

УТВЕРЖДАЮ

Директор Фрязинского филиала Федерального  
государственного бюджетного учреждения науки  
Института радиотехники и электроники им.



В. А. Котельникова Российской академии наук  
(ФИРЭ им. В. А. Котельникова РАН),

д.ф.-м.н. В. М. Смирнов

19 сентября 2018 г.

### ОТЗЫВ

**ведущей организации о диссертационной работе Чиж Маргариты Александровны «Разработка методов обработки радиоголографических данных для неразрушающего контроля диэлектрических покрытий», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 — «Приборы и методы экспериментальной физики»**

Подповерхностная радиолокация в настоящее время является активно развивающейся областью, как в теоретическом, так и в практическом плане. В круг ее задач входят диагностика объектов инфраструктуры, неразрушающий контроль строительных конструкций и промышленных изделий, поиск подземных и внутристенных коммуникаций, гуманитарное разминирование, геологическая и археологическая разведка и т. п.

В диссертационной работе Чиж Маргариты Александровны решается *актуальная и имеющая существенное практическое значение задача* создание методов обработки данных подповерхностных радиолокаторов для использования этой технологии при диагностике радиопрозрачных композитных материалов. Основные трудности при неразрушающем контроле изделий и конструкций из композитных материалов при их производстве и эксплуатации связаны с ограниченным доступом к внутренней поверхности объекта контроля, необходимостью контакта с поверхностью (использованием

контактных жидкостей при ультразвуковом контроле), пористостью и слоистостью материалов. Использование радиолокационного метода контроля позволяет обойти эти трудности за счет расположения передающей и приемной антенн с внешней стороны зондируемого объекта, возможности бесконтактного зондирования и благодаря малому ослаблению сигнала в диэлектрических материалах.

В диссертационной работе Чиж Маргариты Александровны получен ряд **новых научных результатов**. Наиболее важные результаты состоят в следующем:

1. Разработаны оригинальные алгоритмы восстановления радиоизображений внутренней структуры радиопрозрачных материалов и конструкций с повышенным контрастом на основе радиолокационных данных.

2. Развита метод автоматического определения глубины расположения неоднородностей в зондируемой среде.

3. Предложена эффективная методика сбора и обработки радиолокационных данных для восстановления радиоизображений подповерхностных объектов с заданным разрешением.

**Обоснованность научных положений и практическая значимость** результатов, полученных в данной работе, подтверждается их успешным практическим применением в опытно-конструкторских работах ракетно-космической корпорации «Энергия» им. С. П. Королёва и широкой апробацией на российских и международных научных конференциях и семинарах. В качестве рекомендаций по использованию результатов и выводов диссертации можно отметить возможность их применения в организациях, занимающихся разработкой подповерхностных радиолокаторов, в лабораториях неразрушающего контроля и на предприятиях аэрокосмической отрасли в качестве одного из методов диагностики диэлектрических покрытий.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и библиографического списка, включающего 85

наименований. Работа изложена на 146 страницах, содержит 86 иллюстраций и 11 таблиц.

Во введении автором обосновывается актуальность, сформулированы цели и задачи работы, ее научная новизна и практическая значимость.

*В первой главе* сформулирована методика проведения радиолокационных измерений, подробно описана используемая в дальнейшем экспериментальная установка на основе голографического радиолокатора. Отмечены ограничения существующих методов неразрушающего контроля при диагностике диэлектрических материалов и конструкций с односторонним доступом.

*Во второй главе* описаны разработанные алгоритмы восстановления радиоголограмм на одной или на нескольких фиксированных частотах. Тестирование предложенных методов выполнено с использованием экспериментальных исследований тестового образца и численного моделирования рассеяния электромагнитного поля точечными источниками. Показано, что при восстановлении радиоголограмм на нескольких частотах необходимо проводить предварительную фазовую калибровку радиолокатора. Проведена экспериментальная оценка разрешения радиоизображений, восстанавливаемых разработанными алгоритмами.

*В третьей главе* описаны алгоритмы восстановления радиоголограмм, дополненные методами из теории цифровой обработки изображений. Показано, что введение таких этапов обработки, как интерполяция, дополнение нулями и взвешивание данных гауссовым окном, полосовая фильтрация Фурье-спектра радиоголограммы позволяют ослабить артефакты и повысить контрастность восстанавливаемых радиоизображений. Приведены результаты тестирования алгоритмов автоматической фокусировки радиоголограмм на основе критерия максимума интегральной амплитуды и автосегментации восстанавливаемых радиоизображений.

*В четвертой главе* приведены результаты экспериментальных исследований промышленных образцов теплоизоляционных покрытий,

содержащих заранее заложенные дефекты. Показано, что разработанные алгоритмы обработки радиоголограмм позволяют получать трехмерные высококонтрастные изображения внутренней структуры образцов и детектировать дефекты. Показана возможность использования разработанных алгоритмов обработки радиоголограмм в других приложениях подповерхностного радиолокатора малой дальности.

*В заключении* приведены основные результаты работы.

Основные результаты диссертации достаточно полно представлены в 13 публикациях автора, из которых 6 входят в перечень ВАК РФ. Автореферат диссертации полностью соответствует содержанию работы.

### ***Замечания***

По содержанию диссертации Чиж М. А. имеются следующие замечания:

1. Описанные в работе экспериментальные исследования проведены с образцами только одного типа теплоизоляционных покрытий. Представляет интерес тестирование разработанных алгоритмов обработки данных на других типах материалов.

2. Разработанные автором алгоритмы обработки основаны на модели радиолокационного измерения без учета влияния диаграмм направленности передающей и приемной антенн. Дополнение алгоритмов информацией о диаграммах направленности может повысить качество восстанавливаемых радиоизображений.

3. В работе для восстановления радиоголограмм используется только метод согласованной пространственной фильтрации. Представляет интерес сравнение эффективности решения задачи обнаружения дефектов другими методами.

4. Используемый в диссертации термин «широкополосная радиоголограмма» не вполне корректен, правильнее говорить о наборе радиоголограмм на заданных фиксированных частотах.

5. Текст диссертации перегружен избытком условных сокращений, которые затрудняют ее восприятие.

Перечисленные замечания не снижают общей высокой оценки диссертационной работы.

### *Заключение*

Диссертационная работа Чиж М. А. представляет собой самостоятельную, законченную научно-квалификационную работу по современной и актуальной тематике. Диссертация соответствует требованиям "Положения о порядке присуждения ученых степеней" ВАК РФ, а ее автор заслуживает присуждения ей степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 — «Приборы и методы экспериментальной физики».

Отзыв составлен по результатам доклада Чиж М. А. и обсуждения работы на научно-квалификационном семинаре ФИРЭ им. В. А. Котельникова РАН 17 сентября 2018 г.

Отзыв подготовлен кандидатом физико-математических наук, старшим научным сотрудником Лаборатории дистанционного зондирования и распространения радиоволн Марчуком В. Н.

  
\_\_\_\_\_ Марчук Василий Николаевич  
Телефон: +7(496)565-26-72 e-mail: [marchuk@ms.ire.rssi.ru](mailto:marchuk@ms.ire.rssi.ru)

Председатель научно-квалификационного семинара ФИРЭ им. В. А. Котельникова РАН д.ф.-м.н, директор ФИРЭ им. В.А.Котельникова РАН Смирнов В.М.

  
\_\_\_\_\_ Смирнов Владимир Михайлович  
Телефон: +7(496)565-24-02; e-mail: [fire@ms.ire.rssi.ru](mailto:fire@ms.ire.rssi.ru)

Ученый секретарь научно-квалификационного семинара  
ФИРЭ им. В. А. Котельникова РАН

к.ф.-м.н, в.н.с. Юшкова О.В.

Юшкова Юшкова Ольга Вячеславовна

Телефон: +7(496)565-24-62; e-mail: [o.v.y@mail.ru](mailto:o.v.y@mail.ru)

Наименование ведущей организации: Фрязинский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова Российской академии наук (ФИРЭ им. В. А. Котельникова РАН)

Почтовый адрес: 141190, г. Фрязино Московской области, пл. Введенского, 1