

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа выполнена на кафедре теплофизики Карагандинского государственного университета им. Е.А. Букетова, Республика Казахстан

Научный консультант: доктор технических наук, профессор **К.К.Кусаиынов**

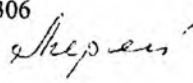
Официальные оппоненты:
доктор физ.-мат. наук, профессор **Г.А. Десятков**
доктор технических наук, профессор **А.Ф. Серов**
доктор технических наук, профессор **В.Н. Мукажанов**

Ведущая организация: Томский государственный университет

Защита диссертации состоится 17 марта 2006г. в 14.00 часов на заседании Межведомственного диссертационного Совета Д.01.05.306 при Институте физики НАН КР, Ыссыккульском государственном университете им. К.Тыныстанова и Ошском государственном университете, по адресу: 720071, г. Бишкек, проспект Чуй, 265а

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке НАН КР

Автореферат разослан "10" февраля 2006 г.

Ученый секретарь Межведомственного диссертационного Совета Д.01.04.306 канд. физ.-мат. наук  **Л.К. Меренкова**

Актуальность темы. Во многих технологических процессах на предприятиях теплоэнергетики, химической, нефтяной и газовой промышленности в металлургии и в других отраслях техники часто используются турбулентные потоки газа и гетерогенных жидкостей. Например, в теплообменных аппаратах в качестве теплоносителя используется техническая вода, которая всегда содержит различные примеси в виде газовых пузырьков или дисперсных твердых частиц. Течение многофазной жидкости, как правило, турбулентное.

Наиболее общей закономерностью турбулентных течений является образование в потоках вихревых кластеров – спаренных вихрей с одинаковыми и противоположными циркуляциями. Задача о взаимодействии вихрей является одной из центральных задач гидродинамики, имеющая как непосредственное техническое приложение, так и общезначимое значение для понимания закономерностей образования и взаимодействия структур в турбулентных потоках гетерогенных жидкостей.

Использование гетерогенных жидкостей в технике связано с эффектами различных межфазных взаимодействий, позволяющих регулировать и интенсифицировать процессы перемешивания рабочей среды.

В технических условиях для интенсификации перемешивания в гетерогенных жидкостях применяются различные способы, в том числе способ, основанный на применении электрогидравлического эффекта, являющегося мощным источником механической энергии. Весомые научные и практические результаты, в использовании электрогидравлического эффекта в технике, получены в работах Юткина Л.А., Ушакова В.Я., Воробьева В.С., Наугольных К.А., Рой Н.А., Кривицкого Е.В., Шамко В.В., Гулого Г.А. и др.

Однако, несмотря на широкое использование электрогидравлического эффекта в различных областях техники, физические явления, имеющие место в процессах взаимодействия ударных волн давления электровзрыва и макроскопических структур в гетерогенных жидкостях практически не изучены ни экспериментально, ни теоретически. Это связано с многообразием и очень сложным характером протекающих физических процессов и, как следствие, невозможностью их корректного математического моделирования в отсутствие достоверных экспериментальных данных.

Исследование физических основ взаимодействия вихревых кластеров в струях газа и волн давления с макроскопическими структурами в гетерогенных жидкостях крайне важны для понимания и описания протекающих процессов, а также моделирования теплофизических процессов гидродинамике многофазных сред.

Особое значение приобретают задачи управления мощностью электровзрыва в гетерогенных жидкостях, так как, из-за быстрого протекания

высоковольтного разряда наиболее сложным является проблема регулирования или управления мощностью разряда. В связи с этим представляется важным и актуальным исследование эволюции давления ударной волны подводного разряда в гетерогенных жидкостях на основе современных фрактальных (мультифрактальных) моделей самоорганизации структурных элементов турбулентности, сформулированных в работах И.Пригожина, Ю.Л. Климонтовича и др.

Данная диссертационная работа посвящена экспериментальному и теоретическому исследованию теплофизических процессов, протекающих при взаимодействии вихревых кластеров в осесимметричных струях и интенсификации перемешивания в гетерогенных (многофазных) средах с использованием высоковольтного электрического разряда.

Выполненные исследования в данной работе открывают широкие возможности для развития прикладных разработок, связанных с практическим применением высоковольтного электрического разряда в технике.

Цель работы: В связи с вышеизложенным, целью работы являлось экспериментальное и теоретическое изучение процессов перемешивания в струях жидкостей, имеющих различные плотности, мультифрактальное описание термодинамических характеристик высоковольтного разряда в жидкости и разработка научно-практических рекомендаций по применению электровзрыва в технике.

Достижение поставленной цели потребовало решения следующих конкретных задач:

1. Экспериментальное исследование закономерностей турбулентного перемешивания в струях газа. Определение количественных критериев степени самоорганизации турбулентных структур.
2. Экспериментальное исследование перемешивания в гетерогенных жидкостях для определения оптимальных значений концентрации, размера примесей и формы канала разряда, обуславливающих максимальное увеличение амплитуды давления разряда.
3. Разработка теоретической модели процесса для описания термодинамических характеристик электровзрыва с учетом гетероструктурных свойств жидкости и универсальных критериев степени самоорганизации турбулентных структур.
4. Разработка научно-практических рекомендаций по применению электровзрыва в технике.

Научная новизна работы заключается в том, что в ней впервые:

1. Построена мультифрактальная модель взаимодействия электровзрыва с многофазной средой.
2. Экспериментально и теоретически на основе синергетики изучены физические явления, имеющие место в процессах интенсификации перемешивания в изотермических, неизотермических струях газа и гетерогенных жидкостях.

3. Получены новые экспериментальные данные, доказывающие, что максимальная степень интенсификации перемешивания в осесимметричных свободных струях газа соответствует предельной самоорганизации структурных элементов турбулентности и интенсивности пульсаций скорости - 19,4%. Полученные результаты можно применять для интенсификации процессов сжигания различных видов топлив в струйном факеле.
4. Экспериментально установлен эффект нелинейного роста амплитуды импульса давления электровзрыва в газожидкостной среде пузырьковой структуры с углекислым газом в зависимости от концентрации и размера пузырьков. Определены оптимальные значения концентрации и размеров пузырьков CO_2 , обеспечивающие максимальное повышение амплитуды давления взрыва.
5. Обнаружен эффект кумуляции энергии ударной волны в гетерогенных жидкостях при изменении геометрической формы канала разряда, проявляющийся в нелинейном возрастании амплитуды давления электровзрыва. Определены оптимальные геометрические параметры конических поверхностей, при использовании которых достигается максимальное возрастание амплитуды давления высоковольтного разряда.
6. Зафиксирован нелинейный эффект существенного возрастания амплитуды ударной волны высоковольтного разряда в газожидкостных средах с пузырьками углекислого газа и показана его взаимосвязь с поведением среды при изменении геометрической формы канала разряда. Установлены диапазоны параметров, обеспечивающих максимальное увеличение амплитуды давления электровзрыва.

Практическая ценность.

1. Результаты диссертации могут быть применены для исследования закономерностей взаимодействия макроскопических турбулентных структур в гетерогенных жидкостях, а также в технологических процессах, связанных со сжиганием газообразных, жидких и твердых видов топлив в промышленных котельных агрегатах.
2. Полученные результаты исследований по изучению влияния примесей на амплитуду давления ударной волны высоковольтного разряда в жидкости могут быть использованы для разработки новых устройств для интенсификации работы теплообменных поверхностей.
3. Разработано и внедрено в производство новое устройство и новый способ для интенсификации работы теплообменных поверхностей путем очистки их от твердых и сверхтвердых отложений с использованием эффекта кумуляции энергии электровзрыва в пузырьковой газожидкостной среде с углекислым газом.

На защиту выносятся следующие основные положения:

1. Турбулентное перемешивание в осесимметричных свободных струях газа обусловлено каскадным дроблением турбулентных структур вследствие взаимодействия вихревых кластеров, что доказано результатами

экспериментальных и теоретических исследований на основе фрактальных (мультифрактальных) моделей самоорганизации макроскопических структур.

2. Эффект нелинейного увеличения амплитуды давления электровзрыва в гетерогенной жидкости на 15-17% обусловлен кавитацией пузырьков углекислого газа с диаметрами порядка 2-3 мм и концентрацией 0,2-0,3 %, что подтверждено результатами опытов на экспериментальной установке.
3. Эффект нелинейного возрастания амплитуды давления ударной волны электровзрыва в жидкости на 33-35% обусловлен кумуляцией энергии разряда коническими насадками с углами раствора 25° - 30° , что подтверждено результатами экспериментальных исследований и теоретических расчетов. Повышение амплитуды давления на 45-50% обусловлено эффектом кумуляции энергии электровзрыва в газожидкостной среде с пузырьками углекислого газа.
4. Построенная мультифрактальная модель взаимодействия электровзрыва с двухфазной средой с расчетными данными, соответствующие полученным результатам экспериментов.
5. Новое устройство и новый способ, защищенные предпатентами РК, эффективно очищающие внутренние поверхности пучков труб от твердых и сверхтвердых отложений, апробированные и внедренные на нескольких промышленных предприятиях Республики Казахстан.

Связь темы с планами научных работ. Данная работа выполнена в соответствии с планом научно-исследовательских работ по Программе фундаментальных исследований, координируемой Министерством образования и науки Республики Казахстан «Физика конденсированных, газообразных сред и проблемы материаловедения» (Тема : «Исследование физики импульсных и турбулентных явлений в гетерогенных жидкостях »)

Личный вклад автора. В диссертации обобщены результаты исследований, выполненных автором или с коллегами, в том числе из Новосибирска (ИТФ). Автор принимал непосредственное участие во всех экспериментах, их обработке и в обсуждении результатов. Интерпретация экспериментальных и теоретических результатов проведена автором. Научные положения, выносимые на защиту, разработаны автором единолично.

Апробация работы и публикации. Материалы диссертационной работы опубликованы в 53 работах, в том числе 2 монографиях, статьях, тезисах докладов и 2 авторских свидетельствах на изобретения, а также докладывались на Всесоюзном симпозиуме по горению и взрыву (Черноголовка, 1980г.); Международной конференции «Динамика сплошной среды» (Новосибирск, 1998г.); Международном научно-техническом семинаре «Нетрадиционные технологии в строительстве» (Россия, Томск, 1999г.); Международной научной конференции «Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент» (Караганда, ноябрь 1999г.); Международной конференции «Современные достижения физики и фундаментальное физическое образование» (Алматы, октябрь 1999г.);

Международной конференции ККТУ «Научно-технический прогресс – ведущий фактор стратегии Казахстан–2030» (Караганда, июнь 2000г.); Международной конференции «Региональные проблемы энергосбережения в децентрализованной теплоэнергетике» (Украина, Киев, октябрь 2000г.); IV Международном рабочем совещании «Эволюция открытых систем» (Алматы, октябрь 2000г.); Научно-практической конференции, посвященной 45-летию Агроуниверситета им. С.С.Сейфулина (Астана, 2001г.); Международной научно-практической конференции «Энергосберегающие технологии Прииртышья» (Павлодар, декабрь, 2001г.); Международном научно-техническом семинаре «Нетрадиционные технологии в строительстве» (Россия, Томск, 2001г.); Международной конференции «Современные проблемы механики» (Алматы, сентябрь 2001г.); Международной научной конференции «Проблемы турбулентности, теплопереноса и горения» (Алматы, март 2002г.); Международной конференции «Хаос и структура в нелинейных системах. Теория и эксперимент» (Караганда, июль, 2002г.); Международной конференции «Энергетика, телекоммуникации и высшее образование в современных условиях» (Алматы, октябрь 2002г.); 5-той Республиканской научной конференции (Актобе, апрель 2003г.); 3-ей Международной научной конференции «Проблемы дифференциальных уравнений, анализа и алгебры» (Актобе, 21-25 мая 2003г.).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения. Работа объемом 237 страниц содержит 56 рисунков, 1 таблицу, 177 наименований использованных источников, 14 приложений.

Содержание диссертации

Во введении дается общая характеристика работы: обосновывается актуальность, сформулированы цель работы, научная новизна проблемы, конкретные задачи исследования. Отмечены практическая ценность полученных результатов и изложены научные положения, выносимые на защиту. Указаны научные конференции, семинары, на которых апробированы отдельные разделы диссертации, количество публикаций. Приведена структура и объем диссертации.

В первой главе приведены результаты изучения современного состояния физических процессов интенсификации турбулентного и импульсного перемешивания в гетерогенной жидкости, рассматриваются механизмы возникновения турбулентности, обосновывается возможность применения фрактальных и мультифрактальных моделей к изучению эволюции давления ударной волны высоковольтного электрического разряда в гетерогенной жидкости.

Турбулентность как общезначимое явление впервые рассматривалось в работах И. Пригожина и Ю.Л.Климонтовича. Высказанная ими идея о возможности изучения турбулентности как процесса самоорганизации эффективно повлияла на развитие современных теоретических и

экспериментальных методов исследования проблем турбулентности. Процесс самоорганизации, проявляемый как образование структур, является наиболее общим свойством открытых нелинейных систем, способных обмениваться с окружающей средой веществом, энергией и информацией. Турбулентность не является хаосом, а представляет процесс самоорганизации.

В теоретических и экспериментальных исследованиях З.Ж. Жанабаева, С.Б. Тарасова и др. получены статистические, информационно-энтропийные характеристики вихрей и вихревых кластеров - структурных элементов турбулентности.

Основной особенностью (С.В. Алексеенко, С.И. Исатаев и др.) струйных течений является наличие в слое смешения крупномасштабных вихревых образований. Периодическое импульсное воздействие на такие типы течения с частотами из области наибольшей восприимчивости струи позволяет эффективно управлять структурой потока вплоть до резонансного усиления вихревых структур.

Образование различных структур в виде: когерентных вихрей, фрактальных кластеров и мультифрактальных объектов в струйных течениях однофазной и многофазной жидкости непосредственно связано с явлением турбулентности.

Результаты многих исследований волновой динамики многофазных систем позволяют говорить о возможности существенного увеличения скорости массообмена в пузырьковой жидкости. Это утверждение основано на закономерностях взаимодействия ударной волны (УВ) с газожидкостными системами. В этом направлении известны работы Кутателадзе С.С., Накорякова В.Е., Нигматуллина Р.И., и др., подтверждающие актуальность данной области гидродинамики в связи с важностью их практических приложений.

Одним из часто используемых источников ударной волны в гетерогенной жидкости является высоковольтный электрический разряд. Основополагающие теоретические и экспериментальные результаты использования высоковольтного электрического разряда получены в работах Юткина Л.А., Рой И.А., Кривицкого Е.В., Шамко В.В., Гулого Г.А., и др. Известны современные исследования влияния дисперсности среды на распространение ударной волны в пузырьковых средах (Донцов В.Е., и др.) и в средах с массообменом, также работы по изучению механизмов эволюции и разрушения структур при импульсных воздействиях в газожидкостных средах (Прибатурин Н.А., и др.)

Результаты вышеуказанных и других исследований стали основой настоящей работы, а их анализ определил ее цель и задачи.

Во второй главе описаны экспериментальные установки и методика измерения параметров исследованных объектов. С помощью установок были изучены структурные образования (когерентные структуры, фрактальные кластеры) в турбулентных осесимметричных струях воздуха и в газовых факелах, а также эволюция импульсного давления высоковольтного электрического разряда в турбулентном потоке гетерогенных жидкостей.

График тарировки датчика импульсного давления, полученный в результате многочисленных испытаний и экспериментов, проведенных в Институте Теплофизики СО РАН и в Лаборатории гидродинамики и теплообмена НИИ Физики Карагандинского государственного университета им.Е.А.Букетова Республики Казахстан, приведен на рис.1. Результаты систематизированных исследований показали, что относительный разброс экспериментальных точек составляет около 5-7%.

Определение коэффициента объемного газосодержания ϕ по измерениям изменений высот уровня газожидкостной среды позволяет обеспечить точность до 5%.

Для создания дисперсной среды с различными твердыми примесями в работе использована стандартная методика СГ СЭВ 3920-82, размеры твердых частиц определялись согласно методике ГОСТ 6613-86.

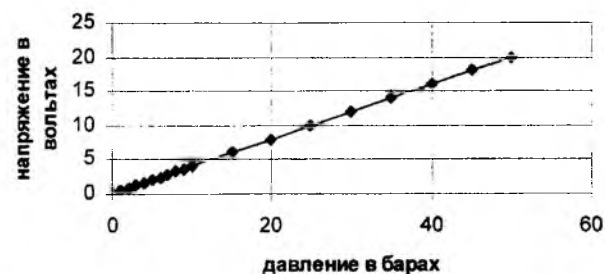


Рис.1. График тарировки пьезометрического датчика импульсного давления.

В третьей главе приведены результаты экспериментального и теоретического исследования процессов интенсификации импульсного и турбулентного перемешивания в струйных течениях

В настоящее время в связи с применением фракталов и мультифракталов к изучению турбулентных явлений, развиваемой в работах З.Ж. Жанабаева, появилась возможность теоретического расчета расширения границы основного участка турбулентных струй. Турбулентность в струе развивается посредством разрушения когерентных структур, образуемых на ее границе. Скейлинговые каскадные процессы протекают в основном участке струи, где турбулентность развита и приобретает свойства локальной однородности и изотропности. Определяется вероятность реализации заданного значения скорости смеси жидкости, турбулентной и невозмущенной, в зависимости от координат. Тогда вероятность реализации определяется выражением :

$$P_{(n)} = \frac{U}{U_m} = \frac{2}{\exp(\alpha_j + \beta_j \eta^2) + 1} \quad (1)$$

где $\eta = \frac{y}{C_0 x}$, y - поперечная координата, $C_0 = \operatorname{tg} \varphi$, φ - угол расширения турбулентной струи. Величины α_j, β_j отражают по смыслу условия, аналогичные законам сохранения. Индекс j определяет геометрию задачи: $j=0$ - плоская струя, $j=1$ – осесимметричная. Угол расширения, входящий в формулу (1) через η , считается чисто эмпирической постоянной. Исходя из элементарных моделей фрактализации границы струи, в работе Жанабаева З.Ж. удалось дать теоретическую оценку этой величины. Искомое значение C_0 относится только к основному участку как плоской, так и осесимметричной струи. На основе этих предположений с учетом фрактализации границы струи получена формула для оценки C_0 :

$$C_0 = \operatorname{tg} \varphi = \frac{\sum \Delta y_i}{\sum (x_i + \Delta x_i)} = \sum_i \frac{(1 - \cos \varphi_i)^{i-1}}{2^{i-1}} \prod_{i=1}^{i-1} \cos \varphi_i \quad (2)$$

где $x_i \sim k_i$, $\frac{\Delta k_i}{2} \sim \Delta y_i$, $\Delta k_i \sim \Delta x_i$, k_i – квазиимпульс частицы жидкости, x_i , Δy_i , Δx_i соответствующие квазиимпульсам перемещение частиц жидкости. Значение $\Delta y_{\min} = \frac{v}{U_0}$ – т.е. дробление квазичастиц ограничивается молекулярной вязкостью. Из (2), не учитывая влияние коллективных и пространственных эффектов на акт каскадных процессов, а также принимая принцип максимальности и изотропности турбулентного перемешивания, можно провести суммирование до бесконечного числа слагаемых, и в результате получим $C_0 = 0,226$.

Для экспериментального определения тангенса угла расширения $C_0 = \operatorname{tg} \varphi$ были исследованы визуальные картины течения турбулентной осесимметричной струи. На рис.2 приведена теневая картина осесимметричной струи соответствующей искусственной турбулизации струй с использованием тел вращения, устанавливаемых соосно со струей внутри сопла. На этих визуальных картинах отчетливо зафиксированы стадии развития турбулентного перемешивания затопленной струи с окружающей средой при распаде вихревых кластеров. На рис. 2(г), соответствующей очень высокой степени начальной турбулентности, четко зафиксирована зернистая структура турбулентной струи в отличие от невозмущенной окружающей среды. На рис.3 приведено компьютерное изображение визуальной картины (2 г). Отношение $b/l = C_0 = \operatorname{tg} \varphi$ совпадает углом расширения струи. Погрешность определения C_0 по фотографиям составляет 3 - 5 %. Среднее значение C_0 , полученное из этих измерений равно $C_0 \approx 0,22$, что хорошо согласуется с теорией.

Совпадение результатов теоретического расчета с результатами экспериментов показывает, что модель каскадного распада вихревых

кластеров является универсальной и правильно описывает основные физические явления, происходящие на границе турбулентных струй.

Интенсивность турбулентного перемешивания в свою очередь зависит от частоты образования и геометрических размеров вихрей, генерируемых в переходной области струи, и интенсивности их каскадного дробления в основном участке. Ниже приведены результаты экспериментального исследования вихревых кластеров, генерируемых в пламени газового факела.

На рис. 4 приведена мгновенная теневая фотография газового факела. Необходимо отметить, что во всех визуальных картинах, изученных нами в ходе экспериментов, устойчиво наблюдаются аналогичные картины.

Для измерения геометрических параметров вихревых кластеров были составлены компьютерные схемы изученных нами визуальных картин. Одна из схем (соответствующая рисунку 4) показана на рис. 5, где x и r измеряемые параметры вихревого кластера. В опытах были измерены x и r для соответствующих визуальных картин по компьютерным схемам и определены отношения x/r . Полученные численные результаты отношения изменяются в интервале значений $1,81 < x/r < 1,98$.

В результате расчета (Жанабаев З.Ж., Турмухамбетов А.Ж.) получено соотношение следующего вида:

$$x = 1,86 r; \quad \bar{x} = \frac{x}{r} = 1,86 \quad (3)$$

Значение $x = 1,86 r$ соответствует вихрям с одинаковыми циркуляциями. Результаты исследований показывают, что теория основанная на структурной модели турбулентности правильно описывает реальные процессы динамики вихревой структуры газовых потоков.

По S – теореме Климонтовича энтропия при самоорганизации уменьшается по сравнению с состоянием физического хаоса, если производить сравнение при одинаковых значениях средней энергии системы. Состоянию совершенной, предельной самоорганизации соответствует значение $1 - S_* = 1 - 0,806 = 0,194$, где $S_* = S(J_2) = J_2 = 0,806$.

При турбулентном движении жидкости образуются различные неравновесные диссипативные структуры самоорганизации. В начальной стадии развития турбулентности, в сдвиговых слоях образуются крупномасштабные, анизотропные структуры различного типа. Структурными элементами развитой, однородной турбулентности являются изотропные (колмогоровские) вихри. Поэтому однозначного соответствия результатов теории структурной турбулентности с экспериментом можно ожидать только с критерием $1 - J_2 = 1 - 0,806 = 0,194$.

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ

На правах рукописи

УДК 537.528+723.7

МУХАМЕДИН Сагат

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ИМПУЛЬСНОГО И ТУРБУЛЕНТНОГО
ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В ГЕТЕРОГЕННЫХ ЖИДКОСТЯХ**

01.04.14-Теплофизика и теоретическая теплотехника

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Бишкек - 2006



Рис.2. Струя с центральными вставками.

$$\frac{d}{D} = a - \frac{1}{4}, b - \frac{4}{9}, в - \frac{5}{9}, r - \frac{7}{9}$$

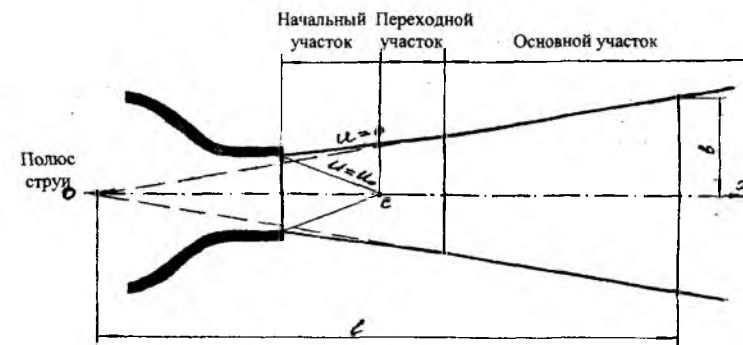


Рис.3. Схематическое изображение картины 2 (г).



Рис.4. Вихревой кластер в пламени турбулентного факела.

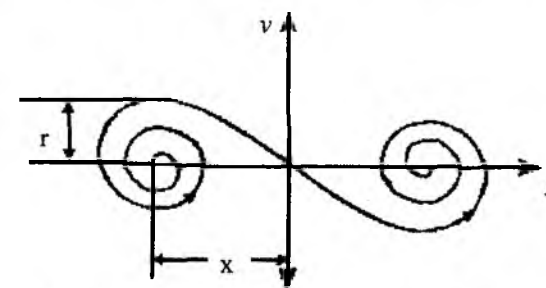


Рис.5. Компьютерная схема вихревого кластера

Для экспериментальной проверки выводов теории были поставлены специальные опыты с изучением визуальных картин и пульсационных характеристик струи воздуха.

На рисунках 6 и 7 представлены экспериментальные данные по измерению интенсивности турбулентных пульсаций скорости по оси струи в естественном случае, при наличии турбулизатора и акустического воздействия. Во всех случаях при изотропизации течения (рост x/D) наблюдается тенденция $\epsilon \rightarrow 1 - J_2 = 0,194$. Как и следовало ожидать, при турбулизации потока в начальной области течения струи самоподобие достигается при относительно малых значениях x/D , чем при естественном затягивании дробления вихрей путем акустического воздействия.

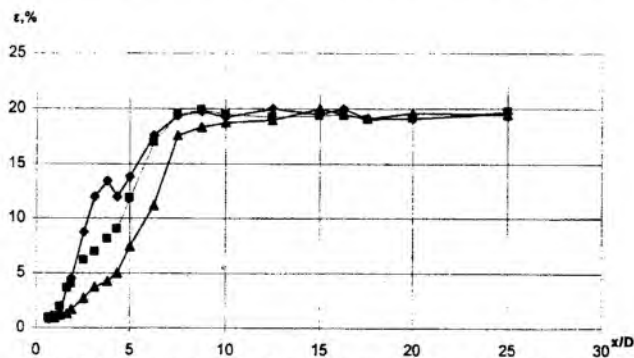


Рис. 6. Распределение турбулентной пульсации скорости вдоль оси струи без внешних воздействий.

Re: \diamond - 9600, \blacksquare - 19200, \blacktriangle - 28800

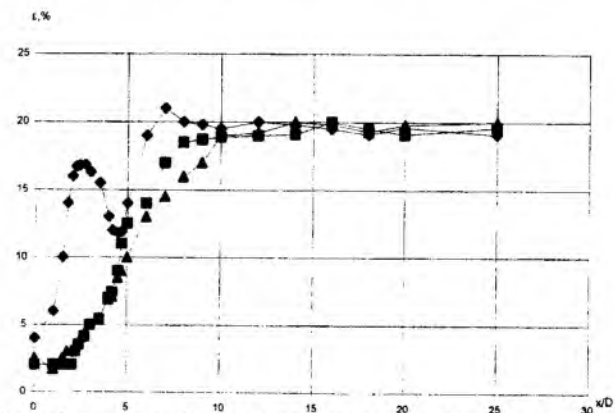


Рис. 7. Изменение турбулентной пульсации скорости вдоль оси струи при воздействии акустических импульсов.

Re=9600, Pзв=90 дБ, f=: \diamond - 270 Гц, \blacksquare - 900 Гц, \blacktriangle - 1400 Гц

Установленные универсальные информационные критерии степени самоорганизации применимы и для анализа турбулентных явлений. Эти критерии выступают как количественное проявление S – теоремы Климонтовича. При предельно развитой самоорганизации нормированная на единицу энтропия уменьшается до 0,806. Естественные флуктуации характерных величин предельно самоорганизованной сложной открытой системы составляет 19,4%. Результаты экспериментов, приведенные в этой главе, полностью подтверждают количественное проявление S – теоремы Климонтовича.

В четвертой главе приведены результаты экспериментального исследования эволюции давления ударной волны электровзрыва в потоке гетерогенных жидкостей содержащих различные, структурные образования в виде фрактальных кластеров и мультифрактальных объектов.

Экспериментальная установка позволяет создавать электрические разряды в рабочей среде с заданной дисперсностью газовой или твердой фазы. Гетерогенность рабочей среды создавалась добавлением в жидкость пузырьков воздуха или пузырьков углекислого газа CO_2 . Опыты проводились при фиксированных значениях параметров разрядного контура (разрядное напряжение, емкость накопителя энергии, индуктивность разрядного контура). Для выявления и учета влияния состава рабочей среды на динамику разряда в экспериментах изменялись следующие параметры: концентрация содержания газовой и твердой фаз, межэлектродное расстояние и размеры дисперсных частиц и газовых пузырьков.

В экспериментах использовались системы с различной степенью растворимости газа в жидкости: вода – углекислый газ и вода – воздух. Во всех опытах начальное статическое давление составляло $P_0 = 1$ бар, а амплитуда возмущающей ударной волны P изменялось от 5 до 25 бар.

В результате экспериментальных исследований получены зависимости импульсных давлений для различной степени дисперсности рабочей среды, изменения размеров пузырьков и диаметров «ударных труб».

На рисунке 8 показаны результаты опытов по определению зависимости амплитуды импульсного давления электровзрыва от размеров пузырьков воздуха при различных газосодержаниях.

Из графика видно, что при увеличении размеров воздушных пузырьков импульс давления электровзрыва с ростом концентрации монотонно падает. Наименьшее изменение амплитуды давления наблюдается для пузырьков воздуха диаметром порядка $d \sim 2 \div 3$ мм. Таким образом, экспериментально установлен наиболее оптимальный размер газовых пузырьков. Поэтому дальнейшие опыты с пузырьками газа проводились при $d \sim 2 \div 3$ мм, как наиболее приемлемого размера газовых пузырьков, при котором импульсное давление электровзрыва испытывает наименьшее изменение.

Результаты эксперимента, приведенные на рис. 8, показывают возрастание роли демпфирования с ростом размеров воздушных пузырьков, что в конечном счете приведет к более быстрому затуханию амплитуды давления.



Рис.8. Зависимость P/P_0 от ϕ при различных размерах воздушных пузырьков
 \square – $d = 2 \div 3$ мм, Δ – $4 \div 5$ мм, \circ – $5 \div 6$ мм.

Установлено, что при малых концентрациях CO_2 наблюдается нелинейное поведение эволюции давления (рис.9) в частности, при $\phi = 0,25-0,30\%$ максимально достигаемое значение импульсного давления на 15-17% больше, чем в чистой воде. Аналогичные зависимости получены в опытах с ударными трубами диаметрами равными $D = 0,018; 0,051$ м. Во всех случаях при $\phi \sim 0,25\%$ обнаружен эффект повышения амплитудного значения давления взрыва на 15-17%.



Рис.9. Зависимость относительного давления P/P_0 от концентрации CO_2
 $l = 6$ мм, $P_0 = 25$ Н/м², $D = \square$ - 18 мм, Δ - 25 мм, \circ - 51 мм

Анализируя результаты рис. 9, где наблюдается увеличение амплитуды давления при малых концентрациях углекислого газа, можно предположить, что оно связано с кавитацией (схлопыванием пузырьков), которая обуславливает возникновение дополнительного давления.

На рис.10 приведены графики зависимости безразмерного давления P/P_0 от концентрации ϕ_s для различных фракций песка при $P_0 = 24$ бар.

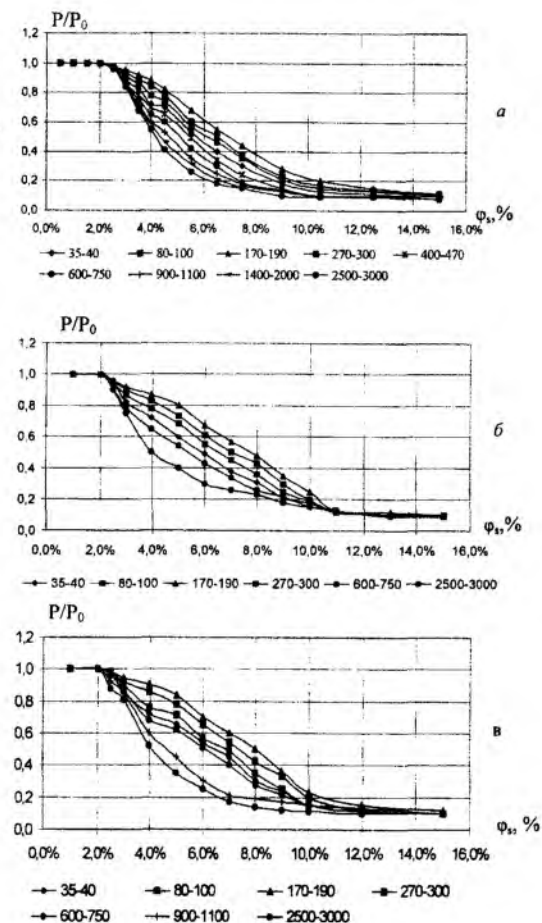


Рис.10. Зависимость P/P_0 от дисперсности среды
 а – $P_0 = 24$ Н/м²; б – $P_0 = 15$ Н/м²; в – $P_0 = 9$ Н/м²

Аналогичные результаты были получены и для значений $P_0 = 15$ бар и $P_0 = 9$ бар. Из графиков видно, что амплитуда импульсного давления высоковольтного разряда в гетерогенной среде имеет тенденцию плавного снижения. Анализ проведенных экспериментов указывает на очень важный результат, а именно, на возникновение нелинейного эффекта при электровзрыве в гетерогенной среде с частицами песка. Суть нелинейности в

том, что на эволюцию импульсного давления, создаваемого разрядом, размеры твердых частиц влияют не одинаково.

Образование фрактальных структур в гетерогенной среде приводит к изменению физических свойств этой среды. Поэтому процесс распространения ударной волны электровзрыва в такой среде существенно отличается от процесса в чистой жидкости. Появляется нелинейный эффект изменения амплитуды импульсного давления в зависимости от размеров дисперсных включений. В опыте минимальный спад давления соответствует значениям d/D в диапазоне $0,002 < d/D < 0,02$ или в абсолютных единицах $170 < d < 270$ мкм.

На рис.11 приведена зависимость P/P_0 от угла конусности θ отражателя. Как видно из графика, в опыте обнаружена нелинейная зависимость импульса давления от угла θ . Максимальное увеличение амплитуды давления происходит при применении конического отражателя с углами раствора $\theta = 25-30^\circ$.

Возрастание амплитуды импульсного давления объясняется оптимальным наложением отраженных от поверхностей твердых отражателей волн давления, усиливающим общее давление, фиксируемое датчиком – эффектом кумуляции энергии ударной волны.

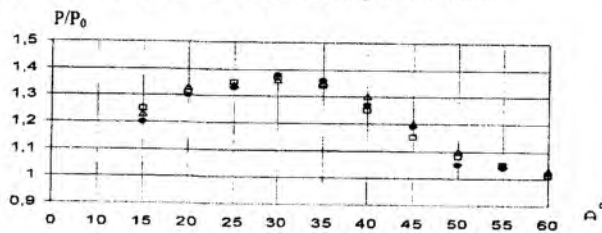


Рис.11. Зависимость амплитуды давления от угла конических отражателей, $l=6$ мм, $P_0=25$ Н/м², $D=$ □ – 18 мм, ● – 25 мм, Δ – 51 мм.

На рис.12 приведены результаты опытов по измерению величины импульсного давления при одновременном воздействии эффекта кумуляции

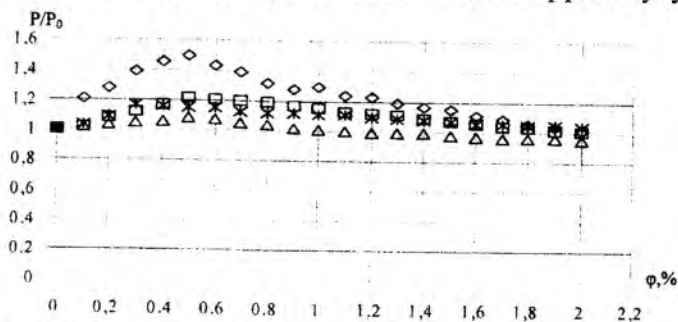


Рис.12. Зависимость давления от концентрации CO_2 в рабочей среде, угол при вершине конуса $\theta =$: × – 0° , □ – 10° , ◊ – 30° , Δ – 45° .

с коническим отражателем с различными углами раствора и варьированием газосодержания в качестве дисперсной фазы в среде углекислого газа. Наложение двух эффектов кумуляции и кавитации приводит к усилению амплитуды давления в 1,5 раза при объемной концентрации пузырьков углекислого газа $\phi=0,5\%$.

Таким образом, экспериментально установлена возможность увеличения амплитуды импульсного давления с помощью конических отражателей и пузырьков углекислого газа определенной концентрации в гетерогенной жидкости при неизменных электрических параметрах разряда.

В подразделах 4.4.1 и 4.4.2 приведены описания разработанных по результатам исследований способа и устройства, защищенные предпатентами РК №10528 от 08.02.2000, №12247 от 19.03.2001.

Схема очистки приведена на рис.13. Предварительно в полностью забитой отложениями трубе 1 делается небольшая выемка, к которой подводится кабель-электрод 2, выполненный в виде оголенной жилы высоковольтного кабеля, совместно с трубкой 3 для подачи газожидкостной смеси. Положительный вывод генератора импульсных напряжений

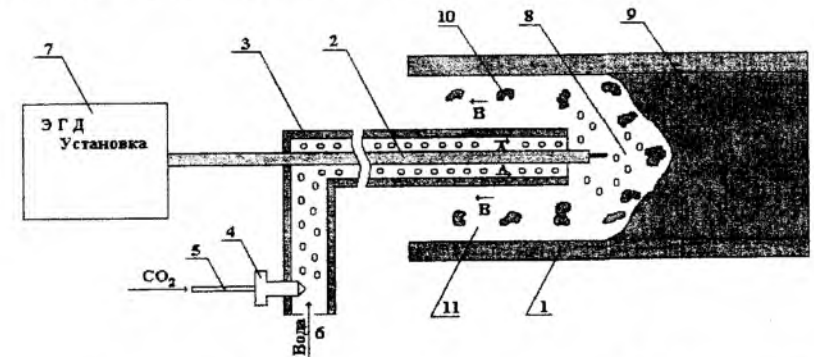


Рис.13. Схема способа очистки полностью забитых твердыми отложениями трубы

1 – стенка очищаемой трубы, 2 – кабель-электрод, 3 – трубка для подвода газожидкостного потока, 4 – генератор пузырьков, 5 – газовая магистраль, 6 – техническая вода, 7- электрогидравлическая установка, 8 – зона электровзрыва, 9 – массив отложений, 10 – разрушенные отложения, 11 – канал смыва разрушенных отложений

электрогидравлической установки соединен с кабелем-электродом 2, отрицательный вывод соединен с трубой 1. Техническая вода 6, поступающая в трубку 3, подается в направлении подачи и движения кабеля-электрода. Газ CO_2 равномерно подается через газовую магистраль 5 при помощи генератора пузырьков 4 в очищаемую трубу теплообменника. Объемная концентрация газа в газожидкостном потоке изменяется в пределах

0,25±2,00%. В полости 8 очищаемой трубы происходит разряд, в результате которого образуются ударные волны, отслаивающие отложения 9.

Предложенный способ очистки реализуется следующим образом. Углекислый газ пропускается через генератор пузырьков 4 в полость трубы 3, заполненную технической водой 6, образуя газожидкостную смесь. При схлопывании пузырьков газа излучается вторичная ударная волна с амплитудой большей, чем амплитуда начальной ударной волны. Кроме того, при нахождении пузырька возле стенки на нее в процессе схлопывания пузырька действует кумулятивная струйка жидкости, скорость которой может составлять величину несколько десятков метров в секунду. Эти эффекты способствуют быстрому отслаиванию находящихся на внутренней поверхности трубы твердых отложений. В результате очистки внутренних поверхностей труб удаляются твердые отложения в виде накипи, золы, камня, шлака и др.

Схема устройства показана на рис.14. Предварительно в трубу 1, частично забитую твердыми или сверхтвердыми отложениями 6 толщиной до 3 мм, подводится кабель-электрод 2, выполненный в виде оголенной жилы высоковольтного кабеля с оплеткой, совместно с подвижной конической насадкой 3, закрепленной с помощью крепления 4. Положительный вывод

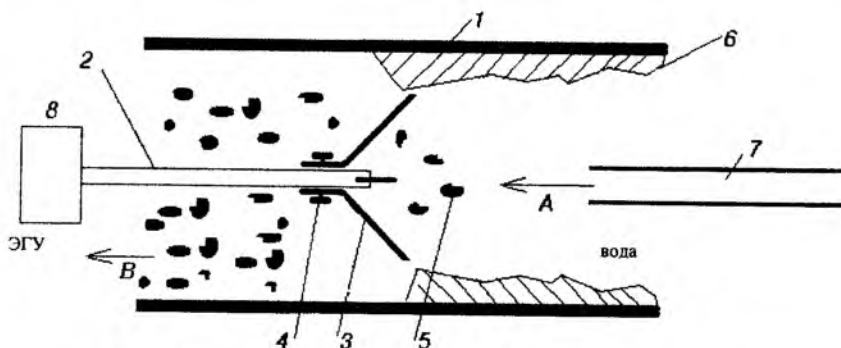


Рис.14. Схема устройства для очистки труб теплообменников

- 1 - стенка очищаемой трубы, 2 - кабель-электрод, 3 - конусная вставка, 4 - крепление, 5 - разрушенные отложения, 6 -очищаемый слой накипи, 7 - вода, 8 - электрогидравлическая установка.

генератора импульсных напряжений электрогидравлической установки (ЭГУ) 8 соединен с центральной жилой кабеля-электрода 2, отрицательный вывод соединен с оплеткой кабеля электрода. Техническая вода подается гибким резиновым шлангом 7 навстречу кабелю- электроду.

Предлагаемое устройство для очистки реализуется следующим образом. Коническая насадка 3 подбирается по внутреннему диаметру очищаемой трубы, закрепляется к концу кабеля электрода и вводится в полость

очищаемой трубы. Электрический разряд происходит между центральной жилой и оплеткой кабеля электрода, образуется ударная волна, которая отражается от конической поверхности насадка в направлении угла раствора конуса. Усиленная кумулятивным эффектом ударная волна способствует быстрому отслаиванию находящихся на внутренней поверхности трубы твердых и сверхтвердых отложений толщиной ~3 мм.

В пятой главе приведено мультифрактальное описание и результаты численного расчета эволюции давления высоковольтного разряда в гетерогенных жидкостях.

Фрактальная мера определяется как,

$$M \sim \delta^\alpha N(\delta) = \delta^\alpha \delta^{-D} = \delta^{-n}, \quad n = D - d, \quad \delta = r_0/r_m, \quad 0 \leq \delta \leq 1, \quad (4)$$

где r_0, r_m – минимальный и максимальный масштабы ячеек, $N(\delta)$ – число ячеек фрактальной структуры, α – топологическая размерность ячейки, D – фрактальная размерность множества ячеек. В качестве фрактальной меры газожидкостного потока примем объем жидкости $V_f = V_f(D)$, зависящий от фрактальной размерности из-за его изрезанности газовыми пузырьками.

Мелкомасштабность фрактальных структур предполагает возможность описания всего полного объема гетерогенной жидкости V как фрактальную меру множества структур. Используя формулу (4), и вводя безразмерные переменные, запишем в виде

$$V = V_f \delta^{-n}, \quad V_f = V - V_g, \quad \varphi_g = V_g / V, \quad \delta = r_0/r_m,$$

$$1 = (1 - \varphi_g) \left(\frac{r_m}{r_0} \right)^n, \quad r_m = r_0 (1 - \varphi_g)^{-1/n}, \quad (5)$$

где V_g – объем газовой фазы, φ_g – объемная концентрация газовой фазы. Для случая жидкости с твердыми частицами в формулах (5) V_g, φ_g заменяем через V_s, φ_s – объем и объемную концентрацию твердых частиц.

Если фрактальные структуры крупномасштабные, то необходимо учесть изменение их пространственных масштабов, считая фрактальной мерой объем вытесненной жидкости каждой из них V_f :

$$V_f = V_g \left(\frac{r_m}{r_0} \right)^n, \quad r_m = r_0 \frac{V}{V_g} (1 - \varphi_g)^{-1/n}, \quad (6)$$

где r_0, r_m – минимальный и максимальный масштабы газовых структур. Если крупномасштабная фрактальная структура образована из твердых частиц, то в формуле (6) V_g, φ_g заменяем через V_s, φ_s , а r_0, r_m отнесем к структурам из твердых частиц.

Из формул (5), (6) следует, что с ростом концентрации дисперсных фаз φ_g , φ_s пространственный масштаб мелкокомасштабных структур растет, а у крупномасштабных – уменьшается.

Для термодинамического описания реальных процессов используется уравнение политропического процесса

$$PV^\kappa = \text{const}, \quad (7)$$

где P – давление, V – объем среды, κ – показатель политропы. В гетерогенных средах даже достаточно быстропеременные процессы становятся неадиабатическими (κ – отличается от показателя адиабаты), т.к. в результате структурной перестройки среды, сопровождаемой любым реальным процессом, меняется ее энтропия, а строго адиабатический процесс является изоэнтропийным.

Учитывая структурные свойства среды, можно связать с ее мультифрактальными характеристиками величину показателя политропы κ . Без учета взаимодействия структур, т.е. неидеальности среды, можно пользоваться формулой

$$\kappa = (i + 2)/i, \quad (8)$$

совпадающей по форме с формулой для показателя адиабаты. Однако, здесь i – степень свободы не молекулярного уровня движения, а движения макроскопических структур – вихрей, кластеров частиц. Известно общепринятая оценка числа макроскопических степеней свободы в инерционной, самоподобной области турбулентности

$$i \approx \left(\frac{r_m}{r_0}\right)^3 \sim \left(\frac{Re}{Re_*}\right)^{9/4}, \quad \frac{r_m}{r_0} \sim \left(\frac{Re}{Re_*}\right)^{3/4}, \quad Re_* \leq Re < \infty \quad (9)$$

где r_m , r_0 – наибольший и наименьший пространственные масштабы движения, Re , Re_* – число Рейнольдса и его критическое значение. Включая коэффициент пропорциональности в определение r_0 или Re_* , из формул (8) и (9) имеем

$$1 \leq i \leq \infty, \quad 1 \leq \kappa \leq 3. \quad (10)$$

Для водяного пара экспериментами установлен диапазон изменения значений:

$$\kappa = 1,01 \div 2,7, \quad (11)$$

близкий к (10), что подтверждает правомерность использования формулы (8).

Формула (9) следует из условия каскадного самоподобного деления вихрей, поэтому ее можно рассматривать также как результат вычисления фрактальной меры – объема, характеризуемого дробной размерностью $9/4$. Поэтому зависимость r_m (Re) от концентрации примесей можно учесть

формулами (5), (6). Вероятностное поведение фрактальной меры – мультифрактальность описывается через $n = n(S_*, q)$, где S_* – информационная энтропия; q – порядок мультифрактального момента. После этих пояснений показатель политропического процесса в гетерогенной среде представим в виде:

$$\kappa(Re, \varphi) = \frac{2 \cdot \left(\frac{Re}{Re_*}\right)^{-3/4} + (1 - \varphi)^{-3/n}}{(1 - \varphi)^{-3/n}} = 1 + 2(1 - \varphi)^{3/n} \cdot \left(\frac{Re}{Re_*}\right)^{-3/4}, \quad (12)$$

$$\kappa(Re, \varphi) = 1 + 2(1 - \varphi)^{-3/n} \left(\frac{Re}{Re_*}\right)^{3/4}, \quad (13)$$

$$\varphi = (\varphi_g, \varphi_s), \quad n = S_* \frac{T}{T_0}, \quad I_1 \leq n \leq 2I_2 - I_1, \quad \text{где } I_1 = 0,567; I_2 = 0,806$$

Формула (12) относится к среде с мелкокомасштабными структурами, а формула (13) – с крупномасштабными. В предельных случаях изменения Re , φ имеют соответствие с (9):

$$\varphi = 0, \quad Re = Re_*, \quad \kappa = 3, \quad (14)$$

$$\varphi = 1, \quad \kappa(Re) = 1; \quad Re = \infty, \quad \kappa(\varphi) = 1. \quad (15)$$

Полученные выражения (12), (13) могут быть использованы для расчета реального, неравновесного (политропического) процесса, протекающего в двухфазной среде на основе соответствующего им неравновесного термодинамического приближения. Без учета механизма взаимодействия частиц среды и дисперсных фаз можно пользоваться приближением идеального газа.

Для учета неравновесности по времени первый закон термодинамики запишем в дифференциальном виде через производные по времени

$$dQ(t) = \frac{d(PV)}{\kappa - 1} + PdV, \quad dU = \frac{1}{\kappa - 1} d(PV), \quad (16)$$

$$N(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = \frac{1}{\kappa - 1} \frac{d(PV)}{dt} + P \frac{dV}{dt}, \quad (17)$$

где $N(t)$ – мощность выделяемого тепла Q , dU – дифференциал внутренней энергии.

Уравнение (17) запишем через координату фронта ударной волны $x(t)$:

$$\frac{C}{\kappa(\varphi) - 1} \left(x' \frac{dP}{dt} + \kappa(\varphi) P \frac{dx'}{dt} \right) = N(t), \quad (18)$$

где $j = 2,3$ в цилиндрическом и сферическом случаях взрыва, $C_1 =$ коэффициенты формы объема, $C_2 = \pi L$ (L – длина цилиндра), $C_3 = \frac{4\pi}{3}$.

Для замыкания уравнения (18), содержащего неизвестные величины $x(t)$, $P(t)$, воспользуемся известным результатом теории сильных ударных волн, который следует из законов сохранения:

$$P(t) = \frac{2\rho_0}{\kappa + 1} \left(\frac{dx(t)}{dt} \right)^2, \quad (19)$$

где ρ_0 – плотность покоящейся жидкости.

Расчеты динамики давления на основе термодинамического анализа нелинейного процесса ЭГЭ в гетерогенной среде учитывают влияния степени дисперсности среды и изменения геометрии канала на распространение ударной волны посредством введения уточняющих коэффициентов в уравнение теплового баланса.

Мощность электровзрыва запишем в следующем виде:

$$N(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = \frac{C_j}{\kappa(\varphi) - 1} (V \cdot P' + \kappa(\varphi) \cdot PV') \quad (20)$$

Величины со штрихами обозначают дифференциалы по времени. Давление P на первом шаге равно максимальному значению давления на фронте ударной волны, которое определяется из условий Гюгонию:

$$P = \frac{2\rho_0}{\kappa + 1} \cdot U^2 = C_1 \cdot U^2, \quad (21)$$

где $C_1 = \frac{2\rho_0}{\kappa + 1}$ – коэффициент, учитывающий нелинейные свойства гетерогенной среды, U – скорость распространения ударной волны:

$$U = \frac{dx(t)}{dt} \quad (22)$$

Объем пространства, в котором происходит распространение ударной волны, равен объему цилиндра или при наличии конусных отражателей – объему некоторого конуса. Тогда можно представить рабочий объем, окружающий канал разряда, как объем конуса:

$$V = C_2 \cdot x^2, \quad (23)$$

где $C_2 = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot r \cdot \text{tg}\theta$ – коэффициент, зависящий от геометрических параметров канала распространения ударной волны, r – радиус рабочей части трубы, θ –

угол при вершине конуса. С учетом падения осевой скорости получим систему уравнений, описывающий электровзрыв в гетерогенных жидкостях

$$\begin{cases} P' = \frac{\kappa - 1}{C_2} \cdot \frac{N(t)}{x^2} - 2 \cdot \kappa \sqrt{\frac{P^3}{C_1}} \cdot \frac{1}{x(t)} \\ x' = C_3 \left(\text{Re}_0^{\frac{1-\gamma}{6}} / x^{\frac{7-\gamma}{6}} \right) \cdot \sqrt{\frac{P}{C_1}} \end{cases}, \quad (24)$$

где коэффициент C_3 подбирается из эксперимента.

Система уравнений (24) решалась разностным методом по схеме Эйлера и по методу Рунге-Кутты. Полученная система уравнений решалась конечно-разностным методом Эйлера по следующей схеме:

$$\begin{cases} P_{i+1} = P_i + \frac{\Delta t}{C_2} (\kappa - 1) \frac{N(t)}{x_i^2} - 3 \frac{\Delta t}{\sqrt{2\rho_0}} \kappa \sqrt{\kappa + 1} \frac{P_i^{3/2}}{x_i} \\ x_{i+1} = x_i + C_3 \left(\text{Re}_0^{\frac{1-\gamma}{6}} / x_i^{\frac{7-\gamma}{6}} \right) \cdot \sqrt{\kappa + 1} \frac{\Delta t}{\sqrt{2\rho_0}} P_{i+1} \end{cases} \quad (25)$$

Численно рассчитаны зависимости амплитуды давления от степени газосодержания с учетом кавитации пузырьков углекислого газа, зависимость импульса давления при различных углах θ конусного отражателя, зависимость амплитуды давления P_m/P_0 от угла раствора конусного отражателя, зависимость P_m/P_0 от степени газосодержания при различных значениях угла конусности θ и другие параметры, характеризующие ЭГЭ в гетерогенной жидкости. Основные результаты расчета приведены на рисунках 15,16,17. На этих графиках для сравнения также приведены экспериментальные результаты.

Результаты расчета импульса давления электровзрыва в пузырьковой жидкости с легкорастворимым углекислым газом CO_2 представлен на рис.15. Из графика видно, что при наличии в жидкости пузырьков газа CO_2 наблюдается повышение амплитуды импульса давления электровзрыва в гетерогенной среде. Этот эффект объясняется появлением добавочного давления от кавитации пузырьков углекислого газа. Амплитудное значение давления ударной волны повышается до 15 ÷ 17% в зависимости от концентрации пузырьков газа CO_2 .

При этом обнаружено, что максимальное значение P/P_0 соответствует определенной концентрации CO_2 , в наших расчетах $\phi_g \approx 0,2 \div 0,3\%$. Расчетные данные получены впервые.

Расчет зависимости P/P_0 от угла раствора конусных вставок θ показано на рис.16. Видно что P/P_0 нелинейно зависит от θ , причем максимальное значение повышения амплитуды импульса давления электровзрыва соответствует углу $\theta = 30^\circ$. Данное повышение давления можно объяснить кумулятивным эффектом. Кумуляция повышает амплитуду давления электровзрыва в среднем до 35%. На рис. 17 представлены результаты численного расчета эволюции давления ударной волны с учетом совместного влияния конических отражателей и пузырьков углекислого газа.



Рис.15. Зависимость амплитуды давления от степени газосодержания CO_2

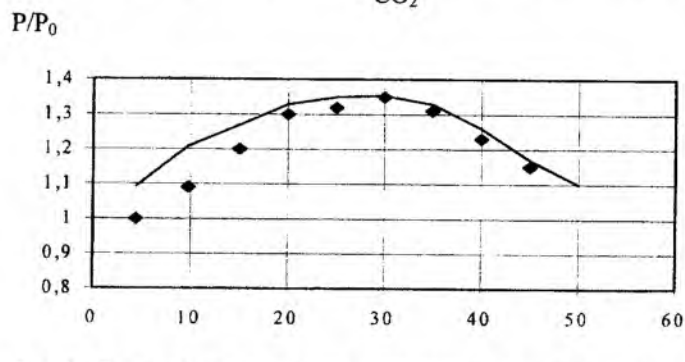


Рис.16. Зависимость амплитуды давления от угла (линия - расчет)

Сравнения результатов эксперимента и теории (рисунки 15,16,17) показывают, что предложенная теоретическая модель и результаты численного расчета подтверждают экспериментально установленные

нелинейные эффекты, связанные с влиянием дисперсности среды и геометрии канала разряда на амплитуду давления ударной волны высоковольтного электрического разряда в гетерогенных жидкостях.

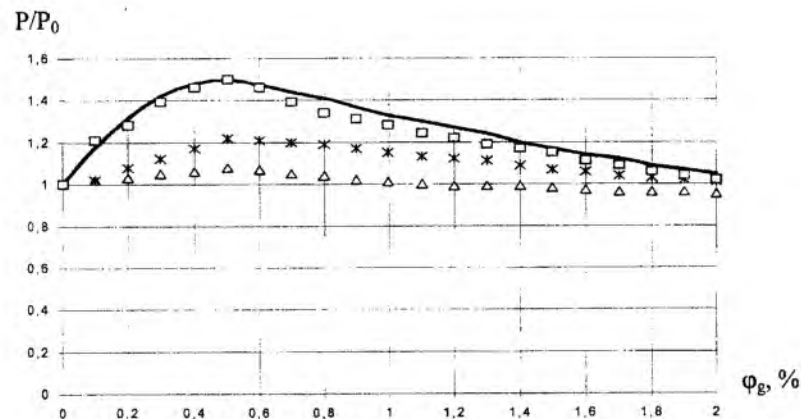


Рис.17. Зависимость давления от степени газосодержания угол при вершине конуса 30°
 \square, Δ, \times – эксперимент
 линия - расчет

ВЫВОДЫ

1. Показано, что при предельной самоорганизации структурных элементов турбулентности интенсивность пульсаций составляет 19,4%.
2. Обнаружен эффект роста амплитуды импульса давления электровзрыва в газожидкостной среде пузырьковой структуры с углекислым газом.
3. Обнаружен эффект кумуляции энергии ударной волны в гетерогенных жидкостях.
4. Установлен нелинейный эффект существенного возрастания импульса давления высоковольтного разряда в среде с пузырьками углекислого газа при изменении формы канала разряда.
5. Получены оптимальные значения концентрации, размеров пузырьков CO_2 и параметров поверхностей, обеспечивающих максимальное повышение амплитуды давления.
6. Построена мультифрактальная модель электровзрыва в гетерогенных жидкостях с учетом влияния концентрации примесей и формы канала разряда.

7. Внедрено в производство устройство и способ очистки теплообменников с использованием эффекта кумуляции энергии электровзрыва в каналах с пузырьками углекислого газа. Изобретения защищены предпатентами Республики Казахстан.

Основные результаты работы

- Мухамедин С.М. Экспериментальное исследование вихревой структуры осесимметричной кольцевой струи // Прикладная и теоретическая физика. – Алматы.-1976.-Вып.8.С.202-208.
- Мухамедин С.М. Экспериментальное исследование акустического поля прямоструйного и обращенного гомогенного факелов // Вопросы теоретической и экспериментальной физики.-Караганда.1978.- С.87-96.
- Исатаев С.И., Мухамедин С.М., Толтаева А.К. Влияние акустического воздействия на осесимметричный факел пропано-воздушной смеси //Материалы Всесоюзного симпозиума по горению и взрыву.-Черноголовка. 1980. -С.48-51.
- Мухамедин С.М. Об автомодельности осесимметричных струй с малым и большим начальными уровнями турбулентности//Исследование физических процессов в газообразных и конденсированных системах. –Караганда. 1985.-С.53-57.
- Кусаиынов К.К., Мухамедин С.М. Влияние акустического воздействия на динамику переходного участка осесимметричной струи факела // Динамика сплошной среды.- Новосибирск.1-999.-Вып.115.-С.103-105.
- Кусаиынов К.К., Мухамедин С.М., Сакипова С.Е.,Уалиев Е.Б. Исследование влияния дисперсности среды на амплитуду давления электрогидравлического эффекта // Вестник КазН им. Аль-Фараби. - Алматы.-1999.- № 6.-С. 116-118.
- Кусаиынов К.К., Мухамедин С.М., Сакипова С.Е. Электроимпульсная установка для очистки пучков труб // Материалы международного научно-технического семинара «Нетрадиционные технологии в строительстве». -Томск.-1999.-С.203-205.
- Z.Zh.Zhanabayev, S.M.Muhamedin ,B.B.Shakirbayev Information criteria of selforganization degree in turbuence // Сборник научных трудов 4 Международного рабочего совещания «Проблемы эволюции открытых систем».- Алматы.-2000.-Вып.3. -С.59-62.
- Кусаиынов К.К., Мухамедин С.М.,Сакипова С.Е.,Уалиев Е.Б. К проблеме интенсификации процессов теплопереноса // Материалы 2 Международной конференции «Проблемы промышленной теплотехники » ,Промышленная теплотехника .-Киев.-2001.-Т.23.-Вып.3.-С.10-12.
- K.Kusaipov,S.M. Mukhamedin, and S.E.Sakipova Influence of the cumulative effect on the hydrodynamics of an electric discharge in a heterogeneous medium//

- Russian Physics Journal, Izvestiya Vuz.Fizika. Kluwer academic, New York, 2001, Vol.44,№.7, P.424-426.
- Z.Zh.Zhanabaevev, S.M.Mukamdin,and A.K.Imanbekova .Information criteria for the degree of turbulence self-organization // Russian Physics Journal, Izvestiya Vuz.Fizika. Kluwer academic, New York, 2001, Vol.44,№.4, P.756-762.
- Кусаиынов К.К., Мухамедин С.М., Сакипова С.Е., Турмухамбетов А.Ж. Фрактальная динамика гетерогенных потоков при импульсных нагрузках // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. –Казань.-2001.-№ 7-8.-С.3-8.
- Мухамедин С.М. Информационная энтропия и степень самоорганизации турбулентности в осесимметричной струе и в пламени газового факела // Вестник Евразийского национального университета.–Астана. -2001.-№2. - С.196-201.
- Жанабаев З.Ж., Мухамедин С.М., Тарасов С.Б., Турмухамбетов А.Ж. Количественные критерии степени самоорганизации в турбулентности // Труды международной конференции «Современные проблемы механики». Каз НУ им. Аль-Фараби. –Алматы. -2001. Т.1. -С.109-114.
- Кусаиынов К.К., Мухамедин С.М.,Сакипова С.Е.,Уалиев Е.Б. К расчету кумулятивного эффекта в двухфазной среде // Вестник КарГУ им. Е.А.Букетова. –Караганда. 2001. № 36(23). - Вып.1. -С.12-15.
- Мухамедин С.М. Влияние фрактальной структуры гетерогенной среды на динамику давления электровзрыва // Материалы 3-й международной научной конференции «Хаос, структуры в нелинейных системах». –Караганда. 2002. -С.234-238.
- Кусаиынов К.К., Корабейникова В.К., Мухамедин С.М., Сакипова С.Е. Эволюция вихревых структур в пламенах при сжигании пылевидного топлива в котлах типа БКЗ-420/140-5 // Материалы 3-й международной научной конференции «Хаос, структуры в нелинейных системах». –Караганда. 2002. -С.224-227.
- Мухамедин С.М. Мультифрактальность политропического процесса в гетерогенных средах // Труды 3-й международной научно-технической конференции «Энергетика, телекоммуникации и высшее образование в современных условиях». АИЭС. – Алматы. 2002. -С.43-47.
- А. с. № 30070. РК. Способ очистки труб, полностью забитых твердыми отложениями. Оpubл. 08.02.2000.
- А.С. №34486. РК. Устройство для очистки внутренних поверхностей труб теплообменников от твердых и сверхтвердых отложений.Оpubл. 09.03.2001.
- Предпатент № 30070. РК. Способ очистки труб, полностью забитых твердыми отложениями. Оpubл. 08.02.2000.
- Предпатент № 12247.РК. Устройство для очистки внутренних поверхностей труб теплообменников от твердых и сверхтвердых отложений. Оpubл.09.03.2001.
- Мухамедин С.М. Взаимодействие вихревых кластеров в турбулентной струе газового факела // Материалы 5-й Республиканской научной конференции. –Актобе. 2003. -С.203-206.

- Мухамедин С.М. Взаимодействие вихревых кластеров в газовых струях // *Материалы 3-й международной научной конференции «Проблемы дифференциальных уравнений, анализа и алгебры».* –Актобе. 2003. –С.134-136.
- Мухамедин С.М. Об интенсивности расширения границы свободных затопленных турбулентных струй // *Вестник КарГУ им. Е.А.Букетова. Серия физическая.* –Караганда. 2003. № 1(29). –Вып.1. –С.191-198.
- Кусаиынов К.К., Мухамедин С.М., Уалиев Е.Б. Мультифрактальный анализ электровзрыва в гетерогенных жидкостях // *Вестник КарГУ им. Е.А.Букетова. Серия физическая,* –Караганда. 2003. –№ 1(29). –Вып.1.-С.113-118.
- Кусаиынов К.К., Мухамедин С.М., Уалиев Е.Б. Мультифрактальная модель и расчет эволюции давления электровзрыва в гетерогенных жидкостях // *Вестник КарГУ им. Е.А.Букетова. Серия физическая.* –Караганда. 2004. № 1(33). –Вып.1. –С.73-78.
- Мухамедин С.М. Мультифрактальная теория высоковольтного электрического разряда в гетерогенных жидкостях // *Вестник Евразийского национального университета.* –Астана. 2004. №1. –С.254-258.
- Кусаиынов К., Мухамедин С.М., Уалиев Е.Б. Физические свойства кластеров и их динамика при электровзрыве // *Материалы пятой международной теплофизической школы.* –Тамбов. 2004. Ч.1. –С. 166-170.
- Мухамедин С.М. Мультифрактальная модель импульсных и турбулентных явлений в гетерогенных жидкостях.–Астана.2004.194с.
- Мухамедин С.М.,Мухамедина А.И. Эффект кумуляции энергии ударной волны в газожидкостной среде.//*Материалы международной научно практической конференции « Физико-химические процессы в газовых и жидких средах».* –Караганда.2005. –С.151-153.
- Мухамедин С.М.,Мухамедин Е.С. Динамика ударной волны высоковольтного разряда в газожидкостной среде.//*Материалы международной научно практической конференции « Физико-химические процессы в газовых и жидких средах».* –Караганда.2005. –С.153-156.
- Мухамедин С.М. Мультифрактальные свойства турбулентных структур газового факела.//*Материалы международной научно практической конференции « Физико-химические процессы в газовых и жидких средах».* –Караганда.2005. –С.156-159.
- Мухамедин С.М. Синергетика высоковольтного разряда в конденсированных системах. –Астана,2005.133с.

Мухамедин С.

Гетерогендик суюктуктардагы импульстук жана турбуленттук аралашуунун интенсификациясы

01.04.14 – жылуулук физикасы жана теориялык жылуулук техникасы

Ачкыч сөздөр: фрактал, мультифрактал, турбуленттуулук, кластер, өзүн-өзү уюштуруу, жогорку вольттуу разряд, гетерогендик суюктук, электрогидравликалык эффект, газдын болушу, дисперстүүлүк, скейлинг, басым импульсу.

Ар кандай тыгыздыктагы агындарда макроскопиялык турбуленттук структуралардын өзүн уюштуруусуна жана импульстук жүктөөлөрдө алардын кыймылына эксперименттик жана теориялык изилдөөлөр өткөрүлдү.

Скейлингдик каскад процесстери негизинен турбуленттуулук өнүккөн жерде агындын участкасында өтөрү жана жергиликтүү бир түрдүүлүктү жана изотроптуктун касиеттерине ээ болоору көрсөтүлдү.

Разряд каналынын геометриясынын өзгөрүшүндө көмүр кычкыл газынын көбүкчөлөрү бар газ суюктуктуу чөйрөдө бийик вольттуу разряддык согуучу толкундун басымынын импульсунун амплитудасынын өсүү эффекттери табылды. Согуучу толкундун басымын күчөтүүнүн максималдуу натыйжасына алып келе турган газ суюктуктуу чөйрөнүн жана разряд каналынын геометриясынын параметрлери аныкталды. Гетерогендик суюктуктардагы электр жарылуусунун мультифракталдык үлгүсү иштелип чыкты жана негизделди. Өнөр жайлык жылуулук алмаштыруучу аппараттардын ишин интенсификациялоо үчүн жаңы ыкма жана жаңы түзүлүш сунушталды жана өндүрүшкө киргизилди.

РЕЗЮМЕ

Мухамедин С.

Интенсификация импульсного и турбулентного перемешивания в гетерогенных жидкостях

01.04.14-теплофизика и теоретическая теплотехника

Ключевые слова: фрактал, мультифрактал, турбулентность, кластер, самоорганизация, высоковольтный разряд, гетерогенная жидкость, электрогидравлический эффект, газосодержание, дисперсность, скейлинг, импульс давления

Проведены экспериментальное и теоретическое исследования самоорганизации макроскопических турбулентных структур в струях жидкостей, имеющих различные плотности, и их поведение при импульсных нагрузениях. Показано, что скейлинговые каскадные процессы протекают в основном участке струи, где турбулентность развита, и приобретают свойства локальной однородности и изотропности. Установлены информационно-энтропийные критерии степени самоорганизации структур в турбулентных струях гетерогенных жидкостей. Обнаружены эффекты возрастания амплитуды импульса давления ударной волны высоковольтного разряда в газожидкостной среде с пузырьками углекислого газа при изменении геометрии канала разряда. Определены параметры газожидкостной среды и геометрии канала разряда, приводящие к максимальному эффекту усиления давления ударной волны. Разработана и обоснована мультифрактальная модель электровзрыва в гетерогенных жидкостях. Предложено и внедрено в производство новый способ и новое устройство для интенсификации работы промышленных теплообменных аппаратов.

SUMMARY

Muhamedin S.

Intensification of impulse and turbulent agitation in heterogeneous fluids

01.04.14- thermal physics and theoretical heat engineering

Key words: fractal, multifractal, turbulence, cluster, self-organization, high-voltage discharge, heterogeneous fluid, electrohydraulic effect, gas content, dispersion, scaling, impulse pressure.

There are made experimental and theoretical researches of self-organization of macroscopic turbulent structures in fluid jets that possess different density and their behavior during impulsive loading.

It is revealed that scaling cascade process flow in the jet section, where turbulence is developed and obtains qualities of local homogeneity and isotropy.

There were determined informational-entropy criteria of self-organization structure degrees in turbulent jets of heterogeneous fluids.

It is disclosed effects of pulse pressure amplitude increase of blast of high-voltage discharge in gas-fluid sphere with carbonic acid bubbles while changing of discharge filament geometry. Parameters of gas-fluid sphere and discharge filament geometry that lead to the maximal effect of pressure amplification of blast were determined. Multifractal model of electro detonation in heterogeneous fluids was elaborated and well founded. It is suggested and introduced to the production the new method and new organization for intensification of work of industrial heat interchange devices.