

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 32.1.008.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ОПТИКО-ФИЗИЧЕСКИХ
ИЗМЕРЕНИЙ» (ФГБУ «ВНИИОФИ») ФЕДЕРАЛЬНОГО АГЕНТСТВА
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 03.12.2025 № 7-25

О присуждении **Васецкому Станиславу Олеговичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация **«Разработка адаптивного рамочного микрооптоэлектромеханического преобразователя угловой скорости на основе оптического туннельного эффекта»** по специальности 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы (технические науки) принята к защите 25 сентября 2025 г. (протокол заседания № 5-25) диссертационным советом 32.1.008.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений» Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии, 119361, г. Москва, ул. Озерная, д. 46, приказ о создании диссертационного совета № 577/нк от 11.06.2024.

Соискатель – **Васецкий Станислав Олегович**, 31 мая 1995 года рождения.

В 2019 году соискатель окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.» по направлению подготовки магистров «Техническая физика». Диплом магистра с отличием выдан 29 июня 2019 года, серия 106431 0248074, регистрационный номер 19-06-052.

В 2024 году соискатель окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по специальности 05.11.16 («Информационно-измерительные и управляющие системы (технические науки)») по направлению подготовки 27.06.01 «Управление в технических системах». Диплом об окончании аспирантуры выдан 08 июля 2024 года, серия 107733 0004399, номер 2024/3О-0704Д. Работает в Акционерном Обществе «Государственный научно-исследовательский институт приборостроения» в отделе 130 в должности начальника сектора.

Диссертация выполнена на кафедре № 301 «Системы автоматического и интеллектуального управления» федерального государственного бюджетного

образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Научный руководитель – доктор технических наук, Бусурин Владимир Игоревич, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», кафедра № 301 «Системы автоматического и интеллектуального управления», профессор.

Официальные оппоненты:

- **Горшков Борис Георгиевич**, доктор технических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» (ИОФ РАН), Центр естественно-научных исследований, ведущий научный сотрудник;

- **Тимошенко Сергей Петрович**, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» (ФГАОУ ВО «НИУ МИЭТ»), «Институт нано- и микросистемной техники», директор

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном Неусыпиным Константином Авенировичем профессором, доктором технических наук, заведующим кафедрой ИУ-1 «Системы автоматического управления» и утвержденном проректором по науке и цифровому развитию, доктором экономических наук, профессором Дрогозовом Павлом Анатольевичем, указала, что предложенные математические модели, алгоритмы и методики расчёта допустимых отклонений параметров обеспечивают разработку микрооптоэлектромеханических преобразователей угловой скорости по техническим требованиям. Отмечается, что использование предложенного рамочного микрооптоэлектромеханического преобразователя обеспечивает улучшение характеристик информационно-измерительных систем при воздействии дестабилизирующих факторов, а также, что выводы и рекомендации в работе Васецкого С.О. обоснованы и подтверждены в достаточном объеме.

Работа соответствует паспорту специальности 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы (технические науки) по пунктам 2 и 4.

Использование результатов диссертационной работы возможно в таких организациях как НИУ «МИЭТ», ПАО «МИЭА», АО «РПКБ», ФГУП «ЦНИИ «Электроприбор». Исследования в области создания микрооптоэлектромеханических преобразователей угловой скорости следует продолжить в МАИ, АО «ГосНИИП», АО «ГИРООПТИКА».

Ведущая организация заключила, что диссертационная работа представляет собой законченную научно-техническую квалификационную работу, научная новизна и положения, выносимые на защиту, доказаны и обоснованы, а содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Резюмируется, что диссертационная работа соответствует требованиям, указанным в «Положении о присуждении учёных степеней», утверждённом постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, а её автор, Васецкий Станислав Олегович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы (технические науки).

Соискатель имеет 18 (восемнадцать) опубликованных работ по теме диссертации, из них 4 публикации в ведущих научных журналах, включенных в перечень ВАК РФ, 1 публикация в издании, входящем в международные реферативные базы данных, 10 тезисов докладов в сборниках материалов конференций международного и всероссийского уровня, получено 3 патента РФ на изобретение.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Рамочный микрооптоэлектромеханический преобразователь угловой скорости с узлами оптического считывания на основе оптического туннельного эффекта / В. И. Бусурин, А. В. Казарьян, С. Г. Штек, М.А. Жеглов, С.О. Васецкий, Ч. П. Линн // Измерительная техника. – 2022. – № 5. – С. 50-55. – DOI 10.32446/0368-1025it.2022-5-50-55.

Предложена математическая модель рамочного микрооптоэлектромеханического преобразователя угловой скорости с электростатическим возбуждением первичных колебаний. В состав преобразователя входят узлы оптического считывания на основе оптического туннельного эффекта, в которых реализовано оптическое считывание субмикрометровых перемещений чувствительного элемента. Оценены параметры предложенного преобразователя и нелинейность функции преобразования в диапазоне измеряемых угловых скоростей.

2. Бусурин В. И. Компенсация влияния линейного ускорения на параметры рамочного микрооптоэлектромеханического преобразователя угловой скорости / В.И. Бусурин, С.О. Васецкий, К.А. Коробков // Измерительная техника. – 2023. – № 4. – С. 31-37. – DOI 10.32446/0368-1025it.2023-4-31-37.

Исследовано влияние линейного ускорения на характеристики рамочного микрооптоэлектромеханического преобразователя угловой скорости с двумя каналами считывания оптических сигналов. Рассмотрено два метода компенсации погрешности при воздействии на рамочный микрооптоэлектромеханический преобразователь линейного ускорения. Методы

компенсации реализуют управление коэффициентом усиления и силовую обратную связь. Оценена погрешность измерений угловой скорости при использовании двух методов компенсации.

3. Бусурин В.И. Использование двухволнового преобразования для расширения диапазона измерения и температурной компенсации рамочного микрооптоэлектромеханического преобразователя угловой скорости / В. И. Бусурин, С.О. Васецкий, А.В. Казарьян // Датчики и системы. – 2023. – № 6(272). – С. 40-45. – DOI 10.25728/datsys.2023.6.7.

Предложен способ расширения диапазона измерений рамочного микрооптоэлектромеханического преобразователя угловой скорости с помощью двухволнового преобразования в узле оптического считывания на основе оптического туннельного эффекта. Определены основные параметры узла оптического считывания и их зависимость от соотношения мощностей спектральных составляющих оптического излучения. Приведена оценка влияния температурных эффектов и шумов на микрооптоэлектромеханические преобразователи угловой скорости. Предложен способ компенсации дополнительной температурной погрешности, основанный на управлении коэффициентом усиления по информации от термозависимых узлов оптического считывания.

4. Бусурин, В. И. Алгоритм расчета микрооптоэлектромеханического преобразователя угловой скорости с оптическим считыванием / В. И. Бусурин, С.О. Васецкий, Р. П. Булычев // Датчики и системы. – 2024. – № 3(275). – С. 23-30. – DOI 10.25728/datsys.2024.3.4.

Предложена методика расчета рамочного микрооптоэлектромеханического преобразователя угловой скорости на основе оптического туннельного эффекта. Разработан алгоритм расчета, содержащий предварительный анализ технических требований и выбор оптоэлектронных компонентов, расчет упругих подвесов, определение критических параметров и их допустимых отклонений. Алгоритм расчета позволяет определять количество преобразователей из партии, удовлетворяющих заданным техническим требованиям.

5. S.G. Shtek, M.A. Zheglov, V.V. Belyakov, O.G. Andreasyan, S.O. Vasetsky and P.S. Kuznetsov / Development of a Sensitive Element of a Micro-Opto-Electromechanical Accelerometer, 2023 30th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems (ICINS), Saint Petersburg, Russian Federation, 2023, pp. 1-2, doi: 10.23919/ICINS51816.2023.10168511.

Описывается разработка чувствительного элемента микрооптоэлектромеханического акселерометра для измерения ускорения Кориолиса. Определены параметры чувствительного элемента для его работы в зоне оптического туннелирования.

На диссертационную работу поступили следующие отзывы (все положительные):

Отзыв на диссертацию ведущей организации – МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Отзыв, утвержденный проректором по науке и цифровому развитию МГТУ им. Н.Э. Баумана, доктором экономических наук, профессором Дрогозовом П.А.

К отдельным замечаниям по диссертации отнесено следующее:

1. Не пояснена выбранная конфигурация призм и источников излучения в схеме узла оптического считывания, в то время как возможны альтернативные варианты (раздел 2.2).

2. При рассмотрении алгоритма адаптации не обосновано, почему в основу положена именно электростатическая компенсация, а не иные методы (например, электромагнитные или пьезоэлектрические воздействия) (раздел 4.2).

3. В уравнении (34) для амплитуды первичных колебаний содержатся обозначения геометрических параметров подвесов, при этом они не описаны непосредственно в тексте (стр. 65).

4. При описании экспериментальной установки для исследования узла оптического считывания упоминается эллиптическая воспринимающая зона, но в формулах не уточнены её параметры, что делает описание неполным (стр. 77–78).

5. Концепция компенсации линейных ускорений ограничена приведением алгоритма, однако не раскрыт принципиальный выбор именно такого подхода (разделы 3.2 и 3.3).

6. При использовании фильтра Баттерворта, параметры фильтра, такие как частота среза и полоса пропускания не указаны разделе 3.2 (стр. 91).

7. В разделе 3.3 (стр. 95–96) при описании компенсации с помощью дополнительных электростатических приводов отсутствует пояснение к коэффициентам обратной связи в уравнениях.

8. При рассмотрении двухволнового метода, коэффициент балансировки вводится сразу в расчётной форме, однако его физическая интерпретация дана лишь кратко и требует пояснения (стр. 115–116).

9. В описании методики расчёта рамочного МОЭМ-преобразователя приведены ссылки на литературные источники с указанием технологических параметров изготовления, однако конкретные численные допуски на технологические процессы не представлены (стр. 140).

При этом отмечено, что, несмотря на указанные замечания, диссертационная работа представляет собой законченную научно-техническую квалификационную работу. Научная новизна и положения, выносимые на защиту, доказаны и обоснованы. Диссертационная работа соответствует требованиям, указанным в «Положении о присуждении ученых степеней», утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её автор, Васецкий Станислав Олегович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы (технические науки).

Отзыв на диссертацию официального оппонента Горшкова Бориса Георгиевича, доктора технических наук, ведущего научного сотрудника Центра естественно-научных исследований ИОФ РАН.

По диссертационной работе сделаны следующие замечания:

1. В модели оптического узла отсутствует анализ влияния шероховатости и качества оптических поверхностей на туннелирование излучения, хотя этот фактор может вносить заметную погрешность при субмикронных зазорах (раздел 2.2.1).

2. При анализе четырехканальной схемы оптического считывания приведены выражения для выходных напряжений, однако не пояснено, каким образом производится калибровка каналов при различной мощности оптического излучения и неравномерности отклика фотоприемников (стр. 73).

3. В разделе 2.4 при описании схемы имитатора чувствительного элемента упоминается пьезопривод, однако не указано, каким образом контролируется амплитуда перемещения.

4. При расчете амплитуды колебаний рамочного чувствительного элемента по формуле (34) не указано, как учитываются допуски на геометрию подвесов (стр. 65).

При этом отмечено, что указанные замечания не затрагивают основные идеи и не снижают общую положительную оценку диссертационной работы. Диссертационная работа «Разработка адаптивного рамочного микрооптоэлектромеханического преобразователя угловой скорости на основе оптического туннельного эффекта» соответствует требованиям, указанным в «Положении о присуждении ученых степеней», утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013, предъявляемым к диссертациями на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Васецкий Станислав Олегович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы (технические науки).

Отзыв на диссертацию официального оппонента Тимошенкова Сергея Петровича, доктора технических наук, профессора, директора «Института нано- и микросистемной техники» ФГАОУ ВО «НИУ МИЭТ».

В замечаниях по диссертационной работе указано:

1. При описании метода компенсации влияния линейного ускорения через управление коэффициентом усиления предложено деление диапазона значений угловой скорости на семь участков, однако не приведена оценка погрешности на граничных значениях каждого из диапазонов (стр. 92-93).

2. При моделировании функции преобразования преобразователя угловой скорости не определены зоны нечувствительности (стр. 102).

3. Не указаны параметры призм, для которых проведен расчет зависимостей отражательной способности и чувствительности узла оптического считывания (стр. 39, рис. 16).

4. При расчёте эквивалентной угловой скорости, обусловленной термомеханическим шумом, не указано, какие именно параметры конструкции

(масса, добротность или частота) оказывают доминирующее влияние на результат (стр. 101).

5. В описании алгоритма адаптации не пояснено, каким образом происходит переход между диапазонами регулирования коэффициентом усиления (стр. 127).

6. Не приведено описание процедуры калибровки двухволнового узла; не пояснено, каким образом выполняется балансировка сигналов разных длин волн и как оценивается стабильность их соотношения во времени (стр. 119).

7. Отсутствует обсуждение погрешности методики параметров преобразователей и оценки чувствительности результатов к вариациям исходных данных, что ограничивает полноту представленного анализа (раздел 4.4.2).

При этом отмечено, что указанные замечания не являются критическими и не снижают общую положительную оценку диссертационной работы.

Диссертационная работа «Разработка адаптивного рамочного микрооптоэлектромеханического преобразователя угловой скорости на основе оптического туннельного эффекта» соответствует требованиям, указанным в «Положении о присуждении ученых степеней», утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её автор, Васецкий Станислав Олегович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы (технические науки).

На автореферат поступило 9 (девять) отзывов. Все отзывы положительные. Отзывы содержат следующие замечания.

1. Отзыв на автореферат диссертации от ФГБНУ НПК «Технологический центр», составленный начальником НИЛ Интегральных оптических микросистем, кандидатом технических наук Савицким А.И., содержит ряд вопросов:

- экспериментальный массив данных, подтверждающий согласование с математическими моделями, получен на стенде-имитаторе или на полноразмерном действующем прототипе МОЭМ-преобразователя?

- в автореферате отсутствуют данные о массогабаритных характеристиках предложенного прототипа изделия. Каковы итоговые размеры и масса рамочного преобразователя угловой скорости с четырехканальной оптической измерительной системой?

- проводился ли сравнительный анализ полученных параметров (точность, нелинейности, динамический диапазон и т.д.) с современными аналогами как МЭМС, так и МОЭМ класса компаний, упомянутых в автореферате? Каково место предложенного преобразователя на основе оптического туннельного эффекта в существующей линейке датчиков угловой скорости?

2. Отзыв на автореферат диссертации от ФГБОУВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина»,

составленный заведующим кафедрой ЭВМ, доктором технических наук, профессором Костровым Б.В., содержит ряд замечаний:

- было бы полезно дополнить описание практической значимости конкретными примерами возможных применений разработанного преобразователя в составе измерительных или навигационных систем;
- не обозначены границы применимости предложенных методик, например, диапазоны температур и угловых скоростей, в которых сохраняются заявленные характеристики преобразователя.

3. Отзыв на автореферат диссертации от ПАО «МИЭА», составленный начальником отдела, доктором технических наук Гребенкиным А.В., содержит ряд замечаний:

- отсутствует оценка вычислительной сложности для реализации алгоритма адаптации;
- в автореферате не приведены примеры применения разработанного преобразователя в составе информационно-измерительных систем.

4. Отзыв на автореферат диссертации от ФГАОУВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», составленный профессором кафедры программных систем, доктором технических наук, профессором Заболотновым Ю.М., содержит ряд замечаний:

- в автореферате не приведены числовые значения коэффициентов пропорционально-интегрирующего регулятора в системе компенсации линейного ускорения;
- не ясно, было ли учтено влияние случайных погрешностей узла оптического считывания на точность поддержания зазора между узлом оптического считывания и рамочным чувствительным элементом при разработке системы компенсации линейных ускорений.

5. Отзыв на автореферат диссертации от ФГБОУВО «Тульский государственный университет», составленный заведующим кафедрой «Приборы управления», доктором технических наук, доцентом Матвеевым В.В., содержит ряд замечаний:

- в автореферате, функциональная схема рамочного МОЭМ-преобразователя, представленная на рис. 3, соответствует датчику угловой скорости прямого измерения. При этом следует отметить, что большинство современных вибрационных гироскопов реализуются с обратной связью для компенсации кориолисовых сил инерции. Компенсация, изложенная в главе 3 направлена только на подавление низкочастотных составляющих, вызванных линейным ускорениями основания;
- текст автореферата чрезмерно насыщен аббревиатурами, что существенно затрудняет восприятие материала;
- в автореферате отсутствует обоснование соответствия математического описания рамочного микрооптоэлектромеханического преобразователя (МОЭМ) чувствительному элементу в виде цилиндрического резонатора, на котором проводились экспериментальные исследования.

6. Отзыв на автореферат диссертации от АО АНПП «Темп-Авиа», составленный ведущим научным сотрудником, кандидатом технических наук Чуманкиным Е.А., содержит ряд замечаний:

- в автореферате приведены выражения, описывающие зависимость чувствительности и диапазона измерения оптического узла, однако не указаны исходные допущения, при которых получены эти выражения, и пределы применимости модели (стр. 8);

- не приведена оценка стабильности характеристик преобразователя при длительной работе и повторных включениях.

7. Отзыв на автореферат диссертации от ФГАОУВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», составленный ведущим научным сотрудником, доктором физико-математических наук Родиным В.Г., содержит ряд замечаний:

- в автореферате не раскрыто, каким образом учитывается влияние фазовых сдвигов между отраженными оптическими волнами в зазоре преобразователя;

- из текста автореферата не ясно, учитывалась ли дисперсия показателя преломления при расчетах чувствительности преобразователя.

8. Отзыв на автореферат диссертации от ФГБУН «Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук», составленный главным научным сотрудником лаборатории №1 «Динамических информационно-управляющих систем им. Б.Н. Петрова», доктором технических наук Каршаковым Е.В., содержит ряд замечаний:

- во второй главе указывается, что математическая модель позволяет выполнять анализ влияния конструктивных параметров на характеристики преобразователя и повысить точность их расчета, используя новые аппроксимирующие выражения, однако сами оценки допусков на физической реализации схемы с четырехканальным дифференциальным считыванием не приведены;

- в третьей главе предлагается использование ПИ регулятора для формирования обратной связи через электроды компенсации, при этом хорошо было бы сказать о том, как он выбирался и его следует настраивать;

- в четвертой главе предложено использование света двух длин волн для расширения динамического диапазона измерений, при этом хорошо было бы пояснить, как должна быть реализована такая схема измерений, являются ли два канала независимыми.

9. Отзыв на автореферат диссертации от ПАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания» (ПНПК), составленный начальником лаборатории ЛЭМ ОРВОГ НТЦ, кандидатом технических наук Гилевым Д.Г., содержит одно замечание:

- в автореферате недостаточно подробно раскрыт вопрос влияния параметров оптической системы, в частности, стабильности источника излучения и качества оптических поверхностей, на параметры узла оптического считывания преобразователя.

Несмотря на перечисленные недостатки, все отзывы положительные, во всех отзывах отмечено, что указанные недостатки не снижают общую положительную оценку диссертационной работы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их большим опытом, а также высокой научно-практической компетентностью в области исследования, проектирования, конструирования и повышения точности микроэлектромеханических преобразователей угловой скорости для информационно-измерительных и управляющих систем – объекта диссертационного исследования. Высокая научная и практическая компетентности официальных оппонентов и ведущей организации подтверждаются публикациями в научных изданиях. Оппоненты являются сотрудниками разных организаций и не имеют совместных публикаций с соискателем.

Выбор Горшкова Б.Г., доктора технических наук, в качестве **официального оппонента** обоснован его высокой компетентностью в области проектирования оптических преобразователей физических величин и разработке информационно-измерительных систем на их основе. За последние 5 лет Горшковым Б.Г. сделано 9 публикаций по профилю диссертации.

Выбор Тимошенкова С.П., доктора технических наук, профессора, в качестве **официального оппонента** обусловлен его широкой известностью и профессиональной компетентностью в области в сфере МЭМС технологий, проектирования МЭМС датчиков, исследования влияния различных факторов на их характеристики, применения МЭМС датчиков в составе навигационных и управляющих систем. За последние 5 лет Тимошенковым С.П. в рецензируемых отечественных и международных журналах опубликовано 11 работ по профилю диссертации.

Выбор МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве **ведущей организации** обосновывается её достижениями в сфере разработки информационных и управляющих систем, а также в области исследований методик компенсации погрешностей различных инерциальных датчиков. Специалисты ведущей организации имеют большой практический опыт в компенсации различных погрешностей датчиков в зависимости от внешних факторов, что отражено в их публикациях. За последние 5 лет МГТУ им. Н.Э. Баумана опубликовано 12 работ по теме диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработана новая научная идея использования оптического туннельного эффекта для определения положения микромеханического чувствительного элемента адаптивного рамочного преобразователя угловой скорости с четырёхканальной оптической системой, обеспечившая повышение точности определения положения чувствительного элемента и снижение нелинейности функции преобразования до 0,12 %;

- **предложен** нетрадиционный подход к реализации алгоритма адаптации преобразователя, включающий одновременное использование электростатической стабилизации положения чувствительного элемента, адаптивного регулирования коэффициента усиления и двухволнового метода оптического преобразования перемещений;

- **доказана** перспективность применения двухволнового преобразования перемещений для расширения динамического диапазона измерения угловой скорости рамочного микрооптоэлектромеханического преобразователя;

- **введено новое** понятие двухволнового преобразования нанометровых перемещений с использованием оптического туннельного эффекта.

Теоретическая значимость работы обоснована тем, что:

- **доказаны** положения о повышении точности измерения угловой скорости адаптивным рамочным преобразователем при одновременном применении электростатической стабилизации положения чувствительного элемента, адаптивного регулирования коэффициента усиления и двухволнового метода оптического преобразования перемещений, вносящие вклад в расширение представлений о микрооптоэлектромеханических преобразователях;

- **применительно к проблематике диссертации результативно использован** комплекс методов волновой оптики, теории упругости, динамики рамочных структур, теории автоматического управления и численного моделирования, что позволило построить уточнённую математическую модель чувствительного элемента с учётом газодинамического демпфирования, а также разработать и обосновать алгоритм адаптации с электростатической стабилизацией положения;

- **изложены** элементы теории двухволнового оптического преобразования для задач нанометрового считывания перемещений;

- **раскрыты** проблемы одноволнового преобразования и преимущества двухволнового преобразования при воздействии температурных и конструктивно-технологических факторов;

- **изучены** причинно-следственные связи между параметрами конструкции рамочного преобразователя, режимами движения чувствительного элемента, характеристиками оптического узла и метрологическими характеристиками микрооптоэлектромеханического преобразователя;

- **проведена модернизация** математической модели узла оптического считывания с включением двухволнового режима работы, обеспечившая расширение динамического диапазона, повышение точности и снижение влияния внешних дестабилизирующих факторов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- **разработаны и внедрены** функциональная схема, математическая модель, алгоритм адаптации с электростатической стабилизацией положения

чувствительного элемента рамочного преобразователя угловой скорости с четырёхканальной оптической системой на основе оптического туннельного эффекта и методика расчета преобразователя угловой скорости на основе статистического анализа коэффициентов влияния параметров, использованы в АО «ГосНИИП» в рамках выполнения НИР и ОКР, а также в учебном процессе ФГБОУ ВО «МАИ (НИУ)»;

- **определены** пределы практического использования разработанных методов и схем: диапазон рабочих перемещений (80...800) нм, диапазон компенсации линейных ускорений ± 90 g при дополнительной погрешности не более 0,02 %, условия расширения динамического диапазона в 1,7 раза при двухволновом преобразовании, а также температурные пределы работоспособности в интервале $-40...+60$ °С с нестабильностью не выше 0,04 %/°С;

- **создана** система практических рекомендаций для проектирования рамочных преобразователей угловой скорости, включающая требования к конструктивным и технологическим параметрам, методику расчёта допустимых отклонений этих параметров по критерию основной погрешности, а также рекомендации по выбору параметров узла оптического считывания и режимов адаптации;

- **представлены** методические рекомендации по применению двухволнового преобразования в оптических измерительных системах на основе оптического туннельного эффекта, а также предложения по совершенствованию структурных решений рамочных преобразователей угловой скорости, включая использование электростатической стабилизации и адаптивного регулирования коэффициента усиления.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- **для экспериментальных работ** результаты получены на лабораторной установке с использованием сертифицированного оборудования; обоснованы калибровки пьезопакета при исследовании функции преобразования узла оптического считывания; показана воспроизводимость экспериментальных данных при многократных измерениях и в различных режимах изменения перемещений чувствительного элемента;

- **теория** построена на известных и проверяемых положениях волновой оптики, механики деформируемого твердого тела и газодинамических моделей, согласуется с экспериментальными данными, полученными автором, а также с другими опубликованными результатами по оптическому туннельному эффекту и МЭМ преобразователям смежных типов;

- **идея базируется** на анализе существующих подходов к построению микрооптоэлектромеханических преобразователей, обобщении опубликованных данных о поведении рамочных чувствительных элементов, а также результатах экспериментальных исследований влияния внешних дестабилизирующих факторов;

- **использованы** сравнения авторских экспериментальных характеристик четырёхканального узла оптического считывания и результатов, полученных ранее в научной литературе по оптическому туннельному эффекту;

- **установлено** количественное совпадение результатов численного моделирования с экспериментальными данными по чувствительности, диапазону измерений, температурной нестабильности, влиянию линейных ускорений и эффекту газодинамического демпфирования;

- **использованы** современные методики сбора и обработки экспериментальных данных, включая статистическую обработку многократных измерений.

Личный вклад соискателя состоит в:

- непосредственном участии на всех этапах исследования, включая формирование идеи применения четырёхканальной оптической измерительной системы и двухволнового преобразования в рамочном микрооптоэлектромеханическом преобразователе угловой скорости;

- разработке функциональной схемы и уточнённой математической модели рамочного чувствительного элемента с учётом газодинамического демпфирования, а также математической модели узла оптического считывания на основе оптического туннельного эффекта;

- создании алгоритма адаптации с электростатической стабилизацией положения чувствительного элемента и адаптивным регулированием коэффициента усиления, включая вывод расчетных выражений и анализ устойчивости работы системы;

- разработке и сборке экспериментальных стендов для исследования узла оптического считывания и двухволнового преобразования, а также выполнении настройки и калибровки измерительных трактов;

- самостоятельном проведении экспериментальных исследований характеристик узла оптического считывания и получении первичных измерительных данных;

- обработке, анализе и интерпретации экспериментальных данных, сравнении их с результатами моделирования, оценке погрешностей и подтверждении корректности разработанных моделей и методов

- подготовке основных публикаций по теме диссертационной работы, представленных в рецензируемых научных изданиях и на профильных конференциях.

В ходе защиты диссертации было высказано критическое замечание об определении основной и дополнительной погрешностей с метрологической точки зрения.

Соискатель Васецкий С.О. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, приведя собственную аргументацию. По замечаниям, полученным в отзывах на автореферат, дал ответы и частично согласился.

На заседании 03 декабря 2025 г. диссертационный совет принял решение за решение научно-технической задачи разработки адаптивного рамочного микрооптоэлектромеханического преобразователя угловой скорости на основе оптического туннельного эффекта, имеющей существенное значение для развития средств информационно-измерительных и управляющих систем беспилотных летательных аппаратов, присудить Васецкому Станиславу Олеговичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 6 докторов наук по научной специальности 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы, участвовавших в заседании, из 14 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 12, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель

диссертационного совета



Крутиков Владимир Николаевич

Ученый секретарь

диссертационного совета

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to the academic secretary.

Минаев Владимир Леонидович

03.12.2025