

## ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СУШИЛКИ С ВНУТРЕННЕЙ СЕТЧАТОЙ ЕМКОСТЬЮ

Канд. техн. наук, доц. АСКАРОВА А. А., магистрант АПБОЗОВ О. Ж.

*Таразский государственный университет имени М. Х. Дулати, Казахстан*

Для сушки влажного насыпного продукта был выбран аппарат с внутренней сетчатой емкостью и каналом уменьшающегося сечения [1]. Определение затрат энергии на процесс сушки нагретым воздухом, как и на калорифер, связано с нахождением суммарной потери напора в установке. Сопротивление установки состоит из сопротивлений вязкого трения и местных сопротивлений.

Потеря напора при движении продукта сушки по конусообразному каналу с максимальным II и минимальным I сечениями согласно уравнению Бернулли определяется по формуле [2, 3]

$$\Delta P_{I-II} = (P_1 - P_2) + \xi \rho_{\text{в}} \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + hg \rho_{\text{в}}, \quad (1)$$

где  $P_1, P_2$  – избыточное давление или разрежение в сечениях камеры с минимальным II и максимальным I сечениями, Па;  $\xi$  – коэффициент сопротивления движению воздуха, определяется экспериментально;  $v_1, v_2$  – скорость воздуха в соответствующих сечениях теплоподводящего канала, м/с ( $v_1 < v_2$ );  $h$  – высота сушильной емкости.

Диаметр сечения сетчатой емкости, занятой продуктом, увеличивается по ее высоте по мере уменьшения диаметра теплоподводящего канала. Поэтому из закона сохранения массы имеем

$$F_1 v_1 = k_c F_1 v_2,$$

где  $k_c$  – кратность увеличения сечений камеры.

Приняв  $k_c v_1 = v_2$ , потери напора определим по формуле

$$\Delta P_{I-II} = (P_1 - P_2) + \xi \rho_{\text{в}} \frac{v_1^2 (1 - k_c)}{2} + hg \rho_{\text{в}}. \quad (2)$$

Для расчета критической скорости воздуха, при которой высушиваемые зерна начинают движение друг относительно друга, учеными было предложено критериальное уравнение [3]

$$R_l = A Fe^n, \quad (3)$$

где  $A, n$  – опытные коэффициенты для зернистых продуктов,  $A = 0,19$  и  $n = 1,56$  в пределах изменения критерия Федорова  $Fe = 40–200$ .

Высоту сушильной сетчатой емкости  $h$  (м) можно вывести из формулы (2)

$$h = \frac{\Delta P_{I-II} - P_1 + P_2 - \xi \frac{v_{\text{вх}}^2 (1 + k_c^2)}{2g}}{\rho_{\text{в}} g}. \quad (4)$$

Однако при стационарном режиме сушки зерна, находящегося внутри сетчатой емкости с центральным теплоподводящим каналом, в условиях вынужденного движения продукта сушки использование критерия Федорова нецелесообразно. Это связано с тем, что обрабатываемая зерновая масса не имеет контакта с поверхностью аппарата, образуя фильтрующий слой внутри сетчатой емкости.

Тепло- и массообменные процессы происходят в строгом соблюдении критериев Прандтля, Нуссельта, Гухмана и Рейнольдса. С учетом принципа подвода теплоты, согласно конструктивному отличию сушильного устройства, критериями Прандтля и Гухмана можно пренебречь [4]. Критическая скорость продукта сушилки устанавливается экспериментально при условии отсутствия уплотнения слоя зерна внутри сетчатой емкости.

В сетчатой емкости насыпной продукт находится в плотном состоянии за счет тяжести частиц и с определенной порозностью, обусловленной гидродинамическим режимом фильтрации. Порозность слоя продукта относительно насыпной плотности  $\rho_h$  и плотности частиц  $\rho_{tb}$  ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) определяется по формуле

$$\varepsilon = \frac{\rho_{tb} - \rho_h}{\rho_{tb}} = 1 - \frac{\rho_h}{\rho_{tb}}. \quad (5)$$

Согласно классификации гидродинамических режимов фильтрации газа через неподвижный слой зерна, разработанной П. Г. Романковым и Н. Б. Ращковской, порозность плотного слоя для зернистых продуктов  $\varepsilon = 0,33$  [5].

Режим конвективной сушки проса в плотном слое с начальной влажностью  $\omega_h = 40\text{--}46\%$  после обезвоживания со свободным истечением влаги характеризуется температурой  $t$  и скоростью  $v$  нагретого воздуха.

Характерной особенностью процесса является то, что сушку проса целисообразно осуществлять в постоянном режиме: температура и скорость нагретого воздуха по высоте и ширине сушильной камеры не изменяются благодаря нахождению теплоподводящего канала внутри сетчатой камеры.

Гидравлическое сопротивление неподвижной плотной массы  $\Delta P$  (Па) определяется по формуле Н. М. Жаворонкова [3, 5]

$$\Delta P = 2 \lambda_{cl} \frac{\delta}{d_{eff}} \frac{\rho_b v^2}{2g}, \quad (6)$$

где  $\lambda_{cl}$  – коэффициент сопротивления слоя: при  $Re < 4$   $\lambda_{cl} = 34/Re$ ; при  $4 < Re < 80$   $\lambda_{cl} = (27,8/Re) + 0,8$ ;  $\delta$  – средняя толщина слоя продукта, м:  $\delta = (\delta_1 + \delta_{11})/2$ ;  $d_{eff}$  – эффективный гидравлический диаметр, м, каналов, образованных частицами продукта:

$$d_{eff} = \frac{2}{3} \left( \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \right).$$

Твердые частицы обрабатываемой массы могут иметь различные форму и размеры, что в какой-то степени влияет на величину сопротивления дви-

жению воздуха. В связи с этим можно ввести коэффициент, учитывающий степень однородности составных частиц

$$f = \sqrt{0,205 \frac{F}{V^{2/3}}}, \quad (7)$$

где  $F$ ,  $V$  – площадь ( $\text{м}^2$ ) и объем ( $\text{м}^3$ ) зерна; для зерна проса, имеющего сферическую форму:

$$F = \pi d_3^2, \quad V = \frac{1}{6}\pi d_3^3. \quad (8)$$

Подставив (8) в (7), получим

$$f = 0,8225\pi^{1/6}d_3^{1/2}. \quad (9)$$

Тогда формула (6) примет вид

$$\Delta P = 1,824\lambda_{\text{сл}} \frac{\delta(1-\varepsilon)}{\varepsilon\pi^{1/6}d_3^{3/2}} \frac{\rho_b v_{m3}^2}{g}, \quad (10)$$

где  $v_{m3}$  – скорость воздуха в межзерновом пространстве, м/с:  $v_{m3} = v_\phi/\varepsilon$ ;  $v_\phi$  – скорость фильтрации воздуха, м/с, отнесенная ко всей площади теплоподводящего канала, занимаемой зерном.

Из закона сохранения массы объемный расход рабочего агента – воздуха – постоянная величина для любого сечения канала  $V_b = \text{const}$ :

$$F_{bx} v_{bx} = F_{жс} v_\phi, \quad (11)$$

где  $v_{bx}$ ,  $F_{bx}$  – скорость воздуха, м/с, при входе в канал и площадь входного сечения канала,  $\text{м}^2$ :  $F_{bx} = \pi R_{bx}^2$ ;  $F_{жс}$  – площадь живого сечения боковой поверхности теплоподводящего канала,  $\text{м}^2$ .

Тогда с учетом этих параметров можно определить скорость фильтрации нагретого воздуха

$$v_\phi = v_{m3}\varepsilon.$$

Принимая, что  $v_{m3} = v_\phi / \varepsilon$ , формулу (6) можно представить в виде

$$\Delta P = 14,8627\lambda_{\text{сл}} \frac{\delta(1-\varepsilon)R_{bx}^4\rho_b v_{bx}^2}{\varepsilon^3 d_3^{3/2} F_{жс}^2 g}. \quad (12)$$

Сушку зерна в плотном слое производят продуванием:

а) движущегося по вертикальному направлению плотного слоя зерна при помощи патрубков, находящихся в межзерновом пространстве. По данному способу работают шахтные сушилки;

б) движущегося слоя зерна по вертикальному направлению при помощи вертикальных жалюзийных патрубков. Этот способ осуществляется при помощи сушильной камеры с вертикальными воздухораспределительными жалюзийными решетками;

в) плотного слоя зерна с регулируемой при помощи поворотных и воздухораспределительных жалюзи, расположенных горизонтально внутри сушильной камеры. По данному способу работают пневмокамеры с горизонтальными или имеющими небольшой уклон к горизонтали жалюзи, выполненными в виде решетки.

Описанные выше способы применимы для сушки влажного зерна, первоначальная влажность которого уменьшена на 1,5–2,5 %. Для сушки высоковлажных продуктов использование существующих способов не дает положительного результата. С целью уменьшения первоначальной влажности зерна после варки в производстве крупяных концентратов до состояния сыпучести, достигаемой при влажности 14–12 %, следует выполнить продолжительное продувание нагретым воздухом плотного слоя зерна.

## ВЫВОДЫ

Для сушки зернистых продуктов с высокой влажностью с равномерным их распределением в межзерновом пространстве плотного неподвижного слоя был выбран аппарат с внутренней сетчатой емкостью и расположенным в ней каналом, сечение которого уменьшается по направлению движения нагретого воздуха.

Преимущества принятой конструкции сушилки следующие: процесс осуществляется при стационарном режиме; температура и скорость нагретого воздуха по высоте и ширине сушильной камеры постоянные.

Выведено аналитическое выражение для расчета сопротивления движению нагретого воздуха в плотном слое неподвижной зерновой массы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Устройство для активного вентилирования зерна в зернохранилищах и элеваторных силосах: пат. РК № 22895 / А. А. Аскарова, А. Д. Аскаров, О. Ж. Апбозов; заявл. 08.06.2009, опубл. 15.09.2010 // Бюл. № 9.
2. Кавецкий, Г. Д. Процессы и аппараты пищевых производств / Г. Д. Кавецкий, А. В. Королев. – М.: Агропромиздат, 1991. – 432 с.
3. Расчеты и задачи по процессам и аппаратам пищевых производств / С. М. Гребенюк [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1987. – 304 с.
4. Гуман, А. А. Применение теории подобия к исследованию процессов тепломассообмена / А. А. Гуман. – М.: Высш. шк., 1967.
5. Проектирование процессов и аппаратов пищевых производств / под ред. В. Н. Стабникова. – Киев, 1982. – 198 с.

Представлена кафедрой  
машин и оборудования

Поступила 22.02.2012