

УДК 622.276.63

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ИСПОЛЬЗУЕМОЕ ПРИ ОЧИСТКЕ
ПОПУТНОГО ГАЗА НА НЕФТЕПРОМЫСЛЕ**

**Голубев В.Г., Садырбаева А.С., Туребекова А.М., Касимова Ж.Ж., Сартай Ж.
Южно-Казakhstanский университет им. М.Ауэзова (160012, РК,
г.Шымкент, пр. Тауке-хана, 5), e-mail: a.sadyrbaeva@mail.ru**

В представленном материале рассматривается вопрос аппаратурного оформления процессов очистки переработки попутных нефтяных газов, добываемых на месторождениях нефти. На основе сопоставления имеющегося оборудования в качестве перспективного обращается внимание на процесс абсорбции, осуществляемого в абсорберах барботажного или тарельчатого типа. Сравнительный анализ основных характеристик известных аппаратов мокрой очистки газов и предлагаются абсорбционно-десорбционные системы очистки, использующие абсорберы, снабженные контактными массообменными тарелками. Попутный нефтяной газ характеризуется относительно невысокими объемами его производства при сепарации сернистой нефти (100–1000 $\text{nm}^3/\text{ч}$), низким избыточным давлением сепарации и высоким (до 6–7 % мас.) содержанием сероводорода. Все эти факторы в совокупности с недостаточно развитой системой газотранспорта и отсутствием мощностей по переработке являются препятствием для использования этого ценнейшего углеводородного ресурса в качестве сырья нефтепереработки и нефтехимии. Многочисленные технологии переработки природного и попутного газа, направленные на производство сжиженных газов и жидких моторных топлив, рентабельны только при наличии достаточных ресурсов газового сырья, нуждаются в предварительном удалении сернистых примесей.

Ключевые слова: попутные газы, абсорберы, контактные тарелки, массообмен, газожидкостной поток, эффективность, процесса, очистка

**TECHNOLOGICAL EQUIPMENT USED IN THE PURIFICATION OF
ASSOCIATED GAS IN THE OIL FIELD**

**Golubev V.G., Sadyrbaeva A.S., Turebekova A.M., Kasimova Zh.Zh., Sartai Zh.
M. Auezov South-Kazakhstan University (160012, Kazakhstan, Shymkent, Tauke khan
avenue, 5), e-mail a.sadyrbaeva@mail.ru**

In the presented material, the issue of hardware design of the purification processes of processing associated petroleum gases extracted from oil fields is considered. Based on the comparison of the available equipment, attention is drawn to the absorption process carried out in bubbling or poppet-type absorbers as promising. Comparative analysis of the main characteristics of known wet gas purification devices and proposed absorption-desorption purification systems using absorbers equipped with contact mass transfer plates. Associated petroleum gas is characterized by relatively low volumes of its production during the separation of sulfurous oil (100-1000 nm^3/h), low excess separation pressure and high (up to 6-7% by weight). the content of hydrogen sulfide. All these factors, combined with an insufficiently developed gas transportation system and the lack of processing facilities, are an obstacle to the use of this most valuable hydrocarbon resource as a raw material for oil refining and petrochemistry. Numerous technologies for processing natural and associated gas, aimed at the production of liquefied gases and liquid motor fuels, are profitable only if there are sufficient resources of gas raw materials, they need preliminary removal of sulfur impurities.

Keywords: associated gases, absorbers, contact plates, mass transfer, gas-liquid flow, efficiency, processes, cleaning

Введение. Газ, подаваемый в магистральный газопровод, готовят в соответствии с требованиями ОСТ 51.40-93 «Газы горючие природные, поставляемые и транспортируемые по магистральным газопроводам. Технические условия», а при местном использовании, он должен соответствовать требованиям ГОСТ 5542-99 «Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия». Обзор литературных источников показал эффективность процесса абсорбции при очистке попутных газов - ПНГ. При данном процессе осуществляется передача массы через поверхность раздела взаимодействующих фаз. Таким образом, интенсификация данного процесса возможна в абсорберах, у которых имеется развитая поверхность контакта между жидкостью и газом, т.е. между абсорбентом и носителем газа [1-4].

Актуальность. Для создания такой поверхности и диспергации абсорбента, известны 4 главные группы: а) пленочные, б) насадочные, в) барботажные или тарельчатые, г) распыливающие (распылительные) [1-4]. Абсорберы пленочного типа в качестве поверхности контактирующих фаз используют жидкостную пленочную поверхность, стекающей по стенке, расположенной вертикально. Таким оборудованием являются абсорберы трубчатого типа, абсорберы с насадкой в виде листа или плоско-параллельных листов, абсорберы с движущейся вверх пленкой жидкости. Абсорберы с насадкой выглядят в виде колонн, внутри которых уложены различные тела в виде колец, решеток и прочего материала [3,4]. Основное предназначение колонн с насадкой для проведения процесса тех продуктов, которые относятся к вязким и высокой агрессивности, а также, если нужен малый перепад давления, либо запас жидкой фазы в данной колонне. Использование данного оборудования сдерживается их относительно малым диаметром (0,8-1м), поскольку его увеличение приведет к снижению эффективности процесса. К основным минусам такого оборудования относится сложность организации отводимого тепла при реализации процесса. При наиболее применяемом циркуляционном отвод с применением холодильников выносного типа. Аппараты, в которых выполняется внутреннее теплоудаление, не нашли применения [2]. Барботажные колонны относятся к массообменному оборудованию, с установленными вертикально по высоте тарелками или поперечно перегородками, обеспечивающих многоходовое взаимодействие жидкой и газовой фаз [1,4]. Направление движение фазовых потоков на массообменных тарелках организуются: прямым, противоточным и смешанным, обычно жидкость движется, стекая вниз, а газовый или паровой поток поднимается вверх, что и определяет эффективность процесса и конструкции. При этом тарелки функционируют в гидродинамических режимах, называемых барботажными и струйными, причем, в первом случае обеспечивается жидкостной слой на поверхности тарелки, который пропускает через себя путем барботажа газовую фазу в виде пузырьков. При возрастании газового потока жидкость принимает форму стекания струями и каплями, что характеризует струйный режим. Тарелки конструкций колпачковых, клапанных, ситчатых и провальные функционируют в режиме барботажа, причем на первых 3-х типах фазы работают в перекрестном токе, что обеспечивается конструктивными элементами тарелок: отверстиями, колпачками или клапанами, а также устройствами для перелива после достижения определенной высоты жидкостного слоя. При этом площадь свободного сечения для прохода газового потока достигает от 1 до 30%, а площадь устройств для перелива составляет порядка 20% от всей площади, составляющей поперечное сечение аппарата. В отличие от описанных ранее, тарелки провального типа работают в режиме противотока контактирующих фаз, в них отсутствуют устройства для перелива, а на поверхности имеют отверстия различной формы, диаметр которых составляет от 20 до 100мм, служащих для прохождения газовой и жидкой фаз. В режиме противотока фаз осуществляется сохранение слоя жидкой фазы для создания благоприятного режима работы. Провальные тарелки уступают тарелкам, имеющими перелив как движущей силе, так и по диапазону нагрузок. В последние годы начали разрабатывать тарелки струйного и струйно-барботажного типа, позволяющих функционировать при больших нагрузках

газового потока, в которых фазы контактируют в прямоточном или перекрестно-прямоточном направлениях за счет применения различных конструктивных элементов, позволяющих осуществлять регулирование фазовых потоков. Помимо этого, используют секционирование тарелок на продольно-поперечное и продольное, причем первые обладают такими зонами контакта, как барботажная и пленочная, являющаяся дополнительной [1,2,4]. Газ, пройдя зону барботажа, переходит в контакт с жидкой фазой в зоне пленки, которая его сепарирует и позволяет активизировать перенос массы и увеличить газовую нагрузку. Имея большую длину перегородок для перелива, такие тарелки могут выдерживать значительные жидкостные нагрузки, а используя перегородки, расположенные поперек в секциях, появляется возможность перераспределять фазовые потоки. Таким образом, за счет секционирования удастся создать равномерное контактирование взаимодействующих фаз и увеличить производительность оборудования.

Обсуждение. Рассмотрим тарелки, имеющие продольное секционирование, достигаемое при помощи элементов в виде лотков, по которым создается возможность распределения фаз. Имеющиеся на наружной поверхности тарелок устройства в виде чешуек, так называемых клапанов, позволяет создавать направление потоков жидкости и газа как крест-накрест, так и противоположно. Тарелки такой конструкции осуществляют струйное и направленное контактирование фазовых потоков с контактом струй, имеющих обратное направление в струйном и в барботажном режимах. В абсорберах распыливающего типа, фазы контактируют между собой как в распыленном состоянии, так и в состоянии разбрызгивания жидкой фазы в газовой. Известно разделение абсорберов по группам: а) форсуночные (за счет распыливающих устройств); б) скоростные прямоточные (за счет газа); в) механические (за счет элементов конструкции). Название группы характеризует способ распыливания жидкости в абсорберах. Массообмен в абсорбере обеспечивают способами контакта фаз- непрерывным и ступенчатым. Первые представляют колонны с насадкой и аппараты распыливающего типа, и также конструкции барботажа и пенные с 1-й полкой, а к вторым- колонны, снабженные тарелками и барботажные и пенные конструкции, имеющие несколько полок.

В табл.1 представлен сравнительный анализ основных характеристик известных аппаратов "мокрого" типа, где наиболее результативными являются высокоскоростные трубы Вентури, пенные аппараты, аппараты с псевдооживленным слоем и пленочные трубчатые аппараты[1,2,4].

Особо отличаются аппараты пленочного типа, в которых организован дисперсно-кольцевой режим, позволяющий осуществлять очистку одновременно от газообразных компонентов и дисперсных частиц, функционирующих в широком спектре нагрузок по газовой и жидкой фазам, малым габаритам, простоте конструкции, масштабному переходу, возможности без усилий организации и поддержании оптимальных температурных параметров в зоне контакта без существенных энергетических затрат и т.п.

Поскольку, процессы абсорбции в различных производствах имеют существенное различие, то не существует и единственного аппарата одной конструкции для реализации этих процессов. В качестве рекомендации можно рекомендовать такой объективный технико-экономический показатель, когда стоимость переработки 1 м³ газа или расходы на 1 т продукции будут наименьшими [1,2,4]. Это можно определить и сопоставить ряд аппаратов.

Таблица 1 - Сравнительный анализ основных характеристик известных аппаратов мокрой очистки газов [1,2,4]

Основные показатели аппаратов мокрой очистки газов					
Показатель	Труба Вентури	Полый Скруббер типа СП	Пенный аппарат	Скруббер с шаровой насадкой	Пленочный трубчатый (нисходящий прямоток)
1	2	3	4	5	6

Габариты: высота, м; диаметр, м; масса, т	4,99; 2,8□1,9; 1,26	17,4; 0,9; 6,8	8,8; 1,6; 2,5	8,3; 1,2; 2,3	4,8; 1,7; 1,5
Потери напора в линии подачи жидкости, мм вод.ст	80 000	80 000	8 000	8 000	3 000
Гидравлическое сопротивление, мм вод.ст.	300 - 3000	100 - 220	100 - 350	100 - 500	10 - 350
Удельные энергозатраты, кВтЧч/тыс.м ³	2 - 4	0,99 – 1,7	0,6 – 2,8	0,6 – 2,82	0,23 – 2,12
Коэффициент массоотдачи в жидкости, м/с	(1-2,5)×10 ⁻⁴	10 ⁻⁵ -10 ⁻⁴	(0,6-5,5)×10 ²	(0,5-5)×10 ²	(0,2-1)×10 ⁻¹
Скорость газа по сечению, м/с	1,4 -7,7	5 - 9	0,9 - 4	6 - 15	1 - 30
Концентрация взвеси, г/л	< 0,5	-	-	< 10	-
Минимальный диаметр улавливаемых частиц, мкм	1-3	5-10	2	1-6	1-3
Время пребывания в зоне контакта, сек.	0,01	1,5-4	0,03	0,05	016-5
Эффективность %: - по SO ₂ - по NO ₂ - дисперсных частиц	50 - 86 - 90 -100	50 - 99	76 (фтор) - 90	73 69 95	90 89 95-100

Основные направления совершенствования конструкций аппаратов очистки. В настоящее время очистку попутных газов наиболее продуктивно осуществлять, используя абсорбционно-десорбционные системы очистки на современном оборудовании [5,6,7]. Необходимым направлением будущего является разработка оборудования, обладающего большой производительностью, малым гидравлическим сопротивлением и развитой поверхностью массообмена [6]. Для этого необходима разработка теории массообмена, базирующаяся на фундаментальных законах классической механики, механики жидкости и газа, физической химии и термодинамики, позволяющих осуществлять процессы обмена массы с использованием поля центробежных сил, закрученных потоков газовой и жидкой фазы, воздействие вихревых и кавитационных эффектов [9,10,11]. Использование закрученных потоков позволяет осуществлять их турбулизацию, увеличивая коэффициент массоотдачи и качество перемешивания, а также создавая развитые поверхности контакта фаз и обеспечивая высокое качество распыливания потоков [1]. В вихревом потоке противоположно направленных фаз появляется возможность регулировать концентрацию при помощи 1-й распыляемой ступени, соответствующей нескольким теоретическим ступеням, что связано с эффектом турбулизации процессов в самих каплях [11]. Данный эффект возможен только при определенных условиях организации процесса движения вихревых потоков газа и капель жидкости [12]. Подобные рассуждения были высказаны Холиным Б.Г. из Украины [5], для развития этой теории необходимы осевые и тангенциальные завихрители [6,7,8,9]. Авторами работы [13] была разработана тарелка провальной конструкции, обладающая достоинствами по сравнению с тарелками, работающими по принципу перелива: увеличенной производительностью, низким гидравлическим сопротивлением и металлоемкостью, а также способностью продолжительной работы в средах с увеличенной загрязненностью [14]. С этой целью были

сопоставлены данные по удельной межфазной поверхности газа для различных типов контактных аппаратов, показавших их существенное достоинство, что и послужило целью дальнейших исследований в этом направлении.

Выводы

1. На основе проведенного анализа установлен метод абсорбции, как наиболее результативный, с использованием абсорберов и десорберов колонного типа с насадкой или тарелками. При этом применяются этаноламины, используемыми в процессах очистки газа от H_2S и CO_2 .

2. В качестве известных контактных устройств в данных аппаратах являются массообменные тарелки, имеющие узкий диапазон эффективности, низкая поверхность массообмена, большое сопротивление и материалоемкость.

3. В качестве перспективы реализации процесса абсорбции вызывает интерес создания закрученного потока, турбулизирующего среду и увеличивающего коэффициенты массоотдачи.

8. Задачей в данной работе является - разработка и исследование аппарата для очистки попутного газа при добыче нефти на месторождении, требующей решения следующих задач:

а) Дать анализ состояния подготовки попутного газа и перспективы, на основании которого выбрать наиболее приемлемый;

б) На основе оценки массообменных конструкций и массообменных показателей, установить пути интенсификации процессов массоотдачи и газоочистки и осуществить разработку контактного устройства для абсорбционного процесса очистки попутных газов от опасных примесей;

Литература

1. Рамм В. М., Абсорбция газов. - М.: Химия, 1976. - 656 с.
2. Кафаров В.В., Основы массопередачи. - М.: Высш.школа, 1979. - 439 с.
3. Касаткин А.Г., Основные процессы и аппараты химической технологии. - М.: Химия, 1973. - 784 с.
4. Плановский А.Н., П.И. Николаев П.И., Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. - М.: Химия, 1987.
5. Холин Б.Г. Центробежные и вибрационные грануляторы пластов и распылители жидкости // М.: Машиностроение, 1977. - 182 с.
7. Склабинский В.И. Радиальное течение газового потока в вихревой камере ВРПМА // Вісник Сум ДУ. - 1998. - №2. – С.163-168.
8. Бусыгина Н.В., Бусыгин И.Г. Технология переработки природного газа и газового конденсата. – Оренбург: ИПК «Газпромнефть» ООО «Оренбурггазпромсервис», 2022. – 432с.
9. Шервуд Т., Массопередача. – М.: Химия, 1982.
10. Борисов И.И., Халатов А.А., Центробежные контакторы: основные типы и практическое применение. Обзор // Промышленная теплотехника. - 2007.-29, №2., 29-31 с.
11. Борисов И.И., Халатов А.А., Варганов И.С., Вихревой барботажный тепломассообменный аппарат. // Пат. № 73872. - Украина. -2015. - Бюл. №9.
12. Варганов И.С., Халатов А.А., Борисов И.И., Гелетуха Г.Г., Вихревой барботажный тепломассообменный аппарат. // Пат. № 23520А. - Украина. - 1998.
13. Бусаев Е.А., Алексеев В.В., Поникаров И.И. Исследование гидравлического сопротивления аппарата вихревого типа комплексной очистки газов. Казанский государственный технологический университет. Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. 2014. т 5. № 2.
14. Ковалев И.А., Склабинский В.И. О движении вихревого капельного потока в рабочей камере ВРПМА // Вісник ІАН. – 2008. - № 3-4. – С. 65-71.