

УДК 66.021.3:532.5.001.5

С.И.Ермак, аспирант;
А.Е.Рабко, ст.преподаватель;
А.И.Ершов, профессор

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ГАЗОВЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ПАРОГАЗОЖИДКОСТНЫХ ПОТОКАХ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫМ МЕТОДОМ

The questions of measuring of local characteristics of gas(steam)-liquid systems are considered. The special stress is put on the definition of velocity and size of separate bubbles.

Получение объективной информации о структуре двухфазных потоков является важным фактором в создании и совершенствовании аппаратного оформления процессов взаимодействия газа (пара) с жидкостью. Отсутствие надежного теоретического описания данных процессов послужило причиной разработки множества методик экспериментального определения гидродинамических характеристик газожидкостных систем, таких как объемное газосодержание, удельная поверхность контакта фаз (УПКФ), характерный размер, скорость и частота появления газовых включений в фиксированной точке пространства.

В данной работе приводится анализ метода, позволяющего экспериментально определить размеры газовых включений в газожидкостном потоке при помощи двухэлектродного датчика сопротивления [1-3] в схеме измерительного комплекса на базе прибора ИГС [2]. Во время опытов в выбранную точку двухфазного потока с помощью зонда вводится датчик, включающий два точечных электрода, электрически изолированных и оголенных только на торцах. Между датчиком и корпусом прибора пропускается электрический ток. При этом электрическая цепь замыкается, когда датчик находится в жидкости, а при вхождении его в газовую фазу цепь разрывается и ток датчика падает. Длительность импульсов определяется временем нахождения точечных электродов в газовой фазе.

С целью получения информации о каждом зарегистрированном газовом включении сигналы с датчика необходимо записывать в память ЭВМ для последующей обработки и анализа. Для этого было разработано специальное программное обеспечение для ПЭВМ ЕС 1841 с платой аналого-цифрового преобразователя. Типичная осциллограмма записанных сигналов датчика приведена на рис.1. Сигнал

второго датчика смещен относительно первого, и сдвиг характеризует время прохождения границы раздела фаз между торцами первого и второго датчиков. Тогда скорость движения границы раздела фаз, отождествленная со скоростью движения газового пузыря, равна

$$U_g = \frac{l}{\theta}, \quad (1)$$

где U_g - скорость движения границы раздела фаз, м/с; l - расстояние между электродами датчика, м; θ - сдвиг сигнала второго датчика относительно первого, с.

Время, в течение которого датчик находится в газовой фазе, может быть использовано для определения величины пузыря [4], если известна его скорость, поскольку длина хорды обнаруженного пузыря может быть определена как

$$x = U_g \cdot \Delta t, \quad (2)$$

где Δt - время пребывания датчика в пузыре, с.

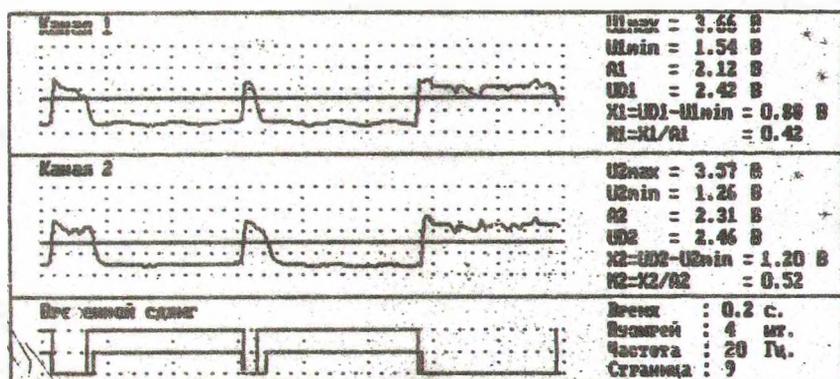


Рис.1. Осциллограммы сигналов датчиков

Очевидно, что если длина хорды может изменяться от нуля до диаметра пузыря, то диаметр пузыря теоретически может лежать в пределах от длины хорды до бесконечности. Для определения диаметров пузырей необходимо принять в первом приближении ряд допущений: а) все пузыри имеют сферическую форму; б) все пузыри движутся в одном направлении с одинаковой скоростью. Эти допущения приемлемы для хорошо смешанных пузырьковых потоков [4].

Вероятность P того, что пузырь будет проколот по хорде длиной от x до $x+dx$ (рис.2) с эксцентриситетом между e и $e+de$, принимается на основании спроецированных фронтальных площадей и выражается уравнением

$$P(e, e + de) = P(x, x + dx) = p1\left(\frac{e}{D}\right) = \frac{2\pi \cdot e \cdot de}{\frac{1}{4}\pi \cdot D^2} = \frac{8e}{D^2} \cdot de, \quad (3)$$

где $p1$ - функция плотности распределения вероятности эксцентриситета e обнаружения пузырька данного диаметра D . Эксцентриситет e и длина измеренной хорды x связаны геометрическим соотношением

$$x = 2 \cdot \left[\left(\frac{D}{2} \right)^2 - e^2 \right]^{1/2}. \quad (4)$$

Введя функцию плотности распределения вероятности измеренных длин хорд для данного диаметра D как $p2\left(\frac{x}{D}\right)$, запишем уравнение (3) в виде

$$p1\left(\frac{e}{D}\right) de = p2\left(\frac{x}{D}\right) dx. \quad (5)$$

Получив дифференциал из (4), можно записать

$$p2\left(\frac{x}{D}\right) = \frac{2x}{D^2}. \quad (6)$$

Введем следующие функции распределения: $p3(x)$ - как функцию плотности распределения измеренных длин хорд для всех размеров пузырей; $p4(D, x)$ - как объединенное распределение диаметров пузырей и длин хорд; $p5(D)$ - как функцию распределения диаметров всех обнаруженных пузырей. Тогда:

$$p3(x) = \int_x^{\infty} p4(D, x) dD, \quad (7)$$

$$p4(D, x) = p2\left(\frac{x}{D}\right) \cdot p5(D). \quad (8)$$

Из (6)-(8) следует

$$\frac{p3(x)}{x} = \int_x^{\infty} \frac{2}{D^2} p5(D) \cdot dD. \quad (9)$$

Проинтегрировав выражение (9), получим соотношение между функцией плотности распределения вероятности экспериментально измеренных длин хорд и функцией плотности распределения вероятности диаметров пузырей:

$$p5(x) = \int_0^x p3(x) dx - \frac{x}{2} \cdot p3(x). \quad (10)$$

На практике алгоритм получения функции плотности распределения диаметров зарегистрированных пузырей реализуется следующим образом:

щим образом. При помощи измерительного комплекса в память ЭВМ записываются сигналы датчиков, определяется скорость движения пузырей, измеряются хорды пузырей и строится профиль распределения вероятности измеренных длин хорд r_3 (рис.3, кривая 1). Графическим методом или при помощи численных методов на ЭВМ по профилю рассчитывается интеграл в формуле (10), а затем для каждого значения определяется функция плотности распределения вероятности диаметров пузырей r_5 по формуле (10) (рис.3, кривая 2).

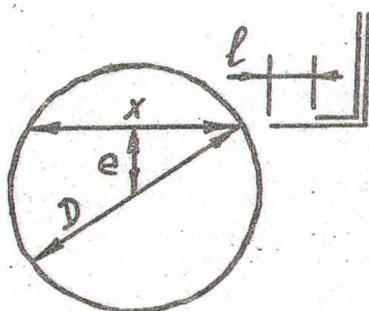


Рис.2.Соотношение между измеренной хордой и диаметром пузыря

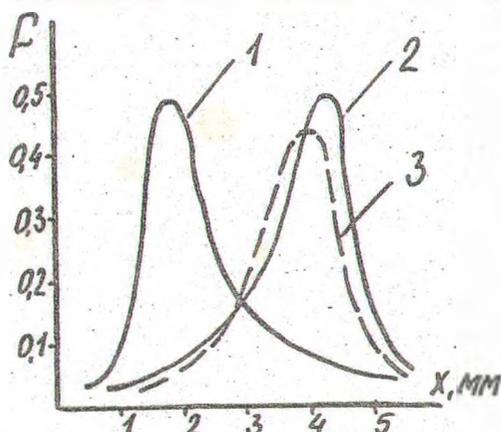


Рис.3.Профили функций распределения вероятности измеренных хорд (кривая 1), рассчитанных диаметров идеальных сферических пузырей (кривая 2) и реальных пузырей (кривая 3)

Зная функцию распределения пузырей по размерам, можно определить среднее значение удельной поверхности контакта фаз (УПКФ) в данной точке пространства по формуле [3]:

$$a = \pi \cdot V_u \cdot N \cdot \int_{x_1}^{x_2} r_5(x)^{m+2} \cdot dx, \quad (11)$$

где V_u - коэффициент распределения, зависящий от структуры потока; N - концентрация пузырей для данной точки пространства; m - коэффициент, связывающий скорость движения пузыря с его размером ($m=0.36-0.63$ по данным разных авторов).

В работе [2] значение УПКФ определяется методом, не связанным с измерением размеров пузырей, а следовательно и с учетом их реальной формы. В первом приближении влияние формы на результаты измерения их дисперсного состава может быть выражено через коэффициент формы пузырей:

$$K = \frac{a}{a'}, \quad (12)$$

где a - УПКФ, рассчитанная по формуле (11) на основании обработки осциллограмм; a' - УПКФ, определенная по методу [2].

По полученным значениям K вполне возможно уточнить функцию распределения газовых включений по размерам для реальных пузырей, форма которых отличается от сферической (рис.3, кривая 3).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурдуков А.П., Капинский О.Н. Диагностика основных турбулентных характеристик двухфазных потоков//Журн. прикл. механики и теорет. физики. 1979, N4. С.65-73.
2. Рабко А.Е., Ершов А.И. Исследование структуры газожидкостных потоков в массообменных контактных устройствах барботажного типа//Химия и химическая технология. 1988, Вып.2. С.92-98.
3. Рабко А.Е., Ершов А.И. Определение параметров газовой фазы в барботажном слое массообменных контактных устройств//Труды Белорусского технологического института. 1993, Вып.1. С.60-64.
4. R.A.Harringe, M.R.Davis. Structural development of gas-liquid mixture flows//J.Fluid Mech., 1976, V.73, part 1, P.97-123

УДК 66.015.23.66.048

А.А.Боровик, асп.;

А.И.Ершов, профессор

ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОТОРНОГО ДИСПЕРСИОННО-ПЛЁНОЧНОГО МАССОБМЕННОГО АППАРАТА

The results of complex investigation of hidrodinamic and mass-transfer characteristics of rotative dispersive-film mass-transfer apparatus are given.

В настоящей статье приводятся результаты исследования гидродинамических и массообменных характеристик роторного дисперсионно-плёночного массообменного аппарата, в котором энергия движения газового потока используется для вращения ротора, диспергации и сепарации жидкой фазы, что позволяет отказаться от установки внешнего привода и применять такие аппараты в специфических условиях (например, для очистки природного газа при выходе из скважин и т.д.).