

## **О Т З Ы В**

официального оппонента доктора технических наук,  
доцента Сорокина Федора Дмитриевича на диссертационную работу  
Комиссаровой Татьяны Николаевны

«Исследование влияний магнитных полей на динамические характеристики тонкостенных элементов конструкций», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры.

### **Актуальность темы исследования**

Диссертационная работа Комиссаровой Т.А. посвящена развитию математических моделей и методов анализа поведения тонкостенных элементов конструкций в магнитных полях. К такого рода объектам можно отнести герконы (герметизированные магнитоуправляемые контакты), магнитные гасители колебаний, стержневые и пластинчатые элементы электрических аппаратов, выполненных из диамагнитных и парамагнитных материалов и т.п. Герконы относятся к коммутационным элементам устройств автоматики и находят широкое применение в реле на их основе, которые широко используются в устройствах сигнализации и защиты, взвешивания и управления, в электроаппаратуре автомобилей и т.п. Герконовые реле успешно заменяют аналогичные полупроводниковые устройства, так как намного дешевле полупроводниковых при сравнимых характеристиках по быстродействию. Однако проблема повышения токов коммутации, а также снижение дребезга контактной системы герконов по-прежнему остается актуальной с точки зрения повышения надежности коммутационных устройств. Оценка важных характеристик герконов и других элементов электрических аппаратов, таких как быстродействие, механическая устойчивость и вибропрочность, невозможна без исследования динамических процессов в тонкостенных элементах конструкций, взаимодействующих с магнитным полем. Именно такое исследование и выполнено в диссертации Комиссаровой Т.Н., что и определяет ее актуальность.

## **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Наличие магнитного поля вносит ряд особенностей в задачу определения собственных частот и форм колебаний пластин и оболочек. Задача движения электропроводящего деформируемого тела в магнитном поле сводится к совместному исследованию уравнений электродинамики в области, занимаемой телом и вне его, а также уравнений движения деформируемого тела. Кроме того, должны быть учтены механические и электродинамические граничные условия. В столь общей постановке задача является чрезвычайно сложной, поэтому в диссертации применялись линеаризованные уравнения электродинамики.

Линеаризация позволила автору свести влияние электромагнитных сил к дополнительным слагаемым в уравнениях движения пластин и оболочек, пропорциональным производным различного порядка по времени и по координатам от функций перемещений. Линеаризованные уравнения основывались на классических работах С.А. Амбарцумяна, Г.Е. Багдасаряна, М.В. Белубекяна и др. и не вызывают сомнений. В случае пластин анализ, как правило, сводился к исследованию одного уравнения движения для функции поперечных перемещений  $w$ . В случае оболочек рассматривались три уравнения движения для проекций вектора перемещений  $u$ ,  $v$ ,  $w$ .

Значительный интерес представляет задача о параметрическом резонансе, вызываемым продольным пульсирующим магнитным полем, где продольные колебания поля вызывают поперечные колебания пластинки.

Большой ценностью данной диссертации является то, что многие результаты удалось представить в аналитическом виде. При этом основным инструментом исследования являлся асимптотический метод В.В. Болотина (АМБ), который хорошо обоснован и хорошо себя зарекомендовал при вычислении старших частот и форм собственных колебаний. В диссертации показано, что в ряде случаев на основе АМБ могут быть найдены основные частоты и формы колебаний. Таким образом, как уравнения, так и методы исследования, применяемые в диссертации, являются вполне обоснованными.

Выводы по результатам исследования в основном носят констатирующий характер, но их также можно считать вполне обоснованными для рассмотренных в диссертации конструкций (прямоугольные пластины и цилиндрические оболочки).

### **Достоверность и научная новизна исследования**

Достоверность полученных результатов в достаточной мере подтверждена сравнением с экспериментальными исследованиями других авторов. В диссертации использованы надежные аналитические и численные методы, хорошо известные дифференциальные уравнения электродинамики и механики тонкостенных конструкций, а также современные компьютерные программы. Научная новизна исследования состоит в очень большом количестве аналитических решений для прямоугольных диа-, пара- и ферромагнитных пластин с различными условиями закрепления и направления магнитного поля. Получены новые результаты для спектров частот цилиндрической оболочки в магнитном поле и обнаружены новые эффекты, которые оказывает магнитное поле на распределение собственных частот.

### **Значимость для науки и практики полученных автором результатов**

Значимость рассматриваемого исследования для науки определяется его систематическим характером. Очевидно, что далеко не все частные случаи пластин и оболочек, взаимодействующих с магнитным полем, могут быть напрямую использованы в практике проектирования. Но полученные решения заполняют белые пятна магнитоупругости и могут использоваться как справочные. Кроме того, при разработке программного обеспечения для решения задач о расчете частот конструкций более сложной геометрии (эллиптических пластин, сферических оболочек, герконов с круглыми мембранами и т.п.) потребуются большое количество тестовых задач. Результаты исследования Комиссаровой Т.Н. могут выполнять роль такого набора тестов.

Практическая значимость диссертации состоит в разработанных методиках и авторском программном комплексе «Магнитоупругость», которые используются при проектировании. Программный комплекс снабжен удобным оконным интерфейсом и может быть легко освоен конструкторами и технологами, занимающимися разработкой магнитоуправляемых устройств.

### **Оценка содержания диссертации и ее завершенности**

Диссертация изложена на 110 страницах текста, включает 32 рисунка, 6 таблиц и состоит из введения, пяти глав, сводки результатов и выводов, списка литературы и приложений. Список литературы включает 89 наименований.

*В первой главе* изложены теоретические положения, на которых далее строится вся работа. Выполнен обзор литературных источников. Приведены основные гипотезы. На основе линеаризованных уравнений электродинамики получены дополнительные слагаемые в уравнениях колебаний пластин и оболочек, учитывающие влияние магнитного поля. Приведены основные положения асимптотического метода В.В. Болотина.

*Во второй главе* исследованы колебания ферромагнитных прямоугольных пластин во внешнем поперечном магнитном поле с вектором магнитной индукции перпендикулярным плоскости пластины. Подтверждено расчетом известное из экспериментов явление понижения величин собственных частот колебаний под действием поперечного магнитного поля. Показано, что при определенном значении индукции магнитного поля пластина теряет устойчивость. С помощью АМБ получены аналитические соотношения для собственных частот прямоугольных пластин при различных граничных условиях.

*Третья глава* посвящена исследованию колебаний ферромагнитных прямоугольных пластин во внешнем продольном магнитном поле с вектором магнитной индукции параллельным плоскости пластины. Проанализированы эффекты понижения собственных частот колебаний под влиянием продольного магнитного поля. Получены аналитические и численные результаты для

собственных частот колебаний пластины в продольном магнитном поле при различных граничных условиях.

*В четвертой главе* выполнено исследование динамической устойчивости ферромагнитных пластин в поперечном магнитном поле. Влияние магнитного поля при этом аналогично сжатию пластины мембранными усилиями. Поэтому возникновение статической или динамической неустойчивости при определенных значениях (или законах изменения) магнитной индукции не вызывает сомнений. Большой интерес представляет задача о параметрическом резонансе, при котором продольное магнитное поле вызывает нарастающие поперечные колебания. Уравнение колебаний принимает при этом форму уравнения Матье, на основе которого строятся области неустойчивости. Аналогично решается задача с дополнительной продольной сжимающей нагрузкой, при этом, в отличие от предыдущего случая, перемещения распределены по двум направлениям. Показано, что наличие магнитного поля может существенно снизить критические нагрузки.

*В пятой главе* разработанные автором методы распространяются на ферромагнитные цилиндрические оболочки. Наличие магнитного поля учтено дополнительными слагаемыми в уравнениях колебаний цилиндрической оболочки. В случае граничных условий Навье удастся построить решение для компонентов вектора перемещений в форме произведений тригонометрических функций, что сводит задачу к системе однородных алгебраических уравнений. Равенство нулю определителя этой системы дает частотное уравнение. Построены графики, показывающие зависимость собственных частот от величины индукции магнитного поля. Исследовано влияние магнитного поля на плотность частот.

*В приложениях* приводится описание программного комплекса «Магнитоупругость», а также акты о внедрении:

- результатов диссертации в учебный процесс Национального исследовательского университета «МЭИ» (Московский энергетический

институт) на кафедрах «Динамика и прочность машин» и «Электрические и электронные аппараты»;

- результатов диссертации в практику проектирования ЗАО «Аэрокосмический мониторинг и технологии».

Содержание диссертации соответствует поставленной цели исследования. В целом автор диссертационной работы продемонстрировал высокий уровень научно-технического владения темой, которой посвящена диссертация, что говорит о ее завершенности.

### **Анализ основных выводов**

Представленные в диссертации выводы и заключение соответствуют сформулированной и решенной в работе новой научно-технической проблеме, имеющей практическое применение при проектировании и производстве магнитоуправляемых электронных устройств с перспективой расширения применения конструкций на их основе в различных отраслях народного хозяйства.

### **Оформление диссертации и автореферата**

Работа написана грамотным техническим языком, хорошо проиллюстрирована достаточным количеством качественных рисунков.

Автореферат соответствует материалам диссертации и в полной мере отражает основные положения представленной к защите работы.

### **Апробация работы и анализ публикаций**

Представленные в диссертационной работе разработанные методики расчета, вычислительные алгоритмы и результаты исследований в период 2009-2016 г. докладывались на девяти научных конференциях и двух семинарах, таким образом, работа прошла достаточную апробацию на научно-технических конференциях.

По теме диссертации опубликовано 16 научных работ, из них 5 статей опубликовано в изданиях из перечня ВАК РФ. Опубликованные работы в полной мере отражают основные научные идеи диссертации, описывают разработанные расчетные методики и полученные результаты, их новизну и практическую применимость.

### **Замечания**

1. Диссертацию на соискание степени кандидата технических наук было бы желательно начинать не с теоретических положений магнитоупругости, а со схем, либо чертежей технических устройств, для которых разрабатываются методики расчета и программный комплекс.

2. Решения, полученные в диссертации, относятся к набору объектов довольно узкого класса. Это прямоугольные пластины с различными условиями закрепления и цилиндрическая оболочка с граничными условиями Навье. С одной стороны, это позволило многие результаты представить в аналитической форме, но с другой стороны, распространить подходы, разработанные в диссертации, на объекты более сложной формы довольно сложно. Поэтому более целесообразным представляется подход, в котором кроме аналитических и полуаналитических методов применяется также и метод конечных элементов.

3. В диссертации говорится о том, что «разработанная методика... позволяет производить проектирование тонкостенных элементов конструкций электротехнического оборудования» и выполнен расчет собственных частот герконов конкретных марок. Но каким образом найденные частоты используются в практике проектировании герконов в диссертации не показано.

### **Заключение**

Несмотря на сделанные замечания следует заключить, что диссертационная работа Комиссаровой Т.Н. соответствуют всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства РФ

от 24 сентября 2013 г. № 842, то есть она является самостоятельно выполненным научно-квалификационным исследованием на актуальную тему, содержащим решение задачи, имеющей существенное значение для теории магнитоуправляемых устройств и практики проектирования таких устройств.

Автор диссертационной работы Комиссарова Т.Н. заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры.

### ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ

Сорокин Фёдор Дмитриевич,  
доктор технических наук, доцент,  
профессор кафедры прикладной механики  
ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени  
Н.Э. Баумана» 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
Тел./факс: +7(499)263-64-87  
E-mail: sorokin\_fd@mail.ru  
Сайт: <http://rk5.bmstu.ru/>



Ф.Д. Сорокин

12.04.2016

Подпись Ф.Д. Сорокина

удостоверяю:



А. Г. МАТВЕЕВ

УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВ

Тел. 8499-263 67 69