УДК536.423.1:66.048

ИЗУЧЕНИЕ РАСШИРЕНИЕ ПСЕВДООЖИЖЕННОГО СЛОЯ ЗЕРНИСТОГО МАТЕРИАЛА

Худойбердиева Назора Шароповна

Доцент Навоийского государственного горно-технологического университета PhD

Аннотация. Приведены результаты экспериментальных исследований по изучению расширения псевдоожиженного слоя. Отмечено, что общая картина расширения псевдоожиженного слоя полидисперсных зернистых материалов отличается от монодисперсных систем, и вместе с этимвеличина порозностипсевдоожиженного слоя соответствует с результатами расчетовпо уравнениям имеющейся в литературе.

Ключевые слова: псевдоожиженный слой, расширение слоя, полидисперсные зернистые материалы, монодисперсные системы, порозность, гидродинамика псевдоожижения.

Annotatsiya. Mavhum qaynash qatlamlarining kengayishinio‘rganishga doir eksperimental tadqiqotlar natijalari keltirilgan. Polidispers donador materiallar mavhum qaynayotgan qatlami kengayishining umumiy ko‘rinishi monodispers sistemalarnikidan farq qilishi, lekin shu bilan birga mavhum qaynayotgan qatlam g‘ovakligining qiymati adabiyotlarda mavjud tenglavalar khisoblarining natijalariga mos kelishi qayd qilingan.

Kalit so‘zlar : mavhum qaynash qatlami, qatlamning kengayishi, polidispers donador materiallar, monodispers tizimlar, g‘ovaklik, psevdosuyultirish gidrodinamikasi.

Abstract. In article resulted of experimental researches on expansion studying fluidized layer. It is noticed, that the expansion overall view fluidized layer of poly disperse granular materials differs from mono disperse systems, and together with it the size separately fluidized layer corresponds with results of calculations on the equations available in the literature.

Keywords: fluidized bed, bed expansion, polydisperse granular materials, monodisperse systems, porosity, fluidization hydrodynamics.

Введение

Одним из наиболее перспективных методов интенсификации теплообмена является использование в качестве промежуточного теплоносителя псевдоожиженного слоя твердого зернистого материала. Основными достоинствами данного метода являются: высокие значения коэффициентов теплообмена за счет турбулизации потока теплоносителя интенсивным перемешиванием твердой фазы, развитая удельная поверхность контакта фаз, подвижность взвешенного слоя и возможность

ISSN 3030-3907

непрерывной циркуляции твердой фазы, небольшое гидравлическое сопротивление псевдоожиженного слоя, сравнительно простое устройство аппаратов и доступность их автоматизации, а также возможность применения данного метода в действующих аппаратах [1].

Организация псевдоожижения полидисперсного зернистого материала твердых частиц в трубах теплообменного аппарата устраняет вышеуказанные недостатки, вследствие разрушения и турбулизациипристенного слоя жидкостного потока. Однако, интенсивность переноса тепла от поверхности к жидкостному псевдоожиженному слою полидисперсного зернистого материала практически не изучена. В литературе отсутствуют данные о влиянии размеров и концентрации частиц, физических свойств зернистого материала и ожижающей жидкости, а также параметров неподвижного и псевдоожиженного слоя, такие как порозность и высота слоя на величину коэффициента теплоотдачи. В инженерной практике особенно важно уметь заранее оценить, удельный расход жидкости, необходимый для перевода частиц зернистого слоя различного диаметра и плотности в псевдоожиженное состояние [2].

Отсутствие экспериментальных обобщений по гидродинамике, структуре и внешнего теплообмена псевдоожиженных жидкостью сред полидисперсного зернистого материала с теплообменными поверхностями затрудняет создание модули этого взаимодействия, без которых невозможно разработать способы интенсификации теплопереноса в этих средах. Разработка эффективных способов интенсификации теплопереноса как в, моно- так и полидесперсных псевдожиженных средах возможно только на основе адекватной модули внешнего теплообмена, отражающий реальную картину структурно-гидродинамических эффектов, возникающих при контакте поверхности с гетерогенной средой, и степеней их воздействие на процессы.

При применении псевдоожиженного слоя в качестве промежуточного теплоносителя высокая степень интенсификации может быть достигнута, только тогда, когда теплообменная труба полностью заполнена зернистым материалом. При расчете таких аппаратов необходимо знать высоту взвешенного слоя в рабочем, т. е. расширенном состоянии. Расширение слоя является одной из важнейших характеристик состояния псевдоожиженной системы, поэтому его изучение является необходимым.

Так как во время эксплуатации теплообменных аппаратов высоту псевдоожиженного слоя контролировать практически невозможно, для расчета и проектирования теплообменных аппаратов, работающих со

ISSN 3030-3907

взвешенным слоем, чрезвычайно важно знать зависимость для расчета высоты кипящего слоя, с учетом влияющих на нее всех факторов.

Известно, что высота псевдоожиженного слоя определяется из условия равенства гидравлических сопротивлений неподвижного и псевдоожиженного слоев по формуле [1]:

$$H=H_0(1-\varepsilon_0)/(1-\varepsilon) \quad (1)$$

Где H-высота псевдоожиженного слоя; H_0-высота неподвижного слоя зернистого материала; ε_0-порозность неподвижного слоя зернистого материала; ε-порозность взвешенного слоя [3].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Экспериментальное исследование расширения псевдоожиженного слоя проводили на лабораторном стенде в стеклянных колонках с диаметром 20,24, 36 и 43,1 мм. Диапазон изменения скорости ожижающего агента (воды) в аппарате составлял 0,0018-0,67 м/с, начальная статическая высота слоя зернистого материала изменялась от 10 до 20 см. В качестве зернистого слоя использовали частицы неправильной формы: гравия, округлые стекла, свинца и катионита КУ-2-8. Гидравлическое сопротивление определяли прямым методом, т.е. импульсная трубка была установлена прямо над распределительной решеткой под слоем зернистого материала.

Средняя порозность псевдоожиженного слоя определялась обычным способом. Скорость начала псевдоожижения оставалась неизменной для каждой фракции частиц и не зависела от высоты неподвижного слоя зернистого материала. Экспериментальные значения этой скорости хорошо совпадали с вычисленными по формуле Тодеса для всех использованных фракций зернистого материала.

Расширения взвешенного слоя показали, что в узких трубках (с диаметром 20 и 24 мм) и при высотах неподвижного слоя более 15 см, наблюдается поршневой режим псевдоожижения. При псевдоожижении зернистого полидисперного материала водой в аппаратах с диаметрами 36 и 45,1 мм поршнеобразование отсутствовало, и слой расширялся более однородно, чем при псевдоожижении этих же частиц в трубах с диаметрами 20 и 24 мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Текущие значения порозности кипящего слоя в полном диапазоне псевдоожиженного состояния зависят от режима течения, характеризуемого критерием Рейнольдса. Поэтому экспериментальные значения ε вычисленные по формуле (1), представлены как функции числа Рейнольдса (рис. 1).Каждая экспериментальная точка - результат усреднения данных не менее трех измерений.

ISSN 3030-3907

Экспериментальные данные показывают, что для всех исследованных частиц порозность слоя во всем интервале скоростей жидкости непрерывно и практически одинаково возрастает. Экспериментальные точки располагаются около прямых линий, и практически не имеют излома. Тем самым еще раз доказано, что в исследованном процессе не достигается состояние, характерное для псевдоожижения при меньших скоростях жидкости, когда действительные скорости в широком интервале изменения расхода жидкости остаются постоянными. Эти данные также свидетельствуют, что характер псевдоожижения тяжелых частиц отличается от псевдоожижения слоя мелких сферических частиц.

При расширении слоя твердых частиц, псевдоожиженного водой, по сравнению с газовыми слоями при прочих равных условиях наблюдается меньшая степень расширения слоя, что выражается большим наклоном опытных прямых. Во всех опытах отмечены типичные для псевдоожижения капельной жидкостью четкая верхняя граница слоя, отсутствие склонности к агрегированию, практическое равенство теоретически рассчитанного и измеренного перепадов давления в слое.

Линейный размер (эквивалентный диаметр частиц) недостаточно выражает физическую сущность явления расширения. Одну из основных причин отмеченного различия видят в том, что движение сферических частиц в слое начинается при $\varepsilon=0,4$ тогда как частицы исследованного гравия начинают перемещаться при $\varepsilon=0,41\text{-}0,42$. По этой причине в одинаковых гидродинамических условиях слои из частиц неправильной формы, расширение которых начинается с больших значений порозности, имеют большую степень расширения в рабочем состоянии.

ISSN 3030-3907

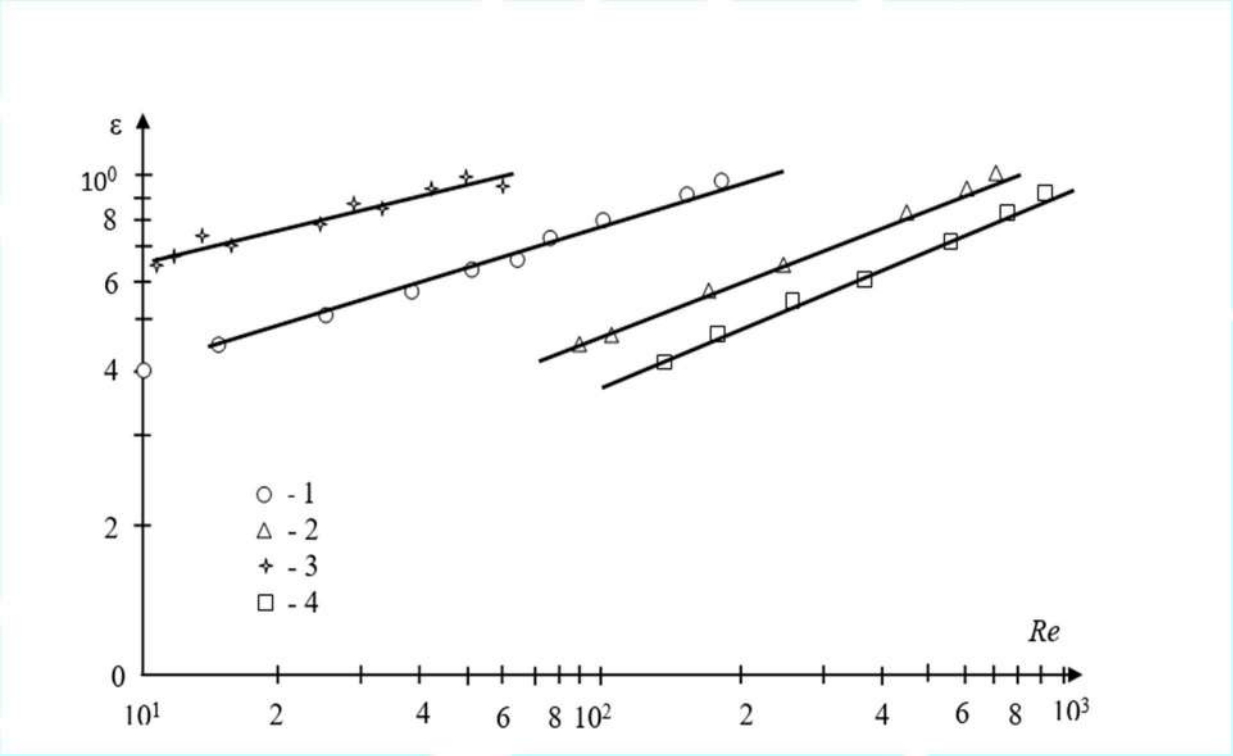


Рис.1. Зависимость порозности взвешенного слоя от критерия Рейнольдса: частицы гравия: 1-*d*=1,3 мм; 2-*d*=3,04 мм; 3-катионит КУ-2-8: *d*=0,84 мм; 4-свинцовый дробь: *d*=1,84 мм.

В отличие от псевдоожиженного слоя полидисперсного материала в целом, положение каждой отдельной частицы не является устойчивым. Если даже в какой-то момент частицы в слое распределены равномерно на равных расстояниях друг от друга, то малейшее смещение одной из них и уменьшение расстояния до одной из соседних приведет к такой перестройке обтекающего потока, что скорость в узком сечении между сблизившимися частицами возрастает, а давление по закону Бернулли уменьшится. В результате между сблизившимися частицами появится сила притяжения, и они будут еще более сближаться.

Подобная принципиальная неустойчивость равномерного распределения взвешенных частиц в пространстве приводит к возникновению локальных флуктуаций порозности. Частицы из зоны слоя с повышенной порозностью начнут подниматься. Непрерывное движение и изменение взаимного расположения соседних частиц и конфигурации живого сечения между ними делает поток нестационарным, что приводит к непрерывному изменению локальных профилей скоростей жидкости. Эти изменения скорости, в свою очередь, изменяют силы трения, действующие на частиц слоя и движения последних в данном месте. Но, как показали визуальные наблюдения, масштаб флуктуаций объемной плотности твердой фазы 1-ε является не столь слишком большой, что доказывается отсутствием

ISSN 3030-3907

участков, свободных от частиц, или участков, где частицы образовали плотную фазу. т. е. пакеты.

Полученные данные также подтверждают выше описанные явления. Разброс экспериментальных точек при псевдоожижении слоя катионита меньше, чем при расширении частиц из гравия, стекла и свинца. В небольшом диапазоне изменения Reпорозность слоя частиц более тяжелого материала ниже, чем усредняющая линия зависимости lgε=f(lgRe). Дело в том, что часть жидкости проходит через зоны слоя, обладающие меньшим гидравлическим сопротивлением. При этом средняя время пребывания жидкости в слое сокращается, так что она не полностью участвует в расширении слоя. Эффект частичного каналообразования более отчетливо проявляется в случае мелких частиц, так как отношение сопротивления слоя и канала здесь больше, нежели в слое крупных частиц, и через сравнительно небольшие каналы проходит соответственно большее количество жидкости.

В процессе проведения экспериментов обнаружено, что наиболее мелкие частицы из-за своего малого веса могут начать выдуваться из слоя при таких скоростях потока, когда более крупные еще не сдвигаются с места, несмотря на то, что интервал дисперсности исследованных зернистых материалов $d_{макс}/d_{мин}<2$.

Степень подвижности частиц зависит от распределения частиц по размерам. Измерение расширения полидисперсного слоя округлых частиц, псевдоожижаемого потоком жидкости показали, что характер кипения можно отнести к спокойным.

Результаты тех экспериментов, при которых отсутствовалопоршнеобразование (опыты, проведенные в колоннах наибольшего размера), обработаны в виде зависимости критерия Рейнольдса от порозности кипящего слоя и сопоставлены с результатамиобщеизвестной универсальной и одновременно простой формулы Тодеса [2]:

$$\varepsilon=[(18Re + 0{,}36Re^2)/Ar]^{0{,}21} \qquad (2)$$

Следует отметить, что степень расширения кипящего слоя в аппарате малого диаметра больше, чем в аппарате большого размера при прочих равных условиях. Основной причиной такого различия является порозность неподвижного слоя ε_0. При меньших значениях отношения D/d, значение ε_0 больше, чем в аппаратах большого диаметра. В одинаковых гидродинамических условиях слои, для которых расширение начинается с больших значений порозности, имеют большую степень расширения в рабочем состоянии.

Сопоставлением опытных значений порозностипсевдоожиженного слоя с рассчитанными по уравнению (2) получен максимальный процент

ISSN 3030-3907

расхождения - 8 %. Отметим, что расхождение опытных значений ε от вычисленных по формуле (2) возрастает с уменьшением D/d.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментально исследовано расширение слоя твердых частиц полидисперсных зернистых материалов, псевдоожиженного водой. Во всех опытах отмечены типичные для псевдоожижения капельной жидкостью четкая верхняя граница слоя, отсутствие склонности к агрегированию, практическое равенство теоретически рассчитанного и измеренного перепадов давления в слое.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аэров М.Э., Тодес О.М. Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем. - Л.: Химия, 1968. - 512 с.
2. Тодес О.М., Цитович О.Б. Аппараты с кипящим зернистым слоем: гидравлические и тепловые основы работы. - Л.: Химия, 1981. - 296 с.
3. Бахронов Х.Ш., худойбердиева Н.Ш. Гидравлическое сопротивление зернистого слоя при восходящем потоке жидкости. Журнал «Химическое и нефтегазовое машиностроение». -Москва, 2007. -№ 12. -С. 12-13.

ISSN 3030-3907