



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования

«Балтийский государственный технический
университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

1-я Красноармейская ул., д. 1, Санкт-Петербург, 190005
Тел./факс: (812) 316-23-94; (812) 490-05-91
e-mail: bgtu@voenmeh.ru; <http://www.voenmeh.ru>
ОКПО 02066374, ОГРН 1027810328721
ИНН/КПП 7809003047/783901001

16.04.2026 № 6/26-А2

На _____ от _____

ГУАП ОД	Документ зарегистрирован
	« 23 » 04 2026 г.
Вх. № 81-98/26	

УТВЕРЖДАЮ

Ректор
доктор технических наук, профессор
А.Е. Шапугин

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»

на диссертационную работу Епифанцева Кирилла Валерьевича
«**Модели и методы контроля дефектов формы твердых тел
вращения бесконтактным мультисенсорным
сканированием**»,

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 (технические науки)

1. Актуальность избранной темы диссертационной работы

Текущие параметры работы измерительного оборудования для измерения дефектов формы не могут обеспечить быструю калибровку из-за устаревшей эталонной базы, а сам контактный щуп в ряде оборудования для проведения измерений дефектов формы, контура поверхности и шероховатости является архаичным с точки зрения современного развития технологий, что вступает в противоречие со стратегией увеличения скорости и роста числа качественных оперативных геометрических измерений на серийном производстве. Автором исследована важная научная проблема разработки и внедрения мультисенсорного (оптического, емкостного, вихретокового) метода контроля),

характеризующегося высокой достоверностью по отношению к существующим методам и позволяющего создавать и внедрять системы контроля с улучшенными техническими и эксплуатационными характеристиками. В ряде перспективных исследований рассматривается вопрос создания нового типа приборов для измерения круглости с учетом современных типов шпинделей, что несомненно влияет на качество измерений и подчеркивает актуальность данных измерительных приборов при измерении качества геометрии. В частности, подчеркивается важность ухода от предварительного центрирования прибора, представлен точный метод измерений на кругломерах без предварительного центрирования профилей поперечных сечений. Важным фактором данного метода является существенная экономия времени на процессы юстировки прибора и подготовки к измерению дефектов формы. Таким образом проведенные исследования представляются актуальным.

2. Структура работы. Новизна исследований и полученных результатов

Диссертация состоит из введения, 6 разделов, заключения, списка литературы и приложений. Основной текст диссертации представлен на 272 страницах, включая 207 рисунков и 38 таблиц. Список используемой литературы содержит 195 наименований. Общий объем диссертационной работы с учетом приложений составляет 360 страниц. Во введении обоснована актуальность исследования, проводимого в диссертационной работе, определены объект, предмет, цель и задачи исследования, указаны методы исследования, научная новизна работы, теоретическая и практическая значимость. Сформулированы основные положения, выносимые на защиту, и содержатся сведения об апробации работы.

В первой главе выполнен анализ проблем координатной метрологии и мультисенсорных приборов, описаны их основные достоинства и недостатки. Также в 1 главе обоснована актуальность темы исследований, показана степень проработанности проблемы, сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость, приведены сведения об апробации

и адаптации результатов работы, ее структура и научные положения, выносимые на защиту. Установлена актуальность темы исследований, обозначена научная проблема, связанная с низкими темпами импортозамещения приборов для измерения дефектов формы.

Во второй главе выполнен анализ современного состояния и практического опыта использования приборов для измерения дефектов геометрии, исследована и разработана математическая модель передачи единицы биения кругломера, которая может быть использована в качестве образца сравнения-компараторного элемента к основному эталону (ОМОК-1) и учитывает массогабаритные характеристики деталей, повышает точность измерения, что позволяет суммарно уменьшить время на калибровку кругломера, учесть новый метод передачи единицы биения при разработке мультисенсорных приборов.

В третьей главе предложен теоретический подход для реализации методики компоновки измерительного оборудования позволяет повысить метрологическую надежность, что в отличие от известных методик, позволяет контролировать параметры деталей из различных материалов, и обеспечивает сходимость и воспроизводимость измерений, которая позволяет ускорить контроль партии деталей и повысить точность измерения. В положении теоретически обоснованы технические и методические решения по созданию оптических цифровых приборов, которые могут быть использованы для измерения дефектов формы и шероховатости, при этом не теряя метрологической надежности в различных условиях эксплуатации.

В четвертой главе описан разработанный метод автоматического управления процессом сканирования для информационно-измерительной системы, который способен обеспечить высокую скорость управления процессом измерения на ПК, обеспечить точное, взаимно дополняемое снятие сигналов с вихретокового, емкостного и оптического преобразователя.

В пятой главе представлена разработанная методика подготовки и проведения мультисенсорного контроля дефектов формы на основе

предварительного сканирования деталей системами машинного зрения, которая позволяет использовать взаимодополняющие подходы поиска дефектов, выполняет роль системы помощи принятия решений метрологу, определяет наименование детали, загрязненность, ее габаритные свойства, идентифицирует характерные дефекты деталей подобного вида из серии предыдущих измерений. Каждый из представленных на схеме ниже сенсоров способен детектировать определенную характеристику. Также представлена система машинного зрения для определения дефектов измеряемых деталей

В шестой главе представлен универсальный метод для обеспечения возможности контроля дефектов формы твердых тел вращения бесконтактным мультисенсорным сканированием обеспечивает измерение магнитных, немагнитных и термопластичных материалов на разной длине волны.

В заключении диссертационной работы представлена обобщенная оценка проведенного исследования и приведены его основные результаты в соответствии с поставленной целью исследования и его задачами.

В приложении также приведены результаты испытания приборов различных производителей с предложенным автором способом измерения биения.

Структура диссертационной работы продумана и удобна для восприятия, в выводах к каждой главе указаны работы автора, в которых опубликованы основные результаты, графический материал наглядно дополняет текстовый.

Особо важно подчеркнуть, что новизна применяемых автором технических решений подтверждается следующими результатами интеллектуальной деятельности:

1. Патент на изобретение №2855765 от 02.02.2026: «Мультисенсорный измерительный стенд для измерения круглости деталей» / К.В. Епифанцев, А.Э. Егоров // Заявка №2024139189 от 24.12.2024.

2. Патент на полезную модель RU 232288 U1 от 05.03.2025: «Емкостной датчик для измерения линейных перемещений контролируемого объекта» / К.В. Епифанцев, А. Э. Егоров // Заявка № 2024134667 от 18.11.2024.

3. Обоснованность и достоверность основных результатов диссертации

На основании вышеизложенного в диссертационной работе получены следующие основные научные результаты:

1. Предложено новое математическое описание прибора как информационной измерительной системы и разработаны математические модели многощупового кругломера, позволяющие определить связь вход-выход от дефекта вогнутости, конусности, седлообразности и сигналом осциллографа. Показано, что емкостная, вихретоковая и оптическая выходная функция прибора, являющаяся его исчерпывающей характеристикой, может быть представлена совокупностью аппаратных функций отдельных функциональных узлов прибора. В отличие от традиционного описания приборов для измерения дефектов формы, это позволило выполнить последовательный анализ прохождения анализируемого оптического, емкостного, вихретокового сигнала через все функциональные узлы прибора и учесть влияние его конструктивных особенностей и внешних условий на результат измерения.

2. Разработан универсальный метод контроля дефектов формы и контура, основанный на регистрации, анализе и сопоставлении множества параметров, полученных как при раздельном, так и при комбинированном применении различных методов емкостной, оптической и вихретоковой сканирующей системы, отличающийся тем, что описывает процедуру контроля, 40 технические средства и параметры калибровки в рамках единого математического аппарата, и позволяет не только повысить достоверность проводимого контроля по сравнению с существующими методами контроля. Впервые введены измерительно-информационные характеристики прибора контроля, которые могут служить критериями при сравнении кругломеров и контурографов разного типа по их результативности, позволяют выбрать соответствующий прибор при заданных допустимых вероятностях ошибок контроля и оценить согласованность отдельных приборов при совместном их применении для решения конкретной

прикладной задачи контроля процесса горения. Установлено, что для обеспечения достоверности контроля, выполняемого щупом тройного действия, оптимальным правилом принятия решения будет являться то, которое позволит минимизировать вероятность ошибки 1-го рода при ограничении сверху ошибки 2-го рода при учете неопределенности измерений.

3. Предложена техническая реализация приборов контроля на базе разработанных оптических, емкостных и вихретоковых датчиков с применением анализируемых сигналов, отличающихся новизной и улучшенными техническими и эксплуатационными характеристиками по сравнению с известными прототипами за счет ряда фильтров в используемых программах для вывода результата на ПК. В многоканальном кругломере, благодаря особенностям его принципа действия, для передачи сигналов можно использовать не один датчик, а синергию сигналов, что повышает чувствительность прибора более чем на 9% относительно кругломеров других типов, а также обеспечивает повышение его разрешающей способности, универсальности относительно исследуемых изделий. Набор фильтров, количество которых определяется необходимым числом контролируемых параметров, позволяет сосредоточить измерительные элементы на определенном участке детали, уточнить апертуру сигнала что дает возможность анализировать конкретный участок, а не весь диапазон поверхности. Исследованы искажения и погрешности анализируемых сигналов, возникающих при алиасинге, передаче их к осциллографу. Показано, что, применение гелий-неонового лазера, датчика угол-кода и светоприемной матрицы приводит к улучшению разрешающей способности прибора более чем на 10%, применение калиматорной линзы – более чем на 20%. Разработана методика коррекции потерь и искажений, возникающих при передаче сигналов. Учет и корректировка этих потерь и искажений при проектировании кругломеров и контурографов позволяют улучшить технические и эксплуатационные характеристики разрабатываемых приборов контроля в отличие от аналогов.

4. Разработана методика подготовки и проведения контроля дефектов

формы и контура, позволяющая проводить контроль процессов производства тел вращения с требуемой достоверностью при применении технических средств с минимально необходимыми характеристиками.

5. Была выполнена проверка разработанного оптико-емкостно-вихретокового метода контроля деталей и экспериментальная отработка методики подготовки и проведения контроля на примере дюралюминия и конструкционной стали. Определена достоверность проводимого контроля. Было установлено, что наибольшие вероятности ошибок возникали при контроле методом только лазерного измерения, а наименьшие – при одновременном применении оптического и вихретокового и компенсирующего емкостного метода. Показано, что одновременное применение двух методов контроля для контроля одного и того же процесса, в частности процесса дефекта формы, позволяет не только повысить достоверность проводимого контроля путем его проведения на основе измерения первичного параметра, характеризующего состояние поверхности, – оптической характеристики детали, но и дает возможность спрогнозировать направление развития дефекта, развития торцевого биения, что повышает оперативность проводимого контроля. Теоретическая и практическая значимость

Достоверность результатов диссертационной работы, выдвинутых автором научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается применением адекватных физических моделей, корректным использованием математического аппарата, удовлетворительной сходимостью теоретических и экспериментальных результатов, а также практической реализацией на предприятиях реального сектора экономики.

4. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Значимость для науки теоретических результатов диссертации обусловлена разработкой математической модели передачи единицы биения кругломера, которая может быть использована в качестве образца сравнения-

компараторного элемента к основному эталону, а также в разработке методов создания мультисенсорных систем.

Теоретическая значимость состоит в следующем:

4.1. Одновременное применение оптического, вихретокового и емкостного методов контроля позволяет повысить оперативность проводимого контроля, а разработанные приборы с применением мультисенсорной системы позволяют создавать кругломеры, профилометры, контурографы с улучшенными техническими и эксплуатационными характеристиками;

4.2. Теоретическое описание метода контроля и разработка способа передачи единицы биения, характеризует контролируемый процесс измерения дефектов формы и профиля методом прямого расчета, что существенно повышает точность задания поправки на этапе калибровки оборудования, повышает достоверность контроля, а эталонная база может быть существенно расширена за счет применения квазиэталонных элементов;

4.3. Создание метрологически надежной схемы размещения датчиков в едином корпусе позволяет выполнить моделирование импортозамещенных приборов контроля разного типа и по их результативности и оценить согласованность датчиков;

4.4 Программное обеспечение, созданное для процессов снятия данных с мультисенсорного щупа на основе рядов Бесселя обеспечивает визуализацию и оперативное исследование процесса формирования дефектов на материалах различной формы магнитных и немагнитных материалах, что создает теоретические и практические предпосылки для создания приборов нового поколения, обладающих как свойствами измерительного прибора для профиля, так и дефектоскопа.

Практическое значение заключается в разработанной методике бесконтактного оптического лазерного датчика, которая позволяет ускорить контроль партии деталей на 15%, при этом возможно использование двух систем оптического сканирования: He-Ne на волне 630 нм, а на GaAs на волне 650 нм, а разработанный метод измерения обеспечивает точность сканирования в

диапазоне $\pm 0,01$ мм.

Результаты работы внедрены в ООО «Промразвитие», ООО «Димес», ООО «Измерительные решения», АО НИИ «Масштаб», самарский филиал ФГБУН «Физического института им. П.Н. Лебедева РАН», ФГБУ «Российский институт стандартизации», ЗАО НПФ «УРАН», АО «КБХА» ГК Роскосмос, ООО «Навигатор» что подтверждено актами внедрения. Результаты исследования также внедрены в научно-исследовательскую деятельность и в образовательный процесс ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения».

5. Публикации и апробации по теме диссертации

Основные результаты диссертационной работы получили апробацию на конференциях, в которых излагаются основные научные результаты диссертации Елифанцева К.В.. на соискание ученой степени доктора наук, в рецензируемых изданиях - 33, что соответствует требованиям п. 13 «Положения о присуждении ученых степеней». Основные теоретические положения и результаты исследований диссертационной работы опубликованы в 98 печатных изданиях, в том числе: 33 – в изданиях, входящих в перечень российских рецензируемых научных изданий по специальности 2.2.8, из них 22 – без соавторов; 4 статьи – в изданиях, входящих в Международные реферативные базы данных и системы цитирования, 1 патент на изобретение, 1 патент на полезную модель, 5 свидетельств о регистрации государственной программы для ЭВМ, 3 учебных издания, 2 11 монографии, 49 публикаций в прочих журналах и сборниках трудов конференций и международных форумов.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 14 международных и 10 всероссийских конференциях и форумах, в числе международных конференций были очные выступления автора в Технологическом университете Шарад (Республика Индия), Цзилиньском университете (Китайская народная республика).

Все основные результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно. Экспериментальные исследования проведены под его научным руководством и при непосредственном участии.

6. Оформление диссертации и автореферата

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертационной работе, четко обоснованы. Основные результаты и выводы в диссертационной работе являются новыми. Обоснованность всех результатов, сформулированных в качестве выносимых на защиту положений, подтверждается публикациями автора в ведущих отечественных и зарубежных изданиях, патентами РФ и результатами их обсуждения на многочисленных всероссийских и международных конференциях, а также апробацией ряда положений на практике. Диссертация выполнена в соответствии с ГОСТ 2.105-2019 и ГОСТР 7.0.11-2011. Язык и стиль диссертации соответствует устоявшейся научно-технической терминологии.

7. Рекомендации по использованию полученных результатов

Результаты работы рекомендуются к практическому использованию во всех отраслях промышленности, где возникает необходимость контроля тел вращения – подшипников, муфт, валов, передаточных узлов. Результаты диссертации следует применить такие предприятия, как ООО «МС-Метролоджи», ФГБУН Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИПУССРАН), ООО «Завод испытательных приборов «Точприбор», ПАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания», ГК «Роскосмос».

Разработанный метод мультисенсорных измерительных систем позволит существенно сократить скорость контроля и увеличить точность контроля как металлов, так и полимеров.

8. Недостатки и замечания по диссертации и автореферату

Материал диссертационной работы Епифанцева К.В. методически

изложен верно, структурирован корректно. В каждой главе представлены содержательные выводы. Автор продемонстрировал достаточно глубокие знания в части спектроскопических методов контроля процессов горения газообразных углеводородов, математических методов моделирования.

Представленная диссертационная работа позволяет заключить, что Епифанцев К.В. обладает достаточными знаниями и навыками выполнения научных исследований, а полученные им результаты имеют важное значение для теории и практики контроля процессов горения газообразных углеводородов.

8.1. В Приложениях диссертации, а также в тексте самой работы приводятся результаты экспериментального исследования компараторного элемента в дополнение к эталону ОМОК-1 относительно только кругломеров Mitytojo и Mahr. Следовало бы привести анализ способа передачи единицы биения в сравнении с серийными кругломерами других производителей.

8.2. Хорошим дополнением полученных в диссертационной работе результатов по применению метода мультисенсорного сканирования для контроля тел вращения стало бы исследование, на основании которого можно определить электропроводимость измеряемой детали, что могло способствовать определению марки стали установленной детали, дополнить информационное поле для оператора.

8.3. Автор упоминает о возможности измерения шероховатости, однако этот вопрос упоминается только в пунктах 4.4 и 4.5 и не находит дальнейшего отражения в диссертационной работе. Также не приводятся сравнительные данные по аналогичным типам бесконтактных профилометров.

8.4. В работе описано, что для обработки сигнала применялся фильтр Бесселя, который позволил обрабатывать зашумленный сигнал. Лазерный луч, проходя через слои мерцающего в лаборатории света (сварка, лампы, запыленный воздух) имеет риск получить алиасинг, т.е. шумоподавление сигнала, наложение волн, однако, как его избежать, автор не упоминает в работе. Также не описано, как влияет на безопасность зрения оператора работа лазерной установки.

8.5. Структура диссертационной работы трудна для восприятия. В основных главах много места уделяется описанию уже известных методов, хотя это должно быть сделано в обзорной главе. В работе имеется много графического материала по результатам экспериментов, необходимо пояснить к примеру, для чего было сделано большое количество графиков по корреляционному анализу, в выводах нет пояснения, как это способствует улучшению измерений, повышает точность. В таблицах приложения в части ячеек стоят прочерки, необходимо дать пояснения, почему ячейки так помечены.

8.6. В автореферате диссертации приведен текст программы, хотя обычно текст программы дается в Приложении к диссертации.

9. Выводы и заключение

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Епифанцева Кирилла Валерьевича. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертационного исследования.

Диссертация Епифанцева Кирилла Валерьевича «Контроль процессов горения газообразных углеводородов методами оптической спектроскопии» является законченной научно-квалификационной работой и соответствует пунктам 1,5,6,7,8 паспорта научной специальности 2.2.8 - Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды (технические науки).


По совокупности полученных результатов можно сделать вывод, что в диссертационной работе решена важная научно-техническая проблема разработки и внедрения мультисенсорного (оптического, емкостного, вихретокового) метода контроля), характеризующегося высокой достоверностью по отношению к существующим методам и позволяющего создавать и внедрять системы контроля с улучшенными техническими и эксплуатационными характеристиками и возможностью применения мультисенсорного прибора не только как измерительного объекта, но в качестве дефектоскопа.

Диссертация Епифанцева Кирилла Валерьевича отвечает критериям

«Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук по специальности 2.2.8 – Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды (технические науки), а ее автор, Епифанцев Кирилл Валерьевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по этой специальности. Диссертация отвечает пункту 9 требований Положения ВАК «О порядке присуждения ученых степеней», предъявляемых к докторским диссертациям.

Отзыв одобрен по результатам обсуждения диссертации на расширенном заседании кафедры А2 «Технология конструкционных материалов и производства ракетно-космической техники». Протокол №3 от 16 апреля 2026 г.

Отзыв на обсуждение представил и.о. заведующего кафедрой А2 «Технология конструкционных материалов и производства ракетно-космической техники», руководитель ЦКП «Центр исследования материалов», доктор технических наук, доцент

 Евгений Юрьевич Ремшев

198005, г. Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская д.1/21
ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова
E-mail: Remshev_eiu@voenmeh.ru. Тел.: +7(812)316-05-05

Подпись Ремшева Евгения Юрьевича заверяю

УДОСТОВЕРЯЮ
НАЧАЛЬНИК УПРАВЛЕНИЯ
КАДРОВ
СЕРГЕЕВА О.А.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Адрес: 198005, г. Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская д.1/21

Телефон: +7 (812) 490-05-91

E-mail: bgtu@voenmeh.ru

ПОДПИСЬ
УДОСТОВЕРЯЮ

НАЧАЛЬНИК УПРАВЛЕНИЯ
КАДРОВ
СЕРГЕЕВА О.А.