

ОТЗЫВ

Отзыв официального оппонента Меньшова Игоря Станиславовича на диссертационную работу Тухватуллиной Рузаны Рамилевны «Физико-математические модели двухфазного неизоэнтальпического двухскоростного течения пузырьковой среды», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Актуальность темы диссертации

В настоящее время возобновился интерес к изучению двухфазных течений жидкости с пузырьками газа, что объясняется необходимостью решения задач связанных с пожаро- и взрывобезопасностью в химических технологиях, разработкой силовых установок нового типа для надводных и подводных аппаратов и транспортных средств различного назначения. Численное моделирование позволяет эффективно решать эти задачи. На сегодняшний день существует несколько математических моделей, описывающих течения пузырьковых сред. Один из подходов основан на пространственном осреднении уравнений, описывающих течение каждой из фаз. Пузырьковая среда при таком подходе представляет собой совокупность двух континуумов, каждый из которых относится к своей фазе, заполняет один и тот же объем и характеризуется своими термодинамическими и кинематическими параметрами. Известно, что для таких осредненных двухфазных моделей существует проблема неэволюционности модели, когда задача Коши системы определяющих уравнений не корректна. Использование некорректных моделей при численном моделировании на практике приводит к развитию неустойчивости. Поэтому выбор физически согласованных эволюционных моделей при решении конкретных задач механики многофазных сред до сих пор остается предметом научных дискуссий. Поэтому построение корректных физико-математических моделей является актуальной задачей на сегодняшний день.

Научная и практическая ценность

Научная и практическая ценность работы заключается в том, что предложенные в работе физико-математические неравновесные модели двухфазного течения жидкости с пузырьками газа, различающиеся разным уровнем детализации физических и химических процессов, дают возможность проводить численное моделирование в широком диапазоне течений пузырьковой среды. Это было продемонстрировано при численном моделировании истечения пузырьковой среды через сопло и распространения ударной волны в жидкости с пузырьками инертного или реагирующего газа. Для предложенных моделей разработаны новые численные методы. Стоит отметить, что на основе многочисленных численных экспериментов Тухватуллиной Р.Р. было получено оптимальное значение начального газосодержания жидкости для достижения наиболее эффективной передачи количества движения от ударной волны к пузырьковой среде. Это имеет важное прикладное значение при проектировании силовых установок нового типа для надводных и подводных аппаратов.

Степень обоснованности и достоверности

Достоверность и обоснованность результатов подтверждаются их сравнением с опубликованными экспериментальными данными, а также с новыми данными экспериментов, проведенных с участием Тухватуллиной Р.Р.

Содержание работы

Диссертационная работа содержит введение, пять глав, заключение и приложение. Она представлена на 129 страницах, список литературы содержит 69 позиций.

Во введении обсуждается актуальность выбранной темы, формулируются цели работы, положения, выносимые на защиту, и основные научные результаты.

В первой главе представлен обзор литературы по теме диссертации.

Вторая глава посвящена разработке физико-математической модели, описывающей течение двухскоростного двухфазного невязкого течения жидкости с пузырьками инертного газа. Математическая модель получена методом пространственного осреднения. Для определения сил давления, действующих на межфазной поверхности, рассматривалась задача об осреднении распределения давления вдоль поверхности твердой сферы, движущейся в неограниченном объеме идеальной несжимаемой жидкости для широкого диапазона чисел Рейнольдса. Для предложенной модели доказана корректность задачи Коши системы определяющих уравнений, линеаризованных в окрестности произвольного решения, при условии, что межфазное давление неотрицательно.

В третьей главе представлена физико-математическая модель, описывающая двухскоростное двухфазное вязкое течение жидкости с пузырьками инертного газа. Доказано, что задача Коши для системы определяющих уравнений, линеаризованная в окрестности произвольного решения, корректна. Проведено сравнение численных результатов с опубликованными экспериментальными данными по истечению пузырьковой среды через сопло. На основе численных экспериментов установлено, что межфазное давление может в значительной степени влиять на структуру течения. Описаны экспериментальные исследования по взаимодействию ударной волны с пузырьковой средой. Численно и экспериментально доказано существование оптимального газосодержания для наиболее эффективной передачи количества движения от ударной волны к пузырьковой среде.

В четвертой главе представлена физико-математическая модель, описывающая двухскоростное невязкое течение пузырьковой среды, учитывающая радиальное движение газовых пузырьков в соответствии с моделью Рэлея-Ламба. В одномерном случае показано, что задача Коши линеаризованной системы уравнений корректна при тех же условиях, что и система уравнений, представленная в Главе 2. Описан новый численный метод для расчета предложенной модели. Проведено сравнение численных расчетов с имеющимися в литературе экспериментальными данными по структуре ударной волны (ее амплитуде и частоте осцилляций).

В пятой главе представлена физико-математическая модель, описывающая двухскоростное невязкое течение пузырьковой среды с учетом радиального движения пузырьков и экзотермических химических реакций. Проведено сравнение численных расчетов с имеющимися экспериментальными данными по скорости распространения и структуре детонационной волны. Предложен глобальный кинетический механизм ацетилено-кислородной смеси, полученный по задержкам самовоспламенения детального механизма. Расчеты проводились на основе детального и глобального кинетических механизмов.

Результаты работы полностью опубликованы в печати. Автореферат полностью отражает результаты диссертации.

Замечание по диссертационной работе

1. В диссертации не приведен анализ свойств монотонности и консервативности численного метода, предложенного для расчета пузырьковых течений с учетом радиальной инерции газовых пузырьков (см. главу 4).
2. Анализ корректности задачи Коши проводится графическим методом и явно не получены собственные значения и собственные вектора линейного оператора системы дифференциальных уравнений, описывающих двухскоростное неизотермическое течение пузырьковой среды.
3. Для предложенных моделей получены достаточные условия корректности задачи Коши, при этом автором не обсуждается, нарушаются ли обсуждаемые условия в численных расчетах, представленных в главах 3, 4 и 5.
4. Термодинамическая согласованность модели (неубывание суммарной энтропии системы) показана лишь на основе численного решения конкретной задачи (раздел 4.1.2.). Поэтому вопрос о выполнении второго закона термодинамики на любых режимах течения в построенных моделях остается пока открытым.

Соответствие содержания диссертации специальности

Указанные недостатки не являются препятствием для заключения о том, что диссертация Тухватуллины Рузаны Рамилевны заслуживает положительной оценки. Работа полностью соответствует специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы; соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (п.9), утвержденным Правительством Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент

старший научный сотрудник Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН,

доктор физико-математических наук

(защита докторской диссертации в 2007 г. по специальности 05.13.18)

125412, г.Москва, Миусская пл., д. 4,

тел. 8-499-220-7900 e-mail: mensov@kiam.ru

/Меньшов И.С./

29.12.2017

Подпись Меньшова Игоря Станиславовича заверяю

Ученый секретарь Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

к.ф.-м.н.



/Маслов А.И./

29.12.2017