

Остро стоящая в настоящее время проблема загрязнение атмосферы «парниковыми газами», в частности – диоксидом углерода, требует полноценной очистки многотонных газовых выбросов промышленных предприятий. Рядом исследований [1] показана перспективность для этих целей полых вихревых аппаратов с пористыми вращающимися распылителями (ПВР), обеспечивающих высокую скорость газа при низких материало- и энергозатратах [2]. ПВР выполнены в виде цилиндрических стаканов из пористого материала с минимальным разбросом частиц по размерам. Каплеобразования на поверхности ПВР происходит на границе материала [9]. Размер капель определяется размерами частиц и окружной скоростью вращения распылителя. ПВР обеспечивает равномерный по высоте аппарата факел распыливаемой жидкости с высокой степенью монодисперсности [2]. Схема полого вихревого аппарата с пористыми вращающимися представлена на рис. 1.

Рис. 1 - Вихревой аппарат с пористым вращающимся распылителем: 1 – двигатель; 2 – штуцер для входа газа; 3 – пористые вращающиеся распылители; 4 – узел распределения жидкости; 5 – штуцер для выхода жидкости; 6 – опора подвесного вала; 7 – штуцер для выхода газа

Исследование эффективности массопереноса при очистке воздуха от двуокиси углерода проводилось в аппарате с ПВР: Диаметр аппарата 250 мм; Диаметр ПВР 51,5 мм; Размер гранул 250 мкм; При следующих условиях: Расход воздуха 5-15 м/с; Расход воды 0,7-3,5 м³/ч; Скорость вращения ПВР 9-14 м/с; Температура воздуха и воды 20±0,50С. Пробы жидкости в объеме аппарата отбирались изокINETическим зондом, а их анализ на содержание двуокиси углерода проводился стандартными газоанализаторами. Исследование показало, наличие в полом вихревом аппарате с ПВР две последовательных стадии массопереноса: при движении капель к периферии аппарата и при стекании жидкости по его внутренней стенке. Изменение концентрации двуокиси углерода в жидкости по радиусу аппарата показано на рис. 2.

Рис. 2 - Изменение концентрации диоксида углерода по радиусу аппарата при расходе жидкости 2,12 м³/ч и расходах воздуха м/с: 1 – 5,1; 2 – 8,12; 3 – 12,7; 4 – 15,2

Оценка механизма массопереноса в каплях жидкости осуществлялась по двум моделям [4, 5]: 1. Модель Ньюмена, предполагающая отсутствие конвективного массопереноса внутри капель. (1) 2. Модель Кронига-Бринка, учитывающая как молекулярный перенос вещества в капле, так и конвективный перенос вдоль линий тока. (2) где – степень извлечения; C_0 , C , C_p – начальная, текущая и равновесная концентрации двуокиси углерода в каплях, мг/л; D – коэффициент молекулярной диффузии капли, м²/с; t – время контакта, с; a_{32} – среднестатистический диаметр капли, V_p и λ_p – собственные коэффициенты уравнений. Коэффициенты массопереноса в каплях рассчитывались по уравнению Геддеса [6]: (3) Экспериментальные значения коэффициентов массопереноса в каплях и рассчитанные по уравнениям 1-3 приведены на рис. 3.

Рис. 3 - Зависимость коэффициента

массопереноса в каплях жидкости от числа Рейнольдса: 1 – модель Ньюмена; 2 – модель Кронига-Бринка; 3 – экспериментальные данные. Поскольку значения чисел Re капель жидкости в исследованной области нагрузок по газу и скорости вращения ПВР не превышают 2000, в каплях имеет место исключительно диффузионный механизм переноса массы, соответствующий модели Ньюмена. Сопоставление опытных данных и рассчитанных по соотношению [7] значений коэффициентов массоотдачи в пленке жидкости (табл. 1) показывает систематическое превышение первых (на 15-20%). Очевидно, это вызвано дополнительной интенсификацией массообмена за счет ударов капель о поверхность пленки жидкости. Для оценки эффекта была использована математическая модель [8], учитывающая взаимодействие капель с поверхностью пленки. Таблица 1 - Сопоставление значений коэффициентов массоотдачи в пленке жидкости

Расход жидкости, м ³ /час	Коэффициенты массоотдачи, $\beta \times 10^{-3}$ м/с
Опыт	Расчет
0,72	0,19
0,175	1,36
0,22	0,185
2,12	0,226
0,191	2,83
0,230	0,194
3,47	0,237
0,202	0,202

Модель рассматривает взаимодействие капли жидкости диаметром a и массой m_a , обладающей кинетической энергией E_a , с поверхностью пленки. При взаимодействии кинетическая энергия капли преобразуется в кинетическую энергию возмущения поверхности и потенциальную энергию новой поверхности, согласно уравнению: (4) где R – радиус зоны возмущения, м; ρ_L – плотность жидкости, кг/м³; δ – толщина вытесненной жидкости волной возмущения, м; σ – поверхностное натяжение, Н/м²; t – время контакта, с; ε – доля энергии капли, пошедшая на диссипацию. Взаимодействие одиночной капли с поверхностью пленки вызывает полное перемешивание жидкости на радиусе R [10]. При потоке n капель, оседающих на 1 м² поверхности, возможны два режима: 1 – поток капель мал: отдельные зоны возмущения не перекрываются последующими. В этом случае доля поверхности пленки, подвергающаяся возмущению за время T составит: (5) 2 – поток капель интенсивен; отдельные зоны возмущения накладываются друг на друга, причем последующие капли прерывают эффект перемешивания предыдущих. Возмущенной оказывается вся поверхность. (6) Связь площади возмущенной поверхности с исходными параметрами имеет вид: (7) Суммарное значение коэффициентов массоотдачи в пленке жидкости при её взаимодействии с каплями будет зависеть как от конвективного массообмена в пленке, так и от воздействия капель на её перемешивание: (8) где β' – коэффициент массоотдачи без воздействия капель, м/с; β'' – коэффициент массоотдачи с учетом воздействия капель, м/с. Значения коэффициентов массоотдачи в пленке жидкости, представленные на (рис. 4), подтверждают влияние удара капель о поверхность пленок на процесс массопереноса и коррелируют с результатами эксперимента. Рис. 4 - Зависимость коэффициента массоотдачи в пленке жидкости при различных значениях возмущения поверхности