

На правах рукописи



Шаракшанэ Антон Сергеевич

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕНЯЮЩЕГОСЯ ВО
ВРЕМЕНИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОДЕЛЬНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ
ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ АКУСТОТЕРМОГРАФИИ**

01.04.03–Радиофизика

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

Москва 2014 г.

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

Научный руководитель: Аносов Андрей Анатольевич,
доктор физико-математических наук,
профессор

Официальные оппоненты: Орлов Игорь Яковлевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры радиотехники
Нижегородского государственного
университета им. Н. И. Лобачевского


Хохлова Вера Александровна,
доктор физико-математических наук,
доцент кафедры акустики физического
факультета Московского
государственного университета им.
М. В. Ломоносова

Ведущая организация: Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
Институт прикладной физики РАН
(г. Нижний Новгород)

Защита состоится « 27 » февраля 2015 г. в 10-00, на заседании диссертационного совета Д.002.231.02 на базе ФГБУН Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, по адресу: 125009, Москва, ул. Моховая, д. 11, корп. 7.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН и на сайте: <http://www.cplire.ru/rus/dissertations.html>.

Автореферат разослан _____ 2015 года.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор физико-математических наук  Потапов Александр Алексеевич

Общая характеристика работы

Актуальность работы

Работа посвящена определению меняющейся во времени внутренней температуры объектов методом акустотермографии. Измерение распределения температуры внутри тела человека даёт существенную информацию для диагностики и для мониторинга медицинских процедур, совмещенных с нагревом внутренних органов. В частности, знание этого распределения необходимо для контроля процедур гипертермии (нагрева опухоли на несколько градусов) и термоабляции (нагрева опухоли на несколько десятков градусов). Особенно это важно в случаях, когда рядом с местом воздействия проходят крупные кровеносные сосуды и нервы, которые не должны быть повреждены.

В настоящее время проблема безболезненных и безопасных измерений глубинной температуры тела человека (проводимых с надлежащей точностью) еще не решена: предлагаются различные неинвазивные методы, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Например, измерения температуры с использованием ЯМР-технологий в будущем позволят получать температурное распределение во всем теле человека, однако есть определенные группы пациентов, для которых использование МР-томографии запрещено. Для контроля температуры разрабатываются методы измерения скорости звука, которая меняется с изменением температуры тканей. К сложности этих измерений относится необходимость калибровки сигнала на каждом отдельном пациенте. Пассивная ИК-термометрия имеет хорошее пространственное разрешение, но измеряет только поверхностную (а не глубинную) температуру. Метод пассивной СВЧ-термометрии имеет слабое пространственное разрешение.

Одним из перспективных методов определения глубинной температуры тела человека является акустотермометрия, которая основана на измерении теплового акустического излучения. Ее основным преимуществом по сравнению с другими неинвазивными методами является достаточное пространственное

разрешение для восстановления температурного распределения в глубине объекта.

Цель и задачи работы

Целью настоящей работы является исследование возможностей мониторинга динамики распределения внутренней температуры модельных биологических объектов по их акустотермостойкой температуре. Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- разработать алгоритмы восстановления 1D, 2D, 3D распределений температуры с учетом ограничений, соответствующих практически значимым случаям – гипертермии и термоабляции;
- провести эксперименты по восстановлению параметров (положения, размера и температуры нагретой области) меняющихся во времени температурных распределений модельных объектов.

Научная новизна

Впервые методом акустотермографии экспериментально восстановлены параметры меняющегося во времени 3D температурного распределения модельного объекта.

Практическая ценность восстановления параметров меняющегося во времени температурного распределения связана с разработкой методики мониторинга температуры при нагреве различных участков тела человека.

Основные положения, выносимое на защиту

Методом акустотермометрии можно восстанавливать значимые параметры меняющегося во времени 3D распределения глубинной температуры за время интегрирования 10 с, что позволяет использовать акустотермометрию для контроля температуры при нагреве тканей организма.

Акустотермография позволяет восстанавливать параметры центрально-симметричной нагретой области: положение в пространстве и характерный размер с точностью 2-3 мм (за время интегрирования сигнала 10 с, при

температурном контрасте 10 К), что отвечает медицинским требованиям, предъявляемым к неинвазивным способам измерения температуры организма человека.

Личный вклад автора. Автор участвовал в подготовке и проведении описанных в работе экспериментов, в создании программ обработки экспериментальных данных. Автор лично разработал алгоритм визуализации источника тепла для 2D случая.

Достоверность полученных результатов подтверждена согласованием теоретических расчетов, измерений теплового акустического излучения и независимых измерений температуры; данными компьютерного моделирования; признанием полученных результатов научной общественностью при обсуждениях на научных конференциях, а также положительными рецензиями статей при публикациях в научных журналах.

Апробация работы

Результаты исследований представлены в докладах на научных международных и российских конференциях: на 18-й, 19-й, 20-й, 22-й сессиях Российского акустического общества 2006-2008, 2010 гг.; на 3-й Троицкой конференции "Медицинская физика и инновации в медицине" (2008 г.); на 3-ем Евразийском конгрессе по медицинской физике и инженерии «Медицинская физика – 2010»; на 3-ей, 4-ой, 6-ой Всероссийских конференциях «Радиолокация и радиосвязь» 2009, 2010, 2012 гг.; на международной конференции PIERS (Progress In Electromagnetics Research Symposium), 2009 г.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из семи глав и списка литературы (148 источников), изложена на 149 стр., включает 42 рис., 1 табл.

Основное содержание работы

Первая глава является введением. Во введении обоснована актуальность предлагаемого исследования, приводятся цель и основные задачи работы.

Вторая глава содержит обзор современной литературы по теме данного исследования. Описываются современные методы неинвазивного термокартирования биологических тканей. Обосновывается необходимость использования результатов измерения акустостойкостной температуры среды для определения параметров распределения глубинной температуры в практически важных случаях медицинской практики. Описываются характеристики акустического излучения, указывается на возможность нетеплового акустического излучения, которое может влиять на акустостойкостную температуру среды и точность определения ее термодинамической температуры. Рассматриваются описанные в литературе модельные объекты, описываются варианты постановки акустотермометрических задач при корреляционном и некорреляционном приеме теплового акустического излучения.

В третьей главе описывается акустотермометрический эксперимент, проведенный со специфическим модельным объектом (с водной суспензии фосфолипидных липосом). При фазовом переходе липидов интенсивность излучения менялась (увеличивалась и уменьшалась в зависимости от условий эксперимента). Показано, что это было вызвано изменением собственного теплового излучения суспензии из-за увеличения поглощения акустических волн в липосомах при фазовом переходе.

Этот эксперимент показывает возможность использования акустотермографии для контроля адресной доставки лекарства с помощью термолипосом.

При измерениях методом акустотермографии глубинной температуры объектов стоит вопрос о нетепловой акустической эмиссии, наличие которой приведёт к систематической ошибке в определении температуры.

Экспериментально показано, что нетепловая эмиссия возникает в мегагерцовом диапазоне при образовании пузырей и при таянии льда.

Во всех экспериментах использовались акустотермометры, разработанные группами В.И. Миргородского (ФИРЭ РАН) и А.Д. Мансфельда (ИПФ РАН).

В четвертой главе описывается эксперимент по контролю глубинной температуры модельного объекта, поддержанный параллельным измерением интенсивности теплового электромагнитного излучения в ИК диапазоне с поверхности модели.

В качестве модельного объекта использовалась говяжья печень, акустические свойства которой близки свойствам мягких тканей организма человека. Контроль глубинной температуры осуществлялся в течение всей процедуры нагрева/охлаждения печени с помощью линейки из трех акустотермометров и пяти погруженных в объект термопар. Условия эксперимента были близки к условиям термоабляции, осуществляемой в медицинских целях.

Результаты, полученные обоими методами – ИК-термометрией и акустотермографией, хорошо коррелировали с температурой, измеренной термопарами. Одновременное использование двух неинвазивных методов (акустотермометрии и ИК-термографии) повышает надежность информации о температуре исследуемого объекта.

В пятой главе представлено теоретическое и экспериментальное исследование возможностей определения меняющихся во времени характеристик температурного распределения.

Поставлен математический эксперимент по динамическому картированию температурного распределения в модельном объекте. Источник заданного размера и формы перемещался по 2D сетке, занимая одно из 20 x 20 возможных положений. Для каждого положения источника были рассчитаны сигналы, принимаемые десятью датчиками (рис. 1). Сигналы, полученные каждым из

приемников, рассчитывались с учётом их полосы пропускания 1.8 ± 0.4 МГц. В результате получали базу данных, содержащую 4000 сигналов.

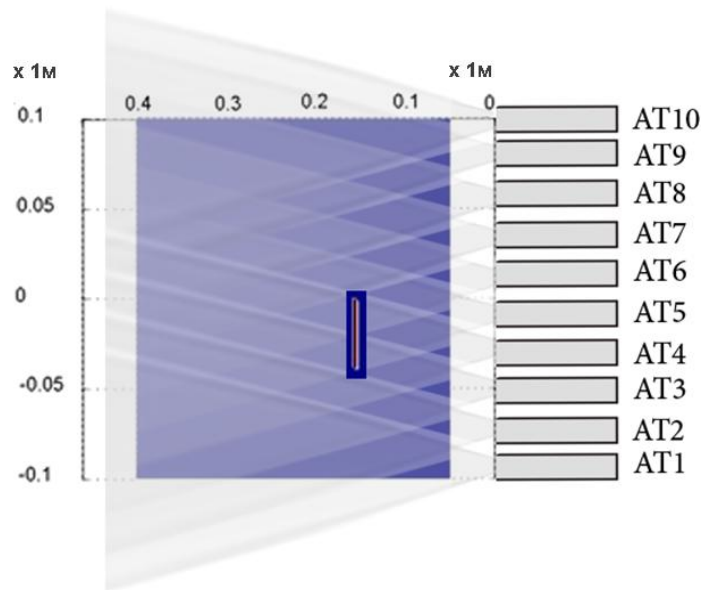


Рис. 1. Нагретый источник перемещался в области размером 0.4 x 0.2 м, которая контролировалась 10-ю акустотермометрами (АТ1-10).

Затем источник перемещался по произвольной траектории, при этом рассчитывались сигналы десяти приемников. Рассчитанные сигналы сравнивались с сигналами из базы данных. В результате визуализировался «образ» источника. Это давало наглядное представление о реальном положении источника и о степени неопределенности решения обратной задачи восстановления его положения по показаниями десяти датчиков. Латеральное расположение источника восстанавливалось с достаточной точностью ± 3 мм. Глубина расположения источника определялась менее точно, причем при некоторых положениях мишени точность определения снижалась особенно резко (рис. 2).

Был проведен модельный физический эксперимент по восстановлению меняющегося во времени 2D температурного распределения: исследуемый объект нагревался и затем охлаждался. Пять датчиков, расположенных с двух взаимноперпендикулярных сторон, принимали акустические сигналы от длинного

пластилинового цилиндрического нагреваемого объекта, установленного перпендикулярно плоскости, где помещались датчики. При восстановлении приближали температурное распределение двумерным гауссианом. Были восстановлены положение и характерный размер, а также оценена максимальная температура нагреваемой области.

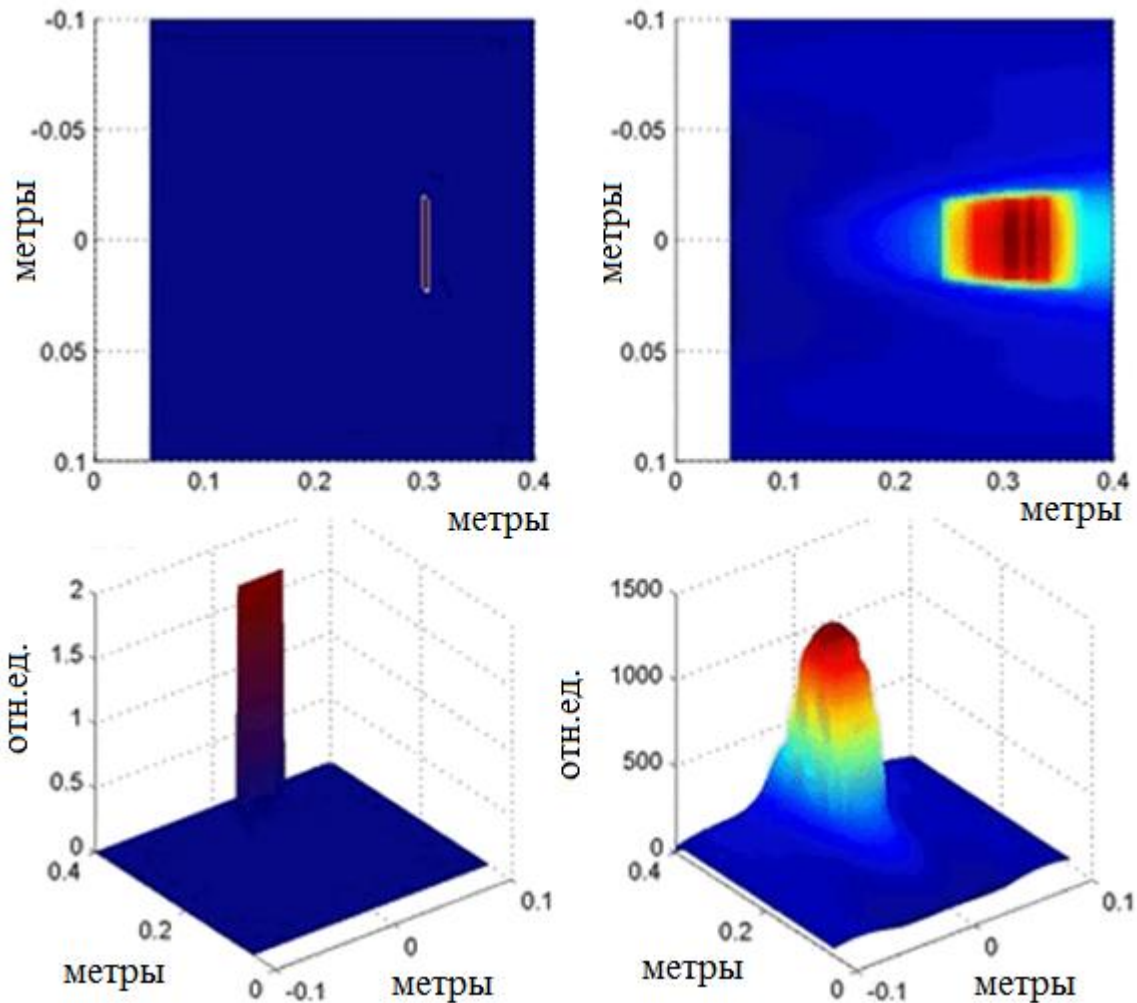


Рис. 2. Визуализация источника тепла. Слева - заданное изображение, справа - восстановленный образ.

По экспериментальным данным было проведено исследование влияния длительности измерений на точность восстановления. Для восстановления использовались времена усреднения 5, 10, 20 и 50 с. Через 50 секунд после начала

нагрева, когда увеличение температуры стало надежно фиксироваться датчиками, среднеквадратическая погрешность восстановления координат центра нагретой области составила 4 мм при усреднении 5 с. Погрешность снизилась до 3 мм при увеличении времени усреднения до 10 с. Эта величина удовлетворяет медицинским требованиям.

Среднеквадратическая погрешность в определении характерного размера нагретой области при времени измерений 5 с составила 5 мм. При увеличении времени интегрирования до 10 с погрешность снизилась до 4 мм, а при увеличении до 20 с – до 3 мм. Эти результаты удовлетворяют медицинским требованиям. Отметим, что размер нагретой области являлся эффективным параметром: сечение пластилинового объекта было круглым, а размер восстанавливали как расстояние от центра области до окружности, где температура снижалась вдвое.

2D-восстановление в акустотермометрии может быть использовано при исследовании только протяженных источников. Из-за существенного поперечного размера диаграммы направленности датчиков (сопоставимого с размером нагретых областей в организме человека) в акустотермометрии не применим подход, используемый в классической томографии – восстановление трехмерных изображений как совокупности двумерных. Поэтому схема сканирования должна выбираться так, чтобы в результате измерений «сразу» получалось 3D температурное распределение.

Для датчика, центр которого находится в точке $(x_i, y_i, 0)$, акустостоярковую температуру T_A можно рассчитать по формуле, предложенной Т. Боуэном и экспериментально проверенной В.И. Пасечником:

$$T_A(x_i, y_i) = \int_0^{\infty} dz \gamma(x, y, z) T(x, y, z) \exp\left[-\int_0^z \gamma(x, y, z) dz\right] \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} A(x, y, z, x_i, y_i) dx dy,$$

где $\gamma(x, y, z)$ – распределение в пространстве коэффициента поглощения (по интенсивности) ультразвука, $A(x, y, z, x_i, y_i)$ определяет область чувствительности

датчика, ось z совпадает с акустической осью приемника. Используемые в эксперименте приемники являлись широкополосными. Поэтому область чувствительности датчика приближали функцией Гаусса:

$$A(x, y, z, x_i, y_i) = \frac{1}{2\pi d^2(z)} \exp\left[-\frac{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2}{2d^2(z)}\right],$$

где $d(z)$ - характерный поперечный размер области чувствительности.

Были проведены эксперименты по 3D восстановлению температурного распределения в модельном объекте: пластилиновом шаре (рис. 3). Акустические сигналы измерялись с двух сторон двумя взаимноперпендикулярными решетками из 7-ми датчиков каждая (рис. 4 а, б). Восстанавливали меняющуюся во времени температуру пластилинового шара, который прогревался и охлаждался в ходе эксперимента. Восстанавливаемое температурное распределение представляли гауссианом, параметры которого могли меняться во времени:

$$T(x, y, z) = T_{max} \exp\left[-\frac{(x-x_0)^2+(y-y_0)^2+(z-z_0)^2}{2D^2}\right].$$

Определяли положение центра нагретой области в пространстве (три координаты x_0, y_0, z_0), ее характерный размер D и максимальную температуру T_{max} . Первым шагом алгоритма восстановления было определение с помощью первой решетки координат x_0 и y_0 , а с помощью второй – координат z_0 и y_0 центра нагретой области (рис. 4 в, г). Для каждой решетки была построены 2D карты акустостойкостной температуры (рис. 5). Положение максимума акустостойкостной температуры соответствовало положению центра нагретой области. Далее отдельно для каждой решетки были определены характерный размер и температура нагретой области. По сценарию эксперимента положение и размер нагретой области не менялись. Результаты восстановления (при времени усреднения 10 с), полученные независимо двумя решетками, полностью соответствовали этому сценарию. Точность восстановления составила 2 мм для положения и 3 мм для размера нагретого объекта. Максимальная температура шара независимо не измерялась, поэтому говорить о точности восстановления

температуры некорректно. Была оценена стабильность восстановления температуры по тому, какие значения были получены двумя независимыми решетками: различие максимальных температур составило 1.0 ± 0.5 К.

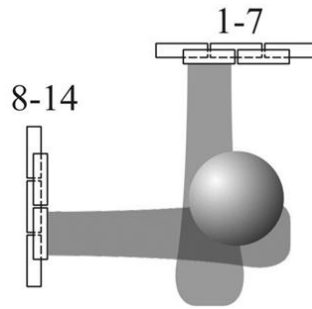


Рис. 3. Две приемные решетки из 7 датчиков каждая. Серым цветом показаны области чувствительности датчиков. Нагретая область представлена шаром.

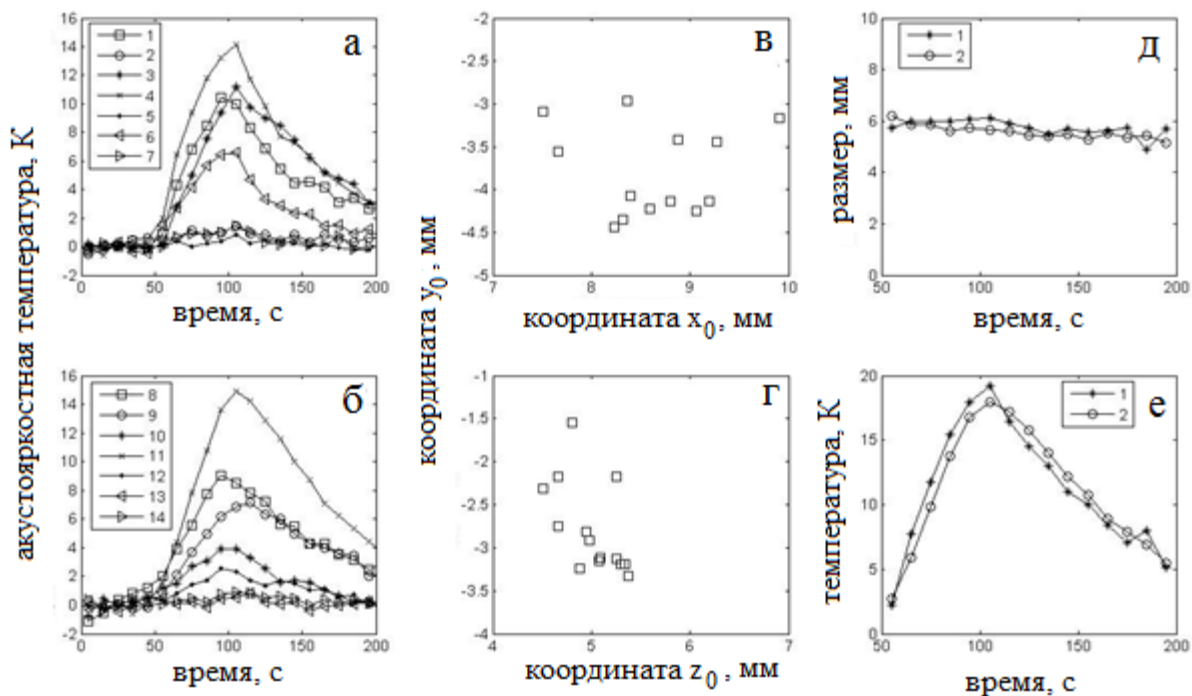


Рис. 4. Восстановление координат (в, г), размера (д) и температуры (е) 3D источника. 1 и 2 – результаты, полученные с помощью первой и второй решеток. Временные зависимости акустотемператур (числа – номера датчиков), измеренных первой (а) и второй (б) решетками. Ноль температуры соответствует температуре аквариума.

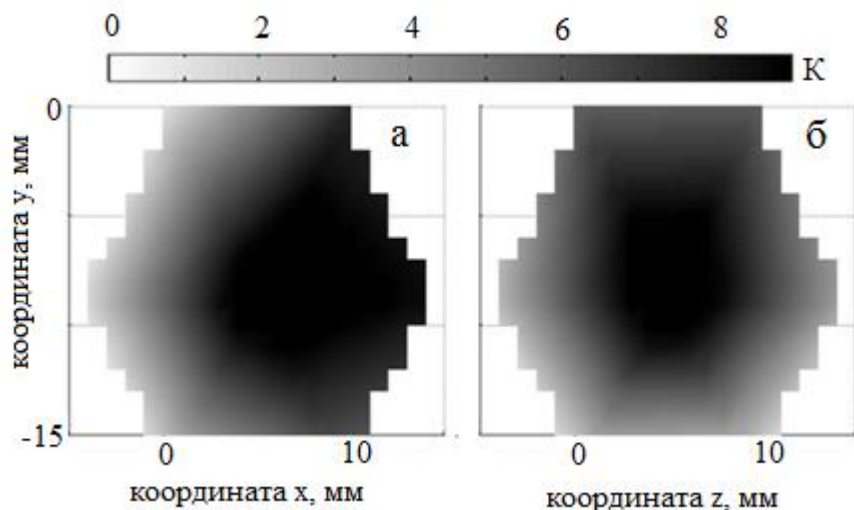


Рис. 5. Карты распределения акустояркой температуры нагреваемого пластилинового шара, полученные с помощью двух решеток (а и б) в момент максимального нагрева.

В шестой главе описывается корреляционная обработка сигнала. Во всех способах восстановления температуры, представленных выше, использовался некорреляционный прием теплового акустического излучения. В настоящее время разрабатывается другой способ измерения температуры, основанный на корреляционном приеме теплового акустического излучения. Этот способ имеет свои преимущества: он не требует механического смещения датчиков для сканирования и обладает лучшим (по сравнению с некорреляционным приемом) пространственным разрешением. В данной работе впервые осуществлен корреляционный прием теплового акустического излучения решеткой из 4-х датчиков (рис. 6): получены три кросскорреляционные функции давления, регистрируемого соседними датчиками (рис. 7). Показано, что при сдвиге источника в пространстве на половину пространственного периода (в данном эксперименте по оси x на 8 мм) временная кросскорреляционная функция также сдвигается на половину периода. Отметим, что ранее корреляционный прием теплового акустического излучения осуществлялся разными группами

исследователей (под руководством В.И. Пасечника, В.А. Бурова, А.Д. Мансфельда, В.И. Миргородского) с использованием только двух датчиков.

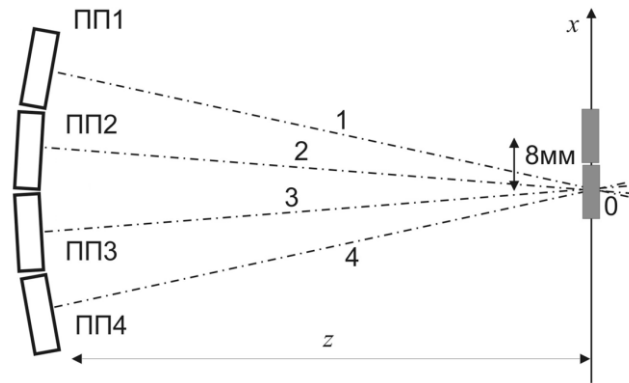


Рис. 6. Схема корреляционного приема: ПП1-4 – пьезодатчики, 1-4 – их акустические оси.

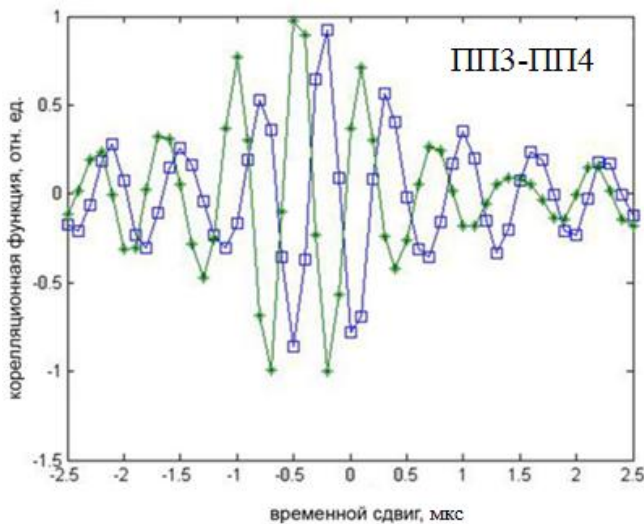
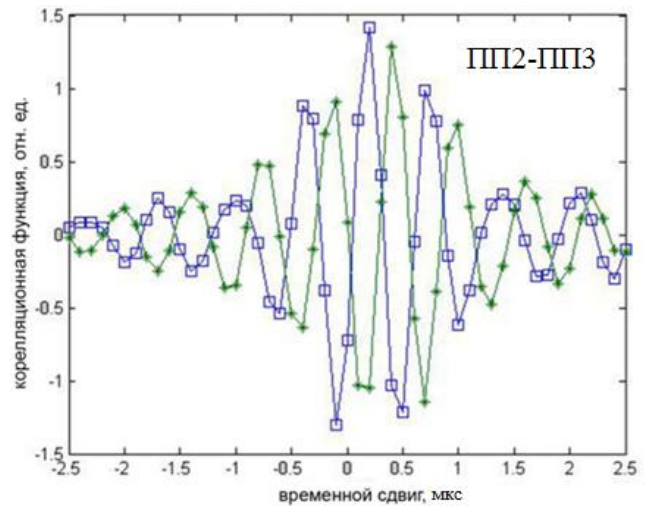
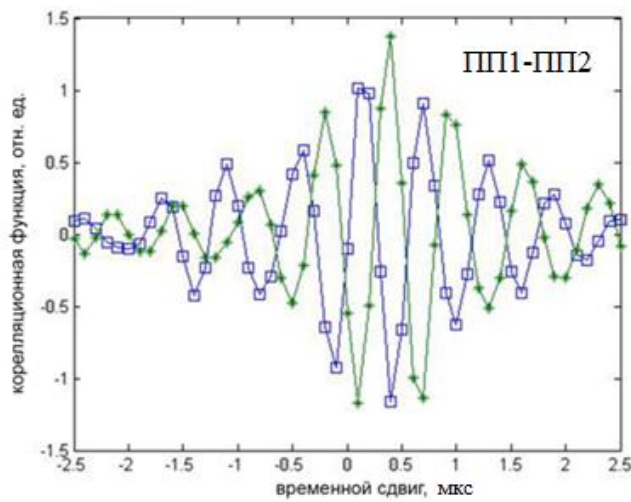


Рис. 7. Кросскорреляционные функции давления теплового акустического излучения, измеренные на соседних датчиках решетки, представленной на рис. 6.

В седьмой главе прописаны основные результаты работы:

- Разработаны алгоритмы акустотермографического восстановления размера, положения и температуры нагретой области для меняющихся во времени 1D, 2D и 3D температурных распределений.
- Разработанные алгоритмы опробованы при восстановлении температуры модельных объектов. Экспериментально показано, что с помощью двух перпендикулярно ориентированных плоских приемных решеток можно восстанавливать параметры 3D температурного распределения, представленного гауссианом: положение нагретой области в пространстве с точностью 2 мм и характерный размер нагретой области с точностью 3 мм за время интегрирования 10 с при температурном контрасте 10 К.
- Экспериментально показано, что изменения измеряемой акустостоярковой температуры соответствуют изменениям глубинной температуры модельного объекта. Различие в максимальных температурах нагретой области, полученное при обработке данных двух независимых решеток, составило 1.0 ± 0.5 К.
- Экспериментально, с помощью приемной решетки, состоящей из четырех датчиков, показана возможность восстановления 1D температурного распределения при корреляционном приеме теплового акустического излучения.

Полученные характеристики отвечают требованиям, предъявляемым к неинвазивным способам измерения глубинной температуры организма человека.

Основные публикации по теме диссертации

статьи в журналах из рекомендованного перечня ВАК:

1. А.А. Аносов, А.С. Казанский, Ю.А. Лесс, А.С. Шаракшанэ. Тепловое акустическое излучение в модельных мембранах при фазовом переходе липидов. Акуст. журн. 2007. Т. 53. № 6. С. 843-848.

2. А.А. Аносов, Ю.Н. Барабаненков, К.М. Бограчев, Р.В. Гарсков, А.С. Казанский, А.С. Шаракшанэ. Совместное использование акустотермографии и ИК-тепловидения для контроля температуры при нагреве модельного биологического объекта. Акуст. журн. 2008. Т. 54. №3. С. 499-504.
3. А.А. Аносов, Р.В. Беляев, В.А. Вилков, А.С. Казанский, А.Д. Мансфельд, А.С. Шаракшанэ. Определение динамики изменения температуры в модельном объекте методом акустотермографии. Акуст. журн. 2008. Т. 54. № 4. С. 540-545.
4. А.А. Аносов, Т.В. Сергеева, А.И. Алехин, Р.В. Беляев, В.А. Вилков, О.Н. Иванникова, А.С. Казанский, О.С. Кузнецова, Ю.А. Лесс, А.Д. Мансфельд, А.Г. Санин, А.С. Шаракшанэ. Акустотермометрическое сопровождение лазериндуцированной интерстициальной гипертермии молочной и щитовидной желез. Биомедицинская радиоэлектроника. 2008. № 5. С. 67-72.
5. А.А. Аносов, Ю.Н. Барабаненков, А.С. Казанский, Ю.А. Лесс, А.С. Шаракшанэ. Обратная задача акустотермографии при корреляционном приеме теплового акустического излучения. Акуст. журн. 2009. Т. 55. № 1. С. 98-103.
6. А.А. Аносов, Р.В. Беляев, В.А. Вилков, А.С.Казанский, А.Д. Мансфельд, А.С. Шаракшанэ. Динамическая акустотермография. Акуст. журн. 2009. Т. 55. № 4-5. С. 436-444.
7. А.А. Аносов, Р.В. Беляев, В.А. Вилков, А.С. Казанский, Ю.А. Лесс, А.Д. Мансфельд, А.С. Шаракшанэ. Акустотермография: корреляционный и некорреляционный методы. Радиотехника и электроника, 2010. Т. 55. № 9. С. 1113-1120.
8. А.А. Аносов, А.С. Казанский, А.Д. Мансфельд, А.С. Шаракшанэ. Определение положения и размера нагретой области методом динамической акустотермографии. Журнал радиоэлектроники. 2013. №3. С. 10.

статьи в зарубежных изданиях:

9. Andrej A. Anosov, Yuriy N. Barabanenkov, Alexander S. Kazanskij, Yulij A. Less, Anton S. Sharakshane. Thermal acoustic radiation from multilamellar vesicles in lipid phase transition. Chem. Phys. Lipids. 2008. V. 153. P. 81-84.
10. Andrej A. Anosov, Alexander S. Kazanskij, Anton S. Sharakshane Experimental acoustical thermotomography of model object // In: New Research on Acoustics. Nova Science Publishers. 2008. P. 3-20.

доклады на конференциях с публикацией тезисов:

11. А.А. Аносов, А.С. Шаракшанэ, А.П. Козлов. Акустическая эмиссия в модельных объектах в мегагерцовом диапазоне. Акустика речи. Медицинская и биологическая акустика. Архитектурная и строительная акустика. Шумы и вибрации. Аэроакустика. Сборник трудов XVIII сессии Российского акустического общества Т. III. М.: ГЕОС. 2006. С. 122-125.
12. А.С. Шаракшанэ, А.А. Аносов, Ю.Н. Барабаненков, К.М. Бограчев, Р.В. Гарсков, А.С. Казанский. Контроль температуры в модельной гипертермии. Акустика речи. Медицинская и биологическая акустика. Архитектурная и строительная акустика. Шумы и вибрации. Аэроакустика. Сборник трудов XIX сессии Российского акустического общества. Т.3. 2007. С. 130-133.
13. А.С. Шаракшанэ, А.А. Аносов, Р.В. Беляев, В.А. Вилков, А.С. Казанский, А.Д. Мансфельд. Возможности динамического картирования внутренней температуры методом акустотермографии. Акустика речи. Медицинская и биологическая акустика. Архитектурная и строительная акустика. Шумы и вибрации. Аэроакустика. Сборник трудов XX сессии Российского акустического общества. Т.3. 2008. С. 136-139.
14. А.И. Алехин, А.А. Аносов, Р.В. Беляев, В.А. Вилков, О.Н. Иванникова, А.С. Казанский, О.С. Кузнецова, Ю.А. Лесс, А.В. Луковкин, А.Д. Мансфельд, Ю.В. Обухов, А.Г. Санин, Т.В. Сергеева, А.С. Шаракшанэ. Акустотермометрические измерения при лазерной гипертермии. Альманах клинической медицины. Т. 17. Часть 2. 3 Троицкая конференция

"Медицинская физика и инновации в медицине" (3-6 июня 2008 г.) - М.: МОНИКИ. - 2008. С. 8-11.

15. А.А. Аносов, А.С. Казанский, А.Д. Мансфельд, А.С. Шаракшанэ. Использование акустотермографии для динамического картирования внутренней температуры. Сборник докладов III Всероссийской конференции «Радиолокация и радиосвязь». Москва, изд. ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН. 2009. С. 141-145.
16. Yu.N. Varabanenkov, A.A. Anosov, A.S. Kazanskij, A.D. Mansfeld, A.S. Sharakshane. Temperature Reconstruction in Depth of Biological Objects by Acoustical Radiometer. PIERS Proceedings. 2009. August 18-21. Moscow Russia. P. 793-796.
17. А.А. Аносов, А.И. Алехин, Р.В. Беляев, В.А. Вилков, О.Н. Иванникова, А.С. Казанский, Ю.А. Лесс, А.В. Луковкин, А.Д. Мансфельд, Ю.В. Обухов, Т.В. Сергеева, А.С. Шаракшанэ. Глубинная акустотермография тела человека. 3 Евразийский конгресс по медицинской физике и инженерии «Медицинская физика – 2010» 21-25 июня 2010 г. Сборник материалов. Т. 1. С. 124-126.
18. А.А. Аносов, Ю.Н. Барабаненков, Р.В. Беляев, В.А. Вилков, А.С., Казанский, Ю.А. Лесс, А.Д. Мансфельд, А.С. Шаракшанэ. Корреляционные измерения в акустотермографии. IV Всероссийская научно-техническая конференция "Радиолокация и радиосвязь" 29 ноября – 3 декабря 2010 г. Доклады. С. 106-110.
19. А.А. Аносов, Ю.Н. Барабаненков, А.С. Казанский, Ю.А. Лесс, А.С. Шаракшанэ. Восстановление температуры при корреляционном приеме теплового акустического излучения. Акустика речи. Медицинская и биологическая акустика. Сборник трудов XXII сессии Российского акустического общества и Сессии Научного совета РАН по акустике. Т. 3. - М.: ГЕОС. 2010. С. 133-135.

20.А.А. Аносов, А.С. Казанский, А.Д. Мансфельд, А.С. Шаракшанэ.
Определение положения и размера нагретой области методом динамической акустотермографии. VI Всероссийская научно-техническая конференция «Радиолокация и радиосвязь» 19-22 ноября 2012 г. Доклады. Т. 2. С. 263-267.