

И. А. Люtareвич, ассистент; В. А. Марков, профессор

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ В РОТОРНОМ ДИСПЕРСИОННО-ПЛЕНОЧНОМ АППАРАТЕ

Relative ablation of a liquid is studied and is established, that at a step of contact it has small size that testifies to the big throughput of the investigated device in comparison with existing the rotor dispersion-film apparatus, and also with traditional columned devices. Analytical dependence for its calculation is offered. The conducted semi industrial tests of the rotor dispersion-film apparatus at the enterprise have shown high efficiency in the course of wet clearing of gas of the weighed firm particles. The rotor dispersion-film apparatus is expedient for applying in absorption processes for the purpose of clearing of gases of harmful impurity or extraction of valuable components at the limited number of contact steps. Small dimensions of the device allow using it in local systems of gas purification. Use of this device for wet clearing of gas of the firm weighed particles is possible.

Введение. В настоящее время в промышленности все большее применение находят сложные аппараты и системы аппаратов, а также происходят качественные изменения в их проектировании с разработкой методов оптимального расчета проводимых процессов. При разработке массообменных аппаратов на первом этапе следует большее внимание уделять исследованиям, направленным на изучение гидродинамики взаимодействия газожидкостных систем, что позволит выявить основные влияющие на процесс массообмена факторы, провести оценку различных способов взаимодействия фаз, разработать математические модели с алгоритмами по реализации их в инженерных расчетах.

Анализ известных исследований показывает, что среди перспективных способов интенсификации процессов массообмена следует выделить использование закрученных газожидкостных потоков при дисперсионно-пленочном взаимодействии фаз [1–3]. Однако предлагаемые конструктивные решения, применяемые к аппаратам и устройствам для проведения процессов массообмена с таким контактом фаз зачастую не обоснованы с точки зрения их энергоэкономичности.

Основная часть. Для проведения процессов очистки промышленных газов от вредных веществ (аммиака, сероуглерода, диоксида серы и др.), как методом абсорбции, так и способом мокрой очистки, была разработана конструкция роторного дисперсионно-пленочного аппарата (рис. 1) с использованием закрученного газового потока, что позволяет интенсифицировать процесс очистки, существенно увеличить скорости взаимодействующих фаз, а следовательно, и производительность аппарата по газу при сравнительно невысоком гидравлическом сопротивлении. Принцип работы аппарата представлен в работе [4].

На первом этапе исследования новой конструкции аппарата изучалось распределение локальных скоростей (тангенциальной и осевой) закрученного газового потока в различных сечениях аппарата с целью дальнейшего исполь-

зования их для расчета траекторий движения капель диспергируемой жидкости и выявления характера влияния скоростей на унос жидкой фазы из аппарата.

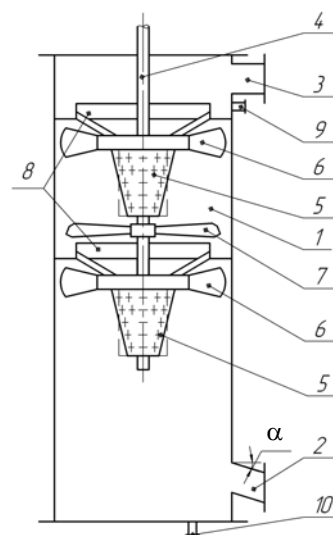


Рис. 1. Конструкция роторного дисперсионно-пленочного аппарата:
1 – корпус; 2, 3 – тангенциальные входной и выходной патрубки; 4 – вал; 5 – диспергирующие устройства; 6 – лопастные отбойники; 7 – крыльчатка; 8 – переливные устройства; 9, 10 – штуцера для подвода и отвода жидкости

На основании обработки экспериментальных данных были получены профили локальных скоростей газового потока, аналитические зависимости для их расчета, дифференциальные уравнения, описывающие траектории движения капель диспергируемой жидкости. Также было установлено, что наличие жидкой фазы в закрученном газовом потоке незначительно влияет на изменение профилей скоростей [4].

Как известно, унос жидкости газовым потоком из контактной зоны на расположенную выше ступень приводит к выравниванию концентраций и снижению движущей силы по аппарату, ухудшает массообмен и ограничивает допустимые газовые нагрузки [1]. Поэтому дальнейшие

исследования были направлены на изучение этого процесса.

В задачу экспериментальных исследований входило установление влияния режимных параметров работы роторного дисперсионно-пленочного аппарата на величину относительного уноса жидкой фазы, сопоставление расчетных и опытных значений.

Опыты проводились на установке, схема которой представлена на рис. 1. Величина относительного уноса жидкости определялась по формуле [1]

$$e = \frac{L_{\text{ун}}}{L_{\text{под}}} 100\%, \quad (1)$$

где $L_{\text{ун}}$ – количество уносимой жидкости, $\text{м}^3/\text{с}$; $L_{\text{под}}$ – количество подаваемой жидкости, $\text{м}^3/\text{с}$.

Исследовалось влияние на унос жидкости следующих параметров в пределах их изменения: плотности орошения – $q = 3\text{--}8 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; средней скорости газа на полное сечение аппарата – $w_{\text{ср}} = 2\text{--}4 \text{ м/с}$; числа оборотов ротора – $n = 600\text{--}1400 \text{ мин}^{-1}$.

В качестве жидкой фазы использовалась вода, газовой фазы – воздух.

Как следует из рис. 2, величина относительного уноса жидкости в аппарате возрастает с повышением средней скорости газа и числа оборотов ротора, что объясняется увеличением силы гидродинамического воздействия на капли со стороны газового потока и уменьшением размеров капель при диспергировании жидкости.

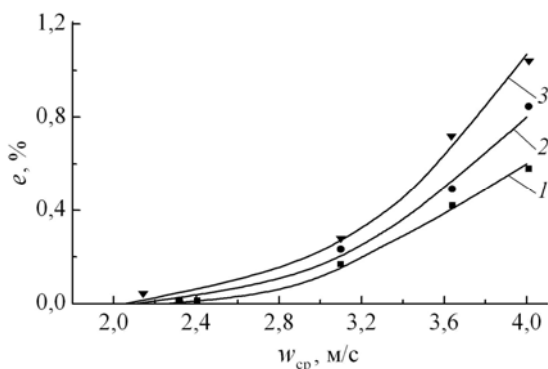


Рис. 2. Зависимость величины относительного уноса жидкости от средней скорости газа при $q = 6,4 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$:
1 – $n = 600 \text{ мин}^{-1}$; 2 – 1000; 3 – 1400

Из рис. 3 видно, что с повышением плотности орошения величина относительного уноса жидкости снижается. Данные свидетельствуют о том, что общий унос жидкости в аппарате определяется, в основном, явлением вторичного уноса. С повышением плотности орошения увеличивается толщина жидкостной пленки на стенке корпуса аппарата, а это приводит к снижению количества брызг, образующихся здесь при ударе летящих с большой скоростью капель.

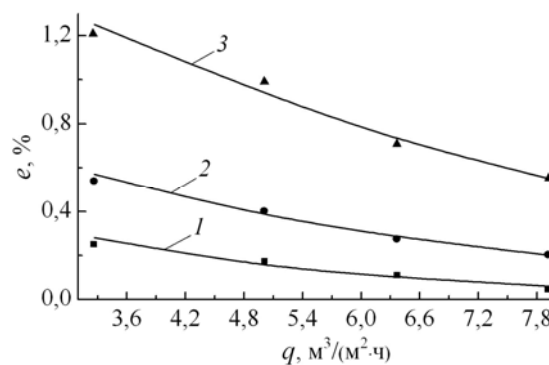


Рис. 3. Зависимость величины относительного уноса жидкости от плотности орошения при $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$:
1 – $w_{\text{ср}} = 2,9 \text{ м/с}$; 2 – 3,3; 3 – 4

В результате обработки опытных данных получена эмпирическая зависимость для расчета величины относительного уноса жидкости:

$$e = 1,254 w_{\text{ср}}^{2,54} q^{-0,52} n^{0,87}. \quad (2)$$

Среднее относительное отклонение расчетных и опытных значений не превышает 6%.

Особенности массообмена при десорбции CO_2 в роторном дисперсионно-пленочном аппарате исследованы в работе [5]. Выявлены основные факторы, влияющие на изменение объемного коэффициента массоотдачи в жидкой фазе и эффективности массообмена. Установлено, что в разработанной конструкции достигается более высокая эффективность по сравнению с ситчатыми тарелками и центробежными контактными устройствами.

С целью испытания разработанного роторного дисперсионно-пленочного аппарата в производственных условиях были проведены полупромышленные испытания для мокрой очистки запыленного газового потока на ОАО «Крион». Режимные параметры работы аппарата были такими, как и при экспериментальных исследованиях. Средний диаметр твердых частиц в запыленном газовом потоке составлял 26 мкм. Эффективность очистки определялась по формуле [6]

$$\eta = \left(1 - \frac{m_{\text{вых}}}{m_{\text{вх}}} \right) 100\%, \quad (3)$$

где $m_{\text{вых}}$, $m_{\text{вх}}$ – массы пыли в газовом потоке на выходе из аппарата и входе в него, кг.

По результатам испытаний были получены графические зависимости степени очистки от режимных параметров.

Зависимость эффективности очистки от средней скорости газа для разных плотностей орошения и чисел оборотов ротора представлена на рис. 4, 5. Незначительное уменьшение η с ростом $w_{\text{ср}}$ связано с тем, что большие локальные скорости газового потока способствуют уносу частиц пыли аналогично капельному брызгоуносу.

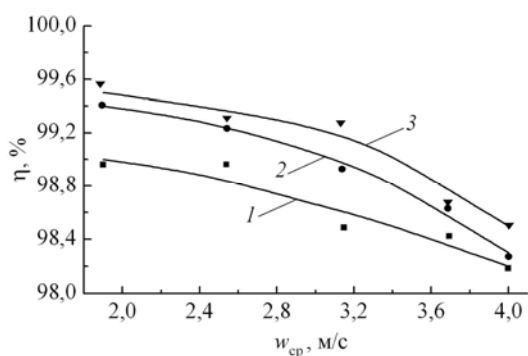


Рис. 4. Зависимость эффективности очистки для частиц $d_{cp} = 26$ мкм от средней скорости газа при $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$:
1 – $q = 3,3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; 2 – 6,4; 3 – 8

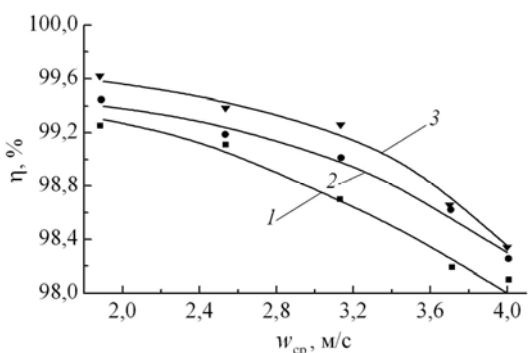


Рис. 5. Зависимость эффективности очистки для частиц $d_{cp} = 26$ мкм от средней скорости газа при $q = 6,4 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$:
1 – $n = 600 \text{ мин}^{-1}$; 2 – 1000; 3 – 1400

С возрастанием n (рис. 5) увеличиваются скорости капель жидкости, которые в момент полета увлекают твердые частицы из газового потока к стенке аппарата и, следовательно, количество уносимой из аппарата пыли уменьшается.

Из рис. 6 видно, что эффективность очистки повышается с увеличением плотности орошения. Это объясняется тем, что в объеме аппарата становится больше капель диспергируемой жидкости, при этом вероятность контакта капель и твердых частиц растет.

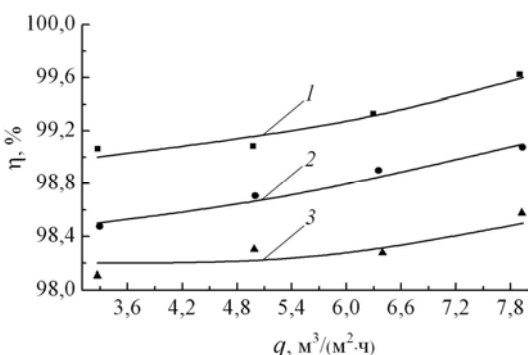


Рис. 6. Зависимость эффективности очистки для частиц $d_{cp} = 26$ мкм от плотности орошения при $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$:
1 – $w_{cp} = 2,9 \text{ м/с}$; 2 – 3,3; 3 – 4

Такие рабочие характеристики, как гидравлическое сопротивление контактной ступени аппарата и потребляемая ротором мощность, при максимальных нагрузках по газовой и жидкой фазам не превышали 450 Па и 65 Вт соответственно [7].

Заключение. 1. Изучен относительный унос жидкости и установлено, что на ступени контакта он не превышает 1,2%, что свидетельствует о большой пропускной способности исследуемого аппарата по сравнению с существующими роторными дисперсионно-пленочными, а также с традиционными колонными аппаратами. Предложена аналитическая зависимость для его расчета.

2. Проведенные полупромышленные испытания роторного дисперсионно-пленочного аппарата на ОАО «Крион» показали высокую эффективность (99,5%) в процессе мокрой очистки газа от взвешенных твердых частиц.

3. Роторный дисперсионно-пленочный аппарат целесообразно применять в процессах абсорбции, десорбции, хемосорбции с целью очистки газов от вредных примесей или извлечения ценных компонентов при ограниченном числе контактных ступеней. Возможно использование этого аппарата для мокрой очистки газа от твердых взвешенных частиц.

Литература

1. Рамм, В. М. Абсорбция газов / В. М. Рамм. – 2-е изд., перераб. – М.: Химия, 1976. – 655 с.
2. Щукин, В. К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил / В. К. Щукин. – М.: Машиностроение, 1970. – 331 с.
3. Пленочная тепло- и массообменная аппаратура / В. М. Олевский [и др.]; под общ. ред. В. М. Олевского. – М.: Химия, 1988. – 240 с.
4. Люতারевич, И. А. Исследование структуры потоков и сепарации фаз в роторном дисперсионно-пленочном аппарате / И. А. Люতারевич, В. А. Марков, Е. В. Перминов // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорганич. в-в. – 2008. – Вып. XV. – С. 166–168.
5. Люতারевич, И. А. Исследование массообмена в роторном дисперсионно-пленочном аппарате / И. А. Люতারевич // Инженерно-физический журнал. – 2006. – Т. 80, № 2. – С. 144–148.
6. Красовицкий, Ю. В. Обеспыливание промышленных газов в фаянсовом производстве / Ю. В. Красовицкий, А. В. Малинов, В. В. Дуров. – М.: Химия, 1994. – 272 с.
7. Люতারевич, И. А. Исследование гидродинамики в неорошаемом роторном массообменном аппарате / И. А. Люতারевич, В. А. Марков, А. И. Вилькоцкий // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорганич. в-в. – 2006. – Вып. XIV. – С. 103–105.