

УТВЕРЖДАЮ

И.О. проректора по науке и стратегическим проектам
Томского политехнического университета

И.Б. Степанов

2023г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Диссертация «Разработка и исследование лазерно-виброметрического метода неразрушающего контроля полимерных и композиционных материалов с применением контактных и воздушно-связанных излучателей» выполнена в Центре промышленной томографии Инженерной школы неразрушающего контроля и безопасности Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

В период подготовки диссертации соискатель Дерусова Дарья Александровна работала в Центре промышленной томографии Инженерной школы неразрушающего контроля и безопасности Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

В 2013 году окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по направлению «Биотехнические системы и технологии».

В 2016 году в диссертационном совете Д 212.269.09 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования (ФГАОУ ВО) «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» защитила кандидатскую диссертацию на тему «Тепловой вибротермографический контроль композитов с использованием резонансной ультразвуковой и оптической стимуляции» по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий».

Дерусова Дарья Александровна в докторантуре не обучалась.

Научный консультант – Вавилов Владимир Платонович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», заведующий лаборатории «Тепловой контроль».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертация Дерусовой Д.А. является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основе взаимодополняющих экспериментальных и теоретических исследований предложен новый метод лазерно-виброметрического неразрушающего контроля полимерных и композиционных материалов, сформулированы основные теоретические положения, относящиеся к термомеханическим явлениям, которые возникают в дефектах при резонансной акустической стимуляции, разработаны и исследованы воздушно-связанные акустические преобразователи магнитострикционного и газоразрядного типа, позволяющие осуществлять акустическую стимуляцию при неразрушающих испытаниях композиционных материалов бесконтактным способом.

Актуальность работы.

Актуальность диссертационных исследований обусловлена широким применением полимерных композиционных материалов в различных отраслях промышленности и необходимостью создания проблемно-ориентированных методов их неразрушающего контроля. Лазерная виброметрия сравнительно недавно стала применяться в различных акустических приложениях неразрушающего контроля и активно развивается в последнее десятилетие. В частности, оборудование лазерной виброметрии является нечувствительным к температуре и другим внешним факторам, позволяет проводить измерения вибраций в вакууме, воде, через стекло, а также на объектах под высоким электрическим потенциалом. В связи с этим указанный метод находит все большее применение в современных диагностических системах неразрушающего контроля. В частности, особый интерес исследователей вызывает определение вибрации на поверхности контролируемых изделий в широком диапазоне частот, визуализация процессов распространения поверхностных волн, регистрация изменения температуры на поверхности изделий с использованием встроенных инфракрасных детекторов. Также особого внимания заслуживает вопрос перехода на удаленный режим ввода акустического сигнала в контролируемые изделия при проведении контроля качества. Разработка и исследование бесконтактных акустических систем позволит перейти на удаленный режим возбуждения упругих волн в материалах, исключить возможность повреждения исследуемых объектов в точке ввода ультразвука и повысить экспрессность процедуры контроля качества. Несмотря на то, что разработчики воздушно-связанных излучателей постоянно совершенствуют существующие технологии их изготовления, конструкцию и конфигурацию волноводов, а также исследуют различные режимы наклонной передачи ультразвука через воздушную среду, вопрос создания широкополосной системы генерации акустических волн бесконтактным способом остается открытым. В связи с этим, разработка и исследование устройств для бесконтактной стимуляции композитов, а также новых методов их неразрушающих испытаний с использованием высокотехнологичного оборудования сканирующей лазерной виброметрии является актуальным.

Диссертационное исследование посвящено разработке метода неразрушающих испытаний полимерных композитов с использованием сканирующей лазерной виброметрии при резонансной стимуляции дефектов, а также разработке способов бесконтактной резонансной и широкополосной стимуляции материалов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Акустическая резонансная стимуляция структурных неоднородностей материалов за счёт активации интенсивных вибраций приводит к локальному тепловыделению в зоне дефектов, причём при резонансных колебаниях открытых дефектов основной вклад вносят деформации изгиба, в то время как резонансные колебания скрытых дефектов сопровождаются деформациями растяжения-сжатия.

2. Термомеханические явления, возникающие в дефектах при резонансной акустической стимуляции, обусловлены физическими свойствами материалов и вкладом резонансных гармоник высшего порядка, отвечающих за распределение резонансных узловых линий и колец по всей площади и на границах дефектов.

3. Предложенный воздушно-связанный магнитострикционный преобразователь оптимальной конфигурации позволяет проводить неразрушающий контроль полимерных композитов на расстояниях до 80 мм от контролируемого изделия при соблюдении условия фазового согласования падающей и отраженной ультразвуковых волн, при обеспечении

резонансного угла ввода ультразвука через воздух в твёрдое тело, в то время как наличие высших гармоник в спектре излучения магнитострикционного преобразователя приводит к расширению спектрального состава сигнала возбуждения.

4. Амплитуда виброперемещения на мембране газоразрядного излучателя обусловлена напряжением источника заряда и при пробойном напряжении (10-12) кВ в среднем составляет около 30 мкм в воздухе при нормальных условиях, что сопоставимо с показателями источников возбуждения на основе преобразователей пьезоэлектрического и магнитострикционного типа. Конфигурация мембраны газоразрядного излучателя оказывает существенное влияние на амплитудно-частотный спектр излучателя, а использование мембраны открытого типа позволяет расширить спектральный состав сигнала возбуждения до 4 МГц.

5. Проведение неразрушающих испытаний композиционных материалов возможно с применением воздушно-связанного акустического излучателя газоразрядного типа, для которого установлены необходимые параметры источника заряда, геометрии электродной системы и конфигурации излучателя, позволяющие регулировать мощность акустического излучения и энергию акустического излучения, достаточную для обнаружения дефектов в композитах, в частности, ударных повреждений энергией более 15 Дж в углепластике.

Личный вклад соискателя состоит в выборе темы, формулировании цели и задач исследования, проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, обработке и анализе данных. Формулирование выводов и положений, выносимых на защиту, а также разработка алгоритма программного обеспечения «Thermoson» выполнены совместно с научным консультантом Вавиловым В. П. Разработка алгоритма программного обеспечения для обработки данных «DeFender» выполнена совместно с младшим научным сотрудником Центра промышленной томографии ИШНКБ ТПУ Шпильным В. Ю., который в 2022 году защитил кандидатскую диссертацию под руководством соискателя. Опытно-конструкторские работы в области создания газоразрядного излучателя выполнены соискателем совместно с младшим научным сотрудником Института сильноточной электроники СО РАН Нехорошевым В. О.

Научная новизна работы. По результатам диссертационного исследования разработана проблемно-ориентированная методика неразрушающих испытаний композитов с использованием трехкомпонентной сканирующей лазерной доплеровской виброметрии при резонансной стимуляции дефектов, осуществлен переход к бесконтактной стимуляции материалов с использованием воздушно-связанных систем магнитострикционного и газоразрядного типа.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

1. Впервые исследованы физические феномены, лежащие в основе явления локального резонанса, по трем компонентам колебаний дефектов в гомогенных полимерных и слоистых композиционных материалах: теоретически с использованием теории упругости Тимошенко С. П., экспериментально с применением метода сканирующей лазерной доплеровской виброметрии и с использованием конечно-элементного моделирования.

2. С целью повышения достоверности дефектометрии установлены зависимости термо- и виброакустических откликов в дефектах полимерных и композиционных материалов от спектрального состава сигнала возбуждения, используемого для их резонансной стимуляции.

3. Определена оптимальная конфигурация титановых волноводов, позволяющая повысить эффективность электромеханического преобразования энергии ультразвукового воздушно-связанного магнитострикционного преобразователя (обеспечить виброперемещение на торцевой поверхности волновода не менее 30 мкм при потребляемой электрической мощности 650 Вт); определены условия размещения излучателя по отношению к объекту контроля, что позволило минимизировать искажения регистрируемых виброметрических данных и повысить достоверность результатов лазерно-виброметрического контроля.

4. Исследование электроакустических эффектов, возникающих в разработанном газоразрядном излучателе в ходе его эксплуатации, показало, что амплитуда виброперемещения на мембране излучателя может достигать 60 мкм при межэлектродном зазоре около 12 мм и приблизительно пропорциональна энергии, запасенной в емкостном накопителе на момент пробоя газоразрядного промежутка. Для эффективной передачи энергии из области плазмы разряда необходимо регулировать межэлектродный зазор, а электродная система должна иметь объем, меньший объема канала разряда.

5. Предложенный метод электроакустической бесконтактной стимуляции композиционных материалов с использованием разработанного газоразрядного излучателя позволяет осуществить широкополосную акустическую стимуляцию композитов, при которой возникает мультимчастотный резонансный отклик исследуемых объектов и их дефектов, а в воздушном пространстве между излучателем и объектом контроля не формируется стоячая волна, в связи с чем не требуется фазовое согласование падающих и отраженных акустических волн.

Полученные результаты использованы для выработки базовых технологических принципов работы устройств и оценки границ их применимости.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость диссертационного исследования заключается в расширении знаний о влиянии как физических свойств материалов, так и геометрии дефектов на их резонансные характеристики, обосновании термомеханических явлений, возникающих при резонансной стимуляции дефектов. В работе оценено влияние порядка резонансных гармоник и компонент колебаний дефекта, расположенных в трех взаимно перпендикулярных плоскостях декартовой системы координат, на формирование результирующего вибрационного и температурного сигналов. В ходе исследования воздушно-связанного магнитострикционного излучателя проведен теоретический анализ влияния конфигурации титановых волноводов на механические и акустические характеристики устройства, оценена эффективность передачи акустической энергии через воздушную среду путем измерения возникающих в ней акустических полей. В рамках исследования газоразрядного излучателя определено влияние конфигурации электродной системы и физических характеристик источника заряда на вибрационные характеристики устройства, диапазон его рабочих частот, спектральный состав сигнала возбуждения, мощность акустического излучения и энергию в импульсе разряда.

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в получении следующих результатов:

1. Создан лабораторный стенд комбинированного лазерно-виброметрического и термоакустического (теплового) неразрушающего контроля материалов и изделий с использованием контактных и воздушно-связанных акустических преобразователей пьезоэлектрического, магнитострикционного и газоразрядного типа.

2. Предложено устройство бесконтактной стимуляции для лазерно-виброметрического контроля дефектов в композитах на основе воздушно-связанного магнитострикционного преобразователя с оптимизированным титановым волноводом.

3. Разработано и экспериментально исследовано устройство для генерации акустических волн в воздушной среде на основе протекания электрического разряда в газе для задач неразрушающего контроля полимерных и композиционных материалов.

Способ определения частоты основного резонанса дефектов в композиционных материалах при их ультразвуковой стимуляции с целью интенсификации процесса тепловыделения при проведении вибротермографии внедрены в АО «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения» (г. Хотьково, Московская обл.) (акт о внедрении представлен в приложении В диссертации).

Достоверность полученных результатов обеспечивается применением строгих математических методов решения уравнений теории упругости Тимошенко С. П. для расчета осесимметричных колебаний тонких пластин, их собственных частот и максимальных напряжений, возникающих при воздействии нагрузок; использованием оборудования лазерной виброметрии, отличающегося высокой точностью и информативностью; непротиворечивостью полученных результатов общезначимым представлениям и данным, полученным другими авторами.

Апробация результатов работы. Основные результаты диссертационной работы представлены на всероссийских и международных научных конференциях, симпозиумах и конгрессах: VIII Международный конгресс по энергетическим потокам и радиационному воздействию (Томск, Россия, 2022), 4th International Conference on Photonics Research (Олудениз, Турция, 2022); XXXII, XXXIII Уральская конференция с международным участием «Физические методы неразрушающего контроля (Янусовские чтения)» (Екатеринбург, Россия, 2021, 2022), 3rd Singapore International NDT Conference & Exhibition (Сингапур, 2019), Международный междисциплинарный симпозиум «Иерархические материалы: разработка и приложения для новых технологий и надежных конструкций» (Томск, Россия, 2020), международная конференция Thermosense: Thermal Infrared Applications XXXVIII, XXXIX, XL (Балтимор, США, 2016; Аннахайм, США, 2017; Орlando, США, 2018), International Conference on Advanced Materials with Hierarchical Structure for New Technologies and Reliable Structures (Томск, Россия, 2017), 1st QIRT Asia Conference on Quantitative Infrared Thermography (Махабалипурам, Индия, 2015), International Scientific Conference on Radiation-Thermal Effects and Processes in Inorganic Materials (Томск, Россия, 2014).

Ценность научных работ соискателя, полнота изложения материалов диссертации в опубликованных работах

Результаты теоретических и экспериментальных исследований, представленные в диссертационной работе, достаточно полно изложены в цикле опубликованных работ соискателя в ведущих рецензируемых научных изданиях в области физики, оптики, акустики, по тематике неразрушающего контроля, технологии изготовления ультразвуковых излучателей, материаловедения в области композиционных материалов. По результатам исследования опубликовано 43 научные работы, включая 28 статей в изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus, в 30 статьях в журналах, рекомендованных ВАК, 38 публикациях в журналах РИНЦ и сборниках трудов конференций, получено 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ. Общий список трудов автора по теме диссертации включает 45 наименований.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science

1. **Derusova D.A.**, Nekhoroshev V.O., Shpil'noi V.Y., Vavilov V.P. Developing Novel Gas Discharge Emitters of Acoustic Waves in Air for Nondestructive Testing of Materials // *Sensors*. – 2022. – Vol. 22, is. 23. – Article number 99056. – 14 p. (Q1)
2. **Derusova D.A.**, Vavilov V.P., Druzhinin N.V., Shpil'noi V.Y., Pestryakov A.N. Detecting Defects in Composite Polymers by Using 3D Scanning Laser Doppler Vibrometry // *Materials*. – 2022. – Vol. 15, is.20 – Article number 7176. – 15 p. (Q1)
3. **Derusova D.A.**, Vavilov V.P., Shpil'noi V.Y., Siddiqui A.O., Prasad Y.L.V.D., Druzhinin N.V., Zhvyrblya V.Yu. Characterising Hidden Defects in GFRP/CFRP Composites by using Laser Vibrometry and Active IR Thermography // *Nondestructive Testing and Evaluation*. – 2022. – Vol. 37, is. 6. – P. 776–794. (Q2)
4. Vavilov V., Chulkov A., Dubinskii S., Burleigh D., Shpilnoi V., **Derusova D.**, Zhvyrblya V. Nondestructive testing of composite T-Joints by TNDT and other methods // *Polymer Testing*. – 2021. – Vol. 94. – Article number 107012. – 12 p. (Q1)
5. **Derusova D.A.**, Vavilov V.P., Nekhoroshev V.O., Shpil'noi V.Y., Druzhinin N.V. Features of Laser-Vibrometric Nondestructive Testing of Polymer Composite Materials Using Air-Coupled Ultrasonic Transducers // *Russian Journal of Nondestructive Testing*. – 2021. – Vol. 57, № 12. – P. 1060–1071.
6. Shpilnoi V., Vavilov V.P., **Derusova D.A.**, Druzhinin N.V., Yamanovskaya A.Y. Specific Features of Nondestructive Testing of Polymer and Composite Materials Using Air-Coupled Ultrasonic Excitation and Laser Vibrometry // *Russian Journal of Nondestructive Testing*. – 2021. – Vol. 57, № 8. – P. 647–655.
7. **Derusova D.A.**, Vavilov V.P., Chulkov A.O., Shagdirov B.I., Saeed N., Omar M. Evaluating impact damage in Kevlar/carbon composites by using laser vibrometry and active infrared thermography // *Electronics Letters*. – 2020. – Vol. 56, is. 19. – P.1001–1003.
8. Vavilov V.P., Karabutov A.A., Chulkov A.O., **Derusova D.A.**, Moskovchenko A.I., Cherepetskaya E.B., Mironova E.A. Comparative study of active infrared thermography, ultrasonic laser vibrometry and laser ultrasonics in application to the inspection of graphite/epoxy composite parts // *Quantitative InfraRed Thermography Journal*. – 2020. – Vol.17, is. 4. – P. 235–248.
9. **Derusova D.A.**, Vavilov V.P., Druzhinin N.V., Kolomeets N.P., Chulkov A.O., Rubtsov V.E., Kolubaev E.A. Investigating vibration characteristics of magnetostrictive transducers for air-coupled ultrasonic NDT of composites // *NDT and E International*. – 2019. – Vol. 107. – Article number 102151. – 10 p. (Q1)
10. **Derusova D.**, Vavilov V., Sfarra S., Sarasini F., Krasnoveikin V., Chulkov A., Pawar S. Ultrasonic spectroscopic analysis of impact damage in composites by using laser vibrometry // *Composite Structures*. – 2018. – Vol. 211. – P. 221–228. (Q1)
11. **Derusova D.**, Vavilov V., Sfarra S., Sarasini F., Druzhinin N.V. Applying ultrasonic resonance vibrometry for the evaluation of impact damage in natural/synthetic fibre reinforced composites // *Polymer Testing*. – 2018. – Vol. 68. – P. 70–76. (Q1)
12. **Derusova D.A.**, Vavilov V.P., Druzhinin N.V., Kazakova O.I., Nekhoroshev V.O., Fedorov V.V., Tarasov S.Yu., Shpil'noi V.Yu., Kolubaev E.A. Nondestructive Testing of CubSat Satellite Body Using Laser Vibrometry // *Russian Journal of Nondestructive Testing*. – 2019. – Vol. 55, № 5. – P. 418–425.

13. Shpil'noi V.Y., Vavilov V.P., **Derusova D.A.**, Krasnoveikin V.A. Studying Stability of CFRP Composites to Low-Energy Impact Damage by Laser Vibrometry // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2019. – Vol. 55, № 9. – P. 639–647.
14. Krasnoveikin V.A., Druzhinin N.V., Shpil'noi V.Yu., **Derusova D.A.** Complex experimental approach to carbon-carbon composite defect detection by laser vibrometry and optical thermography // AIP Conference Proceedings. – 2019. – Vol. 2167, is. 1: International Conference on Advanced Materials with Hierarchical Structure for New Technologies and Reliable Structures 2019. Tomsk, Russia, October 01–05, 2019. – Article number 020179. – 4 p.
15. **Derusova D.A.**, Vavilov V.P., Xingwang G., Shpil'noi V.Yu., Danilin N.S. Infrared Thermographic Testing of Hybrid Materials Using High-Power Ultrasonic Stimulation // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2018. – Vol. 54, № 10. – P. 733–739.
16. **Derusova D.A.**, Vavilov V.P., Guo X., Druzhinin N.V. Comparing the Efficiency of Ultrasonic Infrared Thermography under High-Power and Resonant Stimulation of Impact Damage in a CFRP Composite // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2018. – Vol. 54, № 5. – P. 356–362.
17. Vavilov V.P., **Derusova D.A.**, Chulkov A.O., Serioznov A.N., Bragin A.A. Inspecting aviation composites at the stage of airplane manufacturing by applying 'classical' active thermal NDT, ultrasonic thermography and laser vibrometry // Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering. – 2018. – Vol. 10661: Thermosense: Thermal Infrared Applications XL. Orlando, USA, April 16–19, 2018. – Article number 106610W. – 7 p.
18. **Derusova D.A.**, Vavilov V.P., Sfarra S., Sarasini F., Druzhinin N.V., Nekhoroshev V.O. Highly efficient ultrasonic vibrothermography for detecting impact damage in hybrid composites // Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering. – 2017. – Vol. 10214: Thermosense: Thermal Infrared Applications XXXIX. Anaheim, USA, April 10–13, 2017. – Article number 10214ON. – 10 p
19. Krasnoveikin V.A., Druzhinin N.V., **Derusova D.A.**, Tarasov S.Yu. Modeling Acoustic Wave Propagation in Isotropic Medium // AIP Conference Proceedings. – 2017. – Vol. 1909: Advanced Materials with Hierarchical Structure for New Technologies and Reliable Structures 2017. Tomsk, Russia, October 09–13, 2017. – Article number 020101. – 4 p.
20. Krasnoveikin V.A., Smolin I.Y., Druzhinin N.V., Kolubaev E.A., **Derusova D.A.** Modal testing circuit board assembly of an electronic apparatus by laser vibrometry // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 156, is. 1: International Conference and Youth Scientific School on Materials and Technologies of New Generations in Modern Materials Science. Tomsk, Russia, June 09–11, 2016. – Article number 012005. – 7 p.
21. Vavilov V.P., Chulkov A.O., **Derusova D.A.**, Pan Y. Thermal NDT research at Tomsk Polytechnic University // Quantitative InfraRed Thermography Journal. – 2016. – Vol. 13, is. 2. – P. 128–143.
22. **Derusova D.A.**, Vavilov V.P., Druzhinin N.V. Evaluating impact damage in graphite epoxy composite by using low-power vibrothermography // Proceedings SPIE – The International Society for Optical Engineering. – 2016. – Vol. 9861: Thermosense: Thermal Infrared Applications XXXVIII. Baltimor, USA, April 17–21, 2016. – Article n. 98610F. – 9 p.
23. Solodov I., **Derusova D.**, Rahammer M. Thermosonic Chladni figures for defect-selective imaging // Ultrasonics. – 2015. – Vol. 60. – P. 1–5. (Q1)
24. Vavilov V., Świdorski W. and **Derusova D.** Ultrasonic and optical stimulation in IR thermographic NDT of impact damage in carbon composites // Quantitative InfraRed Thermography Journal. – 2015. – Vol. 12, is. 2. – P. 162–172. (Q2)

25. Solodov I., Rahammer M., **Derusova D.**, Busse G. Highly-efficient and noncontact vibro-thermography via local defect resonance // Quantitative InfraRed Thermography Journal. – 2015. – Vol. 12, is. 1. – P. 98–111. (Q2)
26. Vavilov V.P., Chulkov A.O., **Derusova D.A.** Evaluating Severity of Impact Damage in CFRP by Determining Thermal Effusivity and Diffusivity // WSEAS Transactions on Heat and Mass Transfer. – 2014. – Vol. 9, is. 1. – P. 251–260.
27. Vavilov V.P., Chulkov A.O., **Derusova D.A.** IR thermographic characterization of low energy impact damage in carbon/carbon composite by applying optical and ultrasonic stimulation // Proceedings of SPIE. – 2014. – Vol. 9105: Thermosense: Thermal Infrared Applications XXXVI. Baltimore, USA, May 05–07, 2014. – Article number 91050J. – 9 p.
28. **Derusova D.A.**, Vavilov V.P., Pawar S.S. Evaluation of equivalent defect heat generation in carbon epoxy composite under ultrasonic stimulation by using infrared thermography // IOP Conference Series: Material Science and Engineering. – 2015. – Vol. 81: International Scientific Conference on Radiation-Thermal Effects and Processes in Inorganic Materials. Tomsk, Russia, November 3–8, 2014. – Article number 012084. – P. 251–260.

В Российских изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

29. Федоров В.В., Клименов В.А., Чернявский А.Г., Пожарницкий А.А., Абдулхаликов Р.М., Лямзин А.В., Криницын М.Г., Беликов Р.К., **Дерусова Д.А.**, Юркина В.А., Дерюшева В.Н. Разработка и испытания 3D-принтера для космического эксперимента «3D-печать» на Российском сегменте Международной космической станции // Космическая техника и технологии. – 2023. – № 2 (41). – С. 24–38.
30. **Дерусова Д.А.**, Вавилов В.П. Резонансная ультразвуковая лазерная виброметрия разнородных дефектов в стеклопластике // Контроль. Диагностика, 2019, № 12 (258), с. 24–28.

Тезисы докладов, опубликованные по итогам научных конференций

31. **Derusova D.A.**, Nekhoroshev V.O., Vavilov V.P. Generating acoustic vibrations in the air medium by using a gas discharge emitter // 8th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects. 22nd International Symposium on High Current Electronics: Abstracts. Tomsk, Russia, October 2–8, 2022. – Tomsk: TPU Publishing House, 2022. – P. 92.
32. Шпильной В.Ю., **Дерусова Д.А.**, Вавилов В.П. Дефектометрия и синтез данных лазерной виброметрии и теплового контроля // Физические методы неразрушающего контроля: тезисы докладов XXXIII Уральской конференции ФМНК с международным участием. Екатеринбург, 19–20 апреля 2022 г. – 2 с.
33. Красновейкин В.А., Дружинин Н.В., **Дерусова Д.А.**, Шпильной В.Ю. Особенности изменения динамических характеристик композитов при нанесении ударных повреждений фиксированной энергии // Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии: тезисы докладов Международной конференции. Томск, 5–9 октября 2020 г. – Томск: Изд-во ТГУ, 2020. – С. 300.
34. **Derusova D.**, Vavilov V.P., Chulkov A.O., Shpil'noy V.Yu., Zhvyrbliya V.Yu. Enhancing effectiveness of NDT of GFRP composite by combining results of laser vibrometry and active IR thermography // NDTnet. – 2020. – Vol. 25, is. 4: 3rd Singapore International Non-destructive Testing Conference and Exhibition (SINCE2019): Proceedings. Singapore, December 04–05 2019. – Article number 34-OR-06-8041. – 8 p.
35. Красновейкин В.А., Дружинин Н.В., **Дерусова Д.А.**, Шпильной В.Ю. Комплексный экспериментальный подход обнаружения дефектов в углерод-углеродном композите методами лазерной виброметрии и оптической термографии // Иерархические материалы:

разработка и приложения для новых технологий и надежных конструкций: материалы Международного междисциплинарного симпозиума. Тезисы докладов Международной конференции «Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций». Томск, 01–05 октября 2019 г. – Томск: Издательский Дом ТГУ, 2019. – С. 485.

36. Красновейкин В.А., **Дерусова Д.А.**, Чумаевский А.В., Горелова Н.М. Разработка методов и методик виброакустического контроля качества композитов аэрокосмического назначения и конструкций из них с использованием сканирующего лазерного доплеровского вибromетра // «Орбита молодежи» и перспективы развития российской космонавтики: сборник докладов всероссийской молодежной научно-практической конференции. Томск, 18–22 сентября 2017 г. – Томск: изд-во ТПУ, 2017. – С. 155–156.

37. Świdorski W., Nesteruk D., Vavilov V., **Derusova D.** Data Fusion in IR Thermographic Detection of Landmines and NDT of Composites // Atti della «Fondazione Giorgio Ronchi». – Firenze: Giorgio Ronchi Foundation, 2014. – Vol. LXIX, № 4: Papers of the 12th International Workshop on Advanced Infrared Technology and Applications (AITA-12). Turin, Italy, September 10–13, 2013. – P. 473–478.

38. Vavilov V.P., Chulkov A.O., **Derusova D.A.** ‘Classical’ Thermal NDT of Hidden Defects: Passing from Defect Detection to Defect Characterization // Latest Trends in Applied and Theoretical Mechanics: Proceedings of the 10th International Conference on Applied and Theoretical Mechanics (MECHANICS’14). Salerno, Italy, June 03–05, 2014. – Athens: WSEAS Press, 2014. – P. 206–212.

Патенты и свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

39. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № RU2020612786 «Выявление дефектов и расчет их площади по предоставленному изображению в заданном диапазоне оттенков». В.Ю. Шпильной, **Д.А. Дерусова**, А.О. Чулков. Заявлено 21.02.2020 г., Опубликовано 03.03.2020 г., Бюл. № 3.

40. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № RU2020619856 «Thermoson». М.С. Суханов, В.П. Вавилов, А.О. Чулков, **Д.А. Дерусова**. Заявлено 07.08.2020 г., Опубликовано 25.08.2020 г.

Другие публикации

41. Вавилов В.П., Чулков А.О., **Дерусова Д.А.**, Пань Я. Новые идеи в активном тепловом контроле // Технология машиностроения. – 2017. – № 10. – С. 40–43.

42. Вавилов В.П., Чулков А.О., **Дерусова Д.А.**, Пань Я. Новые идеи в активном тепловом контроле // В мире неразрушающего контроля. – 2016. – Т. 19, № 1. – С. 5–7.

43. **Дерусова Д.А.**, Вавилов В.П. Неразрушающий контроль материалов методом резонансной ультразвуковой инфракрасной термографии // В мире неразрушающего контроля. – 2016. – Т. 19, № 1. – С. 21–23.

44. Вавилов В.П., Чулков А.О., **Дерусова Д.А.**, Швидерски В. Тепловой контроль композиционных материалов в авиакосмической промышленности: возрождение интереса и направления применения // В мире неразрушающего контроля. – 2014. – № 2 (64). – С. 47–52.

45. **Дерусова Д.А.**, Чулков А.О. Неразрушающий контроль ударных повреждений в углерод-углеродном композите методом ультразвуковой ИК термографии // Международный научно-исследовательский журнал. – 2014. – № 1 (20). – С. 45–48.

Цель, задачи, методы исследования и содержание диссертационной работы соответствуют специальности 2.2.8 - Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды.

Диссертация **«Разработка и исследование лазерно-виброметрического метода неразрушающего контроля полимерных и композиционных материалов с применением контактных и воздушно-связанных излучателей»** Дерусовой Дарьи Александровны является оригинальной самостоятельной работой, соответствует Порядку присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете (утвержденном приказом №362-1/од от 28 декабря 2021 г.) и рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.8 - Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды.

Заключение принято на заседании расширенного научного семинара Центра промышленной томографии (ЦПТ) и научно-производственной лаборатории «Тепловой контроль» Инженерной школы неразрушающего контроля и безопасности Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Присутствовало на заседании 12 чел. (7 - сотрудники ЦПТ, 5- приглашенные), из них 4 докторов наук. Результаты голосования: «за» - 12 чел., «против» - нет, «воздержалось» - нет, протокол №4/23 от «30» августа 2023 г.

Председатель расширенного
научного семинара:

Гольдштейн Александр Ефремович,
д.т.н., профессор отделения (на
правах кафедры) «Контроль и
диагностика»

Секретарь расширенного научного семинара

Ширяев Владимир Васильевич,
к.т.н., инженер научно-
производственной лаборатории
«Тепловой контроль»