

А.Л. Касенов, С.Д. Токаев

УДК 621.1:664.723

Семипалатинский государственный университет

им. Шакарима, г. Семипалатинск

Т.М. Жакупов

Екибастузский инженерно-технический институт

им. академика К.И.Сатпаева, г. Екибастуз

ИЗУЧЕНИЕ УДАЛЕНИЯ ВЛАГИ ИЗ СЛОЯ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Мақалада газдық ағындағы дисперстік материалдардың үстінен дымқылды механикалық жолмен өшіру процессін тану бойынша теоретикалық және практикалық зерттеулер жасалған. Газдың оптималдық жылдамдылығын анықтау бойынша және қажетті кептіру уақытында дымқыл материалдар бөліктері алынған.

In the given work results theoretical and mechanical researches on studying mechanical removal process of moisture from surface dispersion materials with gas steam. Received dependence on definition optimal speed of gas and necessary time lands of puffs damp materials.

Известно, что в существующих сушильных установках не используется полностью физический потенциал потока теплоносителя – его кинетическая энергия. Поэтому для обеспечения оптимального режима сушки, заключающегося не только в тепловом испарении влаги, но и в механическом обезвоживании материала, требуются высокие значения относительной скорости газа и материала. В этой связи должно быть отличие в скоростях движения материала и газа. Размеры частиц могут быть настолько малы, что их скорость приблизится к скорости теплоносителя. Поэтому нецелесообразно дезагрегировать дисперсный материал до величины составляющих его частиц. В то же время, относительно большие агрегаты не обеспечивают необходимую площадь контакта с теплоносителем, значительное количество влаги остается внутри их. Необходима дезагрегация материала до размеров агрегатов, позволяющих обеспечить большую площадь контакта и высокую относительную скорость теплоносителя и материала. Эти параметры в конечном итоге определяют не только время сушки, но и энергозатраты на процесс. В этой связи открываются принципиально новые возможности при использовании высокоскоростного потока низкотемпературного газового теплоносителя, воздействующего на агрегаты влажного материала и обеспечивающего механическое удаление поверхностной влаги, что имеет значительные преимущества перед известными видами сушки.

Рассмотрим подробнее механизм уноса влаги при силовом воздействии газового потока на влажные дисперсные материалы. Взаимодействие высокоскоростного потока теплоносителя с агрегатами или отдельными частицами материала обуславливает формирование капли и её унос из слоя. Если силы поверхностного натяжения влаги меньше сил скоростного напора теплоносителя, то капли отрываются от агрегатов.

Предложенный механизм механического уноса влаги отличается от описанного в работе [1], автор которого считает, что отрыву пленки предшествует перераспределение по поверхности частицы влаги, образующейся из равномерного покрытия оболочки дисперсных материалов, причем движение жидкости происходит послойно [2]. На наш взгляд, указанный механизм уноса влаги объясняется высокой влажностью материала, когда частицы покрыты относительно толстой пленкой влаги.

Будем считать, что удаление капелек влаги происходит на границе между газом и жидкостью, т.е. в зоне сил вязкостного трения [3]. Примем, что начало образования капли диаметром d_k происходит тогда, когда давление внутри её от сил поверхностного натяжения уравнивается скоростным напором:

$$\zeta \frac{\rho_r \cdot C_r^2}{2} = \frac{C_o}{\text{Re}} \cdot \frac{\rho_r \cdot C_r^2}{2} = \frac{C_o \rho_r \mu_r C_r^2}{2V_r d_k \rho_r} = \frac{4G_{жс}}{d_k}, \quad (1)$$

где ζ - коэффициент трения, ($\zeta = \frac{C_o}{\text{Re}}$); C_o - коэффициент, зависящий от режима обтекания капли газом; ρ_r , μ_r , V_r - плотность, динамическая вязкость и относительная скорость газа соответственно; $G_{жс}$ - коэффициент поверхностного натяжения воды; V_r - скорость газа (теплоносителя). Для вычисления коэффициента C_o воспользуемся критерием устойчивости газожидкостной системы - K [4]:

$$K = \frac{8}{C_o} \sqrt{\frac{\rho_r}{\rho_{жс}}} = \text{const} = 6,5 \cdot 10^{-5}.$$

Следовательно:

$$C_o = 1,23 \cdot 10^5.$$

Из соотношения (1) получим интересное нас выражение для относительной скорости газа, необходимой для механического удаления влаги (срыва капель):

$$\frac{C_r}{V_r} = \frac{8G_{жс}}{C_o \mu_r} = \frac{6,5 \cdot 10^{-5}}{\mu_r \sqrt{\frac{\rho_r}{\rho_{жс}}}}. \quad (2)$$

С другой стороны, уравнение движения агрегата диаметром d_{ag} и массой M_{ag} в криволинейном канале запишется в виде [5]:

$$M_{ag} \frac{dV_m}{d\tau} = C_o \frac{\pi d_{ag}^2}{4} \rho_r \frac{C_r^2}{2} - \Psi \frac{M_{ag} V_m^2}{R}, \quad (3)$$

Откуда получаем (для условий равновесия):

$$C_r = \frac{V_r}{1 + \sqrt{\frac{3R\rho_r}{4Kd_{ag}\rho_m}}}, \quad (4)$$

здесь $C_r = (V_r - V_m)$ - относительная скорость газа; V_m , ρ_m - скорость и плотность материала; Ψ - коэффициент сопротивления, учитывающий совокупность сил, тормозящих движение агрегата (соударение и трение их друг о друга и о стенку сушилки, поперечная кориолисова сила и др.); R - радиус установки; $K = \Psi / C_o$ - приведенный

коэффициент, характеризующий соотношение сил (факторов торможения и гидродинамического сопротивления при движении агрегата).

Приведенный коэффициент сопротивления K в дальнейшем будем определять по эмпирической зависимости, аналогичной приведенной в [5]:

$$K = 2,5 \cdot 10^{-3} d_{az}^{-0,75}$$

С учетом этого коэффициента из соотношения (4) получим уравнение для определения оптимального диаметра агрегата из частиц влажного материала:

$$d_{az} = \left[\frac{3R\rho_{\Gamma} \cdot 10^2}{\left(\frac{V_{\Gamma}}{C_{\Gamma}} - 1\right)^2 \rho_{\Gamma}} \right] \quad (5)$$

Для реализации полученного выражения (5) необходимо иметь информацию о виде зависимости между скоростями материала и газа. Согласно оценкам для движущихся в трубах-сушилках дисперсных материалов [1]:

$$V_M = 61,5 Fr^{0,5} \cdot \left(\frac{\rho_M}{\rho_{\Gamma}}\right)^{-1} \cdot V_{\Gamma} \quad (6)$$

где число Фруда – $Fr = \frac{V_{\Gamma}}{\sqrt{gd_{az}}}$. Тогда выразим уравнение (6) в следующем виде:

$$\sqrt[4]{d_{az}} = \frac{61,5 V_{\Gamma}^{1,5}}{\sqrt[4]{g} V_M} \cdot \left(\frac{\rho_M}{\rho_{\Gamma}}\right)^{-1} \quad (7)$$

Анализ зависимости (5) показывает, что с увеличением дезагрегации материала (с уменьшением диаметра агрегата) необходимо увеличить скорость газового потока. Это в свою очередь, приводит к увеличению расхода энергии, а с другой стороны снижает общее количество поверхностной влаги, удаляемой потоком газа. Таким образом, в процессе обезвоживания материалов в результате срыва газом капли жидкости скорость газа и диаметр агрегатов материала играют большую роль.

Подставим в (7) выражение (5), получим уравнение следующего вида:

$$\frac{3R \cdot 10^2 \rho_{\Gamma}}{\left(\frac{V_{\Gamma}}{C_{\Gamma}} - 1\right)^2 \rho_M} = \frac{V_{\Gamma}^{0,5} \cdot 61,5}{\sqrt[4]{g} \cdot V_M} \cdot \left(\frac{\rho_M}{\rho_{\Gamma}}\right)^{-1} \quad (8)$$

Следовательно,

$$\frac{3R \cdot 10^2 \cdot C_{\Gamma}}{\left(\frac{V_{\Gamma}}{C_{\Gamma}} - 1\right)} = \frac{61,5}{\sqrt[4]{g}} \cdot \sqrt{V_{\Gamma}} \cdot V_M$$

тогда

$$\frac{300\sqrt[3]{g}}{61,5} R = \left(\frac{V_r}{C_r} - 1 \right) \frac{V_r}{C_r} \cdot \sqrt{V_m}, \quad (9)$$

где из (2) имеем:

$$\frac{C_r}{V_r} = \sqrt{\frac{8G_{эс}}{V_r \cdot C_o \cdot \mu_r}}$$

С учетом последнего выражения, уравнение (9) окончательно будет иметь вид:

$$\frac{300\sqrt[3]{g}}{61,5} R = \left(\sqrt{V_r} \cdot \sqrt{\frac{C_o \mu_r}{8G_{эс}}} - 1 \right) \sqrt{V_r} \cdot \sqrt{\frac{C_o \mu_r}{8G_{эс}}} \cdot \sqrt{V_m}. \quad (10)$$

Механический срыв жидкости при помощи скоростного низкотемпературного теплоносителя приводит в итоге к значительному ускорению общего процесса влагоудаления. В этом случае испарению подлежит лишь внутренняя влага в агрегате материала.

Продолжительность сушки при постоянных условиях определяется по приближенному уравнению [5]:

$$\tau = \frac{W_n - W_{кр}}{N} + \frac{W_{кр}}{N} \cdot 2,31g \frac{W_{кр}}{W_k}, \quad (11)$$

где N – скорость сушки в первом периоде (при постоянной скорости сушки); W_n , $W_{кр}$, W_k – начальное, критическое и конечное влагосодержание материала (на сухое вещество).

Оценим влияние условий срыва жидкости на продолжительность процесса сушки, уравнение (11). Для этого видоизменим начальное влагосодержание материала W_n исходя из следующих соображений. Так как влагосодержание определяется как отношение массы влаги M , содержащейся в теле, к массе сухого тела C_1 , то при тепловом испарении, в отличие от предложенного метода, уравнение (11) включает как «внутреннюю», так и поверхностную влагу агрегата. В нашем случае в качестве начального влагосодержания, входящего в (11), необходимо подставить лишь «внутреннюю» влагу материала. Таким образом, уменьшение времени сушки при срыве жидкости с поверхности влажных тел запишется в следующем виде:

$$\Delta\tau = \left[W_n - \left(\frac{100 \frac{M_a}{C_1} - 100 \frac{M_n}{C_1}}{100 - \frac{M_a - M_n}{C_1}} \right) \right] / N. \quad (12)$$

здесь M_a , M_n – масса влаги внутри и на поверхности агрегата материала; $M_a = M - M_n$;

Массу сухого тела можно определить в первом приближении как

$$C_1 = \rho_M \cdot V_M = \rho_M \cdot \frac{1}{6} \pi d_{a2}^3.$$

Подставляя в (11) экспериментальные значения M_a , M_n и среднее значение N для различных дисперсных материалов получим величину, характеризующую снижение времени сушки.

По расчетам для сушки зерна с начальной 20% и конечной влажностью – 14%, размерами $d_{az} \approx 3\text{мм}$ требуется скорость газового потока, не ниже 30 м/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Утеуш З.В. Управление измельчительными агрегатами. - М.: Машиностроение, 1983. - 223 с.
2. Филиппов В.А. Конструкция, расчёт и эксплуатация устройств и оборудования для сушки минерального сырья. -М.: Недра, 1979. - 310 с.
3. Сорока Е.И. Разработка комбинированного способа сушки, основанного на дезагрегации дисперсных материалов и механическом уносе влаги с целью экономии топлива: Дис. ... канд. техн. наук. - Свердловск: ВНИИМТ, 1990. - 132 с.
4. Максимов Е.В., Альжанов М.К., Койлыбаев Ж.А. и др. Сушка железорудного концентрата в опытно-промышленной установке вихревого типа // Бюл. Черметинформация, 1988. №10. - С.32-33.
5. Альжанов М.К., Максимов Е.В., Сорока Е.И. и др. Сушка глины и кварцита // Огнеупоры, 1990. №1. - С. 43-44.