

УТВЕРЖДАЮ

ВРИО проректора по научной работе  
кандидат физико-математических наук



Н.Р. Белащенков

9 июня 2022 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию

Кульчицкого Александра Александровича на тему:

**«Оптический контроль изделий и технологического оборудования  
геометрическим методом с пространственным разрешением»,  
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук  
по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной  
среды, веществ, материалов и изделий**

### Актуальность темы диссертации

Современное высокотехнологичное производство требует особых подходов к контролю качества выпускаемой продукции. С ростом производительности и мощности цифровых технологий наблюдается очевидная тенденция к автоматизации производственных процессов, в том числе и операций технического контроля геометрических параметров изделий и технологического оборудования. Анализ современного производства показывает, что для проведения контроля геометрических параметров изделий все более широко применяют оптические методы, достоинством которых является высокая производительность и потенциальная возможность автоматизации процедуры контроля. Однако широкое внедрение и использование оптических средств контроля герметических параметров изделий сдерживается сложностями выявления источников возможных погрешностей и оценкой степени их влияния на точность проводимых измерений.

В связи с этим тема диссертационных исследований, связанная с анализом источников погрешностей оптических систем контроля геометрических параметров изделий, разработкой алгоритмов и схемных решений для компенсации погрешностей, является весьма своевременной и актуальной.

ОТЗЫВ

Диссертационная работа Кульчицкого А.А. имеет как научную, так и практическую значимость, а представленные научно обоснованные технические решения, непосредственно направлены на повышение качества продукции и заслуживают внимания в условиях современного развития науки и техники, как с теоретической, так и с практической точек зрения.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна**

На основе анализа современного состояния методов и средств комплексного контроля геометрических параметров автор обоснованно и корректно сформулировал цель и взаимосвязанные задачи исследований. Исследования проводились на основе применения физических основ геометрической оптики, теории цифровой обработки сигналов, экспериментальных методов. Данный выбор является обоснованным и методически правильным.

**Достоверность и обоснованность** научных положений, выводов и рекомендаций определяется корректностью постановки цели и задач исследований; применением теоретически и экспериментально обоснованных моделей, используемых при расчетах; результатами экспериментальных исследований и их сходимостью с результатами теоретического анализа; признанием основных положений диссертации широким кругом специалистов при апробировании материалов исследований на конференциях, а также результатами их внедрения.

**Научная новизна** результатов диссертации заключается в следующем:

1) разработана модель калибровки цифровых камер, основанная на коррекции сегментированного изображения. Новизна данной модели заключается в том, что в данной модели дополнительно введена дискретизация пространства изображений для попиксельной коррекции искажений оптического тракта системы контроля геометрических параметров объектов для восстановления геометрического подобия изображения объекту контроля. Предложенная модель коррекции инвариантна к природе искажений и позволяет максимально использовать аппаратные возможности современных средств фиксации измерительной информации за счет равномерной компенсации искажений по всему полю зрения для цифровых камер с нормальной и короткофокусной оптикой;

2) разработаны аналитические модели, учитывающие особенности получения измерительной информации об основных формообразующих размерах осесимметричных изделий. Новизна данных моделей состоит в аналитическом описании закономерностей формирования изображения осесимметричных изделий цифровыми камерами с нетелецентрической оптикой при решении задач контроля размеров;

3) разработана методика выявления основных пороков листовых изделий из прозрачных материалов, новизна которой заключается в комплексном использовании яркостных и геометрических признаков и

регулировании освещения. Методика позволяет проводить исследования степени детектирования пороков стекла от коэффициентов нелинейных фильтров;

4) предложены новые алгоритмы компенсации погрешностей оптических систем контроля размеров плоских и осесимметричных деталей. Научная новизна заключается в системном подходе к рассмотрению источников погрешностей и разработке методики их компенсации, учитывающей положение тест-объекта и проекционные составляющие погрешности, позволяющей повысить точность определения размеров как в проходящем, так и в отраженном свете от неколлинированного источника;

5) разработана методика компенсации смещения объекта контроля и регистрации всей его поверхности, новизна которой заключается в том, что предложены и обоснованы новые схемы получения измерительной информации для оптических систем контроля геометрических параметров, позволяющие получить сведения о положении объекта контроля при его не фиксированном положении. Предложенная методика получения дополнительных информационных параметров о положении объекта контроля может быть распространена на другие классы пространственных объектов простой формы.

**Теоретическая ценность** научных результатов диссертации характеризуется тем, что они вносят существенный вклад в развитие оптических методов контроля.

**Практическая значимость** выполненной диссертационной работы заключается в том, что в рамках выполнения диссертационного исследования автор представил научно обоснованные технические решения обеспечивающие повышение точности оптических систем контроля размеров геометрическим методом с пространственным разрешением. Результаты исследования систем контроля геометрических параметров, использующих в качестве средств получения измерительной информации цифровые камеры оснащенные объективами с фиксированным фокусным расстоянием, позволят снизить стоимость систем и расширить область их применения.

В рамках исследования автор разработал устройство автоматизированного детектирования пороков стекол, на которое получен патент на полезную модель RUS 115463. Предложенные методики и алгоритмы повышения точности оптических средств контроля геометрических параметров реализованы в виде шести программных продуктов, на которые получены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ (№ 2015615743, № 2016612948, № 2018614999, № 2020615959, № 2020665277, № 2021611543).

Основные результаты работы реализованы в АО «Энертек» и ООО «НТЦ «ЭНЕРГОАВТОМАТИЗАЦИЯ», о чем свидетельствуют Акты о внедрении.

Разработанные схемы получения измерительной информации, методики оценки качества прозрачных материалов и комплексной

компенсации погрешностей измерений геометрических параметров изделий и состояния технологического оборудования рекомендуется использовать на производстве для решения задач автоматизированного контроля изделий и технологического оборудования.

Диссертационная работа содержит ряд **недостатков и замечаний**:

1. В работе не приведена оценка экономической эффективности предлагаемых методов компенсации погрешностей оптико-электронных средств контроля геометрических параметров, что не позволяет судить о последующей коммерциализации результатов работы.

2. Во второй главе при описании действий вращающихся зеркал приведена только коническая модель, вместе с тем имеются и другие интерпретации, например, сферическая и цилиндрическая модели, а для аналитического описания – векторно-матричные модели, методы кватернионов и бикватернионов.

3. Сравнение результатов применения разработанного алгоритма коррекции искажений изображения приведено в сопоставлении с решениями компании National Instruments, при этом в первой главе диссертации приведены сведения о наличии достаточного количества специального программного обеспечения имеющего в своем составе подобный функционал.

4. При оценке влияния флюктуации в воздушном тракте на точность определения геометрических размеров (рисунок 3.6) следовало использовать не качественные, а количественные оценки интенсивности тепловых потоков, а при рассмотрении методов компенсации погрешностей описать методику их исключения.

5. Рассматривая измерительные системы с нефиксированным положением объекта контроля и с зеркальными преобразователями стоило бы произвести оценку влияния глубины резкости изображения на процесс определения границ объекта контроля.

6. Для фиксации измерительной информации при реализации активного способа контроля вращающейся плоскости следовало бы использовать современную элементную базу, а не устаревшие решения.

Приведенные выше недостатки и замечания не оказывают существенного влияния на общую положительную оценку диссертационной работы и не снижают ценность полученных результатов.

Результаты исследований достаточно полно опубликованы в 48 печатных работах, в том числе в 6 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 9 статьях – в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования (WoS и SCOPUS).

В совместных публикациях вклад соискателя является определяющим. Достижения других авторов использованы корректно с указанием ссылок на конкретные публикации.

Содержание автореферата достаточно полно отражает содержание диссертации и позволяет составить целостное представление о проделанной работе. Материалы диссертации изложены достаточно грамотно, логически последовательно и представлены в лаконичной форме.

### **Заключение**

Диссертация Кульчицкого А.А. является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

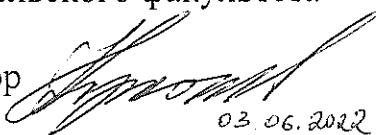
Диссертация «Оптический контроль изделий и технологического оборудования геометрическим методом с пространственным разрешением», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий, полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного университета от 20.05.2021 № 953 адм., а ее автор – Кульчицкий Александр Александрович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

Отзыв подготовлен: профессором инженерно-исследовательского факультета Университета ИТМО, доктором технических наук, профессором Коротаевым Валерием Викторовичем; профессором инженерно-исследовательского факультета Университета ИТМО, доктором технических наук, профессором Коняхиным Игорем Алексеевичем; доцентом факультета систем управления и робототехники Университета ИТМО, доктором технических наук Федоровым Алексеем Владимировичем; доцентом факультета систем управления и робототехники Университета ИТМО, кандидатом технических наук, доцентом Андреевым Юрием Сергеевичем.

Профессор инженерно-исследовательского факультета  
Университета ИТМО

доктор технических наук профессор

В.В. Коротаев

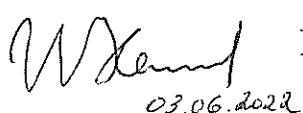


03.06.2022

Профессор инженерно-исследовательского факультета  
Университета ИТМО

доктор технических наук профессор

И.А. Коняхин



03.06.2022

Доцент факультета систем управления и робототехники  
Университета ИТМО  
доктор технических наук

  
02.06.2022

А.В. Федоров

Доцент факультета систем управления и робототехники  
Университета ИТМО  
кандидат технических наук доцент

  
02.06.2022

Ю.С. Андреев

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании Научно-технического совета  
Университета ИТМО, протокол №23 от «08» июня 2022 года.

Секретарь Научно-технического совета  
Университета ИТМО  
кандидат физико-математических наук

  
08.06.2022

В.В. Свирина

### **Сведения о ведущей организации:**

федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Национальный исследовательский университет  
ИТМО» (Университет ИТМО)

Почтовый адрес: 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А  
Официальный сайт в сети Интернет: <https://itmo.ru/ru/>  
e-mail: od@mail.ifmo.ru  
Телефон: +7 (812) 480-00-00, +7 (812) 232-23-07