

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертацию
Галимзянова Марата Назиповича «Волны давления в жидкости с парогазовыми
пузырьками и задачи акустической устойчивости»,
представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук
по научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы**

Актуальность диссертации

Во многих технологических процессах атомной промышленности и теплоэнергетики течение теплоносителей происходит в широком диапазоне температур и давлений. При этом теплофизические параметры теплоносителя могут соответствовать условиям метастабильности. На устойчивость метастабильного состояния влияет наличие в составе жидкостей примеси газовых зародышей, твердых частиц и различного рода неоднородностей. Переход системы из метастабильного состояния в неустойчивое при достаточно малом изменении внешнего воздействия способен вызвать неконтролируемое развитие нестационарных ситуаций. Поэтому определение диапазона параметров устойчивости метастабильных парогазожидкостных систем является актуальной проблемой современной механики.

Кроме того, важнейшим условием безопасности трубопроводных систем, транспортирующих широкие фракции легких углеводородов, является понимание механизмов возбуждения волновых процессов. Пузырьковые системы, как пассивные, так и содержащие взрывчатые газовые смеси, могут рассматриваться в качестве среды, возбуждение которой ударными волнами может привести к существенному усилению волнового поля и генерации мощного ударно-волнового импульса. Наряду с этим пристеночные пузырьковые зоны из-за фокусировки в них внешнего волнового поля могут интенсифицировать процесс кавитационной эрозии, что делает необходимым рассмотрение пузырьковых сред в качестве инициаторов значительного роста давления в смеси и также представляет несомненный интерес.

Все вышеизложенное обуславливает актуальность темы диссертации необходимостью развития теории волновой динамики гетерогенных сред, расширения и углубления теоретических представлений о нестационарных волновых процессах в пузырьковых системах, интенсивным использованием многофазных смесей в технике, потребностями обеспечения безопасности при эксплуатации взрывоопасных гетерогенных систем.

Научная новизна работа состоит:

– в построении карт зон устойчивости паро-газожидкостных систем в зависимости от степени перегрева жидкости, в анализе влияние начальной степени перегрева на эволюцию акустических волн в таких системах;

– в изучении и установлении особенностей отражения и преломления волн давления на границе раздела «чистой» жидкости и жидкости с пузырьками с парогазовой смесью при нормальном и «косом» падении;

– в построении областей максимального значения давления в системе в зависимости от начального объемного содержания пузырьков α_{g0} и радиуса пузырькового кластера R_{cl} (в случае сферического кластера) или протяженности пузырькового кластера Δz (в случае цилиндрического кластера).

Значимость для науки и практики полученных результатов

Проведенные в диссертационной работе исследования имеют важное научно-методическое значение, полученные в диссертации результаты расширяют теоретическую базу создания высокоэффективной технологии с учетом особенностей безопасной транспортировки легких углеводородов. 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 двухфазных сред.

Оценка содержания диссертации и ее завершенности

Диссертационная работа включает введение, 5 глав, заключение, список литературы из 258 наименований, список рисунков и приложение.

Во введении отражена актуальность темы исследований, проводимых в диссертационной работе, сформулированы цели, отмечены научная новизна, достоверность и практическая значимость работы, а также кратко изложена структура диссертации.

В первой главе выполнен обзор значимых теоретических и экспериментальных работ, исследующих волновые процессы и устойчивость жидкости с газовыми и парогазовыми пузырьками.

Во второй главе выписаны основные допущения и уравнения модели динамики пузырьковой жидкости с газовыми и парогазовыми пузырьками. Для описания межфазных теплообменных процессов использована схема, основанная на решении уравнений переноса, таких, как уравнения теплопроводности и диффузии. Получено дисперсионное уравнение для моделирования распространения акустических волн в жидкости, включающей пузырьковую область. С опорой на записанное дисперсионное соотношение получены уравнения для равновесной скорости звука в рассматриваемых средах,

равновесного радиуса и определения критического объёмного содержания.

В третьей главе рассмотрены особенности отражения и преломления гармонических волн при столкновении с границей между «чистой» жидкостью и жидкостью, содержащей пузырьки с парогазовой смесью, как при прямом, так и при наклонном их падении. Исследовано воздействие частоты колебаний на коэффициенты отражения и преломления звука при прямом падении.

В четвёртой главе выполнен анализ эволюции волн давления в заполненной чистой жидкостью цилиндрической трубе при наличии в ней пузырьковой области сферической формы. Рассмотрено случаи нахождения пузырькового кластера на оси трубы и сферический кластера, примыкающего к торцевой поверхности трубы. Для данной постановки теоретически исследуется влияние объёмного содержания пузырьков и геометрии пузырьковой области на динамику волновой картины. Как результат, построены карты максимальных давлений, достигаемых в трубе, в зависимости от значений исходных параметров.

В пятой главе проводится анализ динамики волн давления в трубе, заполненной жидкостью и содержащей пузырьковую область конечных размеров в виде полого либо сплошного цилиндров. Пузырьковые кластеры располагались как на оси трубы, так и на её боковой поверхности. Установлены критерии усиления и ослабления волны пузырьковым экраном. Построена карта зон достижения максимального значения давления в расчётной области в зависимости от начального объёмного содержания пузырьков и протяжённости пузырькового цилиндра.

В конце каждой главы приводятся краткие выводы. Общие выводы и результаты диссертации представлены в заключении.

Замечания по работе

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 .

В работе рассмотрено падение гармонических волн на пузырьковые экраны. В тоже время отмечается, что результаты работы могут быть использованы для гашения взрывных волн пузырьковыми завесами. Следовало бы уточнить условия использования полученных

результатов для такого случая.

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.

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.

В работе практически (кроме одного случая) отсутствуют результаты сравнения расчета с экспериментальными данными, об этих данных было упомянуто в первой главе диссертации.

Приведенные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы и не снижают значимость полученных в ней результатов.

Заключение по работе

Диссертация Галимзянова М.Н. является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным на высоком научном уровне. В работе получены результаты, позволяющие квалифицировать их как новые научные знания в области механики многофазных сред и прикладной математике. Результаты исследований в достаточном количестве опубликованы в ведущих научных изданиях и неоднократно докладывались на российских и международных конференциях.

Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа базируется на достаточном числе примеров и расчетов показывающих распределение параметров в пространстве и времени решений соответствующих задач. Стиль изложения диссертации четкий и ясный, работа грамотно и аккуратно оформлена. Каждая глава диссертации завершается обстоятельными выводами.

Диссертационная работа соответствует критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013, а ее автор, Галимзянов Марат Назипович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук (специальность 01.04.14 – «Теплофизика и молекулярная физика»), член-корр. РАН, главный научный сотрудник лаборатории физической

гидродинамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, д. 1, +7(383) 316-55-47, e-mail: pribaturin@itp.nsc.ru

Прибатурин Николай Алексеевич



29.11.24

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, д. 1, +7(383) 316-55-47, e-mail: pribaturin@itp.nsc.ru

Подпись Н.А. Прибатурин на заверяю
Начальник отдела кадров ИТ СО РАН



С.Ю. Грехнева