

«Утверждаю»

Директор Федерального
государственного бюджетного
учреждения науки Институт
прикладной физики Российской
академии наук

академик



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу **Шаракшанэ Антона Сергеевича «ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕНЯЮЩЕГОСЯ ВО ВРЕМЕНИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОДЕЛЬНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ АКУСТОТЕРМОГРАФИИ»**, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Диссертационная работа А.С.Шаракшанэ посвящена определению меняющейся во времени внутренней температуры объектов методом акустотермографии. Актуальность этой темы обусловлена тем, что 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. К настоящему времени 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. Одним из наиболее 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. Развитию методов измерений и алгоритмов реконструкции тепловых полей и посвящена диссертация.

В процессе исследований автором были получены новые результаты, представляющие значительный интерес как для экспериментальной акустики, так и с точки зрения их внедрения в клиническую практику.

Рассмотрено влияние нетеплового акустического излучения на точность измерений при наличии многофазной среды (жидкость с вкраплениями пузырьков, льда), сформулированы прямые и обратные задачи корреляционного и некорреляционного приема теплового акустического излучения несколькими приемниками. Модельный эксперимент по измерению теплового излучения суспензии липосом позволил обнаружить фазовый переход при их нагреве без использования микроскопии или биохимических методов прямыми измерениями акустического поглощения (черноты). Предложено использовать акустотермографический метод для контроля адресной доставки лекарств, что очень актуально при разработке современных методов щадящего лечения большого числа заболеваний.

Выполнен цикл экспериментов по измерению глубинной температуры биологической ткани с верификацией контактными термометрами и ИК-термографией поверхности объекта. Показана хорошая корреляция результатов измерений, выполненных различными методами, и применимость акустотермографических измерений для получения информации о термодинамической температуре.

Предложен метод восстановления распределения внутренней температуры при процедурах лазерной гипертермии с использованием априорной информации, что позволило существенно сократить время проведения измерений. Проведено моделирование алгоритма реконструкции, определены параметры, характеризующие точность реконструкции. Для измерений предложено использовать две взаимно перпендикулярные решетки приемников. Предложенный метод позволяет получать распределения температуры в масштабе времени, сопоставимом с временем гипертермии, что дает возможность следить за изменениями распределения температуры во время проведения процедуры нагрева.

На основе анализа корреляционных характеристик теплового акустического шума предложен новый метод измерения внутренней температуры по измерениям корреляционных функций четвертого порядка. Метод позволяет исключить процедуру механического пространственного сканирования и улучшить пространственное разрешение. Проведен эксперимент по реконструкции распределения температуры с помощью четырех приемников и корреляционной обработки сигналов.

Несомненным достоинством работы является большой объем экспериментальных исследований, выполненных на высоком уровне. Экспериментальные результаты подтверждаются математическим моделированием, сопоставлением с другими методами измерений, что свидетельствует об их достоверности.

Помимо собственно научной значимости, представленная работа имеет практическую значимость, так как предложенные методы и алгоритмы могут быть

применены для решения задач клинической диагностики и измерения акустических свойств сложных соединений при изменении температуры.

Наиболее значимые результаты работы сформулированы следующим образом:

1) Разработаны алгоритмы акустотермографического восстановления размера, положения и температуры нагретой области для меняющихся во времени 1D, 2D и 3D температурных распределений.

2) 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.

3) Экспериментально показано, что изменения измеряемой акустостеркозной 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.

4) Экспериментально, с помощью приемной решетки, состоящей из четырех датчиков, показана возможность восстановления 1D температурного распределения при корреляционном приеме теплового акустического излучения.

По диссертации могут быть сделаны следующие замечания:

1) автором во многих разделах используется термин «диаграмма направленности», тогда как в терминах решаемых задач корректно было бы говорить об аппаратной функции, или пространственном распределении чувствительности, все же обычно акустотермометрические измерения проводятся не в дальней зоне приемника.

2) обзор современного состояния решаемых задач распределен по нескольким главам и перемежается собственными экспериментальными результатами, то есть кроме собственно введения и обзора этому посвящены отдельные фрагменты нескольких глав. Это представляется при прочтении не вполне логичным.

3) существует некоторая небрежность стиля изложения, опечатки, не вполне удачное форматирование и неаккуратная (с наклоном) печать.

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертации и ее высокий научный уровень.

Полученные результаты могут быть использованы в Институте прикладной физики РАН, Институте радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, а также на предприятиях и в учреждениях, занимающихся разработкой и созданием перспективных систем мониторинга состояния биологических сред.

По результатам диссертации опубликовано 10 научных статей в журналах, входящих в перечень ВАК, а также 10 работ в сборниках трудов Всероссийских конференций. Основные результаты диссертации докладывались на сессиях

Российского акустического общества, всероссийских конференциях, семинарах в ИПФ РАН, ИРЭ РАН и на кафедре акустики физического факультета МГУ.

Работа А.С.Шаракшанэ представляет собой законченное исследование на актуальную тему. Новизна полученных автором научных результатов не представляет сомнения. Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации. Таким образом, работа А.С. Шаракшанэ соответствует всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.04.03 – радиофизика, а автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертационная работа и отзыв обсуждались на семинаре ИПФ РАН. Отзыв одобрен Ученым советом ИПФ РАН, протокол №1 от 27 ноября 2014 г.

Ученый секретарь ИПФ РАН
д.ф.-м.н.

В.Е.Шапошников/

Отзыв составил:
с.н.с. ИПФ РАН, к.ф.-м.н.

А.М.Рейман/

ФИО: Рейман Александр Михайлович _____

Ученая степень: кандидат физико-математических наук

Специальность: 01.04.03 – радиофизика

Почтовый адрес: 603950, г. Нижний Новгород, ГСП-120, ул. Ульянова, 46

Телефон: (831) 416-49-76

Адрес электронной почты: rey@appl.sci-nnov.ru

Наименование организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной физики Российской академии наук

Должность: старший научный сотрудник