

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПРЯМОТОЧНОГО АБСОРБЕРА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА

Хафизов И.Ф., Абдуллин Н.А.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет,
кафедра "Пожарная и промышленная безопасность"
pkpb@mail.ru*

Исследовано движение газожидкостной эмульсии в смесительном устройстве прототипа горизонтального прямоточного абсорбера. Изучено влияние расстояний между смесительными перегородками на двухфазную систему, исследованы гидродинамические характеристики аппарата. Особое внимание уделено моделированию движения жидкости в расчетной области, получению распределений скорости и концентраций жидкости. В результате проведенных экспериментов установлена зависимость изменения диаметра газового потока от расхода жидкости и расстояния между перегородками. Выявлены оптимальные технологические параметры, при которых достигается наиболее эффективный режим аппарата.

Ключевые слова: смесительные перегородки, газожидкостная эмульсия, горизонтальный прямоточный абсорбер, абсорбционная очистка, расход, нефтеотдача, попутный газ, диаметр пузырьков, сероводород

В последнее время, проблемы, связанные с экологией приобрели чрезвычайно острый характер. Одни из самых актуальных – проблемы, связанные с вредными выбросами в атмосферу продуктов нефтехимической промышленности. Очистные системы большинства промышленных предприятий уже не соответствуют международным стандартам по допустимым промышленным выбросам.

Попутный нефтяной газ, поступающий с каждой добытой тонной нефти в объемах от 10 до 1000 м³, во все времена и для всех нефтяных компаний был и остается большой помехой. Наиболее простым способом избавления от него стало сжигание в факелах. Однако экологические проблемы, возникающие от многочисленных горящих факелов, заставляют нефтедобывающие компании и страны принимать самые эффективные меры по его утилизации без больших затрат.

Основными применяемыми и разрабатываемыми технологиями очистки природного газа от сероводорода в настоящее время являются:

— хемосорбционные процессы, основанные на химическом взаимодействии H₂S и CO₂ с активной частью абсорбента;

- процессы физической абсорбции, в которых извлечение кислых компонентов происходит за счет их растворимости в органических поглотителях;
- комбинированные процессы, использующие одновременно химические и физические поглотители;
- окислительные процессы, основанные на необратимом превращении поглощенного сероводорода в серу;
- адсорбционные процессы, основанные на извлечении компонентов газа твердыми поглотителями – адсорбентами.

Выбор процесса очистки природного газа от сернистых соединений зависит от многих факторов, основными из которых являются: состав и параметры сырьевого газа, требуемая степень очистки и область использования товарного газа, наличие и параметры энергоресурсов, отходы производства и др.

Анализ мировой практики, накопленной в области очистки природных газов, показывает, что основными процессами для обработки больших потоков газа являются абсорбционные с использованием химических и физических абсорбентов и их комбинации [5].

Окислительные и адсорбционные процессы применяют, как правило, для очистки небольших потоков газа, либо для тонкой очистки газа.

Для сравнения в табл. 1 приведен перечень основных процессов, применяемых для очистки различных газов за рубежом, и число действующих установок.

Хемосорбционная очистка газа

Основным преимуществом хемосорбционных процессов является высокая и надежная степень очистки газа от кислых компонентов при низкой абсорбции углеводородных компонентов сырьевого газа.

В качестве хемосорбентов применяют едкий натрий и калий, карбонаты щелочных металлов и наиболее широко – алканоламины.

Очистка газа растворами алканоламинов

Аминовые процессы применяют в промышленности, начиная с 1930-го года, когда впервые была разработана и запатентована в США схема аминовой установки с фенилгидразином в качестве абсорбента.

Процесс был усовершенствован применением в качестве поглотителя водных растворов алканоламинов. Алканоламины, являясь слабыми основаниями, вступают в реакцию с кислыми газами H_2S и CO_2 , за счет чего происходит очистка газа. Образующиеся соли при нагревании насыщенного раствора легко разлагаются.

Наиболее известными этаноламинами, используемыми в процессах очистки газа от H_2S и CO_2 являются: моноэтаноламин (МЭА), диэтаноламин (ДЭА), триэтаноламин (ТЭА), дигликольамин (ДГА), диизопропаноламин (ДИПА), метилдиэтаноламин (МДЭА).

До настоящего времени в промышленности на установках по очистке кислых газов в качестве абсорбента, в основном, применяется моноэтаноламин (МЭА), а также диэтаноламин (ДЭА). Однако в последние годы наблюдается тенденция по замене МЭА на более эффективный абсорбент – метилдиэтаноламин (МДЭА).

Таблица 1

Процесс	Абсорбент	Число установок
1. Процессы с химическими абсорбентами		
Аминовые, в т.ч.:	алканоламин + вода	более 1000
Амин-гард	диэтаноламин (моноэтаноламин) + вода	375
Адип	диизопропаноламин (метилдиэтаноламин) + вода	370
Экономин	дигликольамин + вода	30
Бенфилд	карбонат калия + вода + добавки бенфилд	600
Катакарб	раствор поташа + ингибитор коррозии + катализатор	100
2. Процессы с физическими абсорбентами		
Ректизол	холодный метанол	70
Пуризол	N-метилпирролидон	5
Флюор	пропиленкарбонат	12
Селексол	диметиловый эфир полиэтиленгликоля	50
Сепасольв-МПЕ	диалкиловый эфир полиэтиленгликоля	4
3. Процессы с физико-химическими и смешанными абсорбентами		
Сульфинол	диизопропаноламин (метилдиэтаноламин) + вода + сульфолан	180
Оптизол	амин + физический растворитель + вода	6
Флексорб	пространственно затрудненный амин + (физический растворитель) + вода	30
Укарсол	вторичный или третичный амин + физический растворитель + вода	6

На рис. 1 показана основная однопоточная схема абсорбционной очистки газа растворами этаноламинов. Поступающий на очистку газ проходит восходящим потоком через абсорбер навстречу потоку раствора. Насыщенный кислыми газами раствор с низа абсорбера подогревается в теплообменнике регенерированным раствором из десорбера и подается на верх десорбера.

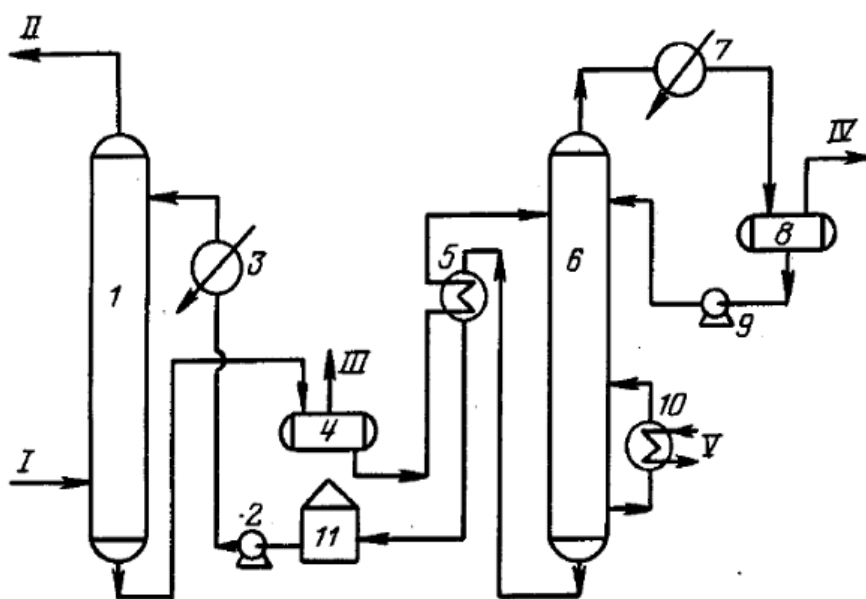


Рисунок 1

После частичного охлаждения в теплообменнике регенерированный раствор дополнительно охлаждается водой или воздухом и подается на верх абсорбера.

Кислый газ из десорбера охлаждается для конденсации водяных паров. Конденсат в виде флегмы непрерывно возвращается обратно в систему для поддержания заданной концентрации раствора амина.

Для улучшения технико-экономических показателей процесса за счёт, главным образом, сокращения эксплуатационных затрат служит модификация ДЭА-способа с использованием водного раствора смеси метилдиэтанолamina и ДЭА. Это позволяет в 1,5 - 2 раза снизить удельное орошение по сравнению с чистым раствором ДЭА.

Если не установлены жесткие требования по содержанию CO_2 , более целесообразно применять раствор МДЭА, имеющий ряд достоинств:

- возможность селективного извлечения H_2S в присутствии CO_2 , следовательно, увеличение доли H_2S в кислом газе;
- у МДЭА более высокая термическая стабильность и меньшая коррозионная активность раствора по сравнению с ДЭА;
- МДЭА обладает меньшей реакционной способностью по отношению к CO_2 и меньшей теплотой реакции с H_2S и CO_2 , что позволяет снизить количество теплоты на регенерацию абсорбента;
- не образует нерегенерируемых амидов (что является одной из причин вспенивания в абсорбере) при взаимодействии с карбоновыми кислотами, ингибиторами коррозии, следовательно, не происходит потери амина, не образуются твердые осадки на внутренних поверхностях теплообменников;
- МДЭА имеет низкое давление насыщенных паров, что уменьшает потери амина за счет летучести [3].

Применение щелочных способов очистки газа также целесообразно в промышленных условиях для очистки небольших количеств сырьевого газа и при небольшом содержании в газе H_2S .

Промышленный процесс щелочной очистки природного газа имеет следующие преимущества:

- тонкая очистка газа от основных серосодержащих соединений;
- высокая избирательность к сероводороду в присутствии диоксида углерода;
- высокая реакционная способность и химическая стойкость поглотителя;
- доступность и дешевизна поглотителя;
- низкие эксплуатационные затраты.

Применение щелочных способов очистки газа также целесообразно в промышленных условиях для очистки небольших количеств сырьевого газа и при небольшом содержании в газе H_2S .

С целью совершенствования существующих технологий в УГНТУ разрабатывается конструкция горизонтального абсорбера, предназначенного для очистки

попутного нефтяного газа от сероводорода, диоксида углерода и меркаптанов. Общий вид устройства показан на рис. 2.

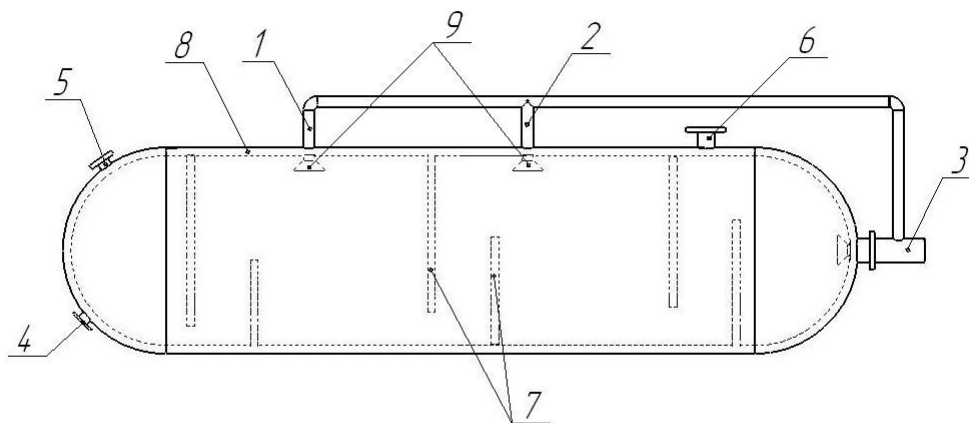


Рисунок 2. Общий вид устройства:

- 1, 2, 3 – патрубки ввода абсорбента; 4 – выход жидкости;
 5 – выход очищенного газа; 6 – вход очищаемого газа;
 7 – перегородки; 8 – корпус; 9 – распыливающие форсунки

Моделирование движения контактируемых сред производилось с использованием программного комплекса FlowVision, который предназначен для моделирования трехмерных течений жидкости и газа в технических и природных объектах, а также для визуализации этих течений методами компьютерной графики. Базовыми в программном комплексе являются уравнения Навье-Стокса. Для замыкания этих уравнений в зависимости от конкретной задачи могут использоваться дополнительные соотношения, описывающие изменения плотности, турбулентный перенос и т.п. Наборы этих соотношений в совокупности с уравнениями Навье-Стокса называются моделями. В расчетах использовали модель турбулентного течения вязкой жидкости с небольшими изменениями плотности при больших числах Рейнольдса, для определения концентрации решалось уравнение конвективно-диффузионного переноса.

Для численного решения базовых уравнений в FlowVision используется метод, основанный на консервативных схемах расчета нестационарных уравнений в частных производных, которые по сравнению с неконсервативными схемами дают решение, точно удовлетворяющие законам сохранения. Метод базируется на эйлеровом подходе к описанию движения жидкости, суть которого состоит в том, что различные скалярные и векторные величины рассматриваются как функции переменных Эйлера, времени и координат точки в неподвижной системе координат [2].

Визуализация движения контактируемых потоков в расчетной модели показана на рис. 3.

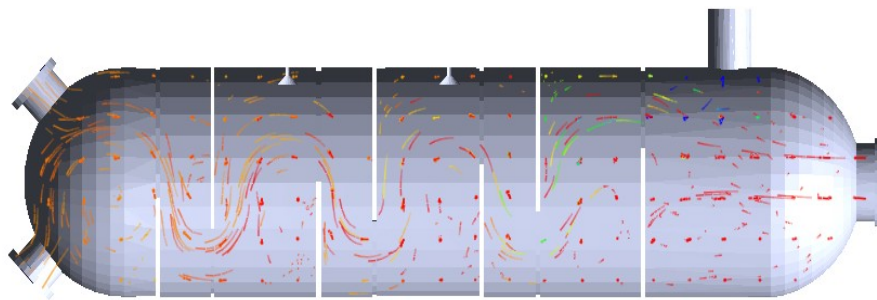


Рисунок 3. Движения контактируемых потоков

С целью проверки теоретических предпосылок и уточнения технологических параметров была собрана экспериментальная лабораторная установка и проведён ряд исследований. Общий вид аппарата показан на рис. 4.

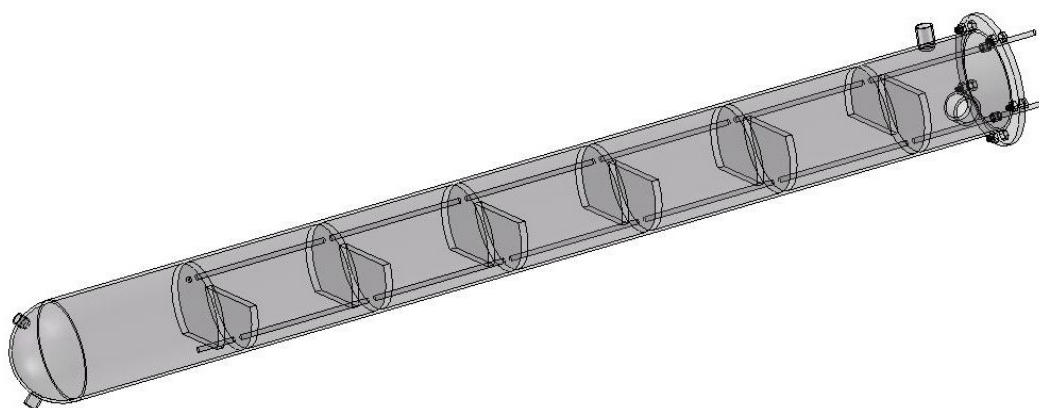


Рисунок 4. Экспериментальная модель

Процесс движения контактируемых сред в устройстве весьма сложный, поэтому целесообразно разделить внутреннее пространство аппарата на две секции: барботажную и распыливающую. В барботажной секции можно представить движение как истечение газовой струи из отверстия перегородки, такое истечение газа в жидкостях принято называть барботажем, характер которого зависит от давления и скорости газового потока на выходе из отверстия.

При малых подачах газа происходит пробулькивание через слой жидкости отдельных пузырьков, образующихся в непосредственной близости стенок перегородки.

По мере увеличения подачи газа пузырьки выбрасываются дальше в слой жидкости, которая, насыщаясь ими, как бы кипит, образуя слой пены.

При дальнейшем увеличении подачи газ сплошным потоком направляется в жидкость и отодвигает ее, создавая около нижней части стенки газовую оболочку, через которую газ вырывается на пузырьки, которые, всплывая и перемещаясь в слое, увлекают за собой жидкость и тем самым создают интенсивное перемешивание.

С целью выявления условий оптимального режима барботажа, была произведена серия опытов с различным значением расхода жидкости, и варьированием расстояния между перегородками, по которым пропускался воздух равного расхода.

В опытах с небольшими расстояниями между перегородками при сравнительно небольших расходах воздуха 35 л/м жидкость оттеснялась и вокруг выходных отверстий образовывались газовые струйки. При переходе к варианту с большими расстояниями между перегородками и одинаковом расходе воздуха, образовывалась застойная зона, где циркуляция жидкости проходила медленно.

При дальнейшем увеличении расхода газа происходит увеличение скорости потока в одной и той же зоне движения газа. В предельном случае газовый поток совершенно оттесняет жидкость и прокладывает себе свободный путь из нее, тогда принцип барботажа нарушается и условия массообмена между газом и жидкостью становятся неприемлемыми.

В связи с тем, что отсутствуют точные рекомендации при выборе расстояния, в большинстве случаев они принимались из конструктивных соображений.

Под радиусом действия барботера необходимо понимать половину диаметра оболочки газового потока, который определяет, в свою очередь, распределение газовых пузырьков в жидкости при заданном режиме барботажа.

Поэтому в опытах рассмотрены прежде всего условия изучения барботажа газа в жидкости с целью определения диаметра оболочек газового потока в зависимости от расхода газа и глубины перфорации перегородок [1].

Аппарат экспериментальной установки выполнен из стекла, и изменение диаметра оболочки газового потока наблюдается визуально, а размеры определяются с помощью линейки, расположенной внутри сосуда. Расстояния между перегородками измеряются также при помощи линейки.

Диаметр оболочки газового потока фиксируется периодическим открыванием и закрыванием вентиля, находящегося на трубопроводе, по которому подавался сжатый воздух.

Распределение газового потока (оболочки) в жидкости зависит не только от подачи газа, но и от конструкции перемешивающего устройства. Поэтому для экспериментов взяты три варианта конструкции: с расстоянием 45, 70, 100 мм. Устройство представляет собой металлический штырь с зафиксированными на нем перегородками с отверстиями. Перфорация на перегородках выполнена таким образом, чтоб соблюдался оптимальный режим барботажа.

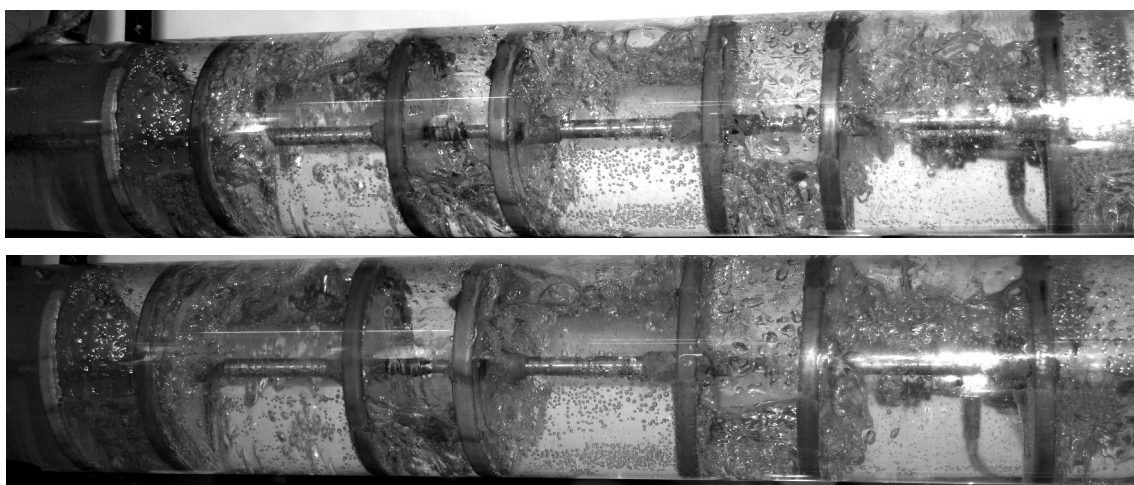


Рисунок 5. Рабочий режим установки

В результате проведенных экспериментов были установлены зависимости изменения диаметра газового потока от расхода жидкости, а также расстояния между перегородками, при изменении которых наблюдается различные режимы движения контактируемых сред. Выявлены оптимальные технологические параметры, при которых достигается наиболее эффективный режим барботаж.

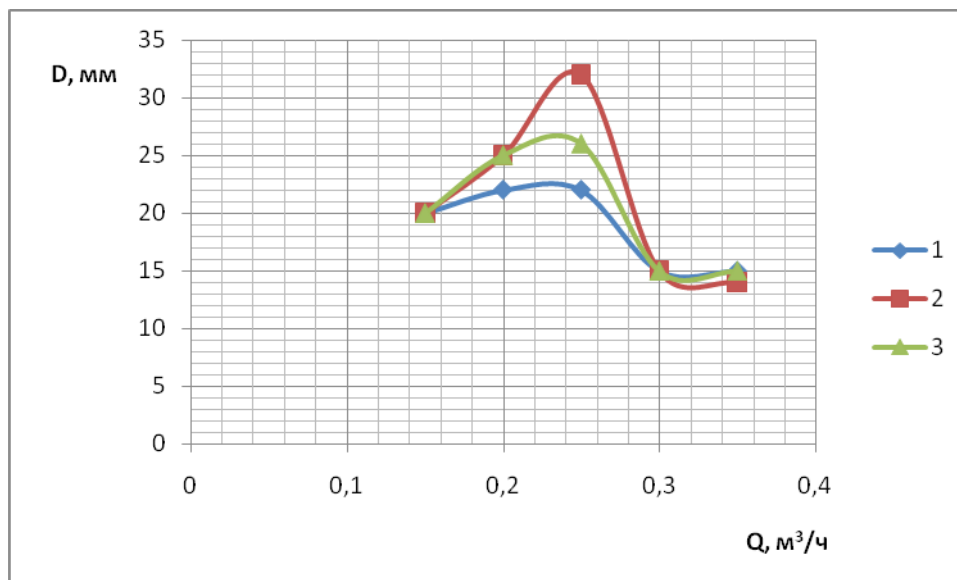


Рисунок 6. Зависимость изменения диаметра газового потока от расхода жидкости

Литература

1. Блазнов А.Н. Распределение пузырьков по размерам в жидкостно-газовых струйных аппаратах с удлиненной камерой смешения // Электронный журнал "Исследовано в России", 2002. С. 663-670. URL: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2002/061.pdf> (дата обращения: 05.04.09).
2. Галеев Р.Г. Повышение выработки трудноизвлекаемых запасов углеводородного сырья. М.: Недра, 1997. - 362 с.
3. Голдобин В. Попутный газ - добро или зло // Нефть России, N11, 2007. URL: <http://www.oilru.com/nr/174/4022/> (дата обращения: 05.04.09).
4. Стренк Ф.Н. Перемешивание и аппараты с мешалками. Л.: Химия, 1975. -384 с.
5. Хисамутдинов Н.И. Разработка нефтяных месторождений в поздней стадии. М.: ВНИИОЭНГ, 2004. - 252 с.