

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Примакова Антона Вадимовича «Экспериментально-теоретическое исследование влияния геометрии биканальных систем генератора звука гартмановского типа на их амплитудно-частотные характеристики», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы.

Диссертационная работа Примакова А.В. посвящена комплексному исследованию газодинамических процессов, происходящих в биканальной акусто-конвективной системе. В представленной работе выполнено комплексное расчетно-экспериментальное исследование трехмерного нестационарного акусто-конвективного течения, включающего традиционный струйный генератор Гартмана в комплексе с дополнительным резонатором. Выполнено широкое параметрическое исследование параметров течения в такой системе при вариации числа генераторов Гартмана, размера резонатора, расстояния между соплом и полостью резонатора, толщиной кромок резонатора генератора Гартмана. Получены поля давления и температуры в объеме биканальных систем, позволяющие оценить возможность применения таких систем для практических приложений, в частности, для совершенствования процесса акустической сушки.

Актуальность данного исследования заключается в том, что исследуемые автором процессы имеют важное прикладное значение для ряда областей промышленности, в частности, на их основе создана уникальная технология осушения пористых материалов. Рассмотренные в работе проблемы интересны также и с фундаментальной точки зрения для понимания механизмов генерации высокоинтенсивных акустических волн с помощью газоструйного генератора Гартмана. Исследуемые эффекты актуальны и востребованы в современном обществе, что подтверждается многочисленными трудами отечественных и зарубежных авторов.

Научная новизна полученных результатов обусловлена тем, что впервые для биканальных газодинамических систем выявлен эффект гистерезиса формирующегося акусто-конвективного потока, характеризующийся повышенным значением уровня звукового давления при меньших давлениях газа в форкамере. Кроме того, предложена концептуально новая многоканальная резонирующая система в двух конфигурациях (последовательная и параллельная), включающая несколько взаимодействующих между собой пар сопло-резонатор и описаны особенности течения в её тракте. Установлен факт рассогласования резонансных пар в последовательной конфигурации, в результате чего формируется акустический поток с большим количеством низкоинтенсивных тонов в спектре. В параллельной

конфигурации удалось достичь резонанса генераторов Гартмана, что привело к значительному увеличению интенсивности колебаний в потоке.

Обоснованность и достоверность полученных результатов обеспечена применением зарекомендовавших себя стандартных методов проведения экспериментального исследования, проведённой тарировкой измерительных инструментов и повторяемостью результатов. Достоверность результатов численного моделирования подтверждается: результатами верификации расчётной модели, согласованием полученных данных с результатами эксперимента и соответствием известным результатам других авторов.

Научная и практическая значимость работы заключается в возможности использования полученных в работе амплитудно-частотных характеристик при проектировании и реализации аналогичных устройств; в адаптации разработанной методологии расчётов трёхмерных нестационарных течений в тракте би- и многоканальной системы, генерирующей высокоинтенсивные колебания, для подобных процессов; в реализации методологии оценки влияния геометрии системы на формирование акусто-конвективного потока; в усовершенствовании акусто-конвективной установки и создании концептуально новых многоканальных технических устройств.

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения и списка литературы. Общий объем работы составляет 157 страниц, включая 75 рисунков, 5 таблиц. Список литературы содержит 114 наименований.

Во введении представлена общая характеристика работы, обоснована актуальность, определены цели и задачи исследования, сформулированы выносимые на защиту положения. Также, в данном разделе указаны научная новизна, фундаментальная и практическая значимость работы.

В первой главе, состоящей из трех разделов, представлен обзор современного состояния проблемы, дано краткое описание объекта исследований и используемых экспериментальных методик. Представлены результаты экспериментального исследования влияния основных параметров генератора Гартмана на формируемый поток в тракте биканальной системы. Показано, что при увеличении глубины резонатора возрастает диапазон давлений в форкамере, в котором наблюдается эффект Гартмана. Изучено влияние зазора между соплом и резонатором, показана область эффекта Гартмана для такой конфигурации в зависимости от давления в форкамере. Установлено существование явления гистерезиса в акусто-конвективном потоке при последовательном увеличении и уменьшении давления в форкамере системы.

Во второй главе, которая содержит семь разделов, описана математическая модель биканальной системы, используемая автором в численных исследованиях; проведена верификация математической модели путем сравнения с экспериментальными данными. Представлены результаты численного моделирования различных конфигураций, которые позволили выявить ряд

интересных эффектов, дополнить картину явления детальным распределением газодинамических параметров, и, как итог, определить оптимальные геометрические параметры генератора Гартмана в биканальной системе.

Третья глава, состоящая из двух разделов, посвящена созданию многоканальной резонансной системы, включающей несколько взаимодействующих генераторов Гартмана, на основе реализованной методики численного моделирования. В первом разделе, посвященном изучению последовательно расположенных пар сопло-резонатор, описан обнаруженный эффект рассогласования потоков в резонансных парах, проявляющийся при взаимодействии соседних струй в ограниченном тракте. При рассогласовании возникают дополнительные тона в акустическом спектре, что негативно влияет на интенсивность потока. Таким образом, получен спектр с большим количеством тонов, но меньшей, чем в биканальном случае, интенсивностью.

Во втором разделе представлено исследование параллельного расположения пар сопло-резонатор. Важным выводом этого раздела является то, что в результате модификации системы с помощью дополнительной резонансной пары удалось добиться синхронизации генераторов Гартмана. Это позволяет увеличить площадь рабочей части без потерь интенсивности рабочего потока и без смещения частоты генерируемого потока. Установлено негативное влияние жёстких стенок, ограничивающих пары сопло-резонатор, на зашумлённость сигнала, и, как следствие его интенсивность.

В заключении приведены выводы и основные результаты исследования.

Автореферат диссертации в полной мере отражает объем выполненных исследований, подтверждает обоснованность научных положений и достоверность полученных результатов.

Результаты исследования прошли достаточную **апробацию** на семинарах и научных конференциях, а также **опубликованы** в 10 работах, среди которых 6 статей в журналах рекомендованных ВАК.

Замечания и вопросы по содержанию диссертации:

1. Математическая модель описана недостаточно четко. В частности, не приведены формулы для «турбулентной вязкости», «турбулентного» числа Прандтля, коэффициента теплопроводности и др.
2. Весьма неудачно выбрана опорная температура для нормировки. Обычно 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 АЧХ в математической модели?

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

Указанные недостатки и неточности не снижают общей ценности работы и не влияют на **положительную ее оценку**. Автор диссертации продемонстрировал высокую научную квалификацию путем проведения обширного исследования процессов волнового взаимодействия в многоканальных резонирующих системах.

Считаю, что диссертация «Экспериментально-теоретическое исследование влияния геометрии биканальных систем генератора звука гартмановского типа на их амплитудно-частотные характеристики» является законченным научным трудом, выполнена в соответствии с требованиями, предъявляемыми ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор, Примаков Антон Вадимович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы.

«26» декабрь 2023 г.

Терехов Владимир Викторович

Я, Терехов Владимир Викторович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Терехов Владимир Викторович, доктор физико-математических наук (01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника), профессор РАН, заведующий лабораторией термогазодинамики, Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения РАН (ИТ СО РАН, <http://www.itp.nsc.ru/>)
Адрес: 630090, Россия, г. Новосибирск, пр-т Ак. Лаврентьева, 1
Тел. 89134863069, e-mail: vt@itp.nsc.ru

Подпись Терехова В.В. заверяю.

Ученый секретарь И
к.ф.-м.н.

Макаров М.С.

Председателю
диссертационного совета
24.1.125.01 (Д 003035.02)
академику В.М. Фомину

ЛИЧНОЕ СОГЛАСИЕ ОППОНЕНТА

Я, Терехов Владимир Викторович, даю свое согласие выступить в качестве оппонента по диссертации Примакова Антона Вадимовича на тему: Экспериментально-теоретическое исследование влияния геометрии биканальных систем генератора звука гартмановского типа на их амплитудно-частотные характеристики на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы.

О себе сообщаю:

Ученая степень, отрасли науки	д.ф.-м.н.
Научные специальности, по которым защищена диссертация	01.03.14- теплофизика и теоретическая теплотехника
Ученое звание	-
Академическое звание	профессор РАН
Тел:	8 (913) 4863069,
E-mail:	vt@itp.nsc.ru
Должность	Заведующий лабораторией
Подразделение организации	Лаборатория термогазодинамики (2.2)
Полное наименование организации, являющейся основным местом работы	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук
Ведомственная принадлежность орг.	Министерство науки и высшего образования
Адрес служебный: Почтовый индекс, город, улица, дом	630090, Российская Федерация, г. Новосибирск, пр. Лаврентьева, 1
Web-сайт организации.	http://www.itp.nsc.ru/
Телефон организации.	8 (383) 3309040
E-mail организации.	director@itp.nsc.ru

По теме рассматриваемой диссертации имею 45 научных работ, в том числе в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 работ):

№	Авторы	Название статьи, журнал, год, том, №, страницы
1	Барсуков А.В.,	Численное исследование структуры турбулентного и теплообмена в

	Терехов В.В., Терехов В.И.	плоском канале с гексагональными сотами различной глубины // Сибирский журнал индустриальной математики. 2023. Т. 26. № 2 (94). С. 14-24.
2	Терехов В.И., Терехов В.В., Филиппов М.В., Чохар И.А.	Взаимодействие двух турбулентных параллельных круглых струй в ближнем поле течения // Прикладная механика и техническая физика. 2022. Т. 63. № 3 (373). С. 3-13.
3	Федорченко А.И., Марсик Ф., Терехов В.И., Терехов В.В.	Теплообмен в точке торможения свободно падающей импактной струи жидкости // Теплофизика и аэромеханика. 2022. Т. 29. № 4. С. 541-546.
4	Терехов В.И., Терехов В.В., Чохар И.А., Ян Лун Н.	Экспериментальное исследование структуры течения в одиночной траншейной лунке // Теплофизика и аэромеханика. 2022. Т. 29. № 6. С. 935-947.
5	Barsukov A.V., Terekhov V.V., Terekhov V.I.	Effect of the attack angle of the ribs on the flow and heat transfer in a flat channel // Journal of Physics: Conference Series. 37. 2021. С. 012027.
6	Пахомов М.А., Терехов В.В., Филиппов М.В., Чохар И.А., Шаров К.А., Терехов В.И.	Структура течения в пристенной газовой завесе при ее вдуве через круглые отверстия, расположенные в поперечной траншее // Теплофизика и аэромеханика. 2021. Т. 28. № 3. С. 331-341.
7	Барсуков А.В., Терехов В.В., Терехов В.И.	Влияние пассивного возмущения на структуру течения и теплообмен в отрывной области за обратной ступенькой // Теплофизика высоких температур. 2021. Т. 59. № 1. С. 126-132.
8	Ocheredko A.I., Pakhomov M.A., Terekhov V.V., Terekhov V.I.	Numerical modeling of flow pattern and heat transfer at injection of counter flowing wall jet // Journal of Engineering Thermophysics. 2021. Т. 30. № 2. С. 225-234.
9	Sangadiev A.L., Terekhov V.V.	Application of lattice Boltzmann method for studying interaction dynamics of parallel plane minijets // Journal of Physics: Conference Series. 11. 2020. С. 012069.
10	Barsukov A.V., Terekhov V.V., Terekhov V.I.	Effect of the channel divergence ratio on heat transfer in a turbulent flow around the rib-step system // Journal of Physics: Conference Series. 36. 2020. С. 012004.

Не являюсь членом экспертного совета ВАК

Согласен на включение моих персональных данных в аттестационное дело соискателя и их дальнейшую обработку.

«12» 01 2024 г.

Терехов В.В.

Подпись Терехова В.В. з
Ученый секретарь ИТ СО
к.ф.-м.н.

Макаров М.С.