

УДК 66.081:62-83

Фрумин В.М., Бухкало С.И., Питюлин И.Н., Бурин В.Л., Литвиненко В.И.

МЕХАНИЧЕСКИЕ РОТОРНЫЕ АБСОРБЕРЫ

Известно несколько конструкций механических абсорберов, в которых поверхность контакта взаимодействующих фаз создается за счет подводимой извне механической энергии. Типичным аппаратом этого типа среди вертикальных аппаратов является роторный абсорбер с разбрызгивающими конусами (абсорбер Фельда) [1]. Внутри вертикального цилиндрического корпуса расположено по высоте несколько тарелок, заполненных жидкостью. По оси корпуса проходит вал, на котором размещены вращающиеся вместе с ним конуса. Нижние края конусов погружены в находящуюся на тарелках жидкость. При вращении вала жидкость поднимается по конусам и под действием центробежной силы сбрасывается с их верхних обреза, образуя факел распыла. Газ движется вверх, проходя в зазоре между конусами и корпусом, контактируя с мелко-распыленной жидкостью. Такие аппараты применяют в химической промышленности. Основным их преимуществом является низкое гидравлическое сопротивление.

Размер частиц (капель) жидкости в этих аппаратах, а, следовательно, и поверхность контакта фаз зависит от скорости вращения и диаметра конусов и определяет эффективность массопередачи. Как и в других распыливающих аппаратах, интенсивность взаимодействия жидкости и газа возрастает с увеличением скорости вращения ротора, скорости газа, но ограничивается, как правило, величиной брызгоуноса.

Более интенсивного взаимодействия газовой и жидкой фаз удастся достичь в горизонтальном роторном абсорбере, конструкция которого разработана Ганзом [2].

Основным рабочим органом этого абсорбера является горизонтальный вал, на котором закреплены диски, частично погруженные в жидкость. Диски имеют диаметр 0,9 от диаметра аппарата. По периферии диски надрезаны на $1/3$ радиуса и их концы отогнуты под углом $15-17^\circ$ навстречу друг другу. На поверхности дисков имеются отверстия для прохода газа.

Одним из основных достоинств ротационного аппарата является возможность интенсификации процессов массопередачи при непосредственном контакте газа с жидкостью за счет усиления турбулизации газожидкостной системы. В этих аппаратах одновременно имеет место капельная, барботажная и пленочная абсорбция. Пленочная абсорбция протекает на поверхности дисков, причем за счет большой скорости вращения дисков эта поверхность быстро обновляется, что способствует интенсификации процесса массопередачи. Кроме этого каждый диск является центробежным распылителем жидкости. При этом достигается развитая поверхность массопередачи.

Благодаря интенсивному перемешиванию жидкости и газа в этих аппаратах наиболее существенное влияние на интенсификацию процесса массопередачи должна оказывать барботажная абсорбция. Вращающийся диск прокачивает газ через жидкость и создает интенсивный барботажный слой. Величина слоя пены и ее удельный вес (газосодержание) зависят от конструкции и скорости вращения дисков и определяют поверхность контакта фаз, которая в значительной мере влияет на скорость абсорбции.

Газовая фаза, поступающая в абсорбер, движется вдоль аппарата к выходному штуцеру, интенсивно перемешиваясь. При этом часть газа проходит через отверстия в центре дисков, а часть, причем большая, увлекаемая жидкостью, через зазор между периферией диска и корпусом аппарата.

В зависимости от условий обвязки аппарат может работать в режиме противотока или прямотока.

Испытания моделей абсорбера диаметром 60–100 мм проводились [2,3] при водной абсорбции окислов азота, поглощении окислов азота известковым молоком, поглощении NO раствором FeSO_4 и CO_2 раствором моноэтаноламина. Было установлено, что процесс окисления значительно интенсифицируется. Исследовано влияние физико-химических, геометрических факторов и скорости вращения ротора. Эти исследования показали, что во всех случаях увеличение окружной скорости дисков до определенных пределов ведет к значительному повышению скорости абсорбции и является важным фактором интенсификации гидродинамических процессов.

Общее изменение скорости абсорбции авторы [2] представляют в виде кривых с максимумом. Вначале с увеличением окружной скорости дисков скорость абсорбции резко возрастает, затем процесс стабилизируется и далее с ростом окружной скорости дисков скорость абсорбции начинает падать. При нарастании окружной скорости до оптимальных значений жидкость подвергается все более интенсивному воздействию, что приводит к образованию значительного газожидкостного слоя.

При оптимальных оборотах дисков в абсорбере образуется газожидкостная смесь. Этому режиму соответствует наивысшая степень абсорбции вследствие наиболее развитой поверхности контакта фаз и минимальных значений диффузионных сопротивлений. Дальнейшее увеличение окружной скорости приводит к понижению скорости абсорбции вследствие уплотнения газожидкостного слоя из-за увеличения центробежной силы, создаваемой дисками, структура пены разрушается, ухудшается контакт фаз.

Другими словами, жидкость центробежной силой прижимается к стенкам абсорбера и пространство возле его оси становится более или менее свободным от капель или пены.

Исследования влияния скорости вращения ротора на скорость процесса абсорбции окислов азота раствором известкового молока в механическом абсорбере с большим числом оборотов изучали также на полужаводской установке [3].

Горизонтальный механический абсорбер имел длину 1,54 м и диаметр 0,88 м. Объем аппарата 1 м³. Вал снабжен четырьмя перфорированными дисками. Окружная скорость дисков менялась в пределах 14–15, 22–23 и 27–28 м/с. Изменение окружных скоростей дисков осуществлялось сменой шкивов на валу мотора и на валу абсорбера. Передача движения от мотора к абсорберу осуществлялась с помощью клиновидных ремней.

Анализируя полученные данные, авторы пришли к выводу, что независимо от концентрации окислов азота степень их поглощения растет с увеличением окружной скорости дисков, особенно при увеличении до 22–23 м/с, затем рост постепенно уменьшается.

Так как скорость абсорбции окислов азота при окружной скорости дисков 28 м/с незначительно превышала скорость абсорбции при 22–23 м/с и, учитывая, что расход мощности на вращение вала с дисками пропорционален числу оборотов в степени 2, авторы остановились на выборе окружной скорости дисков 22 м/с, как наиболее целесообразной.

В работе [2] в результате обработки экспериментальных данных, полученных на лабораторных и полупромышленных установках, показано, что равенство гидродинамических режимов в аппаратах с различными диаметрами характеризуется уравнением

$$n_{\text{пр}} = n_{\text{лаб}} \left(\frac{D_{\text{лаб}}}{D_{\text{пр}}} \right)^{0,52}, \quad (1)$$

где $n_{\text{пр}}$ и $D_{\text{пр}}$ – число оборотов и диаметр дисков, соответственно, проектируемого аппарата; $n_{\text{лаб}}$ и $D_{\text{лаб}}$ – число оборотов и диаметр дисков, соответственно, лабораторного абсорбера.

В ротационных аппаратах с большим числом оборотов одновременно протекает капельная, барботажная и пленочная абсорбция. Последняя создается за счет обновляемой поверхности дисков и линейно возрастает с увеличением числа оборотов вала.

Величина обновляемой поверхности дисков определяется из уравнения [1]

$$F_{\text{об}} = \frac{\pi D^2}{2} \cdot z \cdot n, \quad (2)$$

где z – число дисков; n – скорость вращения, об/с.

В механических абсорберах каждый диск является центробежным распылителем. Диаметр капли d_k зависит от окружной скорости дисков и характеризуется зависимостью

$$d_k = \frac{31,4}{n} \sqrt{\frac{2\sigma}{D\rho}}, \quad (3)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³; n – число оборотов диска в минуту; σ – поверхностное натяжение, н/м; D – диаметр диска, м.

Из этого уравнения следует, что с увеличением окружной скорости уменьшается диаметр капель и пропорционально растет поверхность контакта фаз.

Вращающиеся диски с отогнутыми лопастями прокачивают газ через слой жидкости и создают интенсивный барботажный процесс. Величина слоя пены и ее удельный вес косвенно характеризуют поверхность контакта фаз, определяющую скорость абсорбции.

Благодаря высокой интенсивности массообменных процессов роторный механический абсорбер имеет габариты и металлоемкость значительно меньшую, чем, например, насадочный абсорбер такой же производительности и может найти применение для аппаратного оформления ряда процессов, например, для сильно коррозионных сред, требующих использования титана, несмотря на более высокий расход энергии. Для определения величины этой энергии в работе [2] предложено уравнение

$$N_{\text{пуск}} = 2,1 \cdot 10^4 \cdot \alpha \cdot \beta \cdot z \cdot \mu \cdot d^{3,4} \cdot n_c^2, \quad \text{Вт} \quad (4)$$

где α – поправочный коэффициент, $\alpha = 1,02$ – $1,07$; β – коэффициент перегрузки при пуске, $\beta = 1,4$ – $1,7$; z – количество дисков; μ – динамическая вязкость жидкости, кг·с/м²; d – диаметр дисков, м; n_c – число оборотов диска в секунду.

Затраты энергии на вращение возрастают пропорционально квадрату скорости вращения дисков и в степени 3,4 в зависимости от их диаметра.

При проектировании для расчета основных геометрических размеров ротационного абсорбера могут быть использованы следующие рекомендации [2]:

1. Скорость абсорбции в значительной мере зависит от объема жидкости в аппарате (объема пены). При малом ее количестве ухудшается ее турбулизация и уменьша-

ется объем пены, при переполнении – срывается пенный режим, и укрупняются капли жидкости. Оптимальное количество жидкости должно составлять 0,20–0,25 объема абсорбера, что соответствует уровню жидкости в неподвижном абсорбере (0,23–0,26) D_a .

2. Существенное влияние на эффективность работы абсорбера оказывают конструкция и количество дисков.

Каждый диск при быстром вращении удерживает в своей зоне определенное количество жидкости и образует барботажную зону, которую можно считать аналогом барботажной тарелки. Поэтому, очевидно, чем больше дисков, тем больше ступеней контакта и тем выше степень абсорбции. Однако с увеличением числа дисков возрастает пропорционально и расход энергии на вращение ротора. По данным [2,3] наибольшая степень абсорбции при наименьших затратах обеспечивается четырьмя дисками при расположении их на расстоянии (0,6–0,7) D_a друг от друга.

3. Наиболее надежными и простыми являются диски с разрезанными на 1/3 радиуса на периферии лопатками. Лопатки отогнуты навстречу друг другу и при посадке на вал зевы лопаток также обращены друг к другу. Лучшие результаты получены для дисков с лопатками, развернутыми под углом 15–17 ° при ширине края лопаток, равной 1/10–1/14 длины наружной поверхности диска.

4. Определение отношения длины абсорбера (L) к его диаметру (D_a) является компромиссом между технологическими требованиями и расходом мощности. Наименьший вес аппарата получается при $L : D_a \approx 2,4$.

5. По аналогии с барботажными контактными аппаратами можно предположить, что оптимальные значения линейных скоростей газа лежат в пределах 0,7–2,5 м/с.

Таким образом, на основании представленного обзора можно рекомендовать к использованию механические роторные абсорберы для поглощения в различных отраслях химической промышленности, и в частности, в нефтехимическом и коксохимическом производствах.

Литература

1. Рамм В.М. Абсорбция газов. М: Химия, 1976.
2. С.Н. Ганз. Общие закономерности процессов абсорбции в ротационных абсорберах с большим числом оборотов. // Журн. прикл. химии. – 1957. – № 11.
3. С.Н. Ганз, Л.И.Мамон. Кинетика абсорбции NO растворами $FeSO_4$ в механических абсорберах с большим числом оборотов. // Журн. прикл. химии. – 1957. – № 4.
4. С.Н. Ганз. Исследование влияния гидродинамических условий на скорость процесса абсорбции окислов азота раствором $Ca(OH)_2$ в механическом абсорбере полужаводской установки. // Журн. прикл. химии. – 1957. – № 9.

УДК 66.081:62-83

Фрумін В.М., Бухкало С.І., Пітюлін І.Н., Бурін В.Л., Літвіненко В.І.

МЕХАНІЧНІ РОТОРНІ АБСОРБЕРИ

Дана стаття присвячена опису деяких конструкцій механічних роторних абсорберів. Наведені конструкції барботажних та краплинних абсорберів. Надані рекомендації щодо проектування оптимальних конструкцій роторних апаратів.