

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.479.05,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «УФИМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И  
ТЕХНОЛОГИЙ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 19 декабря 2024 г. № 12

О присуждении Галимзянову Марату Назиповичу, гражданину РФ, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Волны давления в жидкости с парогазовыми пузырьками и задачи акустической устойчивости» по научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы принята к защите 12 сентября 2024 года (протокол заседания № 8) диссертационным советом 24.2.479.05, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (450076, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32), приказ № 520/нк от 24.03.2023 г.

Соискатель Галимзянов Марат Назипович, 09 мая 1976 года рождения. В 1998 году соискатель окончил Башкирский государственный университет по специальности «Прикладная математика» с присуждением квалификации Математик-инженер. Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы на тему «Динамика двумерных волн в пузырьковой жидкости» защитил в 2004 году в диссертационном совете Д212.013.09 при Башкирском государственном университете. В 2013 году присвоено ученое звание доцента по специальности Механика жидкости, газа и плазмы. Работает в должности и.о. директора Института механики им. Р.Р. Мавлютова – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения

Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в лаборатории «Механика многофазных систем» Института механики им. Р.Р. Мавлютова – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Официальные оппоненты:

1. Прибатурин Николай Алексеевич, доктор технических наук (01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника), член-корреспондент Российской академии наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория физической гидродинамики, главный научный сотрудник;

2. Губайдуллин Амир Анварович, доктор физико-математических наук (01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы), профессор, Тюменский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук, главный научный сотрудник;

3. Осипцов Александр Николаевич, доктор физико-математических наук (01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы), профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Научно-исследовательский институт механики, лаборатория механики многофазных сред, заведующий лабораторией

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», г. Казань, в своем положительном отзыве, подписанном Снигеревым Борисом Александровичем, доктором технических наук (01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы), ведущим научным сотрудником лаборатории

моделирования технологических процессов Института механики и машиностроения, и утвержденном заместителем директора по научной работе Черновым Владиславом Моисеевичем, доктором биологических наук, профессором, указала, что диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой, обладает внутренним единством, выполнена на высоком научном уровне и имеет важное научно-практическое значение. Работа соответствует областям исследования научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы. Диссертационная работа Галимзянова М.Н. по актуальности, научной новизне, практической значимости и достоверности полученных результатов соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.20013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а её автор Галимзянов Марат Назипович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Соискатель имеет 36 опубликованных работ. Из них 12 статей в научных изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, рекомендованных перечнем ВАК РФ, либо в научных изданиях, индексируемых в базе данных RSCI, 4 научные работы в изданиях, включенных в базы данных Web of Science и Scopus, 20 статей в других изданиях. Получены 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ. Общий объем публикаций 13,3 печ. л., авторский вклад – 7,9 печ. л.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Galimzyanov M.N., Agisheva U.O. Propagation of a Pressure Wave in a Tube Filled with Liquid Containing of a Bubble Cluster in the Form of a Hollow Cylinder // Fluid Dynamics. – 2023. – Vol. 58, № 8. – P. 1495-1501.

2. Гималтдинов И.К., Галимзянов М.Н., Кочанова Е.Ю. Динамика волны давления в цилиндрическом канале, содержащей кольцевую пузырьковую зону // Инженерно-физический журнал. – 2023. – Т. 96, № 4. – С. 1008-1016.

3. Agisheva U.O., Galimzyanov M.N. Acoustic Waves Propagation in Heated Water with Vapor Bubbles // Вестник Южно-Уральского

государственного университета. Серия Математическое моделирование и программирование. – 2020. – Т. 13, № 1. – С. 28-38.

4. Шагапов В.Ш., Галимзянов М.Н., Вдовенко И.И., Хабеев Н.С. Особенности распространения звука в теплой воде с воздушными пузырьками // Инженерно-физический журнал. – 2018. – Т. 91, № 4. – С. 912-921.

5. Галимзянов М.Н., Гималтдинов И.К., Кочанова Е.Ю. Взаимодействие волны давления в цилиндрическом канале со сферическим пузырьковым кластером // Прикладная механика и техническая физика. – 2023. – Т. 64, № 2. – С. 96-104.

6. Agisheva U.O., Galimzyanov M.N. Focusing of Compression Waves in a Pipe Containing Annular Bubble Cluster // Lobachevskii Journal Mathematics. – 2023. – Vol. 44, № 5. – P. 1564-1570.

7. Галимзянов М.Н., Агишева У.О. Распространение волны давления в канале, заполненном жидкостью при наличии в ней пузырькового кластера тороидальной формы // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. – 2022. – Т. 23, № 6 – С. 39-48.

8. Галимзянов М.Н., Агишева У.О. Уединенные волны в газожидкостной пузырьковой смеси // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2020. – Т. 20, № 2. – С. 232-240.

9. Agisheva U.O., Galimzyanov M.N. Wave equation for bubble liquid in Lagrangian variables // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2019. – Vol. 40, № 11. – P. 1922-1928.

10. Шагапов В.Ш., Галимзянов М.Н., Вдовенко И.И. Особенности устойчивости и акустических свойств перегретой жидкости с газовыми зародышами при повышении давления // Теплофизика высоких температур. – 2019. – Т. 57, № 5. – С. 748-754.

11. Шагапов В.Ш., Галимзянов М.Н., Вдовенко И.И. Акустика и устойчивость перегретой жидкости с газовыми зародышами // Прикладная механика и техническая физика. – 2019. – Т. 60, № 3. – С. 85-95.

12. Шагапов В.Ш., Галимзянов М.Н., Вдовенко И.И. Особенности отражения и прохождения акустических волн на границе «чистой» и

пузырьковой жидкости при «косом» их падении // Теплофизика высоких температур. – 2019. – Т. 57, № 3. – С. 464-468.

13. Шагапов В.Ш., Галимзянов М.Н., Вдовенко И.И. Особенности отражения и прохождения акустических волн на границе «чистой» и пузырьковой жидкости при прямом их падении // Теплофизика высоких температур. – 2019. – Т. 57, № 2. – С. 284-290.

14. Галимзянов М.Н., Гималтдинов И.К., Агишева У.О. О фокусировке волн давления в тороидальном пузырьковом кластере // Вестник Башкирского университета. – 2022. – Т. 27, № 1. – С. 9-17.

15. Галимзянов М.Н. Динамика импульсного сигнала в цилиндрическом канале с жидкостью, содержащем сферический пузырьковый кластер // Вестник Башкирского университета. – 2022. – Т. 27, № 2. – С. 275-286.

16. Галимзянов М.Н., Агишева У.О. Волновое уравнение для пузырьковой жидкости в переменных Лагранжа // Вестник Башкирского университета. – 2019. – Т. 24, № 2. – С. 278-284.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. **Ведущей организации** – Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», г. Казань. Отзыв положительный.

Имеются замечания: 1) Не указано, почему не учитывается диффузия газа в жидкости, хотя в пузырьке диффузия учитывается. 2) Как отмечено, новизна модели взаимодействия акустических волн с границей раздела между чистой и пузырьковой жидкостями состоит, во-первых, в том, что в ней тепловые эффекты в пузырьках и жидкости описываются непосредственно уравнениями теплопроводности. Во-вторых, она состоит в том, что диффузия газа в парогазовых пузырьках описывается непосредственно уравнением бинарной диффузии. Хотелось бы видеть демонстрацию преимуществ такого подхода по сравнению с упрощенным описанием эффектов теплопроводности и диффузии, например, сравнением с результатами других авторов. 3) Непонятно, чему физически соответствуют

граничные условия на входной границе исследуемой области трубы с пузырьковыми кластерами в ситуации, когда возмущения из исследуемой области доходят до этой границы и отражаются от нее, что, по-видимому, происходит в рассматриваемых задачах. 4) В пятой главе используется численный метод для исследования динамики волн давления в трубе, содержащей различные пузырьковые области конечных размеров. Следовало бы более полно описать используемую методику численного алгоритма с проверкой сеточной сходимости решения. 5) Много неточных утверждений (постановка задачи без указания какой, «парогазокапельные» пузырьки, хотя рассматриваются только парогазовые, неконденсируемый газ называется инертным, используется выражение «уравнения переноса типа уравнений теплопроводности и диффузии» и т.д.), также имеются опечатки и неточности в тексте диссертации.

2. **Официального оппонента**, доктора технических наук, члена-корреспондента Российской академии наук, главного научного сотрудника лаборатории физической гидродинамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук Прибатурина Николая Алексеевича. Отзыв положительный.

Имеются замечания: 1) Следовало бы физически определить понятие «равновесной скорости звука», во всей литературе это понятие связывается с наличием фазового перехода жидкость - пар в пузырьковой среде. Кроме того, физически, любая скорость, в том числе и «равновесная скорость звука» имеет конечное значение, противоположное суждение сделано на странице 68 диссертации. В этой связи следовало бы также пояснить не только существенное уменьшение равновесной скорости звука с ростом температуры для пузырьковой среды, но ее увеличение при уменьшении размера пузырьков (см. например рисунок 2.10). К слову будет сказано, в тексте обозначения скорости звука, где  $C_p$ , а где и  $C_e$ . 2) В работе рассмотрено падение гармонических волн на пузырьковые экраны. В то же время отмечается, что результаты работы могут быть использованы для гашения взрывных волн пузырьковыми завесами. Следовало бы уточнить условия использования полученных результатов для такого случая. 3) Автор довольно подробно рассмотрел взаимодействие волны давления с кластером

пузырьков, в то же время не указал на особенности изменения получаемых результатов при появлении в пузырьках капель жидкости. 4) В работе приводится теоретический анализ взаимодействия разных по расположению кластеров пузырьков с волнами давления. Практически кластер пузырьков никогда не имеет стационарного состояния, поэтому не только трудно обеспечить его стабильность, но и выполнить его расположение в пространстве. В этой связи большое значение имеет уточнение проведенных расчетов с учетом неустойчивости кластеров пузырьков. 5) В работе практически (кроме одного случая) отсутствуют результаты сравнения расчета с экспериментальными данными, об этих данных было упомянуто в первой главе диссертации.

**3. Официального оппонента,** доктора физико-математических наук, профессора, главного научного сотрудника Тюменского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук Губайдуллина Амира Анваровича. Отзыв положительный.

Имеются замечания: 1) При анализе падения волн на границу между чистой и пузырьковой жидкостями не выделена роль воздуха в парогазовых пузырьках (вывод 2), хотя новизна работы состоит в исследовании волн в смеси воды с пузырьками воздуха и пара. 2) Автор пользуется терминами «прямое» и «косое» падение волн на границу между чистой и пузырьковой жидкостями вместо обще-принятых терминов нормальное и наклонное падение. 3) Глава 2 называется «Специфика распространения звука в воде с парогазокапельными пузырьками», однако, в тексте капли не упоминаются, и не анализируется возможность их появления и влияние на волновые процессы. 4) В п.4.2.2 принцип построения разностной схемы и методика численного моделирования не изложены. Описано лишь построение разностной сетки. 5) На с. 137 написано: «Отметим, что случай задания давления на границе соответствует разрыву мембраны между камерой высокого давления, заполненной газом, и рабочей камерой, в которой находится исследуемая система». Это выражение не точное. Постановка задачи, использованная в работе, соответствует задаче о поршне. 6) В работе неоднократно упоминается о возможности гашения ударных волн

пузырьковыми экранами, хотя этот случай не рассматривался и соответствующие результаты расчетов в диссертации не приведены.

**4. Официального оппонента,** доктора физико-математических наук, профессора, заведующего лабораторией механики многофазных сред Научно-исследовательского института механики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова» Осипцова Александра Николаевича. Отзыв положительный.

Имеются замечания: 1) Формулировку задачи хотелось бы видеть в безразмерном виде, с выделением параметров подобия и оценкой характерных для рассмотренных условий значений чисел Струхалья, Рейнольдса, Пекле, Шмидта и др. Это позволило бы априори оценивать роль вязкости, теплопроводности и диффузии в рассмотренных волновых процессах. 2) Хотелось бы также видеть сравнение типичных расстояний между пузырьками с длинами волн рассматриваемых возмущений, это позволило бы оценить границы применимости используемого континуального подхода. Необходимо также было бы оценить вклад так называемой «объемной вязкости» пузырьковой среды, которой пренебрегается в принятой автором модели. В то же время, в известной работе (G. Taylor, The Two Coefficients of Viscosity for an Incompressible Fluid Containing Air Bubbles//Proc. Royal Soc. A, 1954, 226(1164), 34-37) показано, что из-за собственных колебаний пузырьков объемная вязкость пузырьков сред может на несколько порядков превосходить сдвиговую вязкость несущей жидкости. 3) Значительным новым элементом в модели, используемой автором, является учет присутствия инородного, не участвующего в фазовом переходе газа в паровых пузырьках. В то же время, одно из тестирований модели проведено путем сравнения результатов расчетов фазовой скорости и коэффициента затухания акустических возмущений с известными экспериментами E. Silbermann, в которых использовалась жидкость с чисто паровыми пузырьками. Эти эксперименты описываются и более простыми моделями пузырьковой среды. 4) В диссертации нет оценок роли относительного движения жидкости и пузырьков в задачах о распространении волн конечной амплитуды и

фокусировке ударного импульса. 5) Несмотря на довольно значительный список цитируемой литературы, автор не упоминает очень важные и широко известные публикации, имеющие прямое отношение к теме диссертации. Это, прежде всего, монография классика теории акустики дисперсных систем Самюэля Темкина (S. Temkin, *Suspension acoustics. An introduction to the physics of suspensions* (Cambridge Univ Press. 2005)), а также известные публикации других классиков механики пузырьковых сред и акустики: L. van Wijngaarden, *One-dimensional flow of liquids containing small gas bubbles*// *Ann. Rev. Fluid Mech.* 1972. V. 4, 369-396; M.S. Plesset, A. Prosperetti, *Bubble dynamics and cavitation*// *Ann. Rev. Fluid Mech.* 1977. V. 9, 145-185; K. W. Commander, A. Prosperetti, *Linear pressure waves in bubble liquids: Comparison between theory and experiment*// *J. Acoustical Soc. Amer.*, 1989. V. 85. N2, 732-746; L. van Wijngaarden, *Shock waves in bubble liquids* // Chapter in monograph "Shock wave science and technology library. V. 1 (Ed. Marinus E.H. Van Dongen)". 2007. pp. 3-33. O.V. Rudenko. *Nonlinear acoustic waves in liquids with gas bubbles: A Review*// *Phys. Wave Phenom.* 2022, V. 30, 145-155.

5. Доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук Хмель Татьяна Алексеевны. Отзыв положительный. Вопросы и замечаний нет.

6. Кандидата технических наук, доцента, доцента кафедры теплогазоснабжения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный университет» Павлова Михаила Васильевича. Отзыв положительный. Имеются замечания: 1) Результаты о влиянии нерастворимого газа на устойчивость и волновую динамику заслуживают более глубокого анализа, возможно, с использованием экспериментальных данных для верификации теоретических выводов. Планируется ли проведение экспериментальных исследований для подтверждения полученных численных и аналитических результатов? 2) Согласно действующему ГОСТ Р 7.0.11-2011, в заключении диссертационной работы, помимо итогов выполненного исследования и рекомендаций, также должны быть отмечены перспективы дальнейшей разработки темы.

7. Доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой теоретической физики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет» Демина Виталия Анатольевича. Отзыв положительный. Имеется замечание: в работе рассматриваются радиальные колебания пузырьков с учетом слабой сжимаемости тазовой фазы. Однако, интерес вызывает вопрос, насколько будет конкурировать с полученными эффектами учет более высоких собственных мод? Ведь понятно, что эти колебательные моды существуют, даже если газовая среда несжимаема, и там главная мода не может отвечать радиальным колебаниям.

8. Доктора физико-математических наук, профессора кафедры газовой и волновой динамики, заведующего лабораторией волновых процессов механико-математического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» Смирнова Николая Николаевича. Отзыв положительный. Имеется замечание: стремление автора детально изложить в автореферате используемые математические модели привело к появлению большого количества формул, в которых не объяснен смысл входящих в них величин и не раскрыты используемые обозначения (например, система (3) с граничными условиями (4)). Конечно, детали можно посмотреть в диссертации, но это не всегда удобно читателю.

9. Доктора технических наук, заместителя начальника отдела Акционерного общества «Центральное конструкторское бюро морской техники «Рубин» Сухорукова Андрея Львовича. Отзыв положительный. Имеются замечания: 1) На основании рисунка 2 (слева) трудно судить о согласовании расчетных и экспериментальных данных, поскольку экспериментальные данные представлены в очень ограниченных диапазонах. 2) Возможность использования модели линейно сжимаемой жидкости при взаимодействии волн в однофазной жидкости с пузырьковой средой требует дополнительного обоснования. Также не приводится оценка влияния диссипативности математической модели на результаты расчетов, хотя из графиков, представленных на рисунке 11, можно сделать вывод, что при

расчете осцилляции давления демпфируются значительно сильнее, чем в эксперименте. 3) Для ряда графиков, представленных в автореферате, требуются дополнительные пояснения, без которых их трудно воспринимать и анализировать. Например, на рисунке 6 отсутствуют пояснения, каким температурам соответствуют кривые 1, 2 и 3, нет информации, какие данные представлены сплошной линией, а какие пунктирной.

10. Доктора физико-математических наук, доцента, заведующего кафедрой аэрогидромеханики Института математики и механики им. Н.И. Лобачевского Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» Поташева Константина Андреевича. Отзыв положительный. Вопросы и замечаний нет.

11. Доктора технических наук, заведующего кафедрой информационных компьютерных технологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» Кольцовой Элеоноры Моисеевны. Отзыв положительный. Имеются замечания: 1) В представленной работе не указаны исследования по акустике пузырьковых жидкостей, находящихся в нестабильном состоянии. Известны ли автору публикации в этой области? 2) Было бы интересно рассмотреть среды с активной дисперсной фазой, например, вместо воздуха использовать взрывчатый газ.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой профессиональной квалификацией, наличием публикаций по проблематике, связанной с темой диссертации, компетенцией в вопросах, имеющих отношение к теме работы. Ведущая организация и оппоненты не имеют совместных проектов и публикаций с соискателем.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– впервые **проведено** подробное параметрическое исследование акустической устойчивости при акустических воздействиях на пузырьковые жидкости с парогазовыми пузырьками. **Изучены** границы устойчивости в пространстве параметров «начальный размер пузырьков – объемная доля газовой фазы» при различных значениях степени перегрева жидкости.

**Установлено**, что наличие нерастворимого газа в пузырьках может качественно изменить границы устойчивости, которые известны из предыдущих работ, в которых рассматривались чисто паровые пузырьки. В зависимости от степени перегрева и начального давления пузырьковой жидкости **определены** диапазоны размеров пузырьков, в которых пузырьковая смесь будет устойчива. **Показано**, что чем меньше перегрев, тем больше зона устойчивости;

– в области устойчивости пузырьковой среды **исследованы** законы затухания акустических колебаний в воде с «мелкими» и «крупными» паровоздушными пузырьками при различных начальных температурах среды. В широком диапазоне параметров **изучено** влияние нерастворимого газа в пузырьках на законы затухания акустических колебаний. **Найден** диапазон параметров, соответствующий максимальному затуханию колебаний;

– впервые аналитически **изучены** особенности процессов отражения и преломления гармонических волн малой амплитуды при их наклонном падении на границу раздела между чистой и пузырьковой средой. **Показано**, что для волн низкочастотного диапазона (частота меньше собственной частоты колебаний пузырьков) при их распространении со стороны пузырьковой жидкости под углом, превышающим некоторое пороговое значение, происходит полное отражение падающей волны. **Установлено**, что для начальной температуры среды 373К угол отражения имеет максимальное значение, равное  $70^\circ$ . **Отмечено**, что при падении волны со стороны чистой жидкости под любым углом волна проходит в область пузырьковой среды;

– на основании параметрических исследований падения волны давления конечной амплитуды на пузырьковые кластеры различной формы, расположенные в трубе, **установлены** законы распространения и кумуляции ударно-волновых импульсов. Для сферического кластера **показано**, что может сформироваться мощная уединенная волна, амплитуда которой превосходит исходную амплитуду в десятки раз;

– впервые **проведено** подробное исследование пузырьковых кластеров, представляющих собой полый и сплошной цилиндры, расположенные вдоль оси трубы. **Найдены** области определяющих параметров (объемная доля

газовой фазы, размеры пузырьковой области), соответствующих максимальному эффекту усиления ударного импульса.

Проведенные в диссертационной работе исследования имеют важное научно-методическое значение, полученные в диссертации результаты расширяют теоретическую базу создания высокоэффективных технологий с учетом особенностей безопасной транспортировки легких углеводородов. Полученные численные решения задач об усилении ударного импульса в пузырьковых завесах представляют несомненный практический интерес для возможных приложений в теплоэнергетике, биотехнологии и химической промышленности. Результаты теоретических исследований по анализу устойчивости перегретых пузырьковых сред к малым акустическим воздействиям могут быть применены для создания систем оперативного контроля технологических процессов, связанных с использованием неравновесных эффектов в двухфазных средах.

Результаты диссертации могут быть рекомендованы к использованию в научно-исследовательских, проектных учреждениях и высших учебных заведениях, занимающихся изучением динамики акустических волн в многофазных полидисперсных средах и её приложениями.

Результаты исследований могут быть использованы в Институте проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, в Институте теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, в Институте механики и машиностроения КазНЦ РАН, в Казанском (Приволжском) федеральном университете, Уфимском университете науки и технологий, Новосибирском и Тюменском государственных университетах.

Перечисленные результаты являются новыми, их достоверность в рамках используемых моделей не вызывает сомнения. Часть существенных полученных результатов хорошо согласуются с имеющимися экспериментальными данными и предыдущими публикациями.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задач и реализации различных этапов исследования, разработке методов решения уравнений, получении аналитических решений, построении и проведении численных расчетов, а также анализе полученных результатов, в подготовке материалов для основных публикаций по теме работы.

В ходе защиты диссертации было высказано замечание, что соискатель утверждает как о качественном, так и о количественном совпадении результатов численного моделирования с экспериментальными данными, тогда как представленные графики позволяют сделать вывод только о качественном согласовании. С этим замечанием соискатель Галимзянов М.Н. согласился и отметил, что количественное совпадение составляет порядка 90%, что по мнению соискателя является весьма хорошим результатом.

На заседании 19.12.2024 г. диссертационный совет принял решение: за детальное исследование широкого круга задач волновой динамики пузырьковых жидкостей, которое можно квалифицировать как новое научное достижение в механике многофазных сред, присудить Галимзянову Марату Назиповичу ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 8 докторов физико-математических наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – 0.

Заместитель председателя  
диссертационного совета  
д.т.н., профессор



Валиуллин Рим Абдуллович

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
к.ф.-м.н., доцент

Киреев Виктор Николаевич

19 декабря 2024 г.