

УДК 534.8:519.6

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ПАССИВНОЙ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ТОМОГРАФИИ ИСТОЧНИКОВ НЕКОГЕРЕНТНОГО АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МЕГАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА

© 2006 г. В. И. Миргородский, В. В. Герасимов, С. В. Пешин

Институт радиотехники и электроники РАН, Фрязинский филиал

141190 Фрязино Московской области, пл. академика Введенского 1

E-mail: vim288@ire216.msk.su

Поступила в редакцию 02.09.05 г.

Приведены результаты экспериментального исследования корреляционных свойств теплового акустического излучения мегагерцового диапазона частот. Обнаружено, что величина корреляционных пиков на суммарных задержках, соответствующих прямому прохождению сигналов между пьезопреобразователями, зависит от их взаимного расположения. Этому явлению дано объяснение на основе учета возможности реализации разных диаграмм направленности приема и собственного теплового излучения пьезопреобразователей. Измерена величина корреляции сигналов, принимаемых от нагретой относительно окружающей среды области пространства. Оказалось, что наблюдаемая величина корреляции принимаемых сигналов зависит от времени нагрева рабочего элемента излучателя. Численные расчеты температурных распределений и учет эффекта декорреляции, связанного с протяженностью источника излучения, позволили достичь количественного согласования выводов теории и результатов экспериментов. Оценки достижимого в данной экспериментальной конфигурации пространственного разрешения показали, что оно, как предсказывают расчеты, близко к длине когерентности принимаемого излучения.

PACS: 43.60.Pt

Одним из способов осуществления пассивной томографии пространственных распределений источников некогерентного излучения является корреляционная обработка сигналов, принятых разнесенными в пространстве приемниками излучения [1–5]. Таким образом, представляется возможным проводить исследования для ряда практических применений [6, 7]. В частности, это может позволить изучать пространственные распределения температуры, принимая из исследуемой области тепловое излучение, которое, как известно, тоже является некогерентной эмиссией [6].

Данная работа посвящена особенностям пассивной корреляционной локации источников некогерентной эмиссии, основанной на корреляционной обработке 4-го порядка [5]. Использование такой обработки, как было показано в [5], позволяет в процессе синтеза томографических изображений обойти технически сложное решение системы уравнений Фредгольма первого рода.

Поскольку в данной работе основной упор делается на прием тепловых колебаний, которые в равновесии, как известно, имеют Гауссову статистику, то для этого случая, в соответствии с теоремой о моментах для действительных Гауссовых случайных переменных, корреляционную функцию 4-го порядка можно представить в виде суммы

попарных произведений корреляционных функций второго порядка. Отсюда следует, что для получения представления о свойствах корреляционной функции 4-го порядка возможно использовать корреляционные функции 2-го порядка, что и будет принято в дальнейшем в данной работе.

Результаты исследований возможностей и особенностей корреляционной локации 4-го порядка источника некогерентной эмиссии в килогерцовом диапазоне частот звуковых волн, распространяющихся в воздухе, были представлены в работе [8].

Однако больший интерес может представлять мегагерцовая область частот, так как именно эта частотная область, исходя из параметров затухания акустических волн, подходит для исследований конденсированных сред на сантиметровых пространственных масштабах.

Недавно была экспериментально обнаружена корреляция тепловых акустических сигналов, испускаемых плоским нагретым слоем в мегагерцовой области частот [10]. В работе было показано, что даже в случае геометрии, приспособленной для увеличения корреляции принимаемых сигналов, величина корреляции акустических сигналов оказалась весьма малой. Регистрация корреляции такой малой величины стала возможной благода-

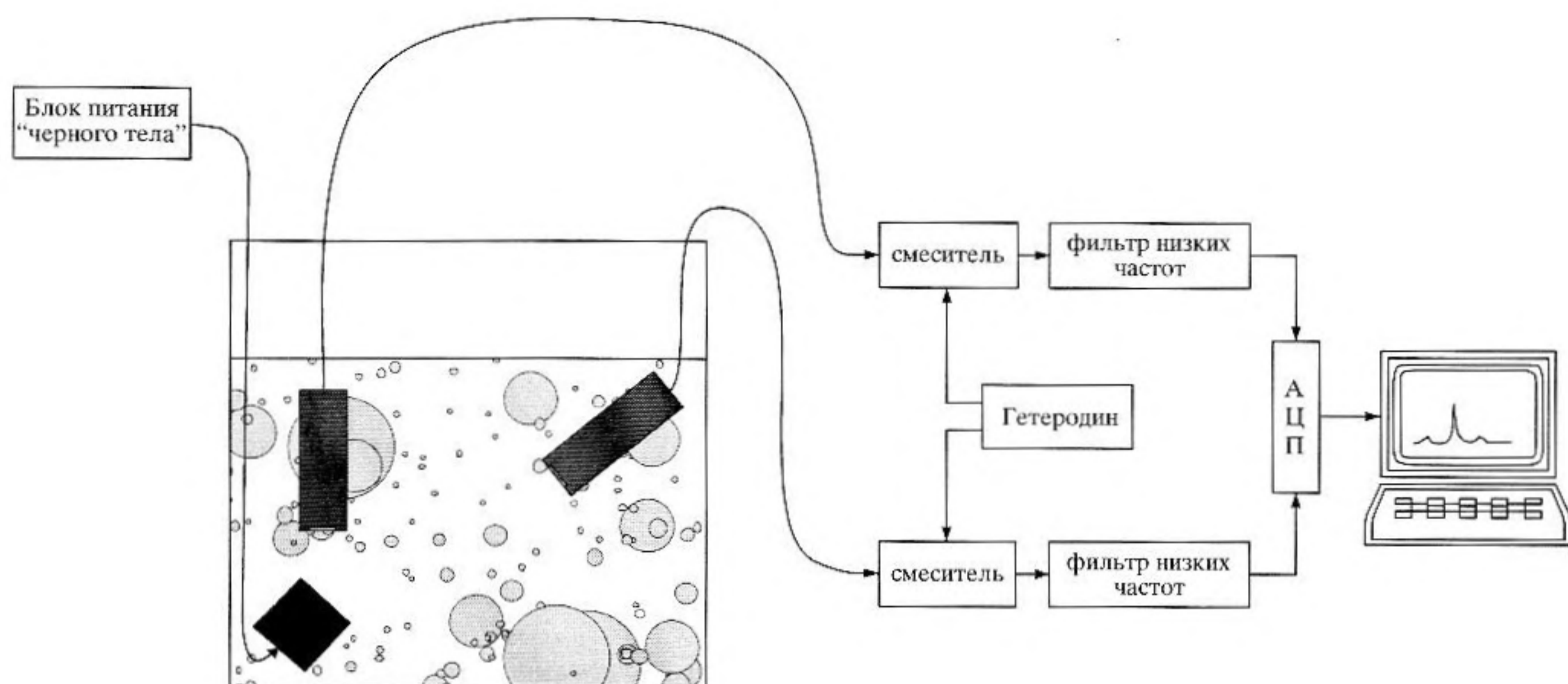


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

ря использованию достаточно длительного накопления сигналов.

Данное сообщение посвящено исследованию корреляционных свойств теплового акустического излучения мегагерцового диапазона, испускаемого источником теплового излучения объемного типа.

Использование для экспериментов источника такого типа представляет, на наш взгляд, практический интерес, так как, с одной стороны, он может служить моделью для исследования пространственного разрешения корреляционной локализации, а с другой стороны, с его помощью, как нам представляется, возможно оценить эффект влияния "неточечности" теплового источника на корреляционные зависимости.

Эксперименты проводились в резервуаре, заполненном водой, так как вода на расстояниях менее 1 м обладает, как известно, малым поглощением для акустических волн мегагерцового диапазона.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

Приемники акустического излучения (представленные прямоугольниками) направлялись своими чувствительными площадками на исследуемую область пространства, где помещался, в большинстве случаев, излучатель, представляющий собой цилиндр из плексигласа диаметром 2 см и длиной 2.8 см, на боковой образующей поверхности которого размещался электрический нагреватель.

Излучатель и приемники излучения помещались в заполненном водой резервуаре с размерами $1.5 \times 1.5 \times 0.5$ м³. Столь большие размеры резервуара были выбраны для исключения эффектов, связанных с возможными отражениями акустических сигналов от стенок резервуара. По-

верхность излучателя, из которой выводилось излучение, обычно выбиралась плоской для упрощения анализа результатов.

Прием акустического излучения осуществлялся пьезопреобразователями из ниобата лития в диапазонах 1.8 и 3 МГц. Такие значения диапазонов частот были выбраны исходя из того, что в этих диапазонах уже становятся существенными акустические затухания в полимерных материалах, из которых изготавливались рабочие элементы источника теплового излучения.

Использовался относительно небольшой диапазон принимаемых частот, равный примерно 50 КГц, хотя известно, что величина теплового акустического сигнала (а, следовательно, и точность его регистрации) возрастает при увеличении полосы принимаемых частот. Выбор такой полосы частот был связан с тем, что, таким образом, уменьшалось влияние на результаты эксперимента частотной зависимости акустического затухания, что было необходимо для облегчения интерпретируемости результатов.

Принятые пьезопреобразователями сигналы, после усиления, преобразовывались по частоте вниз, фильтровались и подавались на 8-ми разрядный АЦП, после которого размещались на жестком диске. Преобразование сигналов по частоте было применено для уменьшения эффективной частоты сигналов, что позволило существенным образом уменьшить принимаемое в единицу времени количество информации, и, таким образом, увеличить продолжительность ее накопления. Обычно темп сбора информации составлял около 1.45×10^5 измерений в секунду, однако, в некоторых случаях, его увеличивали до 3.3×10^5 измерений в секунду. За один эксперимент обычно прово-

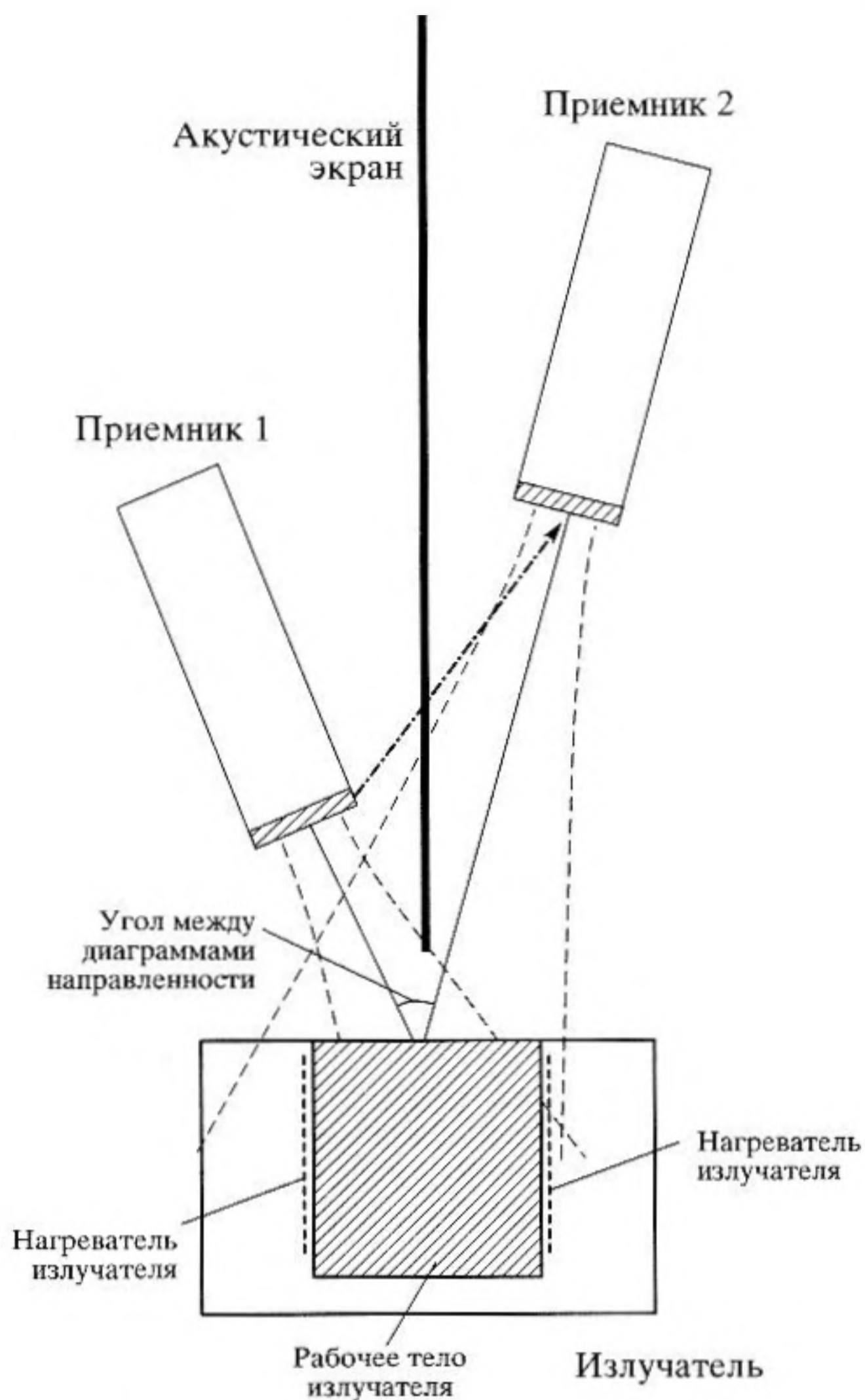


Рис. 2. Схематическая иллюстрация расположения приемников относительно исследуемой области пространства, где расположен излучатель. Расстояния от приемников до поверхности излучателя составляли 12 и 21 см, а угол между диаграммами направленности устанавливался около 15°.

дидась регистрация 32 миллионов отсчетов по двум каналам, что занимало либо около 220 с, либо около 97 с в зависимости от темпа регистрации. В процессе эксперимента проводилось несколько измерений (обычно от 10-ти до 150-ти), что позволяло регистрировать эффекты в зависимости от времени. Обычно анализировались огибающие нормированных корреляционных функций, которые рассчитывались с применением преобразования Гильберта.

Наиболее важной и сложной в изготовлении частью экспериментальной установки являлись приемники акустического излучения. Приемные блоки были выполнены в герметических корпусах, предназначенных для использования в воде. Диаметр принимающей ультразвук области пьезопреобразователя составлял 0.9 см.



Рис. 3. Зависимость от времени среднеквадратичного значения амплитуд сигналов по обоим каналам при времени усреднения 3 с.

Схематическая иллюстрация расположения приемников относительно излучателя представлена на рис. 2.

Для проверки работоспособности системы регистрации сигналов перед экспериментами проводился контрольный замер чувствительности приемников к тепловому излучению. Для этого в область пересечения приемных диаграмм приемников помещалась рука, сжатая в кулак.

На рис. 3 видно, что, когда в момент времени 20 с, в поле зрения приемников была внесена на 10 с рука, сжатая в кулак, то происходило увеличение сигнала. Температура руки составляла около 30°C, а температура воды в резервуаре около 15°C, следовательно, изменения сигналов, представленные на рис. 3, соответствуют перепаду температуры на $\approx 15^\circ$.

Как видно, размах шумовой дорожки для ближнего канала составляет примерно одну треть от величины скачка температуры на 15°. Отсюда можно оценить величину среднеквадратичного отклонения принимаемого акустического сигнала ($\approx 1/6$ от размаха), как несколько меньшую, чем 1°. Это находится в неплохом соответствии с оценкой данной величины по известному соотношению $\Delta T = T_0 / \sqrt{\tau \Delta F}$, где τ постоянная времени интегрирования, равная в данном случае 3 с, ΔF — полоса принимаемых частот, равная 50 КГц.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Перед проведением основных экспериментов было выполнено тестовое исследование корреляционных свойств сигналов, принимаемых двумя приемниками без источника сигнала. Использо-

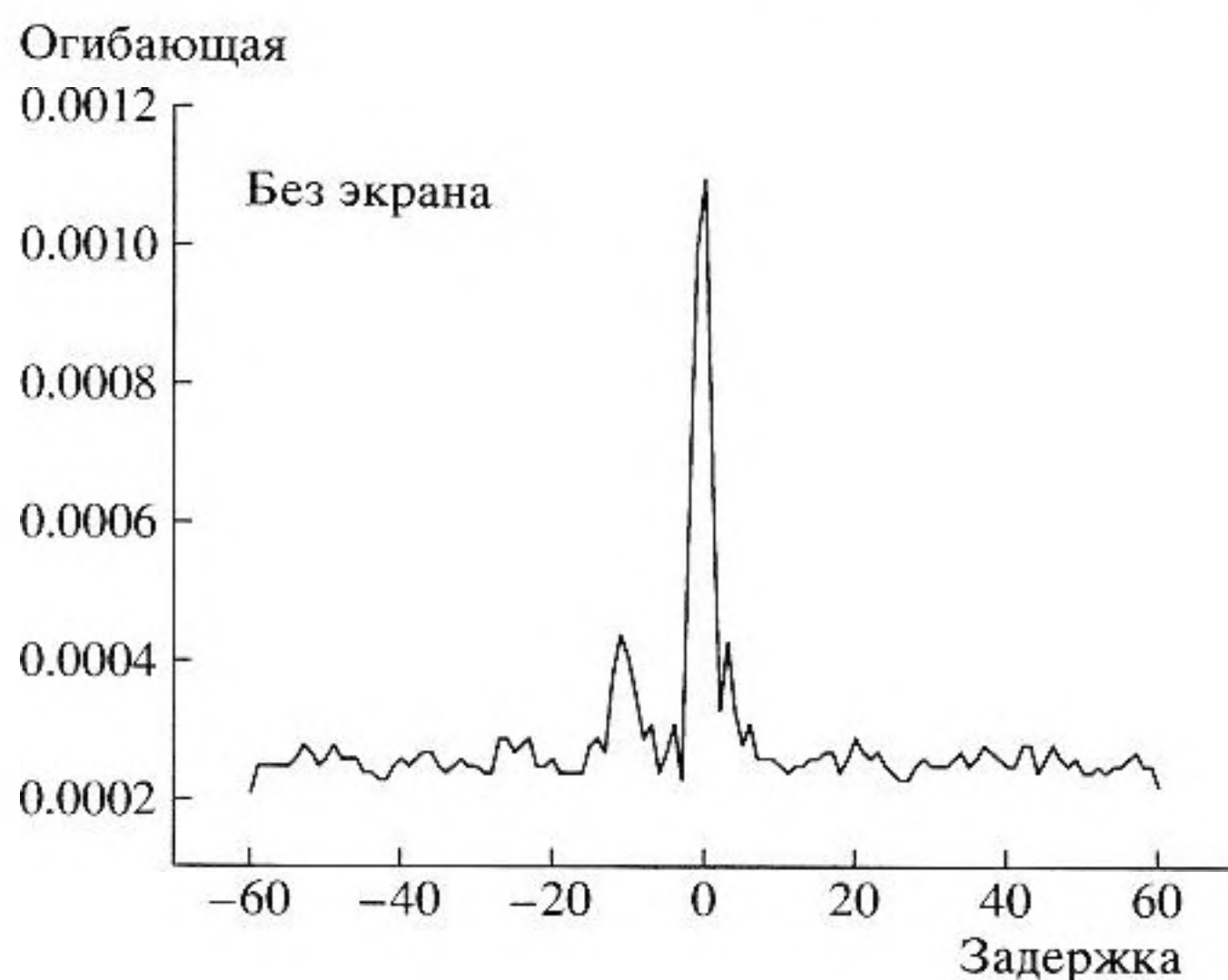


Рис. 4. Огибающая нормированной корреляционной функции, полученная без экрана и без объекта в области пересечения приемных диаграмм.

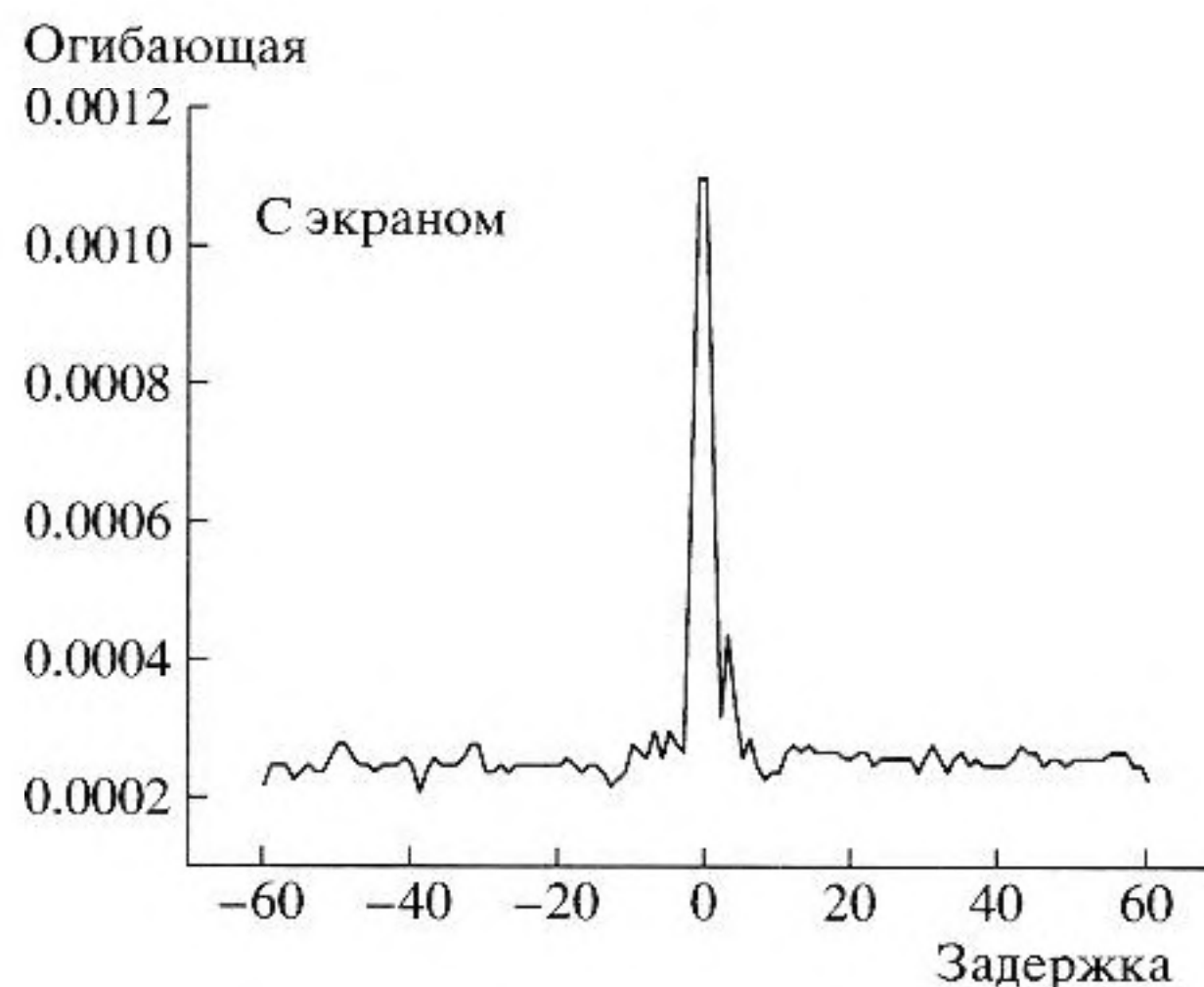


Рис. 5. Огибающая нормированной корреляционной функции, полученная с экраном, без объекта в области пересечения приемных диаграмм.

вались два приемника с пересекающимися диаграммами направленности, расположенными под малым углом ($\approx 15^\circ$), при этом разность хода сигналов из точки пересечения диаграмм составляла около 9 см.

На рис. 4 изображена огибающая нормированной корреляционной функции, полученная без изображенного на рис. 2 экрана и без объекта в области пересечения приемных диаграмм. По горизонтальной оси отложена задержка корреляционной функции. Задержка на одну единицу соответствует, при темпе сбора 1.45×10^5 измерений в секунду и скорости звука в воде 1.5×10^5 см/с, разности хода в пространстве около 1 см. Угол между диаграммами направленности приемников составлял около 15° .

Как видно, вблизи нулевой задержки наблюдается корреляционный пик величиной около 10^{-3} , а при задержке около (-10) – пик величиной около 2×10^{-4} . Пик вблизи нулевой задержки, как показал анализ, связан с синхронными, паразитными проникновениями в измерительные тракты помех электромагнитного происхождения. Другое дело, пик при задержке (-10), он, как оказалось, связан с проявлением эффекта приема собственных шумов приемников. Путь распространения собственного излучения от ближнего к исследуемому объекту приемника к дальнему представлен на рис. 2 штрихпунктирной линией. На рис. 5 представлена огибающая нормированной корреляционной функции, полученная в той же геометрии, что и ранее, однако между приемниками установлен акустический экран (изображенный на рис. 2 толстой вертикальной линией), предотвращающий прямое распространение звука между чувствительными площадками приемников.

Как видно, постановка экрана приводит к устранению пика при задержке (-10), что означает эффективное подавление прямого прохождения сигналов между приемниками. Таким образом, можно заключить, что постановка экрана устраняет ложные сигналы, которые могут осложнить интерпретацию экспериментальных результатов, так как ожидаемое положение корреляционного пика, связанного с тепловым излучением как раз и находится вблизи задержки (-10).

Дальнейшие эксперименты показали, что это не единственное проявление эффекта приема собственных сигналов (друг от друга) приемными пьезопреобразователями. При постановке в область пересечения диаграмм направленности приемников исследуемого объекта, как показано на рис. 2, оказалось, что на корреляционных функциях, как правило, появляются два симметричных относительно начала координат пика. Это иллюстрируется на рис. 6, где объектом исследования служил излучатель с выключенным подогревом, следовательно, находящийся в тепловом равновесии с окружающей водой.

Как видно, наблюдаются три пика: как и ранее, пик вблизи начала координат и два пика большей величины, расположенных симметрично, с расстояниями от начала координат около 33. Анализ положений пиков показал, что они соответствуют задержкам, равным сумме расстояний от поверхности исследуемого объекта до обоих приемников.

Впервые о наблюдении корреляций сигналов, принятых двумя приемниками, на суммарных задержках сообщалось в работе [11], где и было приведено объяснение его на основе учета собст-

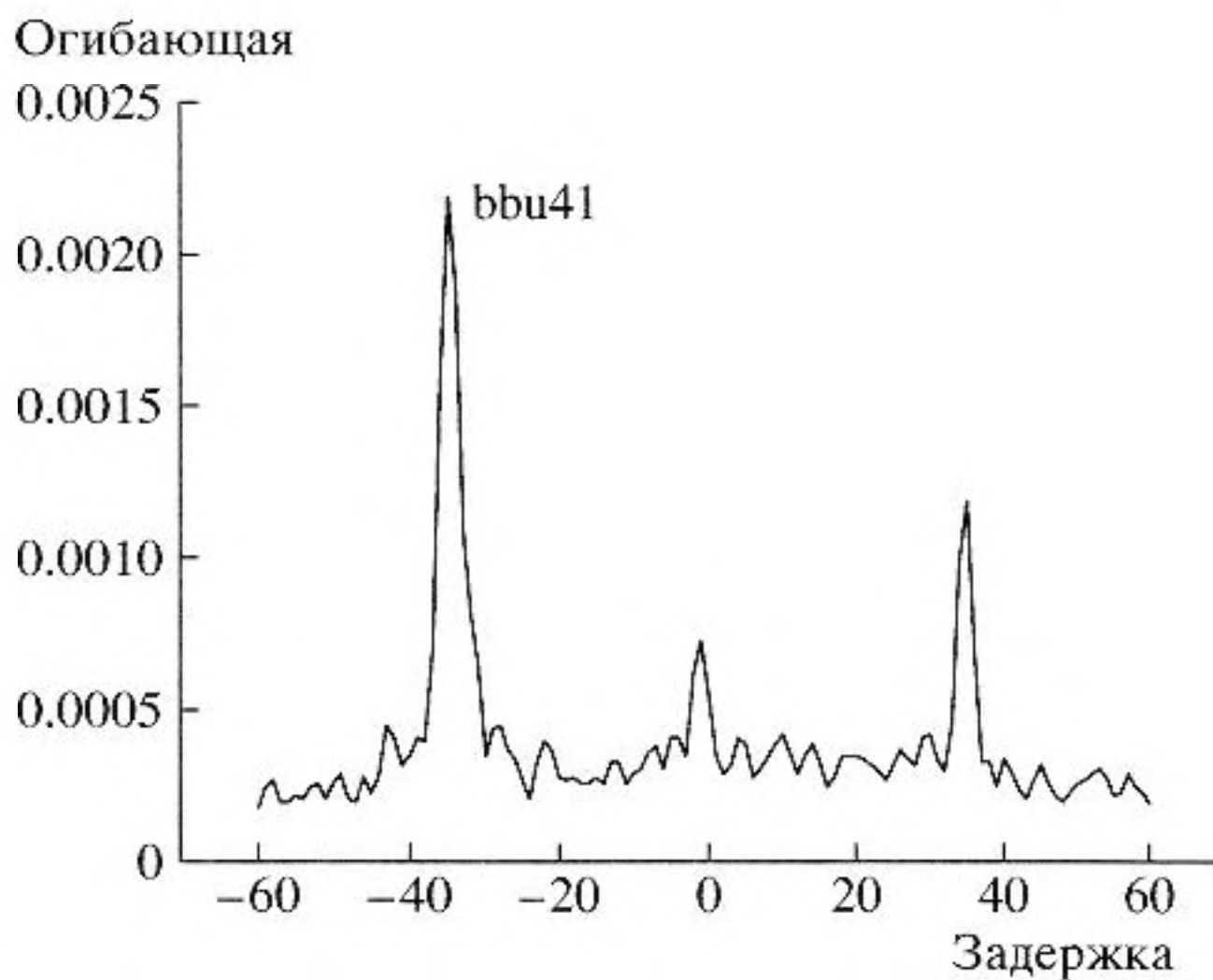


Рис. 6. Огибающая нормированной корреляционной функции, полученная с излучателем, находящимся при температуре окружающей воды.

венных тепловых сигналов излучаемых приемными пьезопреобразователями.

Механизм возникновения корреляций сигналов, приводящих к образованию этих пиков, состоит в том, что сигналы, излучаемые одним преобразователем, принимаются, после отражения от поверхности излучателя, другим и наоборот. Понятно, что в этом случае и должны наблюдаться корреляционные пики при задержках, соответствующих суммарным задержкам от объекта до приемников.

Относительно большая величина этих корреляционных пиков объясняется тем, что собственные сигналы пьезопреобразователей с одной стороны, излучаются в виде акустических волн из приемных граней пьезопреобразователей, а с другой стороны, усиливаются усилителями, подключенными к выходам пьезопреобразователей, и направляются в корреляторы. Таким образом, по сравнению с акустическими сигналами, принятыми извне, собственные сигналы приемников испытывают меньше преобразований, сопровождающихся, как известно, потерями, и поэтому имеют большую величину.

Интересной особенностью данного явления является то, что, как показали наши эксперименты, диаграммы направленности собственного излучения преобразователей не совпадают с их приемными диаграммами. Это следует из того, что в зависимости от взаимного расположения приемников соотношение корреляционных пиков, соответствующих излучению разных преобразователей, как следует из многочисленных экспериментов, может изменяться в широких пределах. В частности, на рис. 4 виден пик, связанный с излучением одного преобразователя, но отсутствует пик от другого, в то время как на рис. 6 видны

оба. В то же время, несложно показать, что если бы собственное излучение из преобразователя имело бы ту же диаграмму направленности, что и приемная диаграмма преобразователя, в соответствии с теоремой взаимности, соотношение пиков не должно было бы зависеть от взаимного расположения преобразователей.

Для объяснения наблюдаемого, оказалось достаточным учесть, что мы имеем дело с собственным тепловым излучением преобразователей, интенсивность излучения которых может быть неоднородно распределена по поверхности преобразователей. В самом деле, в соответствии с флуктуационно-диссипационной теоремой, чем больше диссипативные потери, тем больше собственное тепловое излучение. Поэтому области на поверхности пьезопреобразователя, имеющие большее значение потерь, больше излучают, но при этом из-за больших потерь они должны хуже принимать проходящее излучение. Следовательно, излучающие и принимающие области на поверхности преобразователя различны. Понятно, что в этом случае диаграммы направленности приема и собственного излучения пьезопреобразователей должны отличаться.

На следующем этапе работы проводились эксперименты с излучателем, рабочее тело которого нагревалось электрическим нагревателем. В результате оказалось, что после включения нагрева появляется дополнительный корреляционный пик при величине задержки, соответствующей разнице задержек от излучателя до приемников. Величина этого пика, как оказалось, зависит от времени. Типичный результат приведен на рис. 7, где приведены огибающие нормированных корреляционных функций, полученные в различные моменты времени после включения нагрева излучателя.

Как видно из сравнения рис. 7а с рис. 7б, включение подогрева излучателя привело через 220 с, к появлению пика при задержке (-9), величина этого пика составляет несколько более 10^{-3} . Именно этот сдвиг и соответствует разности хода от поверхности излучателя до приемников, а зависимость его величины от подогрева излучателя свидетельствует о том, что наблюдается корреляция тепловых сигналов. Дальнейший нагрев излучателя, как видно, приводит к постепенному уменьшению величины корреляционного пика при (-9), а при времени, равном 2000 с, корреляционный пик при задержке (-9) уже не виден.

На рис. 8 приведены зависимости амплитуд сигналов в обоих каналах от времени, которые были зарегистрированы в процессе эксперимента.

Как видно из рис. 8, при увеличении времени нагрева, амплитуда сигналов в обоих каналах увеличивается, что и должно было наблюдаться при нагреве с постоянной мощностью.

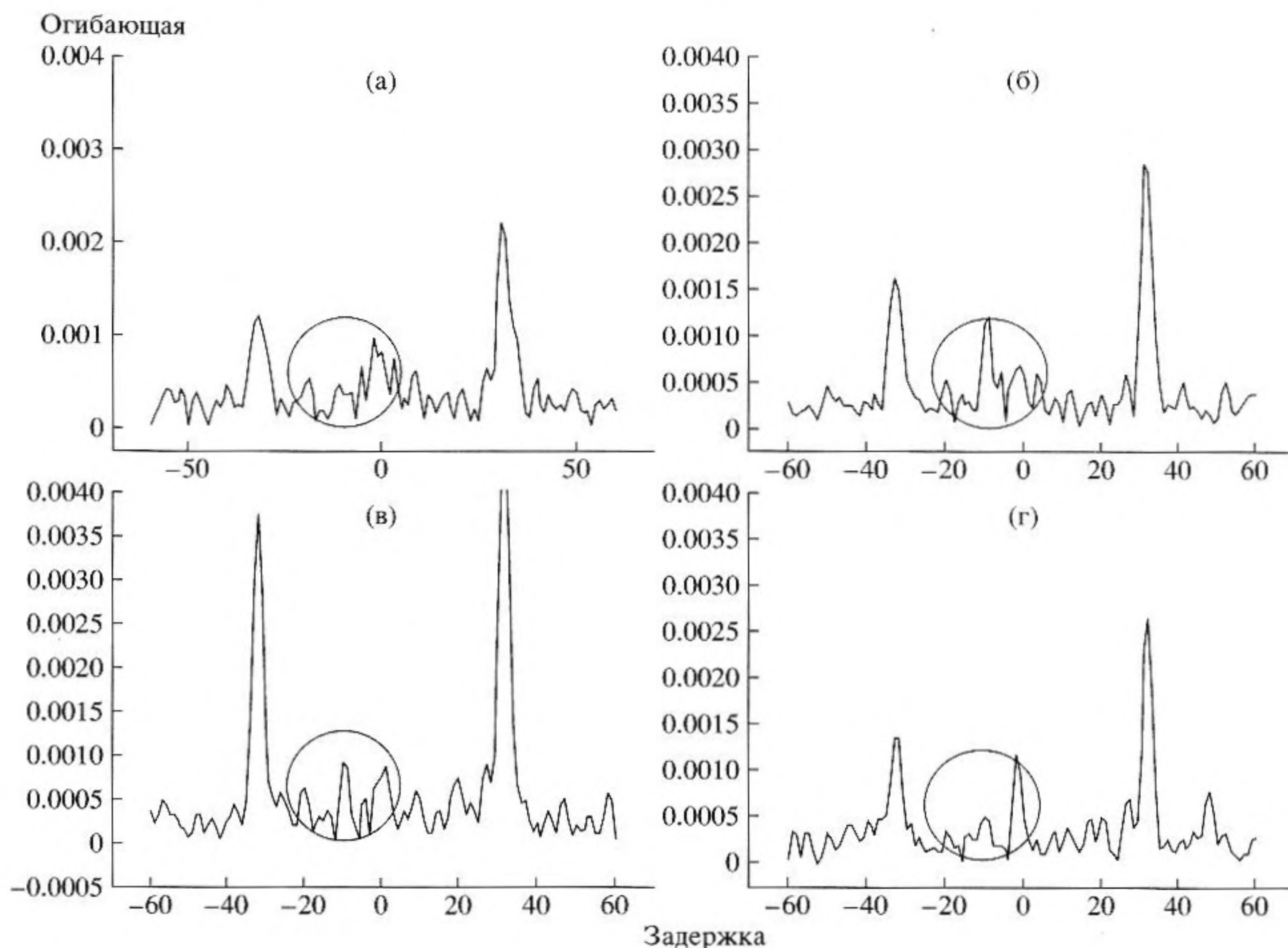


Рис. 7. Огибающие нормированных корреляционных функций, полученные на разных этапах разогрева рабочего тела излучателя. а) – до включения нагревателя, б) – через 220 с, в) – через 1000 с, г) – через 2000 с. Угол между диаграммами направленности приемников около 15°. Кругом обозначена область, в которой наблюдается исследуемый корреляционный пик.

Для объяснения наблюдаемого нами был выполнен расчет распределений температуры в зависимости от времени нагрева. При этом использовались следующие параметры материала (плексигласа), из которого было сделано рабочее тело излучателя: плотность – 1.17 г/см³, теплоемкость – 1.5 Дж/(г гр.) и теплопроводность – 1.6 × 10⁻³ Вт/(см гр.).

Анализ полученных распределений показал, что через 220 с нагрева распределение температуры по сечению излучателя неоднородно: спад температуры в два раза наблюдается на расстоянии около 3 мм от поверхности, находящейся в контакте с нагревателем. Отношение температуры на периферии излучателя к температуре его середины достигает в этом случае 4-х раз.

Иная картина наблюдается через 2000 с нагрева: распределение температуры становится значительно более однородным. По сечению излучателя температура уже изменяется не более чем на 20%.

Таким образом, с более однородным распределением температуры наблюдается заметно меньшее значение корреляционного пика, чем на на-

чальном этапе нагрева, когда распределение температуры неоднородно.

Наиболее вероятное, на наш взгляд, объяснение происходящего основано на учете влияния эффекта декорреляции, связанного с протяженностью источника излучения [11]. В самом деле, на начальном этапе нагрева, когда тепловой фронт еще не успел удалиться от поверхности, связанное с нагревом тепловое акустическое излучение исходит из достаточно тонкого (в нашем случае для 220 с – около 3 мм), прилегающего к поверхности излучателя слоя. Эффективная протяженность его значительно меньше диаметра рабочего тела излучателя, равного 20 мм. Однако при прогреве излучателя, когда распределение температуры выравнивается и становится почти однородным, акустическое излучение в этом случае исходит практически из всего сечения излучателя, что и приводит к увеличению эффекта декорреляции.

Для проверки этого предположения были проведены численные расчеты корреляционных

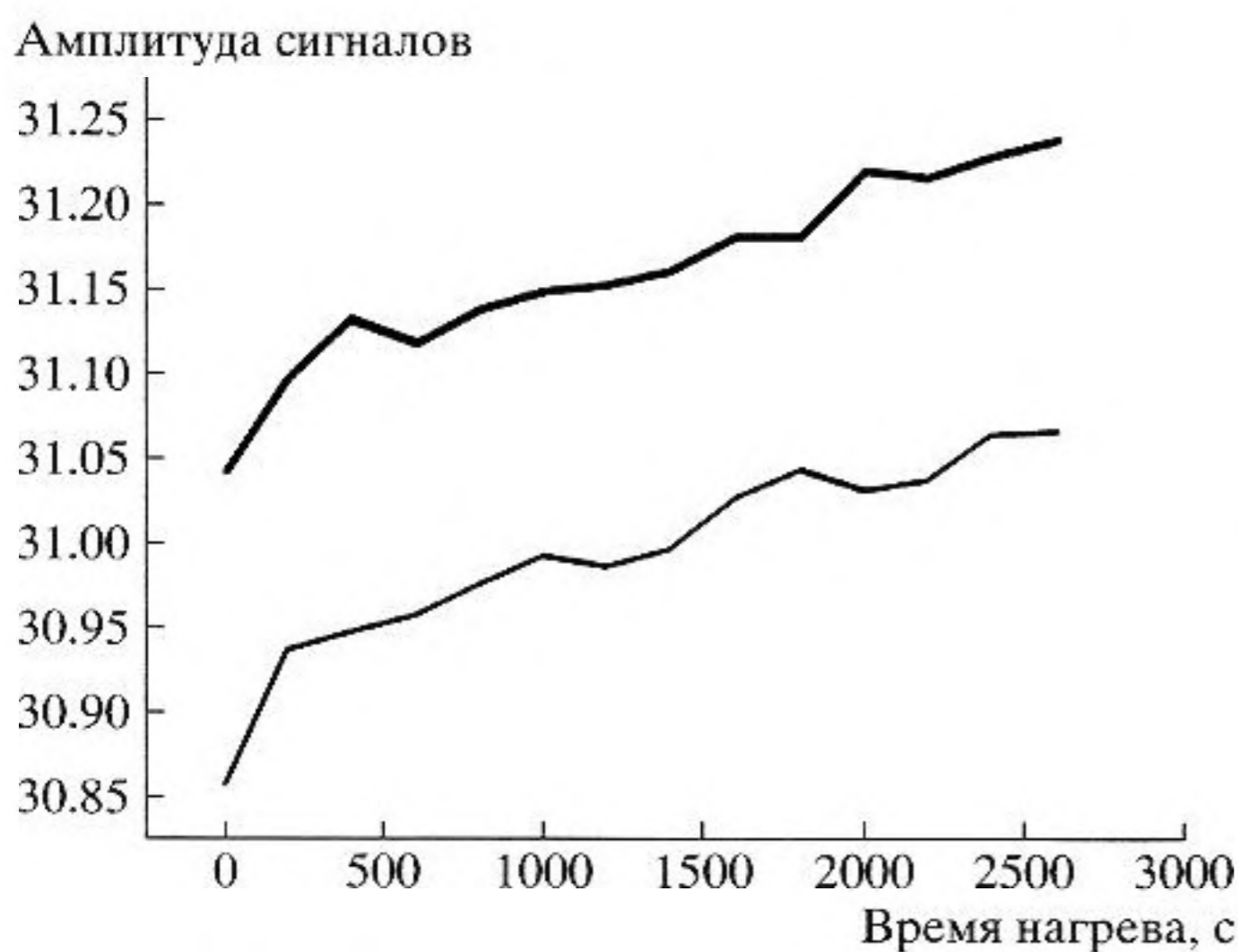


Рис. 8. Зависимость среднеквадратичных значений амплитуд сигналов в обоих каналах от времени нагрева.

функций для сигналов, излучаемых источниками с полученными расчетным путем распределениями температур. В результате оказалось, что для пространственного распределения температуры, реализующегося через 220 с после начала нагрева излучателя, коэффициент декорреляции, при всех параметрах, реализованных в эксперименте, составляет примерно 7 раз. В то же время, для более однородного распределения, реализующегося через 2000 с нагрева, коэффициент декорреляции составил уже более 20-ти. Это, по нашему мнению, позволяет объяснить наблюдаемую картину на качественном уровне.

Дальнейший анализ показал, что на основе представленных данных оказалось возможным получить и количественное согласие с расчетом. В частности, оказалось несложным оценить величину корреляционного пика, связанного с нагревом излучателя. Для этого рассмотрим представленные на рис. 8 начальные этапы зависимостей амплитуд принимаемых акустических сигналов. Как видно, в первые 200 с нагрева происходит относительное увеличение амплитуд принимаемых сигналов примерно на $\Delta U/U = 0.002$. Отсюда можно оценить эффективное отношение сигнал-шум, которое и определяет величину корреляционного пика. С учетом того, что сигнал от излучателя статистически не зависит от фонового теплового шума, получим квадрат отношения сигнал-шум, который и является оценкой величины корреляционного пика в виде $2\Delta U/U$. Подстановка значений увеличения амплитуд принимаемых сигналов при нагреве приводит к значению величины корреляционного пика 0.004, что при учете коэффициента декорреляции (равного в данном случае 7) приводит к значению 0.0006, что, как следует из сравнения с рис. 7, по порядку величины близко к наблю-

даемым величинам корреляционных пиков, связанных с нагревом излучателя.

Следует отметить, что проявления эффекта декорреляции излучения, испускаемого протяженным источником, как показывает анализ, может серьезным образом осложнить зондирование температурных распределений. Это связано с тем, что для правильного воспроизведения распределений температуры необходимо, чтобы регистрировалась достаточно низкочастотная часть спектра теплового акустического излучения, что в ряде случаев может оказаться невозможным из-за малого поглощения (а следовательно, и излучения) акустических волн в низкочастотной области. Одним из способов преодоления этой трудности является размещение приемников излучения так, чтобы их диаграммы направленности располагались бы под достаточно малыми углами друг к другу, например, как это было предложено в работе [10].

Немаловажным параметром томографических систем является их пространственное разрешение. Из приведенных экспериментальных данных можно оценить разрешение, достижимое в нашей экспериментальной постановке. Для этого достаточно измерить ширину корреляционного пика, соответствующего тепловому излучению черного тела. Как видно на рис. 9, полуширина пика при сдвиге, равном -10 , составляет около 3 единиц. Это при темпе оцифровки, равном 1.45×10^5 измерений в секунду и при скорости звука в воде 1.5×10^5 см/с приводит к пространственному разрешению (в данном случае это неопределенность разности хода сигналов от источника до приемников), близкому к 3 см. Такое значение неплохо согласуется с выводом теории [5] о том, что пространственное разрешение корреляционной локализации близко к величине длины когерентности принимаемых сигналов. В самом деле, длина когерентности, определяемая соотношением $v/\Delta f$, где v — скорость звука, а Δf — полоса регистрируемых частот, при $\Delta f \approx 50$ КГц составляет также 3 см.

ВЫВОДЫ

1. Обнаружено, что относительная величина корреляционных пиков на суммарных задержках, соответствующих прямому прохождению сигналов между пьезопреобразователями, зависит от взаимного расположения приемников. Этому явлению дано объяснение на основе учета возможности реализации разных диаграмм направленности приема и собственного теплового излучения пьезопреобразователей.

2. При задержке корреляционной функции, близкой к задержке, соответствующей корреляции теплового акустического излучения, обнаружен пик, связанный с прямым прохождением собственного излучения от одного пьезопреобразователя к

другому. Этот эффект необходимо устранять, например, с помощью акустического экрана, для обеспечения возможности наблюдения корреляций сигналов от теплового источника в чистом виде.

3. Измерена величина корреляции сигналов, принимаемых от нагретой относительно окружающей среды области пространства. Оказалось, что величина корреляционного пика зависит от времени нагрева рабочего тела излучателя. На начальной стадии нагрева, когда распределение температуры внутри рабочего тела источника излучения неоднородно, величина корреляционного пика максимальна. При дальнейшем прогреве источника излучения величина корреляции уменьшается и в стационарном случае, когда распределение температуры близко к однородному, становится практически равной нулю. Этому дано объяснение на основе учета эффекта декорреляции излучения, испускаемого протяженным источником при ограничении частотного спектра принимаемого излучения снизу. Величина корреляции сигналов, полученная в результате проведенного численного моделирования, согласуется по порядку величины с результатами экспериментов.

4. Оценки достижимого в данной экспериментальной конфигурации пространственного разрешения показали, что оно, как предсказывают расчеты, близко к длине когерентности принимаемого излучения.

В заключение авторы выражают благодарность В.А. Бурову за ценные замечания по работе в процессе ее публикации, а С.Н. Антонову за помощь в создании приемников акустического излучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бычков В.Б., Тверовский В.И. Об одной интерференционной схеме эмиссионной томографии // Сб. научн. Тр. ВНИИИФТРИ. Томографические методы в физико-технических измерениях. М., 1985. С. 9196.
2. Рахимов, Р., Фейзханов У.Ф., Цыганков С.Г. Об оценке функции неопределенности в методе неподвижной точки // Сб. научн. Тр. ВНИИИФТРИ. Томографические методы в физико-технических измерениях. М., 1985. С. 120124.
3. Маслов В.К. Измерение параметров волновых полей методами кинематической томографии // Сб. научн. Тр. ВНИИИФТРИ. Томографические методы в физико-технических измерениях. М., 1990. С. 1927.
4. Лекомцев В.М., Москвичев Д.П. Оценка путей повышения эффективности алгоритмов обнаружения гидроакустических сигналов // Акуст. журн. 1995. Т. 41. Вып. 2. С. 267271.
5. Миргородский В.И., Герасимов В.В., Пешин С.В. Исследование пространственного распределения источников некогерентного излучения с помощью корреляционной обработки // Письма в ЖЭТФ. 1995. Т. 62. В. 3. С. 236241.
6. Hessemer Jr. et al. Correlational Thermography // US Patent. 4.416,552. Nov. 22. 1983.
7. Blumrich R., Altman J., Medium-range localization of aircraft via triangulation // Applied Acoustics 61 (2000) 65–82.
8. Герасимов В.В., Гуляев Ю.В., Миргородский А.В., Миргородский В.И., Пешин С.В. Пространственное разрешение пассивной локации на основе корреляционной обработки 4-го порядка // Акуст. журн. 1999. Т. 45. Вып. 4. С. 487491.
9. Буров В.А., Дариалашвили П.И., Евтухов С.Н., Румянцева О.Д. Экспериментальное моделирование процессов активно-пассивной термоакустической томографии // Акуст. журн. 2004. Т. 50. № 3. С. 298310.
10. Буров В.А., Дариалашвили П.И., Румянцева О.Д. Активно-пассивная термоакустическая томография // Акуст. журн. 2002. Т. 48. № 4. С. 474484.
11. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. Наука. М., 1970. С. 551.

Experimental Studies of Passive Correlation Tomography of Megahertz Incoherent Acoustic Sources

V. I. Mirgorodskii, V. V. Gerasimov, and S. V. Peshin

*Institute of Radio Engineering and Electronics (Fryazino Branch), Russian Academy of Sciences,
pl. Vvedenskogo 1, Fryazino, Moscow oblast, 141190 Russia*

e-mail: vim288@ire216.msk.ru

Abstract—Correlation properties of thermal acoustic radiation in the megahertz frequency range are studied experimentally. The amplitudes of correlation peaks measured at the sum of the delays that correspond to the direct signal transmission between the piezoelectric transducers are found to depend on the relative transducer positions. This effect is explained by a possible difference between the receive patterns of the transducers and the patterns of their intrinsic thermal radiation. The correlation of signals received from a spatial region heated above the ambient medium is measured. The correlation between the received signals is found to depend on the time of heating of the radiator's working medium. Numerical calculation of temperature distributions and the allowance for the decorrelation effect due to the spatial extent of the source provide a quantitative agreement between the theoretical and experimental results. Estimates of the spatial resolution achievable with the given experimental configuration show that it is close to the coherence length of the received radiation.