

ОТЗЫВ

официального оппонента Тимошенко Сергея Петровича на диссертационную работу Васецкого Станислава Олеговича на тему «Разработка адаптивного рамочного микрооптоэлектромеханического преобразователя угловой скорости на основе оптического туннельного эффекта», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы (технические науки)

В диссертационной работе Васецкого Станислава Олеговича представлена разработка адаптивного рамочного микрооптоэлектромеханического преобразователя угловой скорости на основе оптического туннельного эффекта.

На данный момент МЭМС преобразователи угловой скорости широко используются в информационно-измерительных и управляющих системах летательных аппаратов; однако их точностные характеристики ограничены в связи с использованием, в большинстве случаев, емкостных способов съема информации. В представленной работе предложен альтернативный подход, основанный на использовании оптического туннельного эффекта для измерения наносмещений чувствительного элемента, что обеспечивает повышение чувствительности и стабильности преобразования. **Актуальность выбранной темы** обусловлена необходимостью создания высокоточных и устойчивых к внешним воздействиям микрооптоэлектромеханических преобразователей для применения в информационно-измерительных и управляющих системах нового поколения. Поэтому очевидной целью диссертационной работы является повышение точности измерения угловой скорости микроэлектромеханического преобразователя угловой скорости, за счет применения алгоритмов адаптации к внешним дестабилизирующим факторам и оптической измерительной системы. Поставленные в работе задачи логичны и последовательно ведут к достижению главной цели.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Работа изложена на 166 страницах,

содержит 82 рисунка и 4 таблиц, список литературы содержит 125 наименований.

Автореферат диссертации в полной мере **отражает содержание диссертационной работы.**

Во **введении** работы сформулированы основная цель работы, задачи работы, представлена характеристика научной новизны работы, ее теоретическая и практическая значимость, а также приведены положения, вынесенные на защиту.

В **первой главе** выполнен анализ современного состояния микро- и оптоэлектромеханических преобразователей угловой скорости. Показано, что традиционные МЭМС преобразователи обладают рядом ограничений по точности и устойчивости при воздействии линейных ускорений. Установлено, что применение оптических методов измерения, в частности оптического туннельного эффекта, позволяет повысить чувствительность считывания нанометровых перемещений.

Во **второй главе** разработана функциональная схема рамочного МОЭМ преобразователя угловой скорости с четырёхканальной системой оптического считывания. Построены математические модели чувствительного элемента и оптической подсистемы с учётом газодинамического демпфирования. Выполнено имитационное моделирование, проведена оценка нелинейности функции преобразования.

В **третьей главе** исследовано влияние линейных ускорений и температурных воздействий на характеристики преобразователя. Разработаны алгоритмы адаптации и компенсации внешних дестабилизирующих факторов, основанные на управлении коэффициентом усиления и электростатическими встречно-штыревыми приводами. Показано снижение дополнительной погрешности от воздействия линейного ускорения.

В **четвертой главе** обосновано применение двухволнового метода оптического считывания, позволившего расширить динамический диапазон

преобразователя и снизить температурную погрешность выходного сигнала. Разработана методика расчёта рамочного микрооптоэлектромеханического преобразователя, учитывающая влияние конструктивных и технологических факторов и позволяющая определять допустимые отклонения параметров при проектировании и производстве.

В **заключении** приведены основные научные результаты диссертационной работы.

В качестве **научной новизны** диссертационной работы стоит отметить следующее.

1) Разработана новая функциональная схема рамочного микрооптоэлектромеханического преобразователя угловой скорости, основанная на использовании оптического туннельного эффекта в четырехканальной схеме преобразования сигналов.

2) Предложены новые адаптивные алгоритмы компенсации влияния линейных ускорений, реализующие регулирование коэффициента усиления в контуре управления и использование электростатической обратной связи.

3) Предложен и экспериментально исследован двухволновой метод оптического преобразования перемещений чувствительного элемента, обеспечивающий расширение динамического диапазона рамочного преобразователя. Установлено, что использование двух длин волн излучения позволяет снизить температурную погрешность выходного сигнала.

4) Обоснована и разработана методика расчёта параметров рамочного микрооптоэлектромеханического преобразователя, основанная на применении статистических методов анализа влияния конструктивно-технологических факторов. Показано, что реализация методики позволяет прогнозировать влияние вариаций параметров, устанавливать допустимые пределы их отклонений и обеспечивать требуемые технические характеристики преобразователя.

Практическая ценность работы заключается в том, что разработанные функциональные схемы, математические модели и алгоритмы реализуют повышение точности и стабильности измерений в микрооптоэлектромеханических преобразователях угловой скорости. Предложенные решения обеспечивают возможность их использования в составе высокоточных информационно-измерительных и управляющих систем различного назначения.

Достоверность полученных результатов определяется применением релевантных математических моделей, соответствием результатов моделирования данным, полученным в результате экспериментов.

Апробация работы подтверждена обсуждением основных ее результатов на ведущих российских и международных конференциях.

Соответствие паспорту специальности. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы (технические науки) по пунктам 2 – Исследование возможностей и путей совершенствования существующих и создания новых элементов, частей, образцов информационно-измерительных и управляющих систем, улучшение их технических, эксплуатационных, экономических и эргономических характеристик, разработка новых принципов построения и технических решений; 4 – Расширение функциональных возможностей информационно-измерительных и управляющих систем на основе применения методов измерений контролируемых параметров объектов для различных предметных областей исследования.

По диссертационной работе Васецкого Станислава Олеговича могут быть сделаны следующие **замечания**.

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).

Указанные замечания не являются критическими и не снижают общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение оппонента о соответствии работы требованиям ВАК.
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).

Официальный оппонент

Тимошенко Сергей Петрович

д.т.н. по специальности 05.27.06.

«Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники»,

ФГАОУ ВО «НИУ «МИЭТ», профессор, директор

Института нано- и микросистемной техники.

124498, Москва, Зеленоград, пл. Шокина, 1.

Тел. + 7 (499) 720-87-68, 29-68

e-mail: miet@miet.ru

«7» ноября 2025 г.



Тимошенко С.П.

Подпись официального оппонента Тимошенко Сергея Петровича, д.т.н., директора Института нано- и микросистемной техники ФГАОУ ВО «НИУ «МИЭТ» «подтверждаю».

Ученый секретарь МИЭТ

(должность)

М.П.



(подпись)

Козлов А.В.

(Фамилия И.О.)

СВЕДЕНИЯ ОБ ОФИЦИАЛЬНОМ ОППОНЕНТЕ

диссертационной работы Васецкого Станислава Олеговича на тему «Разработка адаптивного рамочного микрооптоэлектромеханического преобразователя угловой скорости на основе оптического туннельного эффекта», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы (технические науки).

Фамилия, имя, отчество	Тимошенко Сергей Петрович
Ученая степень (с указанием отрасли науки)	Доктор технических наук
Шифр и наименование специальности, по которым защищена диссертация	05.27.06 – технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники
Полное наименование организации (в соответствии с Уставом), являющейся основным местом работы на момент представления отзыва в диссертационный совет	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»
Ведомственная принадлежность	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Занимаемая должность	Директор Института НМСТ НИУ МИЭТ
Адрес организации, телефон, адрес электронной почты	124498, Москва, Зеленоград, пл. Шокина, 1 +7(499) 720-87-68, 29-68 spt111@mail.ru
Список основных публикаций по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние пять лет (не более 15)	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Применение инерциальных МЭМС-модулей в сканирующей LiDAR-системе / А. А. Галкин, П. В. Еркин, В. П. Захаров и др. // Известия высших учебных заведений. Электроника. – 2024. – Т. 29, № 3. – С. 331-345. – DOI 10.24151/1561-5405-2024-29-3-331-345. 2. Экспериментальные исследования возможности применения инерциальных МЭМС в системе автоматического управления парашютно-грузовой платформой / А. А. Галкин, А. С. Тимошенко, П. В. Еркин [и др.] // Гироскопия и навигация. – 2023. – Т. 31, № 3(122). – С. 78-90. 3. Исследование влияния степени вакуумирования на добротность колебательного контура чувствительного элемента МЭМС-датчика / С. П. Тимошенко, А. С. Тимошенко, С. А. Анчутин и др. // Известия высших учебных заведений. Электроника. – 2023. – Т. 28, № 5. – С. 642-648. – DOI 10.24151/1561-5405-2023-28-5-642-648. 4. Вертянов Д.В., Беляков И.А., Погудкин А.В., Тимошенко С.П., Сидоренко В.Н. Исследование влияния механических и температурных воздействий на уровень напряжений и деформаций в герметизированных двумя типами компаундов трехмерных микросборках. Известия высших учебных заведений. Электроника, 2022, Том 27, Номер 1 С. 28-40 5. Галкин А.А., Еркин П.В., Захаров В.П., Соломкина Н.А., Тимошенко А.С., 	

