

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Храмцова Алексея Михайловича «**Напряженно-деформированное состояние взаимодействующих элементов пьезоактюатора**», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела

В настоящее время системы высокоточного позиционирования широко используются во всех отраслях науки и техники. При этом особый интерес вызывают устройства стойкие к радиационным и температурным воздействиям. В основе таких систем, как правило, используются пьезокерамические исполнительные элементы (пьезоактюаторы). Недостатком пьезоактюаторов является крайне низкая деформация (перемещение порядка 20–200 мкм), что существенно снижает область применения данных устройств, где требуются большие перемещения. Одним из способов решения данной проблемы являются пьезодвигатели шагового, инерционного и ультразвукового типов, в которых пьезоактюатор работает в динамическом режиме, передавая свои перемещения конструкции с подвижной направляющей. Таким образом, перемещения, генерируемые пьезодвигателем, становятся ограничены лишь конструкционным исполнением. На текущий момент основными производителями таких устройств являются Ceramtec, PI, Morgan ceramics, Noliac, APC и т.д. В России пьезодвигатели серийно не выпускаются. В связи с чем тема диссертационной работы, тесно связанная с разработкой пьезоактюатора для работы в динамическом режиме в качестве исполнительного элемента в пьезодвигателях шагового типа является **актуальной**.

Несмотря на существенный прогресс в области инженерного анализа с применением методов численного моделирования, решение конкретных задач зачастую требует индивидуального подхода ввиду уникальности объектов и конструкций. В работе А.М. Храмцова разработаны трехмерная конечно-элементная модель и одномерная модель на основании метода электрических аналогий для расчета НДС пьезоактюатора производства АО «НИИ «Элпа», учитывающие взаимодействие элементов конструкции, включающей пьезоактюатор и нагрузку. Предложенные математические модели являются наиболее важной частью, определяющей **новизну** диссертационного исследования. Для верификации расчетных данных был создан уникальный испытательный стенд. Основное назначение разработанных моделей и стенда –

оптимизация конструкции пьезоактюатора, материалов элементов корпуса и режимов работы пьезоактюатора под воздействием инерционной массы. **Практическая значимость** работы заключается в возможности использования разработанных моделей и испытательного стенда при выполнении инженерного и прочностного анализа, в процессе проектировании прецизионных систем позиционирования на основе пьезоэффекта.

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Во **введении** обоснованы актуальность, новизна и практическая значимость работы, изложены цель и задачи исследования, приведены положения, выносимые на защиту, даны сведения об апробации и публикации результатов, в реферативной форме изложено содержание разделов диссертации.

Первая глава посвящена обзору существующих систем прецизионного позиционирования на основе пьезоэффекта. Определены основные эксплуатационные параметры. Приведены области применения пьезоактюаторов. Проведен анализ тенденций мирового развития разработок и производства пьезоактюаторов.

Вторая глава посвящена вопросам численного решения задачи определения НДС исследуемого пьезоактюатора при помощи программного комплекса Ansys. Рассчитаны оптимальные контактные механические пары конструкции пьезоактюатора и получены частотные характеристики актюатора при работе на различные инерционные нагрузки.

В **третьей главе** предложен подход к математическому моделированию пьезоактюатора с учетом массы пьезоэлементов и механических потерь движения пьезоэлементов, основанный на аналоговых электрических схемах замещения пьезоактюатора. Произведен расчет частотных характеристик работы пьезоактюатора АПМ-2-7 производства «АО «НИИ Элпа» на инерционную массу 3 кг и 35 кг с предварительным поджатием 240Н.

В **четвертой главе** для верификации расчетных моделей разработан экспериментальный стенд, позволяющий проводить исследования динамических режимов работы пьезоактюатора на инерционную нагрузку. Из анализа экспериментальных данных следует, что электрическая часть системы ведет себя как электрическая цепь с емкостной нагрузкой и мало реагирует на изменения частотных характеристик, и установлено, что при увеличении предварительного поджатия увеличивается динамическое усилие на нагрузке, особенно на низких частотах.

Из сравнения экспериментальных данных с теоретическими следует, что частотные характеристики вибросмещения, полученные по трехмерным конечно-элементным моделям, являются наиболее точными и имеют несовпадение с экспериментом в 5–8 %, а частотные характеристики вибросмещения, полученные по одномерным математическим моделям (метод электрических аналогий), являются менее точными и имеют несовпадение с экспериментом в 10–20 %.

В **заключении** приведены основные результаты и выводы, подтверждающие выполнение поставленной цели, и положения, выносимые на защиту.

По сути диссертации имеются следующие **замечания**:

1. Для большей наглядности на итоговом Рис. 4.8. не хватает расчетных данных для диапазона частот эксперимента.
2. На Рис. 1.4 показано явление гистерезиса пьезоактюатора, но из расчетов не ясно как данное явление учитывается и есть ли необходимость его учета при динамическом режиме работы пьезоактюатора.
3. В диссертации недостаточно описан процесс получения решения в программном комплексе Ansys, для проверки корректности решений поставленных задач и заданных констант материалов.

Тем не менее, работа имеет положительные стороны, связанные с актуальностью темы и очевидной практической значимостью полученных результатов. Корректность разработанных моделей и достоверность результатов расчетов подтверждена сравнением с экспериментальными данными. Основные результаты опубликованы в 17 печатных работах, в том числе 2 статьях в журналах, входящих в перечень ВАК, 3 статьях в зарубежных электронных изданиях, индексируемых Web of Science и Scopus. Содержание автореферата соответствует диссертации. Научная новизна, практическая значимость и результаты, приведенные в диссертации, позволяют утверждать, что диссертационная работа «Напряженно-деформированное состояние взаимодействующих элементов пьезоактюатора» соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Храмцов Алексей Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент:

директор Института кадастра, экономики и инженерных систем в строительстве федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет», доктор физико-математических наук (01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела), профессор



Радченко Андрей Васильевич

25 августа 2017 г.

Подпись Радченко Андрея Васильевича удостоверяю
Проректор по научной работе ТГАСУ



В.А. Клименов

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Томский государственный архитектурно-строительный университет»
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2;
тел.: +7 (3822) 47-28-91;
e-mail: rector@tsuab.ru;
сайт организации: <http://www.tsuab.ru>.