

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Лебедева Ивана Михайловича «Идентификация поперечных трещин и трещиноподобных дефектов в стержне по собственным частотам продольных и поперечных колебаний», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 –Механика деформируемого твердого тела

Диссертация Лебедева И.М. посвящена идентификации геометрии систем трещиноподобных дефектов при их обнаружении в упругом стержне. Круг задач, при решении которых необходимо учитывать наличие трещин и других подобных им дефектов в упругих конструкциях, непрерывно расширяется: прочность конструкций (в частности, мостов), задачи неразрушающего контроля, биомеханика, трубный транспорт, расчет сооружений в прибрежной зоне и открытом море и др.

Большинство исследований, посвящённых обратным задачам идентификации трещиноподобных дефектов в упругих материалах, носят математический характер. Большие усилия прилагаются для обоснования существования и единственности решения подобных обратных задач. При этом разработке практических алгоритмов и их компьютерной реализации уделяется меньше внимания, чем общетеоретическим результатам. В отличие от этого, помимо некоторых результатов общего характера, в диссертационной работе Лебедева И.М. проводится детальное исследование устойчивости практических алгоритмов реконструкции дефектов в виде систем трещин различной конфигурации.

Ранее научный руководитель диссертанта доказал, что в случае продольных колебаний стержня любое число трещин однозначно восстанавливаются по собственным частотам для двух комбинаций концевых закрепления. В случае поперечных колебаний требуется знать спектр для трех комбинаций граничных условий. Естественно, что с самого начала должна была возникнуть гипотеза о том, не достаточно ли и в этом случае знать спектры лишь для двух типов граничных условий, однако доказать это теоретически не удавалось. Оставалось полагаться на подтверждение при проведении экспериментов – численных и натуральных. Полученные диссертантом результаты фактически подтверждают эту гипотезу. При этом алгоритм работает устойчиво также и с «зашумленными» входными данными.

Таким образом, **актуальность и научно-практическая значимость тематики** исследования очевидны.

Результаты численных расчетов сравниваются с результатами натуральных экспериментов с привлечением акустических методов регистрации и обработки сигналов, выполненных диссертантом.

Достоверность результатов, представленных Лебедевым И.М., обеспечивается использованием строгих методов и моделей теории упругости, а также тщательным сравнением теоретических и экспериментальных результатов. Результаты, полученные в диссертационной работе, могут быть использованы в научных и прикладных исследованиях.

В рамках общей характеристики работы отметим, что она состоит из введения, трех глав, заключения и списка цитируемой литературы. Из текста диссертации следует **обоснованность основных положений**, выносимых на защиту, которые, в свою очередь, подробно представлены в опубликованных научных работах. В конце каждой главы указывается, в каких публикациях соискателя опубликованы результаты, представленные в данной главе. Всего опубликовано 7 работ, 4 из которых входят в базу Web of Science, а 5 из них – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Во **введении** дается подробный литературный обзор известных публикаций российских и зарубежных авторов по рассматриваемой в диссертации проблематике. Данный обзор подтверждает актуальность исследования. Также формулируются цели и задачи исследования.

В **первой главе** формулируется математическая постановка задачи идентификации поперечных трещин по собственным частотам продольных колебаний, описываются алгоритмы идентификации дефектов в стержне по двум спектрам частот продольных колебаний. Даются примеры идентификации как одиночных, так и множественных дефектов, в качестве которых выступают поперечные двусторонние трещины.

Во **второй главе** формулируется математическая постановка задачи идентификации поперечных трещин в балке по собственным частотам поперечных колебаний, описывается алгоритм идентификации дефектов в стержне по трем спектрам частот поперечных колебаний. Приводятся примеры идентификации дефектов по трем возможным комбинациям спектров. Кроме того, рассматриваются результаты расчета, при использовании только двух спектров. Приводятся результаты восстановления выявленных трещин.

Третья глава посвящена проверке работоспособности описанного в первой главе алгоритма, при использовании в качестве исходных данных частот, полученных в ходе натурального эксперимента. Численно проверено, что разработанный алгоритм позволяет обнаружить и точно локализовать даже небольшие дефекты.

В **заключении** приводятся общие выводы по работе.

К наиболее **существенным научным результатам** диссертационной работы относятся:

1. Численное подтверждение доказанного ранее результата о достаточности системы собственных частот колебания при двух типах граничных условий для однозначного восстановления произвольного конечного числа трещин в стержне при продольных колебаниях.
2. Численное подтверждение гипотезы о достаточности двух спектров вместо трех в аналогичной задаче для поперечных колебаний стержня.
3. Экспериментальная проверка надежности разработанных численных алгоритмов идентификации на стержне, выполненном из алюминиевого материала.
4. Сильное впечатление производит устойчивость разработанного алгоритма идентификации в условиях, когда входные данные для обратной задачи берутся из решения прямой задачи совершенно другим методом, чем в алгоритме МКЭ, на котором основано решение обратной задачи.

Несмотря на **общую положительную оценку** полученных автором результатов и корректность сформулированных выводов, диссертация не лишена ряда недостатков:

1. В работе используется приближение трещин упругими пружинами, однако не обсуждаются границы применимости этого приближения в задачах идентификации.
2. Минимизация функционала невязки между «измеренными» (либо из натурального эксперимента, либо из решения прямой задачи) входными данными и данными для «пробной» конфигурации осуществляется итерационным методом Левенберга-Маркварда. Было бы уместно сослаться на работы:

(i) Ворович И.И., Сумбатьян М.А. Восстановление образа дефекта по рассеянному волновому полю в акустическом приближении // Известия АН СССР. МТТ. 1990. № 6. С. 79-84;

(ii) Сумбатян М.А., Боев Н.В. Восстановление формы дефекта по рассеянному волновому полю в двумерной упругой среде // Доклады АН СССР. 1991. Т. 318. № 4. С. 880-882,

в которых используется похожий метод, в сочетании (как и в данной диссертации) с акустическими методами.

3. Разработанные численные алгоритмы решения обратной задачи идентификации трещин не являются тривиальными. Хотелось бы увидеть в более подробном изложении алгоритмическую и программистскую часть диссертационной работы. Код программы на выбранном языке программирования можно было бы поместить в отдельном Приложении. Приведенного псевдокода недостаточно. Также было бы интересным увидеть данные о времени вычислений на персональном компьютере.

Оценивая диссертационную работу Лебедева Ивана Михайловича «Идентификация поперечных трещин и трещиноподобных дефектов в стержне по собственным частотам продольных и поперечных колебаний» в целом, можно утверждать, что она представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение обратной задачи идентификации трещиноподобных дефектов в упругих телах. Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Работа отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук в соответствии с п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней». Считаю, что её автор Лебедев Иван Михайлович **заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела.**

Профессор кафедры
«Теоретической и компьютерной гидроаэродинамики»,
ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»,
доктор физико-математических наук (01.02.04 Механика деформируемого
твердого тела), профессор
344006, Российская Федерация,
Ростовская область, г. Ростов-на-Дону,
ул. Б. Садовая, 105/42
Тел.: 8(928)1397067
e-mail: sumbatma@mail.ru



Сумбатян Межлум Альбертович

«03» мая 2023 г.

Сумбатян М. А.
Мирошниченко О.С.