

этом впитываемость при одностороннем смачивании не ухудшается.

Таким образом, использование для проклейки бумаги катионных дисперсий, стабилизированных высокомолекулярным полигексаметиленгуанидином, позволяет осуществить прямую гетероадагуляцию проклеивающих частиц на целлюлозных волокнах в нейтральной среде (рН 7) при одновременном повышении механической прочности и сохранении свойств по сравнению с бумагой, проклеенной канифольным клеем по существующей технологии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Цветков Б. Н., Седов А. В. Гидрофобизирующие вещества на неканифольной основе в производстве бумаги и картона.— М., 1969.— 42 с.
2. Фролов Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы.— М., 1982.— 399 с.
3. Понтрячик Л. С., Болтянский В. Г., Рамкрелидзе Р. В. и др. Математическая теория оптимальных процессов.— М., 1969.— 383 с.

УДК 536.45:66.096.5

Г. Г. Тюхай \*

#### О СТАТИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ ТЕПЛООБМЕНА ПСЕВДООЖИЖЕННОГО СЛОЯ С ПОГРУЖЕННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Традиционный анализ процессов теплообмена в псевдоожигенном слое (ПС) связан с построением детерминированных моделей без учета случайных явлений. Вместе с тем частицы и псевдоожигающий газ движутся в ПС случайным образом, поэтому механизм теплообмена в нем также имеет элементы случайности. Значит, описывать внешний теплообмен в ПС нужно также с использованием теории вероятностей и теории случайных процессов.

В литературе по теплообмену в ПС имеется множество эмпирических соотношений [1], пригодных для расчета коэффициента теплообмена  $\alpha$  ПС с погруженной поверхностью. Нами предпринята попытка проанализировать теплообмен ПС с поверхностью без учета лучистой составляющей.

Плотность распределения  $\alpha$ , выраженная через плотность распределения теплового потока  $Q$  и разность температуры  $\Delta T$  между ПС и погруженной поверхностью  $F$ , имеет вид

$$f(\alpha) = \frac{1}{F} f(Q/\Delta T).$$

Центральная предельная теорема теории вероятностей гласит, что распределение суммы независимых случайных величин, каждая из которых вносит незначительный вклад в общую сумму, независимо от распределений отдельных слагаемых имеет гауссовское (нормальное) распределение. Тепло, переносимое отдельной частицей ПС, чрезвычайно мало по сравнению с общим тепловым потоком. Причем движения отдельных частиц в первом приближении можно считать независимыми и тогда для общего теплового потока должна быть справедлива центральная предельная теорема и распределение его будет нормальным.

Далее следует установить плотность распределения (ПР)  $\Delta T$  между погруженной поверхностью и ПС. Известно, что ПС изотермичен, поэтому температуру слоя принимаем постоянной. Температуру поверхности определяем следующим образом. ПР для проволок диаметром 0,05 и 0,8 мм была найдена экспериментально в колонне диаметром 96 мм и слое сечением  $60 \times 60$  см.

Кроме того, были исследованы флуктуации температуры цилиндрических датчиков-нагревателей диаметром 8 и 14 мм в прямоугольном слое сечением  $60 \times 30$  см. Опыты производились в слое песка диаметром от 0,1 до 1,0 мм при числах псевдооживления до 5—6 (относительное расширение до 1,3). К датчикам-нагревателям от аккумуляторов подводили постоянный ток, а флуктуации напряжения на датчиках, пропорциональные их температуре, регистрировали и обрабатывали на ЭВМ.

Все обработанные осциллограммы были стационарны во времени, а ПР в зависимости от режима удовлетворяли критериям  $\chi^2$  на распределения Релея, Максвелла или Гаусса с точностью 15%. Нетрудно показать [2], что ПР частного между гауссовским и экспериментально полученными распределениями будет плотностью Коши, которая симметрична относительно среднего значения, и, следовательно, ПР  $\alpha$  симметрична. При наличии гармонических осцилляций симметрия не нарушается. Поэто-

му допустимо считать, что  $\alpha$  колеблется от минимального до максимального значения. Коэффициент теплообмена можно представить как сумму коэффициента теплообмена от газа к стенке  $\alpha_r$  и дополнительного слагаемого  $\alpha_d$ , учитывающего кондуктивный теплообмен между частицами и стенкой. Для расчета  $\alpha_r$  воспользуемся известными данными [3, 4],  $\alpha_d$  определим с учетом расширения  $H/H_0$  слоя и начальной концентрации частиц  $\epsilon$ . Тогда критериальная зависимость для среднего  $Nu$  примет следующий вид:

$$Nu = 2,1H_0/H + 0,46 Re^{0,5}. \quad (1)$$

Все, что говорилось об обычном ПС, можно перенести на ПС, находящийся под давлением, с учетом изменения плотности газа. Кондуктивная составляющая среднего  $Nu$  практически не зависит от давления, так как теплопроводность оживающего газа слабо зависит от давления. С повышением давления объемная скорость начала псевдооживения возрастает пропорционально величине, равной корню квадратному из значения давления. Причем такая закономерность соблюдается и при сохранении в ПС одного и того же числа псевдооживения [5]. К подобному выводу можно прийти, если считать, что при одном и том же расширении слоя динамический напор не зависит от давления. С учетом давления  $p$  выражение переписывается в виде

$$Nu = 2,1H_0/H + 0,46p^{0,25} Re^{0,5}. \quad (2)$$

Можно также получить выражение для расчета коэффициента теплообмена ПС с поверхностью при оптимальном режиме теплообмена, если рассчитать оптимальную скорость [1] при условии, что  $5,22 \cdot Ag \gg 1400$ , в виде  $Nu = 2,1H_0/H + 0,09(p \cdot Ag)^{0,25}$ .

Сравнение результатов расчета по выражениям (1) и (2) с расчетными формулами и экспериментальными данными, изложенными в литературе, указывает на их соответствие. Эмпирические зависимости получены на основании общих соображений, поэтому точного соответствия экспериментальным данным нельзя было бы и ожидать. Кроме того, не известна точная формула для расчета конвективной составляющей  $\alpha_k$ , где постоянный коэффициент может зависеть от различных факторов,

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