

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.125.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ
И ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ ИМ. С.А. ХРИСТИАНОВИЧА СО РАН
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 26.01.2024 № 3

О присуждении Примакову Антону Вадимовичу, гражданину РФ, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Экспериментально-теоретическое исследование влияния геометрии биканальных систем генератора звука гартмановского типа на их амплитудно-частотные характеристики» по специальности 1.1.9. Механика жидкости газа и плазмы принята к защите 15 сентября 2023 г. (протокол №17) диссертационным советом 24.1.125.01, созданным на базе Федерального бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук (ФГБУН ИТПМ СО РАН), ул. Институтская, 4/1, Новосибирск, 630090, утверждённым приказом Рособнадзора от 16.11.2007 г. №2249-1603 и продлением срока полномочий приказом Минобрнауки России от 10.09.2009 г. (№591925-1734), подтверждением полномочий от 11.04.2012 г. (№105/нк) и изменениями от 08.06.2016 г. (№661/нк), от 3.08.2018 г. (№59/нк) и от 12.09.2022 г. (№1215/нк).

Соискатель Примаков Антон Вадимович, 1994 года рождения, в 2018 году окончил магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» по направлению подготовки 24.04.03 «Баллистика и гидроаэродинамика»; в 2022 году окончил аспирантуру ФГБУН ИТПМ СО РАН по направлению подготовки 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы. Работает инженером-исследователем в ФГБУН ИТПМ СО РАН.

Диссертация выполнена в лаборатории волновых процессов в ультрадисперсных средах ФГБУН ИТПМ СО РАН.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, доцент Жилин Александр Анатольевич, старший научный сотрудник лаборатории волновых процессов в ультрадисперсных средах ФГБУН ИТПМ СО РАН.

Официальные оппоненты:

Фадеев Сергей Алексеевич, кандидат физико-математических наук, Институт механики и машиностроения – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, научный сотрудник лаборатории механики сплошной среды.

Терехов Владимир Викторович, доктор физико-математических наук, профессор РАН, Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения РАН, заведующий лабораторией «Термогазодинамика» дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»

в своём положительном отзыве, подписанном Ириной Владимировной Тетериной, кандидатом технических наук, доцентом, заведующей кафедрой «Плазмагазодинамика и теплотехника»; Юрием Михайловичем Циркуновым, доктором физико-математических наук, профессором кафедры общей физики указала, что диссертация является законченным научным трудом, соответствует паспорту специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы и удовлетворяет требованиям, установленным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842, ред. от 26.10.2023 г. №1786 «О порядке присуждения учёных степеней».

Соискатель имеет 11 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации – 10, из них 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК, 3 статьи в сборниках трудов конференций. Все результаты, представленные в работе, получены при непосредственном участии автора. Наиболее значимые результаты изложены в публикациях:

1. Primakov A.V., Zhilin A.A. Studying of the resonator depth influence on amplitude-frequency characteristics operating flow in the two-channel system // J. Phys.: Conf. Ser. 2019. Vol. 1404, № 012096 (6 pp.).
2. Primakov A.V., Zhilin A.A. Gas-dynamic studying of the two-channel system flow using numerical simulation methods // AIP Conf. Proc. 2020. Vol. 2288. 030060 (6 pp.).
3. Жилин А.А., Примаков А.В. Численное исследование тепловых эффектов в акусто-конвективном потоке биканальной системы // Теплофизика и аэромеханика. 2022. Т. 29, № 1. С. 79–89.

4. Примаков А.В., Жилин А.А. Численное исследование влияния геометрии биканальной системы на область существования эффекта Гартманна // Теплофизика и аэромеханика. 2023. Т. 30, № 3. С. 427–440.

В [1] представлены результаты экспериментальных исследований биканальных систем, генерирующих высокоинтенсивные акустические колебания с помощью генератора Гартмана. Продемонстрированы физические явления, возникающие при взаимодействии волн сжатия в тракте системы каналов. Установлена связь глубины важнейшего элемента системы (резонансной полости) с газодинамическими характеристиками потока, формируемого установкой.

В [2] сформулирована физико-математическая модель, применяемая для численного исследования газовых потоков в тракте биканальных систем. На примере системы с резонатором большой глубины детально проанализирован период цикла заполнения-опустошения резонансной полости, описаны его основные этапы.

С использованием созданной цифровой копии биканальной системы исследован процесс прогрева глубокого резонатора [3]. Продемонстрировано формирование высокотемпературной застойной области вблизи глухого торца резонатора.

В [4] проведена оценка влияния одного из основных параметров – расстояния между соплом и резонансной полостью генератора Гартмана в биканальной системе на спектральный состав формируемого высокоинтенсивного потока. В работах [2 – 4] проведена валидация полученных в расчетах амплитудно-частотных характеристик потока по экспериментальным данным, показавшая хорошее согласие результатов.

На диссертацию поступили отзывы:

Официального оппонента д.ф.–м.н. Терехова В.В. Указано, что диссертация является законченным научным трудом, выполнена в соответствии с требованиями, предъявляемыми ВАК РФ к кандидатским диссертациям. Замечания:

1. Математическая модель описана недостаточно чётко. В частности, не приведены формулы для «турбулентной вязкости», «турбулентного» числа Прандтля, коэффициенты теплопроводности и др.
2. Неудачно выбрана температура для нормировки. Принято нормировать на температуру, выраженную в кельвинах.
3. Недостаточное внимание уделено постановке граничных условий. Насколько справедливо условие постоянной температуры стенки? Чем обоснован (кроме очевидного – лучшего соответствия эксперименту) выбор такого граничного

условия, а не теплоизолированной стенки?

4. Как определялись амплитудно-частотные характеристики в математической модели?

5. Не указаны основные аспекты численного метода моделирования уравнений газовой динамики. Какого порядка точности была численная схема по пространству? По времени?

Официального оппонента к.ф.–м.н. Фадеева С.А. Отмечена востребованность и актуальность исследований газодинамических резонансных процессов в ограниченных пространствах и их потенциальная практическая значимость для различных отраслей промышленности. Вопросы и замечания:

1. Приведены результаты исследования влияния глубины резонатора и расстояния между соплом и резонатором на газодинамические характеристики потока при постоянной длине дополнительного резонатора с закрытой торцевой частью. Каким образом длина дополнительного резонатора влияет на газодинамический поток в резонансной системе?

2. Чем обусловлен гистерезисный характер зависимости амплитуды колебаний газа от давления в форкамере?

3. В области высокоинтенсивных колебаний (давление в форкамере 5 – 8 атм.), см. рис. 1.18б, наблюдается резкое увеличение частот колебаний газа на 1 – 4 гармониках при давлениях в форкамере 6 – 7 атм.; при этом частоты в диапазонах 5 – 6 атм. и 7 – 8 атм. находятся примерно на одном и том же уровне. С чем связано резкое увеличение частот колебаний газа на 1 – 4 гармониках при давлениях в форкамере от 6 до 7 атм.?

4. Отмечено, что «Изменение глубины резонатора от нулевого значения (преграды) до больших калибров приводит к изменению газодинамических параметров формируемого акустического потока. Такое влияние определяется временем, за которое газ заполняет полость и начинает истекать из резонатора». Наблюдалось ли подобие процессов, связывающее давление в форкамере и объём (или линейный размер) резонатора?

5. В тексте работы имеются опечатки и стилистические погрешности.

Ведущей организации БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. Отмечено, что диссертация посвящена теме, история исследования которой насчитывает более 100 лет. Несмотря на это взаимосвязь сложных волновых взаимодействий в многоканальных генераторах закрытого типа с акустическим излучением исследованы недостаточно, что подчёркивает актуальность работы. Отмечен значительный практический потенциал исследования. Замечания:

1. В подразделе 2.1. не даны оценки числа Рейнольдса, не приведена полная система уравнений для описания нестационарного турбулентного течения в

биканальной системе, не сформулированы все необходимые граничные условия. Число Рейнольдса различно в различных областях, примыкающих к торцам каналов. Поэтому сделанный в диссертации выбор модели течения недостаточно аргументирован. Совпадение результатов расчётов с экспериментом по частотам в трёх заданных точках не является убедительным аргументом в пользу использованной модели нестационарного течения. Хорошо известно, что в нестационарных течениях с ударными волнами эффекты вязкости практически не влияют на волновые процессы, которые являются в рассматриваемом случае источником акустического излучения. Поэтому важно было бы оценить в работе роль вязкости в формировании нестационарной ударно-волновой картины. В диссертации следовало привести все уравнения, соотношения и значения констант в используемой модели турбулентности. При описании соотношений автором допущены неточности, например, тензор σ_{ij} на стр. 59 не является тензором вязких напряжений, так как определяется не актуальными, а осреднёнными компонентами скорости газа. В данном подразделе не сказано, как задавалась кинетическая энергия турбулентности на входе в сопло. Задания одного лишь давления в форкамере недостаточно для численного решения приведённых уравнений.

2. Приведённая расчётная сетка представляется слишком грубой для течений в каналах вдали от сопла. Возможно, именно поэтому ударные волны, распространяющиеся вглубь каждого канала, получились сильно «размытыми», что наиболее выразительно следует из рис. 2.16.

3. Автор формулирует цель диссертационного исследования как «создание научных основ для построения многоканальных генераторов высокоинтенсивных акусто-конвективных колебаний». Фундаментальными научными основами при изучении рассматриваемых явлений являются уравнения Навье-Стокса и грамотная постановка краевых условий на границах расчётной области, а никак не частные, хотя и важные экспериментальные результаты, и выбранная численная модель в коммерческом пакете ANSYS Fluent. В данном случае, на наш взгляд, автор переоценивает значимость своей работы. В тексте заключения не упоминается «создание научных основ». Это свидетельствует о том, что цель, как она сформулирована автором, не была достигнута.

4. Автор часто прибегает к терминологии и оборотам речи, которые типичны для журналистики и для популярных статей, но не принятых в научных сочинениях, каковым является диссертация.

На автореферат поступили отзывы:

Д.т.н., профессора Юра Г.С. (Федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет водного транспорта»).

Отзыв положительный. Замечания:

1. Неясно, где находится область I на рисунке 2. (стр. 7).
2. Почему для измерений динамического и статического давления перед соплом использовалась трубка Пито-Прандтля, а не более современные пьезокварцевые или тензометрические датчики давления? В форкамере оптимальные значения статического давления находились в диапазоне 4 – 10 атм. (Правильнее по ГОСТ будет обозначение 0,4 – 1 МПа).
3. Нет объяснения явления возникновения высокотемпературной зоны в застойной области вблизи торца резонатора большой глубины.

К.т.н., доцента Морозова Ю.В. (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет»).

Отзыв положительный. Замечания:

1. На с. 7 непонятно, почему термин “амплитудно-частотная характеристика” приведён во множественном числе. АЧХ разных каналов или полостей?
2. Упоминается о согласовании экспериментальных результатов с теорией, однако не хватает расчётных соотношений, которые являлись бы теоретической основой проводимых экспериментов.

Д.т.н., профессора Саленко С.Д., к.т.н. Телковой Ю.В., к.ф.-м.н., доцента Гостеева Ю.А. (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет»).

Отзыв положительный. Замечания:

1. Каковы критерии оптимальности биканальных акустических конфигураций?
2. Автором несколько раз упоминается “методология”, тогда как должна – “методика”. Один раз такое случается и с “технологией”.
3. Судя по всему, автор не делает различий между “валидацией” и “верификацией”, что вообще-то разные понятия.
4. Правомерно ли использовать граничное условие “симметрия” на внутренних (жидких) границах в параллельных конфигурациях биканальных систем, учитывая нестационарный турбулентный характер течения?
5. Сколько шагов интегрирования по времени приходилось на один период колебаний давления при проведении итоговых расчётов?

Д.ф.-м.н., профессора Палымского И.Б. (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»). Отзыв

положительный. Замечания:

1. Излишне кратко описаны методы исследования.
2. Не вызывает сомнения тот факт, что публикационная активность автора достаточно высокая. Однако, для каждой опубликованной работы следовало бы указывать, где конкретно она индексируется (РИНЦ, ВАК, Scopus, WoS), а не приводить публикации общим списком.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован тем, что официальные оппоненты являются признанными высокопрофессиональными специалистами в области газовой динамики и теплофизики, а ведущая организация имеет обширный опыт работы в сфере изучения газодинамических генераторов звука гартмановского типа.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

экспериментально получены зависимости амплитудно-частотных характеристик потока от характерных геометрических размеров генератора, в том числе глубины резонансной полости и расстояния между соплом и резонатором, которые являются наиболее важными параметрами в подобных системах. Выявлен эффект взаимодействия гармоник сигнала, вследствие которого происходит их перераспределение интенсивности. Обнаружено явление гистерезиса при варьировании давления в форкамере системы;

создана цифровая копия физических процессов в тракте биканальной системы, основанная на решении трехмерных нестационарных уравнений Навье-Стокса, и проведена её валидация по экспериментальным данным и теоретическим оценкам частоты звука, генерируемого резонатором. Отлажена методика численного моделирования акусто-конвективного потока в биканальной системе. На основе полученных численных результатов построены детальные газодинамические картины течений в биканальных системах при варьировании их геометрических параметров. Выявлены зависимости спектрального состава генерируемого сигнала от основных геометрических параметров генератора Гартмана: расстояния между соплом и резонатором, глубины резонатора, соотношения диаметров сопла и резонатора. Продемонстрировано влияние дополнительного резонатора на спектральный состав генерируемого потока. Показано, что существенное усиление амплитуды колебаний наблюдается в случае резонанса колебаний в основном и дополнительном каналах;

с помощью созданной цифровой копии **предложена** модификация биканальной системы путём установки нескольких генераторов Гартмана в параллельной и последовательной конфигурациях, позволяющей увеличить объем рабочей части системы. Установлено влияние расстояния между генераторами на

амплитудно-частотные характеристики сигнала. Показано, что последовательная конфигурация генерирует сигнал низкой интенсивности с большим количеством тонов в спектре. Для параллельной конфигурации получен режим с резонансом, в котором интенсивность основной гармоники сигнала существенно возрастает.

Теоретическая значимость исследования заключается в адаптации существующих физико-математических моделей для расчётов процессов высокоинтенсивных волновых взаимодействий в ограниченном тракте би- и многоканальных резонансных устройств, позволяющих получить новые результаты, дополняющие существующие данные о работе газоструйных генераторов гартмановского типа в условиях биканальных систем.

Практическая значимость работы связана с возможностью применения разработанной численной модели для выбора оптимальных геометрических параметров создаваемых устройств и последующего использования многоканальных систем-генераторов мощного акустического излучения в различных отраслях промышленности.

Достоверность результатов эксперимента обеспечена применением надежных методов экспериментального исследования, проведённой калибровкой измерительных инструментов и повторяемостью результатов. Достоверность результатов численного моделирования подтверждается применением современного программного пакета, валидация которого подтверждена многочисленными авторами; результатами проведенных исследований сеточной сходимости и тестирования расчётной модели; согласованием полученных данных с результатами эксперимента и теоретической модели; повторяемостью численного эксперимента в различных условиях и для различных геометрий каналов.

Личный вклад соискателя состоит в участии в постановке задач, проведении расчётов и экспериментов, обработке полученных данных, обсуждении результатов, подготовке публикаций в рецензируемых журналах и изданиях, представлении материалов исследований на научных конференциях.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

На заседании 26 января 2024 года диссертационный совет принял решение за исследование процессов волновых взаимодействий при генерации высокоинтенсивных колебаний в тракте многоканальных резонансных систем, имеющих важное фундаментальное и практическое значение в газодинамике нестационарных течений, присудить Примакову А.В. учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 10 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвующих в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 16, против – 1, недействительных бюллетеней нет.

И.о. председателя
диссертационного совета

Бойко Андрей Владиславович

Ученый секретарь
диссертационного совета

Гапонов Сергей Александрович

26 января 2024 г.