

**Заключение диссертационного совета Д. 212.173.03 на базе
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Новосибирский государственный технический
университет», Министерство образования и науки Российской Федерации по
диссертации на соискание учёной степени кандидата наук**

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета Д. 212.173.03 от 14.12.2016 г. № 1

О присуждении **Барбину Евгению Сергеевичу**, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Динамика многокомпонентного микромеханического гироскопа-акселерометра с развязывающими рамками» по специальности 05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах» принята к защите 10.10.2016, протокол № 2 диссертационным советом Д. 212.173.03 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Министерство образования и науки Российской Федерации, 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, утверждённым приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 766/нк от 05.11.2013 г.

Соискатель Барбин Евгений Сергеевич 1988 года рождения.

В 2012 году соискатель окончил магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Министерство образования и науки РФ по направлению «САПР в приборостроении».

В 2016 году соискатель окончил обучение в очной аспирантуре Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Министерство образования и науки РФ.

Соискатель работает инженером кафедры Точного приборостроения Института неразрушающего контроля в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Министерство образования и науки Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре Точного приборостроения Института неразрушающего контроля в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Министерство образования и науки РФ.

Научный руководитель – кандидат технических наук, **Нестеренко Тамара Георгиевна**, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Институт неразрушающего контроля, кафедра Точного приборостроения, доцент.

Официальные оппоненты:

Лысенко Игорь Евгеньевич - доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», кафедра Конструирования электронных средств, заведующий кафедрой.

Зиновьев Вадим Борисович - кандидат технических наук, Акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Восток», отдел микроэлектроники, начальник лаборатории.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», г. Москва, г. Зеленоград в своём положительном отзыве, подписанном Тимошенковым Сергеем Петровичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедры Микроэлектроники, Бритковым Олегом Михайлович, кандидатом технических наук, учёным секретарём семинара, Ларионовым Николаем Михайловичем,

кандидатом технических наук, учёным секретарём НИУ МИЭТ и утверждённым Гавриловым Сергеем Александровичем, доктором технических наук, профессором, проректором по научной работе НИУ МИЭТ, указала, что диссертационная работа Барбина Е.С. является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной автором на актуальную тему, имеющую важное значение для совершенствования первичных измерительных преобразователей для измерения угловой скорости и ускорения подвижного объекта, соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным п. 9 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах.

Соискатель имеет 27 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 13 работ, из них 4 статьи, опубликованных в рецензируемых научных изданиях (1 статья с импакт-фактором более 1), а также 8 статей в материалах научно-технических конференций и 1 патент на изобретение (общий объем научных изданий составляет 8,5 авторских листа, авторский вклад - 55%). Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1) **Barbin E.** Three-axis MEMS Accelerometer for Structural Inspection/ E. Barbin, A. Koleda, T. Nesterenko, S. Vtorishin // All-Russian Conference on Innovations in Non-Destructive Testing SibTest with international participation. Journal of Physics: Conference Series.-27-31 July 2015.-Volume 671.

2) **Barbin E.S.** Temperature error compensation in two-component Micromechanical Gyroscope / T.G. Nesterenko, E.S. Barbin, A.N. Koleda, S.V. Uchaikin // IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology.- 2014.- Volume 4, Issue 10.- p. 1598-1605.

3) **Барбин Е.С.** Моделирование влияния технологических дефектов на характеристики упругих подвесов микроэлектромеханических систем / Т.Г. Нестеренко, Е.С. Барбин, А.Н. Коледа // Промышленные АСУ и контроллеры.- 2013.-

№7. – С. 60-66.

4) **Барбин Е.С.** Диагностика перекрёстных связей в двухкомпонентном микромеханическом датчике угловой скорости / Т.Г. Нестеренко, Е.С. Барбин, А.Н. Коледа, М.В. Пересветов, В.А. Колчужин, С.Я. Бурганова // Контроль. Диагностика. - 2012 - №11(173) - С. 46-50.

5) **Барбин Е.С.** Интегральный микромеханический гироскоп / Т.Г. Нестеренко, Е.С. Барбин, О.В. Лысова, А.Н. Коледа, В.А. Колчужин // Патент на изобретение № 2503924 от 10.01.14, приоритет от 30.05.2012, Российская Федерация, 2014.

На диссертацию и автореферат поступило 6 отзывов:

1) Акционерное общество Научно-производственный центр «Полюс», г. Томск, начальник отделения электромеханики, к.т.н., Тверяков О.В.; 2) Открытое акционерное общество «ЛИТ-ФОТОН», г. Москва, к.т.н., с.н.с. отдела исследований перспективной электронной компонентной базы, Ю.А. Евстифеев; 3) Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», г. Санкт-Петербург, заслуженный деятель науки РФ, д.т.н., профессор кафедры «Эксплуатации и управления в аэрокосмических системах», Л.А. Северов; 4) Акционерное общество «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», г. Санкт-Петербург, к.т.н., доцент, Начальник сектора отдела микромеханических (инерциальных) интеллектуальных датчиков, Я.А. Некрасов; 5) Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, д.физ.-мат.н., доцент, заведующий кафедрой "Приборостроение и наноэлектроника", А.А. Левицкий; 6) Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет), г. Челябинск, д.т.н., действительный член Академии навигации и управления движением, почётный работник ВПО РФ, профессор кафедры Приборостроения, А.Н. Лысов.

Все отзывы положительные, критические замечания сводятся к следующему:

1) о работоспособности предложенного диссертантом многокомпонентного гироскопа-акселерометра на подвижных объектах, например, летательных аппаратах, можно судить только после его вибрационных исследований, которые в работе не были проведены; 2) в экспериментальной части определения температурной чувствительности полученных упругих подвесов, способных перемещаться вне плоскости сенсора за основу взята идеальная конечно-элементная модель. Было бы целесообразней промоделировать эту зависимость с учётом технологических погрешностей, а затем сравнить с экспериментально полученными данными; 3) стоит отметить, что не рассмотрены вопросы взаимовлияния вибрирующих двухкомпонентных гироскопов-акселерометров, повёрнутых друг относительно друга на 90° , формирующих многокомпонентную микросистему; 4) отсутствие сравнения полученных результатов анализа упругих элементов с опубликованными в литературе; 5) некорректные утверждения о том, что гироскопы с антифазным движением масс и развязывающими рамками существуют только для однокомпонентных вариантов; 6) целесообразно было бы сравнить предложенную автором конструкцию гироскопа с используемой на практике структурой, в которой многокомпонентная система возбуждения построена по принципу "beating heart". 7) Автор акцентирует внимание на конструкционных способах уменьшения температурной чувствительности микромеханических сенсоров, однако по тексту автореферата неясно, проводился ли анализ других возможных способов уменьшения этого влияния.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается высокой квалификацией выбранных специалистов и их достижениями в рассматриваемой области, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая научная концепция построения многокомпонентного микромеханического инерциального сенсора и его математическая модель, учитывающая влияние дестабилизирующих факторов, использующего антифазные первич-

ные колебаний и развязывающие рамки между осями первичных и вторичных колебаний и позволяющего измерять векторы угловой скорости и линейного ускорения, на основе использования упругого подвеса, способного перемещаться вне плоскости сенсора при планарной технологии изготовления;

предложен нетрадиционный подход к решению проблемы температурных изменений собственных частот упругих подвесов, возникающих в основном за счёт внутренних напряжений при соединении материалов с разными температурными коэффициентами линейного расширения, что позволяет максимально уменьшить внутренние напряжения;

доказана перспективность использования упругих подвесов, способных перемещаться вне плоскости сенсора при единой высоте чувствительной массы и упругих подвесов, которые позволяют создавать многокомпонентные микросистемы с линейными перемещениями масс;

введено понятие развязывающей рамки, которая изолирует вторичное движение чувствительной массы многокомпонентного гироскопа от первичных колебаний с целью уменьшения погрешностей.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны положения, вносящие вклад в расширение представлений о возможности создания многокомпонентных микросистем, одновременно измеряющих угловые скорости и линейные ускорения;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован комплекс существующих базовых методов исследования, в том числе, методов теоретической механики, теории колебаний, теории упругости и сопротивления материалов, компьютерного моделирования, методов конечно-элементного анализа и экспериментальных методов исследований;

изложены принципы определения угловых скоростей и линейных ускорений по сигналам с измерительных преобразователей многокомпонентного гироскопа, использующего антифазное движение первичных рамок и развязывающие рамки между осями первичных и вторичных колебаний;

раскрыта и решена задача обеспечения минимизации влияния внутренних напряжений на собственные частоты упругих подвесов при соединении чувствительной массы и основания, обладающих разными температурными коэффициентами линейного расширения;

изучены возмущающие факторы, влияющие на изменения собственных частот упругих подвесов;

проведена модернизация существующих алгоритмов и конструктивно-кинематической схемы многокомпонентного гироскопа-акселерометра, позволяющего рассчитывать векторы угловой скорости и линейного ускорения объекта.

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

разработаны и внедрены методы анализа и снижения температурных погрешностей на упругие подвесы микросистем, разработанные упругие подвесы в АО «НИИПП», г. Томск; модели и методы исследования МЭМС внедрены в учебный процесс при обучении студентов по направлению 12.04.01 - Приборостроение, профиль магистратуры «Системы ориентации, стабилизации и навигации»; результаты, полученные в диссертации, использованы в ходе выполнения трёх проектов по федеральной целевой программе;

определены пределы и перспективы практического использования разработанного многокомпонентного гироскопа-акселерометра при заданных технологических и температурных воздействиях;

создана система практических рекомендаций по снижению влияния дестабилизирующих факторов на многокомпонентные микросистемы;

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию многокомпонентных инерциальных сенсоров, располагающихся в единой плоскости при планарной технологии изготовления.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном лазерном виброметре и показали достаточную для практики воспроизводимость экспериментальных данных в различных внешних условиях, совпадают с теоре-

тическими оценками, полученными с использованием сертифицированных компьютерных программ;

теория согласуется с опубликованными в трудах отечественных и зарубежных авторов, теоретическими и экспериментальными данными по теме диссертации и построена на известных физических законах;

идея базируется на обобщении передового зарубежного и отечественного опыта в области проектирования микромеханических гироскопов, на анализе теории и практики построения многокомпонентных систем;

использованы сравнения авторских данных с выводами и рекомендациями других авторов, содержащимися в ранее опубликованных работах по проектированию многокомпонентных систем;

установлено качественное совпадение авторских результатов по влиянию технологических и температурных воздействий на характеристики микромеханических гироскопов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации с обоснованием выбора объектов наблюдения и измерения.

Личный вклад соискателя состоит в: выполненных лично автором разработке упругих подвесов, способных перемещаться вне плоскости сенсора, разработке рекомендаций по снижению влияния внутренних напряжений на собственные частоты упругих подвесов, концепции построения многокомпонентного гироскопа-акселерометра, способного измерять векторы угловой скорости и линейного ускорения, создании математической модели многокомпонентного гироскопа-акселерометра с антифазным движением первичных рамок и развязывающими рамками между осями первичных и вторичных колебаний с учётом действия дестабилизирующих факторов, моделировании влияния дестабилизирующих факторов на электромеханические параметры гироскопа-акселерометра; непосредственном участии соискателя в получении исходных данных и научных экспериментах по исследованию температурной чувствительности изготовленных упругих подвесов, способных перемещаться вне плоскости сенсора при планарной

технологии изготовления, экспериментов по разработке технологии изготовления упругих подвесов, электростатического анализа, подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой впервые разработан многокомпонентный гироскоп-акселерометр LL-типа с антифазным движением первичных рамок и развязывающих рамок на основе новых упругих подвесов, способных перемещаться вне плоскости сенсора при планарной технологии изготовления микросистемы и позволяющий измерять векторы угловой скорости и линейного ускорения в широком диапазоне изменения температур. Диссертация соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней.

На заседании 14 декабря 2016 года диссертационный совет принял решение присудить Барбину Е.С. учёную степень кандидата технических наук.

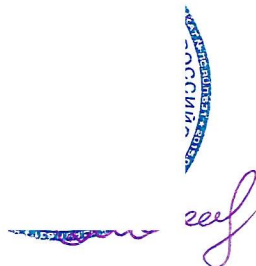
При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 8 докторов наук по специальности 05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах», участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту нет человек, проголосовали: за 16, против нет, недействительных бюллетеней 1.

Председатель диссертационного
совета Д.212.173.03



Гридчин Виктор Алексеевич

Ученый секретарь
диссертационного сс
Д.212.173.03



Остертак Дмитрий Иванович

14.12.2016