



Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

В диссертационный совет Д 002.024.01
Института прикладной математики
им. М.В. Келдыша РАН

**Факультет
Информатика и системы
Управления**

105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5
Телекс 417661. Для телеграмм: Москва, ГРАЧ

Тел. (499) 263-61-84
Факс. (499) 267-79-85

На № 06.03.2014 № 03.02-22/36
от _____

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

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

В последние годы, благодаря относительно небольшой стоимости, малым массогабаритным характеристикам, виброустойчивости большой интерес представляют разработки новых типов микроэлектромеханических приборов осцилляторного типа, носящих название «обобщенный маятник Фуко». В зарубежной литературе этот класс еще носит название кориолисовых вибрационных гироскопов (Coriolis vibratory gyro). Эволюцию осцилляторных гироскопов можно проследить, рассматривая такие типы датчиков как балочный

гироскоп, камертонный гироскоп и гироскоп типа Quarason (Sagem). Во всех них чувствительными элементами являются упругие стержни, жестко закрепленные с помощью ножки на основании. Более сложные конструкции осцилляторных гироскопов – это так называемые волновые твердотельные гироскопы, в которых чувствительными элементами являются осесимметричные тела: кольцо, оболочки вращения (цилиндрическая, полусферическая). В то же время, между двумя рассмотренными классами находится промежуточное звено датчиков с чувствительными элементами в виде упругих пластин. До настоящего времени теории таких приборов не было создано, как и отсутствовали практически удачные их реализации. Поэтому исследования в этой области, позволяющие глубже понять взаимосвязь между параметрами таких приборов и влиянием внешних и внутренних факторов, являются, несомненно, актуальными и своевременными. Важность исследований обусловлена еще тем, что осцилляторные приборы обладают большей скоростью ухода по сравнению с лазерными, динамически настраиваемыми, поплавковыми и др. гироскопами.

В свете вышесказанного необходимо отметить, что все теоретические результаты, а именно, математическая модель пластиночного гироскопа, аналитические зависимости между параметрами модели и внешними факторами, а также учет нелинейностей в функционировании прибора, являются безусловно новыми и ранее не рассматривавшимися в отечественной и зарубежной литературе.

Практическая ценность результатов работы заключается, в частности, в выработке рекомендаций по способу закрепления упругих пластин; сделан вывод о большей целесообразности консольного закрепления по сравнению с абсолютно жестким и шарнирным с точки зрения динамических характеристик. Консольная заделка является еще и технологически наиболее просто реализуемой. Кроме того, несомненный практический интерес представляет исследование влияния нелинейных факторов, большой скорости вращения основания.

Диссертация Сбытовой Е.С. является комплексным исследованием. Поставленные задачи последовательно раскрываются в четырех главах работы, соблюдается логика исследования: динамическая модель гироскопа (гл. 1), нелинейная модель колебаний без учета демпфирования (гл. 2), нелинейная модель вынужденных колебаний с учетом демпфирования (гл. 3), свободные колебания на подвижном основании, вращающемся с большой угловой скоростью (гл. 4). Работа изложена на 128 страницах, проиллюстрирована рисунками и таблицами.

В первой главе описывается геометрия гироскопа, на основе вариационного принципа Гамильтона выведены интегро-дифференциальные уравнения его динамики. Прогиб учитывается в приближении теории малых деформаций тонких пластин, внутреннее трение описывается моделью Кельвина-Фойгта. Рассмотрены различные краевые условия закрепления: жесткое, шарнирное и консольное, сделан вывод о предпочтительности последнего в практической реализации. Исследован вопрос возникновения прецессии при неподвижном основании и наличии линейных погрешностей в модели и расщепления собственных частот. С помощью метода многих масштабов изучены вынужденные колебания системы, а также погрешности, возникающие при медленно изменяющейся частоте вынуждающей силы.

Во второй главе исследуется нелинейная модель колебаний резонатора без учета демпфирования в переменных Ван-дер-Поля. Изучено влияние нелинейных эффектов на прецессию гироскопа на неподвижном и подвижном основании. В аналитических преобразованиях автором адекватно используется аппарат специальных функций.

Третья глава содержит описание вынужденных колебаний при нелинейной постановке задачи, на неподвижном и подвижном основании. Построены амплитудно-частотные характеристики, по которым делается вывод о существовании как асимптотически устойчивых, так и неустойчивых режимов работы. Исследованы явления срыва колебаний и скачков амплитуд.

В четвертой главе рассмотрены вопросы свободных колебаний в условиях большой угловой скорости вращения основания. С помощью метода двух масштабов в первом приближении получены аналитические зависимости для амплитуд, фаз и угла прецессии гироскопа.

В заключении сформулированы основные научные выводы по работе.

При решении поставленных автором диссертационной работы задач адекватно применялись методы и подходы теоретической механики, теории упругости пластин, теории дифференциальных уравнений с малым параметром, теории устойчивости, методы математического моделирования и аналитических вычислений с использованием аппарата специальных функций. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Достоверность теоретических результатов работы подтверждается также экспериментальными данными, полученными как самим автором, так и ранее другими исследователями.

К числу наиболее значимых проработок соискателя, представляющих ценность для науки и техники, следует отнести:

- математическую модель осцилляторного гироскопа с резонатором в виде упругих пластин, основанную на теории упругости тонких пластин;
- теоретические зависимости параметров модели (частота собственных колебаний, угловая скорость основания, амплитуда и частота вынуждающей силы) и точностных характеристик гироскопа в режимах свободных и вынужденных колебаний;
- исследование влияния нелинейностей на прецессию гироскопа и устойчивость режимов его работы.

Указанные научные результаты могут квалифицироваться как новые, позволяющие существенно повысить точность функционирования осцилляторных вибрационных гироскопов с учетом нелинейных эффектов.

Основные результаты диссертации опубликованы в печатных работах, в том числе в двух изданиях, входящих в перечень рекомендованных ВАК РФ. Эти результаты прошли апробацию на ряде научных конференций.

Автореферат в полной мере отражает существо диссертационной работы, по объему и содержанию соответствует требованиям ВАК РФ.

По диссертационной работе могут быть сделаны следующие замечания:

- в тексте диссертации и автореферата недостаточно подробно описан принцип действия осцилляторного гироскопа с резонатором в виде четырех упругих пластин; в обзоре практически отсутствует описание и сравнительный анализ ближайших аналогов и предшественников данной конструкции (например, Quarason);

- отсутствуют ограничения на геометрические параметры модели: размеры пластин, их толщину; расчеты ведутся в приближении теории тонких оболочек, однако не обозначены пределы применимости такого подхода;

- рассматривается упрощенная модель колебаний пластин с различным способом закрепления краев (жесткое, шарнирное, консольное) без учета колебаний и вибраций ножки-оси, на которой крепится рамочная конструкция.

Вместе с тем, в целом отмеченные недостатки не умаляют достоинств диссертации и не влияют на ее главные теоретические и практические результаты.

Таким образом, диссертационная работа Е.С. Сбытовой «Динамика микромеханического гироскопа с резонатором в виде упругих пластин» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной под руководством доктора технических наук, профессора Подалкова В.В., содержащей новое решение актуальной научной задачи в области теоретической механики – разработки математической модели и исследования динамических характеристик нового типа вибрационного гироскопа с резонатором в виде упругих пластин, имеющей существенное значение для проектирования новых датчиков инерциальной информации класса «обобщенный маятник Фуко». Диссертация

соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Сбытова Е.С., заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – Теоретическая механика.

Официальный оппонент,

проф. кафедры ИУ-8

«Информационная безопасность»,

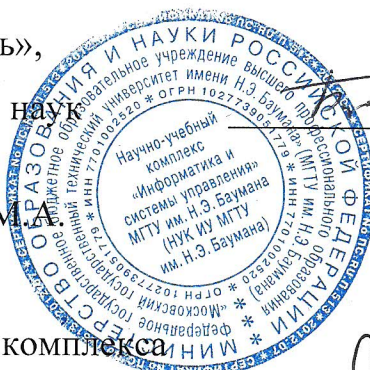
доктор физико-математических наук

Подпись профессора Басараба М.А.

заверяю,

руководитель научно-учебного комплекса

«Информатика и системы управления»



М.А. Басараб

В.А. Матвеев