

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию И.М. Лебедева

«Идентификация поперечных трещин и трещиноподобных дефектов в стержне по собственным частотам продольных и поперечных колебаний»,

представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твердого тела».

Диагностика и идентификация повреждений в настоящее время остается важной проблемой и необходима для обеспечения долговечности и безопасной эксплуатации элементов конструкций. Поэтому диссертационная работа, посвященная решению задач идентификации локализованных поперечных дефектов в стержнях, основанному на анализе собственных частот продольных и поперечных колебаний, несомненно, **актуальна**.

Диссертация содержит практически важные результаты, для обоснования **достоверности** которых в работе приводятся их сопоставление с известными теоретическими решениями и экспериментальными данными, а также результаты многочисленных численных расчетов.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 116 наименований. Обзор литературы приведен во введении.

Во введении сформулированы цель и актуальность темы, перечислены новые результаты и положения, выносимые на защиту, кратко изложено содержание глав, выделен личный вклад автора. Отметим, что в теоретической части И.М. Лебедеву удалось разработать и реализовать алгоритм численного решения задач идентификации локализованных

поперечных дефектов в стержнях более эффективный как по отношению к устойчивости к шумам в исходных данных, так и по количеству используемых собственных частот колебаний, чем ранее разработанная процедура Барсилона и Гладвелла. В экспериментальной части работа алгоритма была протестирована на экспериментальных данных, полученных для случая продольных колебаний стержня.

Первая глава посвящена задаче идентификации поперечных трещиноподобных дефектов в стержне по собственным частотам продольных колебаний. В используемой модели дефекты рассматриваются как невесомые пружины, работающие на растяжение-сжатие. Такую задачу можно свести к уравнению продольных гармонических колебаний для неоднородного стержня, модуль Юнга которого зависит от продольной координаты и определяет поврежденность стержня. Рассмотрены два типа граничных условий. Для вычисления собственных значений используется конечно-элементная аппроксимация. Поиск вектор-функции, описывающей поврежденность стержня (идентификацию дефектов), осуществляется путем минимизации целевой функции, включающей комплекс экспериментально измеренных частот, с помощью алгоритма Левенберга-Марквардта.

Работа алгоритма проверена на модельных данных по идентификации дефектов от одной до трех поперечных трещин, в том числе искусственно зашумленных.

Вторая глава посвящена задаче идентификации поперечных трещиноподобных дефектов в стержне по собственным частотам поперечных колебаний. В используемой модели дефекты рассматриваются как невесомые пружины, работающие на поворот. В этом случае задачу можно свести к уравнению поперечных гармонических колебаний для неоднородного стержня, модуль Юнга которого зависит от продольной координаты и определяет поврежденность стержня. Задача рассматривается с шестью

наборами граничных условий. Для определения трех наборов спектров, позволяющих однозначно определить местоположение и размеры поперечных дефектов стержня, введены три целевые функции, каждая из которых содержит необходимые для однозначного решения спектры. Минимизация целевых функций также осуществляется с использованием алгоритма Левенберга-Марквардта. Численная локализация повреждений в рассмотренных примерах осуществляется таким же методом, как и в случае продольных колебаний.

В третьей главе проведена экспериментальная верификация метода идентификации дефектов в стержне по собственным частотам продольных колебаний. Была собрана экспериментальная установка для определения частотного спектра поврежденного прямолинейного стержня круглого сечения из алюминиевого сплава. Экспериментальные данные были введены в модель для проверки разработанного алгоритма. Оказалось, что с его помощью можно не только точно определить положение дефектов, но и приближенно оценить их глубину.

В заключении сформулированы результаты и выводы проделанной по теме диссертации работы.

Основные результаты диссертации являются **новыми**, они полностью отражены в публикациях автора, доложены на российских и международных конференциях. Список трудов составляет 7 публикаций, 4 из них входят в базу WoS, а 5 из них входят в рецензируемые научные издания и журналы из списка ВАК.

Замечаний по стилю и оформлению диссертации нет. Автореферат полностью отражает положения диссертации. В целом изложение полученных результатов в диссертационной работе проведено четко и последовательно.

Вместе с тем следует сделать ряд замечаний.

1. При экспериментальной проверке алгоритма реконструкции трещиноподобных повреждений в стержне по собственным частотам продольных колебаний были измерены только собственные частоты колебаний стержня со свободными концами. В связи с этим необходимые для восстановления дефектов спектры, отвечающие двум типам краевых условий, были получены только в случае симметрично расположенных пар повреждений. Следовало бы провести экспериментальную верификацию алгоритма в случае произвольно расположенных дефектов.

2. Возможность реконструкции трещин по двум спектрам поперечных колебаний установлена только путем численного эксперимента. Строгое доказательство этого факта отсутствует.

3. В диссертации отсутствует экспериментальное подтверждение эффективности разработанных алгоритмов для идентификации дефектов по двум и трем спектрам поперечных колебаний.

4. Интересно было бы рассмотреть возможность реконструкции дефектов по спектрам поперечных колебаний с помощью модели балки Тимошенко.

Указанные выше замечания не снижают научной значимости результатов, полученных И.М. Лебедевым в диссертации.

В целом диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне с использованием современных методов, решен ряд задач идентификации трещин и трещиноподобных дефектов в стержне по собственным частотам продольных и поперечных колебаний. Работа содержит новые научные результаты и является самостоятельным и законченным научным исследованием. Она характеризует диссертанта как высококвалифицированного специалиста в области механики деформируемого твердого тела.

Полученные в диссертации результаты и разработанные методы могут быть использованы в организациях, занимающихся вопросами диагностики повреждений материалов и конструкций.

Представленная работа удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, и является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задач, имеющих значение для развития соответствующей отрасли знания, а сам диссертант, Лебедев Иван Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твердого тела».



д.ф.-м.н. И.С. Никитин

Никитин Илья Степанович,

почтовый адрес: 127322, г. Москва, ул. Милашенкова, д. 16, кв. 12,

тел. +7-916-637-70-28,

i_nikitin@list.ru,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматизации проектирования Российской академии наук,

директор.

Подпись Никитина И.С. заверено

Начальник отдела кадров Т.В. Турчак

10.05.2023 г.

