

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА АБСОРБЦИИ В АППАРАТЕ ДЛЯ НИЗКОНАПОРНЫХ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ

Ключевые слова: абсорбция, перекрестное взаимодействие фаз.

Представлена математическая модель процесса абсорбции в аппарате с перекрестным взаимодействием фаз. Идентификация математической модели осуществлялась путем сопоставления расчетных и экспериментальных значений степени извлечения, полученных на примере абсорбции аммиака из газовой смеси с водой.

Keywords: absorption, cross reacting phases.

There is the mathematical model of the absorption process in the machine with a cross reacting phases. Identification of the mathematical model was carried out by comparing the calculated and experimental values of the recovery rate obtained by the example of the absorption of ammonia from the air-gas mixture with water.

Проблема очистки промышленных газовых выбросов от вредных газообразных примесей долгое время не имела своего решения в связи с тем, что большинство аппаратов, используемых для целей мокрой очистки газовых смесей в технологических процессах обладают сравнительно большим гидравлическим сопротивлением, тогда как остаточный избыточный напор газовых выбросов не превышает как правило 40-100 мм.вод.ст. [1].

Единственным типом аппаратов, обладающих низким гидравлическим сопротивлением, являются аппараты с механическим распылением жидкости. Однако в силу ряда причин, таких как малая плотность орошения, неравномерное распределение жидкости по сечению, низкая пропускная способность по газовой фазе, их применение было крайне ограниченным [2].

В последнее время были предложены аппараты с распылением жидкости центробежными форсунками, использующими эффект соударения встречных струй [3], что позволяет реализовать радиально направленный факел жидкости, и как следствие, перекрестное взаимодействие фаз. Размещение центробежных форсунок на оси аппарата по всей его высоте обеспечивает любое заданное соотношение расхода жидкости к расходу газа (L/G). Такая компоновка аппарата позволяет достичь заданной степени очистки газовых выбросов от вредных газовых компонентов.

Полная поверхность массообмена в таких аппаратах складывается из поверхности пленок и струй жидкости, образующихся на выходе из форсунок, полидисперсного потока капель, образующегося при соударении встречных струй, и поверхности слоя жидкости на стенке аппарата образующихся при осаждения капель. Оценка этих составляющих показала, что 96-97% всей межфазной поверхности приходится на дисперсный факел жидкости. Это позволяет исключить из дальнейшего рассмотрения малозначимые эффекты, не оказывающие заметного влияния на процесс в рассматриваемом аппарате.

Высокая турбулентность газовой фазы в аппарате и сравнительно небольшая величина от-

ношения диаметра аппарата к его высоте ($D/H < 0,25$) позволяет принять полное перемешивание газа по сечению аппарата, т.е. считать концентрацию распределяемого в газовой фазе компонента постоянной в любом поперечном сечении ($y(r) = \text{const}$). В то же время взаимодействие газа с жидкостью в направлении движения газового потока может сопровождаться частым его перемешиванием. Применительно к жидкой фазе справедлива гипотеза полного вытеснения. Тогда материальный баланс для выделенного элемента аппарата высотой dz , рис. 1., запишется:

$$Gy + S\varepsilon \left(\frac{dy}{dz} + \frac{d^2y}{dz^2} dz \right) = G(y - dy) + S\varepsilon \frac{dy}{dz} + dM \quad (1)$$

где S - поперечное сечение аппарата; ε - коэффициент продольного перемешивания; dM - количество вещества, поглощаемого жидкостью.

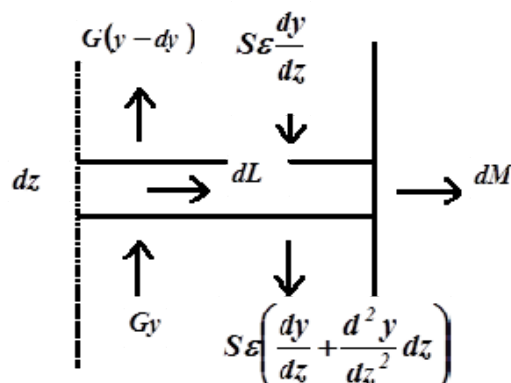


Рис. 1 - Схема массовых потоков в бесконечно малом элементе контактной зоны dz

Исключая в левой и в правой части уравнения одинаковые члены и разделив все члены на dz , получим:

$$S\varepsilon \frac{d^2y}{dz^2} + G \frac{dy}{dz} = \frac{dM}{dz} \quad (2)$$

Введя новую переменную $\xi = Z/H$ и умножив левую и правую части уравнения на H/G запишем:

$$\frac{1}{Pe} + \frac{dy^2}{d\xi^2} + \frac{dy}{d\xi} = \frac{dM}{Gd\xi} \quad (3)$$

где $Pe = \frac{\bar{W}H}{\varepsilon}$ критерий Пекле, характеризующий влияние продольного перемешивания.

Количество вещества, проходящее через поверхность капель в выделенном элементе контактной зоны

$$dM = \int_{a_{min}}^{a_{max}} \frac{\pi \cdot a^3}{6} (x_k - x_n) dN_\tau \cdot n_\tau(a) da \quad (4)$$

где dN_τ - количество капель, поступающих в выделенный элемент в единицу времени; $n_\tau(a)$ - функции плотности распределения капель по размерам, определяющая сколько капель заданного размера образуется в единицу времени; x_k, x_n - конечные и начальные концентрации распределяемого компонента в каплях. В конкретных условиях исследуемого аппарата конечная концентрация для капель разного размера будет различной в силу разного времени пребывания капель в зоне контакта.

Количество жидкости, поступающей в выделенный элемент аппарата

$$dL = L(\xi) d\xi \quad (5)$$

где L - общее количество жидкости, поступающей на орошение аппарата; $L(\xi)$ - функция распределения жидкости по высоте аппарата. В случае равномерного распределения жидкости $L(\xi) = 1$.

Расход жидкости через выделенный элемент связан с количеством капель соотношением:

$$dL = dN_\tau \int_a \frac{\pi \cdot a^3}{6} \cdot n_\tau(a) da \quad (6)$$

Тогда

$$\frac{dM}{d\xi} = L \int_a (x_k - x_n) v_\tau(a) da, \quad (7)$$

где

$$v_\tau(a) = \frac{\left(\frac{\pi \cdot a^3}{6} \right) \cdot n_\varepsilon(a)}{\int_a \left(\frac{\pi \cdot a^3}{6} \right) \cdot n_\varepsilon(a) da}$$

- объемная функция распределения капель по размерам, определяемая на основе экспериментального исследования дисперсного состава факела жидкости.

Окончательно уравнение (3) имеет вид:

$$\frac{1}{\tau\varepsilon} \cdot \frac{dy^2}{d\xi^2} + \frac{dy}{d\xi} = \frac{L}{G} \int_a (x_k - x_n) v_\tau(a) da \quad (8)$$

Результирующий эффект очистки газа оценивался степенью извлечения

$$E = \frac{y_n - y_k}{y_n} \quad (9)$$

Значение конечной концентрации капель различного размера определялись путем численного решения системы уравнений движения капель совместно с уравнением массопереноса.

Расчет степени очистки воздуха E от паров аммиака водой в аппарате с высотой контактной зоны $H = 1,0$ м при постоянном значении отношения расходов фаз $L/G = 1,0$ и переменных значениях критерия Pe , т.е. степени продольного перемешивания газа, показало существенное влияние степени продольного перемешивания газа на эффективность процесса очистки. Установлено, что при значениях критерия $Pe < 0,3$ процесс переноса в газовой фазе соответствует модели полного перемешивания, а при значениях $Pe > 15$ - модели идеального вытеснения. Аналогичный результат был получен в работе [4].

С целью идентификации предложенной модели массообмена в аппарате с перекрестным взаимодействием фаз было проведено экспериментальное исследование степени извлечения на примере абсорбции паров аммиака из газо-воздушной смеси водой при температуре газа и жидкости $20 \pm 0,5$ °C. Содержание паров аммиака в газо-воздушной смеси не превышало 5%, что позволило принять постоянное значение константы равновесия. Концентрация аммиака в газо-воздушной смеси измерялась методом титрования. Процесс проводился в аппарате диаметром 250 мм с высотой контактной зоны 1,0 м. Диаметр форсунок, расположенных по оси аппарата был равен 50 мм. Результаты экспериментального измерения степени извлечения показали отсутствие влияния расхода (скорости) газовой фазы и существенное влияние расхода (скорости истечения) жидкости.

Расчет по уравнениям (8) и (9) с учетом распределения потока капель по размерам, времени пребывания капель жидкости в зоне контакта и массопереноса от газа к каплям показал, что предложенная математическая модель процесса массопереноса в аппарате адекватно описывает экспериментальные результаты при значениях критерия $Pe > 15$. Это позволяет заключить об отсутствии влияния продольного перемешивания на степень извлечения и реализовать при расчете степени извлечения модель идеального вытеснения по газовой фазе.

Литература

1. А.Х. Гафаров, Л.И.Лаптева. *Вестн. Казан. технол. ун-та*, 3, 463-467, (2010).
2. Д.Н.Латыпов. *Вестн. Казан. технол. ун-та*, 8, 340-344, (2011).
3. Авт. свид. СССР 1681919 (1991).
4. Н.А. Николаев. *Машины и аппараты химической технологии*. Казань, 5, С.7, (1977).