

Стенограмма
заседания диссертационного совета
Д002.226.03

4 апреля 2022 года

Защита диссертации Коробковым Кириллом Андреевичем на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Разработка и исследование микро-опто-электромеханического адаптируемого преобразователя линейного ускорения на основе методов двухканальной обработки сигналов» по специальности: 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления».

Стенограмма

заседания диссертационного совета Д 002.226.03 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте Проблем Управления им. В.А. Трапезникова РАН

Председатель диссертационного совета – д.т.н. О.П. Кузнецов
Ученый секретарь – к.т.н. А.А. Кулинич

Д.т.н. Кузнецов О.П. (Председатель Совета): Уважаемые члены совета! Позвольте открыть заседание диссертационного совета. Состав Совета утвержден в количестве 22 человек. На заседании из 22 членов присутствует 17 человек (*по профилю рассматриваемой специальности присутствуют 6 доктора наук*):

1. Кузнецов О.П.	доктор технических наук	05.13.11
2. Вишневецкий В.М.	доктор технических наук	05.13.15
3. Кулинич А.А.	кандидат технических наук	05.13.05
4. Бусурин В.И.	доктор технических наук	05.13.05
5. Васильев С.Н.	академик	05.13.15
6. Выхованец В.С.	доктор технических наук	05.13.15
7. Калянов Г.Н.	доктор технических наук	05.13.11
8. Каравай М.Ф.	доктор технических наук	05.13.11
9. Касаткин С.И.	доктор технических наук	05.13.05
10. Краснова С.А.	доктор технических наук	05.13.11
11. Лебедев В.Г.	доктор технических наук	05.13.05
12. Подлазов В.С.	доктор технических наук	05.13.15
13. Семенов В.С.	доктор технических наук	05.13.05
14. Совлуков А.С.	доктор технических наук	05.13.05
15. Стецюра Г.Г.	доктор технических наук	05.13.15
16. Фархадов М.П.	доктор технических наук	05.13.15
17. Юркевич Е.В.	доктор технических наук	05.13.05

Так как кворум имеется, разрешите заседание считать правомочным. Возражений нет? Нет. (*Предложение принимается единогласно*). Кворум у нас есть, поэтому начинаем заседание нашего диссертационного совета.

На повестке дня защита диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук Коробковым Кириллом Андреевичем на тему «Разработка и исследование микро-опто-электромеханического адаптируемого преобразователя линейного ускорения на основе методов двухканальной обработки сигналов» по специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления». Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор кафедры «Системы автоматического и интеллектуального управления» Московского авиационного института Бусурин Владимир Игоревич. Официальные оппоненты: Горшков Борис Георгиевич, гражданин России, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Кулабухов Владимир Сергеевич, гражданин России, кандидат технических наук, доцент, главный конструктор тематического направления № 17 АО Московский научно-производственный комплекс «Авионика» им. О.В. Успенского. Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».

Слово предоставляется учёному секретарю Совета, кандидату технических наук Кулиничу А.А. для оглашения материалов личного дела соискателя.

К.т.н. Кулинич А.А. (учёный секретарь Совета): *(Оглашает документы, имеющиеся в личном деле соискателя. Сообщает о соответствии представленных документов и материалов предварительной экспертизы требованиям «Положения ВАК РФ о порядке присуждения учёных степеней и учёных званий»).*

Доброе утро, уважаемые коллеги. В деле имеются биографические данные. Коробков Кирилл Андреевич, 1994 года рождения, гражданин России, образование – высшее. В 2017 году окончил МАИ, в 2021 году окончил аспирантуру МАИ, присвоена квалификация «Исследователь. Преподаватель-исследователь» по направлению «Управление в технических системах». Имеет 20 научных публикаций по теме диссертации. Кирилл Андреевич сдал все необходимые документы для защиты в диссертационный совет. Замечаний у меня нет.

Д.т.н. Кузнецов О.П. (Председатель Совета): Имеются ли вопросы к учёному секретарю? Вопросы нет. Слово для изложения основных положений предоставляется соискателю Коробкову Кириллу Андреевичу.

Коробков К.А. (соискатель): *(Кратко излагает актуальность темы, основные положения диссертации, содержащие научную новизну, результаты исследований. Автореферат диссертации и раздаточный материал имеется у каждого члена Совета и в личном деле соискателя.)*

Д.т.н. Кузнецов О.П. (Председатель Совета): Спасибо, Кирилл Андреевич. Кто желает задать вопросы?

Д.т.н. Семенов В.С. (член Совета): Какой порядок величины перемещений, представленных на слайде 39?

Коробков К.А. (соискатель): Единицы, умноженные на 10^{-7} метров.

Д.т.н. Семенов В.С. (член Совета): На основании чего построена математическая модель, представленная на слайде 16?

Коробков К.А. (соискатель): На основании физических законов. Выводы модели присутствуют в диссертации.

Д.т.н. Выхованец В.С. (член Совета): Я в Вашем докладе не услышал сравнения полученных погрешностей с другими известными методами. Не ухудшены ли известные результаты?

Коробков К.А. (соискатель): Было сравнение минимально детектируемого линейного ускорения с аналогами: MEMSIC, Bosch, STM. Минимально детектируемое ускорение при схожих прочих характеристиках, например диапазону измерений, находится на аналогичном уровне и несколько улучшает его. В отношении Bosch – в несколько раз. В отношении преобразователя от STM – в 2,5 раза.

Д.т.н. Выхованец В.С. (член Совета): Сравнивалась ли погрешность?

Коробков К.А. (соискатель): Погрешность оценивалась по уровню минимально детектируемого ускорения.

Д.т.н. Вишневский В.М. (член Совета): Каким образом математическая модель позволяет повысить точность расчёта характеристик?

Коробков К.А. (соискатель): Точность расчёта характеристик удалось повысить за счёт исключения влияния погрешности нелинейности датчика на основе оптического туннельного эффекта, благодаря модулю линеаризации.

Д.т.н. Вишневский В.М. (член Совета): Использовались ли практические результаты работы в НИР, НИОКР?

Коробков К.А. (соискатель): Практические результаты работы используются в АО «ГосНИИП», что подтверждается актом внедрения. Результаты могут быть использованы.

Д.т.н. Краснова С.А. (член Совета): Адаптируемым к чему является преобразователь?

Коробков К.А. (соискатель): Имеется в виду адаптация положения призмы полного внутреннего отражения к чувствительному элементу на основе измерений интерферометрического канала, за счёт пьезоактюатора.

Д.т.н. Краснова С.А. (член Совета): Является ли данная схема типовой?

Коробков К.А. (соискатель): Данная схема не является типовой.

Д.т.н. Юркевич Е.В. (член Совета): Исследовалась ли надёжность моделей, то есть ошибки в работе этих моделей?

Коробков К.А. (соискатель): Ошибки в работе моделей не исследовались. В основном тексте диссертационной работы приведён подробный вывод математических моделей, подтверждающий их корректность.

Д.т.н. Юркевич Е.В. (член Совета): Исследовалось ли влияние внешних факторов на надёжность?

Коробков К.А. (соискатель): В рамках данного исследования не производился расчёт надёжности. Исследованию подлежали такие внешние факторы, как температура и поперечное ускорение.

Д.т.н. Стецюра Г.Г. (член Совета): Является ли 10g максимальным ускорением? Для каких областей возможно применение?

Коробков К.А. (соискатель): 10g было принято для удовлетворения требований. Преобразователь ускорения может воспринимать и большие ускорения. Предполагается измерение до 100g для применения в авиационной технике, робототехнике.

Д.т.н. Кузнецов О.П. (Председатель Совета): Вопросы еще есть? Спасибо. Поскольку вопросов к Кириллу Андреевичу больше нет, переходим к обсуждению диссертационной работы, слово предоставляется научному руководителю, доктору технических наук, профессору кафедры «Системы автоматического и интеллектуального управления» Московского авиационного института (национального исследовательского университета) Бусурину Владимиру Игоревичу.

Д.т.н. Бусурин В.И. (научный руководитель): (зачитывает отзыв (прилагается)).

Д.т.н. Кузнецов О.П. (Председатель Совета): Слово предоставляется ученому секретарю Кулиничу А.А.

К.т.н. Кулинич А.А. (учёный секретарь Совета): В деле соискателя имеется заключение организации, где выполнена диссертация – Московского авиационного института. Это заключение было подписано заведующим кафедрой «Системы автоматического и интеллектуального управления» МАИ академиком РАН, доктором технических наук, профессором Желтовым С.Ю. и учёным секретарём этой же кафедры, кандидатом технических наук Макаренковой Н.А. Заключение утверждено исполняющим обязанности проректора по научной работе МАИ, доктором технических наук, профессором Равиковичем Ю.А. Кроме этого, в деле имеется заключение экспертной комиссии ИПУ РАН, в состав которой входили Семенов Владимир Семенович, Касаткин Сергей Иванович и Совлуков Александр Сергеевич. Заслушав доклад и сделав ряд замечаний, семинар постановил, что работа может быть представлена к защите на нашем Совете.

На автореферат было получено 9 отзывов (ФГБОУ ВО «РГРТУ», Самарский университет, ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова», НИЯУ МИФИ, ПАО «МИЭА», ЗАО ЦНИТИ «Техномаш-ВОС», филиал ВА РВСН, ФГБОУ ВО ТулГУ, ФАУ «ГосНИИАС»). Все отзывы положительные, имеются замечания (*делает обзор отзывов*).

Поступил отзыв ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана), подписанный Красовским Александром Борисовичем, профессором, д.т.н. по специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы» ФГБОУ ВО МГТУ им. Н.Э. Баумана, зав. кафедрой Электротехники и промышленной электроники, и Васюковым Сергеем Александровичем, доцентом, д.т.н. по специальности 05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления» ФГБОУ ВО МГТУ им. Н.Э. Баумана, проф. кафедры Электротехники и промышленной электроники. Отзыв утвержден исполняющим обязанности ректора ФГБОУ ВО МГТУ им. Н.Э. Баумана, кандидатом технических наук Гординым Михаилом Валерьевичем. Изложено содержание диссертационной работы по главам, так же отмечаются основные научные результаты. Использование результатов диссертационной работы возможно в таких организациях, как АО «ГосНИИП», ФГУП «ГосНИИАС», ПАО «МИЭА», АО МНПК «Авионика». Исследования в области микро-опто-электромеханических преобразователей линейного ускорения следует продолжать в МАИ и АО «ГосНИИП». Имеются небольшие замечания:

1. Не в полном объеме оценено влияние дестабилизирующих факторов и помех на точностные характеристики преобразователя, в частности, влияние электрических и магнитных полей на контуры с электромагнитной и электростатической обратными связями.
2. Не приведены сведения о влиянии изменения площади оптического туннелирования на точность измерений соответствующим измерительным каналом (п. 2.3.2).
3. Не оценена возможность повышения скорости демпфирования вынужденных колебаний ЧЭ преобразователя и повышения чувствительности в области малых сигналов за счет перевода электромагнитных и электростатических исполнительных элементов из поочередного в дифференциальный режим работы.
4. Недостаточно обоснован выбор материалов при изготовлении оптической части макета преобразователя ускорений.
5. Из описания алгоритма функционирования преобразователя ускорения не ясно, каким образом осуществляется этап калибровки (п. 3.1.5, Рисунок 25).
6. Не приведены геометрические размеры основных узлов преобразователя (зазоры между чувствительным элементом и призмами, размеры магнитов электромагнитного и электродов электростатического датчиков момента и т.п.), что не позволяет оценить возможность его технической реализации и провести сравнение с существующими МЭМС-акселерометрами, имеющими сопоставимые массогабаритные характеристики.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден и одобрен на заседании кафедры «Электротехника и промышленная электроника» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».

В деле имеются два акта о внедрении результатов диссертационной работы в АО «ГосНИИП» и учебный процесс МАИ (*делает обзор актов*).

В деле имеются патент Российской Федерации на изобретение «Микро-опто-электромеханический компенсационный преобразователь линейных ускорений с контурами грубо-точной стабилизации чувствительного элемента». Патент получен в начале ноября 2021 года.

Д.т.н. Кузнецов О.П. (Председатель Совета): Спасибо, Александр Алексеевич. Есть ли вопросы к Александру Алексеевичу? Нет. Слово предоставляется первому официальному оппоненту доктору технических наук, ведущему научному сотруднику Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН Горшкову Борису Георгиевичу.

Д.т.н. Горшков Б.Г. (официальный оппонент): (*зачитывает положительный отзыв (прилагается)*).

Д.т.н. Кузнецов О.П. (Председатель Совета): Есть вопросы к Борису Георгиевичу?

Д.т.н. Выхованец В.С. (член Совета): Ранее в этой области разве не использовались два метода одновременно для съёма данных?

Д.т.н. Горшков Б.Г. (официальный оппонент): Использование интерферометрического метода и метода полного внутреннего отражения мной ранее не встречалось ни в области акселерометрии, ни в гравиметрии. Нельзя сказать, что использование двух методов обладает феноменальной новизной. Но в данной области конкретного сочетания не встречалось. Новизна в этом смысле имеется. Настолько подробного анализа я больше нигде не встречал.

Д.т.н. Кузнецов О.П. (Председатель Совета): Слово предоставляется второму официальному оппоненту Кулабухову Владимиру Сергеевичу, кандидату технических наук, доценту, главному конструктору тематического направления АО Московский научно-производственный комплекс «Авионика» им. О.В. Успенского.

К.т.н. Кулабухов В.С. (официальный оппонент): (*зачитывает положительный отзыв (прилагается)*).

Д.т.н. Кузнецов О.П. (Председатель Совета): Есть вопросы к Владимиру Сергеевичу? Нет. Слово предоставляется соискателю Кириллу Андреевичу для ответа на замечания, содержащиеся в отзывах, и на замечания официальных оппонентов.

Коробков К.А. (соискатель): Спасибо, всем кто писал отзывы на мою работу. Хотел бы на некоторые замечания ответить:

1. На замечание, касающееся аналитической зависимости влияния технологической погрешности, хотел бы сказать, что была проведена оценка влияния некоторых параметров конструкции на характеристики преобразователя. Да, я ограничился численными исследованиями.
2. По поводу замечания, касающегося описания эксперимента: для эксперимента был использован визуальный дефектоскоп с длиной волны $650 \text{ нм} \pm 10 \text{ нм}$, с выходной мощностью 10 мВт. Также использовался измеритель оптической мощности и высокоскоростной PIN-фотодиод, спектральный диапазон которого составляет 400 – 1100 нм.
3. По результатам исследований выполнено качественное сравнение результатов теоретического и экспериментального исследований.

4. По поводу влияния «заделки»: да, в математической модели влияние «заделки» не учитывалось, но выполнено частное исследование влияния топологий чувствительного элемента на его перемещения.

5. Насчёт замечания о математических моделях: хотел бы ещё раз сказать, что они построены на основе физических законов, а также в приложении приведён довольно подробный их вывод, который позволяет подтвердить корректность математических преобразований.

6. По поводу замечания о полосе пропускания компенсационного преобразователя: хотел бы сказать, что она может быть выбрана из потребностей конкретного пользователя и в процессе работы не корректироваться.

7. По поводу замечания о величине быстродействия и времени единичного измерения: они были оценены по реакции на ступенчатое воздействие на преобразователь и составляли порядка 0,01 секунды.

8. Касательно замечания о параметрах источника питания: для оптической системы достаточно будет мощности порядка десятков мВт. Следует отметить, что преобразователь является чувствительным к пульсациям питания, но эти пульсации можно снизить, благодаря известным схемам стабилизации.

9. Также было замечание по поводу формулировки о погрешности вычислительной среды: подразумевалась погрешность округления системы.

10. По поводу сравнения с известными преобразователями: несколько выполнено сравнение с преобразователями, ранее упомянутыми, Bosch и STM. По сравнению с Bosch Sensortec чувствительность разработанного преобразователя больше в несколько раз, а по сравнению с преобразователем от STM чувствительность больше, практически, в 2,5 раза.

11. Также некоторые замечания по поводу автореферата: некоторые аспекты работы более подробно рассмотрены в самом тексте диссертации, а не в автореферате, например, вопрос газового демпфирования.

Собственно, со всеми остальными замечаниями согласен, они будут учтены в моих будущих работах.

Д.т.н. Кузнецов О.П. (Председатель Совета): Переходим к свободной дискуссии. Кто желает выступить?

Жеглов М.А. (Государственный научно-исследовательский институт приборостроения): Здравствуйте, уважаемые коллеги, меня зовут Жеглов Максим Александрович. Я работаю в АО «Государственный научно-исследовательский институт приборостроения». Собственно, эта работа проводилась и в наших интересах. Я хотел бы подчеркнуть актуальность этой задачи. Мне кажется, мы были в какой-то степени инициаторами этой работы, потому что наше предприятие занимается разработкой систем управления для высокодинамичных беспилотных объектов. И в настоящий момент мы столкнулись с такой проблемой, несколько растянутой во времени, что те датчики и преобразователи, какие используются, это в основном кремниевые акселерометры, динамически настраиваемые гироскопы, они не удовлетворяют тем требованиям, какие предъявляются к перспективным изделиям. Причём, как это ни странно, не по точности не удовлетворяют, а в основном – по совокупности характеристик стоимость-точность. При построении новых изделий существенным образом предъявляются более жёсткие требования к стоимости изделий. Стоимость изделий снижается в разы. И альтернативы тем датчикам, какие используются в настоящий момент, кроме МЭМС-датчиков, нет. Но МЭМС-датчики, в свою очередь, не удовлетворяют по точности тем требованиям, какие мы предъявляем. И эта работа является одним из направлений, которое позволяет повысить точностные характеристики МЭМС-датчиков и расширить существенным образом их сферу применения. Поэтому те научно-технические идеи и предложения, какие предлагает автор, на наш взгляд, они кажутся очень актуальными. Понятно, что все те замечания, которые были озвучены, безусловно актуальны. И если на них дать ответ, то уже получится законченное изделие. Мы рассчитываем, что с нашей помощью автор дойдёт до этого этапа, когда он сможет не только представить

