

ГУАП ОД	Документ зарегистрирован
	«13» 05 2016 г.
	Вх. № 81-154/16

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА Захарова Олега Владимировича

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 темы диссертационной работы

Одна из современных тенденций развития измерительных приборов заключается в совмещении контактного и оптического методов, применении нескольких датчиков. Результатом является создание мультисенсорных измерительных систем (МИС). Преимущество МИС заключается в универсальности и высоком быстродействии. Применение МИС целесообразно для контроля формы, месторасположения и биения, шероховатости изделий в виде тел вращения. Однако в этом случае возникают сложности при калибровке контактного щупа индуктивного действия.

Значительная часть измерительных приборов, используемых на отечественных предприятиях, зарубежного производства. Поэтому необходимо стремиться к импортозамещению и технологическому лидерству России в области метрологии. Налицо противоречие между требованиями национальных проектов технологического лидерства к снижению импортозависимости от зарубежных производителей и недостаточным уровнем разработки методов и средств контроля по степени автоматизации измерений.

Для разрешения этого противоречия в диссертационной работе решается научная проблема, связанная с разработкой отечественных приборов для контроля дефектов формы – кругломеров. Практическое применение отечественных кругломеров будет способствовать повышению качества контроля геометрических характеристик изделий.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе

Автором выделены пять основных научных положений и восемь выводов. Все выводы обоснованы результатами исследований, представляемыми в соответствующих главах диссертации.

В первом положении описана математическая модель передачи единицы биения кругломера. Модель используется в качестве образца сравнения-компараторного элемента к основному эталону и учитывает массогабаритные характеристики деталей.

Во втором положении представлен теоретический подход для реализации методики компоновки измерительного оборудования, который позволяет повысить метрологическую надежность, обеспечивает сходимость и воспроизводимость измерений.

В третьем положении описан метод автоматического управления процессом сканирования для информационно-измерительной системы, который способен обеспечить высокую скорость управления процессом измерения за счет взаимно дополняемого снятия сигналов с вихретокового, емкостного и оптического преобразователя.

В четвертом положении дана методика подготовки и проведения мультисенсорного контроля дефектов формы на основе предварительного сканирования деталей системами машинного зрения позволяет использовать взаимно дополняющие подходы поиска дефектов, определяет наименование детали, загрязненность, ее габаритные свойства, идентифицирует характерные дефекты деталей подобного вида из серии предыдущих измерений.

В пятом положении описан 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, что позволяет расширить область номенклатуры контролируемых материалов.

В первом выводе представлен анализ методов и средств автоматизации метрологического обеспечения при настройке и проверке прибора на осевое биение путем принудительных пригрузов, что позволяет обнаружить алгоритм введения компенсационных поправок со стороны кругломера, что существенно облегчает процесс создания аналогичных шпиндельных головок кругломеров при производстве их на территории РФ, создает новый метод передачи единицы сравнения. Разработанные теоретические положения используются во всех последующих главах.

Второй вывод представляет теоретическое обоснование, методику и возможности замены контактного щупа на бесконтактные щупы лазерного типа, вихретокового и емкостного типа, стоимость которых намного ниже современной стоимости оригинальных щупов, использующихся в настоящее время для кругломеров производства Японии и Германии. Это положение развивается в главах 1, 5, 6.

Третий вывод представляет принципиальную схему и устройство системы учета результатов измерения с помощью гамильтоновых скалярных и векторных вычисления, а также улитка Паскаля, которая используется при получении круглограммы в программной среде, что позволило применить для создания максимально точного метода измерения следующие критерии и фундаментальные законы: Бесселя, Гаусса, Гамильтона, Фурье. Вывод основан на результатах глав 3, 4.

Четвёртый вывод представляет применение интерферометра Майкельсона и ряда сглаживающих фильтров при формировании пучка лазера и его улавливания коллиматорной установки в зависимости от различных скоростей вращения поворотного стола, освещенности и применения

различных типов осциллографирования для анализа происходящих эффектов. Вывод основан на результатах главы 3 (разделы 3.3, 3.4).

Пятый вывод представляет математическая модель передачи единицы биения кругломера в качестве образца сравнения-компараторного элемента к основному эталону 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. Вывод основан на результатах главы 2.

Шестой вывод представляет методику расширенного пространственного мультисенсорного контроля дефектов формы, который позволяет использовать взаимно дополняющие подходы поиска дефектов. Вывод основан на результатах главы 6.

Седьмой вывод представляет универсальный метод подготовки и проведения контроля дефектов формы твердых тел вращения бесконтактным мультисенсорным сканированием обеспечивает возможность аппроксимации измерения магнитных, немагнитных и термопластичных материалов, который позволяет расширить область априорной информации об объекте измерения и подбора более оптимальных режимов измерения. Вывод основан на результатах главы 5.

Восьмой вывод представляет расширенный пространственный метод автоматического управления процессом сканирования для информационно-измерительной системы, который обеспечивает точность сканирования в заявленном диапазоне, высокую скорость диспетчерского управления процессом на ПК, имеет возможность интегрироваться с интерфейсом как вихретокового, так и емкостного и оптического преобразователя. Вывод основан на результатах главы 4.

Сравнение результатов расчётов с результатами экспериментальных исследований подтверждает адекватность разработанных методов и моделей. Достоверность результатов исследований подтверждена апробацией на международных и всероссийских конференциях, победами на ряде выставок, а также актами внедрения в производственные и учебный процессы.

3. Научная новизна и значимость результатов исследования, полученных автором

1. Автором предложено и проведено теоретическое исследование и создана математическая модель нового компараторного элемента для передачи единицы биения кругломера, которая может быть использована в качестве образца сравнения-компараторного элемента к основному эталону с возможностью учета массогабаритных характеристик измеряемых деталей; новизна исследования и модели связана с тем, что они позволяют установить связь между массой пригрузов и компенсирующими математическими коэффициентами кругломеров.

2. Разработан теоретический подход для реализации методики компоновки измерительного оборудования, которое позволит повысить метрологическую надежность и электрическую совместимость, помехоустойчивость системы при контроле параметров деталей из различных материалов и обеспечит сходимость и воспроизводимость результатов измерений; новизна исследования и модели связана с тем, что они позволяют установить связь между массой пригрузов и компенсирующими математическими коэффициентами кругломеров. Новизна исследования и модели связана с тем, что предложен математический аппарат оценки надежности системы для выявления отказов системы, в частности-частоты отказов, подчеркивается важность точности измерения в зависимости от совместимости трех датчиков различного вида в одном корпусе.

3. Доказана реалистичность применения метода автоматизации процесса сканирования для информационно-измерительной системы, который способен обеспечить высокую скорость управления процессом измерения на ПК при снятии сигналов с вихретокового, емкостного и оптического преобразователя; Новизна исследования представленного метода связана с тем, что предложен комплексный алгоритм сбора информации с программных продуктов, включающих преобразование Бесселя и Гаусса в качестве основных характеристик повышения чувствительности и преобразования сигналов.

4. Предложена методика подготовки и проведения мультисенсорного контроля дефектов формы на основе предварительного сканирования деталей системами машинного зрения, которая позволяет использовать взаимодополняющие подходы поиска дефектов и учитывать форму, наименование детали, загрязненность, ее габаритные свойства. Новизна методики связана с тем, что предложена концепция мультисенсорного сканирования деталей в том числе методами машинного зрения, что позволяет на раннем этапе выявить дефекты детали – запыленность, наличие сколов и царапин и на основании этого ввести поправки в программу измерений.

5. Разработан универсальный метод для обеспечения возможности контроля дефектов формы твердых тел вращения бесконтактным мультисенсорным сканированием для измерения магнитных, немагнитных и термопластичных материалов. Новизна исследования и модели связана с тем, что выявлены зависимости поправок сканирования широкого спектра магнитных и немагнитных материалов, что позволяет определять вид материала и дефекты в поверхностном слое.

4. Теоретическая и практическая ценность результатов работы

Теоретическая значимость обусловлена:

1) описанием концепции применения оптического, вихретокового и емкостного методов контроля позволяет повысить оперативность проводимого контроля, а разработанные приборы с применением мультисенсорной системы и машинного зрения позволяют создавать

кругломеры, профилометры, контурографы с улучшенными техническими и эксплуатационными характеристиками;

2) теоретическим описанием 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;

3) созданием метрологически надежной схемы размещения датчиков в едином корпусе позволяет выполнить моделирование мобильных приборов контроля разного типа и по их результативности и оценить согласованность датчиков;

4) описанием научных основ ПО, созданного 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;

5) теоретическим подходом для реализации методики компоновки измерительного оборудования, которое позволит повысить метрологическую надежность системы при контроле параметров деталей из различных материалов и обеспечит сходимость и воспроизводимость результатов измерений; новизна исследования и модели связана с тем, что они позволяют установить связь между массой пригрузов и компенсирующими математическими коэффициентами кругломеров. Новизна исследования и модели связана с тем, что предложен математический аппарат оценки надежности системы для выявления отказов системы, в частности-частоты отказов, подчеркивается важность точности измерения в зависимости от совместимости трех датчиков различного вида в одном корпусе.

Практическая значимость диссертации состоит в следующем:

1) обоснование применение нового метода передачи единицы-применение образца сравнения для отслеживания биения кругломера уменьшает погрешность его косвенного измерения и осевого и радиального биения на 10%;

2) алгоритм и последующая методика бесконтактного оптического лазерного датчика 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;

3) использованный в диссертационной работе метод измерения обеспечивает точность сканирования в диапазоне $\pm 0,01$ мм и сканирование поверхностного слоя деталей до 50 мкм, что обеспечивает суммарный эффект от прибора-возможно произвести не только измерение круглости и цилиндричности, но и проанализировать характер дефектов покрытия детали, получить данные по свойствам материала;

4) полученные автором зависимости погрешности от режимов обработки информации способствуют улучшению обработки сигналов в диапазоне 100-150 МГц, что обеспечивает применение широкой линейки отечественных приборов (осциллографов, частотомеров, LCR-метров) для снятия данных;

5) разработанный метод подготовки и проведения измерения дефектов формы твердых тел вращения бесконтактным лазерно-емкостно-вихретоковым методом экономит до 25% стоимости от оборудования иностранного производства и обеспечивает суммарный эффект для снятия как размерных дефектов, так и определения дефектов покрытия за счет применения метода машинного зрения, который позволяет анализировать такие параметры детали, как загрязненность, наличие сколов;

6) разработанная линейка мобильных приборов по представленной в диссертации концепции позволит существенно расширить применение универсальных кругломеров-дефектоскопов, на магнитных и немагнитных материалах, а также на пластиковых деталях, раскрывать микротрещины до от 0,1 до 0,01 мм при оценке качества материала, что превосходит показатели современных приборов;

7) процесс производства корпусных элементов бесконтактных датчиков в совмещенном корпусе позволит отечественному приборостроению быть конкурентоспособным на мировом рынке оборудования за счет ускорения скорости калибровки на 18%.

Основные результаты диссертационной работы получены в ходе выполнения грантов:

1) «Разработка и тестирование программного обеспечения «ЕСО-365» и «BOTSCAN» для бесконтактных измерений», субсидия конкурса Грантов для молодых кандидатов наук вузов, отраслевых и академических институтов, расположенных на территории Санкт-Петербурга (2021 г.), руководитель;

2) госзадание РЗ 800000Ф.99.1.БВ01АА00001, Паспорт № 2776-21 (2021г.-2022г) «Методическое сопровождение внедрения образовательных программ по компетенциям "Ворлдскиллс" в образовательную деятельность организаций высшего образования в компетенции «Цифровая метрология», исполнитель;

3) премия Правительства Санкт-Петербурга за выдающиеся достижения в области высшего образования и среднего профессионального образования 2025 года по методическому обеспечению проекта «Методы комплексной подготовки специалистов для метрологического обеспечения импортозамещающих технологий», 2025 год.

Практическая значимость результатов диссертационной работы подтверждается актами внедрения и использования в следующих предприятиях: ООО «Промразвитие», ООО «Димес», ФГУП «Российский институт стандартизации», 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.

5. Публикации по теме диссертационной работы

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 монографии, 49 публикаций в прочих журналах и сборниках трудов конференций и международных форумов.

6. Общая оценка содержания диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, 6 разделов, заключения, списка используемой литературы и приложений. Полный объем диссертации с учетом приложений составляет 360 страницы, включает 202 рисунка и 35 таблиц. Список использованной литературы содержит 195 наименований.

Во введении 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. Показана важность решения научной проблемы.

Во первом разделе выполнен анализ современного состояния и практического опыта использования приборов для измерения дефектов геометрии. Сформулированы цель и задачи исследования.

Во втором разделе исследована и разработана математическая модель передачи единицы биения кругломера, которая может быть использована в качестве образца сравнения-компараторного элемента к основному эталону 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 третьем разделе описан 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 четвертом разделе 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 пятом разделе представлена разработанная методика подготовки и проведения мультисенсорного контроля дефектов формы на основе предварительного сканирования деталей системами машинного зрения, которая позволяет использовать взаимно дополняющие 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 в разделе сенсоров способен детектировать определенную характеристику.

В шестом разделе 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, который позволяет расширить область номенклатуры контролируемых материалов.

Содержание и структура диссертации логически взаимосвязаны и соответствуют сформулированной цели исследования. Изложение материала перегружено сокращениями, что требует определенного привыкания к пониманию текста. Текст диссертационной работы оформлен в соответствии с требованиями ГОСТ. При этом имеются многочисленные опечатки.

Автореферат диссертации в полной мере отражает основное содержание работы.

7. Недостатки и замечания по диссертационной работе

Наряду с отмеченными положительными сторонами, необходимо отметить следующие недостатки.

1. Выводы на с. 74-75 по расположению наилучших точек на детали возможно не являются характерными для деталей различных размеров и массы. Поэтому описывают частный случай для несоосной многоступенчатой детали и как следствие не могут использоваться в качестве общих рекомендаций.

2. При проведении многократных измерений следовало использовать статистическую обработку данных и рассчитать стандартную неопределенность измерения.

3. Большинство экспериментальных данных были аппроксимированы логарифмическими зависимостями. При этом не представлены теоретические обоснования и результаты проверки адекватности модели.

4. Представленная в разделе 1.6 методика калибровки щупа КИМ описана недостаточно полно.

5. В разделе 2 рассмотрена математическая модель передачи единицы биения кругломера. Корректность применения некоторых терминов вызывает вопросы. В частности, «стол (шпиндель) с автоматически выравнивающими осями», «груз крепится строго напротив оси поворотного стола», «идеально ровную ось».

8. Выводы и заключение

В целом, считаю, что диссертация Епифанцева К.В. на тему «Модели и методы контроля дефектов формы твердых тел вращения бесконтактным мультисенсорным сканированием», представляет собой завершенное научно-квалификационное исследование, в котором решена актуальная научная проблема контроля дефектов формы твердых тел вращения бесконтактным мультисенсорным сканированием. Диссертационная работа обладает научной новизной и имеет теоретическую и практическую значимость. По совокупности полученных в работе результатов можно сделать вывод о решении важной проблемы, имеющей как научное, так и практическое значение.

Диссертационная работа соответствует научной специальности 2.2.8 – Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды (технические науки) и удовлетворяет требованиям, установленным «Положением о присуждении учёных степеней», утвержденном Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года, №842, а ее автор – Епифанцев Кирилл Валерьевич – заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.8 – Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды (технические науки).

Официальный оппонент:

профессор кафедры «Высокоэффективные технологии обработки» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»,
доктор технических наук, профессор
27055, г. Москва, пер. Вадковский, 3А

E-mail: o.zakharov@stankin.ru

тел. 8(499)973-39-48

Захаров Олег Владимирович

05.05.2026

Подпись руки Захарова О.В. удостоверяю
УДИМК ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»
Главный специалист
Корнилова М.В.