

УДК 66.021.3:532.5.001.5

А.Е.Рабко, ассистент;
А.И.Ершов, профессор

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ В БАРБОТАЖНОМ СЛОЕ МАССООБМЕННЫХ КОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВ

In this article the new method of the definition the parameters of gas phase in gas-liquid streams is proposed. The method of solving is based on the using the profiles of local air-hydrodynamic characters of double-phase systems. The profiles were obtained by experimental way with the application on the double-electrod pick device and the measuring system based on the apparatus "ИГС".

Для моделирования процессов хемосорбции трудногаство-
римых га ов в массообменных аппаратах с контактными уст-
ройствами барботажного типа необходимо знать некоторые па-
раметры состояния газовой фазы в барботажном слое [1,2].
Целью настоящего исследования явилась разработка модели
полидисперсного потока газовой фазы в газожидкостной сис-
теме, позволяющей с достаточной точностью оперативно опре-
делять распределение газовых включений по размерам и скоро-
стям, оценивать вклад каждой фракции пузырей в их концент-
рацию N , в газосодержание ϵ , в поверхность контакта фаз
 a , в частоту прохождения пузырей f , в перенос газа че-
рез барботажный слой V , а также рассчитать локальную при-
веденную скорость w_{GN} и удельный расход газа в пузырьках
 β_N и струях при осреднении по сечению потока.

Метод расчета параметров газовой фазы основан на об-
работке профилей локальных аэрогидродинамических характе-
ристик двухфазной системы, полученных экспериментальным пу-
тем с помощью двухэлектродного датчика и измерительного
комплекса на базе разработанного авторами прибора ИГС [3,4].

Последовательность определения характери-
стик движения газовой фазы с учетом распределения пузырей по размерам и
скоростям рассмотрим в цилиндрическом восходящем двухфазном
потоке с изменяющимися по радиусу сечения локальными значе-
ниями ϵ, a, f . Введем условие, что при времени осреднения
 $t_2 - t_1 \rightarrow \infty$ и числе фракций пузырей $n \rightarrow \infty$, в пределах каж-
дой i -й фракции пузырей, пересекающие датчики, в совокупности
приближаются к сферической форме и при этом $D_{Ni} \approx D_{N1} \approx D_{Nn}$. Тог-
да количество пузырей, прошедших через кольцевую площадку
 $2\sqrt{r} dz$ в сечении, перпендикулярном направлению потока, равно

$$N_g = J \cdot 2\pi r \cdot dz \quad (1)$$

Значение удельного локального потока пузырей γ определим с учетом их распределения по размерам и скоростям, если принять, что каждая фракция будет иметь свою осредненную по количеству пузырей скорость. Введя дифференциальную функцию распределения пузырей по размерам $\varphi(D)$ и перейдя, соответственно, от дискретных величин к непрерывным при условии, что диапазон диаметров пузырей лежит в пределах $[D_1, D_2]$, получим

$$\gamma = N \cdot \int_{D_1}^{D_2} u(D) \cdot \varphi(D) \cdot dD. \quad (2)$$

Выражение для приведенной локальной скорости газовой фазы при этом примет вид

$$w_{CN} = \frac{J \cdot N}{6} \cdot \int_{D_1}^{D_2} u(D) \cdot \varphi(D) \cdot D^3 \cdot dD. \quad (3)$$

Локальную концентрацию пузырей определим из выражения

$$N = \frac{6 \cdot \epsilon}{J \cdot D_1^3} = \frac{6 \cdot \epsilon}{J \cdot \int_{D_1}^{D_2} \varphi(D) \cdot D^3 \cdot dD}. \quad (4)$$

Для установления вида функции $u(D)$ проанализируем процесс регистрации пузырей с помощью точечного электрода. Пусть f_i - число пузырьков i -й фракции, зарегистрированное зондом в единицу времени. Тогда $f_i \sim p_i \cdot N_i$, где p_i - вероятность появления пузырей i -й фракции в исследуемой точке. С учетом размеров и скоростей пузырей $p_i = u_i \cdot J \cdot dt_i^2 / 4$. При условии неразрывности потока и бесконечном времени регистрации с абсолютной строгостью можно принять

$$f_i = u_i \cdot N_i \cdot \frac{J \cdot D_i^2}{4}. \quad (5)$$

Перейдя к непрерывным величинам и интегрируя по числу фракций пузырей, получим выражение для локальной частоты прохождения пузырей:

$$f = \frac{J \cdot N}{4} \int_{D_1}^{D_2} u(D) \cdot \varphi(D) \cdot D^2 \cdot dD. \quad (6)$$

Из литературы [5,8] зависимость $u(D) = f(D)$ возможно представить в виде

$$u(D) \sim D^m, \quad (7)$$

где m , по данным различных авторов, изменяется в пределах 0,36-0,63, а теоретическое значение $m = 0,5$.

Для дальнейшего анализа необходимо ввести понятие фиктивной гомогенной скорости u_e , т.е. скорости, с кото-

рой должен двигаться относительно электродов датчика фиктивный полидисперсный гомогенный поток, по своей структуре (ϵ, a, f) совпадающий со структурой исследуемого гетерогенного потока, когда частоты прохождения пузырей для обоих потоков становятся равными, т.е. $f_e = f$.

Тогда возможно представить выражение (7) в виде безразмерной зависимости

$$u(D)/u_e = B_u \cdot D^m \quad (8)$$

где B_u - коэффициент распределения, зависящий от структуры потока. На основании зависимостей (4), (6) и (8) определим значение коэффициента распределения:

$$B_u = \frac{\int_{D_1}^{D_2} \psi(D) \cdot D^2 \cdot dD}{\int_{D_1}^{D_2} \psi(D) \cdot D^{m+2} \cdot dD} \quad (9)$$

Выражение (3) с учетом (6), (8) и (9) примет вид

$$W_{GN} = \frac{2}{3} f \cdot \frac{\int_{D_1}^{D_2} \psi(D) \cdot D^{m+3} \cdot dD}{\int_{D_1}^{D_2} \psi(D) \cdot D^{m+2} \cdot dD} \quad (10)$$

Одновременное определение ϵ , a и f в локальной точке потока дает возможность однозначно задать функцию распределения пузырей по размерам $\psi(D)$. Для этой цели хорошо подходит достаточно часто встречающееся в литературе [8] нормальное логарифмическое распределение

$$\psi(D) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \beta \cdot D} \cdot \exp \left[- \left(\ln \frac{D}{D_N} - \alpha \right) / (2 \beta^2) \right] \quad (11)$$

Обработка данных, взятых из литературных источников [5-8], позволила выявить ряд закономерностей в структуре гетерогенного потока и, в частности, существенную и устойчивую зависимость между медианным и объемно-поверхностным диаметром пузырей в локальной точке потока. Так, для барботажных аппаратов в области $D_{V5} = (0,05-0,03)$ м данные распределения со средним относительным отклонением $\pm 8,5\%$ хорошо аппроксимируются выражением

$$D_N = 0,113 \cdot D_{V5}^{0,62} \quad (12)$$

Параметры распределения (11) для указанной области были получены путем решения системы нелинейных уравнений

$$\begin{cases} D_N - \int_{D_1}^{D_2} \psi(D) \cdot D \cdot dD = 0; \\ D_{V5} - \int_{D_1}^{D_2} \psi(D) \cdot D^2 \cdot dD / \int_{D_1}^{D_2} \psi(D) \cdot D^3 \cdot dD = 0; \\ D_N - 0,113 \cdot D_{V5}^{0,62} = 0 \end{cases} \quad (13)$$

Решение было проведено численным методом на ЭВМ. Диа-

пазон интегрирования и шаг автоматически выбирались на каждом цикле счета, исходя из условий:

$$D_1 = 0,0005 \text{ м}, D_2 = D_N \cdot (1 + 6 \cdot \sqrt{\beta^2});$$

$$\sigma^2 = \exp(2 \cdot \alpha + \beta^2) \cdot [\exp(\beta^2) - 1], \quad (14)$$

где σ^2 - дисперсия нормального логарифмического распределения.

Зависимости рассчитанных параметров распределения от D_N аппроксимированы зависимостями:

$$\alpha = 0,0854 - 35,1 \cdot D_N + 1055 \cdot D_N^2 - 17125 \cdot D_N^3,$$

$$\beta = -0,1375 + 132 \cdot D_N - 7466 \cdot D_N^2 + 166798 \cdot D_N^3. \quad (15)$$

Среднее относительное отклонение при расчете α равно $\pm 2,16 \%$, β - $\pm 1,48 \%$.

Таким образом, на основании полученных в локальной точке газожидкостного потока экспериментальных значений ϵ , a и f возможно рассчитать величину

$$D_{15} = 6 \cdot \epsilon / a \quad (16)$$

и, используя выражения (II), (12) и (15), достаточно точно предсказать структуру двухфазного потока для расчета $\overline{d_{GN}}$.

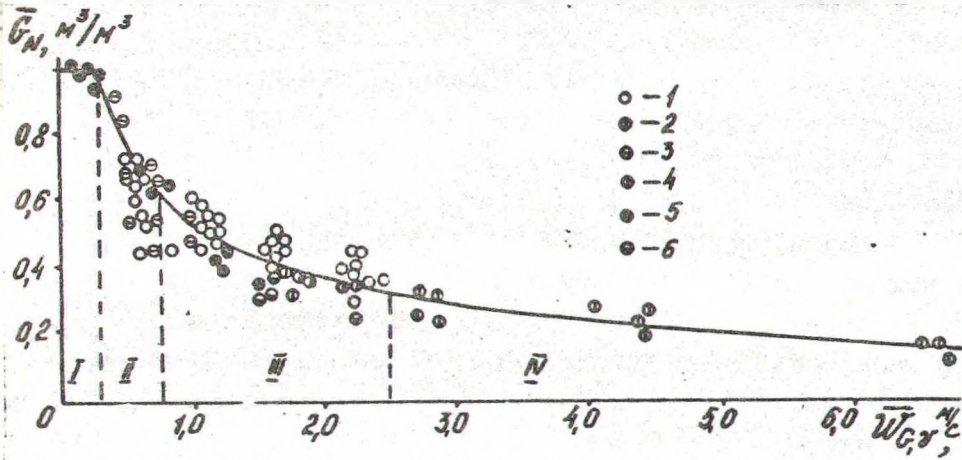


Рис.1. Зависимость удельного расхода газа в пузырьках от скорости газа, приведенной к площади восходящего потока, для различных конструкций контактных устройств:
 1 - ВПКУ2; 2 - ВПКУ1; 3 - СПТ1; 4 - ВПКУ3; 5 - КВЕС; 6 - СПТ2.
 I - газ распределен в жидкости; II - появление пульсирующих струй газа; III - режим устойчивых газовых струй ("эмульгирования"); IV - жидкость распределена в газе.

Удельный расход газа в пузырьках для характерного сечения восходящего потока радиусом R_T определяется на основании полученных профилей локальных аэрогидродинамичес-

ких характеристик газожидкостного потока из выражения

$$\bar{G}_N = 2 / (R_N^2 \bar{w}_{cr}) \cdot \int_0^{R_N} w_{GN} \cdot z \cdot dz \quad (17)$$

Результаты расчетов, проведенных для различных конструкций контактных устройств и описанных в [2,4], показали, что основным фактором, влияющим на соотношение расходов газа в пузырях и струях, является скорость газовой фазы \bar{w}_{cr} , приведенная к площади сечения восходящего потока в барботажном слое. Анализ полученной зависимости (рис.1), а также данные визуальных наблюдений позволяют выделить четыре гидродинамические состояния структуры восходящего газожидкостного потока, хорошо согласующиеся с данными [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксельрод Ю.В. Газожидкостные хемосорбционные процессы. - М., 1989.
2. Тарат Э.Я., Мухленов И.П., Туболкин А.Ф. и др. Пенный режим и пенные аппараты. - Л., 1977.
3. Рабко А.Е., Ершов А.И. Исследование структуры газожидкостных потоков в массообменных контактных устройствах барботажного типа // Химия и хим.технология. - Мн., 1988. - Вып.2. - С. 92-98.
4. Рабко А.Е., Ершов А.И., Голдар А.П. Разработка контактных устройств с формируемой структурой высокого барботажного слоя для колонных противоточных хемосорберов // Совр менн. машины и аппараты химических производств: Тез. докл. Всесоюз. конф. - Чимкент, 1988. - Ч.1. - С.106-107.
5. Matsuura A., Liang-Shih Fan. Distribution of bubble properties in a Gas-Liquid-Solid Fluidized Bed // AIChE Journal. - 1984. - V. 30. - N 6. - P.894-903.
6. Akita K., Yoshida F. Bubble Size Interfacial Area and Liquid-Phase Mass Transfer Coefficient in Bubble Column // Ind.Eng.Chem.Proc.Des.Dev. -1971.-V. 13. -N 1.- P.84-91.
7. Levis D.A., Davidson J.F. Bubble size produced by shear and turbulence in a bubble column // Chem. Eng. Sci. - 1983.- V. 38. - N 1. - P.161-167.
8. Burgess J.M., Colderbank P.H. The measurement of bubble parameters in two-phase dispersions - II // Chem. Eng. Sci.- 1975. - V. 30. - P.1107-1121.