

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]

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

где P_1, P_2 – избыточное давление или разрежение в сечениях камеры с минимальным II и максимальным I сечениями, Па; ξ – 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

$$F_1 v_1 = k_c F_2 v_2,$$

где k_c – кратность увеличения сечений камеры.

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

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

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)

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

Однако при стационарном режиме сушки зерна, находящегося внутри сетчатой емкости с центральным теплопроводящим 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 фильтрующийся 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 сушки 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 ρ_n и плотности частиц $\rho_{тв}$ (кг/м^3) определяется по формуле

$$\varepsilon = \frac{\rho_{тв} - \rho_n}{\rho_{тв}} = 1 - \frac{\rho_n}{\rho_{тв}}. \quad (5)$$

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

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

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

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

$$\Delta P = 2 \lambda_{сл} \frac{\delta}{d_{эф}} \frac{\rho_v v^2}{2g}, \quad (6)$$

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

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

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 (м^2) и объем (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

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

где $\nu_{\text{мз}}$ – скорость воздуха в межзерновом пространстве, м/с: $\nu_{\text{мз}} = \nu_{\text{ф}}/\varepsilon$; $\nu_{\text{ф}}$ – 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 $V_{\text{в}} = \text{const}$:

$$F_{\text{вх}} \nu_{\text{вх}} = F_{\text{жс}} \nu_{\text{ф}}, \quad (11)$$

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

Тогда с учетом этих параметров можно определить скорость фильтрации нагретого воздуха

$$\nu_{\text{ф}} = \nu_{\text{мз}} \varepsilon.$$

Принимая, что $\nu_{\text{мз}} = \nu_{\text{ф}}/\varepsilon$, формулу (6) можно представить в виде

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

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. У с т р о й с т в о для активного вентилирования зерна в зернохранилищах и элеваторных силосах: пат. РК № 22895 / А. А. Аскарлова, А. Д. Аскарлов, О. Ж. Апбозов; заявл. 08.06.2009, опубл. 15.09.2010 // Бюл. № 9.
2. К а в е ц к и й, Г. Д. Процессы и аппараты пищевых производств / Г. Д. Кавецкий, А. В. Королев. – М.: Агропромиздат, 1991. – 432 с.
3. Р а с ч е т ы и задачи по процессам и аппаратам пищевых производств / С. М. Гребенюк [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1987. – 304 с.
4. Г у х м а н, А. А. Применение теории подобия к исследованию процессов тепло-массообмена / А. А. Гухман. – М.: Высш. шк., 1967.
5. П р о е к т и р о в а н и е процессов и аппаратов пищевых производств / под ред. В. Н. Стабникова. – Киев, 1982. – 198 с.

Представлена кафедрой
машин и оборудования

Поступила 22.02.2012