

ХАФИЗОВ НАИЛЬ ФАНИЛЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА МАЛОГАБАРИТНЫХ КАВИТАЦИОННО-
ВИХРЕВЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРОЦЕССОВ АБСОРБЦИИ И РЕГЕНЕРАЦИИ**

Специальность 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы
(Машиностроение в нефтеперерабатывающей промышленности)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Уфа - 2003

Работа выполнена в Уфимском государственном нефтяном техническом университете.

Научный руководитель	доктор технических наук, профессор Кузеев Искандер Рустемович
Официальные оппоненты:	доктор технических наук Нигматуллин Ришат Гаязович Смородов Евгений Анатольевич кандидат физико-математических наук
Ведущее предприятие	Открытое акционерное общество «Уфимский нефтеперерабатывающий завод»

Защита состоится «2» июля 2003 года в _____ часов на заседании диссертационного совета Д.212.289.05 при Уфимском государственном нефтяном техническом университете по адресу: 450062, Республика Башкортостан, г.Уфа, ул. Космонавтов, 1

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке УГНТУ

Автореферат разослан « 2 » июля 2003г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

И.Г. Ибрагимов

Актуальность темы

В нефтеперерабатывающей промышленности процессы абсорбции применяются главным образом для извлечения ценных компонентов из газовых смесей или для очистки этих смесей от вредных примесей. Сочетание абсорбции с регенерацией поглотительного раствора позволяет многократно применять поглотитель и выделять поглощенный компонент в чистом виде.

Основным видом оборудования в этом процессе является колонная аппаратура для массообмена жидких и газожидкостных систем, которые работают обычно в режиме встречного движения взаимодействующих потоков жидкостей и газов (паров). Встречное движение взаимодействующих потоков в аппарате обычно не соответствует идеальной схеме противотока. Отклонение от идеального противотока ведет к уменьшению движущей силы процесса обмена или химического превращения и соответствующему понижению эффективности массообменных аппаратов.

Интенсификация процессов путем увеличения движущей силы, как правило, ведет к дополнительным материальным затратам, но не всегда есть возможность достичь желаемых результатов, например, для снижения температуры в процессе абсорбции требуется дополнительное теплообменное оборудование. Поэтому увеличение движущей силы процесса абсорбции дает реальный путь к интенсификации технологических процессов.

Использование волновых воздействий позволяет повысить эффективность массообмена в химико-технологических процессах при использовании компактных - малогабаритных аппаратов, энергия потока жидкости в которых бывает достаточной для создания эффективного кавитационно-вихревого режима. Учитывая, что в последние годы стоимость энергии резко возрастает, разработка более экономичных конструкций и перспективных технологий на принципах кавитационно-вихревых воздействий является актуальной.

Целью работы является повышение эффективности процессов абсорбционной очистки газов от сернистых соединений и регенерации отработанных растворов в разработанных малогабаритных кавитационно-вихревых аппаратах, действующих на принципах кавитационно - вихревых эффектов.

Основные задачи исследования:

- изучение влияния волновых воздействий на процессы поглощения сернистых соединений из углеводородного сырья и регенерацию насыщенного поглотительного раствора;
- разработка конструкции аппаратов, работающих на принципах кавитационно-вихревых эффектов для процессов абсорбции и регенерации отработанного поглотителя;
- совершенствование технологического процесса абсорбции с регенерацией отработанных щелочных стоков с применением кавитационно-вихревых аппаратов.

Научная новизна

1. Показано, что в процессе истечения жидкости через саморегулирующееся сопло кавитационно-вихревого абсорбера наименьший размер капель абсорбента (2-4 мм) достигается при скорости истечения 10-15 м/с. При этом процесс абсорбции протекает при концентрации щелочи 2-4 % масс.
2. Оптимизированы температурные режимы регенерации отработанной щелочи при волновом воздействии путем окисления сероводорода до элементарной серы, меркаптанов до дисульфидов. Предложен механизм окисления тиоловых углеводородов при волновом воздействии с образованием пероксидной группы.

Практическая ценность

Полученные результаты позволили разработать новые конструкции кавитационно-вихревых аппаратов для процессов абсорбции и регенерации поглотительных растворов (пат РФ № 2143314, 2171705, 2176929, 2185898).

На заводе ООО «Пермьнефтегазпереработка» на установке сероочистки был испытан и внедрен кавитационно вихревой абсорбер .

Апробация работы

Основные положения работы докладывались и обсуждались:

- на II Международном симпозиуме «Наука и технология углеводородных дисперсных систем» (Уфа, 2000 г.);

- на III Всероссийской научно- практической конференции «Проблемы прогнозирования, предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуации» (г.Уфа-2002г.).

Публикации. Результаты исследований опубликованы в 10 работах, в том числе 4 патента РФ и одной монографии.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, основных выводов, списка использованных источников, включающего 121 наименование, приложений; изложена на 120 страницах машинописного текста, содержит 43 рисунка, 6 таблиц.

ОБЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрыта актуальность выбранной темы диссертационной работы; сформулированы цель, задачи и основные положения, выносимые на защиту, отражена научная новизна выполненных исследований и их практическая значимость.

Первая глава посвящена анализу существующих современных технологических установок и аппаратов в производстве по очистке газов от сероводорода и меркаптанов, регенерации отработанных абсорбентов.

Одним из недостатков применяемых аппаратов в процессе сероочистки газов является их большая металлоемкость и высокие энергозатраты на их обслуживание.

Проведенный литературный анализ показал, что наиболее эффективными аппаратами для очистки газов от серосодержащих компонентов, а также регенерации отработанного поглотительного раствора являются аппараты, работающие на принципах кавитационно-вихревых эффектов. В то же время из литературных источников не ясен механизм волнового воздействия при окислении тиоловых углеводородов. А также не в полной мере уточнены температурные режимы окисления тиолов при волновом воздействии, что затрудняет выбор соответствующих волновых аппаратов и их конструирование.

В связи с этим в работе рассмотрены: влияние кавитационно- вихревого эффекта на интенсификацию процесса массообмена; селективное извлечение сероводорода, комплексная очистка газа от кислых компонентов и серооргани-

ческих соединений; методы регенерации поглотительных растворов, различные виды кавитации; гипотезы вихревого эффекта.

Во второй главе приведены стандартные и специально разработанные методы выполнения исследований. К их числу относятся:

- исследование механизма влияния волновых воздействий на процесс сероочистки поглотительными растворами.

- изучение гидродинамических характеристик волнового гидродинамического аппарата (ГДА).

- исследования по изучению волновых воздействий на процесс регенерации отработанной щелочи путем их окисления, которые проводились магнитострикционным излучателем с частотой 22 кГц.

Третья глава посвящена исследованию влияния волновых воздействий на процесс извлечения сернистых соединений поглотительными растворами и разработке конструкции кавитационно-вихревого аппарата для процесса абсорбции газов.

В настоящее время для удаления сероводорода и тиолов применяют водно-щелочные поглотительные растворы. Степень извлечения сернистых соединений из дистиллятных фракций зависит в основном от концентрации применяемой щелочи.

Результаты экспериментов (рис.1) показывают, что зависимость степени извлечения сернистых соединений от концентрации применяемой щелочи при механическом перемешивании носит линейный характер (кривая 1). При извлечении сернистых соединений с использованием волновых аппаратов зависимость экспоненциальная (кривая 2), максимальное извлечение сернистых соединений достигается при концентрации щелочи 2-4 % масс, и дальнейшее повышение концентрации щелочи в растворе не дает заметного эффекта. Очевидно, в этом случае волновое воздействие способствует более эффективному массообмену между сернистыми соединениями и щелочью.

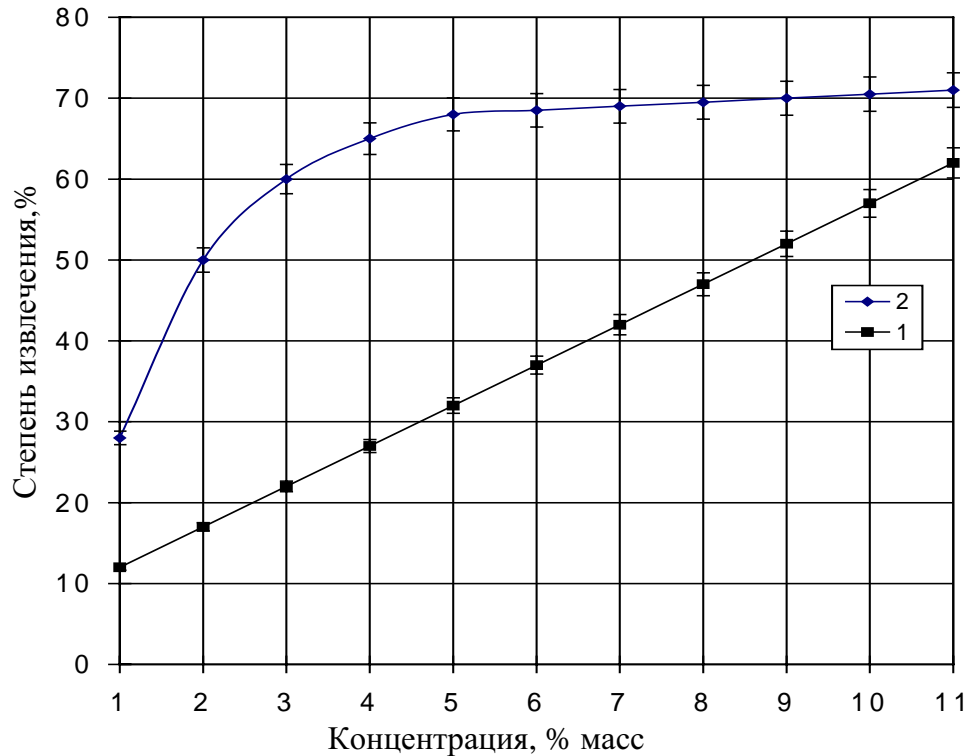


Рис. 1. Влияние концентрации щелочи на степень извлечения:
сернистых соединений из бензиновой фракции

- 1- при механическом перемешивании,
- 2- при волновом воздействии.

Проведенный литературный анализ показал, что на практике отсутствуют промышленные абсорберы, работающие на принципах кавитационно-вихревых эффектов, разработаны конструкция и методы расчета аппаратов.

В предложенном аппарате (рис.2) достигается многократное взаимодействие жидкой фазы с тангенциально движущимся газовым потоком за счет вихревого эффекта. При этом жидкую фазу подвергают сжатию в газожидкостном диспергаторе, по выходе из которого жидкость контактирует с тангенциально движущимся газовым потоком с последующим многократным взаимодействием подаваемой парциально по всей длине аппарата свежей жидкой фазы.

Корпус снабжен завихрителем в виде шнека, число заходов которого определяется расчетным и опытным путем, закрепленного опорами с обоих концов оси.

В корпусе расположены патрубки для подачи жидкой фазы по всей длине аппарата.

Газожидкостная смесь, пройдя завихритель, через патрубок выводится в сепарацию.

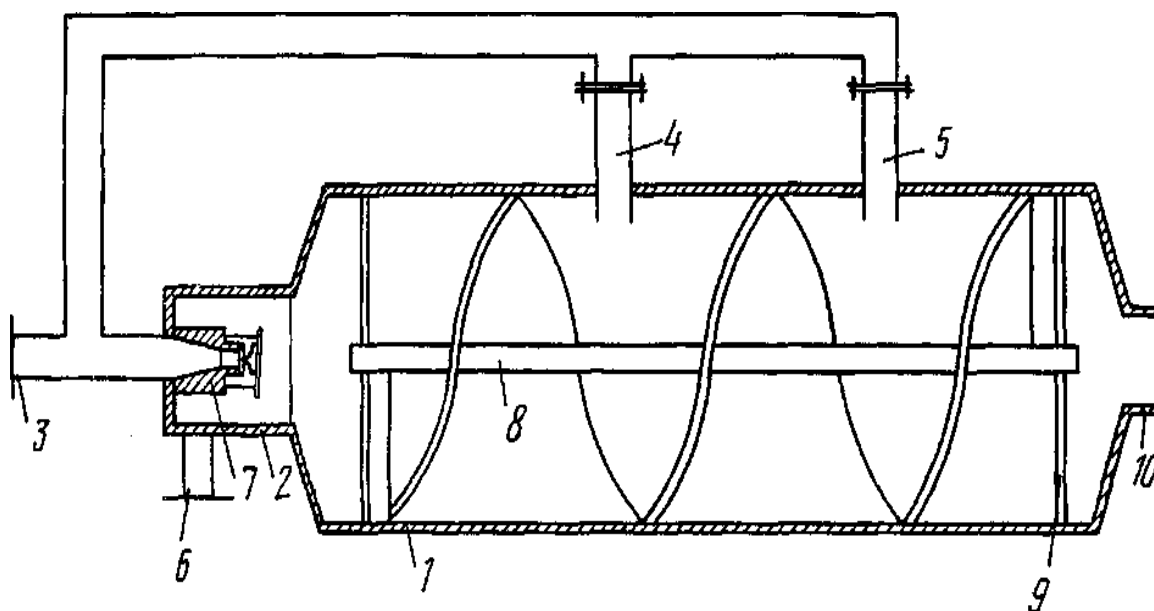


Рис. 2. Кавитационно-вихревой абсорбер:

1- корпус; 2- вихревая камера; 3, 4, 5, 6 – подводящие патрубки; 7 – сопло с кавитатор - рассекателем; 8 – завихритель (шнек); 9 – опоры; 10 – выводящий патрубок.

Сырьевой поток, проходя сопло 7, приобретает скорость около 10- 15 м/с, что позволяет получить оптимальный размер капель жидкости (рис.3). На выходе из сопла установлен рассекатель потока жидкости. Его функция заключается в равномерном распределении жидкости для лучшего взаимодействия газовой и жидкой фазы и возбуждения кавитации.

Поток жидкости попадает в зону максимальных тангенциальных скоростей воздушного потока, создает условия для получения мелкодисперсной пены.



Рис.3 Зависимость диаметра пузырька от скорости движения потока

Подбор диаметра сопла подачи жидкости производится с тем расчетом, чтобы при заданном расходе абсорбента скорости соответствовали заданному и диаметр капель оставался бы неизменным.

В результате экспериментов получены зависимости расхода и скорости движения жидкости в сопле для определенного диаметра выходного отверстия сопла и потерь давления на сопле (рис.4 и 5). Высоту щели между коническим рассекателем и диффузором сопла определяют из условия, когда площадь проходного сечения между рассекателем и соплом равна площади рабочей части сопла.

Геометрические размеры сопла определяются исходя из среднечасового расхода жидкости Q_p , подаваемого на аппарат, и располагаемого перепада давления на технологической линии трубопровода ΔP .

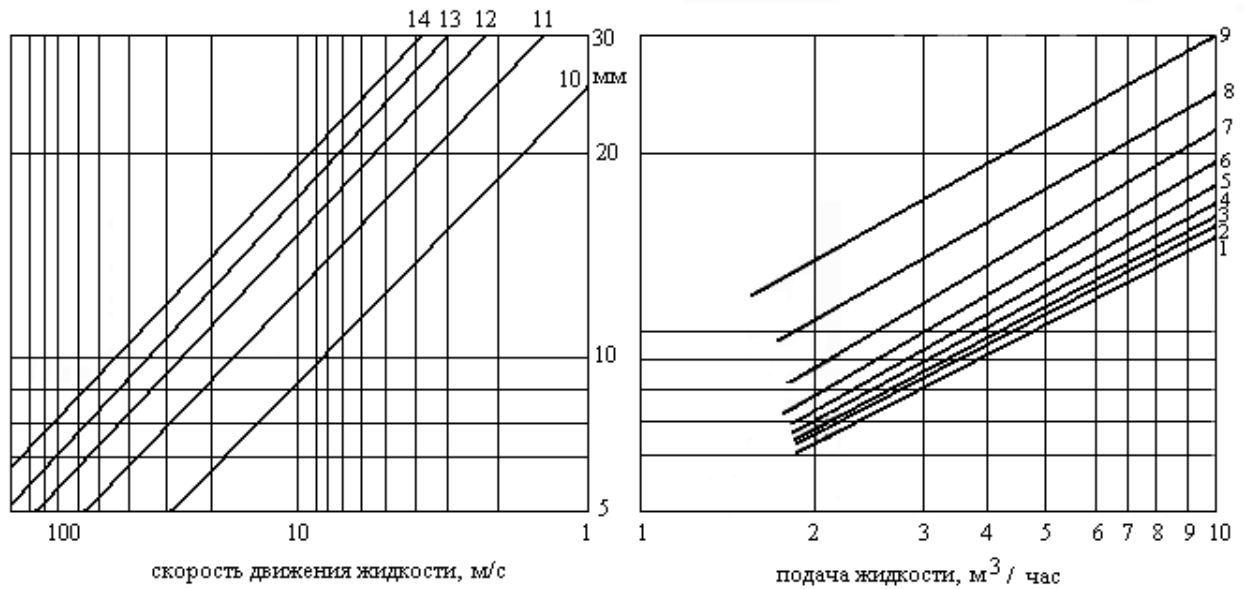


Рис.4. Номограмма для определения площади рабочего сечения сопла и скорости движения жидкости в зависимости от располагаемого запаса давления

Располагаемый запас давления сырьевых насосов, кгс/см²: 1-2,0; 2 – 1,75; 3 – 1,5; 4 – 1,25; 5 – 1,0; 6 – 0,75; 7 – 0,5; 8 – 0,25; 9 – 0,1.

Подача жидкости, м/ч: 10 – 2; 11 – 4; 12 – 6; 13 – 8; 14 – 10.

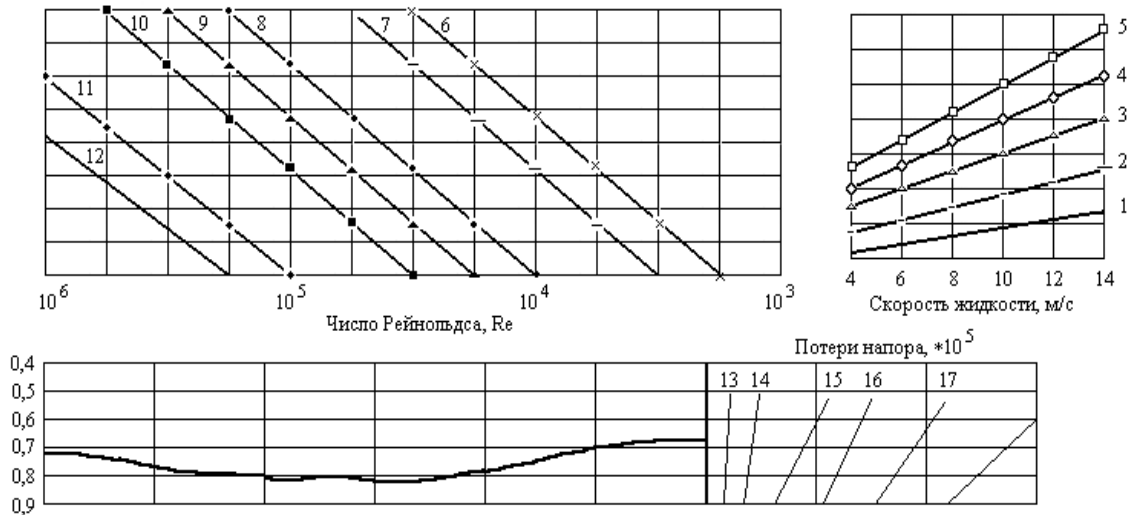


Рис. 5. Номограмма для определения диаметра сопла, числа Рейнольдса и потерь напора

Диаметр сопла, мм: 1 – 6; 2 – 8; 3 – 10; 4 – 12; 5 – 14.

Вязкость сырья, сСт: 6 – 10; 7 – 5; 8 – 3; 9 – 1; 10 – 0,5; 11 – 0,25; 12 – 0,1.

Скорость жидкости, м/с: 13 – 4; 14 – 6; 15 – 8; 16 – 10; 17 – 12.

При уменьшении расхода сырья и, следовательно, уменьшении давления жидкости на кавитатор-рассекатель, последний уменьшает проходное сечение рабочей части сопла за счет разжатия пружин. Подвижность кавитатор - рассекателя позволяет регулирование проходного сечения в зависимости от подачи сырья, аппарат обеспечивает высокую степень диспергирования при изменении расхода сырья (рис.6).

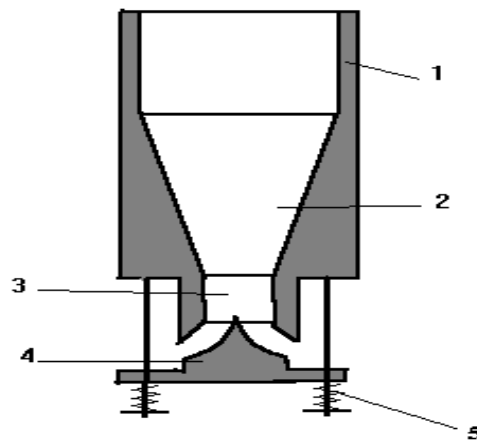


Рис.6. Сопло подачи жидкости в камеру смешения

1-подводящий патрубок; 2-конфузор,3-рабочая часть, 4-конический рассекатель,
5 - пружина сжатия

Был рассчитан и изготовлен газожидкостной аппарат для промышленной установки очистки газов и внедрен как блок предварительной очистки перед основными абсорбционными колонами ООО «Пермнефтегазопереработка» (рис. 7).

В качестве сырья очистки использовался газ с установки коксования с содержанием сероводорода 6-7% масс., расходе 8 – 12 т.нм³/ч, давлением Р=3 - 3,5 ати, который поступает в первый коллектор смешения, состоящий из трех кавитационно-вихревых абсорберов (КВА), куда подводится МДЭА (монодиэтаноламин). КВА расположены последовательно. После смешения с МДЭА газ поступает в сепаратор С-3, где отделяется от МДЭА, и поступает на вторую ступень смешения, состоящую из трех смесителей. Затем смесь МДЭА и газа из

второй ступени поступает на сепарацию в С-4 и, пройдя отбойник С-5, поступает на прием компрессоров. Оработанный МДЭА из С-3,4 насосами откачивается в блок регенерации.

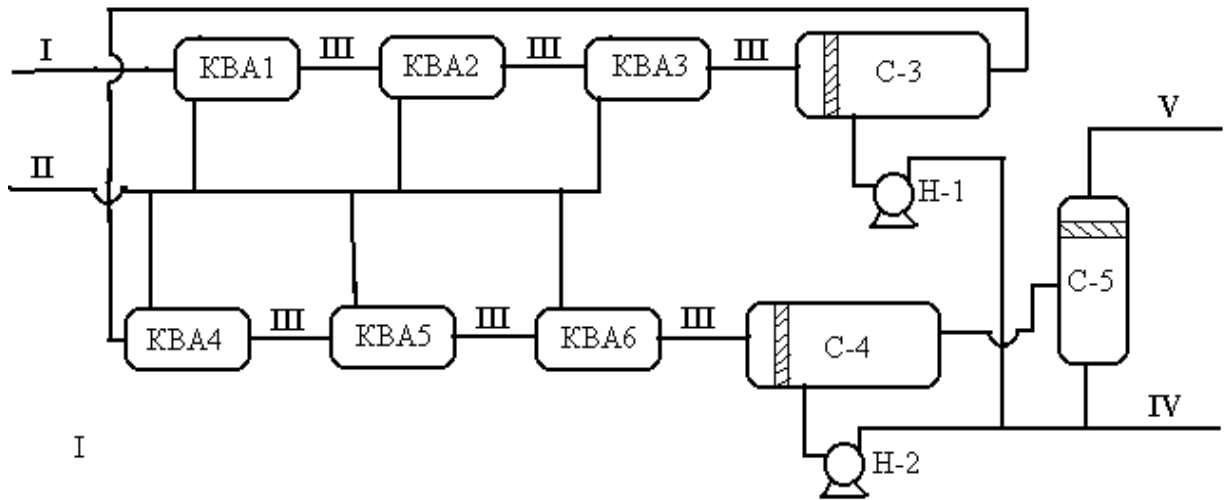


Рис. 7 Схема предварительной очистки газа коксовой установки от H_2S
КВА-1,6 – кавитационно-вихревые абсорберы, С-3,5 – сепараторы, Н-1,2 – насосы.

Потоки: I – газ на очистку; II – абсорбент (МДЭА); III – газожидкостная смесь; IV – отработанный абсорбент на регенерацию; V – очищенный газ.

Результаты промышленных испытаний представлены в таблице 1.

Результаты промышленных испытаний кавитационно-вихревого абсорбера

№ п/п	Жирный газ		H_2S , % масс			Степень очистки, %
	Расход, $м^3/ч$	ρ_4^{20} , $м^3/ч$	Исходного газа	После		
				I ступени	II ступени	
1	9500	1,2	6,91	4,71	3,75	45
2	9500	1,2	5,93	4,3	2,4	60
3	9700	1,2	5,93	4,89	3,46	43
4	9700	1,21	7,08	4,5	2,76	61
5	9200	1,2	6,41	4,1	3,47	46
6	9200	1,2	7,04	4,12	3,8	46
7	9200	1,2	7,45	4,59	4,12	45
8	5000	1,2	6,0	4,2	3,0	50
9	6000	1,2	5,84	3,45	2,51	57
10	8500	1,2	6,74	4,8	2,34	65
11	8100	1,2	5,82	4,1	2,2	62

В схеме использовались шесть кавитационно-вихревых аппаратов в две ступени, при этом после первой ступени сероводород удаляется на 35-40% сероводорода, а после второй ступени степень очистки достигает удаления 60% сероводорода.

Четвертая глава посвящена совершенствованию технологической схемы очистки газов с блоком регенерации отработанного поглотительного раствора с использованием кавитационно-вихревых аппаратов, а также применению волновых аппаратов для регенерации отработанной щелочи.

Исследования по изучению влияния волновых воздействий на углеводороды в процессе регенерации отработанных водно-щелочных растворов проводили на модельных смесях: H_2O +бензиновая фракция (БФ); H_2O +KCl; H_2O ; результаты приведены на рис.5 и 6.

Суть исследований заключалась в определении удельной электропроводности растворов до и после волновых воздействий, при изменении которой после обработки можно судить о химических изменениях в нефтяных эмульсиях, что может привести к интенсификации процессов в углеводородных системах.

Результаты исследований показывают (рис. 8), при волновом воздействии с повышением интенсивности обработки удельная электропроводимость раствора KCl + H_2O растет, это указывает на сонолиз воды.

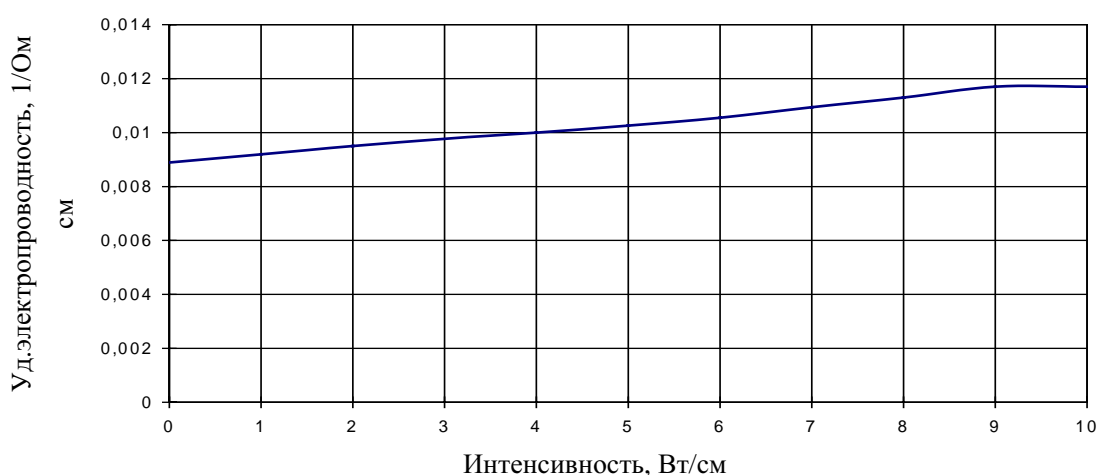


Рис. 8. Зависимость удельной электропроводности раствора KCl+ H_2O от интенсивности обработки на ультразвуковом диспергаторе УЗДН-2Т

В дальнейшем были проведены эксперименты по изучению волновых воздействий на бензиновую фракцию, водную эмульсию бензиновой фракции. Результаты экспериментов представлены на рис.9.

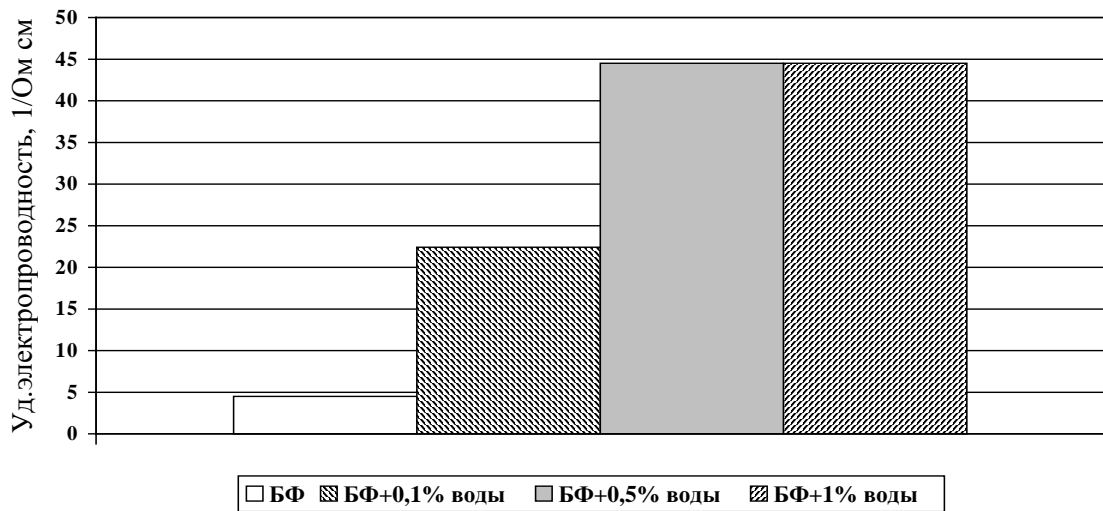
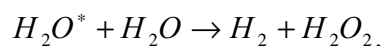


Рис. 9. Зависимость удельной электропроводности диспергированной эмульсии БФ +H₂O от процентного содержания воды при волновом воздействии

Бензиновая фракция имеет низкую удельную электропроводность, т.е. является диэлектриком, как и дистиллированная вода. После обработки обезвоженной бензиновой фракции волновым диспергатором изменение удельной электропроводности не наблюдается см (рис.9).

По литературным данным, распад молекулы воды в возбужденном состоянии на радикалы Н (кислая форма) и радикалы ОН (основная форма) становится наиболее вероятным, когда молекула воды находится в паровой фазе. В кавитационной полости происходит возбуждение молекул воды до различных энергетических уровней с образованием начальных продуктов сонолиза непосредственно внутри паровой полости:



Внутри этой полости H_2O диссоциирует на H^+ и OH^- . Водород в присутствии O_2 дает радикал HO_2 , который ускоряет реакции окисления.

Исследование влияния температурного режима на процесс акустической регенерации проводилось на модельной смеси водно-щелочного раствора, с начальными концентрациями 0,0387 моль/л меркаптида натрия и 593 мг/л суль-

фида натрия. При продолжительность акустической обработки 180 с достигается максимальная степень окисления.

Как видно из рис.10, при изменении температуры от 80 до 95###C характерно интенсивное протекание реакции акустического окисления меркаптидов до дисульфидов, а сульфида до тиосульфата.

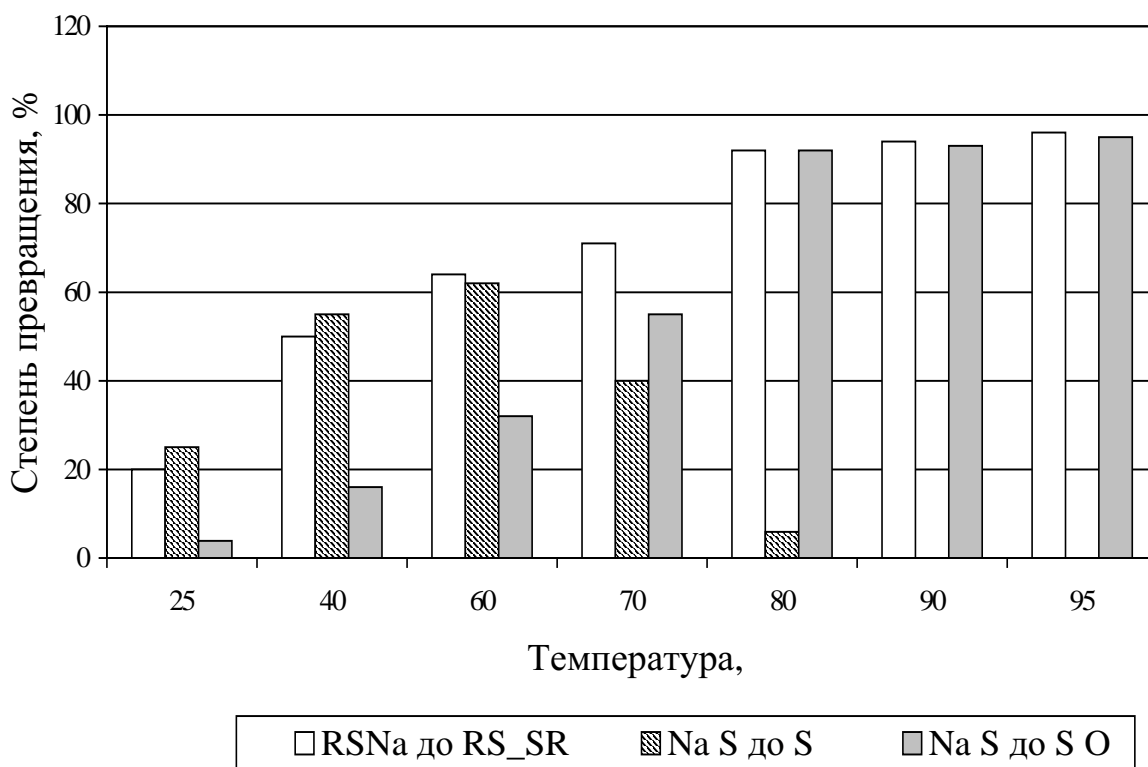


Рис.10. Влияние температуры на процесс окисления сернистых соединений при волновом воздействии

Необходимо отметить, что при температурах 40-60 ###C реакция акустического окисления сульфида натрия проходит с образованием элементарной серы.

На основании экспериментальных данных результатов окисления водно-щелочного раствора предлагаем двухстадийный процесс регенерации щелочи. На первой стадии будет осуществляться окисление сульфида натрия до элементарной серы и ее удаление, а на второй стадии окисление меркаптидов до нейтральных дисульфидов и их удаление.

Целью усовершенствования гидродинамического аппарата является повышение эффективности обработки углеводородных систем за счет установления минимального зазора между ротором и статором.

Исследование влияния зазора на величину электрического сигнала (спектральный диапазон 10-4000 Гц) с гидрофона позволили получить следующую графическую зависимость (рис.11).

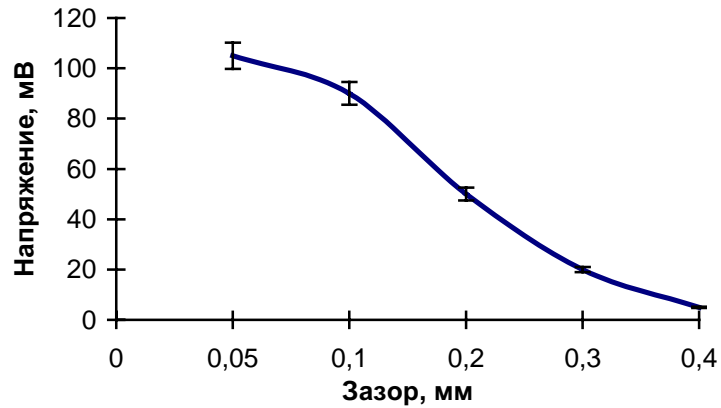


Рис.11. Зависимость интенсивности звуковой волны от зазора

Как видно из графика, при зазоре менее 0,1 мм резко увеличивается величина сигнала с гидрофона и достигает своего максимального значения при зазоре 0,05 мм. Технически это можно достичь при аксиальном исполнении ротора и статора, что предлагается нами (рис.12).

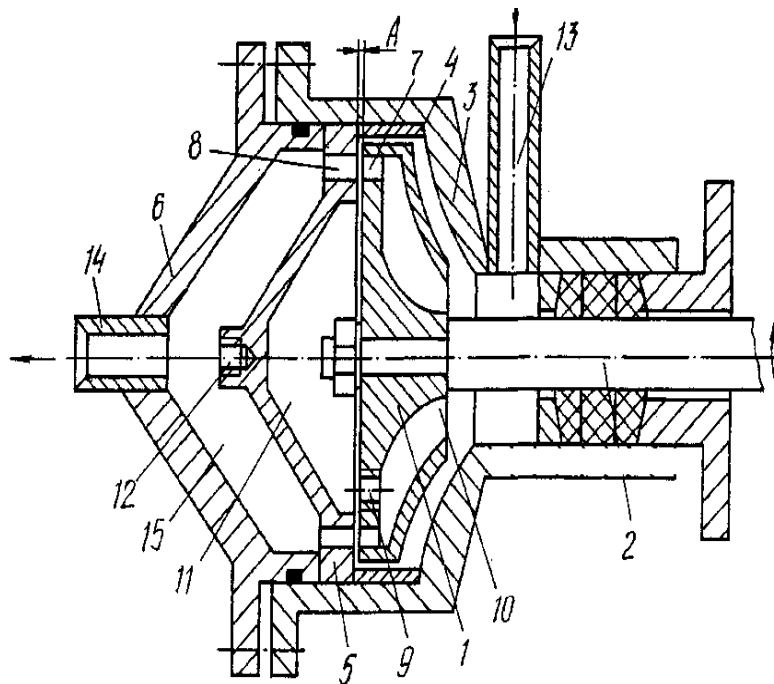


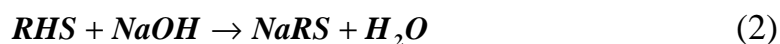
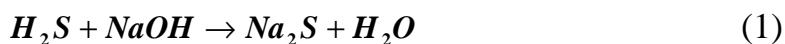
Рис. 12 Устройство для физико-химической обработки жидких сред

1 – ротор; 2 – вал; 3 – корпус; 4 – цилиндрическая втулка; 5 – статор; 6 – съемная крышка; 7, 8 и 9 – отверстия; 10 и 11 – области высокого и низкого давления; 12 – глухое отверстие; 13 и 14 – входной и выходной патрубки; 15 – камера.

Во входной патрубок подается обрабатываемая жидкость под давлением. Ротор приводится во вращение, при этом отверстия ротора и статора совмещаются и перекрываются, а продавливаемая через них жидкость пульсационно истекает в камеру 15, вследствие чего в жидкости возбуждается кавитация, возникают ударные волны, турбулентные течения, интенсифицирующие физико-химические процессы в жидкой среде. Полость 10 (область высокого давления) и полость 11 (область низкого давления) соединяются дополнительными отверстиями ротора, вследствие чего снижается осевое усилие на ротор.

Проведенные исследования, а также разработанные конструкции абсорбера и гидродинамического аппарата позволяют предложить принципиально новую технологическую схему по очистке газов от сернистых соединений с блоком регенерации отработанных поглотительных растворов, с использованием кавитационно-вихревых воздействии, которая приводится на рис.13.

Технологическая схема по абсорбционной очистке газов с блоком регенерации отработанного абсорбента работает следующим образом: неочищенный газ подается в абсорбер А, где смешивается с абсорбентом (например, с водным раствором щелочи). В процессе контакта происходит удаление сернистых соединений по следующей схеме:

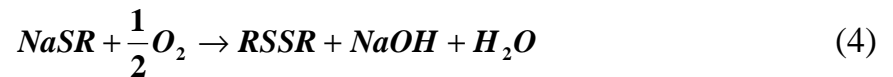


Газожидкостная смесь из абсорбера А выводится в сепаратор С-1, где происходит разделение газовой и жидкой фаз. Для предотвращения уноса жидкости в виде капель сепаратор оснащен каплеотбойным устройством. Очищенный газ после сепаратора выводится в товарный парк. Насыщенный раствор абсорбента с серусодержащими компонентами направляется на стадию регенерации. Предлагаемая схема предполагает проведение регенерации насыщенного раствора путем его окисления кислородом воздуха при волновом воздействии.

Для генерирования волновой энергии схема оснащается гидродинамическим аппаратом предлагаемой нами конструкции. Процесс регенерации в гидродинамическом аппарате протекает по следующей схеме: на первой стадии при температуре 40-50⁰С происходит окисление сульфида Na с образованием элементарной серы



Элементарная сера из водно-щелочного раствора удаляется путем фильтрования. Далее водно-щелочной раствор подается на вторую стадию для удаления меркаптидов Na. Для этого водный раствор щелочи нагревают до 90-95⁰С и подвергают окислению кислородом воздуха при волновом воздействии:



Образовавшийся дисульфид выводится из гравитационного отстойника, а регенерированный NaOH возвращается в абсорбер.

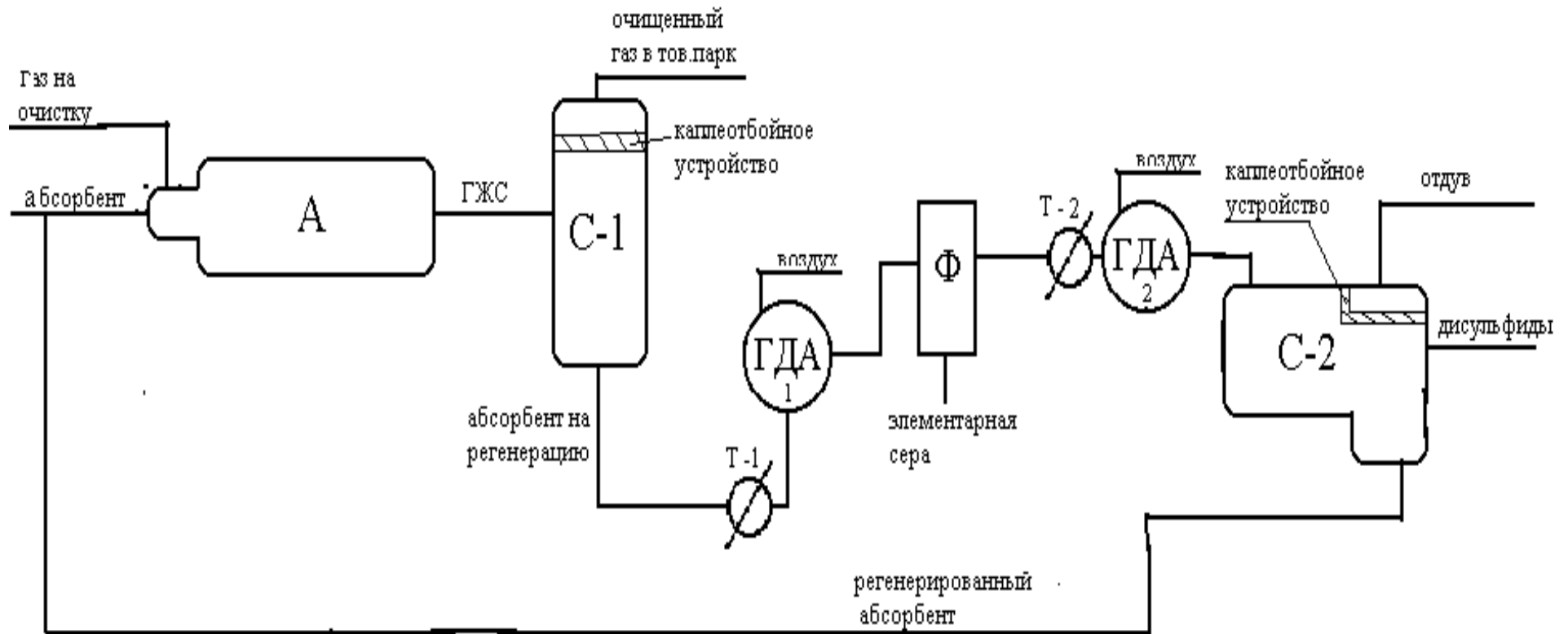


Рис. 13. Схема очистки газов с блоком регенерации отработанного поглотительного раствора с использованием кавитационно-вихревых аппаратов:

А – абсорбер; С-1 – сепаратор; ГДА – гидродинамический аппарат; С-2 – гравитационный сепаратор;
 Ф – фильтр; Т-1, Т-2 – теплообменные аппараты

Выводы

1. Изучено интенсифицирующее влияние волновых воздействий на поглощение сернистых соединений водно-щелочными растворами из нефтяных углеводородов. Установлено, что при волновом воздействии возможно применение 2-4 %-ного щелочного раствора. Для промышленной реализации процесса абсорбции разработана конструкция абсорбера, позволяющая проводить процесс в кавитационно-вихревом режиме. Абсорбер оснащен саморегулирующим устройством проходного сечения в зависимости от подачи сырья и обеспечивает высокий массообмен между газовой и жидкой фазами.

2. Предложен механизм окисления тиолов и сероводорода при волновом воздействии. Установлено, что инициирование процесса окисления сернистых соединений волновым воздействием происходит путем диссоциации молекул воды. Оптимизированы температурные режимы процесса окисления сернистых соединений, при температуре до 40-50 °С процесс идет с образованием элементарной серы, при температуре 90° С и выше процесс идет с максимальным образованием дисульфидов.

3. Разработана конструкция гидродинамического аппарата с коаксиальным расположением ротора и статора, позволяющая достичь зазора между ними менее 0,1мм.

4. На основе разработанных конструкций предложена усовершенствованная технологическая схема процесса абсорбционной очистки углеводородных газов от сернистых соединений с двухстадийным блоком регенерации отработанных водно-щелочных стоков.

Список публикаций по теме диссертации

1. Хафизов Н.Ф. Кавитационно-вихревой абсорбер для очистки газов //Проблемы прогнозирования, предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: III Всерос. науч.-практ. конф -Уфа, 2002.

2. Кузеев И.Р., Хафизов Н.Ф., Хафизов Ф.Ш. Применение вихревых аппаратов в процессах очистки газа от сероводорода //Проблемы прогнозирования,

предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: III Всерос. науч.-практ. конф -Уфа, 2002.

3. Хафизов Ф.Ш., Хафизов Н.Ф., Ванчухин Н.Н., Процессы нефтепереработки в кавитационно-вихревых аппаратах. – Уфа: издательство УГНТУ, 1999.- 160с.

4. Климин О.Н., Мухарямов И.Ф., Хафизов Ф.Ш., Хафизов Н.Ф. Гидродинамический аппарат смешения // Наука и технология углеводородных дисперсных систем: II Международный симпозиум: Уфа: издательство УГНТУ, 2000.

5. Хафизов Ф.Ш., Шаяхметов Ф.Г., Непочатых В.А., Хафизов Н.Ф. Исследование волновых характеристик гидроакустического аппарата // Проблемы совершенствования дополнительного профессионального и социогуманитарного образования специалистов топливно- энергетического комплекса: Матер. межотрасл. науч.-практ. Конференции. - Уфа, 2001.

6. Хафизов Ф.Ш., Шаяхметов Ф.Г., Непочатых В.А., Хафизов Н.Ф. Исследование напорно–расходных характеристик гидроакустических аппаратов // Проблемы совершенствования дополнительного профессионального и социогуманитарного образования специалистов топливно- энергетического комплекса: Материалы межотраслевой научно-практической конференции. -Уфа, 2001.

7. Пат. № 2143314. Газожидкостной реактор / Ф.Ш.Хафизов, И.П. Юминов, В.И Кузьмин., В Баженов, М.А. Аликин, Н.Ф Хафизов, опубл. 27.12.1999г; Бюл № 35.

8. Пат. № 2171705 Способ очистки газа и устройства для его осуществления / Ф.Ш. Хафизов, Н.Ф Хафизов., А.Ш. Хайбдрахманов, А.В. Белоусов, М.А Аликин, опудл. 10.08.2001г Бюл № 22.

9. Пат № 2176929 Газожидкостной реактор / Ф.Ш. Хафизов, Н.Ф. Хафизов, В.С. Андреев, В.А. Зязин, Ю.Г. Морошкин, И.Ф. Хафизов опудл. 20.12.2001г., 35 № .

10. Пат. № 2185898 Устройство для физико-химической обработки жидких сред опубликовано/ Ф.Г. Шаяхметов, С.Б Глазистов., Ф.Ш Хафизов, Н.Ф Хафизов. – Бюл № 21 от 27.07.2002г.