

На правах рукописи

Купавых Андрей Борисович

**Совершенствование вихревых сепараторов для промышленной
подготовки нефтяных газов**

Специальность 05.02.13 – «Машины, агрегаты и процессы»
(нефтегазовая отрасль)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Уфа 2004

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Как и в других отраслях промышленности, интенсификация производств нефтегазовой отрасли характеризуется увеличением выпуска конечного продукта, которая достигается как за счет роста скоростей химических реакций, температуры и давления (параметров технологического процесса), так и за счет разработки и применения принципиально новых аппаратов, технологий и воздействий на ход технологических процессов. Поэтому современные технологические процессы должны быть непрерывными и протекать с большими скоростями при условии обеспечения эффективности и комплексного использования сырья и энергии. Актуальным с точки зрения исключения возможности загрязнения окружающей среды является необходимость повышения эффективности процессов за счет уменьшения рабочего времени на получение единицы продукции и снижения материальных и энергетических затрат при улучшении качества продукции.

Широкие возможности для интенсификации ряда существующих процессов создает применение аппаратов, работающих на принципах кавитационно-вихревых эффектов.

Поэтому расширение области применения и повышения эффективности вихревых устройств является одним из острых проблем внедрения энерго- и ресурсосберегающих технологий и защиты окружающей среды от вредных промышленных газовых выбросов.

Целью диссертационной работы является разработка новых аппаратов, работающих на принципах кавитационно-вихревых эффектов, позволяющих осуществить осушку и очистку газов от сероводорода.

Основные задачи исследования:

1. Экспериментальное обоснование закономерностей течения и взаимодействия расширяющихся закрученных газожидкостных потоков в коническом вихревом устройстве.

2. Совершенствование и создание конструкций вихревых устройств, основанных на кавитационно-вихревых эффектах

3. Произвести модельное, опытно-промышленное апробирование вихревых устройств на многокомпонентной газовой смеси.

Научная новизна

1. Получены эмпирические зависимости степени дегазации, позволяющие рассчитать и оптимизировать конструктивные параметры вихревых закручивающих устройств для заданной производительности.

2. Предложены принципы модернизации существующих вихревых устройств и создания вихревых аппаратов для крупнотоннажных производств, обеспечивающих устойчивое вихревое закрученное течение внутри аппарата, а также селективное выделение газа из жидкости и жидкости из газа.

Практическая ценность

Предложен метод расчета селективного выделения газа из жидкой фазы, а также жидкой фазы из газа в закрученном потоке вихревых устройств. Сконструировано вихревое устройство, которое внедрено на установке очистки газов от сероводорода ОАО «Татнефтегаз» для регенерации отработанного моноэтаноламина.

Апробация работы

Основные положения работы докладывались и обсуждались:

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

- XVIII творческой конференции, III научно-технической выставке молодых ученых и специалистов (Уфа, 1999).

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано шесть печатных работ, в том числе три патента на изобретение.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и приложений. Работа изложена на 123 страницах машинописного текста, 23 рисунка, 9 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования.

В первой главе проведен литературный анализ использования вихревых эффектов в процессах разделения и очистки газовых смесей. Рассмотрены теоретические основы и обобщены условия возникновения вихревых эффектов. Проанализирован опыт применения вихревых аппаратов в процессах разделения и очистки газовых смесей.

Вихревые аппараты позволяют проводить технологические процессы с высокой эффективностью при незначительных затратах энергии. При вихревом течении возникают кавитации, генерируемые вихревыми колебаниями (пульсациями) потока, что способствует развитию поверхности контакта фаз. Однако до последнего времени эти аппараты не находили широкого применения для разделения газожидкостных сред. Автором проведен анализ существующих теоретических объяснений эффектов, при которых вихревые аппараты дают возможность проводить разделение систем: газ-жидкость, жидкость-жидкость.

Анализ литературного материала показал целесообразность проведения настоящей работы на основе комплексных исследований, направленных на разработку новых аппаратов с использованием кавитационно-вихревых эффектов.

Во второй главе посвящена исследованию влияния вихревых эффектов на процесс удаления газового конденсата из газа. Приводятся параметры вихревого аппарата и результаты расчета. Приведены результаты опытно-

промышленных исследований, разработаны конструкции вихревого аппарата.

Для выяснения особенностей течения потоков в вихревом аппарате были проведены эксперименты, позволяющие изучить параметры течения и определить зависимость течения потока от формы камеры. С целью выяснения факторов, влияющих на форму каверны, было произведено измерение давления на оси вихревой камеры в каверне и за ней в жидкости. В большинстве опытов было обнаружено избыточное давление, которое практически не зависит от точки измерения внутри каверны и за ней. Давление определялось дифференциальным манометром по отношению к давлению на выходе из вихревого аппарата. Избыточное давление составляло несколько сантиметров водяного столба и медленно увеличивалось с ростом давления на выходе. Давление на выходе изменялось от 1,0 до 4,5 атм. В некоторых случаях наблюдалось возникновение отрицательных давлений внутри каверны, в случае схлопывания каверны. Влияние геометрии камеры на устойчивость каверны было изучено в сравнении работы двух подобных по размерам вихревых аппаратов, отличающихся соотношением входного диаметра и длины камеры. Для сравнения были выбраны две камеры с соотношением диаметров к длине 15 x 80 мм. (рис.1,а) и 15 x 60 мм (рис.1,в). В первом случае интенсивное вихреобразование приводило к хаотическому движению каверны и даже в некоторых случаях к ее срыву. Во втором случае наблюдалась высокая устойчивость каверны, приобретшей форму цилиндрического столба. Движение каверны в первом случае удавалось подавить введением через выходное отверстие камеры твердого цилиндра на глубину 25 – 30 мм (рис.1,б), где диаметр цилиндра был на 30% меньше выходного отверстия.

Полученные эмпирические зависимости степени дегазации позволяют рассчитывать и оптимизировать конструктивные параметры вихревых закручивающих устройств (ВЗУ) для заданной производительности, оценивать

степень выделения примесей малорастворимых газов из абсорбента и определять требуемые температуры.

Полученные экспериментальные зависимости создают основу расчета ВЗУ заданной производительности для дегазации газонасыщенных растворов в различных процессах абсорбции с последующей регенерацией абсорбента: ректификации, экстракции, деаэрации и др.

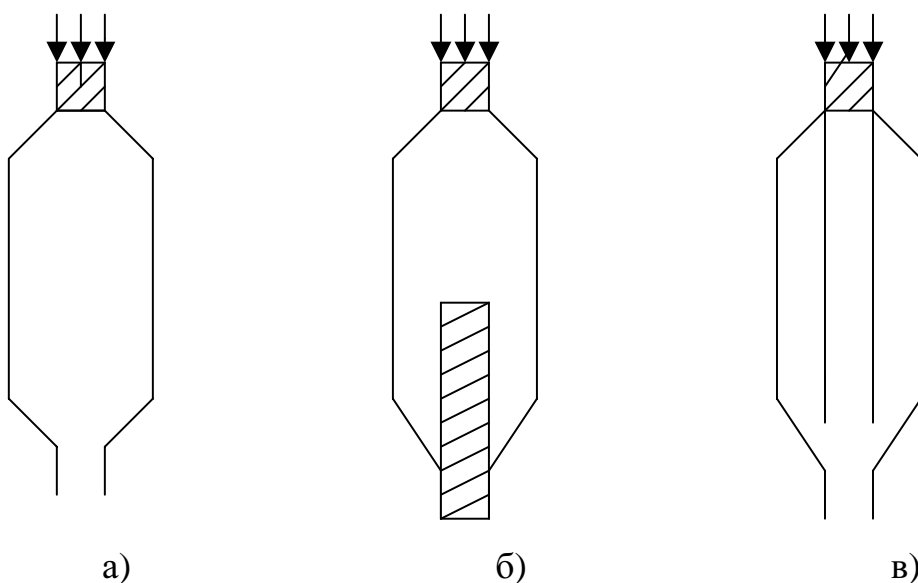


Рис.1. Схема течения жидкости в вихревом аппарате

1–газовая каверна; 2–энергоразделитель; 3 – корпус камеры

Основными геометрическими параметрами ВЗУ, влияющими на процесс дегазации, являются: угол ввода и вывода жидкостного потока, величина относительной площади винтовых нарезок, их конфигурация и количество каналов на единицу длины. На рис.2 приведена схема предварительного закручивающего устройства.

Экспериментально были определены размеры предварительного винтового закручивающего устройства, которые приведены в таблице 1

Видно, что с увеличением диаметра ВЗУ уменьшается отношение оптимальных значений хода винтового канала к его глубине.

На рис. 3 приведены графики расхода газожидкостного потока в зависимости от входного давления при различных значениях углов расположения предварительно завихряющих каналов.

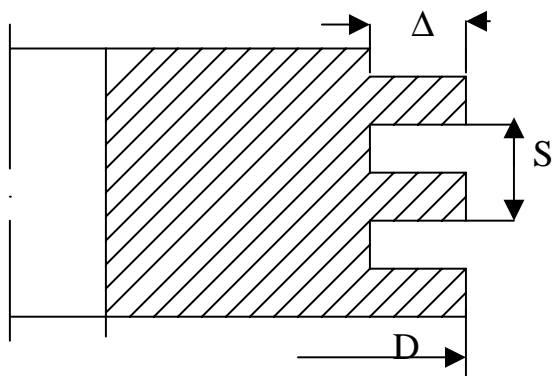


Рис.2. Схема камеры предварительной закрутки

Таблица 1

Геометрические размеры ВЗУ

D, мм	200	150	120	80
S, мм	10	10	8	6
Δ , мм	25	7	5	3
S/ Δ	0,4	1,42	1,6	2,0

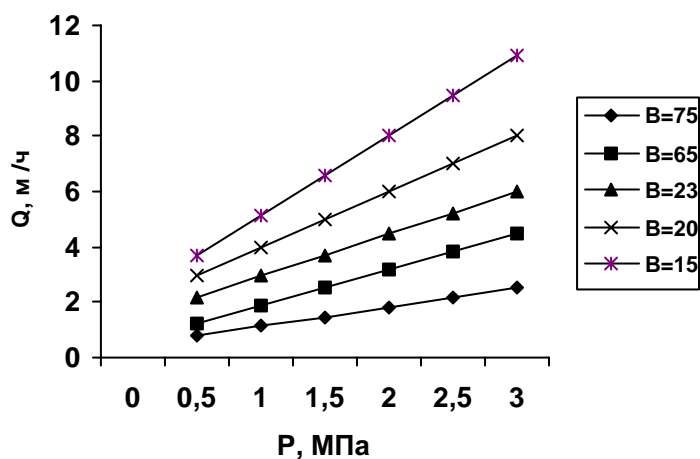


Рис. 3. Зависимость изменения производительности от давления

Было установлено, что угол раскрытия диффузора варьируется в пределах от 22 до 56 угловых градусов.

В настоящее время добываемый газ в своем составе содержит от 1,6 до 5 г/м³ стабильного конденсата, от 100 до 500 г парообразной влаги на 1000 м³ газа и до 1.65 г на 100 м³ сероводорода. Эти показатели не соответствуют требованиям ОСТ 51 40-74 «Газы горючие природные, подаваемые в магистральный газопровод»:

- температура точки россы -10°C ÷ -20°C;
- механические примеси не более 3 г на 100 м³ газа;
- содержание сероводорода не более 2 г на 100 м³ газа.

Следовательно, для приведения качественных показателей добываемого газа в соответствии с требованиями НТД необходимо произвести осушку его от влаги, извлечь конденсат и понизить температуру точки росы до требуемого уровня.

Внедрение технологий низкотемпературной подготовки газа в системе сбора газовых месторождений обеспечило рациональное использование энергии газового пласта. Позволило снизить опасность разгерметизации промысловых газопроводов и достичь более глубокого извлечения жидкого конденсата без использования специальных технологий и реагентов. Однако предложенный способ подготовки газа требует больших капитальных затрат и высокие энергетические затраты при эксплуатации. Для повышения эффективности разделения конденсата от газа нами предлагается использовать вихревое устройство, приведенное на рис.4.

ВЗУ для очистки газов от газового конденсата содержит кожух 1, в котором концентрично с образованием межтрубного кольцевого пространства 2 установлена вихревая труба 3 с камерой горячего потока 4 и энергоделителем, выполненным в виде входных тангенциальных сопел 5 в стенке вихревой трубы 3, со стороны входного торца трубы 3, и диафрагменного диска 6, перекрывающего выходной торец кожуха 1 и входной торец вихревой трубы 3. Диск 6 энергоделителя выполнен со сквозным осевым каналом 7, связывающим камеру 4 горячего потока с камерой 8 холодного потока.

Для отвода конденсата в диске 6 выполнены профилированные радиальные каналы 9, связывающие межтрубное пространство 2 с емкостью 10 для сбора конденсата.

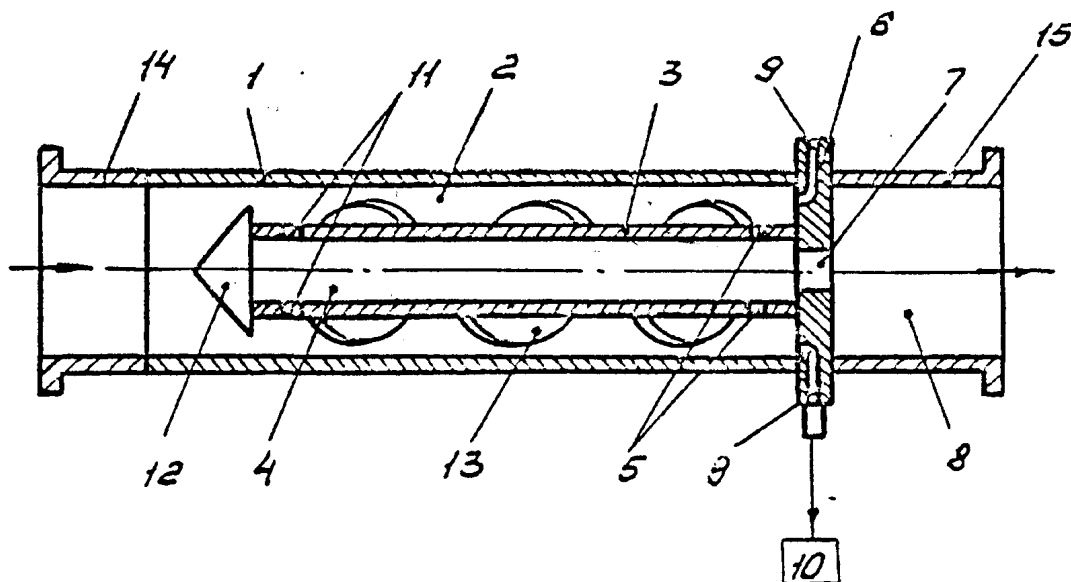


Рис. 4. Вихревое устройство для разделения газового конденсата

На другом конце вихревой трубы 3 в ее стенке проведены выходные тангенциальные сопла 11, связывающие камеру 4 горячего потока с межтрубным кольцевым пространством 2, а выходной торец вихревой трубы 3 перекрыт эжектором 12; по наружной поверхности вихревой трубы 3 выполнено ребрение 13. Очищаемый газ поступает в устройство через патрубок 14 ввода, а через патрубок 15 отводится очищенный газ.

Эффективность в предлагаемом вихревом аппарате достигается тем, что в качестве абсорбента используется собственный газовый конденсат. Перед разделением абсорбента на два потока его предварительно завихряют, а последующее завихрение одного из потоков абсорбента производят в вихревой трубе с одновременной конденсацией абсорбента в ней, при этом в вихревой трубе поддерживают пресыщение, степень которого M определяется из выражения

$$M = (P_1 - P_2) K C \left(\tau / 2\pi R T \right)^{\frac{1}{2}},$$

где P_1 и P_2 - давление входящего потока и отводящего потока газа;

K - экспериментальный коэффициент;

C - площадь отверстий выхода абсорбента;

τ - молярный объем абсорбента в поле контакта с газом;

R - универсальная газовая постоянная;

T - абсолютная температура газа на периферии в вихревой трубе;

После дросселирования газожидкостной смеси абсорбент подают на абсорбцию.

Благодаря тому, что в качестве абсорбента используется собственный газовый конденсат, появляется возможность обеспечения очистки газа без введения дополнительного химического абсорбента и процесса его регенерации, что существенно снижает затраты на осуществление процесса очистки.

Получение собственного газового конденсата осуществляется тем, что поток газа завихряется в вихревой трубе, где поддерживается пресыщение M , величина которого определяется по формуле, приведенной выше. В результате вихревого эффекта периферийный теплый поток передает свое тепло холодному входящему очищаемому газу, конденсируется и непрерывно выводится на абсорбцию в парообразном состоянии. Такое формирование абсорбента в виде собственного газового конденсата значительно упрощает технологический процесс очистки и уменьшает цикл подготовки газа.

Выполнение на наружной поверхности вихревой трубы ребрения позволяет осуществить предварительное завихрение газового потока и абсорбента и обеспечить разделение абсорбента на два потока, один из которых отводится в виде конденсата, а другой подается через входные тангенциальные сопла в вихревую трубу, где его вновь завихряют для интенсификации процесса осушки.

Процесс образования абсорбента в виде собственного газового конденсата и абсорбционная очистка газа идут непрерывно замкнутым циклом

по мере поступления в устройство газа для очистки с постоянным отводом очищенного газа и конденсата.

Разработанный аппарат успешно испытан и внедрен на Кокуйском месторождении на площадке подготовки газа. Результаты испытаний показали, что очищаемый газ с газожидкостным конденсатом и влагой имеет следующий состав, об. %: метан - 63,4; этан - 9,4; пропан - 3,1; изобутан - 0,6; н-бутан - 0,5; изопентан - 0,2; н-пентан - 0,1; кислород - 2,6; азот - 20,1; содержание сероводорода, вес. %, отсутствует; газа в количестве 27500 нм³/ч при $T = 0^{\circ}\text{C}$ под давлением 1,95 МПа поступает на эжектор 12. При сбросе давления вследствие дросселирования на 0,35 МПа поток газа завихряется и делится на два потока. Отсепарированный газовый конденсат, как более тяжелый, выводится с периферийной зоны потребителю. А второй поток газа вновь завихряют в вихревой трубе 3, в которой поддерживают пересыщение, степень которого $M = 1,72$.

Один из потоков газа, возникших вследствие вихревого эффекта в вихревой трубе 3 (рис. 4), делится на две зоны: теплую - периферийную и холодную - осевую. Холодный осушенный поток до $T_{\text{росы}} = -20^{\circ}\text{C}$ имеет следующий состав, об. %: метан - 64,6; этан - 9,5; пропан - 3,1; изобутан - 0,5; н-бутан - 0,1; кислород - 2,2; азот - 20; содержание влаги по Фишеру (2) - 0,061 г/м³, содержание сероводорода, вес. %, отсутствует. Его в количестве 26675 нм³/ч при температуре 0°C и под давлением 1,6 МПа вывели потребителю.

Газовый конденсат практически состоял только из светлых нефтяных фракций и в стабильном состоянии отвечал требованиям отраслевого стандарта ОСТ 51.65-80. Его фракционный состав по Энглеру, $^{\circ}\text{C}$: НК-28; 5% 55; 10% 60; 20% 70; 30% 79; 40% 87; 50% 95; 60% 102; 70% 112; 80% 124; 90% 150; 95% 180; К.К. 190

Газовый конденсат с отношением выход/остаток 96/2,5 в количестве 3,3 т/сутки с давлением 1,6 МПа при температуре 0°С направляется потребителю как сырье для производства моторных топлив.

Из результатов промышленных исследований следует:

- использование в качестве абсорбента собственного конденсата позволяет исключить использование большого количества химического реагента;

- предельные и запредельные перепады давлений показывают высокую эффективность контакта очищаемого газа с абсорбентом в виде собственного газового конденсата, полученную благодаря предложенной степени прессыщения;

- обеспечивается высокая степень очистки газа от газового конденсата;

- допустимые расходы потоков газа позволяют получить дополнительное количество конденсата и вывести его потребителю;

- появляется возможность очистить газ ниже температуры росы при исключении процесса замерзания конденсата, при этом дросселирование не приводит к выходу из строя оборудования.

В третьей главе приводятся результаты по осушке газа от влаги и предотвращение гидратообразования.

Известно, что гидраты газов представляют собой твердые соединения (клатраты), в которых молекулы газа при определенных давлениях и температурах заполняют структурные пустоты кристаллической решетки, образованной молекулами воды с помощью прочной водородной связи.

Молекулы воды при образовании гидрата и сооружении полостей как бы раздвигаются молекулами газа, заключенными в эти полости. Удельный объем воды в гидратном состоянии возрастает до 1,26 - 1,32 см³/г (удельный объем воды в состоянии льда - 1,09 см³/г). Соотношение воды и газа зависит от размера молекул газа - гидратообразователя. Один объем воды в гидрат-

ном состоянии связывает в зависимости от характеристики исходного газа от 70 до 300 объемов газа.

Чем выше молекулярная масса индивидуального газа или смеси газов, тем ниже требуется давление для образования гидратов при одной и той же температуре. Экспериментально доказано, что в объеме воды при наличии центров кристаллизации активно образуются гидраты. Скорость накопления гидрата при этом определяется разницей содержания равновесного газа в воде до и после образования гидрата.

Поэтому, для прогнозирования места образования и интенсивности накопления гидратов в различных частях технологической системы транспорта газа необходимо знать влагосодержание газа и изменение его в различных термодинамических условиях.

График равновесных параметров гидратообразования построен на рис. 5.

Для предупреждения образования гидратов в потоке газов необходимо устранить хотя бы одно из основных условий существования гидратов: высокое давление, низкую температуру или влагу. В связи с этим основными методами борьбы с гидратами являются понижение давления, повышение температуры, осушка газов или ввод антигидратных ингибиторов.

Нами предлагается для предотвращения гидратообразования проводить удаление влаги (осушку) используя ВЗУ.

Для осушки газа с малым конденсатным фактором требуется удалить только часть влаги и снизить относительную влажность газа примерно на 60-70%. Иными словами, нужно понизить точку росы газа до такой величины, чтобы она была на 5-7 °С ниже рабочей температуры в газопроводе, что мы и имеем после дросселирования газа на скважинах и в газопроводе внешнего транспорта газа.

Предварительные расчеты аппаратов основывались на расчетах вихревых труб для газов и труб, работающих на двухфазных потоках, в которых

при увеличении концентрации жидкости от 0,1 до 1,5 % резко снижалась разность температур охлаждения t_x и температур нагревания T_g , поскольку для ВЗУ, работающих на двухфазных потоках с более высоким содержанием жидкости, данные отсутствуют. Расчет вихревого аппарата проводился по методике, представленной в третьей главе.

Аппарат был смонтирован в технологическую схему по осушке газа, которая показана на рис.6.

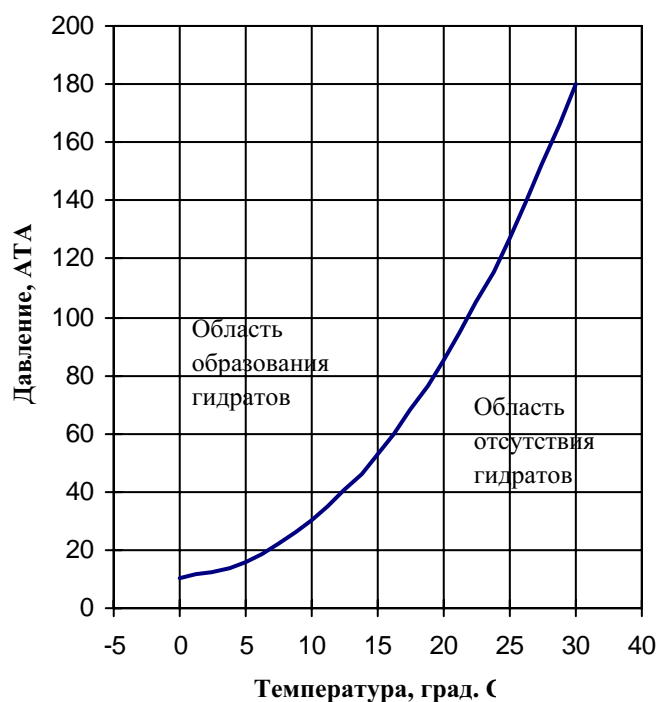


Рис. 5. График равновесных параметров гидратообразования

На рис. 6 приведена технологическая схема по осушки газа с использованием ВЗУ.

Полученные результаты в ходе промышленного пробега представлены ниже. Если перед вихревым аппаратом содержание влаги в газе по Фишеру составляло 5,05 % масс., то после осушки снизилось до 0,061 % масс., температура росы газа достигла -20 С.

В четвертой главе рассматривается вопрос десорбции в вихревых аппаратах при регенерации моноэтаноламина (МЭА) от сероводорода для установок абсорбционной очистки газа. Приводятся результаты исследования вихревых эффектов и методика расчета вихревых аппаратов.

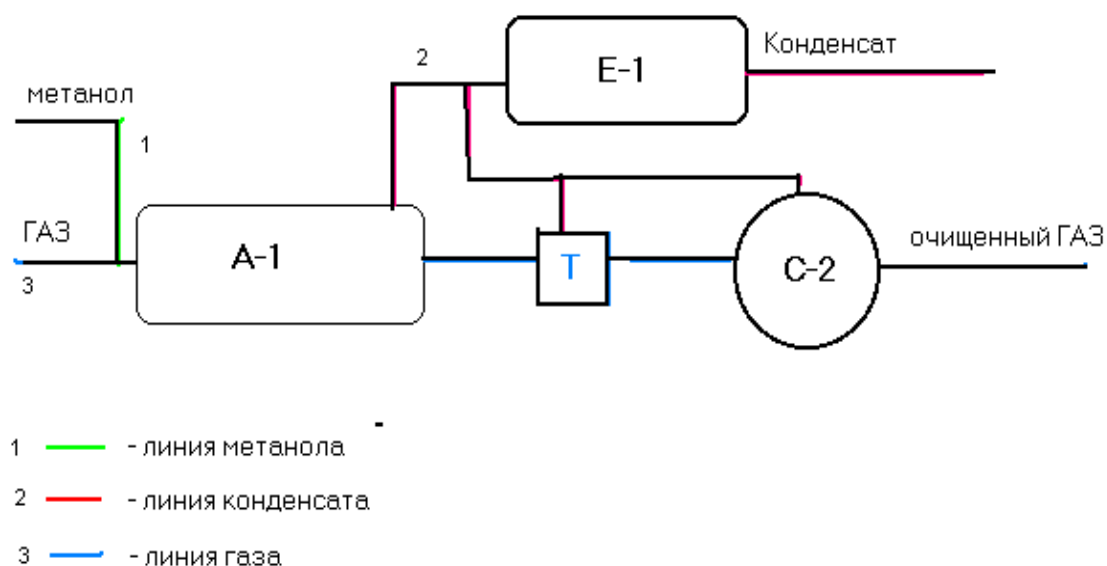


Рис. 6. Технологическая схема сбора и осушки газа:

A-1 – абсорбер; Т – ВЗУ; С-2 – сепаратор; Е-1 – емкость для сбора конденсата

По характеру трансформации тепла установку абсорбционной очистки газа от сероводорода можно отнести к группе расщепительной трансформации, где абсорбция и десорбция газа абсорбентом производится при нагреве и охлаждении, сжатии и сбросе давления.

При расщепительной трансформации к установке подводится поток тепла Q_c среднего потенциала с температурой T_c , который в установке делится (расщепляется) на два потока - низкого T_H и повышенного T_B потенциала.

Здесь в отличие от системы прямого потребления тепла необходимо осуществление двух циклов. Первый является прямым и служит для получения работы L при использовании тепла среднего потенциала Q_c , подводимого на уровне $T_c > T_{0.c}$.

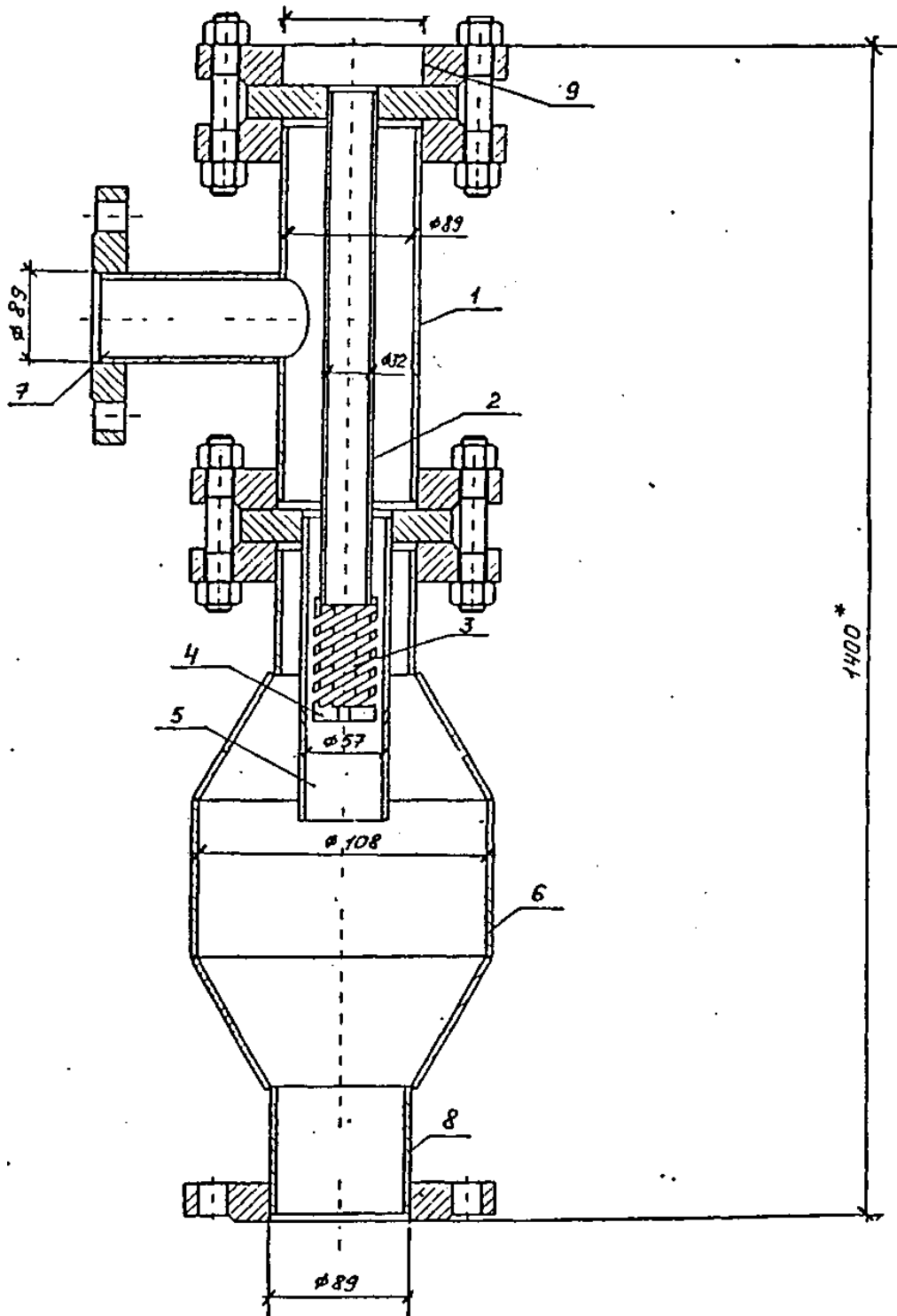


Рис.7. Вихревой аппарат для регенерации МЭА

1-корпус; 2-холодная часть вихревой трубы; 3-энергоразделитель;
 4-диафрагма; 5-инжекторная часть вихревой трубы; 6-вихревая камера;
 7-входной патрубок; 8-выходной патрубок; 9-патрубок выхода кислых газов

Работа L в данном случае используется для осуществления обратного цикла, служащего для отвода тепла со среднего уровня T_C на верхний T_B . Аналогичный результат может быть получен не только с помощью осуществления циклов, но и посредством использования разомкнутого процесса (и даже вообще без изменения состояния рабочего тела - при использовании электромагнитных явлений в развитой гидродинамической кавитации на струйных установках вихревого типа).

Примером использования системы второго вида может служить установка, принципиальная схема которой показана на рис.8. К установке подводится поток газа G_C при давлении P_C и температуре T_C , который орошается абсорбентом и разделяется на две части. Одна часть потока газа растворяется в абсорбенте, другая, очищенная, выводится с установки. Насыщенный абсорбент со значением расхода G_X поступает в промежуточный теплообменник, нагревается и разделяется на два газожидкостных потока. Один из потоков с расходом $G_{X1} + H_2S$ поступает в струйную вихревую установку и расширяется в ней при изменении давления с P_C до P_H . При этом в процессе расширения газожидкостного потока идет дегазация газа, вследствие чего и температура газа понижается с T_C до $T_H \leq T_{O.C.}$. Затем очищенный газ выводится к потребителю, а регенерированный абсорбент возвращается на абсорбцию с расходом $G_{X1} - \frac{H_2S}{2}$. Другая часть абсорбента с расходом $G_{X2} + H_2S$ поступает в десорбер и расширяется в нем при изменении давления с P_C до P_H . В процессе расширения и нагрева идет полная дегазация абсорбента, при этом температура абсорбента повышается с T_C до T_B , и регенерированный абсорбент возвращается на абсорбцию через теплообменник с расходом $G_{X2} - H_2S$, где отдает свое тепло насыщенному раствору и охлаждается от температуры T_B до T_H .

Таким образом, в рассматриваемой установке в результате использования энергии давления подведенного потока газа при $T_C > T_{O.C.}$ происходит разделение потока абсорбента на две части: $G_{X1} + H_2S$ с низкой температурой

регенерации T_H и поток $G_{X_2} + H_2S$ с повышенной температурой регенерации T_B . Первый из них может быть использован для абсорбции как грубо регенерированный абсорбент, второй - как тонко регенерированный.

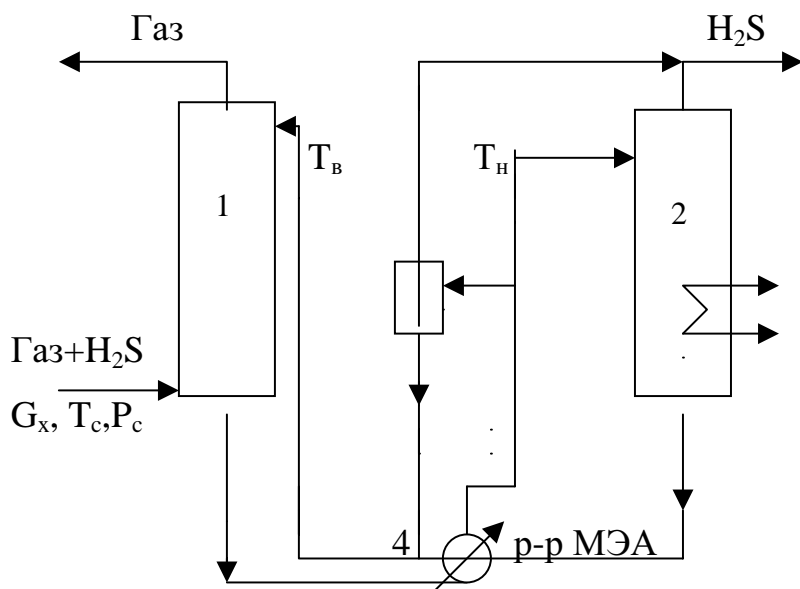


Рис.8. Схема абсорбционной очистки газа:

1-абсорбер; 2-десорбер; 3-вихревой аппарат; 4-теплообменник

По характеру протекания процесса во времени установка относится к группе непрерывного действия, и характеристика работы меняется только в пределах, определяемых регулированием, что экономически часто может быть более выгодным из-за меньших габаритов и меньшего числа элементов оборудования благодаря возможности совмещения разных функций в одном аппарате.

Постепенное расширение области использования струйных установок вихревого типа (вихревая труба на втором потоке абсорбента с расходом $G_{X_2} + H_2S$), отличающихся исключительной простотой конструкции, обусловлено их преимуществом, проявляющимся там, где имеется источник сжатого газа, что исключает необходимость использования специального компрессора.

На основании вышеприведенных результатов исследований был разработан и сконструирован кавитационно-вихревой аппарат (рис.7) для процес-

са десорбции сероводорода из раствора МЭА, который внедрен на установке по очистке газа от сероводорода. Результаты, полученные в ходе промышленных испытаний, приведены в табл. 2.

Вихревой аппарат для регенерации раствора МЭА показал хорошую степень дегазации кислых газов (до 45%) . Экономия тепловой энергии, при этом затрачиваемая на регенерацию МЭА при эксплуатации ВЗУ, снизилась на 30%. При внедрении трех и более ступеней регенерации МЭА предложенными вихревыми аппаратами возможно исключение из технологической схемы колонны - десорбера.

Таблица 2.

Результаты промышленных испытаний

Номер образца	Содержание сероводорода в растворе МЭА, г/л			Температура раствора МЭА перед ВЗУ, °С	Расход раствора МЭА, м /ч
	на входе в ВЗУ (после К-1)	на выходе ВЗУ	на выходе из К-2		
1	22,5	15,3	12,7	90	10
2	32,1	18,7	16,2	80	8
3	28,1	16,0	14,3	85	8
4	25,9	14,2	12,1	90	8
5	26,3	15,0	11,5	90	8
6	28,5	17,0	12,0	80	8
7	27,7	15,5	10,0	90	10
8	27,5	15,4	10,5	93	10

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Анализ литературы и патентных материалов указывает, что наметилась тенденция предпочтительного использования энергии потока в кавитационных вихревых аппаратах.

2. Проведенное экспериментальное и визуальное изучение работы вихревого аппарата позволило установить следующие основные физические принципы действия аппарата:

во – первых, дегазирующие действия резкого падения давления жидкости в закручивающем устройстве;

во-вторых, сепарирующие действия центробежных сил при разделении газа и жидкости;

в-третьих, влияние на устойчивость работы аппарата характера течения жидкости, определяемого, в свою очередь, формой и размерами аппарата.

3. Разработана методика расчета вихревого аппарата, позволяющая рассчитать и сконструировать рабочие узлы аппарата.

4. Разработаны новые конструкции вихревых устройств, позволяющие устранить несовершенства других устройств, а именно:

- обеспечить устойчивое вихревое закрученное течение внутри аппарата;
- обеспечить селективное выделение газа из жидкости и жидкости из газа.

5. Определены области гидратообразования.

6. Разработанный кавитационно-вихревой аппарат для выделения газового конденсата и влаги из газа позволяет достичь содержания влаги по Фишеру $0,061 \text{ г/м}^3$, что предотвращает образование гидратов.

7. Внедрение вихревого аппарата в процесс десорбции позволяет проводить процесс регенерации МЭА без использования аппаратов колонного типа.

Основное содержание работы изложено в следующих работах:

1. Купавых А.Б. Технология осушки газа с применением вихревых аппаратов. // В сб.: XVIII творческая конференция, III научно-техническая выставка молодых ученых и специалистов – Уфа: АНК «Башнефть» 1999. С. 19.

2. Патент РФ № 2139751 Способ очистки газов от газового конденсата и устройство для его осуществления/ А.И. Малышев, А.Б. Купавых и др. – Оpubл. в Б.И.- 1999. № 29.

4. Патент РФ № 2094113 Способ очистки газов от газового конденсата и устройство для его осуществления / А.И. Малышев, А.Б. Купавых и др. – Оpubл. В Б.И.- 1999.- № 30.

4. Купавых А.Б., Хафизов Ф.Ш., Климин О.Н., Хафизов Н.Ф. Гидродинамический аппарат смешения //В сб.: II Международный симпозиум «Наука и технология углеводородных дисперсных систем».- Уфа: УГНТУ 2000. С. 36.

5. Патент РФ № 2179880 Способ очистки газов от газового конденсата и устройство для его осуществления / А.И. Малышев, А.Б. Купавых и др. – Оpubл. В Б.И.- 2002.- № 6.

6. Купавых А.Б. ,Малышев А.И.,Юшков И.А.и др.Способ очистки газа от газового конденсата и устройство для его осуществления / Сборник научно-технических разработок - Пермь, ГТУ, 2003.№4.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

- эффект Ранка
- кипение
- кавитация
- дегазация
- десорбция
- абсорбция
- сепарация
- низкотемпературная сепарация
- конденсация
- испарение
- энергоразделитель
- вихревой эффект