

УДК 681.884

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОПОЗИЦИОННОЙ ЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МАЛОЙ ДАЛЬНОСТИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В. А. Канаков, В. В. Горда

Нижегородский госуниверситет им. Н. И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия

На основе корреляционного и дальномерного методов разработан алгоритм определения координат движущихся источников широкополосного шума. Основным преимуществом указанного алгоритма является возможность исключить неоднозначности в определении координат целей, возникающие в многопозиционных системах. Для проверки разработанного алгоритма спроектирована и собрана лабораторная пассивная многопозиционная локационная система. В данной статье описываются параметры проведённого с помощью неё эксперимента и обсуждаются и анализируются полученные результаты.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных тенденций развития современной радиолокации является переход к многопозиционным системам [1–5]. Причиной этого является то обстоятельство, что последние обеспечивают ряд преимуществ, в частности возможность создания зоны действия требуемой конфигурации, высокоточное измерение пространственного положения целей, повышенная разрешающая способность и многое другое.

Однако у многопозиционных систем есть и некоторые недостатки: необходимость совместного управления разнесёнными позициями; необходимость передачи данных по линиям связи; дополнительные требования к процессу синхронизации; необходимость геодезической или навигационной привязки и совместной юстировки позиций. Отдельно обратим внимание на такой принципиальный недостаток многопозиционных локационных систем как неоднозначность определения координат групповых и распределённых целей.

Многопозиционные системы принято делить на два основных класса: системы ближнего [6–8] и дальнего [9, 10] действия. В данной работе мы рассмотрим применение пассивной локационной многопозиционной системы ближнего действия для лабораторного исследования процесса горения, развивающегося в объёме реагирующего вещества и сопровождаемого широкополосным акустическим шумом.

Целью настоящего исследования является разработка и экспериментальная проверка алгоритма определения пространственного положения и динамики точечных, групповых и распределённых источников широкополосного акустического шума методами пассивной многопозиционной локации. Указанная тематика является весьма актуальной, что подтверждается активным интересом к ней со стороны научного сообщества [11–13].

В процессе выполнения данной работы были рассмотрены различные комбинации методов пассивной многопозиционной локации и выполнен сравнительный анализ указанных методов по помехоустойчивости, разрешающей способности, точности и быстродействию.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Сформулировать поставленную задачу можно следующим образом. Пусть в некотором объёме пространства имеется образец твёрдого топлива и протекает процесс его горения, порождаю-

щий характерный звук. Требуется определить траектории движения активных точек указанного процесса и скорости их перемещений в пространстве с помощью системы микрофонов, расположенных на поверхности обозначенного объёма. Тестовым объектом, пригодным для проведения простого лабораторного опыта, является обыкновенная бенгальская свеча.

2. ОСНОВНЫЕ ДОПУЩЕНИЯ

Будем считать, что выполняются следующие допущения. Во-первых, скорость распространения звука в среде (воздухе), заключённой внутри рассматриваемого объёма, существенно выше скорости перемещения области пространства (в данном случае горячей точки бенгальской свечи), охваченной исследуемым процессом. Это позволяет пренебречь эффектом Доплера. Данное допущение справедливо для процесса горения при нормальном давлении.

Во-вторых, среду, заключённую внутри рассматриваемого объёма, будем считать изотропной и однородной. Данное допущение позволяет облегчить вычисления и оперировать при решении задачи не тензорами, а скалярными величинами. Кроме того, оно позволяет не учитывать многократные отражения излучения. Такая идеализация применима для достаточно большого количества ситуаций и, очевидно, справедлива для лабораторного воздуха.

В-третьих, будем полагать, что область пространства, охваченную исследуемым процессом, т. е. горящую зону бенгальской свечи, можно рассматривать как некоторую совокупность элементарных ячеек с характерным размером, определяемым разрешающей способностью локационной системы, каждая из которых является точечным источником характерного шумового сигнала.

В-четвёртых, излучаемый указанными выше точечными источниками сигнал, а также помехи различного происхождения, поступающие на вход приёмных устройств локационной системы, будем считать случайным белым гауссовым шумом. Это предположение может быть обосновано с помощью центральной предельной теоремы теории вероятностей, согласно которой случайный процесс, складывающийся под действием многих независимых или слабо зависимых факторов, имеет распределение, близкое к нормальному.

3. ТЕОРИЯ

В ходе проведения настоящего исследования была построена следующая модель локационной системы. В выбранных точках поверхности рассматриваемого объёма пространства размещаются всенаправленные точечные акустические датчики, т. е. микрофоны со слабо выраженной диаграммой направленности. Все они синхронизируются во времени. Где-то внутри указанного объёма начинается и протекает исследуемый процесс (в данном случае горение бенгальской свечи), сопровождаемый возникновением характерного звука (шипения). Звук, излучаемый горячей точкой с координатами (x, y, z) , начинает регистрироваться каждым датчиком системы в моменты времени t_i , где i — номер соответствующего датчика. Принимая скорость распространения звука в воздухе известной и равной $v = 340$ м/с, можно составить систему алгебраических уравнений, позволяющих найти (x, y, z) :

$$r_i - r_j = v(t_i - t_j), \quad j = \text{const}, \quad i = 1, \dots, n, \quad i \neq j, \quad (1)$$

где r_i — расстояние от i -го датчика до точки пространства, из которой был излучён принятый сигнал, n — количество датчиков системы.

Для реализации данного способа нахождения (x, y, z) локационной системе будет достаточно набора из четырёх датчиков. Однако совокупность уравнений (1) в общем виде не имеет ана-

литического решения, что вынуждает использовать какие-либо численные методы. Их применение негативно сказывается на всех характеристиках алгоритма определения координат, т. к. их точность принципиально не может быть выше точности аналитического решения, а время работы алгоритма в этом случае определяется количеством итераций, необходимых для достижения условия выхода из цикла.

Это обстоятельство легко устраняется путём введения дополнительного уравнения (и, следовательно, датчика), в результате чего совокупность уравнений принимает вид

$$\begin{aligned}(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2 &= L^2, \\(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 + (z_2 - z)^2 &= (L + dr_{12})^2, \\(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 + (z_3 - z)^2 &= (L + dr_{13})^2, \\(x_4 - x)^2 + (y_4 - y)^2 + (z_4 - z)^2 &= (L + dr_{14})^2, \\(x_5 - x)^2 + (y_5 - y)^2 + (z_5 - z)^2 &= (L + dr_{15})^2,\end{aligned}$$

где L — расстояние от источника до первого датчика, а $dr_{ij} = r_j - r_i$ — разность расстояний от источника до i -го и j -го датчиков. Путём несложных преобразований она может быть сведена к линейной:

$$2 \begin{pmatrix} x_1 - x_2 & y_1 - y_2 & z_1 - z_2 & -v dt_{12} \\ x_1 - x_3 & y_1 - y_3 & z_1 - z_3 & -v dt_{13} \\ x_1 - x_4 & y_1 - y_4 & z_1 - z_4 & -v dt_{14} \\ x_1 - x_5 & y_1 - y_5 & z_1 - z_5 & -v dt_{15} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ L \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_1^2 - r_2^2 + (v dt_{12})^2 \\ r_1^2 - r_3^2 + (v dt_{13})^2 \\ r_1^2 - r_4^2 + (v dt_{14})^2 \\ r_1^2 - r_5^2 + (v dt_{15})^2 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где $r_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2}$ — расстояние от i -го датчика до начала координат декартовой системы, $dt_{ij} = dr_{ij}/v$ — временные задержки. Линейная совокупность алгебраических уравнений может быть разрешена аналитически в общем виде, что потенциально позволяет достичь оптимальных быстродействия и точности алгоритма.

Для определения временных задержек dt_{ij} традиционно используется корреляционный алгоритм. Однако его применение вносит неоднозначность, связанную с формированием полного набора временных задержек dt_{ij} , где $i = \text{const}$, $j = 1, \dots, 5$ в случае одновременной локации нескольких источников. Устранить указанную неоднозначность представляется возможным с помощью построения многомерных корреляционных функций [14], определяемых формулой

$$R(dt_{12}, dt_{13}, dt_{14}) = \int_{-\infty}^{+\infty} s_1(t) s_2(t - dt_{12}) s_3(t - dt_{13}) s_4(t - dt_{14}) dt, \quad (3)$$

где s_i — сигнал, зарегистрированный i -м датчиком системы. В этом случае каждому максимуму многомерной корреляционной функции ставится в соответствие сразу $n - 1$ временная задержка, где n — число сомножителей в подынтегральном выражении.

Если n — нечётное число, то наблюдается нарушение известных свойств корреляционных функций, в частности свойства их убывания по мере увеличения отклонения задержек от их истинных величин dt_{ij}^r , что негативно сказывается на работоспособности всего алгоритма определения координат. Поэтому в данной работе число сомножителей n в подынтегральном выражении было взято равным 4.

Такой выбор также не является абсолютно удовлетворительным, т. к. количество временных задержек, связанных с конкретным максимумом корреляционной функции, меньше необходимого для решения системы (2). Тем не менее, данный нюанс легко устраним путём вычисления второй многомерной корреляционной функции, последний сомножитель в подынтегральном выражении которой изменён на $s_5(t - dt_{15})$. Таким образом, полный набор временных задержек для решения системы (2) формируется с помощью вычисления двух многомерных корреляционных функций (3).

С целью минимизации ошибки формирования полного набора временных задержек алгоритм предусматривает проверку совпадения первых двух значений в неполных наборах временных задержек.

При изучении свойств используемых многомерных корреляционных функций выяснилось, что корректность формирования полного набора временных задержек может быть проверена дополнительно путём вычисления многомерных корреляционных функций в разных базисах: $R(dt_{12}, dt_{13}, dt_{14})$, $R(dt_{21}, dt_{23}, dt_{24})$, $R(dt_{31}, dt_{32}, dt_{34})$ и $R(dt_{41}, dt_{42}, dt_{43})$. Дело в том, что, как оказалось, определённая таким образом многомерная корреляционная функция одного точечного источника имеет трёхмерное тело неопределённости в форме диаграммы с шестью лепестками (рис. 1), которые вытянуты вдоль линий, описываемых уравнениями

$$\begin{aligned} dt_{12} - dt_{13} &= dt_{12}^r - dt_{13}^r, & dt_{14} &= dt_{14}^r, \\ dt_{12} - dt_{14} &= dt_{12}^r - dt_{14}^r, & dt_{13} &= dt_{13}^r, \\ dt_{14} - dt_{13} &= dt_{14}^r - dt_{13}^r, & dt_{12} &= dt_{12}^r, \end{aligned} \quad (4)$$

где dt_{ij}^r — значения временных задержек, соответствующие реальному местоположению источника в пространстве.

Очевидно, что смена базиса при вычислении трёхмерной корреляционной функции приводит к повороту тела неопределённости относительно его центральной точки.

Этот же приём позволяет улучшить помехоустойчивость всего алгоритма определения координат источников широкополосного излучения за счёт взаимной компенсации боковых лепестков тел неопределённости трёхмерных корреляционных функций, определённых в различных базисах.

4. КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ

Для проверки работоспособности описанного алгоритма и оценки его характеристик была создана его компьютерная модель на базе программных комплексов MatLab и LabView. В ней координаты датчиков системы, скорость распространения возмущения в рассматриваемом объёме пространства, а также траектории движения, скорость перемещения и количество точечных источников задавались пользователем вручную. В качестве генераторов излучения точек пространства, охваченных изучаемым процессом, использовались встроенные генераторы случайных сигналов с гауссовским распределением амплитуд.

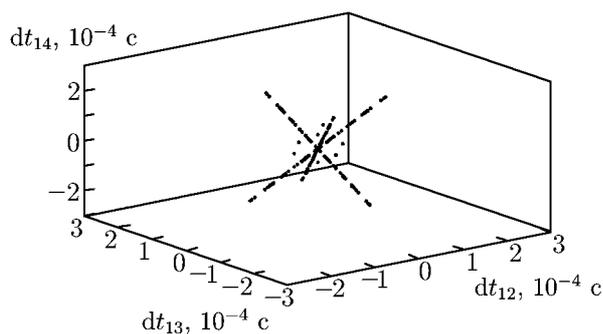


Рис. 1. Тело неопределённости трёхмерной корреляционной функции точечного источника широкополосного шума (компьютерное моделирование)

Вся программная модель представляла собой два основных блока: блок решения прямой задачи и блок решения обратной задачи. Блок решения прямой задачи генерировал некоторый случайный сигнал S_0 с длительностью T_0 для каждой точки траектории источника. Длительность сигнала T_0 равнялась времени, необходимому для перемещения источника из i -й точки траектории в $(i + 1)$ -ю. Далее, по установленным пользователем значениям вычислялись временные задержки регистрации сигнала, излучённого источником из i -й точки траектории, и сгенерированный сигнал S_0 сдвигался на соответствующие каждому каналу задержки с учётом времени, необходимого источнику для перемещения из начальной точки в i -ю точку траектории. После достижения источником конца траектории все элементарные сигналы для каждого канала суммировались и записывались в специальный файл.

Блок решения обратной задачи представлял собой программу, считывающую созданные блоком решения прямой задачи реализации сигналов, а также информацию о координатах установки датчиков локационной системы и скорости распространения звука в рассматриваемой среде и реализующую описанный в предыдущем разделе алгоритм. Для наглядности использовались стандартные средства визуализации получаемых результатов.

По результатам, полученным в ходе компьютерного моделирования, было принято решение о создании экспериментальной установки и проведении физического моделирования системы в лабораторных условиях.

5. ЭКСПЕРИМЕНТ

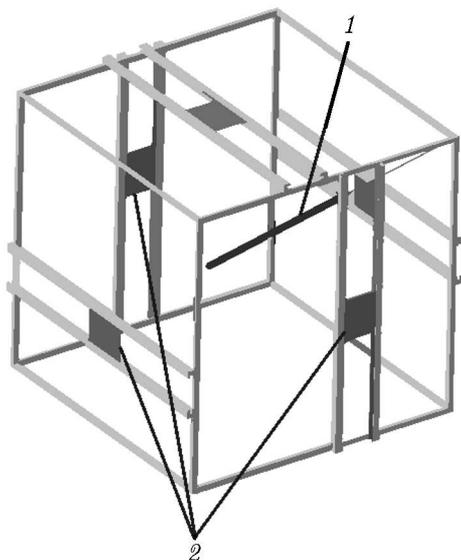


Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки:
1 — источник, 2 — датчики

Для апробации описанного алгоритма в условиях лаборатории была создана установка, состоящая из несущей конструкции в виде проволочного каркаса кубической формы, пластиковых кронштейнов-направляющих для приёмных устройств локационной системы, самих приёмных устройств, их элементов питания, узлов закрепления источников шумовых широкополосных сигналов, самих источников (бенгальских свечей) и блока сбора и обработки информации (рис. 2). Размер грани кубического каркаса равен 20,5 см. Приёмные устройства системы были собраны на базе электретных микрофонов типа ЕСМ-4F(Р). Такие микрофоны были выбраны в силу их слабо выраженной диаграммы направленности, а также ввиду их малых размеров.

Перед началом экспериментов была проведена калибровка микрофонов с помощью калиброванного широкополосного гидрофона «Bruel & Kjaer Miniature Hydrophone Type 8103». Для калибровки применялись короткие импульсные сигналы. С учётом полученной калибровочной характеристики были получены спектры акустического излучения бенгальских свечей (рис. 3). Из него видно, что максимальная частота в спектре излучения бенгальской свечи приблизительно равна 60 кГц (для данного эксперимента использовались 2 канала аналого-цифрового преобразователя с частотной полосой регистрации по 150 кГц на каждый канал).

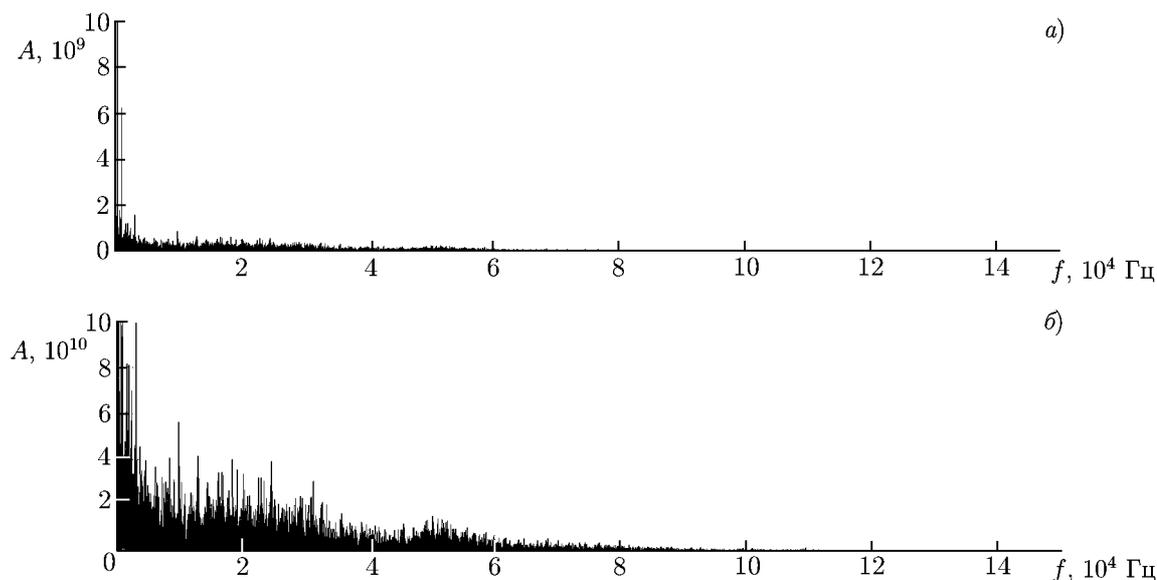


Рис. 3. Спектр акустического излучения бенгальской свечи: исходный (а) и калиброванный (б). A — спектральная амплитуда в отсчётах, f — частота

В качестве источников сигналов использовались бенгальские свечи, надёжно прикреплённые к каркасу установки. При этом устранялась возможность проскальзывания свечей во время горения.

Блок сбора и обработки информации был представлен блоком ввода-вывода NI VNC-2120, платой многоканального аналого-цифрового преобразователя NI PXI-6251 и персональным компьютером.

Параметры усилителя были подобраны таким образом, что в рабочем режиме отрицательные части выходных сигналов «срезались». Это было сделано с целью увеличения динамического диапазона приёмных устройств.

Для снятия вопросов о влиянии такого механизма преобразования сигналов на конечный результат, т. е. на корректность определения времён задержек dt_{ij} , была проведена серия специальных экспериментов с сигналами различной мощности. В ходе этих экспериментов было установлено, что искусственное ограничение снизу снижает общую мощность сигнала, что сказывается на величине максимума формируемой корреляционной функции. Кроме того, за счёт этой операции в сигналах с нулевой постоянной составляющей появляется положительная компонента на нулевой частоте. Величина этой компоненты зависит от уровня мощности сигнала, его длительности и порога ограничения.

Возникающая положительная составляющая проявляется уже при вычислении традиционных взаимных корреляционных функций: в них появляется аддитивная мешающая компонента треугольной формы. Для устранения этого мешающего эффекта можно использовать два способа. Во-первых, перед построением корреляционной функции можно вычислять математическое ожидание реализации в каждом канале передачи данных и «опускать» принятый сигнал на эту величину. Во-вторых, после вычисления корреляционной функции можно «пробежать» по ней «скользящим окном», в котором также вычислять и затем вычитать из неё математическое ожидание той её части, которая попадает в данный момент в это «окно».

Оба способа не сильно сказываются на общих свойствах всего алгоритма: его помехоустойчивость несколько снижается по сравнению с ситуацией, когда регистрируемые сигналы не ограничены снизу. Однако это снижение примерно соответствует той ситуации, когда в измерительной

схеме для расширения динамического диапазона вместо ограничителя использовался бы аттенюатор. В силу более простой реализации ограничителя предпочтение было отдано именно ему.

6. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

В ходе проведённых исследований были получены различные изображения тела неопределённости многомерной корреляционной функции в зависимости от отношения сигнал/шум (рис. 4).

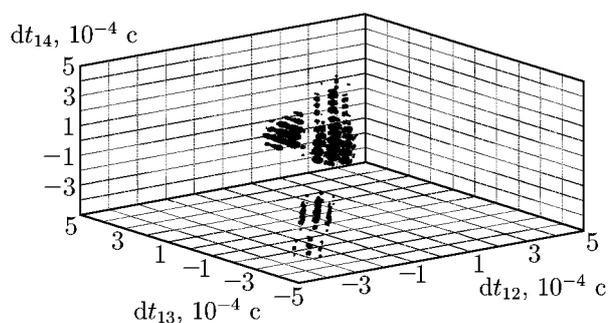


Рис. 4. Тело неопределённости трёхмерной корреляционной функции точечного источника широкополосного шума (эксперимент). Отношение сигнал-шум равно 6 дБ

Основными характеристиками исследуемой системы являются точность (характеристика, показывающая ошибку определения координат цели относительно её истинного положения) и разрешающая способность (характеристика, определяющая способность системы принимать решение о наличии разных целей, дальности, углы или скорости которых отличаются на минимальную различимую величину). Сравним теоретические оценки этих величин с результатами, полученными в ходе лабораторного эксперимента. Для такого сравнения будем использовать калиброванные значения, найденные в ходе компьютерного моделирования. Так, на первом графике (рис. 5) приведена зависимость точности определения местоположения источника с помощью исследуемого алгоритма от точности определения времён задержек сигналов, а на втором — зависимость характерного масштаба сечения тела неопределённости многомерной корреляционной функции по половинному уровню от её максимального значения от отношения сигнал/шум. Пунктиром на рис. 5б показана зависимость, полученная в ходе компьютерного моделирования и усреднённая по 30-ти реализациям, а сплошной линией — её аппроксимация.

Для обсуждения точности рассматриваемого алгоритма будем руководствоваться результатами, полученными в экспериментах с одним точечным источником. Исходя из заявленных характеристик используемого оборудования, можно получить следующую оценку. Частота дискретизации аналого-цифрового преобразователя составляла 300 кГц на 5 каналов передачи данных. Таким образом, на один канал приходилось 60 кГц. Поскольку в данной задаче не требуется восстановление формы аналогового сигнала, положим максимальную частоту спектра регистрируемого сигнала в каждом канале равной 60 кГц, а не 30 кГц, как требует теорема Котельникова. В этом случае на 150 отсчётов будет приходиться временной интервал порядка $2,5 \cdot 10^{-3}$ с. Скорость горения бенгальской свечи составляет величину порядка 0,1 м за 50 с, т. е. $2 \cdot 10^{-3}$ м/с. Следовательно, за анализируемый интервал в 150 точек, источник сместится на $5 \cdot 10^{-6}$ м.

Погрешность определения временной задержки будет равна шагу дискретизации $dt = 1,7 \cdot 10^{-5}$ с. Таким образом, погрешность определения координат, связанная с погрешностью определения временных задержек, будет составлять величину порядка $5 \cdot 10^{-3}$ м (рис. 5). Считая, что истинное положение микрофонов абсолютно точно соответствует введённым в программу значениям, получим предельную точность алгоритма, равную $dr \approx 5 \cdot 10^{-3}$ м. Данная оценка прекрасно согласуется с результатами работы алгоритма (рис. 6).

Что касается оценки разрешающей способности рассматриваемого алгоритма, то теоретически её можно оценить как характерный масштаб сечения тела неопределённости многомерной корреляционной функции по половинному уровню от её максимального значения. Исходя из рис. 5,

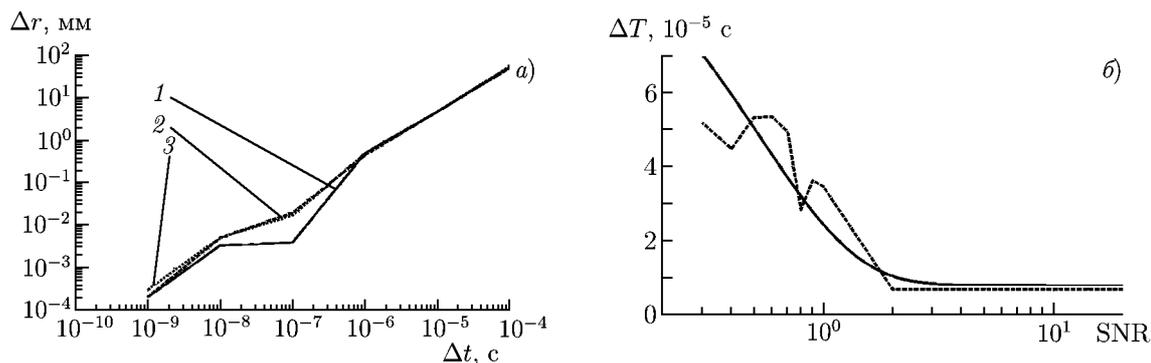


Рис. 5. Зависимости точности определения местоположения источника Δr от точности определения времён задержек Δt (панель *a*, кривая 1 отвечает точности определения x , 2 — y , 3 — z) и характерного масштаба сечения тела неопределённости ΔT трёхмерной корреляционной функции от отношения сигнал-шум SNR (панель *б*)

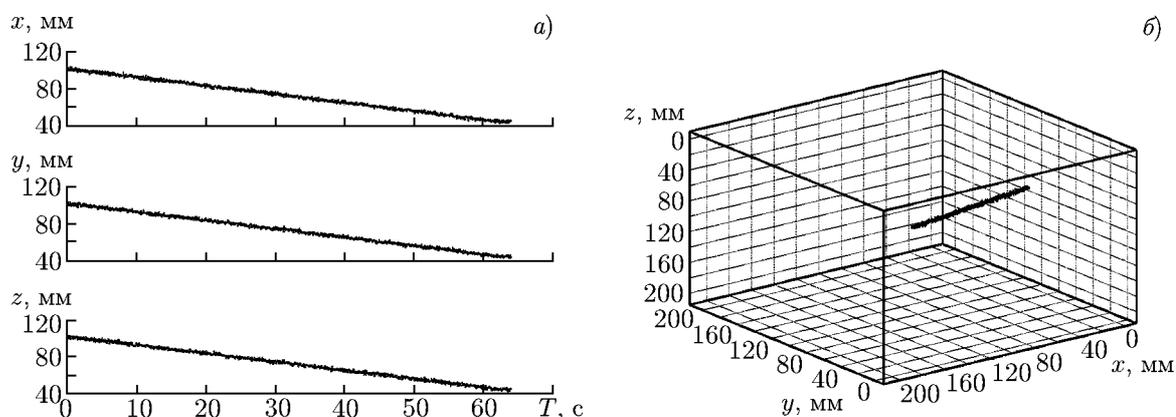


Рис. 6. Определение траектории горения одной бенгальской свечи (эксперимент): проекции на координатные оси (*a*) и трёхмерная модель (*б*)

при одновременной активности двух источников широкополосного шума (отношение сигнал/шум в этом случае будет составлять величину порядка единицы, т. к. излучение второго источника будет являться помехой при определении местоположения первого) получим характерный размер тела неопределённости многомерной корреляционной функции порядка $3 \cdot 10^{-5}$ с, что соответствует разрешающей способности $1,0 \cdot 10^{-2} \div 1,5 \cdot 10^{-2}$ м. В случае одновременной активности 3-х источников разрешающая способность составит величину порядка $3 \cdot 10^{-2}$ м. Данная оценка также замечательно согласуется с результатами, полученными в лабораторном эксперименте (рис. 7).

На точность работы алгоритма также непосредственно влияет точность установки датчиков локационной системы, т. е. соответствие реальных координат датчиков тем, которые были введены в программу. Влияние этого фактора на результат работы всего алгоритма приведено на рис. 8.

В целом экспериментальные результаты хорошо согласуются с модельными и теоретическими. Их расхождение может объясняться перечисленными выше причинами.

Таким образом, в случае точной установки всех пяти датчиков локационной системы потенциальная точность алгоритма для данного состава оборудования в приведённых экспериментах будет составлять величину порядка $5 \cdot 10^{-3}$ м по каждой координате.

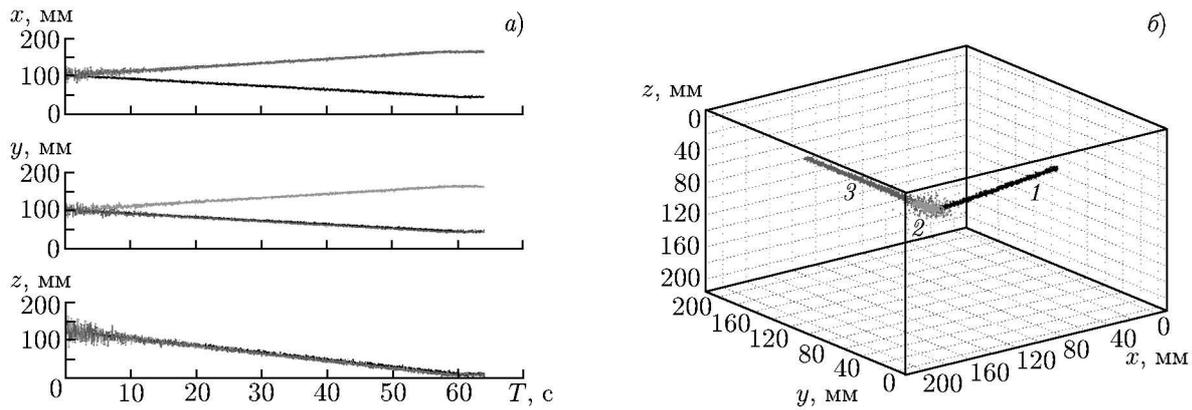


Рис. 7. Определение траекторий горения трёх бенгальских свечей 1, 2 и 3 (эксперимент): проекции на координатные оси (а) и трёхмерная модель (б)

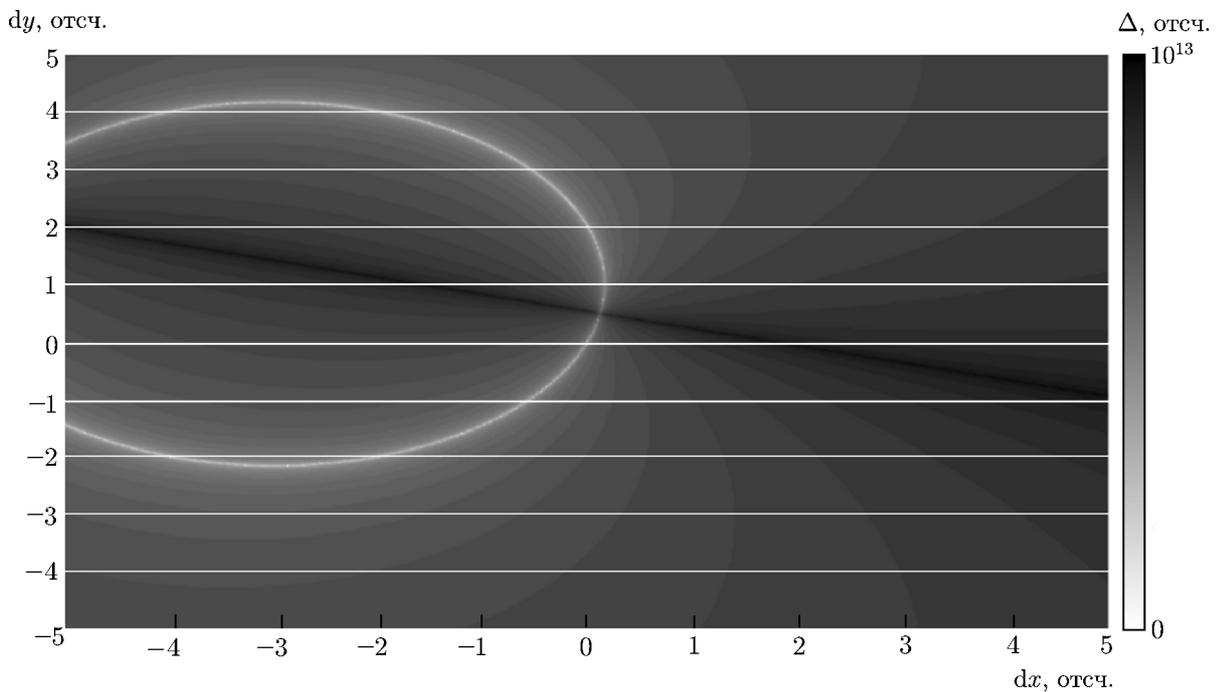


Рис. 8. Зависимость ошибки Δ определения координат цели в зависимости от величины несоответствия координат, введённых в компьютерную программу, истинным координатам датчиков системы. По оси абсцисс отложена величина несоответствия по координате x для одного из датчиков системы, по оси ординат — по координате y для того же датчика. На линейной тоновой шкале показано отклонение определённых программой координат цели от её истинного положения. Зависимость получена путём компьютерного моделирования

ВЫВОДЫ

В ходе проведённого исследования был выполнен теоретический анализ работы многопозиционной пассивной акустической локационной системы малого радиуса действия, проведено имитационное компьютерное моделирование её работы, получены данные лабораторного физического эксперимента по измерению траекторий точек горения тестового объекта в виде нескольких

бенгальских свечей, проанализированы возможные причины возникновения систематических погрешностей измерения траекторий точек горения и оценена потенциальная точность этих измерений.

Основным результатом настоящей работы является экспериментальное подтверждение принципиальной возможности определения траектории перемещения зоны горения исследуемого образца твёрдого топлива с использованием описанного алгоритма.

В случае одного точечного источника шума (одной области горения бенгальской свечи) результаты, получаемые в эксперименте, прекрасно согласуются с теоретическими соотношениями и результатами компьютерного моделирования.

В случае одновременного наличия нескольких источников шума возможны различные ситуации. Когда области горения нескольких свечей находятся в непосредственной близости друг от друга, экспериментальная установка регистрирует перемещение границ общей области горения, не обеспечивая разрешения отдельных очагов горения. По мере взаимного удаления очагов горения друг от друга погрешность оценки координат асимптотически стремится к некоторому фиксированному значению, определяемому отношением сигнал/шум, длиной интервала анализа сигналов и параметров аналого-цифрового преобразователя установки. Это значение погрешности совпадает с её значением в экспериментах с единственным источником.

Работа выполнена в рамках программы развития ГОУ ВПО «Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского» на 2009–2018 годы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по радиолокации. Т.4. Радиолокационные станции и системы / Под. ред. М. М. Вейсбейна. М.: Сов. радио, 1978. 376 с.
2. Веневцев С. Ю., Булыгин Л. Ф. // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2004. № 6. С. 134.
3. Богомолов Н. П. // Вестник СибГАУ. 2006. № 2. С. 37.
4. Машаров К. В. // В мире научных открытий. 2010. № 5-1. С. 90.
5. Борисов Е. В. // Компоненты и технологии. 2012. Т. 3, № 128. С. 90.
6. Коган И. М. Ближняя радиолокация (теоретические основы). М.: Сов. радио, 1973. 272 с.
7. Бакулев П. А., Степин В. М. Методы и устройства селекции движущихся целей. М.: Радио и связь, 1986. 288 с.
8. Павлов С. Н., Самков С. В., Солодов Е. В. // Вторая Всерос. научная конф.-семинар «Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике», Муром, 4–7 июля 2006 г.
9. Волосюк В. К., Кравченко В. Ф. Статистическая теория радиотехнических систем дистанционного зондирования и радиолокации. М.: Физматлит, 2008. 704 с.
10. Горячкин О. В. // Вестник СГАУ. 2010. № 2. С. 92.
11. Борзов А. Б., Лихоеденко К. П., Муратов И. В. и др. // Журнал радиоэлектроники. 2009. № 10. С. 2.
12. Вовшин Б. М. // Широкополосные и сверхширокополосные сигналы и системы / Под. ред. А. Ю. Гринева. М.: Радиотехника, 2006. С. 101.
13. Бельский В. М., Богданов Е. Н., Борисенко В. А. и др. // Труды международной конф. «11 Харитоновские тематические научные чтения. Экстремальные состояния вещества. Детонация. Ударные волны», Саров, 2009. С. 703.
14. Канаков В. А., Горда В. В. // Вестник ННГУ. 2011. № 3 (1). С. 78.

Поступила в редакцию 1 февраля 2013 г.; принята в печать 28 февраля 2013 г.

STUDY OF CHARACTERISTICS OF SHORT RANGE MULTIPOSITION LOCATION SYSTEM FOR DYNAMIC PROCESSES DIAGNOSTICS

V. A. Kanakov and V. V. Gorda

Based on the correlation and distance-measuring methods, we developed an algorithm determining the coordinates of moving sources of broadband noise. The main advantage of this algorithm is the ability to eliminate the ambiguity of determining the target coordinates arising in the multiposition systems. To test the proposed algorithm, a laboratory passive multiposition locating system was designed and assembled. This paper describes the parameters of the experiment conducted using this system. The results we obtained are discussed and analyzed.