

Particle motion on a plane under the action of a rotating spiral

Isaev Yu. M., Semashkin N. M., Zlobin V. A.

Prusakov V. P.

FSBEA HE «Ulyanovsk state agricultural university of P. A. Stolypin »

Keywords: particle motion on a plane, helical surface, schemes of applied forces.

Abstract. Studies of the issue are confined to a theoretical description of the movement of a particle along a horizontal plane with a spiral screw. The article discusses the movement of a particle in the axial and perpendicular directions relative to the forming surface of the helix. Differential equations describing the movement of a material particle along the generatrix of the screw surface of the working member are also given.

УДК 631:362.7

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВНУТРЕННЕГО ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОСА ПРИ СУШКЕ ЗЕРНА

Карпенко Г. В.,

кандидат технических наук, доцент

Курдюмов В. И.,

доктор технических наук, профессор

Павлушин А. А.,

доктор технических наук, профессор

Карпенко М. А.,

кандидат технических наук, доцент

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ, тел. 89093566208, karpenko.galina@yandex.ru

Ключевые слова: тепло- и массоперенос, контактная сушка, теплопроводность, влагосодержание, интенсивность сушки.

Аннотация. В данной статье приведены закономерности внутреннего

тепло- и массопереноса при сушке зерна. Рассмотрено влияние режимных параметров сушилки контактного типа на процесс сушки.

Процесс сушки зерна можно рассматривать как частный случай обезвоживания биологических объектов, исследование которого основано на использовании молекулярно-кинетического и термодинамического методов.

Молекулярно-кинетический метод базируется на кинетических закономерностях тепло- и массопереноса, их молекулярной природе в коллоидных капиллярнопористых телах как при наличии, так и в отсутствии в них фазовых переходов и позволяет вскрыть механизм явлений при сушке.

Термодинамический метод основан на законах классической термодинамики и направлен на изучение конечных результатов действия движущих сил в явлениях тепло- и массопереноса.

Теория сушки развивалась одновременно с созданием термодинамики необратимых процессов, и, фактически, является одной из ее ветвей.

Одним из центральных вопросов теории сушки является определение скорости потоков переноса тепла и влаги, учитывая их сопротивление (или проводимость). Эта задача решается на основе феноменологических законов, соответствующих первому принципу термодинамики необратимых процессов, согласно которому плотность потока энергии i пропорциональна движущей силе процесса D и проводимости потока k , зависящей от особенностей физико-химических свойств самого материала.

Движущей силой процесса сушки в общем случае для переноса массы является химический потенциал, а для переноса тепла - термодинамический потенциал. В зависимости от вида переноса в каждом отдельном случае потенциалами переноса может быть температура, влагосодержание, давление, концентрация и др., а движущими силами - соответствующие градиенты [1, 2].

При контактной сушке различных материалов, включая зерновые культуры, происходит комплекс взаимосвязанных явлений, которые условно можно разделить на внешние и внутренние [3].

Внешние: перенос тепла от нагретой поверхности к поверхности материала; испарение влаги с поверхности (зоны испарения) в окружающую среду.

Внутренние: перенос тепла внутри материала; перенос влаги внутри материала.

Внешние процессы подчиняются общим закономерностям, присущим испарению жидкости со свободной поверхности. Управляющими параметрами данных процессов являются параметры состояния окружающей среды.

Более сложными представляются внутренние процессы.

По существу, общее решение задачи о сушке должно заключаться в интегрировании полной системы уравнений переноса как в самом материале, так и в окружающей среде, причем для границы раздела должны быть сформулированы условия совмещения полей соответствующих потенциалов.

Одним из наиболее широко применяемых методов сушки является контактная сушка, при которой теплота, необходимая для испарения влаги и нагревания материала, передается последнему непосредственно от горячей поверхности, а влага поглощается и эвакуируется окружающей средой. Контактная сушка значительно экономичнее и интенсивнее конвективной сушки, так как при ней достигаются весьма высокие плотности потока теплоты.

Одним из основных режимных параметров при контактной сушке является температура греющей поверхности; причем влияние этого параметра на кинетику процесса сушки различными исследователями изучалось в большом диапазоне температур (45...160 °С) при различной толщине сушимого материала.

Толщина материала не изменяет форму кривой интенсивности сушки, а только границы областей температур, при ее увеличении эти границы смещаются в сторону больших температур [4].

Возможность использования метода контактной сушки для обезвоживания того или иного материала определяет температура высушиваемого материала непосредственно прилегающая к поверхности нагрева.

Температура слоя, контактирующего с греющей поверхностью, в первом периоде при сушке различных тонких материалов одной и той же толщины будет

одинакова, если сопротивление переносу пара мало. В этом случае скорость сушки зависит только от скорости подвода теплоты [5].

Основное уравнение тепло- и влагообмена для контактной сушки на греющей поверхности имеет вид [6]:

$$\lambda_3 (\nabla t)_{zp} + c\rho_0 R_v \frac{dt}{d\tau} + rj + \alpha(t_n - t_c) = 0, \quad (1)$$

где λ_3 - эквивалентный коэффициент теплопроводности, учитывающий и перенос тепла паром, ккал/м ч град; ∇t_{zp} - температурный градиент внутри материала на границе соприкосновения с нагретой поверхностью, град /м, c - теплоемкость, ккал/(кг·град), ρ_0 - плотность материала, кг/м³, R_v - отношение объема тела к его поверхности, r - удельная теплота парообразования, ккал/кг, j - плотность потока влаги, кг/м²·ч; α - коэффициент теплообмена, ккал/(м²·ч); t_n , t_c - температура соответственно поверхности и среды, °С.

Для первого периода сушки уравнение (1) можно упростить. Потери теплоты в окружающую среду малы по сравнению с теплотой, затрачиваемой на испарение. Поэтому с достаточной степенью точности можно написать:

$$q = -\lambda_3 (\nabla t)_{zp} = rj. \quad (2)$$

Таким образом, по величине λ_3 и $(\nabla t)_{zp}$ можно определить плотности потоков теплоты q и влаги j .

Температурный градиент внутри материала вблизи греющей поверхности при малой толщине контактного слоя h_k можно определить по соотношению:

$$-(\nabla t)_{zp} = \frac{t_{zp} - t_k}{h_k}. \quad (3)$$

Если известна интенсивность сушки, то плотность потока теплоты можно определить как произведение rj .

Для практических расчетов общая продолжительность контактной сушки может быть подсчитана по следующей приближенной формуле:

$$\tau = \frac{W_0}{N} - \frac{1}{\chi N} [1 + 2,31 \lg \chi W_{кон}], \quad (4)$$

где N - скорость сушки в первом периоде, % /ч; χ - относительный коэффициент

сушки, 1/%, $W_0, W_{кон}$ - начальное и конечное влагосодержание материала, %.

Начальное и конечное влагосодержание материала почти всегда являются известными. Относительный коэффициент сушки χ определяется по экспериментальной прямой $K = \chi N$ как тангенс угла ее наклона.

Температура материала в первом периоде сушки постоянна ($dt/d\tau = 0$), внутри тела наблюдается неравномерное распределение температуры. При постоянной температуре греющей поверхности и одномерном потоке теплоты это распределение температуры описывается законом параболы. Температура открытой поверхности тела зависит от параметров окружающего влажного воздуха (t_c, φ, ν), температуры греющей поверхности (t_{gp}) и теплофизических свойств тела (λ, a_m).

Начиная с первого критического влагосодержания температура тела увеличивается, а скорость сушки уменьшается (формула 4). Уравнение теплового баланса имеет вид:

$$q_n(\tau) = q_m + q_k = r\rho_0 R_v \frac{d\bar{u}}{d\tau} (1 + Rb), \quad (5)$$

где индексы «*m*» и «*k*» обозначают соответственно передачу теплоты теплопроводностью и конвекцией.

Зная зависимость $Rb = f(u)$ и используя формулу (4), можно определить общий поток теплоты $q_n(\tau)$. Поэтому экспериментальные исследования с целью нахождения эмпирических соотношений $Rb = f(u)$ при разных режимах сушки имеют большое значение.

Очевидно, для обоснования выбора рационального режима сушки зерна необходимо исследовать его массообменные и теплофизические характеристики, а также выявить основные закономерности явлений, происходящих в процессе сушки.

Библиографический список

1. Лыков, А.В. Теория сушки. М.: Энергия, 1968. - 472с.

2. Влияние параметров воздушной среды на энергозатраты в зерносушилках контактного типа / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, Г.В. Карпенко // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии – 2015. - №1 (29). – С. 114-119.

3. Особенности тепловой обработки зерна в установках контактного типа / Курдюмов В.И., Карпенко Г.В., Павлушин А.А. // Международный сельскохозяйственный журнал. - 2010. - № 5. - С. 50-53.

4. Оптимизация теплового режима при контактной сушке зерна различных культур / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, Г.В. Карпенко, М.А. Карпенко // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии». - Ульяновск – 2013. - № 2. – С. 111-116.

5. Карпенко, Г.В. Преимущества кондуктивного способа теплопередачи в минизерносушилках / Г.В. Карпенко, М.А. Карпенко // Материалы Международной научно-практической конференции «Использование инновационных технологий для решения проблем АПК в современных условиях». Т.2. - Волгоград, ИПК «Нива», 2009. – С. 208-211.

6. Лыков, А. В. Теория тепло- и массопереноса / А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. - М.- Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 442 с.

Internal regularities of heat and mass transfer during drying of grain

G.V. Karpenko, V.I. Kurdyumov, A.A. Pavlushin, M.A. Karpenko

Key words: heat and mass transfer, contact drying, thermal conductivity, moisture content, drying intensity.

Abstract. This article presents the laws of internal heat and mass transfer during grain drying. The influence of contact type dryer operating parameters on the drying process is considered.