

УДК 66.096.5

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСТИРАНИЕ ГРАНУЛ КЕРАМЗИТА В КИПЯЩЕМ СЛОЕ

ОГУРЦОВ А.В., канд. техн. наук, МИТРОФАНОВ А.В., студ., ЖУКОВ В.П., д-р. техн. наук (ИГЭУ)

Приведены результаты экспериментального исследования истирания гранул керамзита в кипящем слое при различных режимах псевдоожижения. Предложена ячеечная модель, описывающая кинетику истирания.

В последнее время легкие бетоны с использованием в них пористых заполнителей находят в строительстве все большее применение. В нашей стране наиболее используемым заполнителем является керамзит (до 80% современного производства искусственных пористых заполнителей) [1]. В ряде промышленных технологических схем производства керамзита для обжига гранул готового продукта используются аппараты кипящего слоя (КС). Это обусловлено высокой интенсивностью процесса тепло- и массопереноса в этих аппаратах. Однако кажущаяся простота технического оформления процесса таит в себе ряд опасностей, так как псевдоожиженный слой – сложное явление со своими особенностями, незнание которых может привести к его неэффективному использованию.

Так невысокая прочность частиц керамзита приводит к нежелательному сопутствующему процессу — истиранию, приводящему к потере материала, снижению эффективности переработки из-за засорения реакционной зоны пылью, дополнительным проблемам, связанным с пылеулавливанием [2, 3].

В связи с тем, что до настоящего времени систематических исследований по истиранию гранул керамзита в кипящем слое не проводилось [4], нами была разработана методика и проведены экспериментальные исследования на лабораторной установке КС (рис.1), включающей цилиндрикоконический аппарат с диаметром в нижней части конуса 100 мм, в верхней — 150 мм; циклон; газодувку РГН-427.

Воздух на псевдоожижение нагнетался газодувкой РГН - 427 (3) производительностью до 400 м<sup>3</sup>/ч. Расход воздуха замерялся ротаметром РМ - 2,3 Ж (4). Улавливание мелких частиц из отходящего газа производилось циклоном конструкции НИОГАЗ (2). Истирание гранул керамзита исследовалось в цилиндрикоконическом реакторе (1).

Методика проведения экспериментальных исследований истирания керамзита состояла в следующем:

1. В подготовке навески гранул керамзита к исследованию. Для этого необходимо было приготовить узкую фракцию с размерами частиц 5÷5,5 мм. Исследовались гранулы керамзита ГОСТ 12.1.007–76. Подготовка навески проводилась на электронных весах ОНАУС SCOUT II с точностью 0,01 г. На тех же весах затем взвешивались полученные фракции продукта.

Подготовка навески гранул предполагала предварительное усреднение свойств материала. Исходный материал был перемешан и просеян через два сита соответственно 5,5 и 5 мм. Полученная фракция помещена в единую колбу. Перед каждым взятием пробы материал в колбе тщательно перемешивался.

2. В подготовке лабораторной установки к исследованию, которая предполагала очистку газораспределительной решетки, стенок аппарата и циклона после каждых 3–4 опытов, а также создание герметичности установки.

В ходе экспериментальных исследований предполагалось изучение влияния загрузки реактора и расхода газа на истирание гранул керамзита за определенный промежуток времени. С этой целью в аппарат загружалась подготовленная навеска гранул. Псевдоожижение частиц осуществлялась воздухом, подаваемым через ротаметр 4 в газораспределительную решетку (рис. 1.). В ходе опыта из штуцера 5 реактора и циклона 2 отбирались пробы материала для определения гранулометрического состава продукта в слое и в циклоне. По окончании каждого опыта составлялся материальный баланс, учитывающий массу продукта до и после опыта в аппарате и в циклоне.

Для анализа результатов экспериментальных исследований по истиранию гранул керамзита в кипящем слое была предложена математическая модель на основе теории цепей Маркова.

Истирание частиц в кипящем слое представлено как марковский процесс с дискретным шагом по времени и по размеру частиц.

Для описания состояния системы выберем вектор, составленный из массовых долей частиц разной крупности  $\mathbf{F} = \{f_i\}$ , где  $i = \overline{1, n}$ ; частицам максимального размера соответствует  $i=1$ . Через промежуток времени  $\Delta t$ , называемый временем перехода, вектор  $\mathbf{F}_k$  изменится и станет  $\mathbf{F}_{k+1}$ . Считая  $\Delta t$  постоянным, заменим непрерывное время его дискретными моментами  $t_k = k\Delta t$  и будем рассматривать  $k$  как целочисленные моменты условного времени.

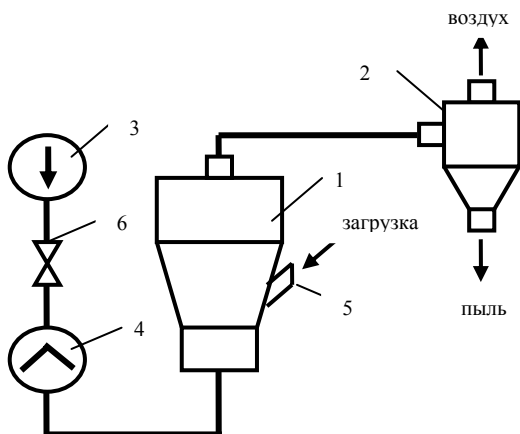


Рис. 1. Технологическая схема лабораторной установки по истиранию гранул в кипящем слое.

– цилиндрикоконический реактор; 2 – циклон; 3 – газодувка – РГН – 427; 4 – ротаметр РМ - 2,3 Ж; 5 – штуцер; 6 – вентиль.

Связь между векторами состояния до и после k-го перехода описывается следующей матричной формулой:

$$F_{k+1} = PF_k, \tag{1}$$

где **P** – матрица переходных вероятностей, элементы которой  $p_{ij}$  показывают вероятность перехода из j-ой ячейки вектора состояния в i-ю.

Для определения элементов матрицы **P** примем, что разрушенные частицы при истирании могут переходить в соседний класс или в мелочь. Тогда частица j-го класса за время перехода  $\Delta t$  может с вероятностью  $p_{j,j}$  остаться в своем классе ( $i=j$ ), с вероятностью  $p_{j+1,j}$  перейти в соседний более мелкий класс ( $i=j+1$ ) и с вероятностью  $p_{n,j}$  перейти в самый мелкий класс ( $i=n$ ). Указанные события образуют полную группу событий, суммарная вероятность которых равна единице:

$$p_{j,j} + p_{j+1,j} + p_{n,j} = 1. \tag{2}$$

Диагональный элемент матрицы переходов показывает вероятность остаться в наблюдаемой фракции. Выразим его как разность между единицей и значением селективной функции [4,5], которая равна вероятности разрушения частиц за время  $\Delta t$

$$p_{j,j} = 1 - S_j. \tag{3}$$

Селективную функцию  $S$ , в свою очередь, представим в виде степенной зависимости от размера частицы [6]

$$S = \alpha x^m, \tag{4}$$

где  $\alpha, m$  – коэффициенты,  $x$  – размер частицы. Отношение массовых долей или вероятностей переходов частиц в классы  $n$  и  $(j+1)$  найдем как отношение размеров соответствующих частиц в степени  $k$ :

$$\frac{p_{j+1,j}}{p_{n,j}} = \frac{x_{j+1}^k}{x_n^k}. \tag{5}$$

Показатель степени при этом зависит от характера истирания и формы частиц. Если за акт разрушения считать отслоение осколков с одной грани, то  $k=1$  и этот случай соответствует игольчатой модели. Если актом разрушения считать отслоение осколков со всей поверхности, то  $k=2$ , и наконец, если акт разрушения – отделение одиночного осколка, то  $k=3$ . В реальности происходят все три события, но обычно одно из них доминирует.

Вероятности переходов (1) для с учетом (3), (5) представим в виде:

$$p_{j+1,j} = \frac{S_j x_{j+1}^k}{x_{j+1}^k + x_n^k} \tag{6}$$

$$p_{n,j} = \frac{S_j x_n^k}{x_{j+1}^k + x_n^k} \tag{7}$$

Гранулометрический состав материала после истирания определяется с помощью матричного равенства (1).

На рис.2,3 приведены результаты экспериментальных исследований истирания гранул керамзита в описанной лабораторной установке кипящего слоя, мето-

дика проведения которых рассмотрена выше.

Проведенные расчетные исследования показали, что модель истирания частиц в кипящем слое, построенная на основе однородной марковской цепи, качественно-непротиворечиво описывает экспериментальных данных.

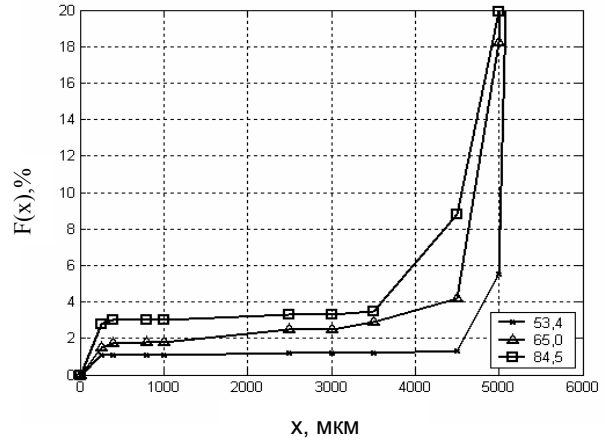


Рис. 2. Влияние расхода газа на истирание гранул керамзита (расходы газа – 53,4 м³/ч, 65,0 м³/ч, 84,5), масса слоя  $G_{сн}=150$  г, температура слоя  $t_{сн}=40$  °С.

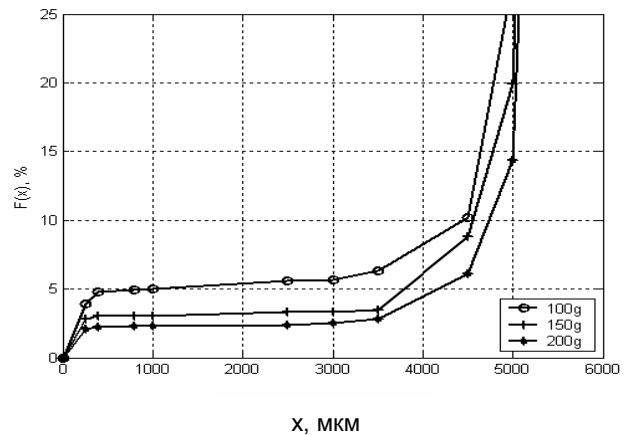


Рис. 3. Влияние массы слоя на истирание гранул керамзита (массы навесок – 100 г, 150 г, 200 г) расход газа – 84,5 м³/ч.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение: Учеб. пособие для строит. спец. вузов – 2-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2004. – 701 с.
2. Гильперин Н.И., Айнштейн В.Г., Кваша В.Б. Основы техники псевдооживления. – М.: Химия, 1967. – 664 с.
3. Забродский С.С. Гидродинамика и теплообмен в псевдооживленном слое. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 488 с.
4. Mizonov V., Zhukov V., Bernotat S. Simulation of Grinding: New Approaches. – ISPEU Press, 1997.
5. Austin L.G. et al. // Powder Technology. – 1984. – V.3. – №3. – P. 255–260.
6. О структуре селективной и распределительной функции при измельчении / В.Е. Мизонов, В.П. Жуков, С.И. Шувалов и др. // Цветные металлы. – 1984. – №3. – С. 57–59.