

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Коробкова Кирилла Андреевича «Разработка и исследование микро-опто-электромеханического адаптируемого преобразователя линейного ускорения на основе методов двухканальной обработки сигналов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления»

Актуальность темы диссертационной работы. В настоящее время существует острая потребность в малогабаритных высокоточных чувствительных преобразователях ускорений (акселерометрах), работоспособных в условиях агрессивных сред, постоянных и импульсных электромагнитных полей, широком диапазоне температур. Такие преобразователи востребованы в областях научно-практической деятельности, связанных с разработкой новых систем управления высокоавтоматизированными транспортными средствами, беспилотными летательными аппаратами, технологическим оборудованием, систем предотвращения чрезвычайных ситуаций техногенного, природного, экологического характера и т.п. Применение оптических средств в преобразователях ускорения позволяет сократить диапазон механических перемещений чувствительного элемента и уменьшить чувствительность к поперечным воздействиям. Поэтому тема представленной диссертационной работы, посвященной разработке и исследованию микро-опто-электромеханического (МОЭМ) адаптируемого преобразователя линейного ускорения на основе методов прецизионного оптического считывания, который способен обеспечить измерение малых линейных ускорений, является актуальной.

Рассмотрение содержания диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и приложений. Объем диссертационной работы составляет 186 страниц, в том числе 146 страниц основного текста, 74 рисунка и 1 таблицу. Список использованных источников из 102 наименований.

Во введении. Определена проблематика и обоснована актуальность темы исследования, поставлена цель исследования, определены объект и предмет исследования, выбраны методы исследования, сформулирована научная новизна и практическая ценность результатов исследования, достоверность

полученных результатов. Приведены основные положения, выносимые на защиту, а также сведения о внедрении результатов работы и их апробации. Описана структура диссертационной работы.

В первой главе. Описаны проблемные вопросы технологического плана, связанные с реализацией малогабаритных преобразователей ускорения, определены перспективы разработки этого класса датчиков на основе комбинации оптических, волоконно-оптических и микроэлектромеханических технологий, направления улучшения их точностных и других характеристик, решения технологических задач изготовления. Проведен обзор конструктивных особенностей чувствительных элементов преобразователей ускорения. Предложено использование акселерометра прямых измерений с маятниковым чувствительным элементом. Проведен аналитический обзор методов считывания микроперемещений чувствительного элемента преобразователей ускорений. Показана целесообразность использования оптических методов съема информации с чувствительного элемента микро-опто-электромеханического преобразователя ускорения. Определены частные задачи исследования.

Во второй главе. Описаны структурные и функциональные схемы преобразователя линейного ускорения, использующего три оптических измерительных канала. Сдвоенный интерферометрический измерительный канал и канал на основе эффекта оптического туннелирования, позволяющие реализовать метод грубо-точных измерений и таким образом увеличить чувствительность и повысить точность преобразователя линейных ускорений. Разработаны математические модели преобразователя линейных ускорений для случая малых перемещений чувствительного элемента, учитывающие его статические и динамические характеристики, математические модели оптических измерительных каналов. Разработан алгоритм работы преобразователя линейного ускорения с адаптируемым оптическим модулем, проведено математическое моделирование датчика.

В третьей главе. Проводится исследование преобразователя линейных ускорений с оптическим считыванием информации и стабилизацией положения микро-опто-электромеханического чувствительного элемента с помощью компенсационной комбинированной обратной связью, для реализации которой используется два преобразователя перемещений – электромагнитный и электростатический. Компенсация положения микро-опто-электромеханического чувствительного элемента позволяет существенно уменьшить статическую погрешность преобразователя линейных ускорений и сократить время переходных процессов при внешних

дестабилизирующих воздействиях. Разработаны структурная и функциональная схемы преобразователя линейных ускорений с компенсацией перемещений чувствительного элемента, математические модели и алгоритмы. Проведено математическое моделирование. Показана возможность улучшения точностных характеристик и разработана конструкция преобразователя линейных ускорений.

В четвертой главе. Проведен анализ влияния параметров компонентов на характеристики микро-опто-электромеханического преобразователя линейных ускорений с оптическим съемом информации. Для корректировки чувствительности преобразователя линейных ускорений предлагается изменять топологию и профиль его чувствительного элемента. Исследована зависимость чувствительности преобразователя от величины зазора между призмой измерительного канала на эффекте оптического туннелирования и чувствительным элементом при изменении длины волны и угла падения оптического излучения. Исследовано влияние газового демпфирования на переходный процесс в преобразователе. Предложен алгоритм повышения точности интерферометрического измерительного канала на основе анализа дробной части полосы интерференционной картины. Проведен анализ погрешностей. Предложена методика проектирования микро-опто-электромеханического датчика линейного ускорения с оптическим съемом информации. Приведена информация о макетировании преобразователя линейного ускорения и результатах его исследования.

В заключении. Приведены наиболее важные научные результаты диссертационной работы.

В приложении. Представлены математические модели в среде графического программирования, информация о преобразованиях и упрощениях, результаты анализа влияния формы чувствительного элемента на величины деформации, текст программы синтеза оптического преобразователя линейного ускорения.

Научная новизна полученных результатов.

Разработан новый микро-опто-электромеханический датчик линейных ускорений с оптическим съемом измерительной информации с использованием методов двухканальной обработки сигналов, содержащий двоярный интерферометрический измерительный канал и канал на основе эффекта оптического туннелирования. Использование двухканальной обработки сигналов и отрицательных электро-механических обратных связей позволили повысить точность, расширить рабочий диапазон и уменьшить влияние помех.

Разработаны новые структурные и функциональные схемы микро-опто-электромеханического преобразователя линейных ускорений с оптическим съемом измерительной информации и отрицательными электро-механическими (электромагнитной и электростатической) обратными связями, что обеспечивает уменьшение минимально детектируемого линейного ускорения (п. 2.1, п.п. 3.1- 3.3, п. 4.4).

Предложен алгоритм повышения точности микро-опто-электромеханического преобразователя линейного ускорения за счет введения отрицательных электро-механических (электромагнитной и электростатической) обратных связей и двухканальной обработки сигналов с применением сдвоенного интерферометрического измерительного канала и канала на основе эффекта оптического туннелирования.

Предложена математическая модель микро-опто-электромеханического преобразователя линейных ускорений с оптическим съемом измерительной информации с использованием методов двухканальной обработки сигналов и отрицательными электромагнитной и электростатической обратными связями.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов.

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов, выводов и заключений подтверждена результатами математического моделирования и экспериментальными исследованиями. Предложенные в диссертационной работе методы и алгоритмы теоретически обоснованы, не противоречат известным положениям.

Основные результаты, полученные в диссертационной работе, прошли апробацию на международных и всероссийской научно-технических конференциях 2018-2021 годов. По теме диссертации опубликовано 20 работ, в т.ч. три статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий Высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, одна статья в ведущем научном журнале, входящем в международные реферативные базы данных. Получено решение о выдаче патента РФ на изобретение.

Практическая и научная ценность выводов и результатов.

Предложенная автором математическая модель микро-опто-электромеханического преобразователя линейного ускорения с оптическим съемом измерительной информации с использованием методов двухканальной обработки сигналов и отрицательными электромагнитной и

электростатической обратными связями и реализованная на ее основе методика расчета позволяют определять основные параметры микро-опто-электромеханического датчика ускорения по заданным исходным данным и техническим и конструктивным требованиям. Предложенный автором алгоритм функционирования и калибровки компенсационного преобразователя линейного ускорения с оптическим считыванием позволяет уменьшить дополнительные погрешности преобразователя, повысить его чувствительность, точность и расширить рабочий диапазон. Проведенное экспериментальное исследование характеристик преобразователя линейного ускорения и оптического измерительного канала на эффекте оптического туннелирования подтверждает правомерность сделанных положений.

Полученные результаты численного и полунатурного моделирования могут быть использованы при разработке и проектировании прецизионных микро-опто-электромеханических преобразователей линейного ускорения. Результаты работы внедрены в работы, проводимые в АО «ГосНИИП», и в учебный процесс МАИ, что подтверждено соответствующими актами.

Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации, корректно отражает основные положения и выводы диссертационной работы.

Замечания по диссертации и автореферату.

1. Не получена аналитическая зависимость влияния технологических погрешностей изготовления оптических компонентов на точностные характеристики чувствительного элемента преобразователя линейного ускорения (п.4.1).

2. Не рассмотрена оптическая схема считывания информации: не выработаны требования к когерентности излучения, расходимости и не обсуждены пути достижения требуемых характеристик (п.4.5).

3. При описании эксперимента не указаны ни тип источника излучения, ни длина волны и ширина спектра, ни тип фотоприемника. Не приведены результаты количественного сравнения результатов теоретического и экспериментального исследований функции преобразования датчика линейных ускорений (п.4.5).

4. Не учтено влияние элементов фиксации («заделки») чувствительного элемента на характеристики преобразователя (п.4.2).

Указанные замечания не снижают ценность и качество научно-исследовательской работы и не являются определяющими.

Заключение оппонента о соответствии работы требованиям ВАК.

Диссертационная работа Коробкова Кирилла Андреевича «Разработка и исследование микро-опто-электромеханического адаптируемого преобразователя линейного ускорения на основе методов двухканальной обработки сигналов» является законченной научно-квалификационной работой, содержит новые результаты, имеющие практическое значение и научную ценность, и новое решение актуальной задачи, связанной с разработкой высокочувствительных преобразователей линейных ускорений на основе элементов оптической техники для систем управления объектами. Диссертационная работа Коробкова Кирилла Андреевича, отвечает всем критериям, изложенным в постановлении ВАК «О присуждении учёных степеней». Автор диссертационной работы заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления».

Официальный оппонент

Горшков Борис Георгиевич, доктор технических наук по специальности 20.02.25 – «Военная электроника, аппаратура комплексов военного назначения», ведущий научный сотрудник федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» (ИОФ РАН).

119991 ГСП-1, г. Москва, ул. Вавилова,
д. 38.

Ведущий научный сотрудник

Телефон: +7 (903) 271-0783

Электронная почта: bgorshkov@gmail.com

« 10 » марта 2022г.



Б.Г. Горшков

Подпись официального оппонента Горшкова Бориса Георгиевича д.т.н., в.н.с. федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» (ИОФ РАН) «заверяю».

ВРИО ученого секретаря, д.ф.-м.н.



В.В. Глушков