

## Комплексный метод обезвоживания капиллярно-пористых материалов

Людмила Постол, Александр Прохоров

**Complex method of dehydration of capillary-porous materials.** Analysis of the costs of energy during dehydration of capillary-porous materials was performed. To reduce energy consumption complex method was proposed. The method consists in the fact that in the first stage the material is dewatered mechanically, and the second stage is the drying. Mathematical relationships that define the optimum moisture content of the liquid pressed process, were obtained.

**Key words:** Drying, the capillary-porous product, drying schedule, the energy savings

### ВВЕДЕНИЕ.

Капиллярно-пористые материалы занимают значительную часть материалов, что используются в пищевой и перерабатывающей отраслях производства. Поэтому процессам их обезвоживания придается значительное внимание.

Целью обезвоживания является повышение качества продукта, увеличение срока его хранения и повышения ценности извлеченной жидкости.

Влага, находящаяся в материале, связана с твердым остатком механическим, физическим и химическим способом.

Наиболее экономичным методом обезвоживания является механический процесс, который позволяет извлекать влагу, связанную с твердым остатком, механическим и частично физическим методами. Конечная влага продукта зависит от режима прессования и реологических свойств продукта, и составляет 30-60 % [4].

Для дальнейшего обезвоживания капиллярно-пористых материалов используется процесс сушки, являющийся одним из наиболее энергоёмких методов. Он позволяет получить материал с оптимальной конечной влажностью 2-10%.

Для уменьшения энергетических затрат на обезвоживание капиллярно-пористых материалов предложено первый этап обезвоживания проводить методом прессования, а второй- методом сушки. Но, необходимо установить, до какой влажности необходимо прессовать каждый из материалов.

### ИЗЛОЖЕНИЕ.

Рассмотрим процесс обезвоживания комплексным методом.

Механическую работу при обезвоживании опишем уравнением:

$$A_M = F \cdot L = q \cdot S \cdot L = q \cdot V \quad (1)$$

где:  $F$  – усилие прессования,  $N$ ;  $L$  – перемещение поршня,  $m$ ,  $q$  – удельное давление,  $Pa$ ;  $S$  – площадь сдавливаемого материала,  $m^2$ ;  $V$  – объём усадки материала,  $m^3$ .

В процессе усадки материала изменяется коэффициент пористости:

$$E = \frac{V_{ж} + V_{г}}{V_T} = \frac{V_{ж}}{V_T} k_1 \quad (2)$$

где  $V_{ж}$ ,  $V_{г}$ ,  $V_T$  – объёмы, занятые жидкостью, газом и твердым остатком,  $m^3$ .

Влагодержание материала определяем:

$$W = \frac{m_{ж}}{m_{\text{о}}} = \frac{V_{ж} \cdot \rho_{ж}}{V_{\text{о}} \cdot \rho_{\text{о}}} \quad (3)$$

где  $m_{ж}$ ,  $m_{\text{о}}$  – масса жидкости и твердого остатка,  $kg$ .

Подставляя уравнение (3) в уравнение (2), получим:

$$E = W \cdot \frac{\rho_{г}}{\rho_{ж}} k_1 = W \cdot \xi \cdot k_1 \quad (4)$$

где -  $\xi = \frac{EN_{\dot{O}}}{k_1}$  коэффициент,  $\rho_{ж}, \rho_T$  – плотность жидкости и твёрдого остатка,  $kg/m^3$ .

Объём усадки определяем из формулы (4):

$$V = \frac{E \cdot V_T}{k_1} = - \frac{\Delta W \cdot \xi \cdot m_T}{\rho_T} \quad (5)$$

где  $\Delta W$  – изменение влагосодержания материала при прессовании.

Подставим уравнение (5) в уравнение (1) и определим работу при отжимании жидкости:

$$\Delta A_M = -q \cdot \frac{\Delta W \cdot \xi \cdot m_T}{\rho_T} \quad (6)$$

Энергетические затраты на процесс сушки состоят из затрат на нагрев материала, и затрат на испарение влаги:

$$\Delta A_C = m_w \cdot c_w \cdot (t' - t_0) + m_T \cdot c_T \cdot (t' - t_0) + r \cdot \Delta m_w = A' + r \cdot \Delta m_T \quad (7)$$

где  $c_w, c_T$  – теплоёмкости воды и твердого остатка,  $\frac{kDj}{kg \cdot sec}$ ;  $t, t_0$  – конечная и начальная температуры продукта во время сушки, °C,  $r$  – теплота парообразования  $\frac{kDj}{kg}$ ,  $A'$  - работа на нагрев твёрдого остатка и воды,  $kDj$ .

На рис. 1 изображён процесс обезвоживания капиллярно-пористого материала от начального  $W_0$  влагосодержания до конечного  $W_3$  с помощью процессов прессования и сушки. Процесс сушки показан кривой BCDE. Участки BC – подогрев материала, CD – прямая постоянной скорости сушки, DE – кривая досушивания материала. Равновесные значения влажности материала при прессовании –  $W_p$ , а при сушке этого материала -  $W_p^C$ .

Процесс механического обезвоживания показано кривой BD. На начальном этапе механического обезвоживания потери энергии незначительные, а потом они резко увеличиваются. Независимо от удельного давления прессования получаем конечное влагосодержание продукта  $W_p$ , которое зависит от режимов прессования и реологических характеристик продукта. По рис. 1 определяем, что комбинированный метод даёт возможность минимизировать энергетические затраты.

Для определения положения точек пересечения кривых обезвоживания механическим методом и сушкой, необходимо, чтобы углы наклона касательных в точке D были одинаковыми. Математически это описывается

$$(A_M)' = (A_C)' \quad (8)$$

$$\frac{m_{\dot{A}}}{q_{\dot{A}}} \cdot \xi \cdot \int_{W_1}^{W_0} q(W) dW = A' + r \cdot m_T \cdot (W_0 - W) = B + r \cdot m_T \quad (9)$$

Из уравнения (9) получаем:

$$q(W) = \left( \frac{B}{m_T} + r \right) \cdot \frac{\rho_T}{\xi} \quad (10)$$

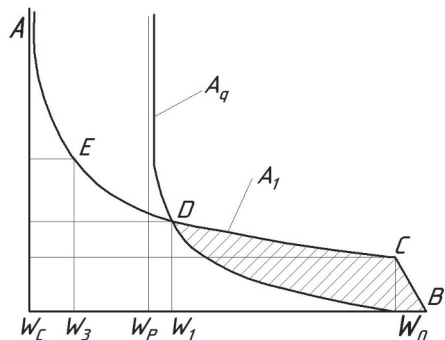


Рис. 1. Зависимость затрат энергии при прессовании и сушке влажных продуктов

Компрессионная кривая для большинства капиллярно-пористых материалов аппроксимируется отношением [4]:

$$E = \frac{a}{q^b} \quad (11)$$

где: a, b – коэффициенты, которые характеризуют исследуемый материал.

По формуле (11) получаем:

$$q = \left( \frac{a}{E} \right)^{\frac{1}{b}} \quad (12)$$

Учитывая формулы (4), (10), (12) определяем влагосодержание  $W_1$ , до которого необходимо обезвоживать материал механическим методом:

$$\left( \frac{a}{W \cdot \xi \cdot k_1} \right)^{\frac{1}{b}} = \left( \frac{B}{m_T} + r \right) \cdot \frac{\rho_T}{\xi} \quad (13)$$

$$W_1 = \frac{\left[ \left( \frac{B}{m_T} + r \right) \cdot \frac{\rho_T}{\xi} \right]^{-b}}{\xi \cdot k_1} \cdot a \quad (14)$$

Экономия энергии при использовании комбинированного метода обезвоживания капиллярно-пористых материалов определяется:

$$\Delta E = A_C \left|_{w_0}^{w^c} + A_r \left|_{w_0}^{w^c} + A_M \left|_{w_0}^{w_1} \right. \right. \quad (15)$$

### ВЫВОДЫ.

1. На основании компрессионной кривой материала установлено целесообразность использования комбинированного метода обезвоживания материалов.

2. Определены параметры для расчета нового и реконструкции существующего оборудования для обезвоживания материалов.

3. Определено экономии энергии для обезвоживания материалов комбинированным методом.

### ЛИТЕРАТУРА.

[1] Vasiliki P. Oikonomopoulou, Magdalini K. Krokida, Vaios T. Karathanos. The influence of freeze drying conditions on microstructural changes of food products / *Procedia Food Science*. - V. 1. – 2011. – P. 647-654.

[2] Soraya Kerdpi boon, Sakamon Devahastin, William L. Kerr. Comparative fractal characterization of physical changes of different food products during drying / *Journal of Food Engineering*. V. 83.- Issue 4. – 2007. P. 570-580.

[3] James C Atuonwu, Xin Jin, Gerrit van Straten, Henk C van Deventer Antonius, J.B. van Boxtel. Reducing energy consumption in food drying: Opportunities in desiccant adsorption and other dehumidification strategies / *Procedia Food Science*. V. 1. – 2011. – P. 1799-1805.

[4] Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1973. – 752 с.

### Для контактов:

Александр Прохоров, кандидат технических наук, доцент кафедры машин и аппаратов пищевых и фармацевтических производств, Национальный университет пищевых технологий, г. Киев, Украина

Людмила Постол, магистрант, Национальный университет пищевых технологий, г. Киев, Украина.

**Доклад был рецензирован.**