

## Строительство и эксплуатация нефтегазоводов, баз и хранилищ

УДК 621.791.053: 620.179.14: 006.354

УДК 621.873: 658.562

*А.Ю. Чайкина, А.В. Кабакова, В.П. Иванников*

### ИННОВАЦИОННЫЕ СРЕДСТВА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ И НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ И ПРЕССОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ НА ОСНОВЕ РЕНТГЕНОВСКОЙ И УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТОМОГРАФИИ

**Аннотация.** Обеспечение промышленной безопасности на предприятиях машиностроения и топливно-энергетического комплекса связано с непрерывным совершенствованием методов диагностики материалов, изделий и конструкций, являющихся как средствами, так и объектами производства.

Цель исследования – дальнейшее развитие возможностей неразрушающего контроля и технического диагностирования материалов и оборудования, повышение эффективности контроля прочности и несущей способности материалов, изделий и конструкций нефтегазовой отрасли, посредством разработки приборов и программных средств технической диагностики на основе рентгеновских и ультразвуковых методов неразрушающего контроля.

В частности, практически единственным способом обеспечения неразрушающего контроля сварных и прессовых соединений узлов машин, трубопроводов (в том числе, магистральных), является применение методов комплексной ультразвуковой и рентгено-акустической структуроскопии, расширение возможностей которой обусловлено её дальнейшим развитием. В данной работе проведен анализ методов, средств и систем ультразвуковой и рентгено-акустической структуроскопии, установлено их соответствие концепции развития технологий НК объектов НГО и ТЭК на основе существующих отраслевых стандартов, разработан оригинальный, эффективный алгоритма синтеза трехмерного образа (3D-томограммы) соединения цилиндрических деталей по диаграммам «срезов» объекта (2D-томограммам), полученным методом многоакурсного ультразвукового зондирования.

**Ключевые слова:** промышленная безопасность, риски возникновения аварий и катастроф, неразрушающий контроль, магистральные нефтегазопроводы, дефектоскопия, рентгеновская диагностика, ультразвуковая томография, неразрушающий контроль качества соединений, многоакурсное зондирование.

*Для цитирования:* Чайкина А.Ю., Кабакова А.В., Иванников В.П. Инновационные средства технической диагностики и неразрушающего контроля сварных и прессовых соединений трубопроводов на основе рентгеновской и ультразвуковой томографии // Управление техносферой: электрон. журнал. 2018. Т.1. Вып. 2. С. 194 – 208. URL: <http://f-ing.udsu.ru/technosphere>

## Содержание

В соответствии со Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта относится к приоритетным направлениям научно-технологического развития государства [1].

Обеспечение промышленной безопасности на предприятиях машиностроения и топливно-энергетического комплекса связано с непрерывным совершенствованием методов диагностики материалов, изделий и конструкций, являющихся как средствами, так и объектами производства.

Практически единственным способом обеспечения неразрушающего контроля сварных и прессовых соединений узлов машин, трубопроводов (в том числе, магистральных), является применение методов комплексной ультразвуковой и рентгено-акустической структуроскопии, расширение возможностей которой обусловлено её дальнейшим развитием.

Анализ имеющихся данных о наиболее вероятных причинах преждевременного истощения эксплуатационного ресурса и надёжности материалов и оборудования, технологических объектов, возникающих в результате старения и экстремальных воздействий, свидетельствует о недостаточном развитии и эффективности неразрушающих методов и технологий диагностики.

Широкое распространение, на сегодняшний день, получили такие инновационные методы технической диагностики, как цифровая томография и рентгенография, ультразвуковые исследования (УЗИ), и другие.

Исследование направлено на решение фундаментальных и прикладных задач в области развития акустических технологий неразрушающей диагностики на основе метода акустической томографии сварных и прессовых соединений

трубопроводов (в том числе, магистральных) в приложении к задачам прогнозирования и повышения их эксплуатационного ресурса и надёжности, развитию возможностей перехода к цифровым производственным технологиям неразрушающего контроля изделий и объектов НГО и ТЭК, развитию специализированных систем и методов обработки данных, проектированию новых приборов.

#### *Цель исследования*

- Повышение эффективности контроля прочности и несущей способности материалов, изделий и конструкций, имеющих важное значение для машиностроения и топливно-энергетического комплекса Удмуртии посредством разработки приборов и программных средств технической диагностики на основе рентгеновских и ультразвуковых методов неразрушающего контроля.

#### *Задачи исследования*

- Развитие инновационных методов, средств и систем ультразвуковой и рентгено-акустической структуроскопии, применительно к обеспечению неразрушающего контроля широкой категории продуктопроводов, аварийное состояние которых может вызвать непредсказуемые катастрофические последствия, например, на промысловых и магистральных нефтегазопроводах и других объектах нефтегазового и топливно-энергетического комплекса Удмуртии.

- Решение задач автоматизации процесса контроля на основе разработанного метода многоакурсного ультразвукового зондирования, ультразвуковой и рентгеновской томографии, для оптимизации процесса контроля качества соединений из металла, и других материалов, на основе разработанной авторской методики количественной оценки качества соединений.

- Решение задач автоматизации процесса контроля программными средствами, путём синтеза трехмерного образа области соединения (3D-томограммы) по диаграммам «срезов» объекта (2D-томограммам), полученным

методом многоракурсного ультразвукового зондирования.

Обзор исследований в данной области показал, что в настоящее время, разработаны приборы, позволяющие с очень высокой чувствительностью и надёжностью обнаруживать поверхностные и подповерхностные дефекты ферромагнитных и неферромагнитных металлов, определять форму обнаруженных дефектов [1, 2]. В частности, разработанные приборы позволяют определять толщину стенок, механическое напряжение (реальное и предельное) по электропроводности труб буровой колонны. Измерение этих характеристик позволяет предотвратить аварийные ситуации на буровой вследствие излома труб и падения колонны на глубину скважины. Выполнены исследования и разработка способов и оборудования для электромагнитно-акустического (ЭМА) ультразвукового контроля сплошности металлов, многопараметрового вихретокового контроля качества поверхности, структуры и физико-механических свойств электропроводных и (или) ферромагнитных материалов, магнитных средств обнаружения дефектов и оценки структуры материалов [2,3,4,5]. Так, макетный образец ЭМА дефектоскопа, при контроле по катаной поверхности, обнаруживает в стали У7 прямыми преобразователями дисковый отражатель диаметром 0,9 мм на расстоянии до 170 мм [6, 7]. Решена задача полного исключения «мертвой» зоны, то есть обеспечивается обнаружение дефектов, выходящих на поверхность и далее вглубь металла.

Следует особо отметить, что конструктивные отличия в современной аппаратуре ультразвуковой диагностики заключаются лишь в том, что приборы, выпускаемые промышленностью, часто отличаются друг от друга лишь в отдельных деталях, а изменения на рынке приборов обусловлены всего лишь появлением приборов с более дешевыми и принципиально новыми комплектующими изделиями электронной техники, которые обеспечивают возможность выпуска малогабаритных и экономичных приборов с улучшенными техническими характеристиками.

Исследования ряда зарубежных и отечественных специалистов в области

неразрушающего контроля: Крауткремера Г., Крауткремера Й., Ключева В. В., Буденкова Г. А., Самокрутова А. А. и Шевалдыкина В. Г., показали, что с помощью ультразвука можно определить изменение уровня отражения сигнала в различных точках контакта области сопряжения соединения отдельных деталей конструкции.

Реализация новых идей и принципов, опробованных в исследовательской практике, как правило, сводится к тому, что выпускается аппаратура многоцелевого назначения, с цветными дисплеями, обеспечивающими возможность наложения друг на друга информации различных видов, например, при получения эхоснимка с помощью набора небольших отдельных ультразвуковых преобразователей, посылающих ультразвуковой веерный пучок, который частично отражается от границ неоднородностей и возвращается к ультразвуковому преобразователю, где и регистрируется. Снимок получается в принципе довольно просто: одна ось – номер отдельного преобразователя (направление), вторая ось – временная задержка отклика (расстояние), яркость - интенсивность отклика. В конечном итоге, без какой либо математической предобработки, получаем плоское изображение трехмерного объекта, как в фотографии. Часто, такие изображения и называют ультразвуковыми томограммами.

В этой связи, *актуальность исследований* связана с необходимостью развития методов ультразвуковой томографии, основываясь на интеграции результатов контроля качества сопряжения соединений деталей машин и конструкций акустическим эхо-импульсным методом с численным и аналитическим подходами. В частности, использование методов энтропийно-фрактальной параметризации и идентификации, при обработке данных исследований при цифровой томографии и рентгенографии, обеспечит возможности классификации дефектов в области сопряжения деталей, а сравнительный последующий анализ данных, позволит решать задачи прогнозирования будущих состояний исследуемых объектов с точки зрения их

надёжности. Данные выводы основываются на анализе некоторых фундаментальных исследований, опубликованных в открытой печати [1 – 12].

*Научная новизна* предлагаемой постановки задач и решения заявленной проблемы, преимущество предлагаемых нами решений, лежащих в основе общего плана работ на весь срок выполнения Проекта в течение 3-х лет (с января 2018 по декабрь 2020), состоит:

- в разработке новых методов, средств и систем ультразвуковой и рентгено-акустической дефектоскопии, применительно к обеспечению неразрушающего контроля технологического оборудования, материалов и конструкций;

- в развитии компьютеризованных средств и методов технической диагностики, основанного на применении разработанного метода многокурсного ультразвукового зондирования, ультразвуковой и рентгеновской томографии;

- в принципиальной новизне подходов к решению задач автоматизации процессов технической диагностики и неразрушающего контроля объектов НГО и ТЭЖ на основе разработанных средств и методов.

Степень новизны методов и подходов к решению задач в данном проекте определяется также тем, что проблема компьютеризации методов неразрушающего контроля и технической диагностики, решается нами путем разработки оригинального, эффективного алгоритма восстановления трехмерного образа исследуемой области соединения непосредственно по результатам измерения без, какой либо, дополнительной математической обработки данных, что полностью соответствует понятию томография и обладает абсолютной новизной, а возможность получения полутоновых изображений напряженной области соединения программными средствами, путём синтеза трехмерного образа области соединения (3D-томограммы) по диаграммам «срезов» объекта (2D-томограммам), полученным методом многокурсного ультразвукового зондирования, открывает новые возможности применительно к обеспечению неразрушающего контроля широкой категории

объектов, аварийное состояние которых может вызвать непредсказуемые катастрофические последствия (например, узлы и детали машин, где используются соединения с натягом, циклически нагружаемые конструкции, магистральные нефтегазопроводы, другие объекты НГО и ТЭК и т. п.).

Современные подходы к решению задач в области технической диагностики материалов, изделий, конструкций и сооружений предполагает реализацию комплекса мероприятий по контролю, испытаниям и оценке их технического состояния. Обычно выполняются следующие виды обследования: визуальное обследование; детальное инструментальное обследование; комплексное техническое обследование; тепловизионное обследование; а также лабораторные испытания. Итогом проделанной работы является отчет о техническом состоянии объекта. На основании отчета о техническом состоянии объекта разрабатывается (при необходимости) проект его восстановления, или ремонта, если это возможно, который предусматривает приведение объекта к требуемым эксплуатационным параметрам.

Однако, существует широкая категория объектов, когда снижение эксплуатационных параметров ниже заданных пределов может вызвать непредсказуемые катастрофические последствия. Например, узлы и детали машин, где используются механические или сварные циклически нагружаемые конструкции и соединения, промысловые и магистральные нефтегазопроводы, множество других объектов НГО и ТЭК, в том числе и в Удмуртии.

Важнейшим параметром системы предупреждения разрушительного воздействия природно-техногенных нагрузок и основой безопасной эксплуатации является обеспечение возможностей контроля деталей и конструкций, находящихся в напряженном состоянии и своевременное выявление их внутренних дефектов, что возможно только в сочетании акустического, визуального контроля и компьютеризации обработки данных.

Главная трудность надежного обеспечения неразрушающего контроля состоит в том, что почти весь, и к тому же огромный, объем информации

получается косвенным путем. Чтобы сделать, по полученной информации о дефектах, правильные выводы и принять необходимые решения, нужен большой практический опыт и специальная подготовка, а при широком использовании компьютерного обеспечения, необходима автоматизация и самого процесса контроля.

Наиболее перспективным, на сегодняшний день, способом обеспечения неразрушающего контроля является развитие, сочетание и применение методов комплексной ультразвуковой и рентгено-акустической структуроскопии, расширение возможностей которых обусловлено их дальнейшим развитием.

В этой связи, стратегия реализации и новизна нашего проекта состоит ещё и в том, что в результате наших исследований будет проведен анализ методов, средств и систем ультразвуковой и рентгено-акустической структуроскопии, их соответствие концепции развития технологий НК объектов НГО и ТЭК на основе существующих отраслевых стандартов, будет также проведена классификация дефектов, уровня их опасности, особенности обнаружения, возможного уровня нанесения экологического и материального ущерба.

### ***Научная и прикладная значимость результатов исследования***

Проблема обеспечения надежности и безаварийности трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов является чрезвычайно важным и актуальным вопросом, т.к. общая протяженность только линейной части магистральных трубопроводов РФ составляет более 250,6 тыс. км. По статистическим данным только в 2012 г. произошли более 20 аварий, связанных с эксплуатацией трубопроводов. Общий ущерб от указанных аварий превысил 154 миллиона руб.

В связи с этим проблема диагностирования технического состояния магистральных трубопроводов при их эксплуатации входит в число первоочередных задач, при решении которых появляется возможность снижения потенциальной опасности и статистики аварийных ситуаций на трубопроводном транспорте. Как правило, причины утечек перекачиваемых нефти и



нефтепродуктов связаны с возникновением и развитием дефектов, что обусловлено множеством причин конструктивного, технологического и эксплуатационного характера. В ближайшие годы, объективные процессы контроля трубопроводного транспорта в ещё большей степени связаны с необходимостью развития средств и методов диагностирования технического состояния трубопроводного транспорта, автоматизацией процессов технической диагностики. Практически единственным способом обеспечения неразрушающего контроля является применение методов комплексной ультразвуковой и рентгено-акустической структуроскопии, расширение возможностей которой обусловлено её дальнейшим развитием.

Поскольку, целью исследований является развитие возможностей неразрушающего контроля и технического диагностирования материалов и оборудования, имеющих важное значение для машиностроения и топливно-энергетического комплекса Удмуртии путём развития методов комплексной ультразвуковой и рентгено-акустической структуроскопии, направленных на развитие методов прогнозирования эксплуатационного ресурса и надёжности технологического оборудования, материалов и конструкций, то ожидаемые результаты научного исследования будут выражаться в разработке оригинального, эффективного алгоритма синтеза трехмерного образа (3D-томограммы) по диаграммам «срезов» объекта (2D-томограммам), полученным методом многоракурсного ультразвукового зондирования.

Научная и прикладная значимость будут выражаться в разработке нового прибора (ультразвукового томографа) на основе вышеупомянутого алгоритма восстановления трехмерного образа исследуемой области непосредственно по результатам измерения. Создание такого прибора открывает новые возможности применительно к обеспечению неразрушающего контроля широкой категории объектов, аварийное состояние которых может вызвать непредсказуемые катастрофические последствия (например, узлы и детали машин, где используются соединения с натягом, циклически нагружаемые конструкции,

магистральные нефтегазопроводы, другие объекты НГО и ТЭК и т. п.).

Исследования по данному направлению ведутся авторским коллективом с 2008 года. Развитие методологического и методического обеспечения и основ компьютеризации процессов контроля, в значительной мере способствует автоматизации процессов НК объектов НГО и ТЭК на основе ультразвуковой и рентгено-акустической структуроскопии. Исследования и разработка методов и средств рентгеновской и ультразвуковой томографии материалов, изделий и объектов нефтегазового и топливно-энергетического комплексов Удмуртии полностью соответствует современной концепции развития технологий НК объектов НГО и ТЭК.

Разработана оригинальная технология восстановления трехмерного образа исследуемой области соединения непосредственно по результатам измерения без, какой либо, дополнительной математической обработки данных, полностью соответствующая классическому определению томографии. Данная технология обладает абсолютной новизной, а возможность получения полутонного изображения области соединения программными средствами, путём синтеза трехмерного образа области соединения (3D-томограммы) по диаграммам «срезов» объекта (2D-томограммам), полученным методом многоакурсного ультразвукового зондирования, открывает новые возможности применительно к обеспечению неразрушающего контроля широкой категории объектов, аварийное состояние которых может вызвать непредсказуемые катастрофические последствия (например, узлы и детали машин, где используются соединения с натягом, циклически нагружаемые конструкции, магистральные нефтегазопроводы, другие объекты НГО и ТЭК и т. п.) [13 – 17].

Стратегия проводимых исследований состоит в том, что в результате проделанной работы будет проведен анализ методов, средств и систем ультразвуковой и рентгено-акустической структуроскопии, их соответствие концепции развития технологий НК объектов НГО и ТЭК на основе существующих отраслевых стандартов, будет также проведена классификация

дефектов, уровня их опасности, особенности обнаружения, возможного уровня нанесения экологического и материального ущерба.

В заключение хотелось бы отметить, что наиболее важным направлением совершенствования систем технической диагностики и неразрушающего контроля объектов НГО и ТЭК является создание новых и более эффективных методов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методы акустического контроля металлов. / под ред. Н.П. Алешина. М.: Машиностроение, 1989. 456 с.
2. Ультразвуковой контроль. / И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. М.: Машиностроение, 2004. 864 с.
3. Буденков Г.А. Недзвецкая О.В. Динамические задачи теории упругости в приложении к проблемам акустического контроля и диагностики. М.: Наука, 2004. 136 с.
4. Маскаев А.Ф. Исследование температурной зависимости скорости распространения ультразвука в сталях. Физические методы испытания материалов и веществ. // Тематический сборник научных трудов. / под Г.А. Буденкова. Челябинск: ЧПИ, 1973. С. 26 – 32.
5. Буденков Г.А., Коробейникова О.В. Влияние химического состава и температуры металлов на эффективность электромагнитно-акустического преобразования. // Дефектоскопия, 2009. №4. С. 42 – 49.
6. Буденков Г.А., Татаркина М.В., Лукин А.В. [и др.] Контроль пруткового проката электромагнитно-акустическим методом // Дефектоскопия, 2009. №4. С. 50 – 60.
7. Буденков Г.А. Маскаев А.Ф. Возможность контроля стальных изделий электромагнитоакустическим методом без удаления окалины. Дефектоскопия, 1972. № 5. С. 83 – 87.
8. Буденков Г.А., Недзвецкая О.В., Moutaz Dalati. О возможностях акустической дистанционной дефектоскопии протяженных объектов // Дефектоскопия, 2003. № 11. С. 30 – 33.
9. Химченко Н. В., Бобров В. А. Неразрушающие методы контроля качества сварных соединений в химическом машиностроении // Дефектоскопия сварных соединений. М.: МДНТП, 1969. С. 25 – 36.

10. Химченко Н.В., Сушкова Т.А., Подлесная Л.И. Комплексный неразрушающий контроль сварных соединений в химическом машиностроении. М.: МДНТП, 1975. С. 49 – 57.
11. Буденков Г.А., Недзвецкая О.В., Лебедева Т.Н. Новая прогрессивная технология дефектоскопии протяженных объектов металлургической и нефтедобывающей промышленности // Тяжелое машиностроение. №11. 2004. С. 18 – 23
12. Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г. Ультразвуковая эхо-томография металлоконструкций. Состояние и тенденции // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2007. № 1. С. 50 – 59
13. Иванников В.П., Кабакова А.В. Ультразвуковая томография соединений с натягом. ж. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов», 2015 г. №11. Т. 81. С.36 – 39
14. Иванников В.П., Кабакова А.В. Исследование соединений с натягом методом многоакурсного ультразвукового зондирования // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2015 г. №9. Т.81. С.49 – 53
15. Иванников В.П., Кабакова А.В., Чайкина А.Ю. Развитие неразрушающих технологий промышленной безопасности на основе ультразвуковой диагностики магистральных газопроводов // Современные технологии извлечения нефти и газа. Перспективы развития минерально-сырьевого комплекса (российский и мировой опыт, 26-27 мая 2016 г.): материалы Всероссийской науч.-практич. конф., посвященной к 85-летию д.т.н., проф. Кудинова, Ижевск: изд. центр «Удмуртский университет», 2016. С. 372 – 381.
16. Кабакова А.В., Ившина А.С., Иванников В.П. Особенности обеспечения требований по контролю эксплуатационной безопасности промысловых трубопроводов. Принуждение к инновациям // Современные технологии извлечения нефти и газа. Перспективы развития минерально-сырьевого комплекса (российский и мировой опыт, 26-27 мая 2016 г.): материалы Всероссийской науч.-практич. конф., посвященной к 85-летию д.т.н., проф. Кудинова, Ижевск: изд. центр «Удмуртский университет», 2016. С. 382 – 386
17. Иванников В.П., Кабакова А.В. Способ контроля качества посадок с натягом // Патент РФ МПК G01N 29/04 (2006.01). Решение о выдаче патента на изобретение от 06.07.2017г. Заявка № 2014121583/28(034852). Приоритет от 27.05.2014.

Поступила в редакцию 24.09.2018

**Сведения об авторах**

*Александра Юрьевна Чайкина*

аспирант каф. «Теплоэнергетика» ИНиГ

Удмуртский государственный университет

426034, ул. Университетская, 1, г. Ижевск, Россия.  
E-mail: [alex\\_007-07@mail.ru](mailto:alex_007-07@mail.ru)

*Валерий Павлович Иванников*

д.т.н., профессор каф. «Теплоэнергетика» ИНиГ  
Удмуртский государственный университет,  
426034, ул. Университетская, 1, г. Ижевск, Россия.  
E-mail: [ivannikov-vp@yandex.ru](mailto:ivannikov-vp@yandex.ru)

*Анна Валерьевна Кабакова*

к.т.н., доцент каф. ЗЧСиУР, ИГЗ  
Удмуртский государственный университет  
426034, ул. Университетская, 1, г. Ижевск, Россия.  
E-mail: [sunanniv@mail.ru](mailto:sunanniv@mail.ru)

*A.Yu. Chaykina, A.V. Kabakova, V.P. Ivannikov*

## **INNOVATIVE PIPELINE WELDS AND PRESS JOINTS TECHNICAL DIAGNOSTICS AND NON-DESTRUCTIVE TESTING MEANS BASED ON X-RAY AND ULTRASONIC TOMOGRAPHY**

**Abstract:** Industrial safety ensuring at machine building and fuel and energy industry enterprises is accompanied with continuous perfection of testing methods of materials and constructions which are both means and objects of production.

The aim of the research is further evolution of material and equipment non-destructive testing and technical diagnostics capabilities, improvement of oil and gas industry materials, products and constructions strength and load-carrying capacity control with the development of equipment and program means for technical diagnostics based on X-ray and ultrasonic methods of non-destructive testing.

In particular practically the only way of providing non-destructive testing of machine units and pipelines welds and press joints is application of complex ultrasonic and X-ray-acoustic structuroscopy methods, which capabilities widening is possible with their further evolution.

The article contains analysis of ultrasonic and X-ray-acoustic structuroscopy methods, means and systems. Their correspondence to the conception of non-destructive oil and gas and fuel and energy industries objects testing technologies evolution based on existed branch standards is established. The original effective algorithm of cylinder parts joint 3D-image (3D-tomogram) synthesis from object «cuts» diagrams (2D-tomograms) received by multiangle ultrasonic sounding method is developed.

**Key words:** industrial safety, risks of accidents and disasters, non-destructive testing, trunk oil and gas pipelines, crack detection, X-ray diagnostics, ultrasonic tomography, non-destructive joint quality control, multiangle sounding.

*For citation:* Chaykina A.Yu., Kabakova A.V., Ivannikov V.P. [Innovative pipeline welds and press joints technical diagnostics and non-destructive testing means based on x-ray and ultrasonic tomography]. *Upravlenie texnosferoj*, 2018, vol. 1, iss.2, pp. 194 – 208 (in Russ.) Available at: <http://f-ing.udsu.ru/technosphere>

## REFERENCES

1. *Metody` akusticheskogo kontrolya metallov* [Methods of acoustic control of metals], Aleshina N.P. (ed.) M., Mashinostroenie, 1989, 456 p. (in Russ.).
2. Ermolov I.N., Lange Yu.V.. *Ul'trazvukovoj kontrol`*. M., Mashinostroenie, 2004, 864 p. (in Russ.).
3. Budenkov G.A. Nedzveczkaya O.V. *Dinamicheskie zadachi teorii uprugosti v prilozhenii k problemam akusticheskogo kontrolya i diagnostiki*. M., Nauka, 2004, 136 p. (in Russ.).
4. Maskaev A.F. *Issledovanie temperaturnoj zavisimosti skorosti rasprostraneniya ul'trazvuka v stalyax. Fizicheskie metody` ispy`taniya materialov i veshhestv*. Tematicheskij sbornik nauchny`x trudov. [Investigation of temperature dependence of ultrasound propagation velocity in steels. Physical methods of testing of materials and substances], Budenkova G.A. (ed.), Chelyabinsk: ChPI, 1973, pp. 26 – 32. (in Russ.).
5. Budenkov G.A., Korobejnikova O.V. [On the possibilities of acoustic remote flaw detection of extended objects] in *Defektoskopiya*, 2009, no. 4, pp. 42 – 49. (in Russ.).
6. Budenkov G.A., Tatarkina M.V., Lukin A.V. [and other] [Control of bar rolled products by electromagnetic-acoustic method] in *Defektoskopiya*, 2009, no. 4, pp. 50 – 60.
7. Budenkov G.A. Maskaev A.F. [The ability to control steel products electromagnetic acoustic method without descaling] in *Defektoskopiya*, 1972, no. 5, pp. 83 – 87. (in Russ.).
8. Budenkov G.A., Nedzveczkaya O.V., Moutaz Dalati. [On the possibilities of acoustic remote flaw detection of extended objects] in *Defektoskopiya*, 2003, no. 11, pp. 30 – 33. (in Russ.).
9. Ximchenko N. V., Bobrov V. A. [Non-destructive methods of quality control of welded joints in chemical engineering] in *Defektoskopiya svarny`x soedinenij*. M.: MDNTP, 1969, pp. 25 – 36. (in Russ.).
10. Ximchenko N.V., Sushkova T.A., Podlesnaya L.I. *Kompleksny`j nerazrushayushhij kontrol` svarny`x soedinenij v ximicheskom mashinostroenii*. M., MDNTP, 1975, pp. 49 – 57. (in Russ.).
11. Budenkov G.A., Nedzveczkaya O.V., Lebedeva T.N. [New progressive technology of flaw detection of extended objects of metallurgical and oil industry] in *Tyazheloe mashinostroenie*. no. 11, 2004, pp. 18 – 23(in Russ.).
12. Samokrutov A.A., Shevaldykin V.G. [Ultrasonic echo-tomography of metal structures. Status and trends] in *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*, 2007, no. 1, pp. 50 – 59. (in Russ.).
13. Ivannikov V.P., Kabakova A.V. [Ultrasound imaging of joints with an interference fit.] in *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*, 2015, vol. 81, no. 11, pp. 36 – 39 (in Russ.).
14. Ivannikov V.P., Kabakova A.V. [Investigation of tight joints by multi-angle ultrasonic sensing] in *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*, 2015, vol. 81, no. 9. pp. 49 – 53 (in Russ.).

15. Ivannikov V.P., Kabakova A.V., Chajkina A.Yu. [Development of non-destructive industrial safety technologies based on ultrasonic diagnostics of main gas pipelines] in *Sovremennyye tekhnologii izvlecheniya nefi i gaza. Perspektivy razvitiya mineral'no-sy'r`evogo kompleksa (rossijskij i mirovoj opy`t, 26-27 maya 2016 g.): materialy` Vserossijskoj nauch.-praktich. konf., posvyashhennoj k 85-letiyu d.t.n., prof. Kudinova, Izhevsk: izd. centr «Udmurtskij universitet», 2016, pp. 372 – 381 (in Russ.)*.
16. Kabakova A.V., Ivshina A.S., Ivannikov V.P. [Features of ensuring requirements for control of operational safety of field pipelines. Forcing innovation] in *Sovremennyye tekhnologii izvlecheniya nefi i gaza. Perspektivy razvitiya mineral'no-sy'r`evogo kompleksa (rossijskij i mirovoj opy`t, 26-27 maya 2016 g.): materialy` Vserossijskoj nauch.-praktich. konf., posvyashhennoj k 85-letiyu d.t.n., prof. Kudinova, Izhevsk: izd. centr «Udmurtskij universitet», 2016, pp. 382 – 386 (in Russ.)*.
17. Ivannikov V.P., Kabakova A.V. *Sposob kontrolya kachestva posadok s natyagom // Patent RF MPK G01N 29/04 (2006.01). Reshenie o vy`dache patenta na izobrenenie ot 06.07.2017g. Zayavka № 2014121583/28(034852). Prioritet ot 27.05.2014. (in Russ.)*.

Received 24.09.2018

#### **About the Authors**

*Aleksandra Yurievna Chaykina*

postgraduate student departament «Heat power engineering» IOaG  
Udmurt State University,  
426034, University str. 1, Izhevsk, Russia.  
E-mail: [alex\\_007-07@mail.ru](mailto:alex_007-07@mail.ru)

*Valery Pavlovich Ivannikov*

Doctor of Science, Professor departament «Heat power engineering» IOaG  
Udmurt State University,  
426034, University str. 1, Izhevsk, Russia.  
E-mail: [Ivannikov-vp@yandex.ru](mailto:Ivannikov-vp@yandex.ru)

*Anna Valerievna Kabakova*

Ph.D., Associate Professor departament PESaRM, ICD,  
Udmurt State University,  
426034, University str. 1, Izhevsk, Russia.  
E-mail: [sunanniv@mail.ru](mailto:sunanniv@mail.ru)