

## СКОРОСТИ ПСЕВДООЖИЖЕНИЯ В КОНИЧЕСКИХ АППАРАТАХ

**С.М. Сабадаш, А.Р. Якуба, В.В. Касянчук**

*Сумский национальный аграрный университет, г. Сумы*

*Приведены теоретические зависимости расчета скоростей фонтанирования в начале псевдооживления, в режиме устойчивого фонтанирования и уноса частиц, а также приведено сравнение теоретических формул с экспериментами, которые показывают их объективность.*

Аппараты с псевдооживленным (кипящим) слоем находят широкое применение в промышленности (рисунок 1) для осуществления процессов обжига, перемешивания, сжигания топлива, сушки влажных материалов и других процессов [1].

Основой расчета аппаратов с кипящим слоем является критическая скорость в начале кипения ( $W_{н.к.}$ ) и скорость уноса частиц, называемая скоростью витания ( $W_{вит}$ ) [2]. Отношение скоростей витания и начала кипения называется числом псевдооживления:

$$K = W_{вит} / W_{н.к.}$$

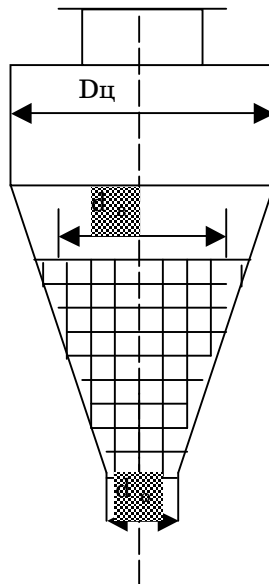


Рисунок 1 – Аппарат с фонтанирующим слоем:

$d_0$  – диаметр входного отверстия ;

$d_v$  – диаметр верхнего сечения ;

$D_ц$  – диаметр цилиндрической части аппарата

В сравнении с кипящим слоем, характерным для цилиндрических аппаратов, псевдооживление в конических аппаратах имеет более широкий диапазон кипения ( $K$ ). Такой слой называется фонтанирующим [3].

Наиболее приемлемой зависимостью расчета скорости начала псевдооживления является формула Горошко В.Д., Розенбаума Р.Б.,

Тодеса О.М[4].Ее достоинство в сравнении с другими зависимостями – возможность использования для всех режимов обтекания частиц

$$\text{Re н.к.} = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}}, \quad (1)$$

где

$$Ar = \frac{gd^3(\rho_t - \rho_{жс})}{\nu_{жс}^2 * \rho_{жс}};$$

$$\text{Re н.к.} = \frac{W_{н.к} * d}{\nu_{жс}};$$

– критерии Архимеда и Рейнольдса.

Здесь  $d$  – диаметр (обычно эквивалентный) твердых частиц;  $\nu_{жс}$  – кинематическая вязкость жидкости или газа;  $\rho_{жс}$ ,  $\rho_t$  – плотность ожижающего агента и частиц.

Аналогично уравнениям Тодеса О.М, которые были получены из уравнения Эргана [5] применительно к цилиндрическим аппаратам, с участием авторов данной статьи получена зависимость расчета критической скорости псевдооживления в конических аппаратах [6]:

$$\text{Re н.к.} = \frac{Ar}{1400 \frac{d_0}{d_e} + 3 \sqrt{Ar \frac{d_0}{d_e} \left( \frac{d_0^2}{d_e^2} + \frac{d_0}{d_e} + 1 \right)}}, \quad (2)$$

где  $d_0, d_e$  – нижний и верхний диаметры слоя.

Зависимости (1) и (2) получены для порозности слоя ( $\varepsilon = \frac{V_{с.в.}}{V_{слоя}} = 0,4$ ), т.е. начала псевдооживления. Для значений порозности

$1 > \varepsilon > \varepsilon_0$  воспользуемся методом Тодеса [4], которым была установлена зависимость скорости псевдооживления от порозности и других параметров слоя. Преобразуем уравнение (2). Умножим числитель и знаменатель на число  $\frac{18}{1400}$ , получим

$$\text{Re}_0 = \frac{\frac{18}{1400} Ar}{\frac{18}{1400} 1400 \frac{d_0}{d_e} + 3 \sqrt{\frac{18}{1400} Ar \frac{d_0}{d_e} \left( \frac{d_0^2}{d_e^2} + \frac{d_0}{d_e} + 1 \right)}}.$$

После преобразований получено

$$\text{Re}_0 = \frac{0,01286 Ar}{18 \frac{d_0}{d_e} + 0,34 \sqrt{0,01286 Ar \frac{d_0}{d_e} \left( \frac{d_0^2}{d_e^2} + \frac{d_0}{d_e} + 1 \right)}}.$$

Число 0,01286 есть функция порозности для начала псевдооживления  $\varepsilon = \varepsilon_0 = 0,4$ .

Очевидно, что в режиме уноса порозность и функция порозности будут стремиться к единице  $\Phi(\varepsilon=1) = 1$ . В общем виде уравнение примет вид

$$\text{Re} = \frac{Ar * \phi(E)}{18 \frac{d_0}{d_\varepsilon} + 0,34 \sqrt{\phi(E) Ar \frac{d_0}{d_\varepsilon} \left( \frac{d_0^2}{d_\varepsilon^2} + \frac{d_0}{d_\varepsilon} + 1 \right)}}, \quad (3)$$

объединный в единый комплекс, используя значения

$$\Phi(\varepsilon=0,4)=0,01286; \quad \Phi(\varepsilon=1)=1; \quad 0,4^X=0,01286; \quad X=4,75;$$

$$1^{4,75}=1; 0,01286=0,4^{4,75}.$$

Для начала псевдооживления получим уравнение

$$\text{Re}_0 = \frac{Ar * 0,01286}{18 \frac{d_0}{d_\varepsilon} + 0,038 \sqrt{Ar \frac{d_0}{d_\varepsilon} \left( \frac{d_0^2}{d_\varepsilon^2} + \frac{d_0}{d_\varepsilon} + 1 \right)}}}. \quad (4)$$

После упрощения получена зависимость расчета скорости в начале фонтанирования, соответствующая (2).

Для режима уноса ( $\varepsilon=1$ ):

$$\text{Re}_{\text{уноса}} = \frac{Ar}{18 \frac{d_0}{d_\varepsilon} + 0,34 \sqrt{Ar \frac{d_0}{d_\varepsilon} \left( \frac{d_0^2}{d_\varepsilon^2} + \frac{d_0}{d_\varepsilon} + 1 \right)}}}. \quad (5)$$

Для режима устойчивого фонтанирования ( $\varepsilon=0,5-0,9$ ):

$$\text{Re}_{\text{уф}} = \frac{Ar * \varepsilon^{4,75}}{18 \frac{d_0}{d_\varepsilon} + 0,34 \sqrt{Ar * \varepsilon^{4,75} \frac{d_0}{d_\varepsilon} \left( \frac{d_0^2}{d_\varepsilon^2} + \frac{d_0}{d_\varepsilon} + 1 \right)}}}. \quad (6)$$

Экспериментальные исследования процесса псевдооживления проводили в камере с коническим днищем и следующими геометрическими параметрами:  $d_0=50$  мм,  $D_{\text{ц}}=120$  мм, высота камеры  $H=125$  мм, угол наклона стенки днища к оси  $\alpha(\dots=13^\circ 40')$ .

В процессе исследований измеряли расход воздуха расходомерной шайбой. Высоту слоя изменяли путем засыпания разного количества фторопластовой крошки с эквивалентным диаметром  $d_s=3,4$  мм. Соответственно  $H_1=30$  мм,  $H_2=50$  мм,  $d_{\text{в1}}=65$  мм,  $d_{\text{в2}}=74$  мм.

Результаты расчетов по приведенным зависимостям и данные экспериментов приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Скорости фантанирования крошки:  
 $d_s=3,4$  мм,  $H_1=30$ ,  $d_0=50$  мм,  $d_\varepsilon=65$  мм

	1	2	3	4	5	6	7
$\varepsilon$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$W_{\text{фм}}$	1,56	2,8	4,6	6,7	9,3	12,4	16,0
$W_{\text{фэ}}$	1,45	2,83	3,82	6,5	-	-	-

**Таблица 2 – Скорости фонтанирования крошки:**  
 $d_s=3,4$  мм,  $H_2=50$  мм,  $d_o=50$  мм,  $d_e=74$  мм

	1	2	3	4	5	6	7
$\varepsilon$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$W_{\phi m}$	3,0	3,3	5,2	7,6	10,6	14,1	18,3
$W_{\phi \varepsilon}$	-	3,82	5,94	-	-	-	-

$W_{\phi m}$ ,  $W_{\phi \varepsilon}$  – теоритическае и экспериментальные скорости фонтанирования, м /с

### ВЫВОДЫ

Использованы методы О.М. Тодеса и авторов для изучения процесса псевдооживления частиц в коническом аппарате. Преобразованием уравнений Эргана-Тодеса получены зависимости расчета скорости фонтанирования от начала псевдооживления ( $\varepsilon = \varepsilon_0 = 0,4$ ) до выноса частиц ( $\varepsilon = 1$ ). Экспериментальными исследованиями получены значения скоростей для различных условий. Сравнение расчетных и теоретических значений свидетельствует о объективности уравнений.

### SUMMARY

*The equalization of calculation the speed of fluidization in conic apparats was received with use equalization Todes-Ergan. With use equalization Todes-Ergan was received the equalizations of calculation the speeds of fluidization in conic apparats.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айнштейн В.Г.,Кваша В.Б.Основы техники псевдооживления. – М.: Химия,1967.-С.76–91.
2. Девидсон Д.Ф.,Харисон Д. Псевдооживление. – М.:Химия,1965. – С.620-654.
3. Романков П.Г.,Рошковская Н.Б.Сушка во взвешенном состоянии. – М.;Л.:Химия,1979.- С.15-19.
4. Горошко В.Д.,Тодес О.М.,Розенбаум Р.Б. // Изв. вузов.Нефть и газ. – № 1. – 1958. – С.125-131.
5. Тодес О.М., Цитович О.Б. Аппараты с кипящим зирнистым слоем. – Л.: Химия, 1981.- С.23.
6. Якуба О.Р.,Кузьмин И.Ф.и др. Критическая скорость псевдооживления в конических аппаратах // ЖПХ. – №6. – 1989. – С1391-2.

**Сабадаш С.М.**, аспирант;  
**Якуба А.Р.**, д-р техн. наук, профессор;  
**Касянчук В.В.** д-р вет. наук, профессор

*Поступила в редакцию 10 января 2008 г.*