

**В. А. Буров, О. Д. Румянцева**

---

**ОБРАТНЫЕ  
ВОЛНОВЫЕ ЗАДАЧИ  
АКУСТИЧЕСКОЙ  
ТОМОГРАФИИ**

---

**Обратные задачи  
излучения в акустике**



URSS

---

**В. А. Буров, О. Д. Румянцева**

**ОБРАТНЫЕ ВОЛНОВЫЕ ЗАДАЧИ  
АКУСТИЧЕСКОЙ ТОМОГРАФИИ**

Часть 1

**Обратные  
задачи излучения  
в акустике**



**URSS**

**МОСКВА**

ББК 22.32  
УДК 534.2 534.7 519.6 534.8 519.24

**Буров Валентин Андреевич,  
Румянцева Ольга Дмитриевна**

**Обратные волновые задачи акустической томографии. Ч. 1: Обратные задачи излучения в акустике. — М.: ЛЕНАНД, 2017. — 384 с.**

В книге рассматриваются обратные волновые задачи и их прикладные аспекты, связанные с современным состоянием научной мысли в области линейной и нелинейной акустической томографии, а также акустической термотомографии. Подытоживаются основные результаты исследований, выполненных в лаборатории обратных задач на кафедре акустики Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова в течение нескольких последних десятилетий. Книга разделена на четыре части, в определенной мере взаимосвязанные между собой. В каждой из частей излагаются теоретические аспекты проблемы, а также обсуждаются перспективы прикладного применения.

В части I кратко рассматриваются обратные когерентные задачи излучения, которым присуща некорректность и сильнейшая степень неединственности. Излагаются различные подходы к решению обратных волновых задач излучения и некогерентных задач активно-пассивной акустической термотомографии. Показывается, что активно-пассивный режим позволяет определять совокупность акустических и термических характеристик среды в рамках общей томографической схемы.

*Исследования поддержаны Российским научным фондом (проект № 14-22-00042)*

Формат 60×90/16. Печ. л. 24. Подписано в печать 07.12.2015. Зак. № АХ-301.

Отпечатано в ООО «ЛЕНАНД».

117312, Москва, пр-т Шестидесятилетия Октября, 11А, стр. 11.

**ISBN 978-5-9710-3008-9**

© В. А. Буров, О. Д. Румянцева, 2016

© ЛЕНАНД, 2016

15536 ID 208823



9 785971 030089



Все права защищены. Никакая часть настоящей книги не может быть воспроизведена или передана в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, а также размещение в Интернете, если на то нет письменного разрешения владельцев.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |     |
|---|-----|
| Предисловие.....  | 6   |
| Список основных обозначений и символов.....   | 12  |
| <b>Введение</b> .....   | 19  |
| Соотношения для описания волновых процессов.....  | 24  |
| Список литературы к введению .....  | 42  |
| <b>ЧАСТЬ I. ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ ИЗЛУЧЕНИЯ<br/>В АКУСТИКЕ</b> .....  | 44  |
| Глава 1. Обратные задачи когерентного<br>монохроматического излучения .....   | 45  |
| Раздел 1.1. Неизлучающие источники. Неединственность<br>решения обратной задачи излучения .....   | 45  |
| Раздел 1.2. Устранение неединственности решения<br>за счет априорной информации .....   | 51  |
| Раздел 1.3. Обращение волнового фронта как метод<br>решения обратной задачи излучения .....   | 58  |
| Глава 2. Обратные волновые задачи<br>некогерентного излучения. Акустическая<br>термотомография.....   | 75  |
| Раздел 2.1. Узкополосные некогерентные источники.....   | 77  |
| § 2.1.1. Оценка источников в координатном<br>представлении .....  | 77  |
| § 2.1.2. Оценка источников в пространственно-<br>спектральном представлении .....   | 86  |
| Раздел 2.2. Активно-пассивный режим корреляционной<br>акустической термотомографии .....  | 103 |
| § 2.2.1. Прикладные возможности акустической<br>термотомографии .....   | 104 |
| § 2.2.2. Корреляционные свойства<br>термоакустического излучения тонкого<br>поглощающего слоя. Механизм компенсации<br>теплового излучения поглощающего слоя..... | 113 |

|  |            |
|--|------------|
| § 2.2.3. Влияние неоднородностей фазовой скорости в среде.....   | 125        |
| § 2.2.4. Корреляционные свойства термоакустического излучения неоднородной среды.....  | 133        |
| § 2.2.5. Схема активно-пассивного акустического термотомографирования неравномерно нагретой неоднородной среды. Влияние ошибок измерений и точности осуществления операций алгоритма ..... | 139        |
| Раздел 2.3. Процессы активно-пассивной акустической термотомографии при изотропном и анизотропном фоновом излучении .....  | 155        |
| § 2.3.1. Корреляционные свойства термоакустического излучения тонкого рефракционно-поглощающего слоя при анизотропном фоновом излучении.....   | 156        |
| § 2.3.2. Экспериментальное моделирование процессов термотомографирования.....  | 168        |
| <b>Глава 3. Оценки максимального правдоподобия в многоканальных системах корреляционной акустической термотомографии .....</b>   | <b>186</b> |
| Раздел 3.1. Многоканальное корреляционное томографирование .....   | 186        |
| Раздел 3.2. Общие соотношения для оценок максимального правдоподобия .....   | 193        |
| Раздел 3.3. Достижимая точность и разрешающая способность.....   | 214        |
| Раздел 3.4. Итерационный метод решения ММП-системы. Количество вычислительных операций.....  | 224        |
| Раздел 3.5. Численное моделирование .....  | 228        |
| § 3.5.1. Результаты восстановления пространственного распределения термоакустических источников в узкополосном и широкополосном режимах.....   | 231        |
| § 3.5.2. Иллюстрация взаимосвязи температурной чувствительности и разрешающей способности .....  | 244        |

---

|   |     |
|---|-----|
| Глава 4. Корреляционная акустическая<br>термотомография при фокусировке теплового<br>излучения и анизотропной подсветке ..... | 250 |
| Раздел 4.1. Предварительная фокусировка в приемных<br>корреляционных системах .....   | 257 |
| § 4.1.1. Схема фокусировки .....  | 258 |
| § 4.1.2. Управляемая анизотропная подсветка<br>в режиме разностных задержек .....   | 268 |
| Раздел 4.2. Фокусирующая термоакустическая система<br>на зеркалах. Экспериментальное моделирование .....                      | 275 |
| Раздел 4.3. Параллельное восстановление акустических<br>и температурных характеристик объекта .....                           | 294 |
| § 4.3.1. Неоднородность с малыми<br>волновыми размерами .....   | 297 |
| § 4.3.2. Особенности процесса восстановления<br>в фокусирующих и кольцевых схемах .....                                       | 307 |
| § 4.3.3. Итерационное уточнение температуры,<br>скорости звука и поглощения .....   | 342 |
| Список литературы к части I .....   | 364 |
| Предметный указатель к введению и части I .....   | 380 |