

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Коробкова Кирилла Андреевича
на тему: «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

Современные технические системы нуждаются в миниатюрных прецизионных преобразователях различных физических величин с широким диапазоном измерения, способных работать в сложных условиях эксплуатации. Такие преобразователи могут быть реализованы на основе достижений микроэлектромеханики, которая представляет собой интеграционное решение, включающее микромеханические и электрические системы. Для повышения чувствительности и динамического диапазона преобразователей целесообразно использовать оптические средства съема измерительной информации. Поэтому диссертационная работа Коробкова К.А., посвященная разработке адаптируемого преобразователя линейного ускорения на основе микроэлектромеханики и оптоэлектроники и методов двухканальной обработки сигналов, является актуальной.

Рассмотрение содержания диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и приложений. Объем работы составляет 186 страниц, в том числе 146 страниц основного текста. Работа включает 74 рисунка и 1 таблицу. Список использованных источников включает 102 наименования.

Во введении определена тематика диссертации и обоснована ее актуальность. Определены цель, объект и предмет исследования, выбраны методы исследования. Сформулирована научная новизна и практическая ценность результатов исследования, достоверность полученных результатов диссертационного исследования. Сформулированы основные научные положения, выносимые на защиту. Приведены сведения о внедрении результатов работы и их апробации.

В первой главе описаны перспективы разработки и использования микро-опто-электромеханических измерительных преобразователей линейных ускорений, включающие в свой состав микрооптические и микроэлектромеханические компоненты. Показаны потенциальные возможности улучшения их характеристик. На основе выполненного аналитического обзора методов считывания микроперемещений чувствительного элемента и рассмотренных конструктивных вариантов исполнения для дальнейшего анализа выбрана реализация измерительного

преобразователя прямых измерений с маятниковым чувствительным элементом и оптическим съемом измерительной информации. Сформулированы частные задачи исследования.

Во второй главе Представлены структурная и функциональная схемы микро-опто-электромеханического преобразователя линейного ускорения. Преобразователь включает интерферометрический двоянный измерительный канал и канал оптического туннелирования, что позволяет реализовать грубо-точный метод измерения, за счет которого автор решает задачи увеличения чувствительности и повышения точности преобразования. Сделаны допущения и разработана математическая модель измерительного преобразователя для статического и динамического режимов и математические модели его узлов. Разработан алгоритм работы преобразователя и проведено его моделирование.

В третьей главе проводится тестирование преобразователя линейного ускорения с оптическим считыванием измерительной информации. С целью повышения точностных характеристик измерительного преобразователя, расширения диапазона измерения ускорений и уменьшения погрешности, вносимой поперечными ускорениями, вводятся электромеханические обратные связи (электромагнитная и электростатическая), которые за счет компенсации действия линейного ускорения, осуществляют стабилизацию положения чувствительного элемента преобразователя. Электромеханические обратные связи позволяют также повысить быстродействие преобразователя за счет демпфирования колебаний чувствительного элемента, вызванных внешними воздействиями. Разработаны структурная и функциональные схемы компенсационной измерительного преобразователя линейного ускорения с одноконтурной и двухконтурной обратными связями. Разработана модель модуля линеаризации, приводящая функцию преобразования измерительного преобразователя к линейному виду, математические модели преобразователя для нескольких вариантов реализации. Описаны алгоритмы функционирования и калибровки. Проведено исследование устойчивости и электростатического демпфирования. Описан вариант новой конструктивной реализации четырехканального чувствительного элемента, предлагаемого к реализации.

В четвертой главе приведено описание результатов анализа влияния конструктивных параметров (чувствительного элемента и оптических элементов съема измерительной информации), газового демпфирования, коэффициента обратной связи на характеристики преобразователя линейного ускорения, влияния внешних дестабилизирующих воздействий (температуры и поперечного ускорения). Оценены минимальное детектируемое ускорение и динамический диапазон преобразователя. Приведен алгоритм повышения точности интерферометрического

измерительного канала. Проведено экспериментальное исследование параметров компонентов преобразователя. Предложена методика проектирования микро-опто-электромеханического преобразователя линейного ускорения с оптическим считыванием измерительной информации, разработана программа для компьютера, автоматизирующая этот процесс.

В целом, диссертационная работа Коробкова К.А. является законченным научным исследованием, в котором решаются актуальные задачи разработки прецизионного микро-опто-электромеханического измерительного преобразователя линейного ускорения.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов

Достоверность полученных в диссертационной работе научных положений, выводов и заключений подтверждена результатами математического моделирования и экспериментальными исследованиями. Предложенные автором математические модели, методы и допущения теоретически обоснованы, не противоречат известным положениям. Полученные результаты прошли сопоставление с известными.

Основные результаты, полученные в диссертационной работе, прошли апробацию на международных и всероссийских конференциях с 2018 г. по 2021 г. По теме диссертации опубликовано 20 работ, в том числе три статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий Высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего образования РФ, одна статья в ведущем научном журнале, входящем в международные реферативные базы данных. Получено решение о выдаче патента РФ на изобретение (Приложение В).

Научная новизна полученных результатов

Предложен новый микро-опто-электромеханический измерительный преобразователь линейного ускорения с оптическим съемом измерительной информации, включающий в максимальной комплектации до четырех измерительных каналов (до двух дифференциальных, интерферометрических и на эффекте оптического туннелирования) и до четырех каналов электромеханической обратной связи (до двух дифференциальных, электромагнитных и электростатических), позволяющих повысить точность, чувствительность, расширить рабочий диапазон, уменьшить влияние внешних воздействий на характеристики преобразователя (п. 1.3, п. 2.1, п. 3.1-3.3, п. 4.4).

Предложены новые структурные и функциональные схемы микро-опто-электромеханического измерительного преобразователя линейного ускорения с оптическим съемом измерительной информации, включающие в свой состав микрооптические, волоконно-оптические, микроэлектромеханические компоненты, оптико-электронные схемы преобразования и микропроцессорную схему обработки, позволяющую

реализовать гибкие алгоритмы управления и линеаризовать функцию преобразования измерительного преобразователя (п. 2.1, п. 3.1-3.3, п. 4.4).

Предложена математическая модель микро-опто-электромеханического измерительного преобразователя линейного ускорения с комбинированной электромеханической (электромагнитной и электростатической) обратной связью с линеаризацией функции преобразования, математические модели, описывающие компоненты микро-опто-электромеханического измерительного преобразователя (п. 2.2, п. 2.3, п. 2.4, п. 3.1.3, п. 3.2.2).

Предложен метод повышения точности микро-опто-электромеханического измерительного преобразователя линейного ускорения, предусматривающий анализ дробной части полосы интерференционной картины, стабилизацию положения чувствительного элемента измерительного преобразователя за счет введения двухконтурных электромеханических компенсационных обратных связей (п. 3.2.2), калибровку измерительного преобразователя при запуске процесса измерения (п. 3.1.5).

Практическая и научная ценность выводов и результатов

Предложенная автором методика проектирования (п. 4.6) позволяет спроектировать микро-опто-электромеханический преобразователь линейного ускорения в автоматизированном режиме. На основе исходных данных реализуется выбор структуры и рассчитываются параметры конструкции преобразователя. Процесс автоматизируется в программном обеспечении, разработанном автором для этой цели (п. 4.6.2, Приложение Ж).

Метод повышения точности микро-опто-электромеханического измерительного преобразователя линейного ускорения, предусматривающий реализацию грубо-точного измерения (п. 3.3), анализ дробной части полосы интерференционной картины (п. 4.6), стабилизацию положения чувствительного элемента за счет введения двухконтурных электромеханических компенсационных обратных связей (п. 3.2.2), демпфирование колебаний чувствительного элемента (п. 3.2.4), калибровку измерительного преобразователя при запуске процесса измерения (п. 3.1.5) может использоваться для улучшения точностных характеристик преобразователей данного класса при их реализации.

Практическую ценность также представляют предложенные автором схемы, алгоритмы и математические модели микро-опто-электромеханического преобразователя линейного ускорения.

Результаты работы внедрены в АО «ГосНИИП» и в учебный процесс Московского авиационного института (МАИ), что подтверждено актами внедрения (Приложение А, Приложение Б).

Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации

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

Замечания по диссертационной работе и автореферату

1) Недостаточно подробно описан алгоритм проверки работоспособности и калибровки используемых электромагнитных и электростатических преобразователей перемещений (п. 3.1);

2) В диссертации разработано большое число математических моделей для элементов измерительной цепи рассматриваемого датчика (п. 2.2-2.4, Приложение Г). Вместе с тем некоторые вопросы идентификации этих моделей остались за рамками исследования;

3) При оценке влияния внешних дестабилизирующих факторов на погрешности преобразователя линейного ускорения основное внимание уделено влиянию температуры и поперечного ускорения. Желательно было бы оценить и влияние изменения давления окружающей среды и его пульсаций на характеристики оптического чувствительного элемента измерительного преобразователя (п. 4.2);

4) Не приведены значения параметров демпфирования колебаний чувствительного элемента при использовании электромагнитной обратной связи (п. 3.2);

5) Судя по результатам исследования (п. 3.2), наличие электромагнитной и электростатической обратных связей, с одной стороны, положительно влияет на характеристики измерительного преобразователя, но, с другой стороны, приводит к сужению его полосы пропускания. Для практики важен вопрос, какую полосу пропускания датчика потенциально можно ожидать без подстройки коэффициентов обратных связей в процессе его эксплуатации;

6) Не приведена величина быстродействия измерительного преобразователя, не указано время выхода на рабочий режим, время единичного измерения, время серии измерений;

7) Не приведены мощность, потребляемая измерительным преобразователем, и требования к стабильности параметров источника питания.

Указанные замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на положительную оценку диссертационной работы Коробкова К.А.

Заключение оппонента о соответствии работы требованиям ВАК

В целом, диссертационная работа Коробкова Кирилла Андреевича «Разработка и исследование микро-опто-электромеханического адаптируемого преобразователя линейного ускорения на основе методов двухканальной обработки сигналов» является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей законченное научное исследование, содержит новое решение актуальной задачи разработки

миниатюрных прецизионных микро-опто-электромеханических преобразователей линейных ускорений, объединенных общим подходом, включает новые результаты, имеющие научную ценность и большое практическое значение.

Диссертационная работа Коробкова Кирилла Андреевича, отвечает всем критериям, изложенным в «Положении о присуждении учёных степеней» ВАК. 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

Кулабухов Владимир Сергеевич, кандидат технических наук по специальности 20.02.14 – «Вооружение и военная техника. Комплексы и системы военного назначения», главный конструктор тематического направления № 17 АО Московский научно-производственный комплекс «Авионика» имени О.В. Успенского.
127055, г. Москва, ул. Образцова, д. 7.
Главный конструктор тематического направления № 17
Телефон: +7 (965) 119-4038
Электронная почта: kws0704@mail.ru

« 15 » 03 2022г.



В.С. Кулабухов

Подпись официального оппонента Кулабухова Владимира Сергеевича к.т.н., главного конструктора тематического направления № 17 АО Московский научно-производственный комплекс «Авионика» имени О.В. Успенского «заверяю».

Помощник управляющего директора
по кадрам начальник отдела кадров



О.Б. Прибылова