

И. А. Лютаревич, аспирант; В. А. Марков, д-р техн. наук

### ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ И МАССООБМЕНА В РОТОРНОМ АППАРАТЕ

Results of experimental researches of a mass transfer in the rotor apparatus are instanced. Character of change of efficiency of a mass transfer from regime parameters is revealed. The purpose of researches was studying influence of regime parameters of work the rotor apparatus on process of a mass transfer, and also reception of new experimental results and analytical dependences for calculation of hydraulic resistance and power consumption a rotor of the developed design. Comparison on efficiency and a hydraulic resistance of the developed design with known is made. Analytical dependences for calculation of a hydraulic resistance and power of the drive of a rotor which will allow to develop a technique of engineering calculation of apparatuses of the given type are received. During carrying out of experiment it has been established, that the density of an irrigation and frequency of rotation of a rotor of essential influence on hydraulic resistance did not render. It is revealed, that hydraulic resistance develop designs less than at others rotor apparatus at identical speeds of gas.

Повышение качества продукции и экологические характеристики процесса (в первую очередь содержание примесей в жидких и газообразных отходах производства) относятся к важным проблемам, связанных с совершенствованием технологических процессов. При этом большое значение имеет осуществление эффективных процессов массообмена между потоками с минимальными затратами энергии.

Одним из перспективных путей решения указанной проблемы признано использование для процессов массообмена роторных аппаратов с взаимодействием фаз в закрученном потоке.

Анализ результатов исследований и публикаций [1–5] свидетельствует о том, что эффективность переноса массы в аппаратах с подводом энергии извне превосходит кинетические характеристики контактных устройств с традиционными способами взаимодействия фаз в системах газ – жидкость, и это способствует заметному уменьшению габаритных размеров оборудования.

Таким образом, среди поверхностных, распыливающих, барботажных и роторных аппаратов следует выделить роторные дисперсионно-пленочные, в которых взаимодействие фаз осуществляется в зоне интенсивного диспергирования жидкости распыливающим устройством с последующим контактом фаз в зоне пленочного течения жидкости. Применение же в таких аппаратах закрученного потока позволяет интенсифицировать проводимые процессы и существенно увеличить нагрузки по газу при сравнительно невысоком гидравлическом сопротивлении аппарата.

Для взаимодействия газожидкостных систем в закрученном потоке разработана двухступенчатая конструкция роторного дисперсионно-пленочного аппарата (рис. 1), включающего цилиндрический корпус 1 с тангенциальным входным 2 и выходным 3 патрубками для газа, диспергирующее жидкость устройства 4

(перфорированные цилиндры), закрепленные на приводном валу 5, который приводится в движение электродвигателем 9. Необходимая частота вращения вала устанавливается частотным преобразователем 10. Диспергирующие устройства выполнены в виде полого перфорированного цилиндра с отбортовкой, чтобы избежать перелива жидкости. Диаметр аппарата составляет 0,195 м, диспергирующего устройства – 0,054 м, угол входного патрубка к горизонтали – 7°.

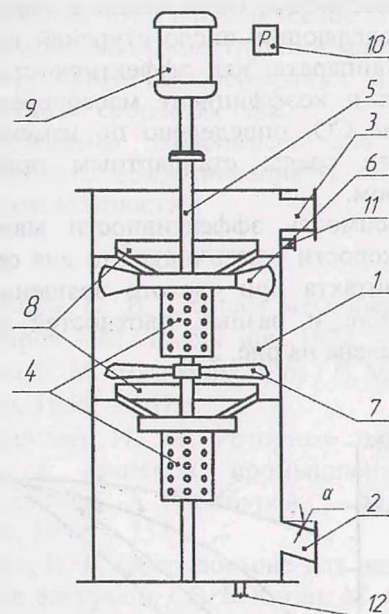


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:  
1 – корпус; 2 – входной патрубок; 3 – выходной патрубок; 4 – диспергирующее устройство; 5 – вал; 6 – лопастный завихритель; 7 – крыльчатка; 8 – переливное устройство; 9 – электродвигатель; 10 – частотный преобразователь; 11, 12 – штуцер соответственно для подвода и отвода жидкости

Принцип работы аппарата: газ (воздух) подается в аппарат снизу и после прохождения через тангенциально установленный к корпусу входной

патрубок 2 закручивается. Жидкость (абсорбент) поступает через штуцер 11 по переливному устройству 8 во вращающийся перфорированный цилиндр 4 и диспергируется на капли. Далее жидкость стекает в виде пленки по стенке аппарата на нижеледующую ступень контакта (процесс диспергирования повторяется) и отводится через штуцер 12. Крутка потока на верхней ступени поддерживается крыльчаткой 7, состоящей из винтовых лопастей, установленной на валу. Она также служит для сепарирования капель жидкости, уносимой с нижней ступени контакта. Унос капель жидкости из аппарата газовым потоком отсутствует, так как на верхнем диспергирующем цилиндре установлен дополнительно лопастный завихритель 6. Таким образом, взаимодействие газа с жидкой фазой осуществляется как в дисперсном, так и в пленочном режимах.

Цель исследований – изучить влияние режимных параметров работы роторного аппарата на процесс массообмена, а также получить новые экспериментальные результаты и аналитические зависимости для расчета гидравлического сопротивления и потребляемой мощности ротором разработанной конструкции.

Исследования процесса массообмена проводились в лабораторных условиях при десорбции  $\text{CO}_2$  из воды. По результатам эксперимента рассчитаны такие важные характеристики, определяющие число ступеней контакта и высоту аппарата, как эффективность ступени контакта и коэффициент массопередачи. Содержание  $\text{CO}_2$  определено по изменению кислотности среды стандартным прибором – рН-метром.

Зависимость эффективности массообмена  $E_{\text{ж}}$  от скорости газа в аппарате для одной ступени контакта при частоте вращения ротора  $n = 23$  об/с и разных плотностях орошения представлена на рис. 2.

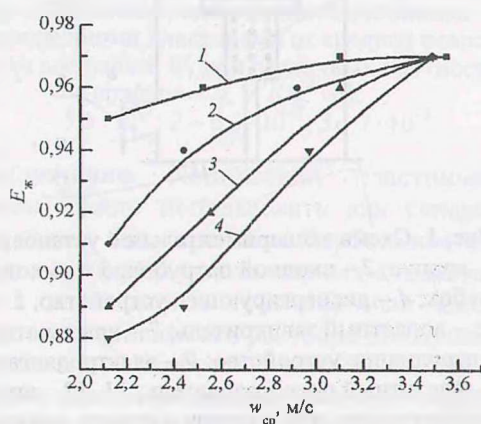


Рис. 2. Зависимость эффективности массообмена от средней скорости газа ( $n = 23$  об/с) при плотностях орошения,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ : 1 – 3,266; 2 – 4,803; 3 – 4,976; 4 – 7,941

Как видно из представленного графика, эффективность массообмена возрастает. Это объясняется тем, что при повышении скорости газа повышается закрутка пленки жидкости на стенке аппарата, происходит интенсификация процесса массообмена путем турбулизации потоков. С повышением плотности орошения увеличивается толщина пленки жидкости, что способствует более быстрому ее стеканию по стенке аппарата, а следовательно, и снижению эффективности массообмена.

Для сравнительного анализа разработанной конструкции с известными проведены исследования по десорбции двуокиси углерода из воды для ситчатой тарелки со следующими параметрами: диаметр отверстий в тарелке 3 мм; шаг между отверстиями 8 мм; высота переливного порога 20 мм; относительное свободное сечение тарелки 13,6 %. Диапазон изменения нагрузки по жидкости составил 2,5–6,2  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ . Средняя скорость газа по сечению аппарата изменялась от 1,1 до 1,8 м/с.

Анализируя зависимости, представленные на рис. 3, можно отметить, что с повышением плотности орошения и средней скорости газа эффективность массообмена для ситчатой тарелки снижается. Как известно [1–2], эти тарелки хорошо работают в пенном режиме, которому соответствуют определенные скорости газа. Увеличение же скорости газа до 1,3 м/с и более приводит к изменению пенного режима на тарелке и тем самым к снижению эффективности массообмена.

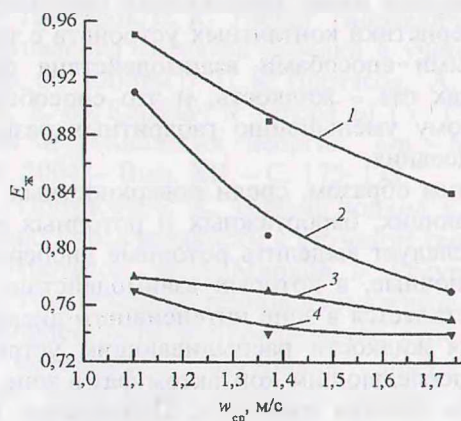


Рис. 3. Зависимость эффективности массообмена от средней скорости газа для ситчатой тарелки при плотностях орошения,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ : 1 – 2,538; 2 – 3,732; 3 – 4,976; 4 – 6,17

Важной характеристикой массообменных аппаратов, определяющей энергозатраты на проведение процесса, является гидравлическое сопротивление. В ходе проведения эксперимента было установлено, что плотность орошения и частота вращения ротора существенного влияния на гидравлическое сопротивление не оказывают.

На рис. 4 приведена зависимость гидравлического сопротивления от скорости газа при разных частотах вращения ротора.

Для расчета гидравлического сопротивления при скоростях газа 1,5–4,2 м/с может быть использовано выражение, полученное после обработки экспериментальных данных:

$$\Delta P = 36,581 w_{\text{cp}}^{1,74} \quad (1)$$

Разница рассчитанных по уравнению (1) и определенных экспериментально значений не превышает 1,5 %.

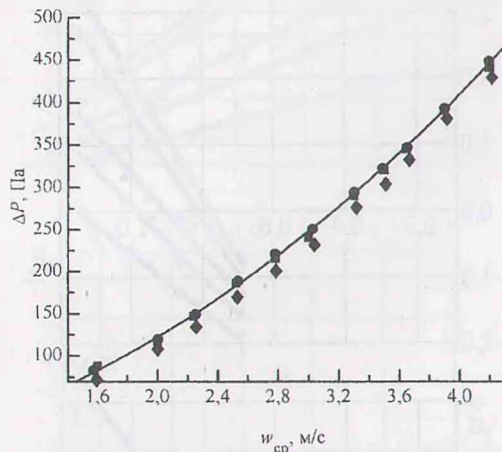


Рис. 4. Зависимость гидравлического сопротивления  $\Delta P$  от средней скорости газа  $w_{\text{cp}}$  при разных частотах вращения ротора,  $\text{c}^{-1}$ :  
♦ – 10; ■ – 16,7; ● – 23,3

Сравнивая характеристики некоторых роторных массообменных аппаратов, используемых для процессов абсорбции, можно отметить, что гидравлическое сопротивление большинства конструкций составляет 200–1200 Па при скоростях газа 1–4 м/с [5]. Разработанная конструкция аппарата обладает меньшим гидравлическим сопротивлением и, следовательно, более низкими энергозатратами при одинаковой нагрузке по газовой фазе.

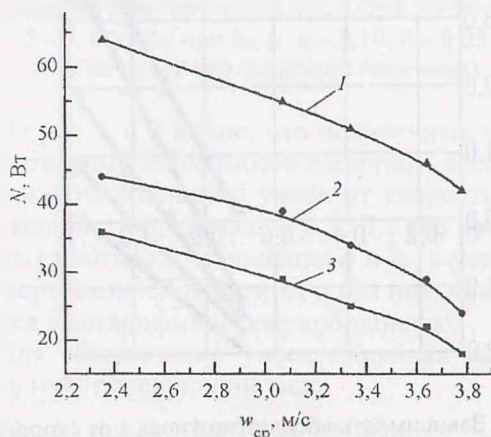


Рис. 5. Зависимость величины потребляемой ротором мощности  $N$  от средней скорости газа  $w_{\text{cp}}$  при разных частотах вращения ротора,  $\text{c}^{-1}$ :  
1 – 23,3; 2 – 16,7; 3 – 10

Кроме гидравлического сопротивления на величину удельных энергозатрат будут оказывать влияние затраты мощности на вращение ротора. На рис. 5 представлены результаты исследований потребляемой ротором мощности  $N$  от средней скорости газа. Затраты определены по разности мощностей, потребляемых приводным электродвигателем и с установленным на нем ротором.

Уменьшение потребляемой мощности с возрастанием скорости газа (расхода) объясняется тем, что при увеличении числа оборотов приводного электродвигателя газовый поток воздействует на крыльчатку, установленную на валу и способствует вращению ротора.

Зависимость потребляемой ротором мощности от числа оборотов ротора и величины среднерасходной скорости газового потока в аппарате аппроксимирована следующим выражением:

$$N = 13,42 + 24,32 w_{\text{cp}} - 0,994 n - 0,215 w_{\text{cp}} n - 5,6 w_{\text{cp}}^2 + 0,108 n^2 \quad (2)$$

Разница между рассчитанной по (2) и экспериментальной потребляемой мощности не превышает 5,6 %.

**Выводы.** 1. Исследованы особенности массообмена в роторном аппарате при взаимодействии фаз в закрученном потоке. Установлена высокая эффективность контактной ступени аппарата.

2. Выявлено, что гидравлическое сопротивление разработанной конструкции меньше чем у других роторных массообменных аппаратов при одинаковых скоростях газа.

3. Предложены зависимости для расчета гидравлического сопротивления и потребляемой ротором мощности.

## Литература

- Кафаров, В. В. Основы массопередачи / В. В. Кафаров. – М.: Высш. шк., 1972. – 494 с.
- Рамм, В. М. Абсорбция газов / В. М. Рамм. – М.: Химия, 1966. – 767 с.
- Василинец, И. М. Роторные пленочные аппараты в пищевой промышленности / И. М. Василинец, А. Г. Сабуров. – М.: Агропромиздат, 1989. – 254 с.
- Коган, В. Б. Оборудование для разделения смесей под вакуумом / В. Б. Коган, М. А. Харисов. – Л.: Машиностроение, 1976. – С. 286–312.
- Олевский, В. М. Пленочная тепло- и массообменная аппаратура / В. М. Олевский [и др.]. – М.: Химия, 1988. – 240 с.
- Вайтехович, П. Е. Разработка и исследование вихревых массообменных аппаратов: дис. ... канд. техн. наук / П. Е. Вайтехович. – Минск, 1982. – 211 л.
- Слободняк, И. П. Исследование гидродинамики и массопередачи на кольцевых пластинчатых тарелках / И. П. Слободняк, Л. Г. Григорьев // Изв. вузов. Пищевая технология. – 1966. – № 3. – С. 151–157.