

**Е.А. Шестаков, И.Е. Тимофеев, С.А. Шестаков**

Березниковский филиал  
Пермского национального исследовательского  
политехнического университета

## **К ВОПРОСУ ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОЦЕССА СУШКИ ХЛОРИДА КАЛИЯ В АППАРАТЕ ПСЕВДООЖИЖЕННОГО СЛОЯ**

*На основе расчета процесса сушки хлорида калия рассмотрена интенсивность процесса и совершенство конструкции аппарата псевдоожигенного слоя.*

В последнее время на предприятиях Верхнекамского промышленного региона в производстве хлорида калия наибольшее распространение получили сушилки кипящего слоя (КС), конструкции ВНИИгалургии (Россия), фирмы «Бюттнер» (Германия) и ПО «Беларускалий» (Беларусь).

К основным достоинствам данных аппаратов относят: высокие скорости тепло- и массообмена между сушильным агентом и частицами; возможность обмена большим количеством тепла между фазами и осуществление непрерывного крупнотоннажного производства [1].

Однако, кроме приведенных достоинств, при выборе рационального способа сушки и конструкции сушильного аппарата немаловажную роль играет интенсивность осуществляемого процесса, характеризующаяся, к примеру, съемом влаги или выхода продукта с единицы объема псевдоожигенного слоя.

При определении объема слоя и материала, находящегося в этом объеме, для процесса сушки хлорида калия, с учетом методики, приведенной в работе [2], рассматривались следующие основные параметры: средний размер частиц 0,4 мм; производительность аппарата по влажному (исходному) продукту 150 т/ч; изменение влажности материала от 5,4 до 0,3 %. В ходе расчета определены основные гидродинамические и тепловые показатели процесса, а также необходимый расход сушильного агента ( $L$ ), равный 17,76 кг/с.

На основании уравнения теплообмена [3] определяется необходимое время сушки хлорида калия для промышленных условий:

$$\tau = \frac{c_{с.а} \cdot \rho_V \cdot (t_0 - t_k)}{\mu_{конц} \cdot \alpha \cdot \bar{S} \cdot \Delta t}. \quad (1)$$

В качестве сушильного агента принят воздух, предварительно нагретый в калорифере. В выражении (1) параметры удельная теплоемкость сушильного агента ( $c_{с.а}$ ), плотность материала с учетом его конечной влажности ( $\rho_V$ ), средняя температура сушильного агента в аппарате ( $t_0$ ), температура сушильного агента на выходе из аппарата ( $t_k$ ), концентрация твердого материала ( $\mu_{конц}$ ), дисперсность материала ( $\bar{S}$ ), средняя движущая сила процесса ( $\Delta t$ ) однозначно определяются из начальных условий процесса, а коэффициент теплоотдачи ( $\alpha$ ) является функцией от относительной скорости фаз ( $v_{отн}$ ) в сушильном аппарате, выраженной через скорость сушильного агента ( $v_r$ ) и скорость частиц материала ( $v_q$ ):

$$v_{отн} = v_r - v_q. \quad (2)$$

Границей существования псевдооживленного слоя является скорость витания ( $v_{вит}$ ) одиночной частицы [3]. При данных расчетах принимаем  $v_r = v_{вит}$ .

Скорость витания частиц определяется из интерполяционной формулы, действительной для всех режимов движения газового потока [4]:

$$Re_{вит} = \frac{Ar}{18 + 0,61\sqrt{Ar}}, \quad (3)$$

Для частиц хлорида калия со средним размером 0,4 мм, скорость витания составляет 2,925 м/с.

Исходя из того, что промышленные сушилки псевдооживленного слоя работают с частицами размером 0,03–7 мм и порозностью слоя 0,55–0,75 [3] из уравнения [5]

$$\varepsilon = 1 - \mu_{конц} \cdot \frac{v_r \cdot \rho_r}{v_q \cdot \rho_V}, \quad (4)$$

определяем значения скорости частиц материала в слое, которые составят 0,0045–0,0081 м/с. Тогда средняя относительная скорость газового потока  $\overline{v_{отн}} = 2,919$  м/с, а значение относительного критерия Рейнольдса  $\overline{Re_{отн}} = 23,742$ .

Величину критерия Нуссельта с учетом  $\overline{Re_{отн}}$  можно определить по выражению А.П. Сокольского [6]

$$\text{Nu} = 2 + 0,16 \cdot \text{Re}_{\text{отн}}^{0,67}. \quad (5)$$

Решая совместно уравнения (5) и (1), с учетом всех технологических параметров рассматриваемого процесса сушки хлорида калия, определяем продолжительность процесса, которая составит 0,46 с.

Объем псевдооживленного слоя материала, с учетом его высоты ( $H$ ) и площади аппарата ( $S$ ),

$$V_{\text{сл}} = H \cdot S = (v_{\text{ч}} \cdot \tau) \cdot \frac{L}{\rho_{\text{г}} \cdot v_{\text{г}}} = 0,037 \text{ м}^3. \quad (6)$$

Объем материала, находящегося в аппарате, определяемый из фактической нагрузки на аппарат ( $G_{\text{к}}$ ) и необходимого времени процесса ( $\tau$ ), составит

$$V_{\text{м}} = \frac{G_{\text{к}}}{\rho_{\text{в}}} \cdot \tau = 0,009 \text{ м}^3. \quad (7)$$

Таким образом, анализируя выражения (6) и (7), можно сделать вывод о низкой интенсивности реального процесса и несовершенстве промышленных сушилок псевдооживленного слоя, в которых объем слоя и материала в нем в сотни раз превышают полученные значения. В результате многократно уменьшится и интенсивность процесса, выраженная отношением количества высушенного продукта к фактическому объему псевдооживленного слоя.

### Список литературы

1. Забродский С.С. Гидродинамика и теплообмен в псевдооживленном (кипящем) слое. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 488 с.
2. Романков П.Г., Рашковская Н.Б. Сушка во взвешенном состоянии. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1979. – 272 с.
3. Плановский А.Н., Муштаев В.И., Ульянов В.М. Сушка дисперсных материалов в химической промышленности. – М.: Химия, 1979. – 288 с.
4. Аэров М.Э., Тодес О.М. Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим слоем. – Л.: Химия, 1968.
5. Разумов И.М. Пневмо- и гидротранспорт в химической промышленности (Процессы и аппараты химической технологии). – М.: Химия, 1979. – 248 с.
6. Сокольский А.П., Тимофеева Ф.А. Исследование горения натурального топлива. – М.: Госэнергоиздат, 1958.

Получено 2.06.2011