

Член-корреспондент АН СССР С. С. КУТАТЕЛАДЗЕ, В. Е. НАКОРЯКОВ,
А. П. БУРДУКОВ, Ю. В. ТАТЕВОСЯН, В. А. КУЗЬМИН

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА

В зависимости от условий работы гидравлического контура, параметров смеси на входе и расходных характеристик наблюдаются разные режимы течения газожидкостного потока: пузырьковый, снарядный, стержневой и т. д., для полного описания которых необходимо знание таких взаимосвязанных характеристик, как распределение скоростей, фаз и касательных напряжений в потоке.

В ряде работ (^{1-3, 6}) для определения границ между режимами течения предлагаются либо эмпирические формулы, либо режимные карты в размерных или безразмерных координатах. Были попытки разработать индикатор для классификации режимов течения (⁷), который однако регистрировал только локальные свойства потока. Недостатком большинства методов является то, что они основываются на субъективных визуальных наблюдениях. В последнее время появились работы (^{8, 9}), в которых для определения режима течения используется метод, состоящий в измерении и анализе спектрального распределения пульсаций давления на стенке. Показано, что эти спектры однозначно определяют режимы течения. Однако предлагаемый метод имеет ряд недостатков (при больших давлениях датчик давления имеет ограниченные возможности и т. д.).

В настоящей работе использован электрохимический метод измерения касательных напряжений (^{4, 5}), который дает возможность из анализа спектральной плотности пульсаций трения на стенке определить режимы течения двухфазного потока. Измерение проводилось на трех различных режимах течения — пузырьковом, снарядном и стержневом — на вертикальной трубе с внутренним диаметром $d = 86,4$ мм и длиной $L = 6,5$ м. В качестве легкой фазы использовался азот. Датчики — платиновые пластинки размером по потоку $110 - 116$ мк и шириной $1,28$ мм — вваривались в стеклянные державки и заделывались заподлицо со стенкой трубы. Расстояние от входа трубы до места их установки 45 калибров.

Выходной сигнал датчика (диффузионный ток) записывался на осциллографе Н-700, затем с помощью электронно-оптического преобразователя «Силуэт» переводился в дискретную форму на перфоленту, после чего на ЭВМ «Минск-22» проводился расчет автокорреляционной функции и спектральной плотности пульсации потока массы S_q .

Спектральная плотность пульсации трения на стенке S_τ рассчитывалась по формуле

$$S_\tau = S_q \tau_w^2 / (\bar{H}^2 q^2), \quad (1)$$

а передаточной функции по формуле

$$\bar{H}^2 = 1 / (9 + 0,54 \omega^2). \quad (2)$$

Здесь τ_w — среднее по времени касательное напряжение, q — средний по времени поток массы, ω — частота осцилляций профиля скорости.

Результаты расчета спектральной плотности в безразмерных координатах для разных режимов течения представлены на рис. 1, где $\psi_s = S_\tau \omega_s' / (|\bar{\tau}'|^2 d)$ — безразмерная плотность пульсации трения, $\varphi = \bar{H} d /$

$f w_0'$ — безразмерная частота, w_0' — средняя скорость жидкой фазы, $|\tau'|^2$ — дисперсия пульсаций трения, f — частота колебаний.

В пузырьковом режиме течения (рис. 1, а) распределение пульсаций весьма близко к нормальному, при снарядном режиме течения (рис. 1, б) на графике появляются максимумы в области $4 < \varphi < 10$, и при стержневом режиме (рис. 1, в) появляются дополнительные максимумы при $10 < \varphi < 16$.

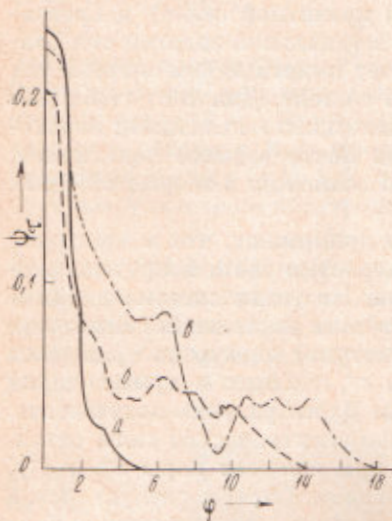


Рис. 1

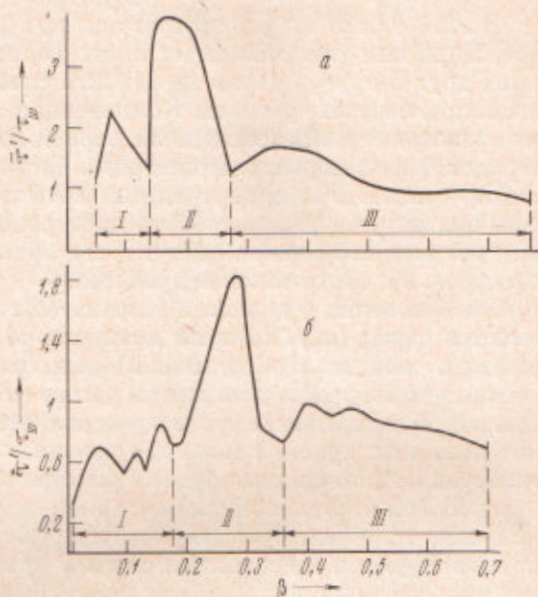


Рис. 2

Рис. 1. Спектральная плотность пульсаций трения на стенке при $w_0' = 0,23$ м/сек для различных режимов течения жидкостной смеси: а — пузырьковый, б — снарядный, в — стержневой

Рис. 2. Зависимость $\bar{\tau}'/\tau_w$ от β при различных w_0' : а — 0,23 м/сек; б — 0,795 м/сек

Изменение режимов течения четко видно на рис. 2, где показана зависимость отношения среднеквадратичных пульсаций трения $\bar{\tau}'$ к среднему трению τ_w от объемного газосодержания β для разных расходов жидкости w_0' . На кривых выделяются зоны I, II, III, которые соответствуют пузырьковому, снарядному и стержневому режиму течения. Границы этих зон зависят от расхода жидкости, причем с его увеличением смещаются в область больших β .

Институт теплофизики
Сибирского отделения Академии наук СССР
Новосибирск

Поступило
23 IV 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ G. E. Alves, Chem. Eng. Progr., 50, 449 (1954). ² C. J. Hoogendorn, Chem. Eng. Sci., 9, 205 (1959). ³ Б. К. Коалов, ЖТФ, 24 (1954). ⁴ С. С. Кутателадзе, В. Е. Накоряков и др., Тр. III Всесоюз. конфер. по теплообмену, 2, Минск, 1968. ⁵ С. С. Кутателадзе, В. Е. Накоряков и др., ДАН, 196, № 5, 1046 (1971). ⁶ Ю. А. Сорокин, О. Л. Пушкина, Тр. Центр. н.-и. и проектно-констр. котлотурб. инст., в. 47 (1964). ⁷ R. G. Hindom, Tesis in Chem. Eng. Univ. of Texas, June (1962). ⁸ М. Д. Хаббард, А. Э. Даклер, Достижения в области теплообмена, Сборн. статей, М., 1970. ⁹ Kaneyasu Nishikawa, Kotohiko Sekoguchi, Tohru Fukano, Bulletin of JSME, 12, № 54 (1969).