УДК 664.723.047

О НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ СУШКИ ЗЕРНОВОГО СЛОЯ В УСТРОЙСТВЕ С ВРАЩАЮЩИМСЯ ИСПАРИТЕЛЬНЫМ ТЕРМОСИФОНОМ

Смирнов Г.Ф., д-р техн. наук, профессор, Воскресенская Е.В., инженер
Одесская национальная академия пищевых технологий, г.Одесса

Определены задачи совместного разогрева вращающегося испарительного термосифона и прилегающего к нему зернового слоя. Получена информация о начальном периоде нагрева слоя в виде формул и графиков.

The tasks of joint warming-up of the revolved evaporatedthermosiphon and adherent to him grain-growing layer arecertain. Information is got about the initial period of heatingof layer as formulas and charts.

Ключевые слова: процесс сушки, период прогрева зерна, устройсво с вращающимся испарительным термосифоном.

Известно, что такие на первый взгляд простые процессы тепловой обработки и сушки являются весьма сложными и многосоставными. В большинстве случаев организацию этих процессов нельзя признать оптимальной и с энергетической точки зрения, достаточно научно обоснованной и максимально соответствующей кинетическим, гидродинамическим и термодинамическим закономерностям процессов. В поисках решения энергетически выгодных сценариев организации процесса сушки [1] в Одесской национальной академии пищевых технологий научной школой под руководством Бурдо О.Г. был спроектирован, создан и экспериментально проверен термомеханический агрегат на основе вращающегося испарительного термосифона (ИТС) [2]. В [3, 4] и других публикациях описываются условия экспериментальных исследований процесса сушки дисперсных пищевых продуктов (зерна амаранта, пшеницы, гороха) в этом устройстве.

Для лучшего понимания сути процесса сушки попробуем рассмотреть его поэтапно. В настоящей статье предлагается модель для расчёта теплового режима в этом процессе начиная с момента включения и до момента выхода на квази-установившийся режим.

Составим определение задачи совместного разогрева вращающегося ИТС и прилегающего к нему зернового слоя. Обозначим массу ИТС как M_1, а её удельную теплоемкость как C_1. Обозначим также массу жидкости внутри ИТС как M_2, а её удельную теплоемкость как C_2. Для прилегающего к ИТС слоя зерна введём такие обозначения: плотность ρ_3; удельная теплоемкость C_3; удельная температуропроводность a_3, толщина слоя зерна, прилегающего к ИТС δ_3, эта величина для условий опытов может рассчитываться исходя из такого соображения: объём всего слоя V_3, разделённый на поверхность контакта ИТС + слой зерна S_3. Запишем систему уравнений, определяющих динамику разогрева ИТС и зернового слоя. Примем, что в начальный момент времени температура во всех точках слоя и ИТС будет одинакова и равна t_0, а в установившемся режиме в всех точках ИТС она будет равна t_{S0}. Тогда уравнение теплового баланса можно записать в таком виде:

$$Q=(M_1\cdot C_1+M_2\cdot C_2)\cdot {dt_1}/{d\tau}+\rho_3\cdot\delta_3\cdot S_3\cdot C_3\cdot {dt_3}/{d\tau}+r\cdot V_2\cdot {d\rho_2}/{d\tau} \qquad (1)$$

Здесь t_3 — средняя температура слоя,

ρ_2 — меняющаяся при нагреве плотность пара внутри ИТС;

V_2 — его объём внутри ИТС;

r — теплота испарения.

Оценка величины последнего слагаемого в формуле (1) показывает, что им можно пренебречь. Между текущими значениями температур t_1, t_3 существует связь, определяемая условиями тепло-массопереноса:

$$t_1-t_3=\rho_3\cdot\delta_3\cdot S_3\cdot C_3\cdot\frac{{dt_3}/{d\tau}}{S_3}\cdot{\lambda_3}/{\sqrt{C_0\cdot\tau\cdot a_3}} \qquad (2)$$

решение этого уравнения для фиксированного значения t_1 имеет такой вид:

$$2\cdot\sqrt{\tau}+const=-{\delta_3}/{\sqrt{C_0\cdot a_3}}\cdot\ln(t_1-t_3)\cdot const=$$

$$= -\frac{\delta_3}{\sqrt{C_0 \cdot a_3}} \cdot \ln(t_1 - t_3)_0 \cdot (t_1 - t_3) = (t_1 - t_3)_0 \cdot \exp(-2 \cdot \frac{\delta_3}{\sqrt{C_0 \cdot a_3}} \sqrt{\tau}) \quad (3)$$

Здесь $(t_1 - t_3)_0$ величина температурного напора на поверхности контакта ИТС и зернового слоя в начальный момент времени.

Следует рассматривать уравнения (1) и (3) совместно. Т.е. из (3) следует, что:

$$t_3 = t_1 - (t_1 - t_3)_0 \cdot \exp\left(-2 \cdot \frac{\delta_3}{\sqrt{C_0 \cdot a_3 \cdot \tau}}\right)$$

$$Q = (M_1 \cdot C_1 + M_2 \cdot C_2) \cdot \frac{dt_1}{d\tau} + \rho_3 \cdot \delta_3 \cdot S_3 \cdot C_3 \cdot \frac{dt_3}{d\tau}$$

совместное решение приводит к такому приближённому уравнению:

$$\frac{dt_1}{d\tau} = \frac{Q}{[(M_1 \cdot C_1 + M_2 \cdot C_2) + \rho_3 \cdot \delta_3 \cdot S_3 \cdot C_3]} - (t_1 - t_3)_0 \cdot \left(\frac{\delta_3}{\sqrt{C_0 \cdot a_3 \cdot \tau}}\right) \cdot$$

$$\cdot \rho_3 \cdot \delta_3 \cdot S_3 \cdot C_3 \cdot \frac{\exp\left(-2 \cdot \delta_3 \cdot \sqrt{C_0 \cdot a_3 \cdot \tau}\right)}{[(M_1 \cdot C_1 + M_2 \cdot C_2) + \rho_3 \cdot \delta_3 \cdot S_3 \cdot C_3]} \quad (4)$$

Величина Q — есть полная подводимая к ИТС тепловая мощность в установившемся режиме сушки.

Первые предварительные расчёты показали, что в начальные моменты времени в уравнении (4) определяющим динамику нагрева является первое слагаемое, в котором не требуется учитывать в знаменателе третье слагаемое. Т.е. в эти моменты времени динамика нагрева подчиняется условию:

$$\frac{dt_1}{d\tau} = \frac{Q}{[(M_1 \cdot C_1 + M_2 \cdot C_2)]}. \quad (5)$$

Отсюда также следует, что весь начальный период сушки связан с неустановившимся температурным режимом нагрева, когда основные температуры:

1. На контактной поверхности теплообмена.
2. В зерновом слое, начиная от зон, прилегающих к контактной поверхности и, включая остальные слои; существенно изменяются.

Это обстоятельство нужно учитывать в результирующей модели расчёта процесса сушки.

Кроме названных особенностей расчётов тепловых режимов сушки в начальный её период следует принять в внимание, что в этот период заметная доля подводимого теплового потока будет отводиться в окружающую среду от той части поверхности ИТС, которая не контактирует с зерновым слоем, но омывается воздухом окружающей среды. Если обозначить всю поверхность контакта S_3, а её долю имеющую контакт с зерном k_3 , тогда та часть поверхности, от которой отводится тепло в окружающую среду будет равна S_{32}, и тепловая мощность, которая будет отводится от неё свободной конвекцией будет равна $\alpha_3 \cdot [(t_1 - t_{oc})] \cdot S_{32}$. С учётом этого исходное уравнение (1) примет следующий вид:

$$Q = (M_1 \cdot C_1 + M_2 \cdot C_2) \cdot \frac{dt_1}{d\tau} + \rho_3 \cdot \delta_3 \cdot S_3 \cdot k_3 \cdot C_3 \cdot \frac{dt_3}{d\tau} + \alpha_3 \cdot [t_1 - t_{oc}] \cdot S_{32} \text{ и } S_{32} = (1 - k_3) \cdot S_3 \quad (6)$$

Так как, как выше было показано, вторым слагаемым можно пренебречь, то для начального периода вместо (5) следует пользоваться уравнением такого вида:

$$\frac{Q}{[(M_1 \cdot C_1 + M_2 \cdot C_2)]} - \alpha_3 \cdot [t_1 - t_{oc}] \cdot S_{32} / (M_1 \cdot C_1 + M_2 \cdot C_2) = \frac{dt_1}{d\tau} \quad (7)$$

Решение (7) имеет следующий вид:

$$t_1 - t_{oc} = \frac{A_1}{B_1} \cdot [1 - \exp(-B_1 \cdot \tau)] \quad (8)$$

Здесь:

$$A_1 = \frac{Q}{[(M_1 \cdot C_1 + M_2 \cdot C_2) B_1]} = \alpha_3 \cdot \frac{S_{32}}{(M_1 \cdot C_1 + M_2 \cdot C_2)} \quad (9)$$

$$\frac{A_1}{B_1} = \frac{Q}{\alpha_3 \cdot S_{32}} \quad (10)$$

При $k_3 = 0{,}1$; $S_{32} = 0{,}9 \cdot S_3$; $\alpha 3 = 10 \frac{Wt}{(m^2 \cdot K)}$; $\frac{A_1}{B_1} = 73 - 78K$; $M_1 \cdot C_1 + M_2 \cdot C_2 = 0{,}15 \cdot 500 + 0{,}2 \cdot 4200 = 915 \cdot \frac{J}{K}$;

$B_1 = \frac{1{,}8}{915} \cdot 1/\sec = 0{,}00215$ и $t_1 - t_{oc} = (73 - 78K)[1 - \exp(-0{,}00215\,\tau)]$.

Этой формулой определяется следующий график:

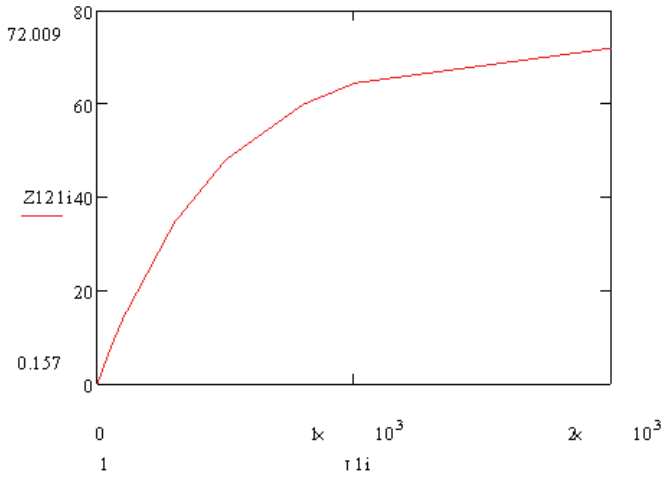

Рис. 1 – Зависимость температурного перегрева внешней поверхности ИТС $Z_{121i}=T_{CT}-T_{O.C.}$ от времени τ_{1i} в секундах, для указанных условий

Используя информацию о начальном периоде нагрева слоя в виде формул или графиков, можно переходить к расчёту процесса сушки.

Литература

1. Бурдо О.Г., Мілінчук С.І., Зиков О.В. Нові теплотехнології зерносушіння. // Наук.-вироб. журнал – Випуск 3 – Одеса: Одеська національна академія харчових технологій – 2006. – С.16-21.
2. Безбах И.В., Бурдо О.Г. Термомеханический агрегат для дисперсных продуктов // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса. – 1999. –Вип. 21. – С.234–237.
3. H.F. Smirnov, E.V. Voskresenskaya THE GRAIN LAYER DRYING APPROXIMATED MODEL // 8th Minsk International Seminar_Heat Pipes_Heat Pumps_Refrigerators_Pover Sourses_, –September 12-15, –2011, –Belarus, –Vol.2, –2011, –p.203-208.
4. Воскресенская Е.В. Особенности кинетики процесса сушки в термосифонно-механическом агрегате // Одеса. – Наукові праці. – Вип.37. – 2010. – 84с.

УДК 664.4

ОЦЕНКА ТЕПЛОВОГО ЭФФЕКТА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МАТЕРИАЛА С МИКРОВОЛНОВЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Бошкова И.Л., к.т.н., доцент; Колесниченко Н.А., аспирантка
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

Преставлены результаты исследований теплового эффекта взаимодействия диэлектрических материалов с микроволновым электромагнитным полем. Оценивается доля тепловых потерь в общем тепловом потоке, получаемым в результате микроволнового нагрева. Анализируются данные по диэлектрическим характеристикам материала в зависимости от его вида, влажности, насыпной плотности и температуры. Рассмотрена возможность определения напряженности электрического поля с помощью теплового метода.

Prestavleny results of the thermal effect of the interaction of dielectric materials with microwave electromagnetic field. Estimated proportion of heat loss in the total heat flow, are a result of microwave heating. Data are analyzed by the dielectric characteristics of the material depends on its type, moisture and temperature of the bulk density. The possibility of determining the electric field with the aid of a thermal method.

Ключевые слова: теплота, микроволновое поле, толщина слоя, объем, КПД, диэлектрические характеристики, напряженность.