

УДК 66.021.3

И. А. Лютаревич, ассистент (БГТУ); В. А. Марков, профессор (БГТУ);  
А. И. Вилькоцкий, ст. преподаватель (БГТУ)

### ИССЛЕДОВАНИЕ МАССООБМЕНА В РОТОРНОМ ДИСПЕРСИОННО-ПЛЕНОЧНОМ АППАРАТЕ

Проведенные исследования процесса массообмена в роторном дисперсионно-пленочном аппарате показали высокую эффективность. Для определения объемного коэффициента массоотдачи в газовой фазе применялась методика, основанная на адиабатическом испарении воды в воздушный поток. Использование закрученного газо-жидкостного потока в роторном дисперсионно-пленочном аппарате позволило увеличить эффективность массообмена и производительность по газу по сравнению с аналогичными роторными аппаратами. Получены аналитические зависимости для расчета массообменных характеристик.

The carried out researches of process of a mass transfer in the rotor dispersion-film apparatus have shown high efficiency. In probes of a mass transfer performances in a gas phase the technique, founded on an adiabatic evaporation of water in an air flow utilised. Use twirled of the gas-liquid stream in the rotor dispersion-film apparatus has allowed to increase efficiency of a mass transfer and productivity on gas in comparison with analogous of rotor apparatuses. Analytical dependences for calculation of a mass transfer characteristics are received.

**Введение.** Основным и определяющим критерием работы массообменного аппарата является эффективность процесса массообмена, зависящая от конструктивных параметров, гидродинамических характеристик, скорости газа, плотности орошения. Зная массообменные характеристики одного аппарата, можно проводить сравнительную оценку эффективности его работы в зависимости от существующих конструкций. В качестве сравниваемых параметров в большинстве случаев используют коэффициент массоотдачи  $\beta$  или массопередачи  $K$  и эффективность массообмена  $E$ , т. к. эти характеристики являются основными при расчете числа ступеней контакта фаз и высоты массообменного аппарата.

Важными характеристиками, определяющими число ступеней и высоту массообменного аппарата, являются эффективность ступени контакта и коэффициент массопередачи.

Ранее на кафедре процессов и аппаратов химических производств была разработана конструкция роторного дисперсионно-пленочного аппарата [1] для локальной очистки газовых потоков и проведены исследования процесса массообмена при десорбции диоксида углерода из воды в воздух. Взаимодействие фаз осуществлялось в закрученном потоке. Сравнительный анализ по результатам экспериментальных данных показал, что эффективность массообмена в разработанном аппарате выше, чем для ситчатых тарелок и прямочных центробежных устройств.

Настоящие исследования роторного дисперсионно-пленочного аппарата направлены на изучение процесса массообмена в газовой фазе с последующей сравнительной оценкой работы аналогичных аппаратов.

**Метод исследования.** Для экспериментального определения объемного коэффициента массоотдачи в газовой фазе в настоящее время широко применяется методика, основанная на адиабатическом испарении воды в воздушный поток [2], которая принята в качестве стандартной для сравнительной оценки эффективности контактных устройств массообменных аппаратов.

Для вычисления относительной влажности воздуха до и после контактирования в аппарате использовался термогигрометр «ИВА-6Б2».

Коэффициент массоотдачи в газовой фазе, отнесенный к рабочему объему аппарата, рассчитывался по формуле

$$\beta_{Vy} = \frac{G}{V} \ln \frac{x^* - x_n}{x^* - x_k}, \quad (1)$$

где  $G$  – расход жидкой фазы,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $V$  – рабочий объем аппарата,  $\text{м}^3$ ;  $x^*$  – влагосодержание насыщенного воздуха,  $\text{кг}/\text{кг}$ ;  $x_n$ ,  $x_k$  – начальное и конечное влагосодержание воздуха на входе в аппарат и на выходе из него соответственно,  $\text{кг}/\text{кг}$ .

В ходе проведения опытов относительная влажность воздуха изменялась не более чем на 0,5%. Температура воздуха и жидкости была равна 15–18°C. Диапазон изменения плотности орошения составлял 3–8  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ . Среднерасходная скорость газа в аппарате изменялась от 2 до 3  $\text{м}/\text{с}$ .

Для каждого режимного параметра работы аппарата замерялись начальная и конечная относительная влажность воздуха и температура. Эффективность массопередачи при испарении воды рассчитывалась по формуле [3]

$$E_y = \frac{x_k - x_n}{x^* - x_n} \quad (2)$$

### Результаты экспериментальных данных.

Полученные значения обработаны и представлены в виде графических зависимостей на рис. 1–4.

На рис. 1 изображена зависимость объемного коэффициента массоотдачи в газовой фазе от средней скорости газа для разных плотностей орошения. Установлено, что объемный коэффициент массоотдачи растет с увеличением скорости газа и плотности орошения. Это можно объяснить следующими причинами. Как известно [4], плотность орошения не оказывает существенного влияния на дисперсный состав жидкой фазы, но с ее увеличением в объеме массообменного аппарата в любой момент времени будет находиться большее количество жидкости и, следовательно, образуется большее количество капель, имеющих приблизительно тот же размер, что и при низкой плотности орошения. В результате происходит турбулизация потоков взаимодействующих фаз и интенсификация массообменного процесса.

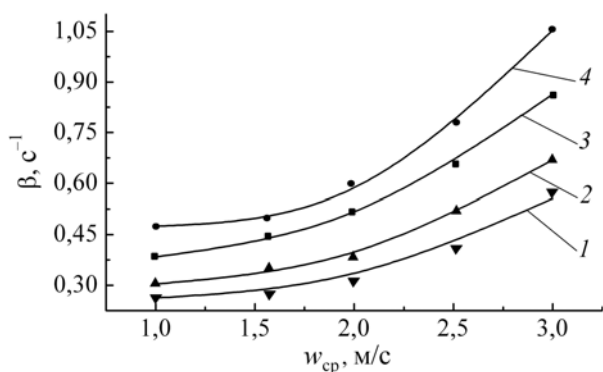


Рис. 1. Зависимость объемного коэффициента массоотдачи от средней скорости газа при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ :  
1 –  $q = 3,3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ; 2 – 5,0; 3 – 6,4; 4 – 8,0

Так как число оборотов ротора  $n$  является одним из важнейших параметров работы роторного аппарата, оказывающих влияние на дисперсный состав, то получена графическая зависимость объемного коэффициента массоотдачи от средней скорости при различных  $n$  (рис. 2). Согласно результатам исследований [4], повышение числа оборотов ротора при постоянстве прочих параметров работы аппарата приводит к увеличению размеров капель, образующихся под действием центробежных сил в процессе диспергирования жидкости при ее истечении через отверстия в стенке полого вращающегося цилиндра. Кроме того, повышение  $n$  приводит к росту окружных скоростей вращения диспергирующего цилиндра и, следовательно, к возрастанию скоростей движения капель жидкости. В целом

перечисленные факторы способствуют интенсификации массообмена. Из приведенных графиков также видно, что приращение числа оборотов ротора при высоких скоростях газа в аппарате приводит к увеличению объемного коэффициента массоотдачи на большую величину, чем при низких. В данном случае, кроме вышеуказанных причин, интенсификация массообмена достигается за счет дополнительной турбулизации взаимодействующих фаз закрученным газовым потоком.

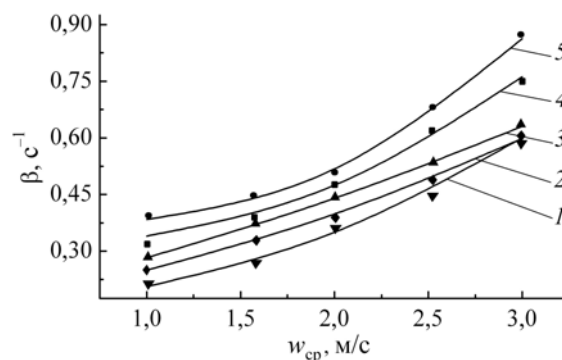


Рис. 2. Зависимость объемного коэффициента массоотдачи от средней скорости газа при  $q = 5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ :  
1 –  $n = 600 \text{ мин}^{-1}$ ; 2 – 800; 3 – 1000; 4 – 1200; 5 – 1400

Зависимости эффективности массообмена от скорости газа в аппарате для различных плотностей орошения и чисел оборотов ротора представлены на рис. 3, 4. Как видно из графиков, с увеличением скорости газового потока эффективность массообмена снижается за счет сокращения времени пребывания газа в аппарате. Вместе с тем каждое последующее увеличение скорости газа на одинаковую величину приводит к большему снижению эффективности по сравнению с предыдущим (наклон линий к оси абсцисс увеличивается) вследствие интенсивного уноса жидкости из аппарата.

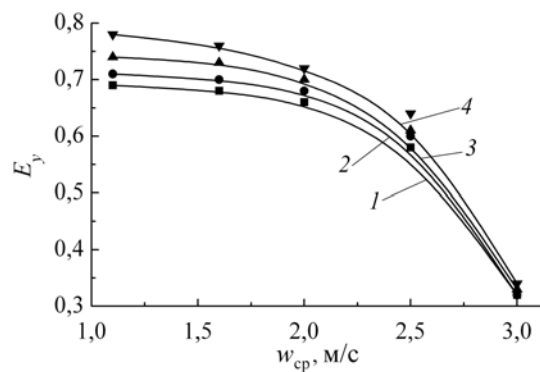


Рис. 3. Зависимость эффективности массообмена от средней скорости газа при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ :  
1 –  $q = 3,3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ; 2 – 5,0; 3 – 6,4; 4 – 8,0

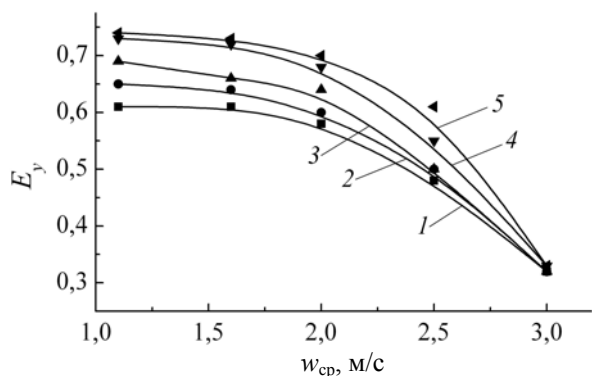


Рис. 4. Зависимость эффективности массообмена от средней скорости газа при  $q = 5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ :  
1 –  $n = 600 \text{ мин}^{-1}$ ; 2 – 800; 3 – 1000; 4 – 1200; 5 – 1400

Увеличение числа оборотов ротора способствует увеличению эффективности массообмена в силу указанных выше причин (рис. 5).

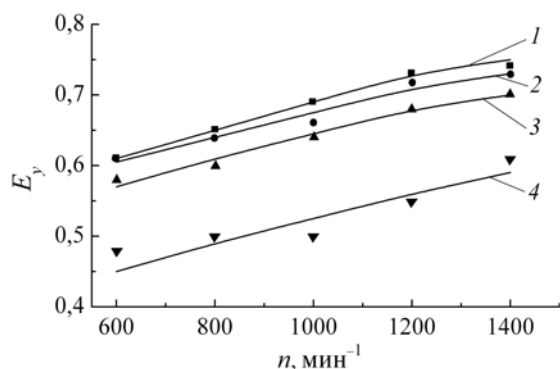


Рис. 5. Зависимость эффективности массообмена от числа оборотов ротора при  $q = 5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ :  
1 –  $w_{cp} = 1,1 \text{ м/с}$ ; 2 – 1,6; 3 – 2,0; 4 – 2,5

В работе [4] изучался процесс массообмена при испарении воды в воздух для конструкций аппаратов с насадочным ротором и набором коаксиальных перфорированных цилиндров при взаимодействии фаз в перекрестноточном режиме. Эффективность процесса массообмена  $E_y$  для этих аппаратов достигала 74%. Скорость газового потока при максимальных значениях  $E_y$  не превышала 1 м/с. Для исследуемой конструкции аппарата такая эффективность достигалась и при больших скоростях газа (1,5–2,0 м/с). Это объясняется взаимодействием фаз в закрученном потоке, что позволяет интенсифицировать процесс массообмена, сократить как унос жидкости, так и капитальные затраты на изготовление аппарата и увеличить пропускную способность по газовой фазе.

Таким образом, определяющее влияние на объемный коэффициент массоотдачи  $\beta_{Vy}$  и эффективность массообмена  $E_y$  оказывают скорость газа  $w_{cp}$ , м/с, плотность орошения  $q$ ,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , и число оборотов ротора  $n$ ,  $\text{мин}^{-1}$ . Результаты исследований по массообмену аппроксимированы следующими зависимостями:

$$\beta_{Vy} = 8,695 \cdot 10^{-3} w_{cp}^{0,756} q^{0,657} n^{0,34}, \quad (3)$$

$$E_y = 0,143 w_{cp}^{-0,255} q^{0,112} n^{0,206}. \quad (4)$$

Разница между рассчитанными по формулам (3), (4) и определенными экспериментально объемным коэффициентом массоотдачи в газовой фазе и эффективностью процесса массообмена не превышает 11 и 13% соответственно.

**Заключение.** 1. Исследования процесса массообмена при испарении воды в воздух показали высокую эффективность процесса массообмена для роторного дисперсионно-пленочного аппарата.

2. Использование закрученного газожидкостного потока в роторном дисперсионно-пленочном аппарате позволило увеличить эффективность массообмена и производительность по газу по сравнению с аналогичными роторными аппаратами.

3. Предложены аналитические зависимости для расчета объемного коэффициента массоотдачи в газовой фазе и эффективности массообмена.

## Литература

1. Лютаревич, И. А. Исследование массообмена в роторном дисперсионно-пленочном аппарате / И. А. Лютаревич // Инженерно-физический журнал. – 2006. – Т. 80, № 2. – С. 144–148.

2. Олевский, В. М. Пленочная тепло- и массообменная аппаратура / В. М. Олевский [и др.]; под общ. ред. В. М. Олевского. – М.: Химия, 1988. – 240 с.

3. Вайтехович, П. Е. Разработка и исследование вихревых массообменных аппаратов: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08 / П. Е. Вайтехович. – Минск, 1982. – 211 л.

4. Волков, В. К. Закономерности движения и взаимодействия фаз в роторных массообменных аппаратах: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08 / В. К. Волков. – Минск, 1993. – 182 л.

Поступила 31.03.2010