Конкурс 2021 года «Проведение исследований научными группами под руководством молодых ученых» Президентской программы исследовательских проектов Российского научного фонда, реализуемых ведущими учеными, в том числе молодыми учеными

Проект Лукина Алексея Вячеславовича "Разработка перспективных архитектур, исследование нелинейной динамики и синтез алгоритмов управления движением чувствительных элементов систем инерциальной навигации на базе нано- и микросистемной технологии" поддержан Российским научным фондом.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Номер 21-71-10009

Название: Разработка перспективных архитектур, исследование нелинейной динамики и синтез алгоритмов управления движением чувствительных элементов систем инерциальной навигации на базе нано- и микросистемной технологии

Руководитель: Лукин Алексей Вячеславович, Кандидат физико-математических наук

Организация финансирования, регионфедеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", г Санкт-Петербург

Срок выполнения при поддержке РНФ 07.2021 - 06.2024

Конкурс: Конкурс 2021 года «Проведение исследований научными группами под руководством молодых ученых» Президентской программы исследовательских проектов, реализуемых ведущими учеными, в том числе молодыми учеными

Область знания, основной код классификатора 01 - Математика, информатика и науки о системах, 01-316 - Методы математического моделирования, оценивания и управления механическими и биомеханическими системами

Ключевые слова: Нано- и микросистемная техника (НМСТ), нано- и микроэлектромеханические системы (Н/МЭМС), инерциальная навигация, упругая устойчивость, нелинейная динамика, управление движением, теория динамических систем, связанные задачи, электроупругость, термоупругость, прецессия стоячих волн, поверхностные волны, электромагнитная левитация, модальная локализация, слабосвязанные системы

Код ГРНТИ30.15.27

ИНФОРМАЦИЯ ИЗ ЗАЯВКИ

Аннотация

Проект направлен на постановку и исследование ряда фундаментальных задач механики деформируемого твердого тела, теории нелинейных колебаний и теории управления движением, связанных с разработкой и моделированием подвижных элементов систем инерциальной навигации на базе нано- и микросистемной технологии. Применение передовых методов качественного математического моделирования имеет ключевое значение при проектировании объектов нано- и микросистемной техники (НМСТ). Это обусловлено, с одной стороны, высокими требованиями к эксплуатационным и точностным характеристикам подобных систем и, с другой стороны, существенной нелинейностью и физической связанностью протекающих в исследуемых системах процессов: практически все встречающиеся в области проектирования нано- и микроэлектромеханических систем (Н/МЭМС) научные проблемы характеризуются необходимостью учета совместного действия различных физических полей (температурного, электромагнитного, гидродинамического и др.), что приводит к качественному (параметрическому) исследованию нелинейных задач математической физики, теории колебаний, теории устойчивости и управления движением. Актуальность обозначенных проблем определяется чрезвычайно интенсивным развитием индустрии нано- и микросистем в области инерциальной навигации. Миниатюризация датчиков инерциальной информации (характерный размер чувствительного элемента составляет от сотен по десятков мкм; межэлектродные зазоры электростатических преобразователей - от единиц мкм до десятков нм) открывает принципиально новые возможности по проектированию архитектур и предложению принципов работы данных устройств: схемы многих современных и перспективных микрогироскопов и микроакселерометров не могут быть реализованы на макро-масштабном уровне в силу достижимых соотношений между механическими, электромагнитными и температурными факторами. Содержание предлагаемого проекта состоит в построении и исследовании математических моделей передовых современных и перспективных архитектур датчиков инерциальной информации, а также в предложении принципиально новых технических решений для приборов навигации.

Магистральными направлениями планируемых работ являются:

1) динамически сбалансированные многомассовые схемы микромеханических вибрационных гироскопов: их динамика, устойчивость к внешним воздействиям, алгоритмы генерации и управления колебаниями;

2) микромеханические волновые твердотельные гироскопы с резонаторами различной геометрии (кольцевые, дисковые, оболочечные);

3) микрогироскопы на поверхностных и локализованных акустических волнах (Рэлея, Лява, Стоунли, Гуляева-Блюстейна);

4) микромеханические гироскопы и акселерометры с левитирующей инерционной массой в бесконтактных электромагнитных подвесах, а также перспективные модели датчиков инерциальной информации с левитирующим упруго-деформируемым резонатором;

5) резонансные микромеханические акселерометры, основанные на явлении модальной локализации в слабосвязанных системах;

6) резонансные микромеханические акселерометры, основанные на принципе нелинейного модального взаимодействия в чувствительных элементах с проектируемыми возмущениями геометрии.

Представленные выше направления разработок и исследований характеризуют современный уровень развития нано- и микросистемной техники и технологии, что далее в тексте заявки конкретно показывается путем анализа современного уровня работ по указанным тематикам. Научная новизна проекта определяется прямым соответствием рассматриваемых научных проблем и методов их решения современному мировому уровню исследований в области механики деформируемого твердого тела (в т.ч., механики объектов НМСТ), нелинейной динамики и теории управления движением, что также непосредственно подтверждается анализом новейших работ ведущих научных и инженерных центров.

Ожидаемые результаты

В ходе выполнения проекта будут поставлены и исследованы:

1) задачи нелинейной динамики многомассовых вибрационных систем с сосредоточенными параметрами (МЭМС-гироскопов и акселерометров), в том числе при наличии внешних вибрационных, акустических и шумовых воздействий, с учетом действия систем генерации и управления колебаниями и съема выходного сигнала;

2) спектральные задачи и задачи прецессии форм колебаний для упруго-деформируемых резонаторов с осевой симметрией (кольцевые, цилиндрические, полусферические, полутороидальные) при наличии технологических и материальных несовершенств, обусловленных ограничениями нано- и микросистемной технологии, с учетом физической и геометрической нелинейности и связанности различных физических полей;

3) проблемы локализации колебаний и нелинейного модального взаимодействия в слабосвязанных системах, используемых как датчики инерциальной информации (в т.ч., массивы МЭМС-резонаторов со слабой электростатической или механической связью, упругие мультистабильные микробалочные системы с проектируемой начальной погибью и др.);

4) нелинейные задачи генерации и управления колебаниями, калибровки и балансировки (механической и электронной) распределенно-упругих элементов микроэлектромеханических систем в связанных полях (электроупругость, термоупругость);

5) задачи устойчивости и управления движением абсолютно твердых и деформируемых тел в бесконтактных электромагнитных подвесах в целях создания левитирующих МЭМС-датчиков;

6) задачи распространения поверхностных и локализованных волн (Рэлея, Лява, Стоунли, Гуляева-Блюстейна) в анизотропных термо-пьезоэлектроупругих микромасштабных средах в неинерциальных системах отсчета. По результатам планируемых работ будут созданы системные математические модели целого ряда передовых типов микромеханических датчиков инерциальной информации, выявлены принципиальные особенности работы данных систем и оценены перспективы их технической реализации, определены конкретные технические требования и рекомендации при проектировании и производстве реальных устройств

предложенных классов. Научная значимость получаемых в ходе выполнения проекта результатов будет высокой в связи со сложностью и содержательностью исследуемых моделей и процессов, а также с непосредственным соответствием рассматриваемых проблем и применяемых методов их решения современному мировому уровню исследований.

В ходе выполнения проекта научным коллективом будет накапливаться значительный исследовательский и инженерный опыт в области разработки передовых объектов нано- и микросистемной техники, что будет использовано для внедрения новейших технологий, технических решений и методов моделирования в научные и производственные процессы отечественных предприятий высокоточного приборостроения. Общественная значимость ожидаемых результатов состоит в непосредственном соответствии проекта целям развития индустрии нано- и микросистем в России, что имеет критическое значение как для обороноспособности страны, так и для конкурентоспособности отечественной продукции высокоточного приборостроения на мировом рынке.

Коллектив исполнителей проекта включает сотрудника АО «НИИ Командных приборов» - ведущего предприятия в области разработки гироскопических комплексов и управляющих приводов для систем ориентации космических аппаратов, - а также сотрудников СПбПУ, на долгосрочной основе выполняющих исследования совместно со специалистами АО «ЦНИИ «Электроприбор» - ведущего института РФ в области высокоточной навигации, гравиметрии и оптоэлектронных систем наблюдения подводных лодок.

Подробнее: https://rscf.ru/project/21-71-10009/