-подъемном средстве (ЛПС). Измеряются пространственно-информационные параметры обнаруженных сигналов: азимута  $\theta_i$  и угла места  $\beta_i$  в системе координат антенной системы с одновременным определением местоположения ЛПС  $\{B_{lps}, L_{lps}, H_{lps}\}$ , где  $B_{lps}$ ,  $L_{lps}$  и  $H_{lps}$  — широта, долгота и высота ЛПС соответственно. Предварительно устанавливают

удаления ИРИ  $d_i$  от ЛПС и координаты ИРИ  $\vec{V}_{ni} = \{X_0, Y_0, Z_0\}_i$  в момент времени  $t_i$  в левосторонней системе декартовых координат антенной системы пеленгатора. Корректируют координаты ИРИ  $\vec{V}_{yi} = \{X'_0, Y'_0, Z'_0\}_i$  с учетом априорно известной ориентации антенной системы бортового пеленгатора относительно ЛПС  $\{k_{\text{ant}}, l_{\text{ant}}, \zeta_{\text{ant}}\}$  путем последовательного умножения значений координат  $\vec{V}_{ni}$  на соответствующие углам Эйлера матрицы поворота. После чего вычисляют истинные геоцентрические координаты местоположения ИРИ  $\vec{V}_{\text{ГЦ}i} = \{X''_0, Y''_0, Z''_0\}_i$  с учетом измеренных в момент времени  $t_i$  пространственных углов ЛПС (крена  $k_{\text{лps } i}$ , тангажа  $l_{\text{лps } i}$ , курсового угла  $\alpha_{\text{лps } i}$  и склонения  $\zeta_{\text{лps } i}$ ), а также координат его местоположения (широты  $B_{\text{лps } i}$ , долготы  $L_{\text{лps } i}$ , и высоты  $H_{\text{лps } i}$ ). Склонение  $\zeta_{\text{лps } i}$  рассчитывают как разность между путевым  $\mu_{\text{лps } i}$  и курсовым  $\alpha_{\text{лps } i}$  углами ЛПС. Истинные геоцентрические координаты  $\vec{V}_{\text{ГЦ}i}$  местоположения ИРИ преобразуют в географические координаты  $\vec{V}_{\text{Г}i} = \{B_0, L_0, H_0\}_i$ .

Курсовой угол летно-подъемного средства находят по принятым радиосигналам от космических аппаратов (КА) глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Координаты ИРИ получают с помощью пеленгатора, состоящего из антенной решетки, которая выполнена из  $N > 2$  идентичных ненаправленных антенных элементов, расположенных в плоскости пеленгования. С помощью внешнего генератора с шагом  $\Delta\theta$  и  $\Delta\beta$  проводится измерение фаз на элементах АС. Полученные данные запоминают, и в дальнейшем они служат для определения пространственно-информационных параметров обнаруженных сигналов (азимута  $\theta$  и угла места  $\beta$ ). Причем эти измерения осуществляются путем облета ЛПС.

Этот способ определения пеленгов имеет недостатки:

1) не обеспечивает высокую точность результатов, используя заранее подготовленную таблицу, которая связывает показания на элементах АС с азимутальными и угломестными пеленгами, полученными с помощью внешнего генератора, включая облет ЛПС;

2) степень отличия измеренных параметров  $\Delta\varphi_{1,h \text{ изм}}(f_v)$  от эталонных значений  $\Delta\varphi_{1,h \text{ эт}}(f_v)$ , рассчитанных для всех направлений прихода сигнала  $\Delta\theta_k$  и  $\Delta\beta_c$  и всех  $f_v$ , вычисляют по формуле [2]

$$H_{0,\beta}(f_v) = \sum_1^N \sum_n^N \left( \Delta\varphi_{1,h,k,c \text{ эт}}(f_v) - \Delta\varphi_{1,h \text{ изм}}(f_v) \right)^2. \quad (1)$$

Однако формула (1) не содержит какую-либо информацию о погрешностях указанных величин;

3) отсутствует четкий алгоритм определения погрешностей координат источника излучения;

4) проведение многочисленных математических операций с измеренными величинами (случайными величинами). Ошибки при каждой такой операции накапливаются, но авторы не уделяют этому внимания.

В настоящей работе описывается способ определения координат ИРИ, в котором учитываются указанные недостатки.

**Определение азимутальных и угломестных пеленгов.** Процедура нахождения координат источника излучения базируется на знании азимутальных и угломестных пеленгов, на основании которых записывают уравнения линий на плоскости или в пространстве. Координаты точки пересечения линий и есть координаты источника излучений. Как показано в работе [2], результаты, полученные в одной системе координат, легко пересчитываются в другие системы координат. Выберем декартову прямоугольную систему координат.

В работе [3] описан метод определения пеленгов сигналов, зарегистрированных АС любой конфигурации. Он заключается в том, что любую АС можно свести к линейной, к системе круговых АС с общим фазовым центром и т. п. и сформулировать таким образом функцию, описывающую комплексную огибающую сигнала ИРИ на выходе элементов АС. От полученной функции на выходе элементов АС и от комплексных чисел на элементах АС берут натуральный логарифм. Приравнивают соответствующие действительные и мнимые части. Из равенства действительных частей определяют амплитуду сигнала, а из равенства мнимых — фазы. Записывая равенства мнимых частей для всех элементов АС, получаем систему алгебраических уравнений, из которой вычисляют азимутальный и угломестный пеленги, а также начальную фазу сигнала. Для предлагаемого способа необходимо иметь не менее двух элементов АС, отстоящих на разные углы от направления отсчета. Для круговой (кольцевой) АС, согласно этому способу, получаем формулы для оценок азимутального и угломестного пеленгов и начальной фазы сигнала. Из системы линейных алгебраических уравнений

$$A\vec{\theta} = Y \quad (2)$$

получим

$$\cos \beta = \frac{P_1 - \hat{\varphi}_0}{\cos \theta} \quad \left( \begin{array}{c} \operatorname{tg} \theta (P_1 - \hat{\varphi}_0) \\ \hat{\varphi}_0 \end{array} \right) = (A^T A)^{-1} A^T Y,$$

$$\text{где } A = \begin{pmatrix} \sin \gamma_2 & 1 - \cos \gamma_2 \\ \sin \gamma_3 & 1 - \cos \gamma_3 \\ \sin \gamma_n & 1 - \cos \gamma_n \end{pmatrix}; \quad \bar{\theta} = \begin{pmatrix} \operatorname{tg} \theta (P_1 - \widehat{\varphi}_0) \\ \widehat{\varphi}_0 \end{pmatrix}; \quad Y = \begin{pmatrix} P_2 - P_1 \cos \gamma_2 \\ P_3 - P_1 \cos \gamma_3 \\ - \\ P_n - P_1 \cos \gamma_n \end{pmatrix};$$

$\gamma_m$  — угол между  $m$ -м вибратором и направлением отсчета;  $\theta$  — азимутальный пеленг;  $\beta$  — угломестный пеленг;  $\varphi_0$  — начальная фаза сигнала;

$$P_m = 2\pi \frac{R}{\lambda} \cos(\theta - \gamma_m) \cos \beta + \varphi_0$$

или  $p_m = \cos(\theta - \gamma_m) \cos \beta + \widehat{\varphi}_0$ ;  $m = 1, \dots, n$ ;

где  $p_m = \frac{P_m \lambda}{2\pi R}$ ;  $\widehat{\varphi}_0 = \frac{\varphi_0 \lambda}{2\pi R}$ ;  $\gamma_1 = 0$  — начало отсчета;  $\lambda$  — длина волны сигналов ИРИ;  $R$  — радиус антенной системы.

Сразу получаем оценку начальной фазы сигнала  $\varphi_0$ , затем определяем оценку азимутального пеленга  $\theta$  из найденного значения  $\operatorname{tg} \theta (P_1 - \widehat{\varphi}_0)$  и оценку угломестного пеленга  $\beta$ . Поскольку получены аналитические формулы для вычисления начальной фазы сигнала  $\varphi_0$ , азимутального пеленга  $\theta$ , а затем угломестного пеленга  $\beta$ , то для них достаточно просто вычислить дисперсии, как для функции случайного аргумента [4–6].

В работе [3] приведено и другое решение, в котором аналитически исключается начальная фаза сигнала.

Обозначим

$$\left( \cos \gamma_2 - 1 - \frac{P_2 - P_1}{P_3 - P_1} \cos \gamma_3 + \frac{P_2 - P_1}{P_3 - P_1} \right) = A; \quad (3)$$

$$\left( \sin \gamma_2 - \frac{P_2 - P_1}{P_3 - P_1} \sin \gamma_3 \right) = B; \quad (4)$$

$A$  и  $B$  — известные константы, т. е.

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{A}{B}. \quad (5)$$

При известном  $\theta$  получим

$$\cos \beta = \frac{P_2 - P_1}{\cos(\theta - \gamma_2) - \cos \theta}. \quad (6)$$

Пеленги  $\theta$  и  $\beta$  определяются по каждому элементу АС. Из полученного ряда значений находим среднее значение пеленгов, их дисперсии и коэффициенты корреляции.

Следует отметить, что операции, имеющие место в формулах (2) и (3), (4)—(6), не представляют большой вычислительной сложности, для их выполнения требуется немного времени, а ошибка в определении пеленгов уменьшается, поскольку в предлагаемом алгоритме учитывают или исключают начальную фазу сигнала  $\varphi_0$ , влияющую на значение пеленгов.

Рассматриваемый метод можно применять в совокупности с любым способом пеленгации (при любой конфигурации АС) в случае регистрации одного сигнала на выделенной частоте для определения значений азимутальных и угломестных пеленгов ИРИ. Тем более, что в предлагаемом методе не применяются одномерные, двух- и трехмерные сетки значений  $\theta, \beta, \varphi_0$ .

Для вычисления дисперсии найденных оценок применяется следующая формула [4–6]:

$$D[f(x)] = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f(x)}{\partial x_i} D(x_i).$$

В исследуемом случае в качестве  $f(x)$  выступают формулы для  $\cos\beta$ ,  $\operatorname{tg}\theta$ ,  $\varphi_0$ . В качестве  $x_i$  выступают все другие переменные, входящие в формулу, например:  $\cos\beta = \frac{P_1 - \varphi_0}{\cos\theta}$ . Тогда  $f(x) = \cos\beta$ ;

$$P_1 \equiv x_1; \varphi_0 \equiv x_2; \cos\theta \equiv x_3;$$

$$D(\cos\beta) = \sum_{i=1}^3 \left( \frac{\partial \cos\beta}{\partial x_i} \right)^2 D(x_i).$$

**Определение координат источника излучения путем объединения всей информации по пеленгам.** Итак, известен набор пеленгов и их погрешностей от разных источников (пеленгаторов разного вида), а также координаты регистраторов сигналов и погрешности этих координат. Азимутальный и угломестный пеленги определяют координаты направляющего вектора прямой в пространстве, проходящей через точку с известными координатами (регистратор сигналов) и через точку с неизвестными координатами  $x$  и  $y$  (источник излучения). Каноническое уравнение прямой в пространстве, проходящей через точку  $M_1(x_0, y_0, z_0)$  параллельно вектору  $\bar{S} = l\bar{i} + m\bar{j} + n\bar{k}$ , имеет вид

$$\frac{x - x_0}{l} = \frac{y - y_0}{m} = \frac{z - z_0}{n}.$$

Уравнение этой же прямой можно записать как пересечение двух плоскостей:

$$\begin{cases} \frac{x-x_0}{l} = \frac{y-y_0}{m}; \\ \frac{y-y_0}{m} = \frac{z-z_0}{n}. \end{cases}$$

Уравнение прямой на плоскости (например, плоскости  $XU$ ) имеет вид

$$\frac{x-x_0}{l} = \frac{y-y_0}{m}.$$

Для прямой на плоскости введем  $l = \cos \alpha$ ;  $m = \sin \alpha$ . Тогда

$$x \sin \alpha - y \cos \alpha = x_0 \sin \alpha - y_0 \cos \alpha$$

или

$$x \operatorname{tg} \alpha - y = b, \tag{7}$$

где  $b = x_0 \operatorname{tg} \alpha - y_0$ .

В данном уравнении прямой (7) две случайные величины —  $\operatorname{tg} \alpha$  и  $b$ . При известных дисперсиях  $\sigma^2(x_0)$ ;  $\sigma^2(y_0)$ ;  $\sigma^2(\alpha)$  получим дисперсию

$$D(b) = D(x_0 \operatorname{tg} \alpha - y_0) = (x_0/\cos^2 \alpha)^2 \sigma^2(\alpha) + \operatorname{tg}^2 \alpha \sigma^2(x_0) + \sigma^2(y_0);$$

$$D(\operatorname{tg} \alpha) = (1/\cos^4 \alpha) \sigma^2(\alpha).$$

Собрав данные о пеленгах с разных  $N$  источников, получим систему уравнений

$$x \operatorname{tg} \alpha_i - y = b_i, \quad i = 1, \dots, N,$$

в которой необходимо определить координаты  $(x, y)$  источника излучений.

Метод наименьших квадратов применить нельзя, так как он предназначен только для случая, когда в левой части уравнения отсутствуют случайные величины. Если запишем уравнение один раз с правой частью  $b_i$ , а второй раз — с  $\operatorname{tg} \alpha_i$ , то получим две прямые, выходящие из точки расположения пеленгатора под разными углами. Истинное направление будет находиться между ними. В данном случае применим методы конфлюэнтного анализа [4] для построения линии ортогональной регрессии, в которой учитываются погрешности всех исходных данных и которая наиболее близка к истинному направлению. Получим следующий функционал [4]:

$$F = 1/2(b_i - x \operatorname{tg} \alpha_i + y)^2 / [D(b_i) + x^2 D(\operatorname{tg} \alpha_i)],$$

точка минимума которого определяет точечные оценки координат

источника излучения. Для того чтобы найти координаты ИРИ, решим систему двух уравнений с двумя неизвестными  $x$  и  $y$ :

$$\frac{\partial F}{\partial x} = 0;$$

$$\frac{\partial F}{\partial y} = 0.$$

Ковариационную матрицу полученных точечных оценок  $x$  и  $y$  (матрицу  $M$ ) вычисляем при найденных точечных оценках:

$$M = \begin{pmatrix} -\frac{\partial^2 F}{\partial x^2} & -\frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} \\ -\frac{\partial^2 F}{\partial y \partial x} & -\frac{\partial^2 F}{\partial^2 y} \end{pmatrix}^{-1}.$$

Уравнение прямой линии в пространстве

$$\begin{cases} \frac{x - x_0}{l} = \frac{y - y_0}{m}; \\ \frac{y - y_0}{m} = \frac{z - z_0}{n} \end{cases}$$

эквивалентно системе уравнений плоскостей

$$m(x - x_0) - l(y - y_0) + 0z = 0;$$

$$0x + n(y - y_0) - m(z - z_0) = 0.$$

Система для определения координат  $(x, y, z)$  источника излучения в данном случае будет иметь  $2N$  уравнений с тремя неизвестными  $(x, y, z)$ . Она содержит четыре случайные величины:

$$\sigma^2(b_{1i}), \sigma^2(b_{2i}), m_i / l_i, n_i / m_i,$$

где  $b_{1i} = (m_i / l_i)x_0 - y_0$ ,  $b_{2i} = (n_i / m_i)y_0 - z_0$ .

Очевидно, что эта система распадается на две системы уравнений: на плоскости  $XY$  и на плоскости  $YZ$ .

Функционал конфлюэнтного анализа в данном случае имеет следующий вид [4]:

$$F = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{(b_{1i} - (m_i / l_i)x + y)^2}{\sigma^2(b_{1i}) + x^2 \sigma^2(m_i / l_i)} + \frac{(b_{2i} - (n_i / m_i)y - z)^2}{\sigma^2(b_{2i}) + y^2 \sigma^2(n_i / m_i)} \right].$$

Точечные оценки координат ИРИ вычисляем из системы уравнений

$$\frac{\partial F}{\partial x} = 0;$$

$$\frac{\partial F}{\partial y} = 0;$$

$$\frac{\partial F}{\partial z} = 0.$$

Ковариационная матрица  $M$  точечных оценок  $x$ ,  $y$  и  $z$

$$M = \begin{pmatrix} -\frac{\partial^2 F}{\partial x^2} & -\frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} & -\frac{\partial^2 F}{\partial x \partial z} \\ -\frac{\partial^2 F}{\partial y \partial x} & -\frac{\partial^2 F}{\partial y^2} & -\frac{\partial^2 F}{\partial y \partial z} \\ -\frac{\partial^2 F}{\partial z \partial x} & -\frac{\partial^2 F}{\partial z \partial y} & -\frac{\partial^2 F}{\partial z^2} \end{pmatrix}^{-1}.$$

По ковариационным матрицам строим на плоскости эллипс рассеяния, а в пространстве — эллипсоид рассеяния значений координат ИРИ.

Оценки координат ИРИ и их погрешности рассчитывают по явным формулам, на что не требуется много времени.

**Реализация алгоритма.** На рисунке приведена блок-схема алгоритма определения координат ИРИ. Алгоритм выполняется в следующей последовательности.

1. Прежде всего, **заранее** определяем функцию комплексной огибающей выходов элементов АС для каждой АС.

2. Пеленгующие устройства передают комплексные амплитуды с выходов элементов АС в блок логарифмирования, куда вводят и функцию комплексной огибающей выходов элементов АС для каждой АС.

3. После логарифмирования данные поступают в блок сравнения действительных и мнимых частей, в котором определяется амплитуда зарегистрированного сигнала и формируются уравнения из равенства мнимых частей.

4. Сформированные уравнения поступают в решатель систем алгебраических уравнений, где получают точечные оценки пеленгов и начальной фазы сигнала.

5. В вычислителе 1 при полученных точечных оценках пеленгов и начальной фазы сигнала рассчитывается ковариационная матрица оценок пеленгов и начальной фазы сигнала.



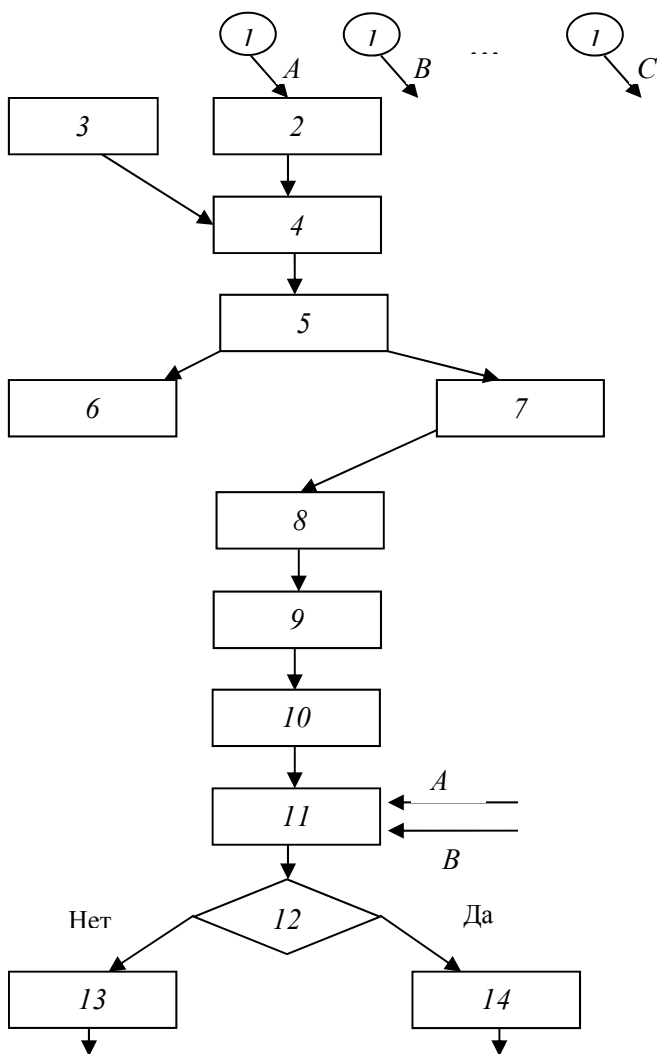
6. Данные о пеленгах и их погрешностях поступают в базу пеленгов и их погрешностей, куда также поступают подобные данные с других пеленгующих устройств.

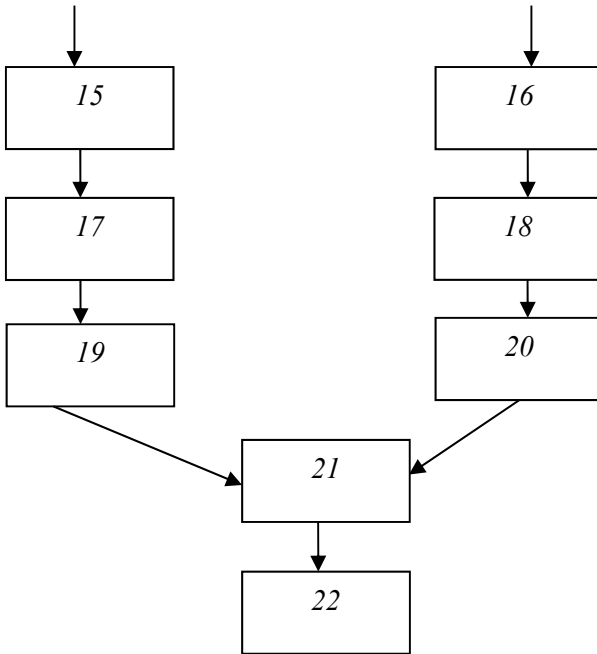
7. Выбираем вид прямой — на плоскости или в пространстве. Согласно этому формируются системы уравнений для прямой на плоскости или в пространстве.

8. Соответственно в вычислителе 2 или 3 определяются точечные оценки координат ИРИ на плоскости или в пространстве.

9. При известных точечных оценках координат ИРИ в вычислителях 4 или 5 определяются ковариационные матрицы оценок на плоскости или в пространстве.

10. По ковариационным матрицам строятся эллипс рассеяния для оценки координат ИРИ на плоскости или эллипсоид рассеяния для оценки координат ИРИ в пространстве.





Блок-схема алгоритма определения координат ИРИ:

1 — пеленгующие устройства; 2 — комплексные амплитуды с выходов элементов АС; 3 — комплексная огибающая выходов элементов АС; 4 — блок логарифмирования; 5 — блок сравнения действительных и мнимых частей; 6 — амплитуда зарегистрированного сигнала; 7 — формирование уравнений из равенства мнимых частей; 8 — решатель систем алгебраических уравнений 9 — точечные оценки пеленгов и начальной фазы сигнала; 10 — вычислитель 1 (вычисление ковариационной матрицы оценок пеленгов и начальной фазы сигнала); 11 — база пеленгов и их погрешностей; 12 — прямая в пространстве; 13 — формирование системы уравнений для прямой на плоскости; 14 — формирование системы уравнений для прямой в пространстве; 15 — вычислитель 2 (точечные оценки координат ИРИ на плоскости); 16 — вычислитель 3 (точечные оценки координат ИРИ в пространстве); 17 — вычислитель 4 (вычисление ковариационной матрицы оценок координат ИРИ на плоскости); 18 — вычислитель 5 (вычисление ковариационной матрицы оценок координат ИРИ в пространстве); 19 — эллипс рассеяния для оценки координат ИРИ; 20 — эллипсоид рассеяния для оценки координат ИРИ; 21 — блок вывода результатов; 22 — выход

Формируется полная информация о координатах ИРИ, позволяющая принимать решения о дальнейших действиях.

**Пример.** При двух измерениях пеленгов от одного ИРИ получены уравнения двух прямых в пространстве:

$$(10 - x)/(-5) = (1 - y)/4 = (-3 - z)/8$$

и

$$(1 - x)/4 = (6 - y)/(-1) = (15 - z)/(-10).$$

Соответствующие уравнения как линия пересечения пересекающихся плоскостей имеют вид

$$40 - 4x = (-5) + 5y; \quad 2 - 2y = (-3) - z$$

и

$$(-1) + x = 24 - 4y; \quad 60 - 10y = 15 - z.$$

Нетрудно проверить, что прямые пересекаются в точке (5, 5, 5).

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Брызгалов А.П., Блаиров С.С., Хныкин А.В., Фальков Э.Я. *Способ определения координат источника радиоизлучения*. Пат. РФ № 2339966, G0155/00, 2005.
- [2] Иванов Ю.В., Наумов А.С., Саяпин В.Н., Смирнов П.Л., Соломатин А.И., Терентьев А.В., Царик О.В., Шепилов А.М. *Способ и устройство определения координат источника радиоизлучения*. Пат. РФ № 2419106, G01S13/46, 2006.
- [3] Грешилов А.А. Определение амплитуды, азимутов и начальной фазы сигналов. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. № 12. URL: <http://engjournal.ru/catalog/appmath/hidden/1156.html>.
- [4] Грешилов А.А. *Математические методы принятия решений*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006, 584 с.
- [5] Грешилов А.А. *Некорректные задачи цифровой обработки информации и сигналов*. Изд. 2-е, доп. Москва, Логос, 2009, 360 с.
- [6] Грешилов А.А., Плохута П.А. *Способ определения азимутальных и угломестных пеленгов источников радиоизлучения с повышенным быстродействием*. Пат. РФ № 2380720, МПК G 01 S5/04, 27.01.2010.

Статья поступила в редакцию 05.07.2013 г.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Грешилов А.А. Определение координат источника радиоизлучения. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 12  
URL: <http://engjournal.ru/catalog/appmath/hidden/1156.html>

**Грешилов Анатолий Антонович** родился в 1939 г., окончил Московский инженерно-физический институт в 1964 г. Д-р техн. наук, профессор кафедры «Высшая математика» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 150 научных работ, в том числе более 30 монографий, 30 авторских свидетельств и патентов в области разработки математических методов учета неопределенности исходной информации в задачах математической физики, распознавания образов, прогнозирования и в других технических приложениях. e-mail: [agresh@mail.ru](mailto:agresh@mail.ru)