



Худойбердиева Н.Ш.

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СЛОЯ ПОЛИДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ

Худойбердиева Н.Ш. – PhD., доцент, Навоийский государственный горно-технологический университет,

Аннотация. Приведены результаты экспериментальных исследований по изучению гидродинамика псевдооживленного слоя. Проблему интенсификации теплообмена в трубах при умеренном росте перепада давления можно решать созданием псевдооживления твердых частиц в восходящем потоке основного теплоносителя. Интенсивность переноса тепла в псевдооживленном слое значительно выше, чем в однофазном газовом потоке в пустой трубе или в заполненной неподвижным зернистым материалом.

Ключевые слова: аппарат, псевдооживленный слой, зернистый материал, гидродинамика, неподвижный слой, скорость, структура, взвешенный слой, гидравлическое сопротивление, поток.

Особенности, присущие зернистому слою, затрудняют непосредственное измерение поля скоростей в нем и единственной легко измеряемой величиной является перепад давления в слое. Данные по гидравлическому сопротивлению слоя зернистого материала позволяют определить скорость потока, при которой слой приходит в псевдооживленное состояние, или так называемую скорость псевдооживления. В связи с этим, исследование перепада давления в неподвижном слое зернистого материала имеет важное практическое значение.

Слой незакрепленного твердого зернистого материала при проходе его жидкостью может перейти в подвижное состояние. Подобная гетерогенная система проходит, по крайней мере, три стадии: статическое состояние слоя при фильтрации через него жидкости, псевдооживление зерен в потоке жидкости и, наконец, вынос зерен с потоком жидкости. При одинаковом размере и форме зерен слоя (монодисперсный слой) иных состояний системы не наблюдается. Неодинаковый размер зерен (полидисперсный слой) является причиной появления переходных областей в движении частиц, в частности переходной области между состоянием фильтрации и псевдооживления [1]. Изучение гидродинамических особенностей и условий подобия переходной области псевдооживления показало необходимость экспериментального исследования в ней гидродинамического сопротивления.

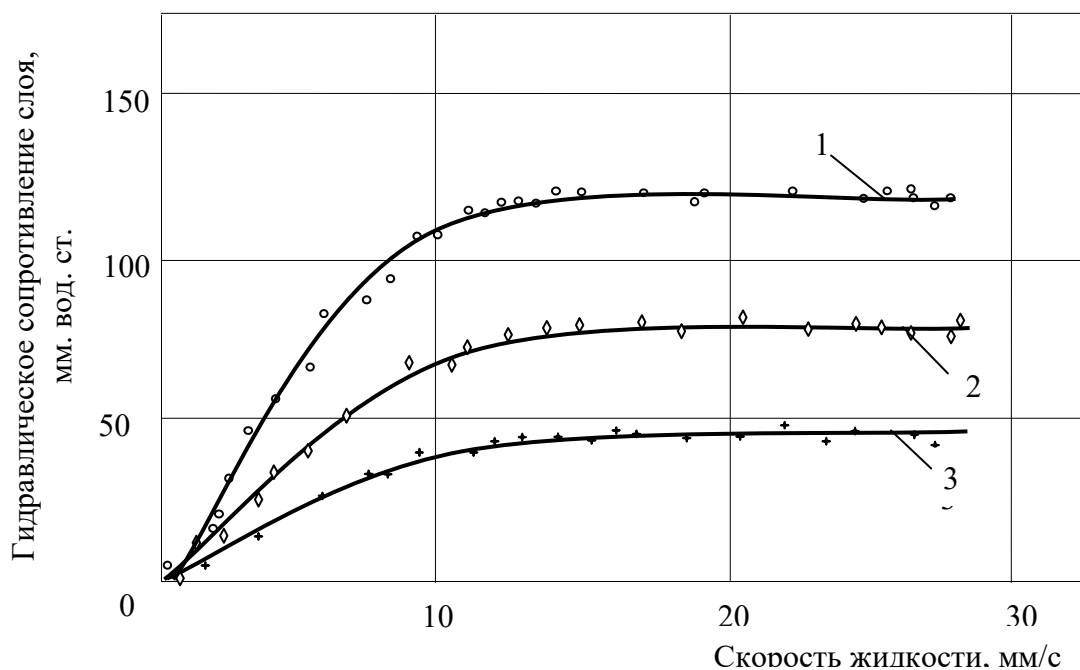
Нами были проведены опыты с двенадцатью образцами различных зернистых материалов. С целью увеличения степени неоднородности слоя, характеризующейся отношением $\eta = d_{\max}/d_{\min}$, опыты проведены также с бинарными слоями, которые состояли из частиц различного материала и плотности, поскольку таких слоев примыкают к полидисперсным [2,3].

В большинстве исследований, посвященных установлению зависимости между перепадом давления и свойствами слоя и оживающей среды, опыты проводили с большими отношениями диаметра аппарата к диаметру монодисперсных зерен ($D/d > 20$). В то же время при проведении экзотермических гетерогенно-каталитических реакций с большими тепловыми эффектами, часто применяются трубчатые контактные аппараты, в которых катализатор загружается в трубы диаметром не более 30 мм. Кроме того, в последнее время зернистый материал начали применять в качестве промежуточного теплоносителя для

интенсификации теплопереноса и предотвращения отложения накипи в трубчатых теплообменных аппаратах [4,5]. Использование труб малого диаметра и большой длины (высоты) дает возможность приблизиться к изотермическим условиям ведения процесса. Поэтому большой практический интерес представляет исследование гидравлического сопротивления слоя полидисперсных зернистых материалов в трубах малого диаметра в диапазоне отношения диаметра аппарата к диаметру частиц $D/d = 2 \dots 20$.

В первой серии опытов слой гравия различного гранулометрического состава оживалась водой. Полидисперсная зернистая масса рассеивалась на ситах 1,0-1,7; 1,7-2,3; 2,3-2,8; 2,8-3,3 мм. Полученные смеси с относительно близкими размерами зерен являлись исходными для дальнейших экспериментов.

В качестве определяющего размера принимался эквивалентный диаметр зерна, а не диаметр каналов. Зона переходного режима (переходная область) определялась из графика $\lg \Delta p = f(\lg w)$ (рис. 1), на которых наиболее четко выявляются две характерные точки - начало переходного режима и полное псевдооживление [6,7]. Эквивалентный диаметр зерна d_3 , рассчитывался по размерам проходного и непроходного сит и весовому составу зерен исходного класса.



$D = 36$ мм; 1 – $H_0 = 24,6$ см; 2 – $H_0 = 14,8$ см; 3 – $H_0 = 7,1$ см

Рис. 1. Зависимость гидравлического сопротивления слоя гравия со средним диаметром 1,98 мм от скорости воды.

Существенным переходом является замена действительного диаметра зерна d_3 эквивалентным диаметром d_3 . Этот переход служит чисто расчетным приемом и не имеет физических предпосылок. В этом пока выражается неумение ввести правильный определяющий размер для полидисперсного слоя. В принципе переход к расчетному эквивалентному диаметру есть отказ от наиболее существенной



геометрической характеристики полидисперсного слоя - отличных друг от друга размеров зерен. Однако в настоящее время нет других рекомендаций для расчета определяющего зерна. Кроме того, результаты наших опытов показывают соответствие между физическими процессами в слое и средним расчетным диаметром зерна (d_3). Видимо, статистическое распределение, и усреднение физических явлений в процессе позволяют вводить средние расчетные характеристики.

Обработка опытных данных по гидравлическому сопротивлению слоя в логарифмической системе координат позволяла четко выявить особенности поведения полидисперсного слоя при его оживлении жидкостью. Анализ полученных результатов позволяла выявить наиболее характерные особенности полидисперсного слоя и его отличие от монодисперсного слоя:

а) существование переходного режима между областями фильтрации и псевдооживления (в монодисперсном слое такой области не существует;

б) наличие двух характерных скоростей: w_n - начальной скорости переходного режима и w_k - критической скорости псевдооживления.

Из анализа кривых сопротивления монодисперсного и полидисперсного слоев очевидно неподobie законов сопротивления в этих двух случаях.

При фильтрации потока жидкости (газа) через зернистый материал для расчета гидравлического сопротивления слоя может быть использована зависимость для определения потери давления на трение в трубопроводах [8]:

$$\Delta p = \lambda N \rho w_n^2 / (2d_k) \quad (1)$$

где λ – коэффициент, который лишь формально отвечает коэффициенту трения;

N – высота слоя, м;

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

w_n – скорость потока в поровых каналах слоя, м/с;

d_n – эквивалентный диаметр порового канала, м.

Коэффициент λ должен отражать не только влияние сопротивления трения, но и дополнительных местных сопротивлений, возникающих при движении жидкости по искривленным каналам в слое и обтекании ею отдельных элементов слоя [8].

Учитывая, что определение диаметра канала для частиц неправильной формы затруднительно, целесообразно перейти от этого размера к эквивалентному диаметру самих частиц, используя соотношение

$$d_n = \Phi d_3 \varepsilon_0 / (1 - \varepsilon_0) \quad (2)$$

где Φ – коэффициент, учитывающий зависимость эквивалентного диаметра частицы d_3 от ее формы;

ε_0 – порозность неподвижного слоя зернистого материала.

Следует заметить, что замена истинной геометрической характеристики зерен полидисперсного слоя единым фиктивным диаметром является отступлением от понятия полидисперсности.

Обработка результатов экспериментов в общепринятой системе критериев $Eu = f(Re, Ag, \varepsilon_0, d_3/H)$ не привела к обобщенной зависимости для закона сопротивления



в переходном режиме. Трудности обобщений в переходном режиме объясняются сложностью физических явлений, для которых характерно одновременное существование двух процессов - фильтрации и псевдооживления. Поэтому обычная система критериев для одного из этих режимов не может привести к обобщению.

Использованные литературы:

- [1]. Бахронов Х.Ш., Худойбердиева Н.Ш., Суярова Х.Х. Гидродинамика полидисперсных зернистых материалов. Журнал «Горный вестник Узбекистана». - Навои, 2012. - № 4. - С. 112-114.
- [2]. Бахронов Х.Ш., Худойбердиева Н.Ш., Эрназаров К.А. Структурные характеристики взвешенных слоев полидисперсных зернистых материалов. Журнал «Горный вестник Узбекистана». - Навои, 2016. - № 1. - С. 95-97.
- [3]. Аэров М.Э., Тодес О.М. Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем. - Л.: Химия, 1968. - 512 с.
- [4]. Бахронов Х.Ш. Худойбердиева Н.Ш. Гидравлическое сопротивление зернистого слоя при восходящем потоке жидкости // Химическое и нефтегазовое машиностроение. - Москва, 2007. - № 12. - С. 12-13.
- [5]. Бахронов Х.Ш. Гидравлическое сопротивление полидисперсного катионита КУ-2-8 // Узбекский химический журнал. - Ташкент, 2008. - № 1. - С. 39-43.
- [6]. Бахронов Х.Ш. Повышение эффективности выпаривания кристаллизующихся растворов с использованием псевдооживленного слоя: Дис. ... докт. техн. наук. – Ташкент: 2009. - 270 с.
- [7]. Бахронов Х.Ш., Худойбердиева Н.Ш. Intensity of Heat Transfer in a tube with a Fluidized layer of a Polydisperse Granular material. International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 8, Issue 1, January-2017, ISSN 2229-5518/1482-1485 pages.
- [8]. Бахронов Х.Ш., Худойбердиева Н.Ш., Юнусова С.Т. Liquidation of solid particles of polydispersed grained material. International Journal of integrated education ISSN:2620-3502 (E)/2615-3785(P). Vol.3 №10, Oct. 2020, Indonesia.