

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Карпова Ивана Андреевича на тему
«Разработка метода экспериментального определения коэффициента потерь
колебательных систем на основе дискретного ARMA-моделирования»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 1.1.7 – Теоретическая механика, динамика машин
(технические науки)

Актуальность темы диссертации

Потери являются одной из важнейших характеристик любой механической системы. В простых системах параметры потерь могут быть измерены сравнительно легко, но, чем сложнее система, тем сложнее ее отклик на произвольное или детерминированное возбуждение. Измерение многомерного отклика системы в принципе опосредованно содержит данные о ее характеристиках, включая параметры потерь, но извлечение значений этих параметров из массива данных представляет собой нетривиальную задачу, общее решение которой сегодня не получено. Выбранная тема диссертационного исследования Карпова И.А., несомненно, является актуальной для широкого круга прикладных задач, требующих информацию о потерях.

Механическая система может иметь достаточно большое или даже бесконечное количество степеней свободы. Задача в общей постановке состоит в экспериментальном определении комплексных собственных частот, мнимая часть которых и определяет потери. Методы измерения достаточно интенсивно развиваются, однако наблюдается некоторое отставание прогресса методов измерения потерь от развития в смежных областях. Так, например, взрывной интерес к акустическим метаматериалам и успехи в их создании привели к получению новых материалов, эффективные волновые свойства которых не встречаются у обычных веществ, привели к созданию структур, потери в которых могут иметь нестандартные зависимости от других параметров. Поэтому создание универсального метода экспериментального определения потерь позволит закрыть этот пробел.

Диссертационная работа Карпова И.А. посвящена разработке нового метода экспериментального определения коэффициента потерь сложных механических систем, в т.ч. имеющих сильно задемпфированные моды.

Таким образом, тема диссертации является современной и своевременной, имеет значение для расширения теоретических и практических представлений о методах измерений потерь, которые могут найти применение в различных областях современной акустики.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные положения, выводы и рекомендации, представленные в диссертации, в достаточной мере обоснованы. Подробный обзор современного состояния вопроса, приведенный в начале работы, дает ясное обоснование выбора автором целей исследования, которые сформулированы в виде конкретных задач.

Теоретическая обоснованность работы определяется тщательным математическим анализом применяемой модели, численным моделированием в нескольких задачах, подтвердившим корректность применяемого подхода. Необходимо отметить анализ довольно тонких эффектов, связанных с некорректностью замены производных конечными разностями (Приложение Б). Для решения поставленных задач использованы стандартные и общепринятые методы теоретической механики, математической физики, дифференциальных уравнений, спектрального анализа.

Предложенный метод опробован экспериментально и, что важно, в трех разноплановых постановках. Произведено сравнение с альтернативными методами измерений, оценены ошибки измерений, которые оказались приемлемыми для исследуемых задач. Полученные результаты подтверждают обоснованность метода с точки зрения практики.

Все основные положения и результаты работы докладывались на всероссийских конференциях, а также обсуждались на семинарах с участием широкого круга специалистов по акустике, в период с 2019 по 2025 гг., что подтверждает достаточную апробацию работы. Публикация результатов работы в Акустическом журнале, ведущем профильном издании в нашей

стране, свидетельствует о положительной оценке результатов независимыми экспертами-рецензентами.

Таким образом, достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, не вызывает сомнений.

Новизна положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Полученные автором научные результаты, положения, выводы и рекомендации обладают научной новизной. Ниже приведен краткий обзор новизны результатов.

Во второй главе приводятся общие сведения о дискретных моделях, исследуется связь между дискретными моделями и непрерывными акустическими моделями. Подробно рассмотрена модель механического осциллятора и произвольная колебательная система с конечным количеством степеней свободы. Предложен критерий эквивалентности непрерывных и дискретных моделей, основанный на равенстве колебаний в дискретные моменты времени. Также впервые получены соотношения между непрерывными и дискретными моделями с кинематическим возбуждением.

В третьей главе описан экспериментальный метод определения коэффициента потерь в колебательных системах. Общая идея его такова. По данным измерений строится математическая модель системы, затем находятся модельные параметры, по которым вычисляются комплексные собственные частоты и коэффициенты потерь. Предложен энергетический критерий, оценивающий работоспособность модели, в виде разности мощности реального сигнала и мощности сигнала на выходе модели. Критерий позволяет определить оптимальные параметры модели. Описан алгоритм построения системы по данным измерений.

В четвертой главе приведены результаты симуляции, в которой была проведена проверка исследуемого метода. На нескольких численных экспериментах проверена его адекватность и точность. Метод показал возможность определять коэффициент потерь мод, собственные частоты которых очень близки: в спектре сигнала моды не разрешаются.

В пятой главе представлены результаты экспериментальной проверки метода. Проведено три разноплановых эксперимента. В первом эксперименте

измерения проведены на электродинамическом вибростенде. Отличия коэффициента потерь, вычисленного предложенным методом, от коэффициента потерь, определенного классическим методом, не превышает 1%. Вторым экспериментом проведен в волноводе квадратного сечения, в котором измерялись собственные частоты и коэффициенты потерь собственных колебаний волновода на поршневых модах. Продемонстрировано хорошее совпадение результатов измерений, проведенных тремя различными методами, один из которых является предметом исследования диссертации. В третьем эксперименте испытывался космический прибор «БТН-М2», разработанный ИКИ РАН для эксперимента на Российском сегменте МКС. Предложенным методом измерены параметры собственных мод аппарата до и после испытаний на воздействие случайной вибрационной нагрузки. Сравнение с другими методами не проводилось.

Формулировка положений, выводов и рекомендаций, приведенных в диссертации, в полной мере отражает их новизну.

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в получении результатов, аналитически обосновывающих предложенный метод измерения потерь колебательных систем. Разработанный математический аппарат в совокупности с критериями качества рабочей модели создают теоретическую основу для использования и дальнейшего развития метода.

Практическая значимость работы состоит в получении нового метода измерения потерь для сложных инженерных конструкций, обладающих рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами. Метод позволит получать более точные данные о состоянии колебательных системы и будет востребован для вибродиагностики, контроля состояния инженерных систем, разработки средств борьбы с шумом и вибрацией.

Замечания по диссертации

По результатам рассмотрения работы возник ряд замечаний.

1. В разделе 1.2 сила введена как скалярная величина, хотя это вектор. Необходимы пояснения, как выбирается направление приложения силы.

2. На рис. 3.1 по горизонтальным осям отложены величины AR и MA , однако количественно в тексте они не определены, а используются как аббревиатуры.
3. Из текста следует, что рис. 3.1 относится к расчету линейной системы с тремя степенями свободы. Однако неясно, этот результат справедлив для некоторой конкретной системы или является универсальным.
4. В заключительном абзаце раздела 5.1 неплохо было бы привести сравнительные оценки длительности сигнала, необходимого для реализации предложенного метода и альтернативных методов, для некоторых примеров.
5. В работе отдельно не выделен случай кратных мод. Как в этом случае работает метод? Можно ли дополнительно к собственной частоте выяснить порядок кратной моды?
6. С ростом частоты плотность мод колебательных систем, как правило, возрастает и иногда довольно стремительно. Наверняка у метода есть ограничения, связанные с плотностью мод – при некотором ее значении разрешающая способность метода должна падать. Но в диссертации анализ этого вопроса отсутствует.

Имеющиеся замечания не влияют на положительную оценку диссертационной работы и не снижают ее новизну, степень обоснованности и достоверности научных положений, теоретическую и практическую значимость.

Заключение по диссертационной работе

Диссертация Карпова Ивана Андреевича является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, в которой решена научная задача, имеющая значение для научного направления «Механика и машиностроение» отрасли Технические науки в части создания новых методов решения проблемы снижения шума и вибраций машин и конструкций. Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы, результаты опубликованы в необходимом количестве статей.

По актуальности темы, объему исследований, целостности работы, научной новизне, теоретической и практической значимости диссертация

удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 года (редакция от 16.10.2024), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Карпов Иван Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.7 – Теоретическая механика, динамика машин (технические науки).

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук по специальности 1.3.7 - акустика, научный сотрудник Теоретического отдела АО «Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева»

Канев

Николай Георгиевич



Эл.почта: nikolay.kanev@mail.ru

Телефон: +7 (915) 231-81-53

21 ноября 2025 года

Я, Канев Николай Георгиевич, даю свое согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Карпова И.А. и их дальнейшую обработку.

Подпись Канева Николая Георгиевича удостоверяю:

Ведущий инженер Власов С.В. БТМЗВЛ
21.11.2025



Наименование организации:

Акционерное общество «Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева»

Адрес организации: 117036, Российская Федерация, Москва, ул. Шверника, д. 4

Тел.: +7 (499) 126-74-01

Электронная почта: bvp@akin.ru