

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Шпак Алисы Николаевны на тему «Динамическое взаимодействие пьезоактуаторов с упругим волноводом при различных условиях контакта», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела

Необходимость разработки адекватных математических и компьютерных моделей, описывающих волновую динамику тонкостенных инженерных конструкций обусловлена активным развитием методов ультразвуковой дефектоскопии, основанных на использовании бегущих волн. В инженерной практике компьютерные модели волновых процессов традиционно базируются на сеточной аппроксимации решения соответствующих краевых задач (метод конечных элементов, спектральных элементов, конечных разностей и т.п.). Однако, наряду с простотой реализации и универсальностью, для сеточных подходов характерны существенные требования к вычислительным ресурсам, что обуславливает необходимость развития полуаналитических моделей и разработки вычислительных схем, сочетающих полуаналитические представления и сеточную дискретизацию.

На практике для непрерывной диагностики состояния протяженных конструкций активно используются интегрированные в них пьезоэлектрические датчики, способные возбуждать и регистрировать бегущие волны. Выход из строя части из них может привести к значительным сбоям в работе системы мониторинга конструкции, и, таким образом, возникает необходимость изучения влияния степени повреждения пьезосенсоров на их способность возбуждать и измерять упругие бегущие волны. Перечисленное выше подтверждает **актуальность** данного диссертационного исследования.

Диссертационная работа Шпак А.Н. посвящена изучению влияния пьезоэлектрического датчика на генерируемые им волновые поля при различных условиях контакта с упругим волноводом. Для этих целей автором была разработана математическая модель на основе сочетания метода

конечных элементов, используемого при описании динамического поведения пьезоактуатора, и полуаналитического интегрального подхода, моделирующего процессы возбуждения бегущих волн поверхностной нагрузкой и их распространения в упругом слоистом материале. Кроме того, диссертантом были проведены экспериментальные исследования волновых полей, генерируемых в структуре пьезоэлектрическими актуаторами при различных условиях контакта. Экспериментальные данные использовались для верификации построенной механико-математической модели. Результаты сравнения позволяют судить о достоверности построенной математической модели в диапазоне частот до четверти частоты отсечки свободного волновода как в случае идеального контакта, так и в случае отслоения актуатора от поверхности протяженной структуры.

Достоверность и обоснованность выводов и заключений диссертанта основывается на корректной математической постановке задач и применении строгих математических методов, а также сравнением с результатами, полученными с помощью других методов и в ходе экспериментов.

Научная и практическая значимость работы основывается на том, что полученные результаты могут быть использованы для развития эффективных методов мониторинга состояния пьезоэлектрических датчиков, составляющих систему активной непрерывной диагностики конструкции, что в свою очередь внесет значительный вклад в развитие методов неразрушающего контроля. Результаты моделирования процесса возбуждения в протяженной структуре упругих волн пьезоэлектрическим преобразователем с различной степенью контакта также представляют значительный теоретический интерес.

Диссертация Шпак А.Н. состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 136 страницах, включая 2 таблицы и 71 рисунок. Библиографический список состоит из 106 наименований.

Основные научные результаты и их новизна заключаются в следующем:

1. Решена задача о колебаниях пьезоактуатора под воздействием электрического поля на основе модификации метода конечных элементов;

проведено сравнение результатов моделирования с аналогичными данными, полученными с использованием инженерной программы COMSOL.

2. Проведен анализ резонансных свойств пьезоупругого образца в зависимости от его размеров.

3. Разработан гибридный подход на основе использования метода конечных элементов и интегрального подхода для решения связанной задачи о пьезоупругом датчике на поверхности упругого слоя. На основе разработанного подхода построена механико-математическая и компьютерная модель, с помощью которой проведен анализ динамического взаимодействия пьезоактуатора с упругой подложкой при различных условиях контакта: полном контакте, частичном отслоении и деградации клеевого соединения.

4. Исследована зависимость количества энергии упругих волн, передаваемого в слой под действием электрического поля, от размеров и формы области отслоения пьезоактуатора.

5. Проведены экспериментальные исследования возбуждения упругих бегущих волн в алюминиевой пластине частично отклеенными и полностью приклеенными пьезоэлектрическими актуаторами различной формы. Экспериментальные данные использовались для верификации построенной связанной механико-математической модели.

6. Получены результаты вейвлет-анализа нестационарных сигналов, записанных в ходе экспериментов с частично отклеенными пьезоактуаторами, и установлена возможность его применения для дефектоскопии пьезоэлектрических датчиков.

Вместе с тем диссертация не свободна от недостатков. Оппонент отмечает следующие замечания в работе:

1. Очевидно, что СЛАУ (2.49) - (2.50) и (3.23) решались численно. В то же время в тексте работы нигде не упоминается, какой именно метод использовался.

2. Из графиков на рис. 3.9 видно, что значения перемещений, рассчитанные с помощью полиномов Гаусса-Лежандра-Лобатто и полиномов Чебышева сходятся, вообще говоря, к разным значениям. Однако в тексте работы данный факт не объясняется и не интерпретируется.

3. На практике пьезоэлектрические датчики используются как актуаторы, так и сенсоры. Разработанная диссертантом математическая модель не охватывает вопросы использования датчиков как сенсоров.

4. Для анализа динамического взаимодействия между актуатором и слоистой подложкой использовался один и тот же материал датчика (пьезокерамика) и слоя (алюминий), тем не менее, на практике волновой мониторинг может применяется к композитным материалам, что не было учтено при моделировании.

5. Приведенные на рис. 3.28 результаты представляли бы б'ольший практический интерес, если бы была дана интерпретация коэффициента адгезии к (жесткости пружин в граничных условиях (3.9)) в терминах реальных материалов (воск, клей и т.д.), используемых при интеграции пьезоактуаторов на исследуемый объект.

6. В формулах 3.4 и 3.7 постановки задачи используются обозначения x_1 и x_2 . Однако, на рис. 3.1 и в описании постановки задачи используются другие обозначения (x, z). Далее по тексту используются оба вида обозначений, что нарушает единообразие математических выкладок.

7. При определении начальных граничных условий в параграфе 3.1 автор дает ссылку на уравнение 1.8, в котором даны произвольные значения начальных условий. Таким образом нулевые начальные условия формально не задаются, хотя, следуя логики диссертации, автор предполагает именно нулевые начальные условия.

Указанные замечания не затрагивают основных результатов и не снижают научной и практической значимости диссертационной работы Шпак А.Н.

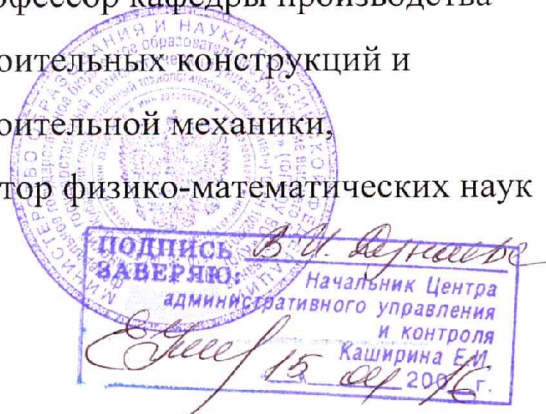
В целом, диссертационное исследование Шпак А.Н. проведено на высоком профессиональном уровне, является самостоятельным и завершенным. Результаты диссертации отражены в отчетах по выполненным в КубГУ проектам федеральных целевых программ, исследования имели поддержку научных фондов, что также указывает на **актуальность и практическую значимость** полученных результатов.

Тема и содержание диссертации **соответствуют паспорту специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела** (пп. 1,4,7). Основные положения диссертационного исследования достаточно полно опубликованы в открытой печати и апробированы на ряде семинаров и конференций. Основные результаты исследований, выполненных по теме диссертации, опубликованы в 17 работах, в том числе 2 статьи в научных изданиях, входящих в перечень, рекомендованных ВАК РФ, также имеется 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Автореферат диссертации в полной мере отражает ее основное содержание.

Диссертационное исследование «Динамическое взаимодействие пьезоактуаторов с упругим волноводом при различных условиях контакта» представляет собой научно-квалификационную работу и **удовлетворяет** требованиям ВАК РФ, предъявляемых к кандидатским диссертациям (п.п. 9, 10 «Положение о порядке присуждения ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. № 842), а автор исследования – Шпак Алиса Николаевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

Отзыв составлен доктором физико-математических наук, профессором кафедры производства строительных конструкций и строительной механики Дунаевым Владиславом Игоревичем (Место работы: Кубанский государственный технологический университет; адрес: 350072, Россия, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Московская, д. 2, корпус «Б», ауд. 205; телефон: +7 (928) 849 84 05).

Профессор кафедры производства
строительных конструкций и
строительной механики,
доктор физико-математических наук



A handwritten signature in blue ink, which appears to be "В.И. Дунаев".

В.И. Дунаев