

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

**Коновалова Сергея Ильича**

**«Методология формирования акустических сигналов**

**с заданными параметрами в системах измерения и контроля»,**

представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности

2.2.8 «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и

природной среды»

### **Актуальность диссертационной работы**

Совершенствованию средств неразрушающего контроля материалов и изделий уделяется самое пристальное внимание в нашей стране и за рубежом. Причиной этого является необходимость разработки технических систем ответственного назначения, к которым предъявляются высокие требования по эффективности выявления дефектов в структуре исследуемых материалов, изделий, конструкций. Обнаружение критических дефектов на стадии изготовления и при эксплуатации изделий и конструкций необходимо для обеспечения их безаварийной работы в течение длительного периода времени. Выполнение условий, способствующих этому, позволяет избежать человеческих жертв, техногенных катастроф, аварий на транспорте, проведению срочных вынужденных внеплановых ремонтных работ и т.п. Перечисленными обстоятельствами можно объяснить актуальность диссертационного исследования С.И. Коновалова, направленного на разработку методологии формирования акустических сигналов с заданными параметрами в системах измерения и контроля.

Аппаратная реализация акустических методов контроля подразумевает использование преобразователей, среди которых в настоящее время наиболее часто применяются пьезоэлектрические. Установление местоположения и характера нарушений сплошности в материалах и изделиях осуществляется путем их зондирования сигналами, поступающими от излучателя. С целью улучшения разрешающей способности систем излучения-приема, снижения протяженности мертвой зоны и повышения точности определения координат дефектов целесообразно обеспечить возможность работы искателей дефектоскопов в режиме излучения-приема короткого сигнала. Длительность зондирующих сигналов в этом случае должна составлять несколько полупериодов несущей частоты. При этом формирование акустических сигналов с заданными параметрами является важным условием успешного решения обозначенной задачи. Для этого необходимо системно, с единых позиций провести исследования, которые могут способствовать улучшению качества преобразователей (сформулировать предложения по коррекции их свойств). В работе решение данной задачи проводилось по следующим направлениям: изучение влияния электрических сигналов, возбуждающих преобразователь, на форму импульсных выходных сигналов; изучение влияния конструктивных элементов преобразователей на форму импульсных выходных сигналов; изучение влияния электрических цепей, подключаемых к преобразователям, на форму импульсных сигналов на их выходе.

### **Структура и содержание работы**

Диссертация С.И. Коновалова включает в себя введение, пять разделов, заключение, список литературы (306 наименований), приложения. Общий объем работы составляет 389 страниц.

Во **введении** диссертационной работы описана актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи диссертационной работы.

**В первом разделе** рассмотрены существующие методологические проблемы построения систем ультразвукового контроля. Выявлено, что в рамках обобщенного подхода возможны два пути проектирования систем ультразвукового контроля высокого разрешения – за счет внесения конструктивных изменений в отдельные ее элементы, а также формирования управляющих сигнальных воздействий между ее элементами. Обосновано решение о том, что внесение конструктивных изменений относится только к чувствительному элементу – электроакустическому преобразователю, а формирование управляющих сигнальных воздействий касается формирования генератором системы ультразвукового контроля электрических сигналов специальной формы, т.е. решается задача синтеза акустического зондирующего импульса. Это подразумевает решение задач: анализа работы излучателя в импульсном режиме; управления входным электрическим сигналом; электрического согласования пьезоэлектрического преобразователя с генератором и индикатором. Анализ работы излучателя в импульсном режиме подразумевает создание моделей, методов, методик и алгоритмов расчета многослойных пьезоэлектрических преобразователей, с использованием механического демпфирования, согласующих четвертьволновых слоев, корректирующих электрических цепей, возбуждающих пьезоэлектрический преобразователь электрических импульсов специальной формы.

**Во втором разделе** разработаны математические модели, методы и методики расчета импульсного режима работы многослойных пьезоэлектрических преобразователей, позволяющие проводить синтез зондирующих акустических сигналов с заданными свойствами, при возбуждении преобразователя импульсом электрического напряжения, с использованием методик коррекции, основанных на изменении параметров демпфера и системы слоев.

**В третьем разделе** разработаны математические модели, метод и методики расчета импульсного режима работы пластинчатых многослойных пьезоэлектрических преобразователей, позволяющие проводить синтез зондирующих акустических сигналов с заданными свойствами при возбуждении преобразователя импульсом электрического напряжения с использованием методик коррекции, основанных на изменении электрических параметров корректирующей электрической цепи.

**В четвертом разделе** приведена оценка параметров зондирующего сигнала спектральным методом при возбуждении пьезоэлектрического преобразователя электрическими сигналами различной длительности. Сравниваются результаты синтеза зондирующих сигналов на выходе пьезоэлектрического преобразователя, полученные рассмотренными ранее методиками коррекции. Разработаны метод и методики расчета переходных процессов в системах излучения-приема, нагруженных на жидкие среды, с использованием электрических компенсирующих импульсов, позволяющие проводить синтез зондирующих акустических сигналов с заданными свойствами, при возбуждении преобразователя импульсом электрического напряжения, на основе методик коррекции электрических сигналов, возбуждающих пьезоэлектрический преобразователь. Разработаны математические алгоритмы и методики расчета переходного процесса в пьезоэлектрическом преобразователе с применением метода Даламбера.

**В пятом разделе** разработаны алгоритм и методики проектирования пьезоэлектрических преобразователей. Созданы импульсные пьезоэлектрические преобразователи для задач неразрушающего акустического контроля, а также подтверждена работоспособность методик проектирования пьезоэлектрических преобразователей методами имитационного и натурального моделирования. Изложены вопросы, касающиеся экспериментальной проверки работоспо-

способности методик коррекции конструктивных параметров пьезоэлектрических преобразователей.

**В заключении** сформулированы основные результаты и выводы по диссертационной работе.

### **Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций**

Оппонируемая диссертационная работа Коновалова С.И. обобщает многолетние детальные и последовательные исследования автора, отраженные в многочисленных публикациях в высокорейтинговых журналах, по решению сложной научно-технической проблемы создания методологии построения пьезоэлектрических преобразователей и систем излучения-приема на их основе, включающей в себя совокупность согласованных методов, методик, алгоритмов, критериев, позволяющих найти подходы к конструированию новых и совершенствованию уже существующих импульсных пьезоэлектрических преобразователей, обеспечивающих повышение предельной чувствительности ультразвуковых дефектоскопов к дефектам.

Постановка цели и частных задач диссертационного исследования показывает высокую осведомленность соискателя о современном состоянии научных исследований и разработок по рассматриваемому кругу вопросов. Автором на протяжении 30 лет постоянно публиковались материалы исследований по тематике диссертации.

Теоретическая часть диссертационной работы построена на базе уравнений математической физики, интегрального исчисления, а также численных методов расчета, математического моделирования, прикладной статистики и интерпретации статистических данных. Экспериментальные исследования проводились путем имитационного (компьютерного) и натурального моделирования сигналов ультразвуковых пьезоэлектрических преобразователей.

Результаты представленных в диссертационной работе экспериментальных исследований подтверждают справедливость и обоснованность теоретических и практических положений, выносимых на защиту.

### **Научная новизна и достоверность результатов диссертационной работы**

К новым научно-техническим результатам диссертационной работы относятся:

1) Методология проектирования импульсных пьезоэлектрических преобразователей ультразвуковых дефектоскопов с заданными параметрами излучаемого акустического сигнала для повышения их предельной чувствительности к дефектам.

2) Модели, метод и методики расчета импульсного режима работы многослойных пьезоэлектрических преобразователей, позволяющих генерировать зондирующие акустические сигналы с заданными свойствами.

3) Метод и методика расчета переходных процессов в системах излучения-приема, нагруженных на жидкие среды, с использованием электрических компенсирующих импульсов.

4) Критерии и методы оценки эффективности работы импульсных пьезоэлектрических преобразователей.

**Научная новизна** предлагаемых научно-технических решений подтверждается совокупностью публикаций в центральных изданиях по теме диссертации, зарегистрированными объектами интеллектуальной собственности, в которых защищена как методологическая, так и техническая новизна работы.

**Достоверность** представленных результатов не вызывает сомнений, так как подтверждается широкой и многолетней апробацией методов расчета, методик и алгоритмов проектирования импульсных пьезоэлектрических преобразователей ультразвуковых дефектоскопов с заданными параметрами излучаемого акустического сигнала, результатами их натуральных испытаний в системах акустического контроля и диагностики.

**Практическую значимость** научных положений подтверждает использование результатов диссертации в АО «НИИ мостов», АО «НПП «Радар ммс». Результаты диссертационной работы внедрены в дефектоскопическую установку «ДУЭТ-5» металлургического комбината «АЗОВСТАЛЬ».

Результаты работы прошли широкую **апробацию** на международных и всероссийских научно-технических конференциях. По материалам диссертации опубликовано 144 научных работы, из них 69 публикаций в научных изданиях, входящих в Перечень ВАК, 2 монографии, 42 научных публикации в журналах, входящих в базы цитирования Web of Science и Scopus, 23 публикации в сборниках трудов конференций, 6 официально зарегистрированных патентов на изобретения, полезные модели и программы для ЭВМ, 2 учебно-методических работы.

В **автореферате** достаточно подробно отражены основные результаты диссертационного исследования, противоречия между данными автореферата и диссертации отсутствуют. Оформление диссертации и автореферата соответствует требованиям ВАК. Тема диссертационного исследования и содержание диссертации **соответствуют паспорту специальности 2.2.8 «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды».**

**В качестве замечаний** по диссертационной работе можно отметить следующее:

1) В разделе 2 диссертации целесообразно было бы уточнить ограничения по использованию предложенных методик коррекции конструктивных элементов пьезоэлектрических преобразователей.

2) Раздел 2, содержащий материалы о методиках коррекции  $KK_1$  и  $KK_2$ , следовало бы разделить на два отдельных раздела, что позволило бы более четко структурировать методики коррекции по группам.

3) Выбор вида методик коррекции пьезоэлектрических преобразователей, обладающих узкополосными или широкополосными свойствами, целесообразно было бы отразить в алгоритме их проектирования.

4) Нечетко сформулирован критерий получения минимальной длительности зондирующего импульса на выходе пьезоэлектрического преобразователя с согласующим слоем в зависимости от формы его АЧХ. Автору в докладе стоит более четко отразить требования к форме АЧХ, необходимые для получения минимальной длительности сигнала (в частности, величину провала АЧХ, являющейся переходной от «одногогорбой» к «двугорбой»).

5) При проведении исследований автор использует пьезопреобразователи на основе твердых растворов цирконата и титаната свинца с различными модифицирующими добавками - ЦТС-19, ЦТБС-3, ЦТСНВ-1. Пьезомодули таких преобразователей отличаются более чем на 25%, они имеют различную устойчивость к старению (изменению диэлектрических и пьезоэлектрических свойств). В работе отсутствуют пояснения причин выбора этих материалов, кроме того, есть сомнения по применимости результатов, полученных для преобразователя одного типа к другим.

6) В работе мало внимания уделено вопросам метрологического обеспечения проводимых исследований, а также оценке адекватности полученных математических моделей.

### **Заключение**

Указанные замечания не снижают общей научной и практической ценности диссертационного исследования. На основании изученного материала докторскую диссертацию можно квалифицировать как совокупность научно обоснованных технических решений и разработок в актуальной области создания средств неразрушающего акустического контроля, внедренных в практику и имеющих существенное значение для развития отрасли. Диссертационная работа имеет целостный и законченный характер, а наличие достаточного количества публикаций и объектов интеллектуальной собственности подтверждает новизну проведенных исследований и оригинальность технических решений.

Считаю, что диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (в редакции постановления Правительства РФ от 18.03.2023 г. № 415), а её автор Коновалов Сергей Ильич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.8 «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды».

### **Официальный оппонент**

Мордасов Денис Михайлович,  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Материалы и технология»  
федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Тамбовский государственный технический университет»  
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106/5, помещение 2  
8(4752) 63-04-69, mit@mail.nnn.tstu.ru

*Handwritten signature and date:*  
12.05.2023

