

## О Т З Ы В

официального оппонента, д.ф.-м.н. Нагорского П.М. на диссертационную работу **Суханова Дмитрия Яковлевича «Многомерная согласованная фильтрация в радио- и ультразвуковой томографии»**, представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «радиофизика»

**I. Актуальность работы.** Проблеме разработки эффективных методов в радио и акустической томографии, дефектоскопии, подповерхностном зондировании всегда уделялось повышенное внимание: обработка многомерных сигналов в акустической, радио и оптической локации; оптимальная фильтрация в радиотехнике; восстановление радио, акустических и оптических изображений.

С одной стороны – методы и средства радио и акустических томографических способов дистанционного контроля, дефектоскопии, подповерхностного зондирования зримо подразделяются на два класса: системы, работающие в реальном масштабе времени, и все остальные. Жесткое временное требование, предъявляемые к методам и алгоритмам обработки сигнала для первого класса систем, является главнейшим фактором, ограничивающим или делающим практически невозможным применение многих мощных математических способов обработки многомерных сигналов. Это в полной мере относится к радио и акустическим томографическим методам дистанционного контроля, дефектоскопии, подповерхностного зондирования.

С другой стороны – существующие методы обработки радио и акустических томографических данных учитывают только наиболее простые случаи – фоновые среды постулируются однородными, а границы раздела сред полагаются плоскими.

Поэтому тема диссертации, посвященная разработке методов радиоволновой и ультразвуковой томографии, которые: а) позволяют проводить восстановление изображений скрытых предметов практически в реальном масштабе времени и с учётом неоднородности фоновой среды (или границы раздела сред); б) предлагают способы решения обратных задач обработки данных радио и акустического зондирования, основанные на согласованной фильтрации и быстром преобразовании Фурье; в) оптимизируют радио и акустические томографические схемы диагностики и контроля, является весьма актуальной и своевременной.

**II. Наиболее существенные новые научные результаты, полученные в диссертации.**

1. Предложен и обоснован, на основе приближения фазового экрана, новый метод радиотомографии, учитывающий неровную границу раздела сред и позволяющий

реализовать алгоритм восстановления радио и акустических изображений, основанный на согласованной фильтрации и быстром преобразовании Фурье.

2. Сформулирован и обоснован алгоритм построения многопозиционной бистатической радиотомографии, позволяющей получать разрешение по дальности даже в случае использования монохроматических сигналов.
3. Предложен и реализован способ восстановления трёхмерных радиоизображений объектов, скрытых за неоднородными диэлектрическими преградами произвольной формы.
4. Сформулирован и обоснован метод восстановления теневых радиоизображений объектов с учётом эффекта дифракции, отличающийся от известных томографических методов, использующих лучевое приближение, возможностью применения для объектов с размерами порядка длины волны.
5. Предложен, для моностатической сканирующей радиозондирующей системы на цилиндрической поверхности, метод восстановления пространственного спектра рассеивающих неоднородностей внутри цилиндрического объёма.
6. Предложен и реализован метод увеличения разрешающей способности плоского магнитоиндукционного сканирования, основанный на восстановлении распределения элементарных вихревых токов в электропроводящих объектах.
7. Сформулирован и обоснован способ радиозондирования на основе линейной решётки моностатических локаторов и подвижного рефлектора параболической формы.

**III. Обоснованность и достоверность.** Сформулированные в диссертации положения являются обоснованными и достоверными. **Обоснованность** полученных соотношений подтверждается применением классического математического формализма, в частности приближения однократного рассеяния, используемого в процессе их вывода.

Подтверждением **достоверности** предложенных способов и реализованных на их основе технических средств, служит согласие результатов численного анализа и данных натуральных экспериментов (применимость предложенных томографических методов доказана совпадением формы тестовых объектов и восстановленных изображений).

#### **IV. Ценность работы.**

**Теоретическая.** Заключается в том, что результаты работы, являясь достаточно общими, представляют интерес для специалистов не только в области радио и акустической томографии, но и в смежных областях (радио и гидролокация, например), являются теоретической базой дальнейших исследований.

**Практическая.** Заключается в том, что предложенные способы обладают высокой эффективностью и могут найти применение в организациях, ведущих работы по

проектированию и использованию томографических способов и систем контроля, и использоваться при подготовке кадров высшей квалификации (аспирантов и магистров).

В целом ценность работы заключается в том, что её результаты представляют собой решение крупной научной проблемы в области радио и акустической томографии, связанной с восстановлением изображений объектов, находящихся в неоднородной среде (или за неоднородной границей), и имеют как фундаментальное, так и прикладное значение.

**V. Полнота опубликования результатов работы, ее апробация.** По материалам диссертации Сухановым Д.Я. опубликованы 46 статей в журналах из перечня ВАК (из них 41 статья опубликована после защиты кандидатской диссертации), 1 монография, 3 патента. Полученные результаты прошли апробацию на научных конференциях и симпозиумах (21 доклад), подавляющая часть которых Всероссийского и Международного уровня.

#### **VI. Критические замечания по работе.**

1. При постановке решаемых проблем не указывается, что задачи решаются в статичной постановке, частотная дисперсия и поглощение в фоновых средах отсутствуют.
2. В ряде глав работы (например, стр. 290) пренебрегается отраженным от фоновой неоднородной среды сигналом и утверждается, что *«нас не интересуют изменения амплитуды поля, а главным образом изменения фазы, поэтому явления отражения в (6.11) не учтены для простоты записи решения»*. Подобные утверждения требуют проведения соответствующих оценок, которые в работе отсутствуют.
3. Во 2-ой главе (стр. 72) указано, что среда «2» может быть проводящей (проводимость  $\sigma_2$  – произвольна). Однако все приведенные далее соотношения справедливы только в случае идеального диэлектрика ( $\sigma_2 = 0$ ).
4. Первая (вводная) глава работы носит описательный характер, не содержит критического анализа состояния исследуемых в диссертации проблем и формулировки направления исследований.
5. Диссертационная работа представляется перегруженной излишним материалом:
  - во всех постановках задач приведены, помимо схем проведения эксперимента, фотографии самих экспериментальных установок, которые следовало бы исключить, как не несущие никакой информации;
  - проведенные расчеты и эксперименты сопровождаются иллюстрациями на серии частот практически без обсуждения, часть этих иллюстраций также представляется излишней, поскольку не несет информации;

- последнюю главу работы, не имеющей научного значения, следовало бы перенести в приложение;
- описание борновского приближения (стр. 106-107) и информация о свойствах сигналов с ЛЧМ-модуляцией (§ 2.5) представляется излишней.

6. В работе имеются орфографические и синтаксические ошибки, неточности в формулах, описаниях.

Сделанные замечания не отражаются на общей, весьма положительной оценке диссертационной работы.

**VII. Заключение по работе.** Совокупность представленных в диссертационной работе Суханова Дмитрия Яковлевича теоретических, модельных и экспериментальных результатов следует квалифицировать как решение крупной научной проблемы в области радио и акустической томографии, связанной с восстановлением изображений скрытых объектов, находящихся в неоднородной среде (или за неоднородной границей).

**Резюме.** Диссертационная работа *Суханова Д.Я. «Многомерная согласованная фильтрация в радио- и ультразвуковой томографии»*, удовлетворяет требованиям, изложенным в Положении о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «радиофизика».

**Автореферат** диссертационной работы верно отражает её содержание.

**Официальный оппонент,**

ведущий научный сотрудник лаборатории физики климатических систем,  
ФГБУН Институт мониторинга климатических и экологических систем  
Сибирского отделения Российской академии наук,  
доктор физико-математических наук,  
профессор

Нагорский Петр Михайлович

634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3,  
ФГБУН ИМКЭС СО РАН  
E-mail: nrm\_sta@mail.ru  
Тел.: 8-(3822)-49-15-65

Подпись в.н.с. П.М. Нагорского заверяю:

Ученый секретарь ИМКЭС СО РАН,  
канд. техн. наук  О.В. Яблокова

9 октября 2015 г.

