

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ В ПУЛЬСИРУЮЩЕМ СЛОЕ

А.Н. Атясов, М.С. Василишин

Приводятся результаты экспериментального исследования влияния технологических параметров импульсного псевдооживления слоя силикагеля и конструктивных особенностей газораспределительной решетки на величину циркуляционного расхода материала в рабочей камере.

Ключевые слова: пульсирующий слой, циркуляционный расход твердой фазы.

ВВЕДЕНИЕ

Псевдооживление является одним из наиболее прогрессивных методов реализации технологических процессов с участием дисперсной – твердой фазы. Широкое внедрение метода в промышленную практику обусловлено прежде всего интенсивным перемешиванием твердой фазы, обеспечивающим однородное поле температур и концентраций во всем объеме слоя. Благодаря этому в значительной мере устраняется опасность локального перегрева частиц при их тепловой обработке и обеспечиваются высокие значения коэффициентов межфазного тепло- и массообмена. Вопросы перемешивания твердой фазы в псевдооживленном слое достаточно полно отражены в ряде работ [1–3], в которых приводятся количественные оценки интенсивности процесса и рассматривается влияние технологических параметров на его кинетику.

Однако применение методов псевдооживления ограничивается достаточно узким диапазоном скоростей газовой фазы, в котором может быть реализован процесс и его невысокой гидродинамической устойчивостью при обработке склонных к агломерации материалов. В этом случае реальной альтернативой обычному псевдооживлению является импульсный (пульсирующий) слой, создаваемый за счет прерывистой подачи оживающего агента в рабочую камеру аппарата.

Известно [4, 5], что применение пульсирующего слоя позволяет интенсифицировать целый ряд процессов с участием дисперсной твердой фазы. В тоже время вопросы перемешивания материала, в частности количественная оценка его внутренней циркуляции, изучены недостаточно полно. Отсутствие такой информации вызывает определенные затруднения при расчете и проектировании соответствующего технологического оборудования.

Нами исследовано влияние некоторых

режимных параметров обработки на интенсивность внутренней циркуляции частиц силикагеля при их импульсном псевдооживлении.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для оценки параметров движения частиц в псевдооживленных системах существует ряд методов [6, 7], в том числе основанных на определении расходов дисперсного материала через горизонтальное сечение слоя. Метод [6], базируется на определении изменения концентрации трассера в одной из двух зон псевдооживленного слоя. Если концентрацию трассера в верхней и нижней зонах слоя обозначить соответственно через C_1 и C_2 , то в соответствии с [6], дифференциальное уравнение для описания движения трассера может быть представлено в виде:

$$M_1 \frac{\partial C_1}{\partial \tau} = -M_2 \frac{\partial C_2}{\partial \tau} = G \cdot F \cdot (C_2 - C_1), \quad (1)$$

где G – расход частицы через границу между зонами, $g/(m^2 \cdot c)$;

M_1, M_2 – соответственно, масса твердых частиц в верхней и нижней зонах слоя, g ;

F – площадь поперечного сечения слоя, m^2 .

В момент времени $\tau = 0$, концентрация

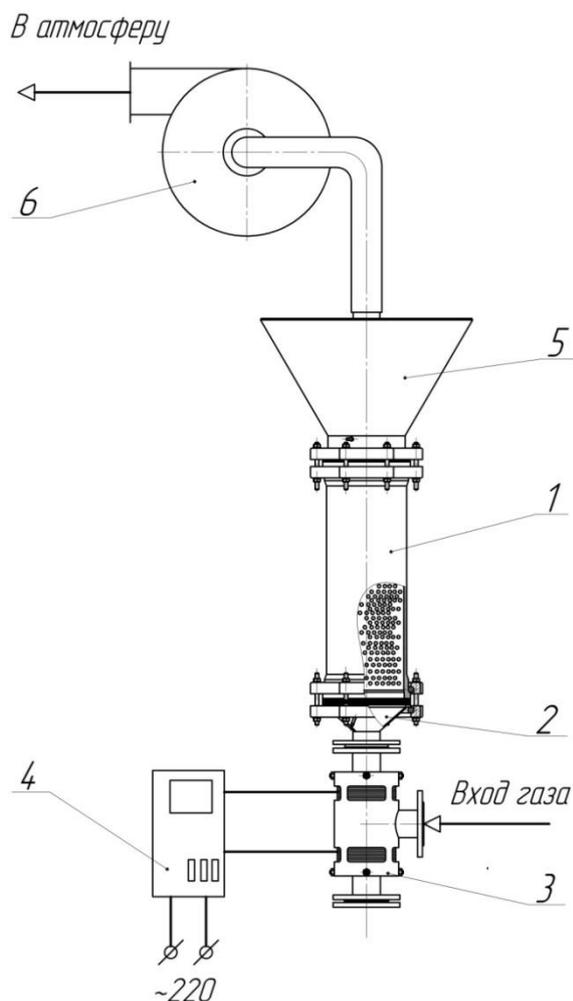
трассера в зонах составит $C_1 = C_0$ и $C_2 = 0$.

Тогда, после интегрирования (1) получается выражение для определения расхода частиц через границу между зонами:

$$G = \frac{-\ln \left\{ \left(\frac{C_1}{C_0} \right) \cdot \left[1 + \frac{M_1}{M_2} \right] - \frac{M_1}{M_2} \right\}}{F \cdot \tau \cdot \left[\frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2} \right]}, \quad (2)$$

Полученные с помощью (2) значения G могут быть использованы в качестве первого приближения для оценки интенсивности циркуляции частиц в слое.

Эксперименты по исследованию влияния технологических параметров обработки на величину циркуляционного расхода частиц силикагеля в пульсирующем слое проводились на установке, схема которой показана на рисунке 1.



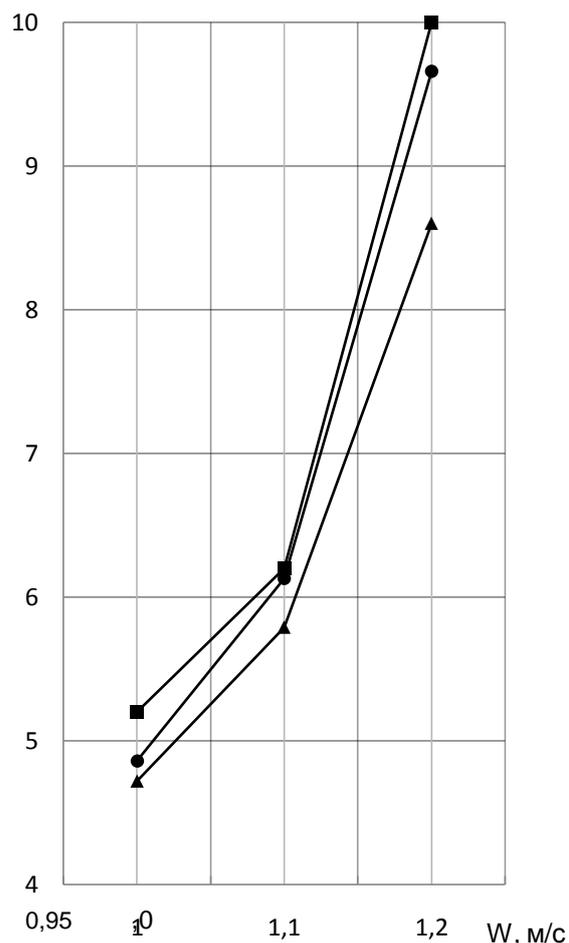
- 1 – цилиндрическая камера;
 2 – газоподводящий узел;
 3 – электромагнитный клапан;
 4 – электронный блок; 5 – сепарационный узел; 6 – хвостовой вентилятор

Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

Установка представляла собой цилиндрическую камеру 1 диаметром $D = 0,156$ м и высотой $H = 0,5$ м с газоподводящим узлом 2, непосредственно к которому подсоединен электромагнитный клапан 3 щелевого типа. Управление работой клапана осуществлялось от электронного блока 4, позволяющего изменять частоту пульсации в диапазоне $f = 1-5$ Гц и скважность импульса $\psi = 0,25-0,75$.

Камера 1 снабжалась набором беспровальных перфорированных решеток с долей «живого» сечения $\varphi = 5, 10$ и 15% . В верхней части камеры располагался расширяющийся кверху сепарационный узел 5, непосредственно к которому подключался хвостовой вентилятор 6. Расход воздуха на псевдооживление материала регулировался набором сменных диафрагм, которые устанавливались на входном патрубке клапана.

$G, \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$



$H_{\text{сл}} = 0,05$ м; $\varphi = 15\%$;

■ - $f = 1$ Гц; ● - $f = 3$ Гц; ▲ - $f = 5$ Гц.

Рисунок 2 – Зависимость циркуляционного расхода твердой фазы (G) от скорости воздуха (W)

В экспериментах использовался силикагель с эквивалентным размером частиц $d_{\text{эКВ}} = 3,25 \cdot 10^{-3}$ м. Плотность материала $\rho_{\text{ТВ}} = 2100$ кг/м³. Часть силикагеля (трассер) пропитывалась спиртовым раствором бриллиантовой зелени.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ В ПУЛЬСИРУЮЩЕМ СЛОЕ

Силикагель, находящийся в стеклянной камере делился на 2 части: верхнюю – окрашенную и нижнюю – неокрашенную. Весовое соотношение окрашенной и неокрашенной частей засыпки во всех экспериментах составляло 1:10. В процессе импульсного псевдооживления слоя происходил обмен частицами между частями засыпки. Длительность единичного опыта составляла 300 с, после чего из 5 точек на поверхности слоя отбирались пробы, в которых определяли среднюю массовую концентрацию трассера.

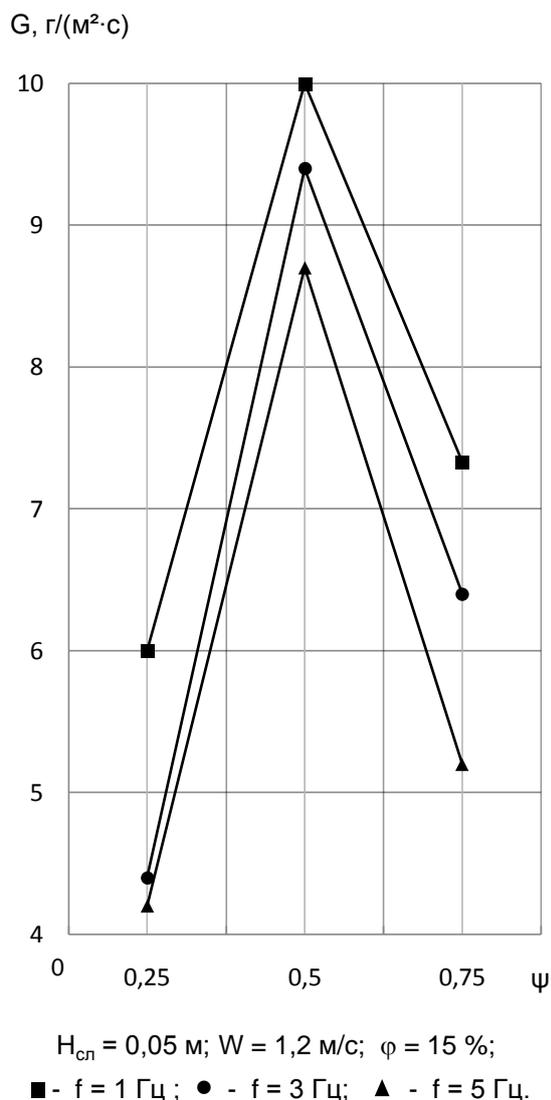


Рисунок 3 – Зависимость циркуляционного расхода твердой фазы (G) от скважности импульса (ψ)

Визуальными наблюдениями за поведением слоя силикагеля установлено, что под действием пульсирующего потока воздуха частицы твердой фазы интенсивно переме-

шиваются, при этом в центральной части рабочей камеры имеет место их восходящее движение, а по периферии – опускное.

На рисунке 2 представлены зависимости циркуляционного расхода твердой фазы от скорости воздуха.

Как следует из полученных зависимостей, с ростом скорости воздуха циркуляционный расход закономерно возрастает. Такая тенденция отмечена во всем диапазоне частот пульсации от 1 до 5 Гц, при этом увеличение частоты вызывало снижение циркуляционного расхода материала.

Влияние скважности импульса на циркуляционный расход носит экстремальный характер (рисунок 3) и максимальные значения G соответствуют $\psi = 0,5$.

При малых значениях скважности ($\psi = 0,25$), относительное перемещение частиц силикагеля невелико и слой движется как единое целое (поршень). Напротив, при $\psi = 0,75$ в слое появляется достаточно большое число крупных пузырей, при этом концентрация частиц силикагеля в единице объема снижается, что ведет к уменьшению циркуляционного расхода материала.

Влияние доли «живого» сечения газораспределительной решетки на циркуляционный расход показано на рисунке 4.

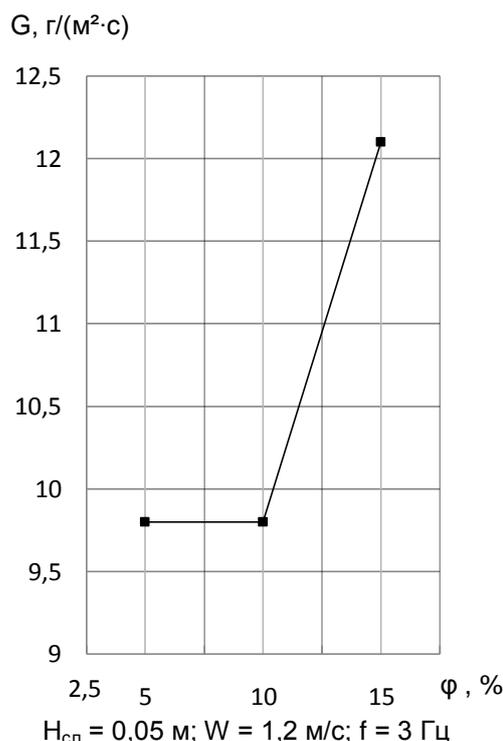


Рисунок 4 – Зависимость циркуляционного расхода твердой фазы (G) от доли «живого» сечения решетки (φ)

Как следует из полученных данных, в диапазоне $\varphi = 5\text{--}10\%$ G практически не меняется и резко увеличивается в дальнейшем, достигая величины $12,2 \text{ г}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$ при $\varphi = 15\%$. По-видимому, это связано с более однородным полем скоростей газовой фазы в поперечном сечении рабочей камеры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследовано влияние некоторых технологических параметров импульсного псевдоожиженного слоя силикагеля и конструктивных особенностей газораспределительной решетки на величину циркуляционного расхода материала в рабочей камере. Установлено, что циркуляционный расход возрастает при увеличении скорости оживающего агента и уменьшении частоты его пульсации. Влияние скважности на циркуляционный расход носит экстремальный характер, при этом максимальные значения G достигаются при симметричном цикле пульсации ($\psi = 0,5$).

Доля «живого» сечения газораспределительной решетки оказывает заметное влияние на величину циркуляционного расхода материала только при значениях φ , превышающих 10% .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аэров, М. Э. Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем / М. Э. Аэров, О. М. Тодес. – Л.: Химия, Ленингр. отд-ние, 1968. – 510 с.
2. Гельперин, Н. И. Основы техники псевдоожижения / Н. И. Гельперин, В. Г. Айнштейн, В. Б. Кваша. – М.: Химия, 1967. – 664 с.
3. Забродский, С. С. Гидродинамика и теплообмен в псевдоожиженном (кипящем) слое / С. С. Забродский. – Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 488 с.
4. Айнштейн, В. Г. Псевдоожижение / В. Г. Айнштейн, А. П. Баскаков, Б. В. Берг и др. – М.: Химия, 1991. – 400 с.
5. Василишин, М. С. // Сборник тезисов докладов Международной конференции по химической технологии «ХТ'07». – М.: Ленанд, 2007. – Т. 2. – С. 120–122.
6. Кунии, Д. Промышленное псевдоожижение / Д. Кунии, О. Левеншпиль. – М.: Химия, 1976. – 446 с.
7. Забродский, С. С. Тепло- и массообмен в многофазных многокомпонентных системах. Сб. научн. трудов. – Минск: ИТМО им. А. В. Лыкова АН БССР, 1978. – С.62–69.

Атясов Алексей Николаевич – аспирант, БТИ АлтГТУ, г. Бийск, улица имени Героя Советского Союза Трофимова, 27, 659305, e-mail: info@bti.secna.ru.

Василишин Михаил Степанович – к.т.н., доцент, заведующий лабораторией ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1, 659322, e-mail: ipcet@mail.ru.