

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента о диссертации Лукина Алексея Вячеславовича  
«Нелинейная динамика и устойчивость упругих элементов нано- и  
микросистемной техники в связанных полях», представленной к защите на  
соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по  
специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».**

Диссертационная работа Лукина А.В. посвящена исследованию устойчивости, свободных и вынужденных колебаний упругих элементов нано- и микросистемной техники в условиях совместного действия механического, электрического и температурного полей.

Моделирование элементов нано- и микро-электромеханических систем, действующих в связанных полях, является актуальным научным направлением прикладной механики, имеющим большое значение для современного приборостроения.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка цитируемой литературы, включающего 118 источников.

**Вводная часть** (стр.3 – 7) содержит анализ проблемы и краткое содержание диссертации по главам.

**В первой главе** (стр.8 – 62) изучается статика и устойчивость упругих элементов нано- и микросистемной техники. Описаны принципы работы электростатического преобразователя. Сформулирована модель микроэлектромеханического осциллятора. Исследована устойчивость и бифуркации положений равновесия в поле одного и двух электродов. Сформулированы математические постановки связанных задач электроупругости для мембран и пластин. Исследовано ветвление форм равновесия круглых мембран и круглых пластин, а также их устойчивость.

**Вторая глава** (стр.63 – 105) посвящена нелинейной динамике упругих элементов нано- и микросистемной техники. Изучается динамика микроэлектромеханического осциллятора как системы с одним и двумя неподвижными электродами. Сформулированы математические постановки

нелинейных динамических задач для мембранны и пластины, находящихся в электрическом поле. Исследована динамика круглой мембранны и круглой пластины, находящихся в переменном электрическом поле. Построены и проанализированы их амплитудно-частотные характеристики в области первого и второго главных резонансов.

**Третья глава** (стр.106 – 136) посвящена динамике упругих элементов нано-и микросистемной техники в термоэлектрических полях. Сформулирована математическая постановка связанной задачи термоупругости пластины, находящейся во внешнем электрическом поле. Исследованы резонансные свойства круглой пластины, находящейся в поле одного неподвижного электрода. Проанализированы задачи динамики и устойчивости электростатического преобразователя под действием теплового импульса. Определены формы равновесия балки в электрическом поле. Исследована устойчивость балки при лазерном воздействии.

**В заключении** (стр.137 – 139) приведены основные выводы по работе.

Подтверждаю, что **научную новизну** составляют следующие результаты:

1. Получены аналитические и численные решения ряда статических и динамических нелинейных связанных задач электроупругости и термоэлектроупругости для дискретных и распределенных моделей упругих элементов электростатических преобразователей.
2. Разработаны достаточно общие алгоритмы применения современных численных методов продолжения по параметрам решений нелинейных операторных уравнений (алгебраических уравнений, обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений математической физики) к задачам статики, устойчивости и динамики дискретных и распределенных механических систем.
3. Исследована применимость и точность приближенных аналитических методов теории ветвления и теории колебаний к существенно нелинейным задачам, возникающим при моделировании нано- и микро-электромеханических систем.

**Практическая ценность** состоит в том, что разработанные в диссертации математические модели, методики и алгоритмы решений нелинейных задач электромеханики могут быть использованы для расчета различных систем, работающих в условиях взаимодействия механических, электрических и температурных полей.

**Достоверность** полученных результатов основывается на корректности математических моделей и строгости решений, а также на сравнении результатов, полученных приближенными аналитическими методами, с точными решениями.

Диссертация не вызывает принципиальных возражений и существенных замечаний. Из замечаний редакционного характера остановлюсь на следующих:

1. Отражению истории вопроса и обзору имеющейся литературы по теме диссертации следовало бы уделить больше внимания;
2. Нумерация глав, параграфов, разделов, пунктов и подпунктов диссертации представляется перегруженной (например, на стр.40 можно найти п.1.3.2.1.6; на стр.44 – п.1.3.2.2.1; на стр.96 – п.2.2.2.2 и т.д.). Это затрудняет ознакомление с содержанием работы;
3. Из диссертации и автореферата невозможно понять, кто является автором работ, опубликованных в журналах: 1)MATEC Web of Conference. 2016. Vol.76, 2)Доклады академии наук. 2016. Т.471. № 2. С.158-162, 3)Vibroengineering Procedia. 2016. Vol.8. P.158-162. Выявление авторских коллективов этих публикаций и определение принадлежности к ним автора диссертации потребовало от оппонента дополнительной работы по поиску в Elibrary и на сайтах журналов.

Указанные замечания не снижают научной ценности представленной диссертационной работы. В целом, диссертация Лукина А.В. выполнена на высоком научном уровне и соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней.

Основные результаты диссертации опубликованы в 9 работах, 4 из которых – в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК.

Автореферат достаточно полно и правильно отражает содержание диссертации.

Считаю, что Лукин А.В. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – "Механика деформируемого твердого тела".

Официальный оппонент,  
доктор физико-математических наук,  
профессор, директор Института проблем  
машиностроения РАН

The graph shows a function  $f(x)$  plotted against  $x$ . There is a vertical asymptote at  $x = -1$ , where the function goes to positive infinity. The curve then decreases, approaching a horizontal asymptote at  $y = 0$  as  $x \rightarrow \infty$ . At  $x = 1$ , there is a cusp, and the curve continues downwards.

Ерофеев Владимир Иванович

26.03.2019г.

603024, Нижний Новгород, ул. Белинского, 85, Институт проблем машиностроения  
РАН

Телефон: +7 (831) 432-05-76,

E-mail: [erof.vi@yandex.ru](mailto:erof.vi@yandex.ru)

Подпись Ерофеева Владимира Ивановича удостоверяю:

Ученый секретарь ИПМ РАН,

К.Т.Н., доцент



E.A. Мотова