

причем конвективная составляющая для крупных частиц имеет преобладающее значение.

Исходя из принципа симметрии и двухфазности псевдооживленного слоя, получено соотношение для расчета коэффициента теплообмена ПС с погруженной поверхностью при любых давлениях, хорошо удовлетворяющее экспериментальным данным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гальперин Н. И., Айнштейн В. Г., Кваша В. Б. Основы техники псевдооживления.— М., 1967.— С. 342, 348.
2. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей.— М., 1973.— 360 с.
3. Лыков А. В. Теплообмен.— М., 1972.— 280 с.
4. Желтов А. И. Влияние некоторых факторов на электросопротивление зернистого слоя // Тепло- и массообмен в многофазных многокомпонентных системах.— Минск, 1978.— С. 70—75.
5. Альтшулер В. С., Сеченов Г. П. Процессы в кипящем слое под давлением.— М., 1963.— 240 с.

УДК 66.021.3:532.5.001.5

А. Е. Рабко, А. И. Ершов*

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ ПОТОКОВ В МАССООБМЕННЫХ КОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВАХ БАРБОТАЖНОГО ТИПА

Целью настоящего исследования явилась разработка единых принципа и методики, дающих возможность с помощью универсальной измерительной аппаратуры экспериментально определять локальные аэрогидродинамические характеристики газожидкостных систем как при экстенсивных (свободный барботаж), так и при интенсивных (эмульгирование, пенный восходящий стесненный барботаж) режимах взаимодействия фаз.

В основу разработки положен метод локальной электропроводности, согласно которому зондирование двухфазного потока осуществляют специальным датчиком [1—2]. Датчик (рис. 1, а) включает два точечных электрода, представляющих собой жесткие металлические проволочки диаметром 0,05—0,15 мм, электрически изолированные и оголенные только на торцах. Электроды располагаются так, что расстояние l между торцами не

превышает размеров самых малых газовых включений ($l=0,5 \div 1,0$ мм) и при этом осуществляется эффект «накалывания» на них газовых пузырей. При подаче постоянного напряжения на точечные электроды датчика между ними и корпусом аппарата, который заземлен, электрический ток протекает, когда точечные электроды находятся в жидкой фазе, и прерывается в случае прохождения газа. Сигналы с точечных электродов преоб-

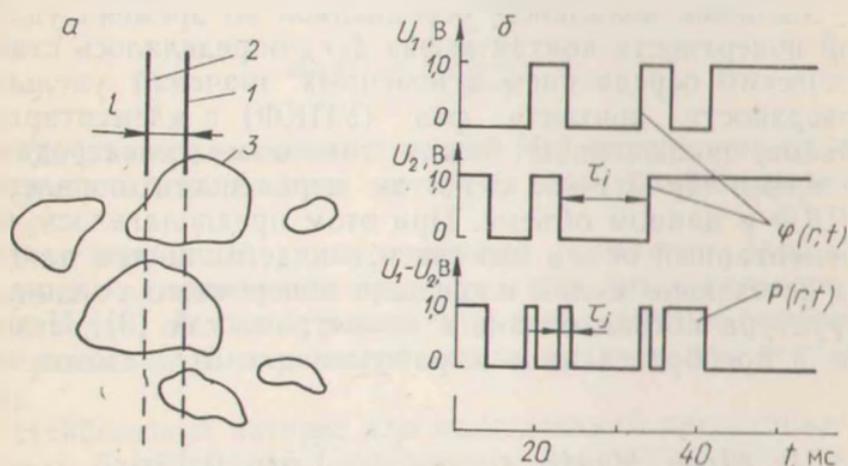


Рис. 1. Взаимодействие датчика с двухфазным потоком (а) и осциллограммы преобразованных сигналов с точечных электродов (б):

1, 2—точечные электроды; 3—газовые включения в потоке

разуются в цепи импульсов единичных напряжений U_1 и U_2 прямоугольной формы (рис. 1, б) таким образом, что длительность импульса τ_i соответствует пребыванию точечного электрода в газовой фазе и при этом передний фронт импульса по времени соответствует моменту входа, а задний — моменту выхода электрода из газовой фазы. Одновременная статистическая обработка параллельных последовательностей импульсов по определенной программе с получением последовательности результирующих импульсов длительностью τ_j позволяет установить значения локальных характеристик системы.

В условиях стационарного двухфазного потока появление газовых включений в фиксированной точке объема газожидкостного слоя, заданной радиусом-вектором r , представляет собой стационарный случайный процесс. При этом локальное, осредненное во времени объемное газосодержание $\bar{\varphi}(r)$ за промежуток времени $(t_2 - t_1) \rightarrow$

$\rightarrow \infty$ устанавливалось как вероятность нахождения газа в точке r :

$$\bar{\varphi}(r) = \frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} \varphi(r, t) dt, \quad (1)$$

где $\varphi(r, t)$ — реализация эргодической стационарной случайной функции появления газовой фазы в точке r , наблюдавшейся в интервале $(t_2 - t_1) \rightarrow \infty$.

Значение локальной, осредненной во времени удельной поверхности контакта фаз $\bar{a}(r)$ определялось статистическим осреднением мгновенных значений удельной поверхности контакта фаз (УПКФ) в элементарном объеме, заключенном между точечными электродами, за время $(t_2 - t_1) \rightarrow \infty$ с учетом вероятности появления УПКФ в данном объеме. При этом предполагалось, что элементарный объем выполнен в виде цилиндра длиной l с исчезающе малой площадью поперечного сечения, а структура потока близка к изометрической [3]. Исходное и преобразованное выражения для $\bar{a}(r)$ имеют вид

$$\begin{aligned} \bar{a}(r) &= M[a(r, t)] \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} p(r, t) dt = \\ &= \frac{2}{l} \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} p(r, t) dt, \end{aligned} \quad (2)$$

где $M[a(r, t)]$ — математическое ожидание величины УПКФ в элементарном объеме ($1/m$), а $p(r, t)$ — реализация эргодической стационарной функции появления УПКФ в элементарном объеме, наблюдавшейся в интервале $(t_2 - t_1) \rightarrow \infty$.

При проведении измерений время наблюдений конечно. Поскольку $(t_2 - t_1)$ относительно велико, при определении $\bar{\varphi}(r)$ и $\bar{a}(r)$ использовали оценку интегральных функций выражений (1) и (2) для заданного конечного интервала $(t_2 - t_1)$ [4]:

$$\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \varphi(r, t) dt = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i}{t_2 - t_1}; \quad (3)$$

$$\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} p(r, t) dt = \frac{\sum_{j=1}^m \tau_j}{t_2 - t_1}. \quad (4)$$

По значениям $\bar{\varphi}(r)$ и $\bar{a}(r)$ рассчитывали осредненный локальный объемно-поверхностный диаметр газовых пузырей в потоке:

$$\bar{d}_{32}(r) = \frac{6\bar{\varphi}(r)}{\bar{a}(r)}. \quad (5)$$

Частоту прохождения пузырей $\bar{f}(r)$ определяли путем подсчета их количества за время измерения, равное 100 с.

Разработанный измерительный комплекс (рис. 2) позволил одновременно проводить обработку сигналов с электродов, выводить результаты на вторичные приборы и осуществлять их регистрацию на печатающем устройстве.

Наибольший интерес для исследований представляли модели барботажных аппаратов с различной организацией движения потоков на ступени контакта. Измерения проводили на ситчатой перекрестноточной тарелке, имеющей диаметр $D=0,24$ м, свободное сечение полотна $\omega=11,5\%$, относительную длину сливной планки, равную 0,7 при высоте 0,04 м (рис. 3, а), в барботажно-прямоточном контактном устройстве (БПКУ) [5] при $D=0,2$ м,

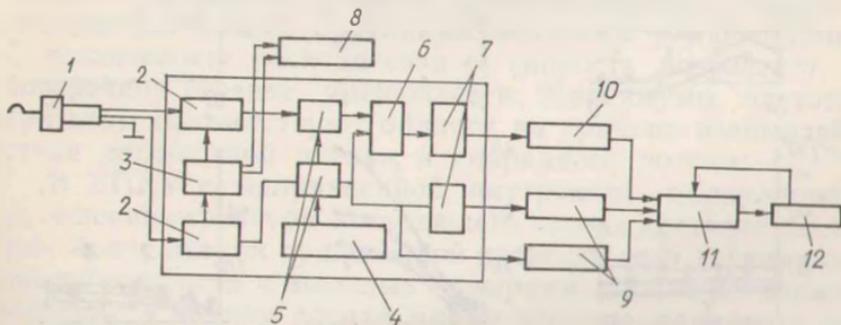


Рис. 2. Измерительный комплекс:

1—зонд с датчиком; 2—компараторы напряжения; 3—аналоговый усилитель; 4—блок управления; 5—электронные ключи; 6—блок сравнения; 7—интеграторы; 8—двухлучевой осциллограф С1 93; 9—счетчики импульсов Ф5007; 10—частотомер-хронометр Ф5080; 11—транскриптор Ф5033К; 12—печатающая машинка
ЭУМ 23Д

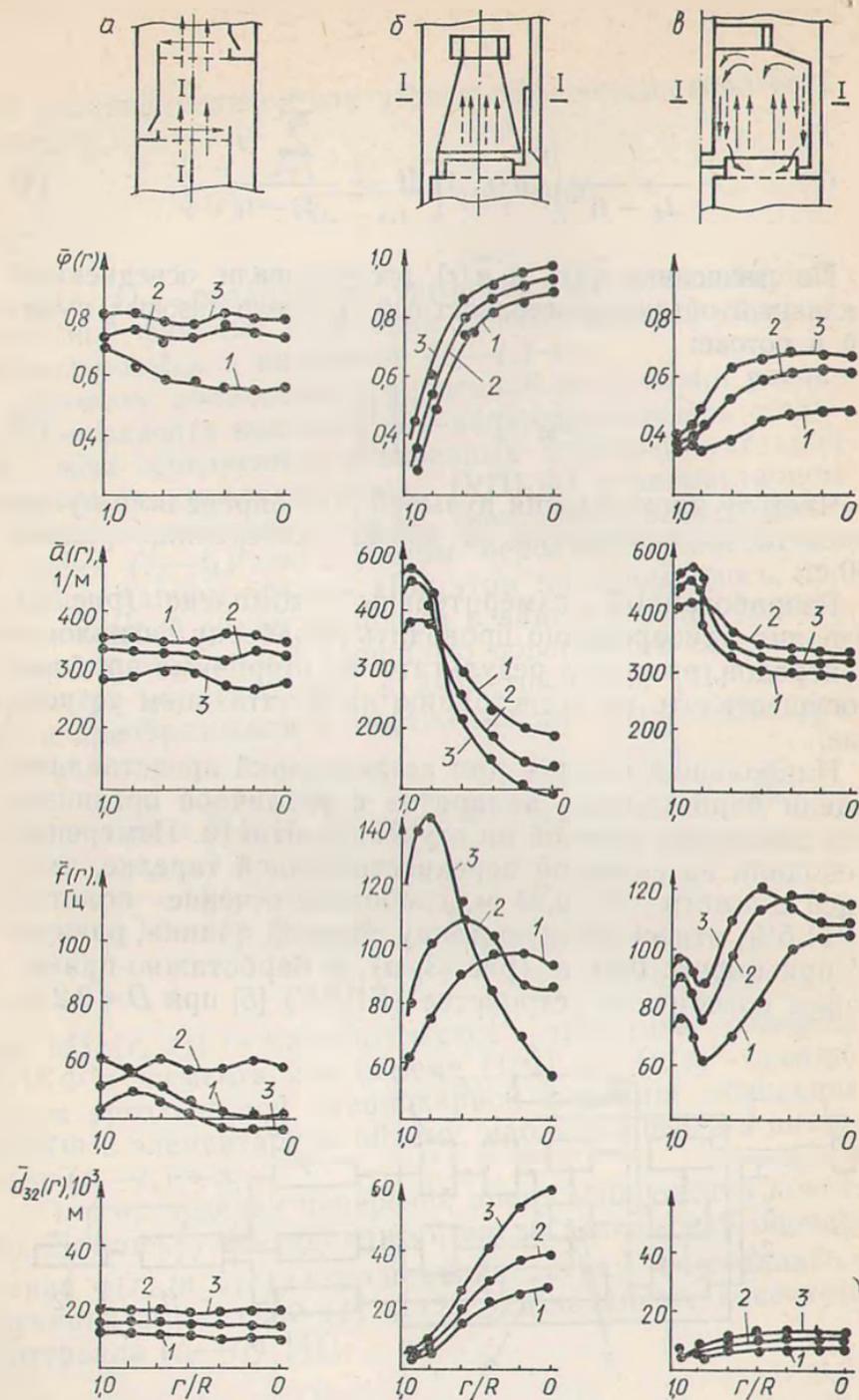


Рис. 3. Структура газожидкостных потоков в массообменных контактных устройствах барботажного типа:

а—перекрестноточная ситчатая тарелка при скоростях фаз, приведенных к площади сечения аппарата $v_{ж.ап}=50$ м/ч и различных $v_{г.ап}$, м/с: 1—0,5; 2—1,0; 3—1,5; б—БПКУ при $v_{ж.ап}=150$ м/ч и различных $v_{г.ап}$ м/с: 1—0,7; 2—1,0; 3—1,5; в—БПКУ с направленной внутренней циркуляцией потоков при $v_{ж.ап}=90$ м/ч и различных $v_{г.ап}$, м/с: 1—0,2; 2—0,4; 3—0,6

$\omega = 10,5\%$, диаметре оснований конического патрубка 0,155 и 0,085 м и его высоте 0,25 м (рис. 3, б), а также в секции БПКУ с организованной внутренней циркуляцией потоков диаметром 0,465, высотой 0,55 м при $\omega = 8,7\%$ (рис. 3, в). Модельной средой служила система вода — воздух. Для каждой конструкции устанавливался режим, близкий к оптимальному.

В ходе исследований осуществляли зондирование каждого потока в плоскости, перпендикулярной направлению его движения. Результаты измерений для характерных сечений контактных устройств, отмеченных I—I, представлены на рис. 3, где R — радиус сечения, а r/R — безразмерный радиус сечения потока для БПКУ, а также безразмерный радиус полотна для ситчатой тарелки, зондирование в которой осуществлялось на расстоянии 0,035 м от поверхности полотна.

Наиболее равномерное взаимодействие фаз по сечению потока наблюдается при использовании ситчатой тарелки. При увеличении скорости газа возрастает диаметр пузырей, что приводит к снижению развиваемой межфазной поверхности. При этом частота их появления максимальна в области приведенной скорости газа по аппарату $v_{г. лн} = 0,8 \div 1,2$ м/с.

Повышение скорости фаз в условиях стесненного прямого движения внутри сужающейся контактной камеры БПКУ вызывает их частичное расслоение. В центральной части образуется снарядный поток, характеризующийся значительным увеличением газосодержания и размеров пузырей, а по периферии движется жидкостная пленка с мелкими газовыми включениями. С увеличением расхода газа ее скорость возрастает, а поперечное сечение уменьшается. Максимумы частоты при этом соответствуют области на границе взаимодействия жидкостной пленки и снарядного потока.

В БПКУ с направленной внутренней циркуляцией улучшение структуры восходящего потока достигается за счет более низкой приведенной скорости газа и рециркуляции жидкости с мелкими пузырями. Значения характеристик в данном случае, кроме частоты, находятся на уровне соответствующих показателей для ситчатой тарелки. Однако увеличение расхода газа, как и в предыдущем случае, приводит к расслоению фаз в восходящем потоке.

Полученные результаты позволяют оценить различ-

ные конструктивные варианты организации взаимодействия газа с жидкостью и их вклад в интенсификацию процессов тепло- и массообмена с точки зрения изменения аэрогидродинамических характеристик образующихся двухфазных потоков.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бурдуков А. П., Кашинский О. Н.* Диагностика основных турбулентных характеристик двухфазных потоков // Журн. прикл. механики и теорет. физики.— 1979.— № 4.— С. 65—73.

2. *Шендеров Л. З., Квашин А. Г., Дильман В. В.* О локальном измерении газосодержания // Инж.-физ. журн.— 1980.— Т. 38, № 6.— С. 1005—1010.

3. *Салтыков С. А.* Стереометрическая металлография.— М., 1970.— 374 с.

4. *Котюк А. Ф., Ольшевский В. В., Цветков Э. А.* Методы и аппаратура для анализа характеристик случайных процессов.— М., 1967.— 240 с.

5. *Ершов А. И., Голдар А. П., Рабко А. Е.* Эффективность взаимодействия фаз на барботажно-прямоточных контактных ступенях // Повышение эффективности, совершенствование процессов и аппаратов химических производств.— Харьков, 1985.— Ч. 3.— С. 142—143.

УДК 622.755

Н. П. Кохно, М. Ф. Шнайдерман, А. Н. Ковалев, Э. И. Левданский

ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАЧАЛА ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ ВДОЛЬ ПОВЕРХНОСТИ ФИЛЬТРОВАЛЬНОЙ ПЕРЕГОРОДКИ

В последнее время предложены конструкции рукавных фильтров, имеющих рукава с двумя открытыми торцами, в которых реализуется проточный способ фильтрации газов. Сущность способа заключается в том, что пылегазовый поток, поступающий во входной торец рукава, разделяется на две части: основная часть газа, проходя через поверхность рукава, очищается, другая, двигаясь вдоль рукава, способствует сдуву пыли с фильтрующей поверхности и выходит через противоположный торец. При этом процесс регенерации ткани и фильтрации газов происходит одновременно.

Интерес представляет расчет условий, при которых твердые частицы пыли срываются с поверхности фильтровальной перегородки. Подобные задачи возникают