

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 99.0.077.02,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ «УДМУРТСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ  
АКАДЕМИИ НАУК» И ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «ИЖЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.Т. КАЛАШНИКОВА», МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 01.03.2024 г. № 2

О присуждении Синцову Максиму Анатольевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Чувствительность амплитудного теневого метода с использованием рэлеевских волн при структуроскопии и дефектоскопии металлоизделий пруткового и трубного сортамента», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды принята к защите 22 декабря 2023 года протокол заседания № 12 диссертационным советом 99.0.077.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного учреждения науки «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» и федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 426067, г. Ижевск, ул. им. Татьяны Барамзиной, 34, приказ об утверждении диссертационного совета № 968/нк от 17.10.2019 г.

Соискатель Синцов Максим Анатольевич, 14 ноября 1984 года рождения, в 2007 году закончил ФГБОУ ВПО «ИжГСХА» по направлению «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства» с присвоением квалификации «инженер». В 2023 году окончил аспирантуру в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова» по направлению 12.06.01 «Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии», специальность 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды. В настоящее время работает в должности ведущего инженера в научно-образовательном центре «Приборы и методы неразрушающего контроля, диагностики и структуроскопии» ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова», г. Ижевск.

Диссертация выполнена на кафедре «Приборы и методы измерений, контроля, диагностики» в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова».

**Научный руководитель** – доктор технических наук, Муравьев Виталий Васильевич, профессор, заведующий кафедрой «Приборы и методы измерений, контроля, диагностики» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова».

**Официальные оппоненты:**

**Дымкин Григорий Яковлевич**, доктор технических наук, профессор, руководитель научно-образовательного центра по неразрушающему контролю ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»,

**Михайлов Алексей Вадимович**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории комплексных методов контроля ФГБУН Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН (г. Екатеринбург)

**дали положительные отзывы на диссертацию.**

**Ведущая организация** – ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения» (г. Новосибирск) в своем положительном отзыве, утвержденном проректором по научной работе д.т.н., профессором Абрамовым А.Д., указала, что диссертация, представленная Синцовым М.А., является законченной научно-квалификационной работой, соответствует требованиям, установленным Положением о порядке присуждения ученой степени кандидата технических наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды.

Соискатель имеет 21 опубликованную работу, в том числе по теме диссертации – 19 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 6 работ, 1 патент на полезную модель.

**Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:**

1. Муравьева О.В., Муравьев В.В., Синцов М.А., Волкова Л.В. Выявляемость дефектов муфт насосно-компрессорных труб магнитным, вихретоковым и ультразвуковым многократно-теневым методами контроля /Дефектоскопия. 2022. № 4. С. 14-25. Muraveva O.V., Muraviev V.V., Sintsov M.A., Volkova L.V. Detecting flaws in pumping-compressor pipe couplings by magnetic, eddy current, and ultrasonic multiple-shadow testing methods /Russian Journal of Nondestructive Testing. 2022. Т. 58. № 4. С. 248-258. (1,27 усл.печ.л. /личный вклад – 0,75 усл.печ.л.).

2. Муравьева О.В., Муравьев В.В., Башарова А.Ф., Синцов М.А., Богдан О.П. Влияние термической обработки и структурного состояния стали 40Х пруткового сортамента на скорость ультразвуковых волн и коэффициент Пуассона /Сталь. 2020. № 8. С. 63-68. Muraveva O.V., Murav'ev V.V., Basharova A.F., Sintsov M.A., Bogdan O.P. Thermal treatment effect and structural state of rod-shaped assortment

40Xsteel on the speed of ultrasound waves and Poisson coefficient /Steel in Translation. 2020. Т. 50. № 8. С. 579-584. (Scopus). (0,7 усл.печ.л. /личный вклад – 0,23 усл.печ.л.)

3. Муравьева О.В., Волкова Л.В., Муравьев В.В., Синцов М.А., Мышкин Ю.В., Башарова А.Ф. Чувствительность электромагнитно-акустического метода многократной тени с использованием рэлеевских волн при контроле труб нефтяного сортамента /Дефектоскопия. 2020. № 12. С. 48-57. Murav'eva O.V., Volkova L.V., Murav'ev V.V., Sintsov M.A., Myshkin Y.V., Basharova A.F. Sensitivity of electromagnetic-acoustic multiple shadow method using rayleigh waves in inspection of oil country tubular goods /Russian Journal of Nondestructive Testing. 2020. Т. 56. № 12. С. 995-1004. (1,16 усл.печ.л. /личный вклад – 0,35 усл.печ.л.)

4. Муравьев В.В., Будрин А.Ю., Синцов М.А. Структуроскопия термически обработанных стальных прутков по скорости распространения рэлеевских волн /Интеллектуальные системы в производстве. 2020. Т. 18. № 2. С. 37-43. (0,40 усл.печ.л. /личный вклад – 0,16 усл.печ.л.)

5. Муравьев В.В., Будрин А.Ю., Синцов М.А. Влияние циклически изменяющихся нагрузок на скорости сдвиговых и рэлеевских волн в стальных прутках разной термической обработки /Интеллектуальные системы в производстве. 2020. Т. 18. № 4. С. 4-10. (0,40 усл.печ.л. /личный вклад – 0,15 усл.печ.л.)

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации. Синцов М.А. корректно ссылается на авторов и источники заимствования материалов и отдельных результатов.

#### **На диссертацию и автореферат поступили отзывы от:**

1. Ведущей организации ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения» (г. Новосибирск). Замечания: 1) Автором не рассмотрен подробно вопрос влияния качества поверхности на чувствительность рэлеевских волн к дефектам и структуре материала. Неясно, как влияет на распространение рэлеевских волн структура поверхностного слоя, например, обезуглероженная поверхность, упрочнение или наклеп в сравнении со структурой, полученной в объеме материала. 2) В четвертой главе не понятен физический смысл отрицательного коэффициента выявляемости, представленного на рисунке 4.5, при описании значения многократного коэффициента выявляемости в двух частотных диапазонах для дефектного образца бурильной трубы. 3) В третьей главе в таблицах 6,9 приведены несвойственные значения твердости для термически обработанных сталей 40X (более 500НВ) и 45 (до 78HRA). Требуется дополнительные пояснения. 4) В тексте диссертации и автореферата встречаются погрешности грамматического и синтаксического характера.

2. Официального оппонента Дымкина Г.Я. Замечания: 1) Не ясно, насколько способ возбуждения рэлеевских волн ЭМАП, упомянутый как в п.1 общих выводов по диссертации, так и в подразделе «Научная новизна» и «положения, выносимые

на защиту» автореферата, влияет на экспериментально установленные в работе закономерности изменения скоростей рэлеевских волн в зависимости от режимов термообработки проката из сталей марок 45 и 40Х. 2) Не ясно, как при оценке показателя выявляемости дефектов, предложенного в диссертации и использованного для сравнительного анализа методов контроля (раздел 4.2), учтены вариации амплитуды регистрируемых сигналов в зависимости от свойств материала, допуска на диаметр, наличия шероховатости и т.д. 3) Представляется неточным утверждение, что «акустический амплитудный метод многократной тени с использованием рэлеевских волн, распространяющихся по периметру образца в прямом и обратном направлениях, обеспечивает контроль муфты за счет однократной установки преобразователя (п.3 Общих выводов) поскольку не учитывает наличие неконтролируемых зон вблизи места установки преобразователя и в диаметральной точке по периметру изделия. 4) В общих выводах п.4. рекомендуется использование рэлеевской волны с рабочей частотой 2,5 МГц, а в тексте автореферата указано, что для оптимального решения поставленной задачи спроектирован и изготовлен ПЭП рэлеевских волн с частотой 2МГц. 5) Имеются стилистические и орфографические неточности в тексте автореферата (например, п.1 и п.3 раздела «Научная новизна»).

3. Официального оппонента Михайлова А.В. Замечания: 1) В диссертации определенное внимание уделяется моделированию распространения вихревых токов и магнитных полей в алюминии для разработанной системы подмагничивания ЭМАП. При этом в пунктах «Методология и методы исследования, «достоверность и обоснованность» и «личный вклад автора» отсутствует какая-либо информация по данному вопросу. 2) В выводах диссертации в п.4. автор делает заключение, что наиболее высокой чувствительностью к внутренним продольным дефектам труб-заготовок для производства лейнеров обладает рэлеевская волна с рабочей частотой 2,5МГц, при этом в тексте автореферата говорится о разработанном ПЭП с рабочей частотой 2МГц. 3) В разделе 3 говорится, что необходимая точность определения скорости (0,5 м/с или 0,01%) обеспечивается высокоточным и скоростным оборудованием. В то же время погрешность, представленная на рисунке 3,7, на порядок больше и может достигать  $\pm 5$  м/с. Неясна природа этих погрешностей, а также варианты её снижения для однозначной интерпретации результатов измерений с помощью предложенной методики. 4) Вопрос практической реализации разработанных автором ультразвуковых преобразователей требует более подробного описания в тексте автореферата.

4. ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет». Замечания: 1) Почему автор использовал различные методы измерения твердости изделий (Бринеля рис.2 и Роквелла рис.3), и как это сказалось на достоверности результатов исследования? 2) Пояснения к рис.5 не являются достаточными для ответа на вопрос о назначении и единицах измерения «координаты L». 3) Из текста

автореферата не ясно, чем вызваны «мешающие факторы» и как определялись их уровни (раздел 4.1).

5. ФГБОУ ВО «Комсомольск-на-Амуре государственный университет». Замечания: 1) В тексте автореферата, к сожалению, не приведены сведения о применяемых оборудовании и методе регистрации и измерения скорости поперечных и рэлеевских волн, результаты применения которых представлены в гл.3. Какие подходы использовал автор для столь точного определения скорости звука в цилиндрических изделиях? 2) Будет ли влиять покрытие на трубах или других цилиндрических изделиях на результаты определения термической обработки изделий, а также на выявляемость поверхностных дефектов?

6. ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики». Замечания: 1) Неточность в пояснении символов, используемых в формуле (5). 2) В общих выводах по работе (вывод 3) говорится об обеспечении более высокой производительности контроля за счет сканирования вдоль образующей трубы, однако в тексте автореферата данный тезис не нашел должного подтверждения.

7. ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» (г. Новокузнецк). Замечания: 1) Присутствуют ссылки на недействующие, либо замененные в РФ стандарты (ГОСТ 18353-79, ГОСТ 14959-79). 2) Сказано, что при выполнении исследований проведены «оценки погрешностей исследований», однако, как именно рассчитана погрешность, какие доверительные интервалы выбраны – не указано.

8. ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н.Ульянова» (г. Чебоксары). Замечания: 1) Сомнения вызывает заявленная на стр.15 (табл.8) точность определения скорости рэлеевских волн 1м/с. Учитываются ли краевые эффекты на концах преобразователей? Насколько волновой фронт параллелен оси образца? Это требует экспериментального обоснования.

9. ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева». Замечания: 1) В автореферате не указано, какое количество образцов испытывалось для любого из видов исследования. 2) В графических рисунках отсутствуют доверительный интервал. Также в описании рисунка не упоминается о точности полученных данных.

10. ФГАОУ ВО "Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова. Замечания: 1) Вызывает сомнение формирование цели работы, как исследования? Больше предпочтение можно было отдать улучшению технических характеристик практических технологий, параметры которых зависят от результатов исследования в диссертации? 2) В работе, являющейся, по сути, чисто экспериментальной, практически отсутствуют сведения о статистической обработке результатов экспериментов. Это тем более странно, когда в работе вычисляются корреляционные зависимости: рис.2, рис.3, для которых, как известно, учитывая конечность вариации ряда, бывает необходимость вычислить доверительные

интервалы для самого коэффициента корреляции?3) Судя по названию работы, в ней исследуются вопросы формирования чувствительности теневого метода контроля и его разновидностей для поверхностных волн, возбуждаемых и принимаемых ЭМА-способом. В тоже время при формулировке научных задач (с.4) и научной новизны (с.5) появляются сведения об эхометод? 4) В автореферате при описании содержания основных глав отсутствуют ссылки на работы, в которых должны быть опубликованы результаты исследований, описываемых в главе. Это вызывает трудности при анализе степени полноты и равномерности публикации по разделам по рекомендации ВАК. 5) При анализе материалов таблицы 8 остается не ясно, каким способом могла быть реализована столь высокая точность ( $\pm 1\text{ м/с}$ ) измерения скорости поверхностных волн?

11. ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» (г. Кемерово). Замечания: 1) В разделах «Методология и методы исследования» и «Достоверность и обоснованность полученных в работе результатов...» сказано, что «Подтверждение обнаруженных дефектов и изменений в структуре металла проводилось с помощью макро- и микроанализа...», кроме того, в таблицах 1 и 3 приведены конкретные типы микроструктуры, соответствующие исследованным образцам. Однако в автореферате отсутствуют упоминания как об используемом оборудовании для металлографии, так и изображения упомянутых типов микроструктур. 2) Необходимо отметить низкое качество отдельных рисунков, а именно, не читаемость ряда надписей на многих из них.

12. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН) (г. Томск). Без замечаний.

13. ООО «КОНСТАНТА» (г. Санкт-Петербург). Без замечаний.

**Все отзывы положительные.**

Соискатель Синцов М.А. ответил на заданные вопросы и замечания.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой научной компетентностью, наличием публикаций в областях наук, связанных с темой диссертационного исследования Синцова М.А.

В ведущей организации - ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения» (г. Новосибирск) проводятся исследования, близкие по теме диссертационного исследования, такие как: разработка методик и приборов ультразвукового контроля, позволяющих выявлять дефекты в рельсах, деталях и узлах вагонов и локомотивов, в том числе с использованием рэлеевских волн.

Официальный оппонент Дымкин Г.Я. является специалистом в области приборов и методов акустического неразрушающего контроля, в том числе, с использованием рэлеевских волн для диагностики рельсов, железнодорожных колес вагонов и локомотивов.

Официальный оппонент Михайлов В.А. является специалистом в области разработки методов и средств ультразвукового контроля с использованием электромагнитно-акустических преобразователей.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

- **разработана** методика дефектоскопии алюминиевых труб на основе эхо-метода с использованием сканирования вдоль образующей внутренней поверхности трубы и разработанного блока пьезопреобразователей рэлеевской волны, распространяющейся по внутренней огибающей поверхности трубы, что обеспечивает повышение производительности, выявление и надежную локализацию недопустимых дефектов на внутренней поверхности;

- **предложен** способ ультразвукового контроля амплитудным теневым методом с использованием электромагнитно-акустических преобразователей рэлеевских волн, распространяющихся по огибающей внешней поверхности труб в прямом и обратном направлениях, обеспечивающий контроль за счет сканирования по ее образующей, и который может быть применен для выявления дефектов в поверхностной и подповерхностной зонах с ориентацией близкой к продольной;

- **доказана** закономерность изменения скорости распространения рэлеевских волн, возбуждаемых электромагнитно-акустическим преобразователем и распространяющихся по огибающей поверхности прутков, в зависимости от различных видов и режимов термической обработки;

- **введено** понятие показателя выявляемости дефектов данного типа, определяемого достоверностью соотношения величины информативного параметра, измеренного на объекте с дефектом и величины аналогичного параметра, характеризующего бездефектный образец.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

- **доказано**, что амплитудный и временной теневые методы многократных проходов волн с использованием рэлеевских волн при структуроскопии цилиндрических металлоизделий обладает высокой чувствительностью к видам и режимам термической обработки, а амплитудный теневой метод многократных проходов волн при дефектоскопии цилиндрических металлоизделий обладает высокой чувствительностью к продольным дефектам;

- применительно к проблематике диссертации результативно **использован** амплитудный временной метод многократных проходов волн при оценке скорости распространения рэлеевских волн, распространяющихся по огибающей поверхности цилиндрического образца, а также амплитудный теневой метод многократных проходов волн для выявления дефектов в трубах и прутках;

- **изложена** и подтверждена гипотеза о корреляции между скоростью распространения рэлеевских волн и твердостью пруткового проката сталей 45 и 40Х, определяемой видами и режимами термической обработки;

- **раскрыта** проблема контроля дефектов трубного проката контактным ультразвуковым эхо-методом, обусловленная недостаточной достоверностью и производительностью контроля;

- **изучены** акустические характеристики и твердость сталей 45 и 40Х, связь с модулями упругости и коэффициентами Пуассона;

- **проведена модернизация** эхо-метода дефектоскопии алюминиевых труб заготовок лейнеров с использованием рэлеевских волн, распространяющихся по внутренней огибающей поверхности труб, обеспечивающие повышение производительности, выявление и надежную локализацию недопустимых дефектов.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

- **разработаны и внедрены** результаты исследования на ООО «ПКНМ-Урал» для контроля цилиндрических заготовок при производстве бурильных труб, и на ООО «НПФ «РЕАЛ-ШТОРМ» для выявления недопустимых дефектов в алюминиевых трубах-заготовках лейнеров;

- **определены** перспективы практического использования теневых методов многократных проходов с электромагнитно-акустическим преобразователем рэлеевских волн, обеспечивающих контроль дефектов в прутковом и трубном прокате;

- **создана** совокупность практических рекомендаций для выбора информативных параметров и типов анализируемых сигналов при разработке методик контроля трубного проката амплитудным теневым методом многократных отражений с использованием рэлеевских волн;

- **представлен** подход на основе сравнительного анализа выявляемости дефектов разными методами, показавший, что амплитудный многократный теневой метод с использованием рэлеевских волн характеризуется наибольшим значением показателя выявляемости и превышает показатели выявляемости феррозондового и вихретокового методов.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

- **для экспериментальных работ** – проведены с использованием апробированных методик и экспериментального оборудования на базе структуроскопа электромагнитно-акустического СЭМА (внесен в реестр средств измерений № 61957-15 RU.C.36.003.A №60174), входящего в состав УНУ «Информационно-измерительный комплекс для исследований акустических свойств материалов и изделий», подтверждены большим объемом экспериментальных данных на реальных объектах контроля, воспроизводимостью результатов, полученных в ходе экспериментов, сопоставлением теоретических и экспериментальных данных, обоснованностью полученных зависимостей, а также сравнением с результатами исследований других авторов.

- **теория** построена на законах теории вероятности, применении элементов теории упругости твердого тела, а также методов статистической обработки



результатов и согласуется с экспериментальными данными, опубликованными по теме диссертации;

- **идея** базируется на обобщении передового опыта использования рэлеевских волн и электромагнитно-акустических преобразователей для неразрушающего контроля цилиндрических изделий;

- **использовано** сравнение с результатами других методов неразрушающего контроля (магнитопорошкового, феррозондового, вихретокового, визуально-измерительного), механических испытаний и с помощью макро- и микроанализа;

- **установлено** соответствие авторских результатов с результатами по данной тематике, представленными в независимых источниках, сравнение, приведенное в диссертации обосновано;

- **использованы** современные методы статистической обработки экспериментальной информации.

**Личный вклад соискателя состоит:** в планировании и проведении экспериментов, в получении результатов экспериментальных исследований, в выборе методов обработки, интерпретации и обобщении полученных результатов, в апробации результатов исследования. Постановка цели и задач теоретических и экспериментальных исследований проводилась совместно с научным руководителем. Публикации проводились совместно с научным руководителем и соавторами, при этом вклад соискателя был определяющим.

На заседании 01 марта 2024 года диссертационный совет принял решение за новые научно-обоснованные технические разработки по повышению информативности и достоверности амплитудного временного и теневого методов многократных отражений с использованием накладных электромагнитно-акустических преобразователей и пьезопреобразователей для эхо-метода при контроле трубного проката рэлеевскими волнами, имеющие существенное значение в области разработки методов и средств неразрушающего контроля, обеспечивающих безопасную эксплуатацию опасных производственных объектов, присудить ученую степень кандидата технических наук Синцову Максиму Анатольевичу.

При проведении тайного электронного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 17 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: *за* - 17, *против* - нет.

Председатель  
диссертационного совета

Ученый секретарь  
диссертационного совета

04.03.2024 г.

  
Деметьев Вячеслав Борисович

  
Махнева Татьяна Михайловна

Для документов

Уральского отделения РАН