

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;  $\theta$  - 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  $\Delta t$  - время пребывания датчика в пузыре, с.

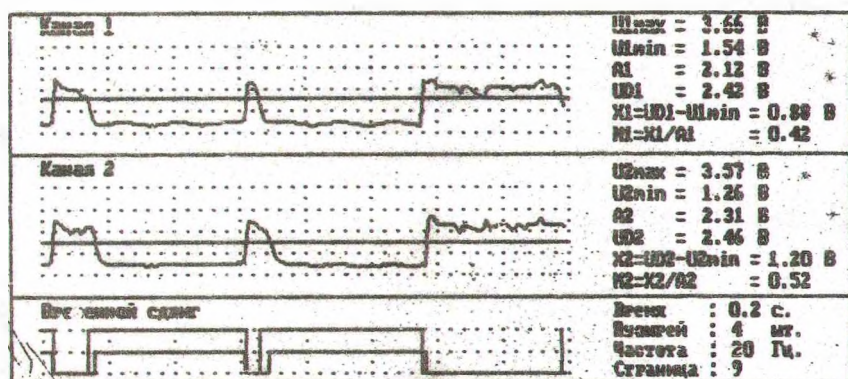


Рис.1. Осциллограммы сигналов датчиков

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).

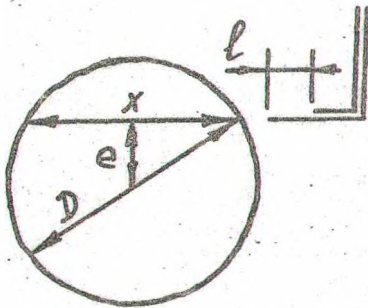


Рис.2.Соотношение между измеренной хордой и диаметром пузыря

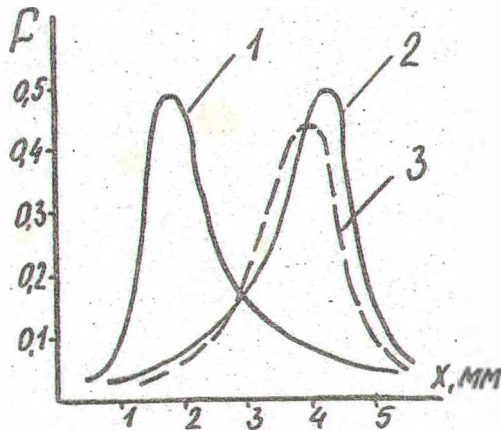


Рис.3.Профили функций распределения вероятности измеренных хорд (кривая 1), рассчитанных диаметров идеальных сферических пузырей (кривая 2) и реальных пузырей (кривая 3)

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., Кашинский 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.).