

## **Отзыв**

официального оппонента

на диссертацию **Суторихина Владимира Анатольевича** на тему:

**«Индикация дефектов металлических объектов СВЧ колебаниями  
при воздействии ультразвука»,**

представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук  
по специальностям: 01.04.03 Радиофизика, 05.11.13 Приборы и методы  
контроля природной среды, веществ, материалов и изделий

### **Актуальность темы исследования**

Повышение качества изделий, обеспечение их функционирования в течение запланированного срока (время жизни) является актуальной задачей во многих отраслях промышленности. В связи с этим крайне важной является задача исследования и обнаружения границ изменений свойств металлов на начальной стадии разрушения конструкций во избежание возможных экономического ущерба и человеческих жертв. При решении этой задачи ведущая роль отводится методикам неразрушающего контроля качества изделий. В последнее время для этих целей используется ультразвуковая техника на основе контактных сенсоров возбуждения и приёма зондирующих сигналов. Однако использование таких сенсоров связано с рядом серьёзных ограничений, обусловленных сложностью диагностики подвижных объектов, и особенно специзделий, находящихся под воздействием высоких температур и давлений (например, циркониевых труб ТВЭЛ атомных электростанций). Кроме того, остро встаёт проблема малого динамического диапазона измерений контактных сенсоров на базе пьезокерамики (45-50 дБ), что значительно ниже динамического диапазона исследуемых сигналов (90-120 дБ). По этой причине часто имеет место выход из строя сенсоров (вплоть до их разрушения), потеря чувствительности во время ответственных испытаний. Попытки регистрации поверхностных упругих колебаний металлов без пьезопреобразователей, с помощью лазерных и СВЧ сенсоров, не увенчались успехом. Результаты

экспериментов свидетельствуют о низкой чувствительности этих методов по сравнению с контактными сенсорами.

Вместе с тем большой интерес представляют работы под руководством проф. В.И. Горбунова по замене контактных пьезоэлектрических сенсоров на бесконтактные на основе эффекта изменения поверхностной проводимости металлов при акустическом воздействии волн на зону их внутренних дефектов. С этой точки зрения исследования, выполненные диссертантом, по поиску путей повышения чувствительности метода акустической эмиссии с помощью СВЧ сенсоров и их практической реализации являются своевременными и актуальными.

### **Структура работы и её оценка**

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и приложений. Она изложена на 112 страницах машинного текста, включая 34 рисунка, список литературы и приложения (патенты и акты внедрения). Следует отметить обширный список литературных источников, состоящий из 97 наименований.

*Во введении* отражена актуальность темы диссертации, определены цели и задачи работы, сформулированы её научная новизна, практическая значимость и достоверность полученных результатов, показан личный вклад автора. Здесь же представлены защищаемые автором положения.

*В первой главе* дан подробный обзор работ в области неразрушающих методов контроля изделий, включая традиционный метод акустической эмиссии и существующие подходы по использованию эффекта измерения поверхностной проводимости металлов в области дефектов. Исходя из анализа доступных результатов, автором обоснованно сформулированы направления исследований, включая использование СВЧ зондирования для регистрации изменений проводимости и спектрального анализа поступающей информации с целью выделения полезного сигнала, формулирования требований к узлам приборов для реализации предельной чувствительности измерений.

*Во второй главе* представлены результаты исследований по получению поверхностной проводимости с помощью СВЧ зондирования, по возможности регистрации слабых изменений поверхностной проводимости металлов при акустическом воздействии на зону дефекта путём регистрации изменения поля, отражённого от этой поверхности. Показано, что в основу определения изменений поверхностной проводимости должны быть положены фазовые методы.

*Третья глава* посвящена разработке экспериментального образца прибора для обнаружения активных дефектов металлов. Подробно представлена практическая реализация дистанционного индикатора активных дефектов на основе радара Доплера. Приведены расчёты характеристик узлов приборов.

*В четвёртой главе* представлены результаты теоретических исследований обнаружения начального процесса усталостного разрушения металлов дистанционно с помощью СВЧ излучателя. Показано, что высокая чувствительность СВЧ сенсора позволяет обнаруживать указанные дефекты.

*В заключении* изложены основные научные и практические результаты работы, полученные в ходе диссертационного исследования.

Диссертационная работа производит хорошее впечатление и выглядит как завершённое научное исследование. Автореферат соответствует содержанию диссертации. Тематика и содержание диссертации В.А. Суторихина соответствует паспорту специальностям 01.04.03 Радиофизика, 05.11.13 Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендации**

Результатом исследований автора является математическая модель распределения дополнительных заряженных частиц на внешней поверхности металлического объекта при воздействии ультразвуком на область дефекта внутри металла, которая позволяет в первом приближении оценить размеры дефекта по величине изменения проводимости.

Эту дополнительную поверхностную проводимость автор диссертации предлагает регистрировать в виде фазовой модуляции отраженного СВЧ поля с частотой ультразвука. Сравнительно просто ему удалось решить актуальную задачу, поставленную полвека назад, что следует считать научным достижением. Результаты выдвинутых научных положений подтверждены классическими методами измерений с использованием метода акустической эмиссии и рентгеновского метода.

Метод математического моделирования, используемый для расчетов изменения поверхностной проводимости в результате взаимодействия акустических волн с зоной дефекта, позволил рассчитывать предельные характеристики разрабатываемых приборов и размеры обнаруживаемых дефектов, что подтверждено многочисленными экспериментами и актами использования.

Исходя из изложенного, считаю, что сформулированные диссертантом научные положения, выводы и рекомендации достаточно обоснованы.

### **Достоверность полученных результатов**

Теоретические и экспериментальные результаты, полученные автором, не противоречат известным теоретическим работам. Достоверность теоретических положений диссертации подтверждается расчетами, моделированием на компьютере и результатами экспериментов. Результаты экспериментальных исследований получены с использованием аттестованных серийных измерительных приборов.

### **Новизна полученных результатов**

Автором в результате исследования причин низкой чувствительности амплитудных методов измерения поверхностной проводимости показана перспективность применения фазовых методов измерения, что позволило на порядок поднять чувствительность дистанционного метода измерения дефектов.

В результате появляется возможность обнаружения начальной стадии разрушения металлов, застарелых дефектов.

В частности, в работе:

- доказана возможность значительного увеличения чувствительности ультразвукового метода обнаружения дефектов металлов при совместном использовании СВЧ зондирования поверхности;
- теоретически и экспериментально разработаны математические модели изменения поверхностной проводимости металлов в результате взаимодействия акустических волн с дефектами в металле и взаимодействия поверхностной проводимости с СВЧ излучением;
- теоретически и экспериментально доказано, что фазовый метод измерения колебаний проводимости металлической поверхности обеспечивает значительное увеличение чувствительности по сравнению с амплитудным методом.

### **Практическая значимость работы**

Она заключается в следующем:

- разработан метод дистанционного определения опасных дефектов металла на основе использования СВЧ сенсора и воздействия на область дефекта слабого ультразвука, основанный на измерении спектральной плотности мощности фазомодулированного отраженного сигнала, отличающийся значительным увеличением чувствительности по сравнению с известными методами;
- Созданы действующие образцы прибора для обнаружения начальной стадии разрушения металлов, что позволяет обнаруживать дефекты без использования механических нагрузок и таким образом значительно (в сотни раз) сократить время диагностики конструкций без снижения надёжности обнаружения опасных дефектов.

### **Полнота публикаций результатов**

Все результаты диссертационной работы опубликованы в открытой печати и полностью соответствует исследованиям, проведенным автором в течение 20 лет. По теме диссертации опубликована 31 работа, в их числе 2 статьи в журналах, входящих в перечень ВАК, 2 статьи в журналах, входящие в базу цитирования W&S, SCOPUS, 2 статьи, входящие в базу цитирования COPERNICUS, 9 докладов на международных НТК, 1 тезис международной НТК, 3 патента РФ на изобретения.

### **Соответствие автореферата содержанию диссертации**

Содержание автореферата отражает основную часть работы, выполненной соискателем. В автореферат, ввиду его малого объема, не включена значительная часть практических исследований, представленных в диссертационной работе.

### **Замечания по диссертационной работе**

Среди замечаний следует отметить следующие:

1. Из текста диссертационной работы не ясна в явном виде зависимость обнаружительной способности дефекта от глубины его залегания, а также от типа материалов контролируемых образцов.

2. Из приведённых диссертантом характеристик прибора следует, что обнаружительная способность прибора порядка 3–4 нм<sup>3</sup>. Так ли это? В каких случаях эта характеристика справедлива?

3. В тексте диссертации имеются грамматические ошибки. Так, в подписях к рисункам 4.12 – 4.16 допущена ошибка в слове «в течении». Из контекста следует, что это слово является наречием и правописание его должно быть следующим: «в течение».

### **Рекомендации по практическому применению на конкретном предприятии**

При своих высоких возможностях обнаружения дефектов металлических конструкций и удобства использования прибор отличается простотой

технологий, несложной конструкцией и его производство и может быть рекомендовано к освоению на большинстве предприятий радиотехнического профиля. Высокие технические характеристики подтверждают документы, представленные в приложении.

### **Соответствие работы основным требованиям ГОСТ и ВАК**

Экспертиза диссертационной работы «Индикация дефектов металлических объектов СВЧ колебаниями при воздействии ультразвука» позволяет сделать вывод о том, что оформление диссертации соответствует ГОСТ, требованиям ВАК п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук.

### **Заключение**

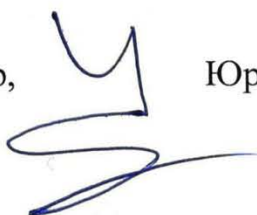
Диссертация Суторихина В.А. является самостоятельной, завершённой исследовательской работой, в которой содержится новое решение важной актуальной научно-технической задачи исследования и разработки СВЧ сенсора с предельно возможной чувствительностью для дистанционной диагностики дефектности металлов и создания на его основе прибора для контроля качества изделий на предмет наличия в них дефектов.

Диссертация Суторихина В.А. обладает научной новизной и практической ценностью. На основании этого считаю, что Суторихин Владимир Анатольевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальностям: 01.04.03 Радиофизика, 05.11.13 Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

Официальный оппонент,

**Чугуй Юрий Васильевич**

доктор технических наук, профессор,  
заслуженный деятель науки РФ,  
научный руководитель ФГБУН



Юрий Васильевич Чугуй

Конструкторско-технологический институт  
научного приборостроения Сибирского  
отделения Российской академии наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Конструкторско-  
технологический институт научного приборостроения Сибирского отделения  
Российской академии наук (КТИ НП СО РАН)  
630058, г. Новосибирск, ул. Русская, 41  
Телефон: (383)306-58-95 (приёмная – 306-62-08)  
<http://www.tdisie.nsc.ru>  
Адрес электронной почты: [chugui@tdisie.nsc.ru](mailto:chugui@tdisie.nsc.ru)

Подпись доктора технических наук, профессора Ю.В. Чугуя удостоверяю

Директор КТИ НП СО РАН  
кандидат технических наук



**Пётр Сергеевич Завьялов**

Заверяю подпись <i>Чугуя Ю.В.</i>
ФИО
Специалист по кадрам <i>Масленникова</i>
<i>09</i> « <i>октябрь</i> » 20 <i>10</i> г.



Заверяю подпись <i>Завьялова П.С.</i>
ФИО
Специалист по кадрам <i>Масленникова</i>
<i>09</i> « <i>октябрь</i> » 20 <i>10</i> г.

