

На правах рукописи



Юшков Николай Борисович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРОТОЧНОМ
ВОЛНОВОМ ГЕНЕРАТОРЕ ПЛОСКОГО ТИПА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ
ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ЭМУЛЬСИЙ ИЗ НЕСМЕШИВАЮЩИХСЯ СРЕД**

Специальность: 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и
аппаратуры»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва – 2014

Работа выполнена в лаборатории волновой энергетики Филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН (НЦ НВМТ РАН)»

Научный руководитель	Кормилицын Владимир Ильич доктор технических наук, профессор
Официальные оппоненты	Морозов Евгений Михайлович доктор технических наук, профессор Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», профессор кафедры физики прочности Емельянова Оксана Викторовна кандидат технических наук Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Юго-Западный государственный университет», ст. преподаватель кафедры теоретической механики и мехатроники
Ведущая организация	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

Защита состоится 16 июля 2014 года в 12:00 на заседании диссертационного совета Д 002.059.04 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (ИМАШ РАН) по адресу: 119334, г. Москва, ул. Бардина, д.4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ИМАШ РАН по адресу: 119334, г. Москва, ул. Бардина, д.4, www.imash.ru

Автореферат разослан 16 июня 2014 года.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат технических наук



Г.Н. Гранова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Приготовление тонкодисперсных, высокоомогенных и стабильных эмульсий является актуальной проблемой, остро стоящей на сегодняшний день во множестве отраслей промышленности (нефтяного комплекса, теплоэнергетики, химической, машиностроения, агропромышленного комплекса, строительства, пищевой и т.д.). Особое значение данная проблема имеет и для экологии. На настоящий момент существующие методы получения эмульсий не обеспечивают необходимого качества получаемой эмульсии для различных технологических процессов и отличаются высоким энергопотреблением при относительно низкой производительности.

Например, в нефтяной промышленности при обессоливании нефти необходимо создать водонефтяную эмульсию определенной дисперсности для дальнейшего разделения в электрообессоливающих установках (ЭЛОУ).

В энергетике на большинстве электрических станций, а также промышленных и отопительных котельных используется мазут в виде основного или резервного топлива. При транспортировке, разгрузке и хранении мазут насыщается водой, которая со временем собирается в водяные мешки или линзы со спонтанным распределением их по объему емкостей.

Решением таких проблем, в данном случае, является создание технологии формирования высокоомогенных и стабильных эмульсий необходимого качества из несмешивающихся жидкостей.

В настоящее время перспективными устройствами для получения такого рода эмульсий признаны генераторы, реализующие кавитационные волновые явления. Важную роль в волновой технологии, базирующейся на возбуждении нелинейных колебаний в многофазных средах, играют гидродинамические генераторы проточного типа. В таких генераторах колебания возбуждаются в рабочем участке проходящим потоком, то есть обрабатываемая среда служит одновременно и рабочей средой. Среди гидродинамических генераторов проточного типа особое место занимают волновые генераторы, принцип действия которых основан на эффектах и явлениях нелинейной волновой механики и технологии, разработанных в НЦ НВМТ РАН под руководством академика РАН Р.Ф. Ганиева. Конструктивные решения проточных волновых генераторов базируются на экспериментальных данных исследований гидродинамических течений с формированием различных кавитационных областей и определением качественных и количественных характеристик обрабатываемых жидкостей, что существенно улучшает эффективность технологических процессов, как в технико-экономическом, так и в экологическом аспектах.

Поэтому, тема настоящей работы связана с исследованием, выявлением рабочего диапазона динамических процессов и оптимизацией конструктивных

решений проточной части волнового генератора с целью формирования тонкодисперсных эмульсий из несмешивающихся сред.

Цель работы

Получение тонкодисперсных, высокоомогенных эмульсий из несмешивающихся сред в проточных генераторах плоского типа, реализующих эффекты и явления нелинейной волновой механики.

Основные задачи исследований

Анализ состояния вопроса получения тонкодисперсных эмульсий из несмешивающихся сред, а также экспериментальных и теоретических данных для формирования тонкодисперсных эмульсий из несмешивающихся сред.

Разработка и модернизация гидродинамического стенда, отработка методик проведения экспериментальных исследований для получения тонкодисперсных, высокоомогенных эмульсий.

Проведение параметрических экспериментальных исследований динамических процессов работы проточных волновых генераторов с поверхностными вихрегенераторами и телами обтекания различной формы с нахождением оптимальных геометрических и гидродинамических характеристик.

Исследование кавитационных явлений с конкретизацией исходных граничных условий для расчета течений различных исходных компонент в генераторах приготовления эмульсий из несмешивающихся сред.

Экспериментальное исследование ряда промышленных рабочих сред (нефть, мазут, масла различной вязкости) для формирования в широком параметрическом диапазоне тонкодисперсных, высокоомогенных водяных эмульсий.

Разработка рекомендаций по внедрению генераторов в различных областях промышленности.

Научная новизна

1. Для различных геометрий тел обтекания и гидродинамических режимов работы проточного волнового генератора в диапазоне чисел Рейнольдса ($5 \cdot 10^4 \div 2,2 \cdot 10^5$) установлены экспериментальные зависимости:

- 1.1. Размеров кавитационных зон.
- 1.2. Амплитудно-частотных характеристик колебаний давления.
- 1.3. Интенсивности кавитационного износа материала.
- 1.4. Значений статических давлений в донной области за телами обтекания.

2. Экспериментально обосновано применение проточного волнового генератора для формирования тонкодисперсных эмульсий из несмешивающихся сред.

3. Научно обоснованы конструктивные решения (геометрические характеристики побудителей кавитации, поверхностные вихрегенераторы) и

диапазоны гидродинамических режимов работы проточного волнового генератора для высокоэффективного получения смесей и эмульсий.

Степень достоверности результатов

Экспериментальные результаты получены с использованием современных методов, высокоточных приборов, аппаратуры регистрации и обработки данных.

Практическая ценность

Полученные экспериментальные результаты обтекания тел различной формы двухфазной жидкостью в тонком плоском канале позволяют использовать их при оптимизации существующих и разработке новых проточных волновых генераторов, реализующих эффекты и явления нелинейной волновой механики, для создания тонкодисперсных, высокоомогенных и стабильных эмульсий в различных областях промышленности и повышения технико-экономических и экологических показателей технологических процессов.

В частности, результаты работы были использованы на паровом котле паросилового хозяйства п. Игра (Удмуртия), где был установлен плоский волновой генератор. Его применение для подготовки к сжиганию сырой местной нефти с наличием линз воды в виде водотопливной эмульсии позволило обеспечить ее эффективное сжигание и безопасную эксплуатацию энергетического оборудования.

Применение проточного волнового генератора плоского типа было апробировано с получением положительных результатов для пищевой промышленности при очистке нерафинированных растительных масел от различных примесей.

Использование волнового генератора позволило также улучшить показатели метода электро-обессоливания и обезвоживания сырой нефти.

Личный вклад автора

Модернизация экспериментальной установки, разработка методик и программ исследований, экспериментальные исследования, разработка и апробация новых конструктивных решений проточной части генератора, обработка и анализ опытных данных, составление заключений и рекомендаций по результатам работы.

Апробация работы и публикации

Материалы диссертационной работы и основные результаты докладывались и обсуждались на:

- всероссийской научной школе молодых ученых «Механика неоднородных жидкостей в полях внешних сил» (Москва, 2010 г.);
- четвертой международной конференции «Тепломассообмен и гидродинамика в закрученных потоках» (Москва, 2011 г.);

- XXXII всероссийской конференции «Проблемы науки и технологий», (Миасс, 2012 г.);
- международной научной конференции «Колебания и волны в механических системах» (Москва, 2012 г.);
- международной научной конференции «Машины, технологии и материалы для современного машиностроения» (Москва, 2013).

По результатам выполненных исследований опубликовано 14 печатных работ, в том числе 3 статьи в научных журналах, входящих в перечень ВАК. Материалы диссертации также изложены в научно-техническом отчете НЦ НВМТ РАН «Исследование кавитационных явлений в многофазных системах в волновых полях» и являются основой научного проекта РФФИ 12-08-13106-офи_м_РЖД рег. №0120127664.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка литературы из 112 наименований и трех приложений. Работа изложена на 142 страницах машинописного текста, включая 77 рисунков и 8 таблиц.

Автор выражает благодарность старшему научному сотруднику НЦ НВМТ РАН, к.т.н. Шмыркову О.В. за содействие при проведении экспериментальных исследований и обработке данных.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении определена актуальность, цель и задачи диссертационной работы, показана научная новизна и практическая ценность проведенных исследований.

В первой главе проведен обзор литературных источников, известных научных публикаций и работ по существующим аппаратам, включая устройства, реализующие волновые кавитационные эффекты. Представлены наиболее актуальные математические модели расчета течения жидкости при высокой степени турбулентности, а также приведены: экспериментальные результаты по поперечному обтеканию тел различной формы и смесительные устройства, использующиеся при смешении различных легко- и трудно-смешиваемых компонентов и получении однородных, тонкодисперсных эмульсий.

Распределение компонент смешиваемых сред определяет ее дисперсность, влияет на качество эмульсии, устойчивость, стабильность и эффективность ее применения в различных технологических процессах.

В настоящее время смесительные устройства различного типа интенсивно применяются в большинстве отраслей промышленности: нефтехимии, пищевой, теплоэнергетике, строительстве, агрокомплексе и др. для перемешивания, диспергации и массообмена. Смесительные устройства применяют при добыче и переработке нефти, для создания новых материалов в строительстве, для

смешения и активации многокомпонентных смесей, для улучшения реакционности и получения новых видов топлива с использованием возобновляемых энергоресурсов.

Весьма распространенной на сегодняшний день в различных отраслях промышленности является традиционная технология смешения различных компонентов в жидкостных потоках, основанная на механической обработке перемешиваемой среды. Объясняется это достаточным количеством работ, описывающих математические модели расчета физических процессов, гидродинамики и тепломассообмена с учетом характеристик рабочей жидкости. К традиционным смесителям можно отнести всевозможные аппараты с вращающимися мешалками, гидродинамическое слияние потоков жидкости, барботаж а также коллоидные мельницы. Существенным недостатком таких устройств являются малоэффективность, малая мощность, недостаточная надежность, ввиду наличия подвижных частей, наличие застойных зон и недостаточно качественное перемешивание.

Основным направлением повышения эффективности работы смесительных устройств и улучшения качества получаемой эмульсии в настоящее время является волновая, кавитационная обработка смешиваемых сред. Традиционно полагается, что явление кавитации носит разрушительный характер на поверхностях, вблизи которых она протекает. Кавитация сопровождается шумом, вибрацией, нестабильной работой оборудования, преждевременной поломкой рабочих органов и т.д.

Наряду с отрицательными явлениями известны и широко применяются полезные эффекты, характеризующиеся проявлением кавитации в специально созданных устройствах. Очистка поверхностей, эмульгирование, гомогенизация, диспергация, пенообразование и газификация осуществляются в результате схлопывания кавитационных пузырьков за счет образования кумулятивных струек и волновых явлений.

Стремление повысить производительность смесительных устройств, а также улучшить качество получаемых эмульсий, привело к созданию различных конструкций диспергаторов, в которых используются вынужденные колебания различных поверхностей для создания волн звукового или ультразвукового диапазона в упругой среде. К таким генераторам можно отнести ультразвуковые, пластинчатые, мембранные, стержневые, роторные и др. устройства. Главным их недостатком является наличие подвижных частей в конструкции.

По сравнению со смесительными аппаратами других типов стоит выделить проточные устройства, использующие энергию потока жидкости для смешения и гомогенизации рабочей среды. В результате обтекания жидкостью тел сложной формы возникают кавитационные и волновые явления, которые интенсифицируют процесс диспергирования.

Среди статических гидродинамических смесительных устройств выделяют генераторы плоского, объемного и вихревого типов.

Генераторы данных типов обеспечивают высокое качество формируемой эмульсии, достаточную производительность при небольших размерах устройств, невысокие удельные энергозатраты, ввиду низкого перепада давления на генераторе. Отсутствие подвижных частей положительно сказывается на надежности и герметичности работы таких устройств.

Преимущества плоского генератора перед объемным заключаются в возможности получения более стабильного плоского потока, а также сохранения автомодельности течения в проточной части генератора путем создания многоканальной компоновки устройства и регулирования перекрытия нескольких каналов при изменении расхода несущей жидкости в рабочем трубопроводе. Процесс кавитационной обработки в плоских генераторах, как частный случай трубы Вентури, создается внутри объема жидкости. При этом возможно создать такой профиль тел обтекания, при которой уменьшается кавитационный износ внутренней поверхности канала смесительного устройства без ухудшения эффективности работы смесителя. Еще одним недостатком объемного генератора является конструкция удерживающих устройств тел обтекания. Подверженные износу, они после длительной эксплуатации могут разрушиться, что приведет к уносу тела обтекания из генератора и поломке оборудования. Генератор плоского типа, лишен этого недостатка, в нем тела обтекания жестко закреплены в съемных крышках. Так же с точки зрения технологичности и материалоемкости производство генератора плоского типа более рентабельное.

Генераторы вихревого типа также эффективны для получения тонкодисперсных эмульсий, однако, относительно небольшое проходное сечение генератора накладывает ограничения на расход рабочей жидкости и размер твердой фазы в ней, а высокие рабочие давления (до 10 МПа) – на подающее оборудование и энергозатраты.

Обзор опубликованных результатов исследований течения жидкости показал, что они в основном посвящены обтеканию круглого цилиндра «неограниченным» потоком газа и редко жидкостью. Этими вопросами занимались Л. Прандтль, М. Швабе, П. Чжен, Г. Шлихтинг, Ж.С. Акылбаев, А.А. Жукаускас, Э.Я. Эпик, Е.П. Дыбан и др. Большинство работ посвящены вопросам улучшения тепло-массообменных процессов с поверхности цилиндрических тел обтекания, а также описанию интенсивности кавитационной эрозии на поверхности канала за плохообтекаемыми телами. Приведены экспериментальные и расчетные материалы по влиянию неравномерности скоростного профиля, степени турбулентности набегающего потока и степени загромождения сечения канала на условия поперечного обтекания тел.

Анализ этих материалов показал, что их недостаточно для создания эффективных проточных волновых генераторов с целью формирования тонкодисперсных эмульсий из несмешивающихся сред, что связано с наличием высокой турбулентности потока, отрывных и вихревых образований, а также обширных зон кавитации, которые существенным образом затрудняют проведение расчетных работ. Поэтому в связи с необходимостью оптимизации геометрических и гидродинамических параметров проточных волновых генераторов плоского типа для повышения эффективности их работы и снижения энергетических затрат, потребовалось проведение дополнительных экспериментальных исследований динамических процессов в проточных каналах этих устройств, включая изучение влияния кавитационных эффектов на приготовление тонкодисперсных, однородных и стабильных эмульсий из несмешивающихся сред. Работа направлена на исследование, выявление рабочего диапазона динамических процессов и оптимизацию конструктивных решений проточной части волнового генератора с целью формирования тонкодисперсных эмульсий из несмешиваемых сред.

Во второй главе приведены материалы по выбору геометрии и конфигурации проточного волнового генератора плоского типа на основе запатентованных прототипов. Разработаны методики проведения экспериментальных исследований по выявлению оптимальных конструктивных решений, а также теплофизических и гидродинамических режимов работы волнового генератора.

Формирование геометрии проточной части волнового генератора проводилось на основании имеющихся экспериментальных данных и расчетных исследований при различных начальных условиях. На основе расчетов динамики критерия перемешивания был выбран в качестве экспериментальной модели канал прямоугольного сечения с переменным профилем и телами обтекания различной формы (цилиндр, цилиндр с насечкой, пластина, серп, стакан), представленные на рисунке 1. Насечка на цилиндре выполнена сетчатой по ГОСТ 21474-75.

В канале генератора предусмотрены различные конструктивные решения для получения данных при проведении экспериментальных исследований по:

– возникновению и развитию кавитации в камере генератора. В этом случае в отверстие в стенке генератора заподлицо с ней устанавливалась контрольная вставка в виде свинцового диска с механически обработанной внешней поверхностью (1, рисунок 1). Перед проведением экспериментов свинцовую вставку отмывали от загрязнений при производстве, помещали в спиртовую ванну для удаления остатков воды и взвешивали на весах AND MS-70 moisture analyzer, которые позволяют нагревать взвешиваемый образец для дополнительного удаления жидкости, оставшейся на поверхности.

Производились шесть замеров массы свинцовой вставки, и за искомую величину принималось среднее арифметическое значение всех замеров. Затем эта вставка помещалась в отверстие в стенке канала без зазоров. Эксперимент проводился в течение 1 часа с контролем величины входных и выходных давлений, расхода жидкости через волновой генератор, а также температуры рабочей среды. После одного часа работы установки на выбранном режиме, внешняя крышка снималась, контрольная вставка вынималась, промывалась в спирте, высушивалась и взвешивалась. Разницу в массе Δm принимали в качестве показателя интенсивности кавитации;

– пульсациям давления в потоке. В этом варианте в центре съемного диска (2, рисунок 1) устанавливался заподлицо с внутренней поверхностью генератора пьезоэлектрический датчик давления 701К фирмы Kistler, диаметр мембраны которого равен 9,5 мм. Регистрация измерений и получение амплитудно-частотной характеристики с помощью преобразований по функции Фурье производились на цифровых осциллографах LeCroy и Gould;

– измерению статических давлений в следе за телами обтекания. Для этого в отверстие канала за телами обтекания помещалась специально разработанная и изготовленная вставка (3, рисунок 1), в которой установлены 3 дренажных трубки размером 2x0,5 мм, изготовленные из отожжённой меди, что давало возможность придавать им нужную форму. Форма вставки позволяла поворачивать ее на 90, 180, 270 градусов и при этом получать 6 значений статического давления вдоль оси проточного канала и 4 значения давления поперек канала.

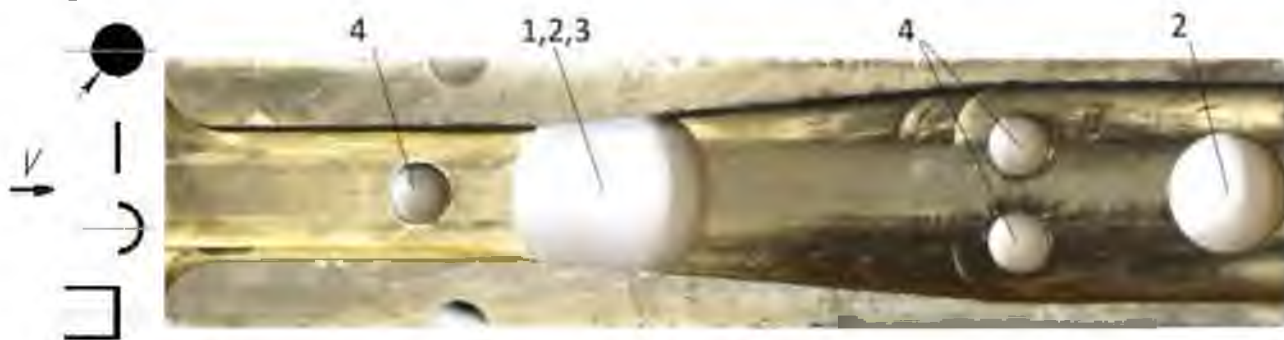


Рис. 1. Проточный канал плоского волнового генератора и схема установки тел обтекания

- 1 – отверстие для установки контрольной свинцовой вставки;
- 2 – место установки пьезоэлектрического датчика переменного давления;
- 3 – вставка замера статического давления; 4 – места установки тел обтекания.

При проведении экспериментальных работ применена методика оптической визуализации потока, позволяющая регистрировать зарождение и развитие кавитационной пелены. При этом в плоском генераторе одна из стенок была выполнена из оптически прозрачного оргстекла. Другая стенка генератора была покрыта черной матовой краской, устойчивой к воздействию рабочей

среды. Оптическая система подсветки выполнена таким образом, чтобы были четко видны только парогазовые пузырьки, образующиеся в результате разрыва сплошности среды, при обтекании тел различной формы.

Регистрация картин течения потока в проточных каналах генераторов производилась с помощью цифровой фотокамеры, а также высокоскоростной кинокамеры Citius Imagine C10 с возможностью снимать видео до 10 000 кадров/с. После отладки этой технологии стало возможным определять начало, развитие и завершение кавитационного процесса.

Для изучения влияния кавитации на эффективность смешивания различных сред производились опыты по смешиванию масел различной вязкости (индустриального масла марки И-50А, подсолнечного масла, турбинного масла марки ТП-22с, трансформаторного масла ГК) с водой в присутствии эмульгатора. Количество масла составляло $\approx 5\%$. Эмульгатор добавлялся в количестве $\sim 0.1\%$. Масло подавалось самотеком перед вихревым насосом, за счет небольшого разрежения на всасе. Скорость добавления масла регулировалась шаровым краном и поддерживалась на уровне $\sim 5\%$ от объемного расхода основной жидкости – водопроводной воды.

В ходе эксперимента отбирались пробы получившейся эмульсии в течение 10, 15 и 20 минут от начала подачи масла. Наблюдение за дисперсностью производилось на микроскопе Zeiss Scope A.1 с 100х-кратное увеличением и видеокамерой Zeiss, что позволяло сделать снимки и просматривать пробы на компьютере в программе Axio vision Rel.4.8. Использование данного микроскопа позволяет увидеть частицы размером до 1 мкм.

Обработка полученных фотографий производилась в разработанной в НЦ НВМТ РАН программе подсчета капель эмульсии Dropcounter. В программе задавались цвета контура и фона капли. Программа автоматически обводила сферические капли в соответствии с выбранной цветовой гаммой, а также было возможно и ручное уточнение размера капель.

Исследования плоского генератора проточного типа с различными телами обтекания проводились на гидродинамическом стенде (СТ-3), входящего в состав экспериментальной базы НЦ НВМТ РАН. Эта установка обеспечивает большие расходы рабочего тела (до 500 л/мин) и позволяет воспроизводить натурные параметры гидродинамических процессов, реализуемых на промышленных объектах теплоэнергетики. Принципиальная схема стенда и описание входящих в него элементов приведены на рисунке 2.

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию течения жидкости и возникающих кавитационных явлений при обтекании тел различной геометрии в плоском профилированном канале в зависимости от гидродинамических и теплофизических параметров работы волнового генератора.

Эти данные позволяют получить представление о течениях, возникающих в узких плоских каналах при обтекании различных тел жидкостью, определить характеристики волновых генераторов, направленных на решение актуальной задачи совершенствования процессов и разработку фундаментальных основ конструкций аппаратов проточного типа, реализующих эффекты нелинейной волновой механики, для получения тонкодисперсных эмульсий из нерастворимых друг в друге компонент жидких смесей, что позволяет улучшить технологические процессы (нефтепереработки, сжигания энергетических топлив, повышения экологических показателей) и надежность работы оборудования.



Рис. 2. Гидродинамический экспериментальный стенд

1 – емкости с основной жидкостью; 2 – вихревой насос; 3 – проточный генератор; 4 – расходомер; 5 — манометр ($P_{\text{вх}}$); 6 – манометр ($P_{\text{вых}}$); 7 – датчик температуры; 8 – выходные вентили; 9 – система охлаждения

В плоском профилированном канале волнового генератора проточного типа при числах $Re \geq 1 \cdot 10^4$ за телами обтекания: цилиндр, цилиндр с насечкой, пластина, серп, стакан – возникают обширные области кавитации со следами эрозии на стенках генератора, пример которых представлен на рисунке 3.



Цилиндр с насечкой,
 $(P_{\text{вх}} - P_{\text{вых}}) / P_{\text{вх}} = 0,64$; $Re = 2,09 \cdot 10^5$

Рис. 3. Фрагмент картины визуализации кавитационных зон в канале волнового генератора при $P_{\text{вх}} = \text{const}$, $P_{\text{вых}} = \text{var}$

При высоких перепадах давления на генераторе $(P_{\text{вх}} - P_{\text{вых}}) / P_{\text{вх}} \geq 0,55$ с установленным в один ряд телом обтекания наблюдалось формирование зоны, не содержащей парогазовые пузырьки, рассеивающие свет от подсветки. Также наблюдалось вскипание редких капель воды на поверхности стекла. Сделано предположение, что высоконапорные кавитационные струи при данных

параметрах течения жидкости замыкают донную область и препятствуют образованию обратных токов жидкости в сторону тела обтекания.

Наличие насечки на поверхности круглого цилиндра приводит к турбулизации пограничного слоя на нем и к усилению образования кавитационной пелены, что выражалось в увеличении ее размеров.

Обобщение экспериментальных визуализационных картин кавитационных зон потока жидкости вокруг цилиндра и пластины в проточном волновом генераторе плоского типа, при различных режимных параметрах приведено на рисунке 4, где показана зависимость безразмерного параметра $\lambda = l_k/d$ от числа Рейнольдса и относительного перепада давления на генераторе $(P_{вх}-P_{вых})/P_{вх}$, где l_k – длина кавитационной пелены, с точной отсчета от места ее образования, d – поперечный размер тел обтекания.

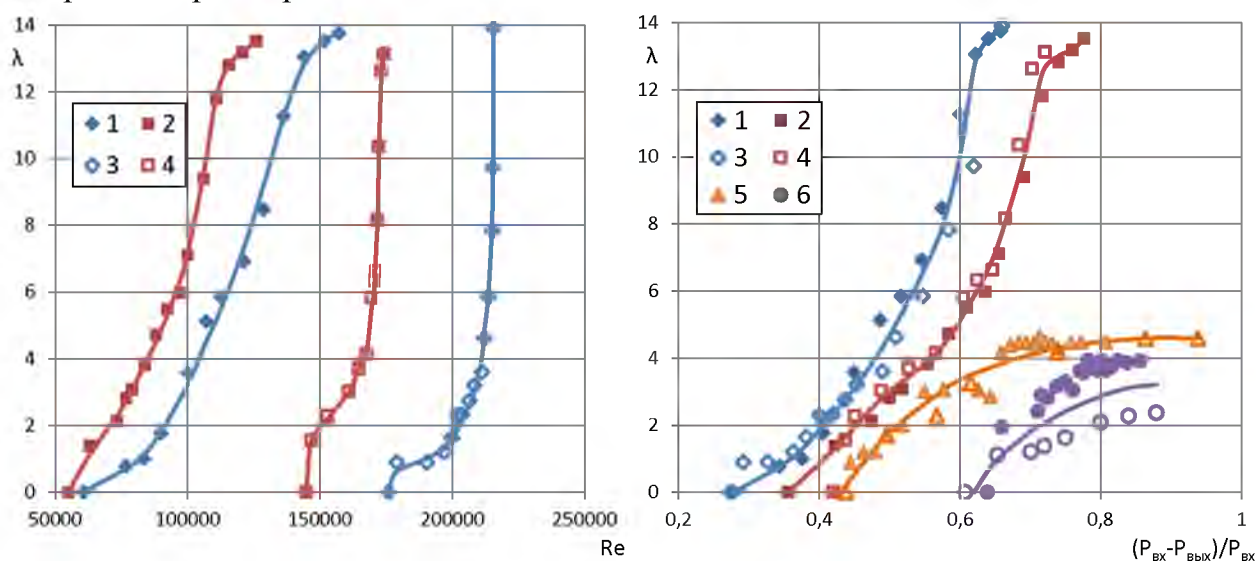


Рис. 4. Зависимости относительной длины кавитационной зоны от числа Рейнольдса и от $(P_{вх}-P_{вых})/P_{вх}$ для тел обтекания, установленных в один ряд: 1 – цилиндр, 2 – пластина, $P_{вх}=\text{var}$, $P_{вых}=\text{const}$; 3 –цилиндр, 4 – пластина, $P_{вх}=\text{const}$, $P_{вых}=\text{var}$; в два ряда: 5 – цилиндр, 6 – пластина, $P_{вх}=\text{var}$, $P_{вых}=\text{const}$; 7 –цилиндр, 8 – пластина, $P_{вх}=\text{const}$, $P_{вых}=\text{var}$;

Наличие дополнительного второго ряда тел в проточном генераторе способствует стабилизации размеров кавитационной пелены за первым телом, а также практически постоянному ее размеру в достаточно широком диапазоне гидродинамических параметров, что позволяет при проектировании проточных волновых генераторов, варьируя компоновочные размеры проточной части, создавать автомодельную кавитационную область в рабочей зоне волнового генератора, обладающую определенными свойствами интенсивности кавитационного воздействия на обрабатываемую среду.

Течение жидкости в узкой входной части канала волнового смесителя исследовалось для характерных диапазонов промышленных аппаратов при скоростях набегающего потока до $V_{вх} \approx 22$ м/с ($Re=2,2 \cdot 10^5$) и давлений до 1,0 МПа.

При таких режимах течения за телами обтекания, как показали эксперименты, образуются срывные вихревые потоки и зоны пониженного давления, которые приводят к разрыву среды и образованию кавитационных явлений. В результате в экспериментах с различными телами обтекания при неизменном входном давлении $P_{вх}$ и изменении $P_{вых}$ было установлено, что расход жидкости практически не меняется при соотношении $(P_{вх}-P_{вых})/P_{вх} \geq 0,6$.

Исследование влияния гидродинамических параметров течения жидкости на интенсивность кавитационной эрозии показало, что на поверхности контрольных свинцовых образцов образуются зоны, характерные для кавитационного износа материала при схлопывании на их поверхности парогазовых пузырьков. Эти зоны располагаются симметрично относительно оси генератора и тел обтекания там, где свечение от кавитационных плен снижается за счет уменьшения концентрации парогазовых пузырьков при их схлопывании, что хорошо коррелирует с полученными картинками течения потока. Пример фотографии следов максимальной кавитационной эрозии на контрольной свинцовой вставке представлен на рисунке 5.

По результатам исследования влияния гидродинамических параметров течения жидкости на интенсивность кавитационной эрозии были построены зависимости относительного уноса $\Delta m/M \cdot 100$ (%) от относительного перепада давления на генераторе $(P_{вх}-P_{вых})/P_{вх}$ при $P_{вх} = \text{const}$, $P_{вых} = \text{var}$ и приведены на рисунке 6, где Δm – унос массы свинца с контрольного образца за 1 час работы, M – масса исходной свинцовой вставки, рассчитанная по объему свинцовой контрольной вставки и его плотности при нормальных условиях.

Зависимости $\Delta m/M \cdot 100 = f((P_{вх}-P_{вых})/P_{вх})$ имеют характерный максимум для всех исследуемых тел обтекания. Это первоначально связано с уровнем статического давления в месте установки контрольной вставки и интенсивности схлопывания парогазовых пузырьков, а далее с влиянием перепада давления на скорость потока и размеры кавитационной пелены за первым и вторым рядами тел обтекания. Отсутствие экстремума для тела обтекания – стакан, объясняется началом отрыва потока на расстоянии в 1 калибр к входу канала и, тем самым, расположением большей части зоны эрозии между телом и контрольной вставкой. Полученный материал качественно согласуется с результатами ряда ранее опубликованных экспериментальных работ.

Экспериментально установлено, что наибольшая интенсивность кавитации, определяемая по величине уноса материала, реализуется в генераторе с телами обтекания: цилиндр с насечкой и пластина.

Исследования нестационарных волновых явлений в следе за телами обтекания различной формы были направлены на фиксирование амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) колебаний давления, возникающих в донной области позади различных тел обтекания. Пример АЧХ за телом обтекания – цилиндр с насечкой, приведен на рисунке 7.



Рис. 5. Фотография следов кавитационной эрозии на контрольном образце при максимальном уносе и

$P_{вх} = \text{const}, P_{вых} = \text{var}$
 2 ряда цилиндров с насечкой
 $(P_{вх} - P_{вых})/P_{вх} = 0,62;$
 $Re = 2,08 \cdot 10^5; \Delta m/M \cdot 100 = 1,73\%$

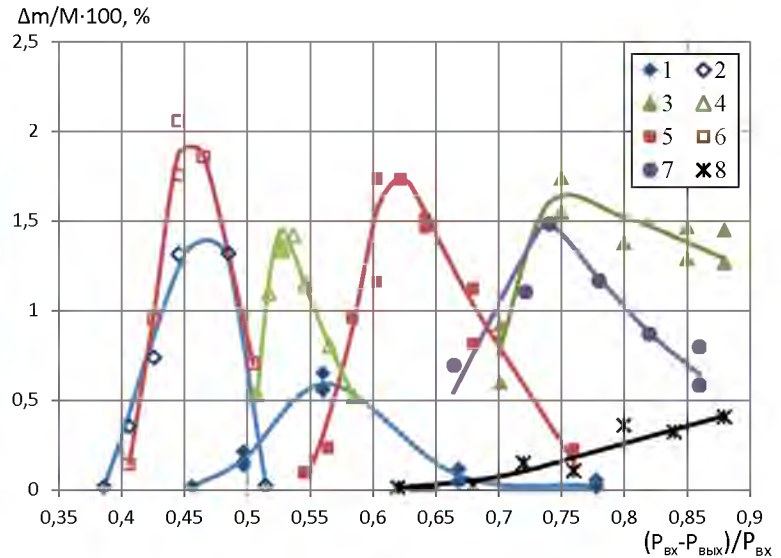


Рис. 6. Зависимости $\Delta m/M \cdot 100 = f((P_{вх} - P_{вых})/P_{вх})$ для различных тел обтекания (рабочая жидкость – вода)

1 – 2 ряда цилиндров; 2 – 1 ряд цилиндров; 3 – 2 ряда пластин; 4 – 1 ряд пластин; 5 – 2 ряда цилиндров с насечкой; 6 – 1 ряд цилиндров с насечкой; 7 – 2 ряда серпов; 8 – 2 ряда стаканов

На определенных гидродинамических режимах работы генератора для различных тел обтекания, установленных как в два ряда, так и в один, фиксировались характерные пики колебания давления, возникающие в результате нестационарного отрыва потока за телами обтекания с плавающей точкой отрыва для цилиндров и с фиксированной точкой отрыва с острой кромки пластины, серпа и стакана, что необходимо учитывать при выборе конструктивной схемы проточного волнового генератора в зависимости от цели его использования.

По полученным АЧХ видно (верхний спектр), что существуют режимы работы волнового генератора, за телами обтекания которого датчик фиксирует локальные колебания давления во времени, достигающие 4 МПа, что свидетельствует о высокой мощности процессов, протекающих в генераторах такого типа.

Организация насечек на цилиндре приводит к увеличению амплитуды колебания в 1,2-1,3 раза по сравнению с гладким цилиндром и находится на уровне одиночных тел обтекания. При этом частотная характеристика колебания давления качественно не меняется.

Для обобщения полученных результатов по нестационарным явлениям, возникающим при обтекании жидкостью тел различной формы, была построена зависимость частоты возникновения пиков давления n от числа Рейнольдса Re , приведенная на рисунке 8. Зависимость имеет линейный характер и описывается следующим выражением: $f = 0,0068 \cdot Re$.

Число Струхалия Sh для чисел Re , реализуемых в экспериментах, постоянно и равно $Sh = \frac{f/2 \cdot d}{\nu} = \frac{0,0068 \cdot Re \cdot d}{2 \cdot \nu} = 0,34$. Уменьшение частоты в 2 раза, объясняется тем, что датчик фиксировал колебания давления в донной области от каждого периодически образующегося вихря с двух сторон тел обтекания. Полученное значение числа Струхалия близко к рассчитанному по формуле Ж.С. Акылбаева $Sh^* = 0,2 (1 + 7,25 \cdot q^{3,3})$ для параметра загроможденности исследуемого канала волнового генератора, которое равно $Sh^*=0,31$.

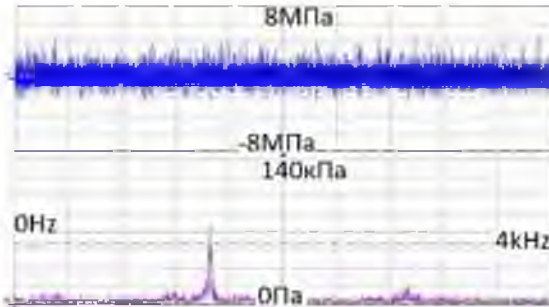


Рис. 7. Амплитудно-частотная характеристика пульсаций давления за телом обтекания – 3 цилиндра с насечкой при $(P_{вх} - P_{вых})/P_{вх} = 0,58$; $Re = 2,05 \cdot 10^5$

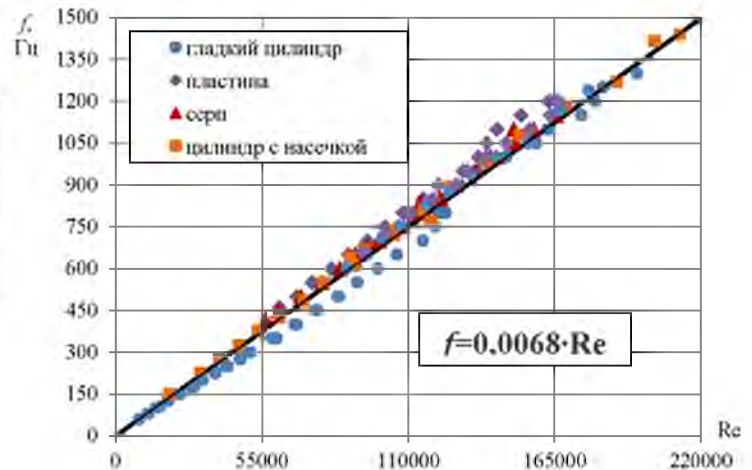


Рис. 8. Зависимость $f=f(Re)$ для различных тел обтекания

Известно, что на величину среднего статического давления за телом обтекания влияют такие факторы, как степень турбулентности набегающего потока и коэффициент загроможденности.

Измерения статического давления проводились в точках по оси канала с безразмерными координатами L^* рассчитанными по формуле: $L^* = \frac{l_i}{d}$, где l_i – расстояние от места сечения отрыва потока до сечения точки измерения давления, d – поперечный размер тел обтекания (калибр).

Поперек канала измерения статического давления проводились на безразмерных координатах H^* : $H^* = \frac{h_i}{z}$, где h_i – расстояние от оси канала до точки измерения давления; z – ширина канала в сечении измерения.

Полученные в ходе экспериментов зависимости $P=f((P_{вх}-P_{вых})/P_{вх})$ для тел обтекания гладкий цилиндр и пластина, расположенных в один и два ряда, представлены на рисунках 9, 10 и имеют нелинейный характер. При больших значениях $(P_{вх}-P_{вых})/P_{вх}$, величина относительного статического давления за телом обтекания $P/P_{вх}$ практически не зависит от противодействия, что отчетливо видно для случая одиночных тел. С увеличением $P_{вых}$ размеры образующихся за телом кавитационных областей сокращаются. При этом гидравлическое сопротивление генератора падает, что компенсирует снижение расхода за счет уменьшения перепада давления на генераторе $\Delta P = P_{вх} - P_{вых}$. В конечном счете, все это приводит к тому, что расход жидкости и, соответственно,

скорость потока на входе в генератор остаются постоянными. При дальнейшем увеличении $P_{\text{ВЫХ}}$, когда размеры кавитационных областей не оказывают заметного влияния на гидравлическое сопротивление генератора, скорость потока за счет снижения ΔP уменьшается, и давление на стенке канала за первыми телами плавно растет, стремясь к значению $P/P_{\text{ВХ}}=1$. Этот эффект встречался ранее в трубках «Вентури».

Здесь хорошо заметны локальные изменения давления для конфигурации генератора с телом обтекания – пластина при $(P_{\text{ВХ}}-P_{\text{ВЫХ}})/P_{\text{ВХ}}=0,43$ и $0,64$. Это происходит из-за наличия фиксированной точки отрыва и резкого разворота потока к оси канала при обтекании тела жидкостью. При этом замыкание донной области происходит до точек измерения давления, что отражается в резком повышении статического давления. За цилиндром же, ввиду меньшего гидравлического сопротивления и большей скорости течения, отрывные струи движутся параллельно оси канала дальше и смыкание происходит за областью измерения давления, то есть все точки расположены в области обратных токов и пониженного давления.

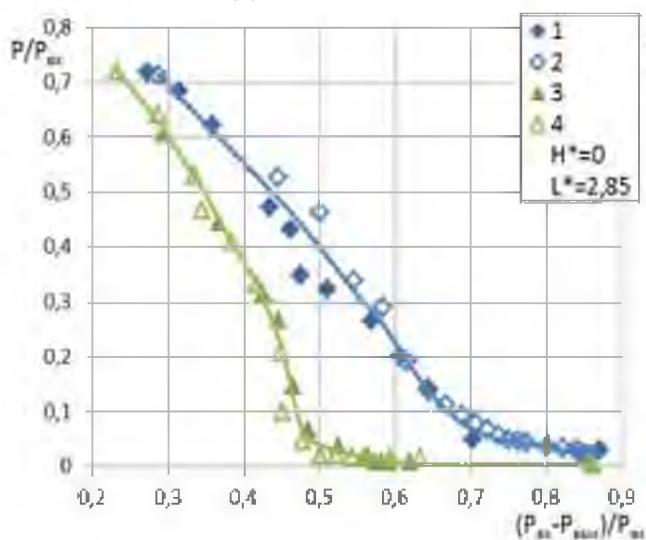


Рис. 9. Зависимости относительного давления в следе за цилиндром для двух рядов тел: 1 – $P_{\text{ВХ}}=\text{const}$, $P_{\text{ВЫХ}}=\text{var}$; 2 – $P_{\text{ВХ}}=\text{var}$, $P_{\text{ВЫХ}}=\text{const}$; и одного ряда: 3 – $P_{\text{ВХ}}=\text{const}$, $P_{\text{ВЫХ}}=\text{var}$; 4 – $P_{\text{ВХ}}=\text{var}$, $P_{\text{ВЫХ}}=\text{const}$.

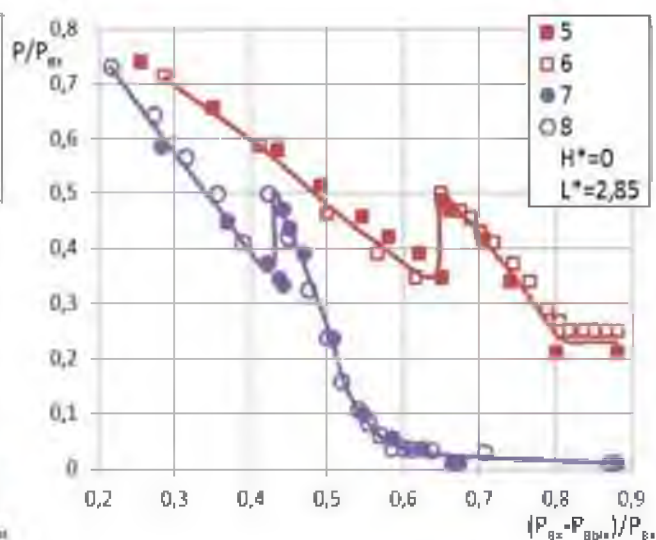


Рис. 10. Зависимости относительного давления в следе за пластиной для двух рядов тел: 5 – $P_{\text{ВХ}}=\text{const}$, $P_{\text{ВЫХ}}=\text{var}$; 6 – $P_{\text{ВХ}}=\text{var}$, $P_{\text{ВЫХ}}=\text{const}$; и одного ряда: 7 – $P_{\text{ВХ}}=\text{const}$, $P_{\text{ВЫХ}}=\text{var}$; 8 – $P_{\text{ВХ}}=\text{var}$, $P_{\text{ВЫХ}}=\text{const}$.

Полученные экспериментальные данные о распределении статического давления в следе за телами обтекания различной формы в плоском профилированном канале полезны для уточнения математических моделей обтекания тел различной формы.

При обтекании поверхностных вихрегенераторов в виде лунок различной формы, теплоотдача от поверхности к потоку среды увеличивается в 2,5 раза за счет существенного повышения турбулентности пограничного слоя и потока в

целом. При этом сопротивление канала практически не изменяется. Сопоставляя эти материалы с экспериментально установленным фактом увеличения интенсивности кавитации при обтекании потоком цилиндра с насечкой, разработана и усовершенствована модель проточного волнового генератора плоского типа для улучшения технико-экономических показателей его работы и определения экспериментальным путем его эффективности. Эскиз участка для повышения турбулентности набегающего пограничного слоя и потока в целом перед побудителем кавитации приведен на рисунке 11.

Для повышения турбулентности набегающего потока на стенки канала перед первым рядом тел обтекания нанесены конусообразные лунки длиной, равной $2,75d$. При этом они расположены под углом 45° к направлению потока. В работах С.А. Исаева показано, что данная форма лунок и их расположение создают максимальную турбулизацию пограничного слоя и потока в целом.

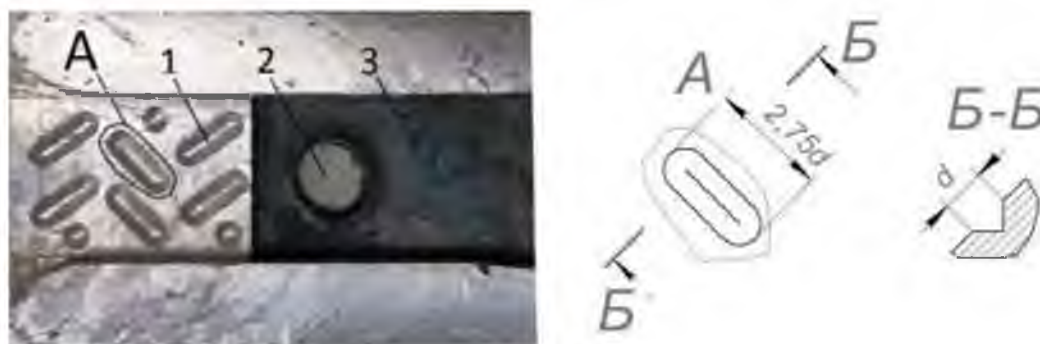


Рис. 11. Фрагмент проточного канала с участком поверхностных вихрегенераторов (лунок) для повышения интенсивности технологического процесса формирования тонкодисперсных ЭНЖ

1 – поверхностные вихрегенераторы-лунки; 2 – место установки тела обтекания; 3 – контрольная свинцовая вставка

Экспериментальные исследования модернизированного проточного канала основывались на сравнении интенсивности уноса материала с контрольной вставки увеличенного размера при наличии участка с поверхностными вихрегенераторами-лунами и при гладком канале.

Выявлено, что установка участка поверхностных вихрегенераторов в виде лунок приводит к увеличению интенсивности уноса материала с контрольной вставки для всех тел обтекания на $\sim 15-20\%$, что соответствует улучшению дисперсности эмульсии на 13% , что показано в главе 4. Здесь также отмечено смещение области максимального уноса по параметру относительного перепада давления на генераторе. Из опытных данных по следам эрозии на контрольных образцах следует, что места их расположения находятся на всем протяжении движения вихрей, от места их отрыва на теле обтекания до места полного схлопывания, где наблюдается наиболее глубокий унос.

Совокупность полученных экспериментальных результатов приведена на графике зависимости относительной массы уноса материала с контрольной

вставки от относительного перепада давления на генераторе (рисунок 12). Наибольший унос материала достигается при установке в канал генератора тел обтекания таких, как цилиндр с насечкой и пластина, что также подтверждает ранее полученные результаты для ограниченного контрольного образца.

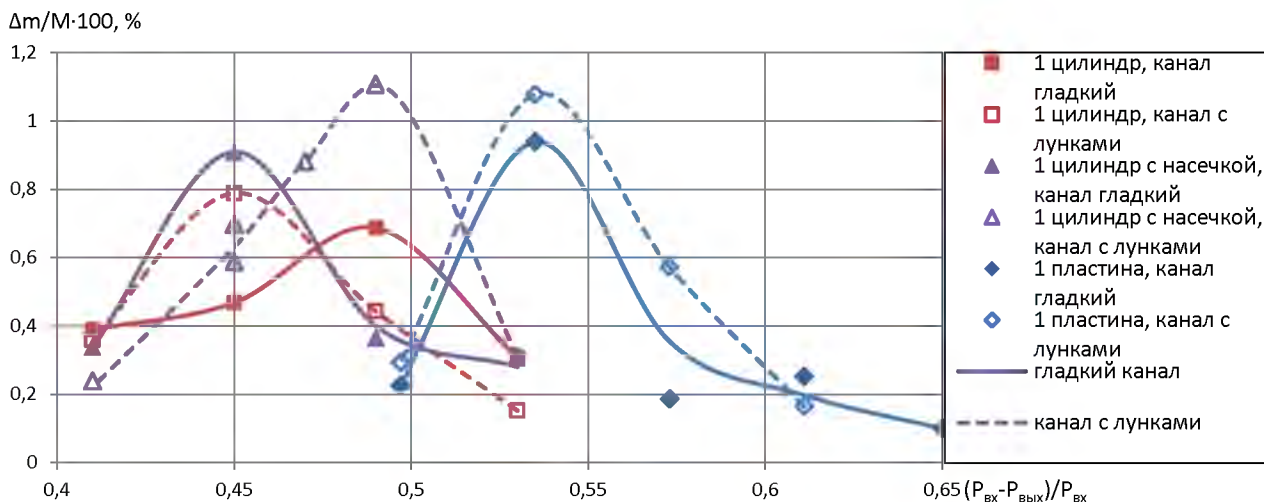


Рис. 12. Зависимости $\Delta m/M \cdot 100 = f((P_{вх} - P_{вых})/P_{вх})$ для различных тел обтекания в канале с контрольной вставкой и наличием вихрегенераторов-лунок

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований по формированию тонкодисперсных эмульсий из несмешивающихся жидкостей в проточном волновом генераторе плоского типа на гидродинамическом стенде СТ-3.

Исследования показали, что наличие режима интенсивного схлопывания кавитационных пузырьков привело к дополнительному дроблению капель эмульсий в генераторе со всеми видами тел обтекания. Фотография картины распределения частиц масла в воде и зависимость $q_i/Q \cdot 100 = f(d)$ при работе генератора в кавитационном режиме представлена на рисунке 13, где d – диаметр капли масла, q_i – количество капель масла, имеющих диаметр от d_i до d_{i+1} , Q – полное число капель на фотографии.

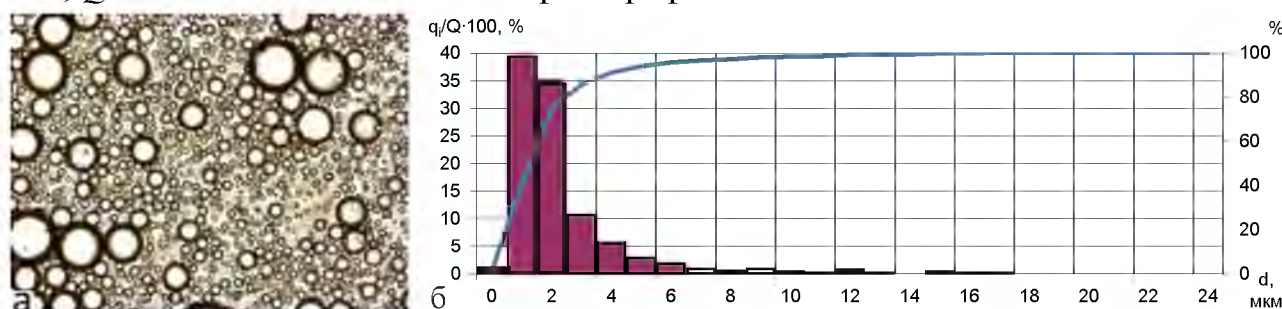


Рис. 13. Фотография картины распределения частиц масла в воде (а) и зависимость $q_i/Q \cdot 100 = f(d)$ (б) для плоского генератора с 2 рядами цилиндров с насечкой при кавитации и $(P_{вх} - P_{вых})/P_{вх} = 0,64$; $Re = 2,09 \cdot 10^5$

Эмульсия, получившаяся при чисто турбулентном течении без кавитации, содержит более крупные капли, что свидетельствует о худшем качестве получаемой смеси. На режимах, при которых в проточной части генератора

возникает кавитация, эмульсия получается тонкодисперсной и гомогенной. Размер частиц дисперсной фазы не превышает 20 мкм, при этом около 90% частиц имеет размер не более 5 мкм, а свыше 70% частиц – размер не более 3 мкм.

Из испытанных тел обтекания наиболее эффективными оказались варианты: цилиндр с насечкой, при использовании которого даже при безкавитационном обтекании получается качественная эмульсия, что связано с существенным увеличением турбулентности потока и более эффективным перемешиванием, а также пластина, при обтекании которой потоком жидкости возникают колебания давления высокой амплитуды, способствующие дроблению капель эмульсии. Плохообтекаемые тела (пластина, серп, стакан) способствуют образованию тонкодисперсной эмульсии, но увеличивают гидродинамическое сопротивление, что негативно сказывается на их применении.

Для выявления влияния внешней турбулентности потока на формирование тонкодисперсных эмульсий проведены экспериментальные исследования по смешению масел различной вязкости в волновом генераторе с установленным в один ряд телом обтекания – цилиндром с насечкой и наличием лунок на поверхности канала перед ним. По данным уноса материала с контрольной вставки такая компоновка проточной части позволяет увеличить интенсивность кавитации более чем на 60% по сравнению с использованием гладких канала и цилиндра.

Исследования проводились на маслах в широком диапазоне изменения кинематической вязкости, приведенной в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики используемых масел

	Индустриальное масло И-50А	Подсолнечное масло	Турбинное масло ТП-22с (марка 2)	Трансформаторное масло ГК
Кинематическая вязкость при 40 °С, ν , мм ² /с	100	60	32	9

В результате экспериментов установлено, что наличие лунок, а также установка одиночного тела обтекания – цилиндра с насечкой, приводит к улучшению качества получаемой водомасляной эмульсий. Содержание капель размером до 3 мкм составляет до 90% для масла И-50А, что выше, чем при исходной конфигурации волнового генератора (~78%). Наличие кавитации также способствует уменьшению размеров капель. На режиме кавитации в волновом генераторе водомасляная эмульсия с растительным нерафинированным маслом получается тонкодисперсной с преобладающим размером капель (60%) от 1,5 до

2 мкм, что, связано с наличием дополнительных природных эмульгаторов в составе масла (рисунок 14).

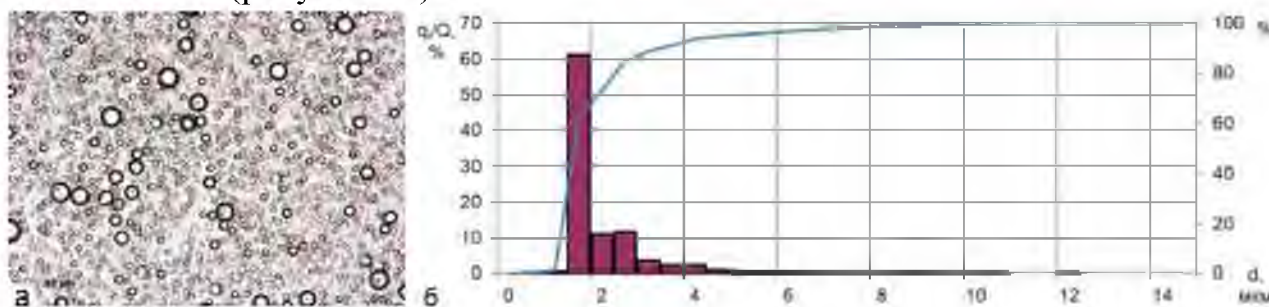


Рис. 14. Фотография картины распределения частиц растительного масла в воде (а) и зависимость $q_i/Q \cdot 100 = f(d)$ (б) для генератора с цилиндром с насечкой и каналом с лунками при кавитации и $(P_{вх} - P_{вых})/P_{вх} = 0,50$; $Re = 2,08 \cdot 10^5$

Обобщенный анализ результатов смешения масел с различной вязкостью, представленный на рисунке 15 показал, что при смешении с водой высоковязкого индустриального масла И-50А в генераторе с лунками и одним телом обтекания – цилиндром с насечкой, 89% капель достигает размера меньше 3 мкм, а 96 % – до 5 мкм. Уменьшение вязкости масла приводит также к незначительному увеличению размеров капель, что показано на рисунке 15 зависимостями 1 и 2, соответственно.

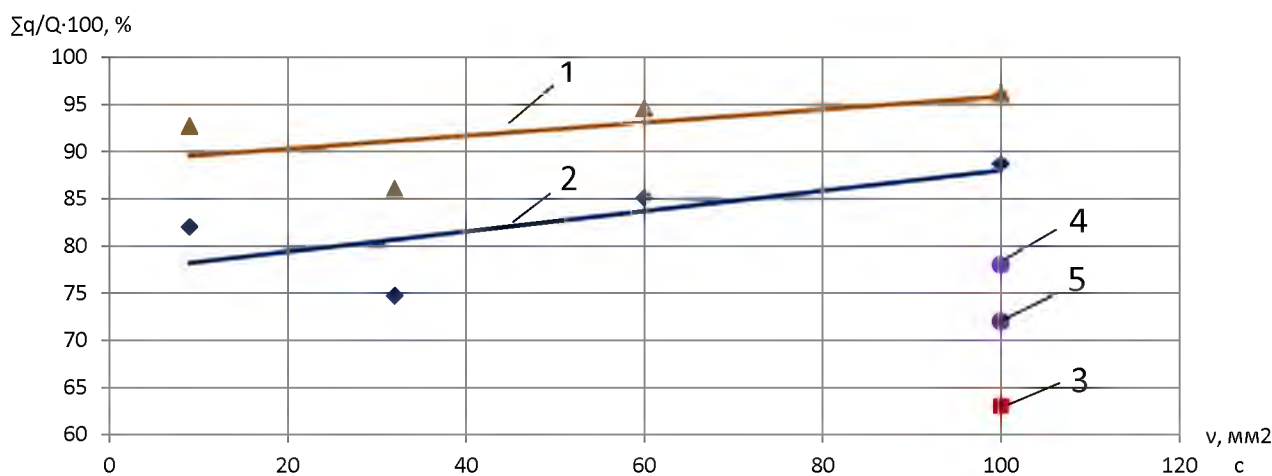


Рис. 15. Зависимости $\sum q/Q \cdot 100 = f(v)$ для различных вариантов конструктивных решений в генераторе

1,2,3 – одиночный цилиндр с насечкой, канал с лунками, размер капель:

1 – до 5 мкм; 2 – до 3 мкм; 3 – до 3 мкм без кавитации;

4, 5 – гладкий канал: 4 – 3 цилиндра с насечкой, размер капель до 3 мкм; 5 – 3 гладких цилиндра, размер капель до 3 мкм

Здесь же показаны данные по суммарному относительному числу капель эмульсии индустриального масла с водой размером до 3 мкм для волнового генератора исходной конфигурации с гладким каналом и двумя рядами тел обтекания – 3 цилиндра с насечкой (4) и 3 гладких цилиндра (5), что свидетельствует о повышении эффективности применения одиночного тела обтекания (цилиндр с насечкой и канала с лунками) для дробления капель. При

безкавитационном режиме течения с 1 цилиндром с насечкой (3) и наличием на поверхности канала лунок эмульсия получается наиболее плохого качества.

В главе 4 проведена также оценка удельных энергозатрат на приготовление тонкодисперсной ЭНЖ по перепаду давления на генераторе, которая показала, что волновой генератор, установленный в трубопровод технологической линии как дополнительное сопротивление, составляет 0,5-0,7 МПа или 0,2-0,3кВт/(т/час) прокачиваемого продукта.

Пятая глава посвящена результатам лабораторных и промышленных испытаний применения проточного волнового генератора плоского типа для формирования тонкодисперсных эмульсий и эмульсий с заданной дисперсностью для различных областей промышленности.

Применение волнового генератора плоского типа позволило улучшить качество технологии очистки нерафинированного растительного масла с помощью гидратации с 27,2% остаточного содержания фосфатидов для механической технологии смешивания с помощью роторной мешалки до 18,8% при волновой обработке масла в генераторе с гидратированием. Полученные результаты показали эффективность очистки масла с помощью только единственного волнового воздействия без привлечения рафинирующих химических реагентов. При этом энергетические затраты составили 0,2-0,25 кВт/(т/час).

На экспериментальной базе НЦ НВМТ РАН были проведены экспериментальные исследования по сравнению эффективности применения волновой технологии промывки нефти с механической обработкой и промышленной технологией смешения. В ходе экспериментов были проведены испытания с волновым генератором и получены образцы водонефтяной эмульсии, приготовленной на этом устройстве. В качестве очищаемой среды была выбрана сырая нефть Кунгурского месторождения с исходным содержанием солей 25,4%.

Для моделирования в лабораторных условиях механической технологии промывки нефти смесь нефти и 10% промывочной воды была обработана в роторной мешалке. В полученном контрольном образце водонефтяной эмульсии часть водяной фракция (менее 5% от общего объема жидкости) выделилась сразу после прекращения динамического воздействия.

Полученные образцы были исследованы на содержание воды в нефти и направлены на обезвоживание и обессоливание на лабораторной установке электро-обессоливания и обезвоживания нефти в ОАО «ВНИИ НП». Результаты химического анализа приведены в таблице 2.

Как видно из полученных результатов, волновая технология промывки нефти обеспечивает необходимую степень обессоливания, при этом использовалась одностадийная промывка потока нефти с меньшим количеством

воды по сравнению с технологией, использующейся на предприятиях НПЗ, что позволяет повысить экологичность применяемой технологии.

Таблица 2

Результаты химического анализа

№	Метод получения эмульсии	Добавочная вода, %	Остаточное содержание воды, % (ГОСТ 2477)	Содержание солей, мг/дм ³ (ГОСТ 21534)	Норма вода/соль, %/ мг/дм ³ (ГОСТ 21534)
1	механический	10	0,4	23	0,1/5,0
2	промышленный	4	0,04	3,05	0,1/5,0
	волновой	2,5	0,12	3,5	0,1/5,0

Широкие возможности компоновочных решений и теплофизических параметров работы волнового генератора дают возможность создания однородной эмульсии необходимого качества (дисперсности). Также при использовании смесительного устройства данного типа, исходя из соотношений добавочной компоненты и основного потока, возможно создать систему с меньшими энергетическими затратами их смешения и получения высокооднородной эмульсии.

На основании результатов экспериментальных исследований гидродинамики кавитационного течения в плоском профилированном канале генератора были получены водотопливные эмульсии на основе сырой нефти Удмуртских месторождений и топочного мазута М-100. Обработка топлива проводилась в волновом проточном генераторе плоского типа с 2-мя рядами цилиндрических тел обтекания. Фотографии исходной сырой нефти и водонефтяной эмульсии приведены на рисунке 16.

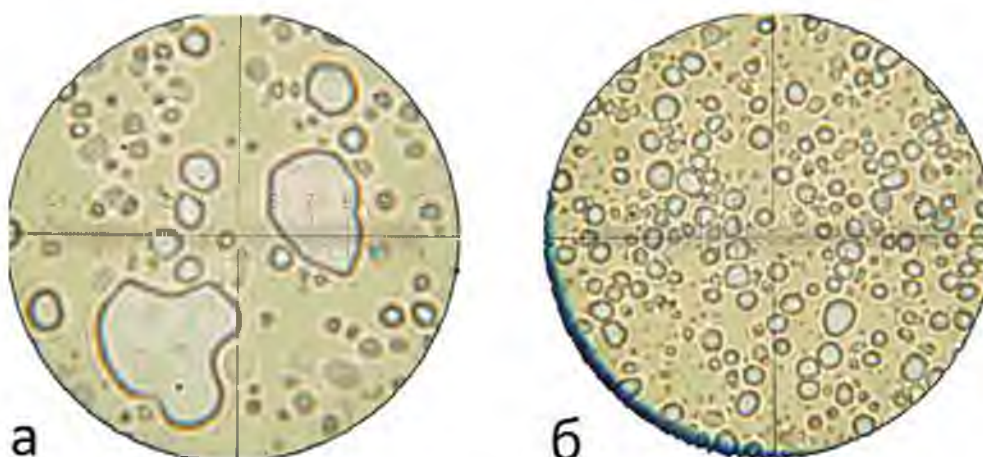


Рис. 16. Структура локального энергетического сырья (сырой нефти): исходный (а); приготовленный к сжиганию в виде водотопливной эмульсии (б)

Использование водотопливной эмульсии, полученной с помощью волновой технологии в процессе подготовки топлива, приводит к более технологичному сжиганию топлива, что было подтверждено испытаниями на котле ДКВР-10/13. Сжигание водомазутной эмульсии привело к уменьшению образования оксидов азота NO_x (с 200 до 150 мг/м^3), химического и механического недожога топлива, характеризующегося по оксиду углерода CO (с 100 до 10 мг/м^3), а также дало возможность перейти к сжиганию топлива с меньшим коэффициентом избытка воздуха α (с 1,3 до 1,17), что привело к уменьшению потери КПД котла (с 15 до 8%), кроме того повысилась надежность работы оборудования вследствие снижения параметров напряженно-деформированного состояния материала конструкций.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Получены тонкодисперсные, высокоомогенные эмульсии из несмешивающихся сред в проточных генераторах плоского типа, реализующих эффекты и явления нелинейной волновой механики.

2. На основе анализа существующих типов смесительных устройств и имеющихся в печати экспериментальных данных по течению жидкостей вокруг тел различной формы сделан вывод о недостатке этих данных для создания эффективных проточных генераторов с целью формирования тонкодисперсных, гомогенных эмульсий из несмешивающихся сред.

3. На основе проведенных в НЦ НВМТ РАН экспериментально-расчетных исследований выбраны режимно-технологические решения проточного волнового генератора с повышенной эффективностью формирования тонкодисперсных эмульсий из несмешивающихся сред.

4. Получены экспериментальные зависимости относительных длин кавитационных зон (λ) от конструктивных и режимно-технологических параметров аппаратов, позволяющие формировать автомодельные кавитационные области с заданными характеристиками в рабочем канале генераторов путем установления гидродинамических режимов работы и конструктивных решений волнового генератора.

5. Установлены диапазоны эффективной работы волнового генератора при наиболее интенсивной кавитационной технологии формирования тонкодисперсных эмульсий из несмешивающихся сред, соответствующей максимальному износу материала контрольной вставки, расположенной в зоне рабочего участка и рекомендовано применение оптимальных побудителей кавитации.

6. Экспериментально показано, что возникновение нестационарных волновых явлений проявляются в виде пиков колебания давления (f) в следе за телами побудителей кавитации (обтекания), частоты которых линейно зависят

от числа Рейнольдса в диапазоне $8 \cdot 10^3 \div 2,2 \cdot 10^5$ и описываются выражением $f=0,0068 \cdot Re$. При этом число Струхали Sh постоянно и равно $Sh=0,34$.

7. Установлено, что наличие режима интенсивного схлопывания пузырьков в рабочем канале волнового генератора приводит к дополнительному дроблению капель эмульсии. Размер частиц дисперсной фазы не превышает 10 мкм, при этом около 70% частиц имеет размер не более 3 мкм.

8. Рекомендована установка участка поверхностных вихрегенераторов в виде лунок перед побудителями кавитации, приводящая к увеличению интенсивности износа материала контрольной вставки на 15-20%, и, соответственно, к интенсификации процесса формирования эмульсий из несмешивающихся сред (увеличение количества частиц с размерами не более 3 мкм до 90%).

9. Проведена в лабораторных и промышленных условиях апробация разработанного проточного волнового генератора, реализующего эффекты и явления нелинейной волновой механики, подтвердившая повышение эффективности формирования и применения тонкодисперсных, высокоомогенных и стабильных эмульсий из несмешивающихся сред в технологических процессах различных производств.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Публикации в журналах, рекомендованных ВАК

1. Юшков Н.Б. Исследование характеристик плоского волнового генератора проточного типа с различными телами обтекания / Шмырков О.В., Юшков Н.Б., Кормилицын В.И. // М.: Инженерный журнал. Справочник. – 2013. – №2. – С.12-19

2. Юшков Н.Б. Формирование тонкодисперсных эмульсий в проточном волновом генераторе с маслами различной вязкости / Юшков Н.Б., Шмырков О.В., Кормилицын В.И. // Проблемы машиностроения и надежности машин – М.: Наука. – 2013. – №4. – С.83-87

3. Юшков Н.Б. Подготовка к сжиганию и сжигание местного сырья (сырой нефти) в паровом котле ДКВР-10/12 / Кормилицын В.И., Фомин В.Н., Малюкова Е.Б., Бобылев А.П., Шаталова Т.Б., Аверьянов А.П., Юшков Н.Б. // Химическая технология – М.: НиТ. – 2013. – Т.4. – №11. – С.679-681

Публикации в отчетах РФФИ

4. Разработка научных основ технологии получения альтернативных видов топлив для технических средств железнодорожного транспорта: отчет РФФИ 12-08-13106-офи_м_РЖД рег. №01201276764. – М.: НЦ НВМТ РАН. – 2012-2013 г.г., исполнитель

Другие публикации

5. Юшков Н.Б. Формирование водотопливной эмульсии на основе сырой нефти и ее сжигание в котле ДКВР-10/13 / В.И. Кормилицын, О.В. Шмырков, Н.Б. Юшков. // Промышленные и отопительные котельные и мини-ТЭЦ М.: Изд-во АКВА-ТЕРМ. –2013. – №4(19). – С.16-18

6. Юшков Н.Б. Исследования кавитационных явлений в плоском волновом генераторе проточного типа / В.И. Кормилицын, О.В. Шмырков, Н.Б. Юшков // Международная научная конференция «Машины, технологии и материалы для современного машиностроения»: сб. тез. док./ Москва ИМАШ РАН. – 2013. – С.48

7. Юшков Н.Б. Результаты исследования течения жидкости в плоском профилированном канале с различными телами обтекания / Н.Б. Юшков, О.В. Шмырков, В.И. Кормилицын // Итоги диссертационных исследований. Труды IV Всероссийского конкурса молодых ученых. – Миасс: МСНТ. – 2012. – С.11-20

8. Юшков Н.Б. Исследования интенсивности протекания кавитационных процессов в плоском генераторе проточного типа с различными телами обтекания / Н.Б. Юшков, О.В. Шмырков, В.И. Кормилицын // Труды XXXII Всероссийской конференции «Проблемы науки и технологий». – Миасс: МСНТ. – 2012. – С.104-107

9. Юшков Н.Б. Перспективность волновой технологии приготовления энергетических топлив / В.И. Кормилицын, С.Р. Ганиев, А.В. Бакурский, С.В. Лосев, Н.Б. Юшков. // Международная научная конференция «Колебания и волны в механических системах»: сб. тез. док./ Москва ИМАШ РАН. – 2012. – С.43

10. Юшков Н.Б. Волновая технология очистки, рафинации и депарафинации растительных масел / И.Г. Устенко, Н.Б. Юшков. // Международная научная конференция «Колебания и волны в механических системах»: сб. тез. док./ Москва ИМАШ РАН. – 2012. – С.28-29

11. Юшков Н.Б. Разработка фундаментальных основ конструкций аппаратов проточного типа, реализующих эффекты нелинейной волновой механики, для получения высокодисперсных эмульсий, высокостабильных жидких смесей / В.И. Кормилицын, Л.Е. Украинский, И.Г. Устенко, В.В. Чередов. Н.Б. Юшков. // Международная научная конференция «Колебания и волны в механических системах»: сб. тез. док./ Москва ИМАШ РАН. – 2012. – С.28

Соискатель



Н.Б. Юшков