

УДК 66.022

АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ ПОПУТНЫХ НЕФТЯНЫХ ГАЗОВ

Голубев В.Г., Бондаренко В.П., Садырбаева А.С., Байботаева С.Е.,
Умбет Б.Е., Туребекова А.М.

Южно-Казakhstanский университет им. М.Ауэзова (160012, РК, г.Шымкент, пр.
Тауке-хана, 5), e-mail a.sadyrbaeva@mail.ru

Аннотация: В работе представлена информация по аппаратурному оформлению процессов очистки попутных нефтяных газов. Обсуждается актуальность данной проблемы и перечисляются процессы и оборудование, используемые для очистки попутных газов. Описан сравнительный анализ основных характеристик известных аппаратов мокрой очистки газов с указанием их основных достоинств и недостатков: абсорбционных насадочных аппаратов, пленочных абсорберов, насадочных аппаратов, барботажных (тарельчатых) колонн, тарелок с продольно-поперечным секционированием, а также сравнение работы различных типов абсорбционных аппаратов. Установлено, что сепарирующее действие пленки и увеличенное рабочее плато (отсутствуют приемные карманы) позволяют значительно интенсифицировать массоперенос и практически удвоить по сравнению с барботажными тарелками нагрузки по газу. Секционирование тарелок исключает неравномерность контакта фаз и дает возможность создавать тарельчатые аппараты для агрегатов большой единичной мощности.

Ключевые слова: попутный нефтяной газ, аппараты, способы очистки, тарелки, абсорбция, контакт фаз.

HARDWARE EXECUTION OF ASSOCIATED PETROLEUM GAS PURIFICATION PROCESSES

Golubev V.G., Bondarenko V.P., Sadyrbaeva A.S., Baibotaeva S.E.,
Umbet B.E., Turebekova A.M.

M. Auezov South-Kazakhstan University (160012, Kazakhstan, Shymkent, Tauke khan
avenue, 5), e-mail a.sadyrbaeva@mail.ru

Abstract: The paper provides information on the hardware design of associated petroleum gas purification processes. The relevance of this problem is discussed and the processes and equipment used to purify associated gases are listed. A comparative analysis of the main characteristics of known wet gas purification devices is described, indicating their main advantages and disadvantages: absorption nozzles, film absorbers, nozzles, bubbling (poppet) columns, plates with longitudinal and transverse partitioning, as well as a comparison of the operation of various types of absorption devices. It was found that the separating effect of the film and the increased working plateau (there are no receiving pockets) make it possible to significantly intensify mass transfer and practically double the gas loads compared to bubbling plates. The partitioning of the plates eliminates the unevenness of the phase contact and makes it possible to create poppet devices for units of high unit power.

Keywords: associated petroleum gas, apparatuses, cleaning methods, plates, absorption, phase contact.

Введение. Анализ различных технологий очистки попутных нефтяных газов показал, что основным методом очистки попутных нефтяных газов является метод абсорбции. Абсорбция, как и другие процессы массопередачи, протекает на развитой поверхности раздела фаз. Для интенсификации процесса абсорбции необходимы аппараты с развитой

поверхностью контакта между жидкой и газовой фазами (абсорбента с газоносителем) [1-4]. По способу образования этой поверхности и диспергации абсорбента, их можно подразделить на четыре основные группы: 1) пленочные; 2) насадочные; 3) барботажные (тарельчатые); 4) распыливающие или распылительные (брызгальные).

В пленочных абсорберах поверхностью контакта фаз является поверхность жидкости, текущей по твердой, обычно вертикальной стенке. К этому виду аппаратов относятся: 1) трубчатые абсорберы; 2) абсорберы с плоскопараллельной или листовой насадкой; 3) абсорберы с восходящим движением пленки жидкости. Абсорбционные насадочные аппараты представляют собой колонны, загруженные насадкой из тел различной формы (кольца, кусковой материал, деревянные решетки и т.д.) [3,5].

Обсуждение. Насадочные колонны применяются главным образом при абсорбции высокоагрессивных или вязких продуктов, при необходимости иметь небольшой перепад давления или малый запас жидкости в колонне. Применение насадочных колонн в настоящее время ограничено сравнительно небольшими их диаметрами (порядка 0,8—1,0 м). Подобное положение в основном объясняется тем, что в колоннах большого диаметра жидкость и газ могут двигаться через различные сечения колонны, не взаимодействуя друг с другом, и эффективность разделения при этом будет резко падать.

Недостаток насадочных аппаратов - трудность отвода тепла в процессе абсорбции. Обычно применяют циркуляционный отвод тепла, используя выносные холодильники. Предложенные конструкции аппаратов с внутренним отводом тепла при помощи помещенных в насадку охлаждающих элементов не получили распространения [32]. Барботажные (тарельчатые) колонны - массообменные вертикальные колонные аппараты, снабженные расположенными одна над другой поперечными перегородками, или тарелками, с помощью которых по высоте колонны осуществляется многократный дискретный контакт газа (пара) с жидкостью [3,5]. Организованное движение фаз на тарелках может быть прямо-, противо- или перекрестноточным, а также смешанным при общем противотоке фаз по колонне (газ либо пар поднимается вверх, жидкость стекает вниз). Эффективность тарелок любых конструкций в значительной степени зависит от способов контактирования фаз на их поверхности. Различают барботажный и струйный гидродинамические режимы работы тарелок. В барботажном режиме на тарелках поддерживается слой жидкости (сплошная фаза), через который барботирует восходящий поток газа (дисперсная фаза), распределяясь в жидкости пузырьками. С повышением нагрузок по газу происходит инверсия фаз, при которой в сплошной (газовой) фазе распределена в виде капель и струй дисперсная (жидкая) фаза - такой режим называется струйным. В барботажном режиме работают ситчатые, колпачковые, клапанные, а также провальные тарелки. Для тарелок первых трех типов барботаж газа и

движение жидкости происходят в условиях перекрестного тока благодаря равномерно распределенным на плато тарелок их элементам (отверстиям, колпачкам, клапанам) и наличию переливных устройств (переливных и приемных карманов); задержка жидкости задается высотой переливной перегородки (10-100 мм). Свободное сечение (суммарная площадь всех отверстий или щелей) для прохода газа составляет 1-30%, а площадь, занимаемая переливными устройствами, около 20% от площади поперечного сечения колонны. На провальных тарелках реализуется противоточный контакт фаз. Провальные тарелки не имеют переливных устройств, их плато перфорировано круглыми, квадратными и др. формы отверстиями диаметром 20-100 мм. Через эти отверстия периодически или одновременно проходит газ и стекает («проваливается») жидкость. В результате противоточного взаимодействующих фаз на тарелках поддерживается слой жидкости, достаточный для обеспечения высокой эффективности аппаратов с такими тарелками. Рабочий диапазон нагрузок по фазам, а также средняя движущая сила массопереноса на провальных тарелках меньше, чем на тарелках с переливами.

В последнее время в схемы очистки попутных нефтяных газов внедряются аппараты со струйными и струйно-барботажными тарелками. Стремление к созданию тарельчатых аппаратов, функционирующих при повышенных нагрузках по газу [$F_0 = 3-5 \text{ кг}^{0.5}/(\text{с} \cdot \text{м}^{0.5})$], привело к конструкции струйных тарелок. Прямоточный или перекрестно-прямоточный контакт фаз на них осуществляется путем направленного ввода газа при проходе через ситчатое плато с помощью находящихся на нем чешуек или клапанов, ориентированных в сторону слива, поэтому выходящий из отверстий с высокой скоростью газ дробит жидкость на капли и струи, и газо-жидкостной поток транспортируется над плато тарелок к переливному устройству.

Различают продольно-поперечное и продольное секционирование. Тарелки с продольно-поперечным секционированием имеют две зоны контакта фаз: барботажную и дополнительную (пленочная зона), создаваемую за счет специально организованного слива жидкости с одной тарелки на другую (двухщелевое цилиндрическое переливное устройство с отбойным направляющим диском) [1-4]. Газ после барботажа контактирует с жидкостью в пленочной зоне. Сепарирующее действие пленки и увеличенное рабочее плато (отсутствуют приемные карманы) позволяют значительно интенсифицировать массоперенос и практически удвоить по сравнению с барботажными тарелками нагрузки по газу. Благодаря развитой длине переливных перегородок тарелки могут работать при очень высоких нагрузках по жидкости. С помощью поперечных секционирующих перегородок выделяются самостоятельно функционирующие элементы тарелок, между которыми возможно перераспределение фаз.

Такое секционирование исключает неравномерность контакта фаз и дает возможность создавать тарельчатые аппараты для агрегатов большой единичной мощности.

Тарелки с продольным секционированием. Установкой вдоль направления движения жидкости перегородок достигается секционирование на лоткообразные элементы, между которыми также могут перераспределяться фазы. На плато тарелок размещены чешуйки (клапаны), направляющие поток газа перекрестно по отношению к жидкостному потоку и во взаимно противоположных направлениях в соседних рядах чешуек. На таких тарелках струйно-направленное взаимодействие фаз сочетается с противонаправленным контактом струй. Тарелки работают как в струйном, так и в барботажном режимах.

В распыливающих абсорберах контакт между фазами достигается распыливанием или разбрызгиванием жидкости в газовом потоке. Эти абсорберы подразделяют на следующие группы: 1) форсуночные распыливающие абсорберы, в которых жидкость распыляется на капли форсунками; 2) скоростные прямоточные распыливающие абсорберы, в которых распыление жидкости осуществляется за счет кинетической энергии газового потока; 3) механические распыливающие абсорберы, в которых жидкость распыляется вращающимися деталями.

По способу организации массообмена абсорбционные устройства принято делить на аппараты с непрерывным и ступенчатым контактом фаз. К устройствам с непрерывным контактом можно отнести насадочные колонны, распылительные аппараты (полые скрубберы, скрубберы Вентури, ротоклоны и др.), однополочные барботажные и пенные устройства, а к устройствам со ступенчатым контактом - тарельчатые колонны, многополочные барботажные и пенные устройства.

Сравнение работы различных типов абсорбционных аппаратов.

Большое число имеющихся типов абсорбционных аппаратов затрудняет целесообразный выбор того или иного из них для каждого конкретного случая. Во многих случаях выбор типа производится без достаточных оснований и часто определяется традицией, существующей в той или иной отрасли промышленности. Сравнительный анализ основных характеристик известных аппаратов "мокрого" типа показывает (табл. 1), что среди них наибольшей эффективностью обладают высокоскоростные трубы Вентури, пенные аппараты, аппараты с псевдооживленным слоем и пленочные трубчатые аппараты.

Наибольший интерес представляют пленочные аппараты, работающие в дисперсно-кольцевом режиме. Они обладают рядом дополнительных преимуществ: в этих аппаратах возможна совместная очистка от газообразных и дисперсных включений, достаточно просто обеспечивается оптимальная температура в зоне контакта фаз, они устойчиво работают в широких диапазонах нагрузок по газу и жидкости, имеют малые габариты и сравнительно

простое конструктивное оформление, обеспечивают большое время контакта (в 100 раз больше, чем в трубах Вентури).

Таблица 1 - Сравнительный анализ основных характеристик известных аппаратов мокрой очистки газов

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	0,16-5
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

При этом в пленочных аппаратах легко решаются проблемы масштабного перехода, и данные, полученные в лабораторных или опытно-промышленных условиях на одиночной трубе, могут быть перенесены на промышленный аппарат. Кроме того, легко организуется

несколько интенсивных зон очистки, возможен естественный подвод газа за счет энергии орошающей жидкости, что обеспечивает транспортировку загрязненного газа без дополнительных механических устройств и существенно снижает общие энергозатраты [5-7].

Выводы. 1. Условия абсорбции и требования, предъявляемые к абсорбционным аппаратам, в разных производствах сильно различаются. Поэтому невозможно рекомендовать какой-либо один, лучший для всех случаев, аппарат.

2. Наилучшим аппаратом следует считать такой, для которого технико-экономические показатели будут наиболее высокими, т. е. стоимость переработки 1 м³ газа или расходы на 1 т продукции будут наименьшими.

3. Целесообразный тип аппарата для каждого конкретного случая можно выбрать только в результате технико-экономических расчетов, проведенных для нескольких конкурирующих типов.

Список литературы

1. Бусыгина Н.В., Бусыгин И.Г. Технология переработки природного газа и газового конденсата. – Оренбург: ИПК «Газпромпечатъ» ООО «Оренбурггазпромсервис», 2022. – 432с.

2. Бекиров Т.М., Туревский Е.Н., Бахшиян Д.Ц. Совершенствование методов расчета процессов подготовки и переработки природного газа. М.: ВНИИЭГАЗПРОМ, 1978. – 56 с.

3. Рамм В. М., Абсорбция газов. - М.: Химия, 1976. – 656 с.

4. Кафаров В.В., Основы массопередачи. – М: Высшая школа, 1979. – 439 с.

5. Касаткин А.Г., Основные процессы и аппараты химической технологии. - М.: Химия, 1973. – 784 с.

6. Плановский А.Н., П.И. Николаев П.И., Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. – М.: Химия, 1987. – 541с.

7. Холин Б.Г. Центробежные и вибрационные грануляторы пластов и распылители жидкости // М.: Машиностроение, 1977. – 182 с.