

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Стуленкова Андрея Вадимовича «Расчетно-экспериментальное
виброакустическое проектирование с использованием лазерной виброметрии»,
представленной на соискание учёной степени кандидата
физико-математических наук по специальности 1.3.7. Акустика

Диссертационная работа А.В. Стуленкова посвящена вопросам создания расчетно-экспериментальных методов виброакустического проектирования, основанных на использовании лазерной виброметрии. Представленные в диссертационной работе А.В. Стуленкова исследования проводились как экспериментально, так и с помощью численного моделирования. Несмотря на серьезное развитие численных методов за последнее время, вопрос об адекватности моделей и результатов, полученных с их помощью, остается актуальным. Поэтому важность совместного выполнения физического и численного моделирования не вызывает сомнений.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы (101 наименование). Каждая глава включает в себя краткое введение с обзором литературы в рамках поставленной задачи, оригинальную часть и выводы. Общий объем работы составляет 120 страниц и включает 90 рисунков и 4 таблицы.

Во **введении** к диссертационной работе обосновывается актуальность, новизна и практическая значимость исследуемой проблемы, приводится краткий обзор литературы, сформулированы цели и задачи работы, а также описывается методология исследования и положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена использованию лазерных измерений вибраций с целью совершенствования численного моделирования. В главе предлагается процедура, позволяющая повысить точность численного моделирования, основанная на применении лазерных измерений вибрации и ранее известного алгоритма корректировки спектральных характеристик численных моделей. Суть процедуры заключается в итерационном подборе нового распределения модуля Юнга по модели, при котором начинают совпадать расчетные и экспериментальные резонансы и резонансные формы колебаний.

Работоспособность процедуры продемонстрирована на реальном объекте, более того показано, что с ее помощью можно осуществлять локализацию дефектов, в том числе и скрытых.

Отмечается, что подобную процедуру для небольших объектов можно применить, используя только бесконтактные методы измерения вибраций.

Во **второй главе** диссертации А.В. Стуленков содержатся результаты развития расчетно-экспериментальных методов исследования акустического поля упругих объектов, обтекаемых турбулентным потоком. В главе представлена методология, позволяющая выявлять в суммарном акустическом поле подводного объекта излучение на частотах упругих резонансов его отдельных элементов. Методология основана на использовании верифицированной по результатам лазерных измерений в воздухе конечно-элементной модели винта, к которой, затем, добавляется численный объем воды. Полученная новая модели элемента в воде в дальнейшем используется для интерпретации результатов акустических измерений всего подводного объекта. С помощью представленной методологии на примере исследований излучения подводного аппарата было показано, что упругие резонансы лопастей гребного винта в широком частотном диапазоне могут определять максимумы акустического поля. По результатам дополнительных экспериментальных исследований было установлено, что в некотором диапазоне скоростей обтекания упругого тела уровни давления на изгибном резонансе тела могут усиливаться за счет совпадения с гармоникой срывной гидродинамической частотой, в таком случае повышение уровней относительно режима обтекания без образования автоколебаний может достигать нескольких порядков.

Третья глава посвящена исследованию взаимосвязи воздушного шума и вибраций с использованием лазерной виброметрии. В **разделе 3.1** на примере исследования шума в салоне автомобиля показано, как бесконтактные измерения вибрации могут быть применены для анализа акустического поля внутри некоторой замкнутой поверхности. Повышенные уровни шума в салоне могут образовываться за счет прямого переизлучения энергии от трех основных источников (двигатель, контакт колеса с дорогой, обтекание автомобиля потоком воздуха) через панели кабины (двери, крыша, пол, потолок и др.), либо при совпадении резонансов панелей с акустическими модами воздушного объема кабины.

Диссертантом была предложена технология совместных исследований акустического поля внутри кабины, основанная на лазерных измерениях вибраций на ее поверхности. С помощью предложенной технологии удалось показать, что для конкретного автомобиля повышенные уровни звукового давления в салоне определяется степенью возбуждения резонансных вибраций кабины в целом и ее различных элементов, а не за счет совпадения какого-то из структурных резонансов кабины с акустической модой ее воздушного объема.

В разделе 3.2 предлагается метод оценки акустического поля в дальней зоне по результатам лазерных измерений распределения вибраций на тонком невесомом экране, расположенном вблизи источника. Прогноз уровней акустического поля в некоторой точке осуществляется с помощью формулы Кирхгофа. Сравнение результатов прогноза и прямых измерений в точке продемонстрировало хорошее совпадение уровней колебаний в широком частотном диапазоне, разница не превышает 3-4дБ.

В четвертой главе предложен способ оценки вибраций вращающихся тел, измеренных с помощью лазерного вибromетра с неподвижным лучом. Способ позволяет преодолеть недостаток такого принципа измерений – ухудшение частотного разрешения спектральных характеристик при увеличении скорости вращения, связанного с уменьшением времени сканирования тела лучом лазера. Способ основан на методе наименьших квадратов (МНК), с его помощью показано, что в случае двух близко расположенных дискретных составляющих целесообразно использовать МНК с моделью сигнала, включающей в явном виде две синусоиды с неизвестными частотами и амплитудами. Отметим, что работоспособность предложенного подхода продемонстрирована экспериментально по результатам измерений вибраций вращающейся стальной пластины, проходящей через неподвижный луч лазера.

В заключении приводятся основные результаты диссертации А.В. Стуленкова, список публикаций автора по материалам диссертации и список литературы.

Диссертационная работа А.В. Стуленкова представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на очень высоком научном уровне. Достоверность и обоснованность представленных в диссертационной работе результатов подтверждается проверочными численными и физическими экспериментами, а также соответствием результатов экспериментов априорной информации, теоретическим расчетам и результатам, полученным в работах других авторов.

В качестве основных **достоинств работы** можно выделить следующие:

- разработанная методология исследования колебаний упругих тел, возбуждаемых турбулентным потоком жидкости, на конкретном примере исследования судового гребного винта демонстрирует, что упругие резонансы могут определять максимальные уровни излучения гидродинамического шума в широком частотном диапазоне.
- предложенные в диссертации методы исследования могут быть использованы с целью проектирования более совершенных в плане виброакустических полей объектов техники, колебания которых возбуждаются источниками воздушного и гидродинамического шума.

Основные результаты диссертации А.В. Стуленкова опубликованы в 16 печатных работах, в том числе в 7 статьях в рецензируемых журналах, удовлетворяющих Положению о присуждении учёных степеней в МГУ имени М.В. Ломоносова, 1 статье в рецензируемом научном журнале из перечня ВАК РФ и в публикациях в сборниках трудов и тезисов Всероссийских конференций.

Автореферат соответствует тексту диссертационной работы.

В то же время к работе имеются замечания:

1. Утверждение о необходимости использования лазерных бесконтактных измерений для исследования вибраций легких объектов с целью совершенствования их численных моделей требует дополнительных разъяснений, поскольку можно выполнять измерения контактными виброакселерометрами и учитывать их массу в численной модели.
2. Во второй главе диссертации, где приводится процедура корректировки численной модели винта и сопоставляются экспериментальные и расчетные резонансные частот, не говорится о том, как было достигнуто совпадение резонансных уровней колебаний.

Указанные замечания не умаляют заслуг соискателя в получении важных и интересных результатов, равно как и их высокой оценки и не влияют на общее впечатление от диссертации.

Результаты, представленные в диссертационной работе А.В. Стуленкова, вносят существенный вклад в исследования методов виброакустического проектирования, основанных на использовании лазерной виброметрии. Разработанные в диссертации методы применимы для анализа полей, сгенерированных гидродинамическими и силовыми источниками, воздушным шумом, а также для совершенствования методов численного моделирования.

Считаю, что диссертация «Расчетно-экспериментальное виброакустическое проектирование с использованием лазерной виброметрии» соответствует специальности 1.3.7. Акустика и требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор — Стуленков Андрей Вадимович — заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.7. Акустика.

Официальный оппонент:

доцент, кандидат физико-математических наук (специальность 1.3.4 – Радиофизика)

доцент кафедры акустики Национального исследовательского Нижегородского государственного университета имени Н.И. Лобачевского

И.Ю. Демин

Сведения об авторе отзыва:

Демин Игорь Юрьевич

Место работы: Национального исследовательского Нижегородского государственного университета имени Н.И. Лобачевского

Адрес: 603022, г. Нижний Новгород, проспект Гагарина, д. 23

Телефон: +7 (951) 918-11-14

E-mail: demin@rf.unn.ru

Подпись И.Ю. Демина заверяю:

Начальник управления



Т. А. Лапачев