

Ю. В. ТАТЕВОСЯН, В. Е. НАКОРЯКОВ, А. П. БУРДУКОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ВЕРТИКАЛЬНОМ ДВУХФАЗНОМ ПОТОКЕ

Исследование закономерностей изменения основных гидродинамических параметров, характеризующих течение газожидкостных смесей, имеет большое значение, так как без знания этих параметров невозможно создать единую теорию, описывающую двухфазное течение.

Одним из важных параметров является касательное напряжение на стенке τ . Прямых методов измерения τ при течении двухфазных сред практически нет. Измерение потерь на трение в двухфазных потоках проводится косвенным образом, через измерение среднего по сечению истинного газосодержания — $\bar{\epsilon}$, методы измерения которого [2, 3] не дают надежных результатов при большом диапазоне газосодержания в потоке.

Простейшим приближением для расчета τ служит гомогенная модель, по которой

$$\tau_0 = C_f \frac{\bar{\epsilon}_{\text{см}} w_{\text{см}}^2 L}{2gd} \quad (1)$$

где $w_{\text{см}}$ — приведенная скорость смеси,

C_f — коэффициент трения гомогенного потока [1],

d, L — диаметр и длина канала соответственно.

Широко известен также метод Локкарта-Мартинелли [4].

В работе описываются результаты измерения касательных напряжений на стенке канала при изотермическом неустановившемся течении двухфазного потока электрохимическим методом, который дает возможность получить действительное напряжение на стенке канала [5]. Метод заключается в измерении предельного диффузионного тока — J в электролитической ячейке, состоящей из текущего в канале электролита, анода и поляризованного катода-датчика. В качестве электролита используется 0.001 + 0.15 *N* водный раствор ферри-ферроцианида с фоновым 0.5 *N* раствором NaOH. Связь между τ и J выражается зависимостью

$$\tau = \frac{1.87 \nu J^3}{F^3 l^3 h^3 D^2 C^3} \quad (2)$$

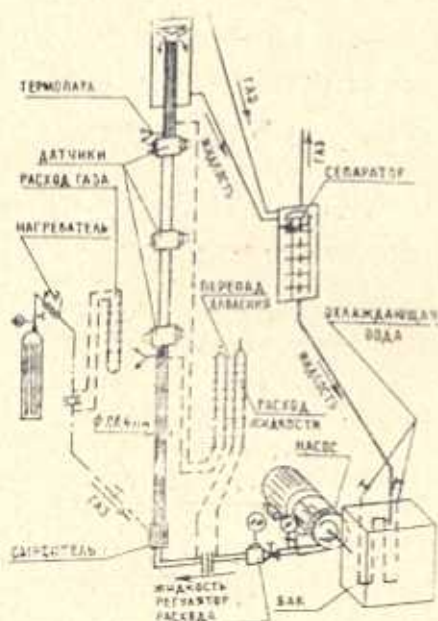
где C — концентрация $K_3Fe(CN)_6$ в объеме электролита,

D — коэффициент диффузии,

l — продольный размер датчика по потоку,

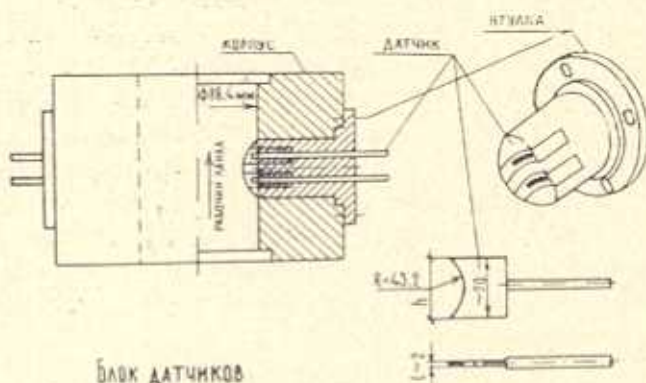
- h — ширина датчика,
 F — число Фарадея,
 μ — коэффициент динамической вязкости.

Формула (2) применима для двухфазного потока, если на стенке канала существует сплошная пленка жидкости. Опыты проводились на вертикальной трубе диаметром $d = 86.4$ мм. Схема установки показана на фиг. 1.



Фиг. 1. Схема экспериментальной установки.

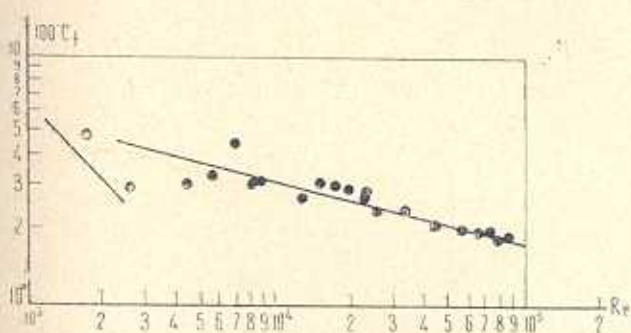
Установка представляет из себя замкнутый циркуляционный контур со следующими основными узлами: бак с водяным холодильником (емкостью 300 л), центробежный насос (производительностью 55 м³/час), расходомерные устройства по газу и по жидкости, смеситель, вертикальная труба длиной 6.5 м, бак первичной сепарации, сепаратор тарельчатого типа и сливной трубопровод. Все узлы изготовлены из нержавеющей стали, а также из органического стекла и винипласта. Экспериментальный участок состоит из 3 блоков (в каждом по 4 датчика) и 2-х секций оргстеклянных труб общей длиной 1.5 м. Блок датчиков состоит из корпуса и 2-х оргстеклянных втулок с заделанными заподлицо никелевыми пластинками (фиг. 2).



Фиг. 2. Блок датчиков

Средний размер датчиков в исследуемых опытах равен $l = 2$ мм, $h = 20$ мм. Проверкой качества датчиков служило сопоставление данных измерений электрохимическим методом с расчетными значениями:

по известным зависимостям для различных значений числа Рейнольдса Re для однофазной жидкости (фиг. 3).



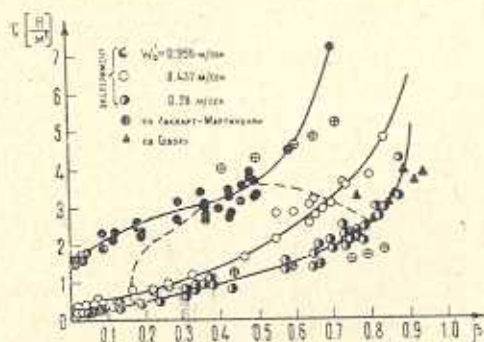
Фиг. 3. Тарировка датчиков (— расчет по Блазиусу, ● — экспериментальные точки)

В качестве газовой фазы в опытах использовался чистый азот. Температура жидкости поддерживалась в пределах 22—25°C.

Значения кинематической вязкости были измерены нами в диапазоне изменения температуры от 15—30°C, а данные по коэффициенту диффузии были взяты из литературы [8]. Перед и после каждой серии опытов производился замер концентрации ионов феррицианида в растворе потенциометрическим титрованием. Газожидкостная смесь создавалась в смесителе на расстоянии 35 калибров от первого датчика, вдувом газа через сопло. Опыты проводились в диапазоне приведенных скоростей жидкости $w_0 = 0.05 \div 0.956$ м/сек; максимальные скорости газа w_0 достигали 2 м/сек. Во время каждой серии опытов расход жидкости поддерживался постоянным, а изменялся расход газа. В измерительной электрической цепи величина регулируемого напряжения измерялась ламповым вольтметром, а величина предельного диффузионного тока миллиамперметром и одновременно записывалась на осциллографе Н-700.

Для исследования течения режимов на участке визуализации проводилась киносъемка.

На фиг. 4 представлены результаты опытов для разных значений w_0 в виде зависимости τ от расходного объемного газосодержания β , а также расчетные данные по методу Локкарта-Мартинелли [4] и экспериментальные данные Говера [7]. Из графика видно, что при $w_0 = 0.956$ м/сек и $\beta \geq 0.6$ расчет по [4] дает заниженные значения τ , а при $\beta < 0.6$ — завышенные. С уменьшением



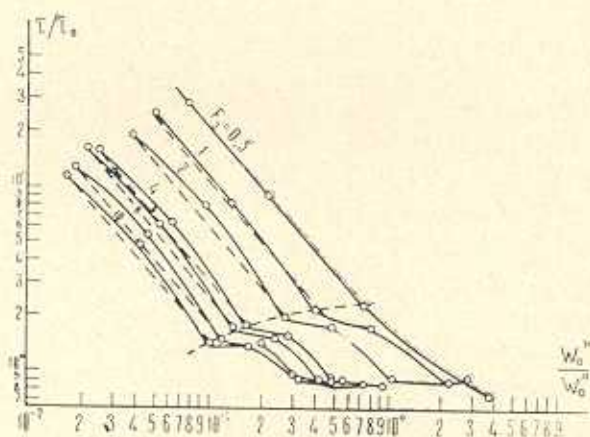
Фиг. 4. Обработка экспериментальных данных авторов в координатах τ и β

w_0' расхождения наших экспериментальных данных от данных [4] начинаются при $\beta > 0.3$. Экспериментальные данные Говера при $\beta > 0.65$ имеют хорошее совпадение с нашим экспериментом.

На фиг. 5 представлена обработка наших данных в координатах τ/τ_0 от w_0'/w_0' при постоянных числах Фруда, где

$$Fr = \frac{w_{cm}^3}{gd} \quad (3)$$

Зону стержневого режима можно представить в виде степенной функции $\tau/\tau_0 = A (Fr)^m (w_0'/w_0')^n$ (4), где m и n — угловые коэффициенты линий при $Fr = \text{const}$ и $w_0'/w_0' = \text{const}$.



Фиг. 5. Зависимость $\lg \frac{\tau}{\tau_0}$ от $\lg \frac{w_0'}{w_0'}$ при постоянных числах Фруда.

Окончательно формула имеет вид

$$\tau/\tau_0 = 1.066 (Fr)^{-0.84} \left(\frac{w_0'}{w_0'} \right)^{-1.13} \quad (5)$$

где τ_0 — трение, вычисленное по гомогенной модели.

Визуальным наблюдением и киносъемкой отчетливо зафиксированы три режима течения потока: пузырьковый, снарядный, стержневой.

Границы этих режимов на фиг. 4 нанесены пунктирными линиями. Пузырьковый режим наблюдается при $\beta = 0.18-0.35$, причем с увеличением w_0' граница перехода к снарядному режиму по β смещается в сторону больших β .

Снарядный режим наблюдался при $\beta = 0.18-0.75$ для малых расходов жидкости и $\beta = 0.35-0.5$ для больших расходов. Граница пе-

перехода к стержневому режиму с увеличением w_0' смещается в сторону меньших β .

Институт теплофизики
СО АН СССР

Поступила 3 V 1971

Յու. Վ. ԲԱՐԵՎՈՅԱՆ, Վ. Ե. ՆԱԿՈՐՅԱԿՈՎ, Ա. Պ. ԲՈՒՐԴՈՒԿՈՎ

ՇՈՇԱՓՈՂ ԼԱՐՈՒՄԵՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՈՒՂՂԱԶԱՅԱՅ ԵՐԿՖԱԶ ՀՈՍՔՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո մ

Աշխատանքում զետեղված են ուղղահայաց խողովակի պատի վրա գոյացող շփման ուժի փորձնական եղանակով չափման արդյունքները, երբ խողովակով հոսում է հեղուկ-գազ սխտեմ:

Չափումները կատարված են էլեկտրաքիմիական եղանակով հեղուկի և պարի տարրեր բերված արագությունների (ծախսի) ղեկարում:

STUDY OF WALL SHEAR STRESSES IN A VERTICAL TWO-PHASE FLOW

Yu. W. TATEVOSIAN, W. E. NAKORIAKOV, A. P. BURDUKOV

S u m m a r y

The work presents the results of experimental study of the wall shear stresses of a two-phase flow in a vertical channel at various liquid and gas velocities, using electrochemical method.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Кутателадзе С. С., Стырикович М. А. Гидравлика газожидкостных смесей. Госэнергоиздат, М., 1958.
2. Армянд А. А. Исследование механизма движения двухфазной смеси в вертикальной трубе. Изв. ВТИ, № 2, 1950.
3. Isbin H. S., Sher N. C., Eddy K. C. A. i. Chem. Eng. Journal, vol. 3, 1957.
4. Streeter V. L. Handbook of fluid dynamics. Mc Graw-Hill Book company W. Y., 1961, pp. 17—1.
5. Кутателадзе С. С., Накоряков В. Е., Бурдуков А. П., Кузьмин В. А. Применение электрохимического метода измерения трения в гидродинамике двухфазных сред. Тепло и массоперенос, т. II, Минск, 1968, стр. 367.
6. Кузьмин В. А., Покусаев Б. Г. Измерение трения в двухфазных потоках электрохимическим методом. Ж. ПМТФ, М., 1969.
7. Govier G. W. and Leigh W. Short. Can. Y. Chem Eng., vol. 36, p. 193, October, 1958.
8. Arvia A. I., Morchland S. L., Podesta I. I. Electrochimica Acta, 1967, vol. 12, p. 259. Pergamon Press td. Printed in Northern Ireland.