

## ОТЗЫВ

официального оппонента Чубинского Николая Петровича на диссертационную работу **Чиж Маргариты Александровны** на тему «Разработка методов обработки радиоголографических данных для неразрушающего контроля диэлектрических покрытий» по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Полный объем диссертации составляет 146 страниц текста с 86 рисунками и 11 таблицами. Список литературы включает 85 наименований.

**Актуальность избранной темы** связана с широко востребованной научно-технической областью неразрушающего контроля покрытий и конструкций. В первую очередь это относится к покрытиям из композитных материалов, теплоизоляционным и теплозащитным покрытиям (ТИП и ТЗП), используемых в авиационной и космической технике.

**Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций** определяется поставленной задачей обнаружения слабоконтрастных диэлектрических неоднородностей ТЗП, имеющих металлическую подложку и малое затухание. В диссертационной работе Чиж М.А. получен ряд новых научных результатов. Наиболее важные результаты состоят в следующем:

1. Разработаны методы формирования двумерных и трехмерных изображений слабоконтрастных неоднородностей в слое диэлектрика, использующие результаты измерения двумерных массивов комплексных амплитуды рассеянного поля в предметной плоскости, учитывающие особенности диагностики ТЗП.
2. Разработка метода калибровки многочастотного радиолокатора с целью компенсации фазового набега в антенно-фидерных трактах при восстановлении изображений неоднородностей.
3. Разработка методов послойной фокусировки и сегментации дефектов ТЗП для увеличения контраста их изображений в 3-хмерном объеме.
4. Разработка специального программного обеспечения для модели многочастотного радиолокатора для тестирования эффективности разработанных методов обработки исходных.

5. Проведение экспериментов с образцами реальных ТЗП, подтвердивших эффективность разработанных методов обработки.

**Достоверность полученных результатов, выводов и рекомендаций** основана на корректном использовании аппарата физико-математического описания дифракции электромагнитных полей в задачах неразрушающего контроля сред, использовании многочисленных современных методов обработки массивов комплексных амплитуд рассеянного неоднородностями электромагнитного поля, а так же подтверждается убедительными результатами экспериментального тестирования реальных ТЗП и конструкционных слоистых материалов.

**Значимость для науки и практики полученных автором результатов. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.** Полученные в диссертации результаты имеют приоритетное значение в задачах неразрушающего контроля слоистых сред, в первую очередь для обнаружения дефектов ТЗП космических аппаратов, несущих громадные механические нагрузки. Результаты работы могут быть использованы на предприятиях космической отрасли и для контроля параметров ТИП в газодобывающей и химической промышленности.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, удовлетворительная.**

**Содержание диссертации и ее завершенность** заслуживают высокую оценку, поскольку теоретические исследования, касающиеся методики регистрации комплексных амплитуд рассеянного неоднородностями поля и методов их обработки привязаны к конкретной конструкции приемно-передающего узла. Это дает возможность не только тестировать эффективность разработанных методов, но и внедрить их для широкого использования.

**Оформление диссертации** соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Полученные автором результаты **опубликованы** в достаточном объеме в рецензируемых **научных журналах**. Основные разделы работы прошли апробацию на шести научно-технических конференциях в 2015-2018 гг.

**Автореферат диссертации соответствует ее содержанию.**

В диссертационной работе имеются следующие **недостатки**.

1. Математический аппарат физической теории дифракции, использованный в 1-й и 2-й главах, является скалярным, тогда как приемно-передающий блок, позволяет

регистрировать две ортогональные составляющие рассеянного неоднородностью поля. Поэтому обработка только одной компоненты электромагнитного поля снижает качество получаемых результатов. Только в 3-й главе приведены результаты обработки с использованием двух ортогональных компонент.

2. На стр. 18 заявленное преимущество разработанного прибора по сравнению с векторным анализатором цепей ZVA24 (R&S) объясняется тем, что в первом использованы более высокие частоты: 24...26 ГГц, а во втором – 22...24 ГГц.
3. На Рис. 4. приведена «Принципиальная схема малогабаритного радиолокатора», насыщенная не расшифрованными англоязычными аббревиатурами без подробного объяснения взаимодействия отдельных блоков. Рациональнее было привести блок-схему с основными элементами.
4. На стр. 38 при анализе шага дискретизации интерференционной функции *одночастотного* радара утверждается, что согласно теореме Котельникова «непрерывный сигнал со спектром, ограниченным частотой  $f_{\max}$ , может быть однозначно восстановлен по своим дискретным отчетам, взятым с частотой, равной или большей  $2f_{\max}$ », но без пояснения, что речь идет о *пространственных частотах*. Везде в последующем тексте  $f$  обозначает частоту во временной области [1/сек].
5. На Рис. 21 приведены в градациях серого «радиоизображения квазиточечного объекта, восстановленные винеровской деконволюцией из зашумленных данных». На последовательности радиоизображений при соотношениях S/N +40 дБ, 20 дБ, 0 дБ, и –20 дБ наблюдается белая точка на абсолютно черном фоне. Что вызывает недоумение, особенно при равенстве амплитуды сигнала и средне-квадратичному уровню шума (0 дБ), а еще большее удивление, когда уровень сигнала на порядок ниже (–20 дБ) . Возможно, это связано со значительными изменениями шкалы яркостей? Аналогичные черно-белые радиоизображения в главе 2 не дают представления о реальном уровне фона и количественном определении соотношения S/N. В 3-ей и 4-й главах приводятся графические зависимости амплитуд радиоизображений, по которым можно количественно определить уровень фона и его флуктуации, а также пространственное распределение полезного сигнала после обработки.
6. На Рис. 63 приведены радиоизображения макетных трех неоднородностей (полости диаметром 50 мм и толщиной 1 мм), расположенных в цилиндре пенополиуретана диаметром 270 мм и толщиной 40 мм. На них отчетливо видна граница цилиндра. Почему, если этот цилиндр находится в плоском блоке того же полиуретана?

Эти замечания не умаляют общей оценки диссертации и позволяют резюмировать следующее.

