

Утверждаю
Генеральный директор
ФАУ «Центральный аэрогидродинамический институт
имени профессора Н.Е. Жуковского»
К.И. Сыпало
«14» ноября 2025 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Карпова Ивана Андреевича «Разработка метода экспериментального определения коэффициента потерь колебательных систем на основе дискретного ARMA-моделирования», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин.

Актуальность темы исследования

Развитие методов определения амплитудно-частотных и диссипативных характеристик механических колебаний систем различной физической природы на промышленных установках является одним из важнейших прикладных направлений акустики. Особенно остро проблема звукового шума и вибраций проявляется в транспортной сфере, где применение стандартных средств шумоизоляции затруднительно в виду ограничений на объем занимаемого пространства и вес конструкций. Примерами соответствующих источников шума являются структурный шум двигателя в автомобильной промышленности, шум лопаточных машин в компрессорных установках авиационных двигателей. Для разработки средств снижения акустического шума конкретной промышленной установки и определения их эффективности необходимо заранее найти совокупность технических параметров, таких как зоны генерации звука, характерные частоты, коэффициенты затухания или демпфирования. В настоящей диссертационной работе разработан и реализован метод, позволяющий в условиях реального времени экспериментально определять коэффициенты потерь в механических системах по данным временных измерений колебаний отдельных компонент. Таким образом, актуальность представленной диссертационной работы не вызывает сомнений.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, содержащего 101 наименование, и трёх приложений. Работа содержит 109 страниц, 24 рисунка и 8 таблиц.

Во введении дан обзор литературы по существующим методам определения энергетических потерь в колебательных системах, указаны общие достоинства и недостатки основных применяющихся на практике методов. Отмечены актуальные проблемы, связанные с шумом и вибрациями, и современные подходы к их решению.

Глава 1, по существу, продолжает введение, более детально описывая методы измерений амплитудно-частотных и диссипативных характеристик колебательных систем и методы анализа данных в рамках экспериментального модального анализа.

В **главе 2** приводится общая теоретическая модель ARMA, которая была взята в качестве основания разработанного в диссертационной работе метода. Получены формулы пересчета параметров идеализированного линейного механического осциллятора в параметры дискретной ARMA-модели.

В **главе 3** описана процедура нахождения параметров ARMA-модели по экспериментальным данным. Критерием позволяющим оценить точность построенной в результате данной процедуры дискретной модели является энергетический критерий, представленный в пункте 3.2. Энергетический критерий основан на сравнении спектральных плотностей мощности, алгоритм вычисления которых приводится в пункте 3.5.

В **главе 4** проводится верификация разработанного метода определения потерь в механических колебательных системах на ряде численных тестовых примеров. Исследуется точность работы метода для различных наборов параметров тестовых колебательных систем и измеряемых физических величин.

В **главе 5** приводится валидация разработанного метода на различных экспериментальных образцах. В пункте 5.1 в качестве механической системы фигурируют экспериментальные образцы в виде демпфированных пластин с закрепленными массами. В пункте 5.2 разработанный метод применяется при обработке данных, измеренных на лабораторной установке ИМАШ РАН, представляющей волновод в стенки которого помещаются исследуемые акустические панели. В пункте 5.3 приводятся результаты применения метода при летных испытаниях натурного космического прибора МКС.

В **заключении** изложены основные результаты, полученные в диссертационной работе.

Научная новизна диссертационной работы.

Получены формулы пересчета параметров идеализированного механического осциллятора с произвольным количеством степеней свободы в коэффициенты ARMA-модели.

Разработан энергетический критерий соответствия механической колебательной системы и её дискретной ARMA-модели.

Разработан метод определения резонансных частот и коэффициентов затухания линейных механических колебательных систем, основанный на дискретных временных моделях ARMA, обладающий универсальностью по отношению к величинам затухания и распределению собственных частот механических систем.

Достоверность полученных результатов обоснована экспериментальной проверкой разработанного метода и сопоставлением результатов обработки, в тех случаях, когда такое сопоставление было возможно произвести, с уже существующими методами.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в возможности применения разработанного метода на реальных промышленных установках. В частности, результаты диссертационной работы содержат опыт применения метода в летных испытаниях реального космического прибора МКС.

Соответствие паспорту специальности. Диссертация посвящена разработке экспериментальных методов определения коэффициентов потерь в механических колебательных системах. Разработанный в диссертационной работе метод, валидирован на лабораторной установке ИМАШ РАН, и на натурном космическом техническом устройстве МКС. Таким образом, тема исследований диссертационной работы соответствует паспорту специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин, технической отрасли наук.

Публикации и апробация. Результаты диссертации в полной мере отражены в 3 публикациях автора в научных рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК. Полученные в диссертационной работе результаты докладывались на 12 научно-технических конференциях.

К диссертационной работе имеется несколько замечаний:

- 1) Глава 2 пункт 2.2 страница 35 в тексте перед формулой 2.18b опечатка: “или после подстановки значений (1.9a)”.
Должно быть так: или после подстановки значений (2.9a).
- 2) Глава 2 пункт 2.3.2 страница 45. Финальная фраза: “Проверено, что, исключив из векторов состояния x и y вторую компоненту (скорость), из этих уравнений можно получить все соотношения, приведенные в п.2.2.1.”
Опечатка. Следуя тексту, имеется в виду в п. 2.3.1., в данном разделе рассматриваются сложные системы (со многими частотами).

- 3) Опечатка в результатах главы 2 на странице 51: “взаимно обозначенное соответствие“. Должно быть: взаимно однозначное соответствие.
- 4) Глава 3 пункт 3.2. в последнем абзаце не ясен смысл предложения: “На рис. 3.1б также хорошо видно, что теоретическое значение порядка (3.3) не является наилучшим, т.к. $ES(6, 6) = 0.107$.” Не ясно является ли обозначение (3.3) ссылкой на формулу или порядком применяемой модели.
- 5) Глава 3 пункт 3.3 страница 59 после фразы “Минимизируя квадратичную невязку системы (3.7), равную” в формуле, не имеющей обозначения, лишний символ транспонирования.
- 6) Глава 4, пункт 4.2. страница 66. Фраза: “(см. рис. 3, где эти кривые практически неразличимы)”.
В диссертации отсутствует рисунок 3.
- 7) Заключение к главе 5 оформлено нестандартно, отличается от предыдущих глав (называется Выводы, а не Заключение к главе 5).
- 8) Стоит отметить, что список литературы составлен не в алфавитном порядке. В частности, из-за этого, появились две ссылки [24], [95] на одну книгу (Скучик Е. Простые и сложные колебательные системы), причем указано разное количество страниц (558, 552).
- 9) В качестве преимущества разработанного метода для сильно затенпфированных конструкций автором представлено сравнение результатов расчетов, полученных по предложенной модели с результатами, полученными методом полуширины резонансного пика. Однако существуют другие методы определения коэффициента потерь – по диаграмме Найквиста, метод Шредера и др., нацеленные на изучение сильно затенпфированных конструкций. Сравнение выполненных автором расчетов с результатами, определенными такими методами, являлось бы обоснованием необходимости разработки новой модели.

Приведённые замечания не влияют на высокую оценку диссертации в целом, а носят рекомендательный характер.

Исследование выполнено на высоком научно-техническом уровне, решает актуальные задачи механики и акустики. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой соответствующей специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин.

Автором разработан метод экспериментального определения коэффициентов потерь в механических колебательных системах.

Научные результаты, представленные к защите, являются новыми. Они достаточно полно опубликованы в научной литературе и представлены на ведущих научно-технических конференциях. Автореферат корректно отражает содержание диссертации.

На основании изложенного можно сделать вывод о том, что диссертационная работа «Разработка метода экспериментального определения коэффициента потерь колебательных систем на основе дискретного ARMA-моделирования» полностью удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её автор, Карпов Иван Андреевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин.

Диссертационная работа Карпова Ивана Андреевича и данный отзыв были обсуждены и одобрены на заседании НТС НИО-9 ЦАГИ №251, состоявшемся 30 октября 2025 года.

Отзыв составили:

Начальник НИЦ аэроакустики
профессор, д.ф.-м.н.



Копьев Виктор Феликсович

Старший научный сотрудник
доцент, к.ф.-м.н.



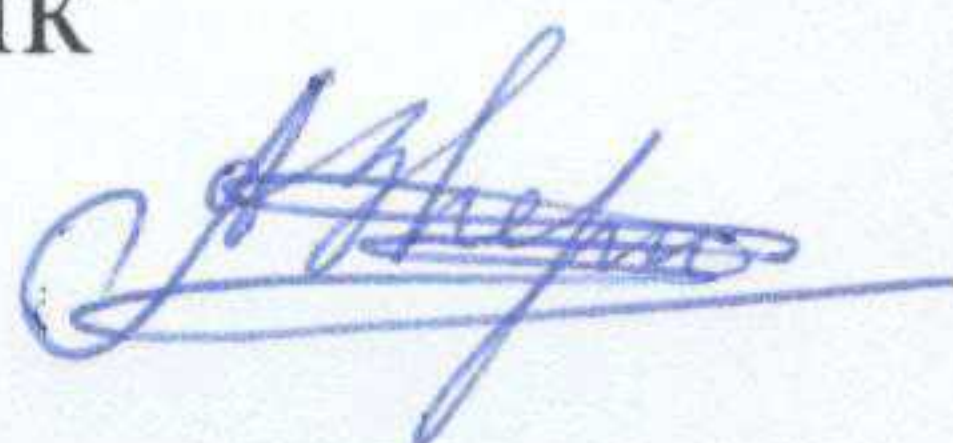
Демьянов Матвей Александрович

Начальник отдела
д.т.н.



Голубев Алексей Юрьевич

Ведущий научный сотрудник
д.ф.-м.н.



Зверев Александр Яковлевич

Наименование организации: ФАУ «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского»

Почтовый адрес: 140180, г. Жуковский, ул. Жуковского, 1

Телефон: +7(495)556-43-03

Электронная почта: info@tsagi.ru

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

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

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

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

ВЫПИСКА

из протокола № 251 заседания НТС НИО-9

от 30 октября 2025 г.

ПРИСУТСТВОВАЛИ: Копьев В.Ф., Остриков Н.Н., Голубев А.Ю., Чернышев С.А., Акиньшин Р.В., Фараносов Г.А., Демьянов М.А., Зайцев М.Ю., Денисов С.Л., Зверев А.Я., Бычков О.П., МIRONЮК И.Ю., Беляев И.В.

СЛУШАЛИ: Диссертационную работу Карпова Ивана Андреевича «Разработка метода экспериментального определения коэффициента потерь колебательных систем на основе дискретного ARMA-моделирования»

ПОСТАНОВИЛИ: Признать, что диссертационная работа «Разработка метода экспериментального определения коэффициента потерь колебательных систем на основе дискретного ARMA-моделирования» полностью удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её автор, Карпов Иван Андреевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин.

По итогам заседания НТС НИО-9 подготовлен отзыв ведущей организации на диссертационную работу.

Председатель НТС НИО-9



В.Ф. Копьев

Секретарь НТС НИО-9



И.В. Беляев