

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

о диссертации Сбытовой Екатерины Сергеевны

на тему: «Динамика микромеханического гироскопа с резонатором в виде упругих пластин», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – Теоретическая механика

Актуальность работы. Перспективы современного приборостроения связаны с созданием приборов, обладающих малыми массами, габаритными размерами, энергопотреблением и себестоимостью при безусловном выполнении целевой функции с заданной точностью.

Акселерометры и гироскопы относятся к классу инерциальных датчиков, диапазон применения которых весьма широк: от подушек безопасности и антиблокировочных автомобильных устройств до интегрированных со спутниковыми навигационными системами малогабаритных инерциальных навигационных систем, обеспечивающих определение параметров ориентации и координат летательных аппаратов, надводных и подводных аппаратов, наземных транспортных средств, роботов и др. В настоящее время наблюдается интенсивное развитие датчиков инерциальной информации, в которых физически реализованы идеи Л. Фуко по созданию гироскопа.

К классу гироскопов обобщенного маятника Фуко и относится микромеханический гироскоп (ММГ) с чувствительными элементами в виде тонкой упругой оболочки вращения, упругого кольца и твердого тела в упругом подвесе, совершающими периодическое движение, измерение которого позволяет определять параметры углового движения основания гироскопа в инерциальном пространстве. Решающим средством повышения точности гироскопических приборов являются внедрение новых технологий изготовления, а также разработка новых математических моделей движения чувствительных элементов – резонаторов, методик алгоритмической компенсации, позволяющих уменьшить уровень систематических погрешностей в измерениях гироскопов.

В связи с этим, основная цель оппонируемой диссертационной работы, определенная автором – повышение точностных характеристик датчиков инерциальной информации за счет создания новой математической модели

движения чувствительного элемента ММГ в виде четырех упругих пластин, учитывающей геометрию конструкции и разработки методики компенсации уходов гироскопа, вызванных нелинейными эффектами из-за конструктивных особенностей чувствительного элемента ММГ, позволяющей уменьшить систематические погрешности в электронном контуре управления, является актуальной.

Чувствительные элементы микромеханических приборов содержат инерциальные массы с упругим подвесом и независимо от функционального назначения микроприбора являются колебательными звеньями, или иначе – гармоническими осцилляторами. Возмущения, действующие на чувствительный элемент, – это комбинация постоянных и синусоидальных сил и моментов. Практический интерес при исследовании динамики чувствительного элемента представляют характеристики вынужденных колебаний, которые происходят относительно смещения инерциальной массы, обусловленного постоянной составляющей возмущения. В связи с этим автором было также исследовано влияние медленно меняющихся условий функционирования на динамику прибора в режиме свободных и вынужденных колебаний.

Цели диссертационной работы соответствуют «Приоритетным направлениям развития науки, технологий, техники в Российской Федерации» по направлению «Транспортные и космические системы»; работа направлена на развитие технологий, входящих в «Перечень критических технологий российской Федерации» по направлениям «технологии информационных, управляющих, навигационных систем» и «Технологии наноустройств и микросистемной техники».

Содержание диссертации. Представленная диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, включающего 108 наименований. Общий объем работы составляет 128 страниц и содержит 22 иллюстрации.

Во *введении* обосновывается актуальность диссертационной работы, формируется её цель и основные задачи, определяется научная новизна и научные положения, выносимые на защиту, определяется научно-практическое значение результатов диссертации, обосновывается достоверность полученных результатов.

В *первой главе* дается анализ состояния вопроса исследования, обзор основной литературы по теме работы, исследуется динамика ММГ с резонатором в виде четырех упругих пластин в линейной постановке задачи при различных граничных условиях для пластин. Исследуется влияние разночастотности на угловую скорость прецессии гироскопа, помещенного на неподвижное основание. Рассматривается динамика гироскопа в режиме свободных колебаний при медленно меняющихся условиях функционирования, таких как собственная частота и угловая скорость вращения основания. Приводится оценка точности измерения угловой скорости основания.

Во *второй главе* изучаются нелинейные колебания ММГ в случае постоянных параметров функционирования, исследуется влияние нелинейности на прецессию гироскопа, установленного на неподвижном основании. Получена аналитическая формула для тангенса угла прецессии гироскопа. Приведена оценка точности измерения угла поворота основания.

В *третьей главе* рассмотрены нелинейные вынужденные колебания ММГ с резонатором в виде четырех упругих пластин. Исследована устойчивость по Ляпунову стационарных режимов в двух случаях — когда гироскоп помещен на неподвижное основание, и при помещении его на основание, вращающееся с постоянной угловой скоростью, малой по отношению к собственной частоте колебаний резонатора. Показано, для первого случая, что при определенных частотах внешнего воздействия существуют несколько асимптотически устойчивых стационарных режимов. Во втором случае к тому же было выяснено, что увеличение угловой скорости основания приводит к изменению амплитудно-частотной характеристики и при этом наблюдается явление срыва колебаний и скачков амплитуд.

В *четвертой главе* была исследована динамика ММГ, помещенного на основание, вращающееся с произвольной угловой скоростью. Получена аналитическая формула для тангенса угла прецессии гироскопа. Была произведена оценка точности прибора в этом случае.

Научная новизна полученных в диссертации результатов состоит в:

- получении математической модели нового микромеханического осцилляторного вибрационного гироскопа с резонатором в виде упругих пластин;

- установлении влияния медленно меняющихся параметров математической модели, таких как частота собственных колебаний, угловая скорость основания, амплитуда и частоты вынуждающей силы на динамику и точность гироскопа в режимах свободных и вынужденных;

- получении аналитических формул для угла прецессии гироскопа с учетом нелинейных эффектов и даны оценки точности;

- исследовании влияния нелинейности на устойчивость стационарных режимов и вид амплитудно-частотных характеристик.

Практическую значимость диссертационной работы определяют:

- разработка новой конструктивной схемы микромеханического гироскопа с резонатором в виде упругих пластин;

- оценка влияния нелинейных эффектов и медленно меняющихся параметров системы на динамические и точностные характеристики прибора.

Обоснованность и достоверность полученных в диссертационной работе результатов, рекомендаций и выводов подтверждается использованием общепринятых методов и методик исследований, сравнительным анализом полученных данных с ранее опубликованными результатами, свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Результаты, приведенные в диссертации, опубликованы в 15 печатных работах, в том числе 2 публикации в журналах, входящих в перечень ВАК Минобрнауки РФ. В 2010-2013 гг. результаты работы докладывались на 9 международных и всероссийских научно-технических конференциях, конкурсах и выставках. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

Полученные в данной работе результаты можно рекомендовать для использования на приборостроительных предприятиях, в ОКБ, НИИ и ВУЗах, занимающихся разработкой, производством и исследованием микромеханических гироскопов.

Замечания по диссертации

1. Не достаточно пояснений к графику зависимости ошибки измерения угловой скорости основания от относительной частотной расстройки, приведенному на рис. 1.8 стр. 50.
2. Не указано, с какой целью получена система вида (3.9) в переменных

Ван-дер-Поля на стр. 86.

3. В §2.2 приведен неудачный заголовок: «Решение системы в новых переменных при линейной постановке исходной задачи».
4. Вычисление эллиптических интегралов, изложенное на стр. 63-80, следовало бы привести в приложении.

Однако, отмеченные замечания не снижают в целом достаточно высокий уровень представленной диссертационной работы.


Заключение

В целом, диссертация Сбытовой Екатерины Сергеевны является законченной научно-квалификационной работой, содержащей научно-обоснованные технические решения и разработку новых способов повышения точностных характеристик датчиков инерциальной информации, что имеет существенное значение для развития прецизионного приборостроения.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению диссертационная работа соответствует требованиям п.7,8.10 положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к диссертациям, представленным на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Автор диссертации Сбытова Екатерина Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – Теоретическая механика.

Официальный оппонент,
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры «Физика»
ФГБОУ ВПО «МАТИ–
Российский государственный технологический
университет имени К.Э. Циолковского»


Н.В. Каленова
02.03.2014г.

Подпись руки доц. Н.В. Каленовой заверяю

Главный ученый секретарь
проф., к.х.н.





Г.Г. Артюшина