

Введение

Сушка зерна – сложный термодинамический процесс, обусловленный взаимосвязанными изменениями, происходящими как в зерне, так и в окружающей его среде – агенте сушки (теплоносителе). В этом процессе можно выделить два отдельных процесса теплообмена – внутри зерна, а также на его поверхности и в слое агента сушки. Таким образом, процесс сушки зерна можно условно разделить на две составляющие части: внутренний и внешний теплообмен. Внешний теплообмен – это процесс перемещения тепла и влаги между наружными поверхностями зерновок и движущимся слоем агента сушки (теплоносителя). В свою очередь, внутренний теплообмен – это соответствующий процесс движения тепла и влаги между наружной поверхностью и внутренними слоями зерновки. Он зависит от физических свойств зернового материала – плотности, коэффициентов теплопроводности и температуропроводности, соотношения площади поверхности и массы зерновки, скорости или продолжительности температурного воздействия (нагрева или охлаждения). Вследствие большого количества факторов, оказывающих влияние на внутренний и внешний теплообмен, а также их взаимосвязи и взаимного влияния теоретический расчет процессов сушки существенно затруднен и часто основывается на большом количестве экспериментальных данных. В зависимости от способа сушки этот процесс может лимитироваться внутренним или внешним теплообменом. В большинстве случаев сушка зерна лимитируется внутренним теплообменом. Однако оба процесса происходят одновременно и взаимосвязанно. Поэтому изучение процесса нагрева и сушки зерновки может быть выполнено только путем одновременного рассмотрения обоих процессов.

Основная часть

Теплота, воспринимаемая поверхностью зерновки, постепенно передается во внутренние слои вследствие имеющегося градиента температуры. Распространение теплоты в твердых телах представляет собой нестационарный процесс и описывается уравнением Фурье:

$$\frac{\partial \dot{Q}}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 \dot{Q}_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \dot{Q}_i}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \dot{Q}_i}{\partial z^2} \right).$$

Наиболее простой для анализа вид это уравнение принимает в случае рассмотрения, например, нагрева бесконечного стержня, когда температурное поле определяется одной координатой x :

$$\frac{\partial T_m}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T_m}{\partial x^2},$$

где T_m – температура материала стержня в точке x в момент времени τ ;
 a – коэффициент температуропроводности, m^2/c .

Тепловой поток для стержня определяется согласно основному закону теплопроводности:

$$q = -\lambda \frac{\partial \dot{Q}}{\partial x} = -\lambda \frac{T_1 - T_2}{l},$$

где λ – теплопроводность материала стержня, $Вт/(м \cdot К)$;

T_1 и T_2 – температура в начале и конце стержня, $К$;

l – длина стержня, $м$.

Коэффициент температуропроводности характеризует теплоинерционные свойства рассматриваемого тела: более высокая его теплоемкость обеспечивает замедленное повышение температуры, и наоборот, более высокая теплопроводность значительно быстрее позволяет повысить температуру при нагревании. Поэтому в теплотехнике по осуществляемому процессу нагрева тела условно разделяются на тонкие и толстые. У тонких тел градиент температуры по сечению от наружных слоев до внутренних незначительный, поэтому его влияние на процесс можно не учитывать. С другой стороны, при нагревании массивных тел перепад температур может достигать больших значений, и его необходимо учитывать в практических расчетах. При этом такое разделение тел определяется не только размерами, но и их теплофизическими свойствами, скоростью нагревания. Нагреваемое тело, обладающее большими размерами, при медленном нагревании имеет незначительный перепад температуры и может рассматриваться как тонкое, при быстром нагреве и большом перепаде температуры – как толстое. Для оценки в условиях конкретного теплового процесса, теплотехнической толщины нагреваемого тела используется теплообменный критерий Био:

$$Bi = \frac{\alpha r}{\lambda},$$

где α – коэффициент теплообмена, $Вт/(м^2 \cdot К)$.

Теплообменный критерий Био характеризует соотношение между количеством теплоты, которое подводится к поверхности тела, и количеством теплоты, которое отводится во внутренние слои. Если значение теплообменного критерия Био большое, то процесс нагревания происходит с большим градиентом температуры между поверхностью и центром тела, и, соответственно, лимитировать нагрев тела будет внутренний теплообмен. В противном случае при малых значениях критерия Био и малой разнице температур центра и поверхности тела внутренний теплообмен не лимитирует процесс его нагрева. Значение теплообменного критерия $Bi \geq 0,4 \dots 0,5$ показывает, что процесс нагревания тела начинает лимитироваться внутренним теплообменом. С другой стороны, процесс массообмена аналогично может характеризоваться массообменным критерием Био. Так, по данным В.Ф. Сорочинского [1], значение массообменного критерия Био с началом процесса сушки зерновки медленно увеличивается и сам процесс лимитируется интенсивностью массоотдачи с поверхности зерновки. В то же время основной процесс сушки протекает при значительно более высоком значении массообменного критерия $Bi = 7,4$, а процесс начина-

ет лимитироваться внутренним массообменом. Это свидетельствует о движении зоны испарения влаги вглубь зерновки и об увеличении внутридиффузионного сопротивления ее перемещению к поверхности.

Тепломассоперенос на поверхности зерна характеризуется испарением влаги и подводом тепла от движущегося вокруг него агента сушки. В свою очередь, вызванные внешним тепло- и массообменом, внутри зерна происходят внутренние процессы тепло- и массопереноса. Движение влаги внутри зерна в процессе сушки происходит из-за возникающих в нем градиентов температуры, давления и влагосодержания. В данном случае имеющим место градиентом давления из-за невысоких температур процесса можно пренебречь. Следовательно, если внутри влажного материала существуют градиенты температуры ∇T , влагосодержания ∇u , давления ∇P , то влага, согласно формуле А.В. Лыкова [2], будет перемещаться в силу взаимодействия градиентов:

$$j_{\text{sum}} = j_u + j_T + j_P = a_m \cdot \rho_{\text{ac}} \nabla u - a_m^T \cdot \rho_{\text{ac}} \nabla T - k_P \nabla P, \quad (1)$$

где a_m , a_m^T – коэффициент диффузии влаги, коэффициент термодиффузии влаги, $\text{м}^2/\text{с}$;

j_{sum} , j_u , j_T , j_P – удельная общая плотность потока влаги, удельная плотность потока влаги, вызванная градиентом влагосодержания, температуры и давления соответственно, $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$;

ρ_{ac} – плотность агента сушки, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Последний член правой части уравнения (1), характеризующий молярный перенос влаги под действием градиента давления, может быть исключен из-за невысоких температур нагрева зерна.

В начале процесса сушки температура на поверхности зерна выше, чем внутри, и тепловой поток направлен внутрь, а температурный градиент затормаживает перемещение влаги. После достижения на поверхности зерна температуры испарения влага начинает испаряться, создается градиент влажности. Так как в первую очередь испаряется влага, слабо связанная с сухим веществом зерна, то она успевает поступать из внутренних слоев зерна к его поверхности и обеспечивает постоянную скорость сушки. Влага перемещается в жидком состоянии и испаряется только с поверхности. По мере высыхания зерна связь влаги с ним увеличивается, а ее поток из внутренних слоев уменьшается. Вследствие этого возникает дефицит влаги на поверхности зерна, и оно начинает нагреваться, а тепловой поток перемещается во внутренние слои зерна. Это вызывает перемещение зоны испарения вглубь зерна, увеличивает термический градиент, и, как следствие, снижает скорость сушки. А.В. Лыков сформулировал дифференциальные уравнения тепло- и массопереноса внутри коллоидных капиллярно-пористых тел [2], которые могут применяться для описания процессов сушки зерна:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial \tau} &= a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\varepsilon_{\phi} r_0}{c_{c3}} \cdot \frac{\partial u}{\partial \tau} \\ \frac{\partial u}{\partial \tau} &= a_m \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + a_m \delta_T \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \end{aligned} \right\} . \quad (2)$$

Сложность получения решения системы уравнений (2) заключается в том, что градиенты влагосодержания и термодиффузии зависят от температуры и влагосодержания зерна. С другой стороны, процесс внутреннего теплопереноса можно определить, связав его с процессом теплопереноса на поверхности зерна. Интенсивность внешней влагоотдачи с поверхности зерна можно оценить зависимостью А.В. Лыкова [2]:

$$j_H = \frac{\alpha}{r_0} (T_{ac} - T_3) .$$

Так как в процессе сушки количество влаги, поступающей из внутренних слоев зерна, равно количеству влаги, испаряемой с его поверхности, $j_{sum} = j_H$, то

$$a_m \rho_0 (\nabla u + \delta_T \nabla T) = \frac{\alpha}{r_0} (T_{ac} - T_3) , \quad (3)$$

где T_{ac} , T_3 – температура агента сушки и зерна соответственно, K ;

u – влагосодержание, $кг/кг$;

r_0 – удельная теплота испарения (парообразования), $Дж/кг$;

δ_T – относительный коэффициент термодиффузии влаги, $\%/^{\circ}C$.

Как видно из выражения (3), скорость процесса сушки единичного зерна можно повысить двумя способами. Первым – увеличив разность между температурами агента сушки T_{ac} и зерном T_3 . Однако этот способ ограничен величиной термической стойкости зерна. Второй способ – повышение коэффициента теплообмена a – является более эффективным, но значительно сложнее. Он зависит от большого количества факторов: параметров зерносушилки, вида и состояния зерна, физических свойств агента сушки. С другой стороны, затруднен теоретический расчет коэффициента теплообмена для конкретных условий, так как реальный процесс сушки сопровождается целым рядом явлений, имеющих случайную природу: неоднородностью физических свойств высушиваемых зерен и всего слоя в целом; неоднородностью величины и состояния потока агента сушки. Влияние этих факторов теоретически учесть невозможно, поэтому коэффициент теплообмена можно определить экспериментальным путем на основе методов теории подобия [3].

Кроме того, в зерновке при перемещении зоны испарения с поверхности внутрь и повышении ее температуры возникает нерелаксируемый градиент избыточного давления пара, который интенсифицирует процесс внутреннего теплопереноса. При этом он происходит не путем диффузии, а посредством увеличения интенсивности молекулярного движения типа фильтрации газа через пористые среды. Для этого случая выражение потока влаги при нагреве зерна (1)

дополнится составляющей молекулярного переноса пара и будет определяться следующим уравнением:

$$j_{\text{sum}} = -\beta\rho_c\nabla u - \beta\delta_\delta\rho_c\nabla T - \delta_D^T\nabla D,$$

где β – коэффициент массообмена, $\text{кг}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$;

δ_D^T – коэффициент молекулярного переноса пара, $\text{кг}/\text{м}\cdot\text{с}\cdot\text{Па}$;

ρ_3 – плотность зерна, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Таким образом, повышение поступления теплоты во внутренние слои зерновки создает поля влагосодержания, температуры и давления, интенсифицирующие внутренний массоперенос. При этом повышение поступления теплоты и нагрева внутренних слоев зерновок увеличивает долю молекулярного влагопереноса и уменьшает диффузный перенос влаги внутри тела под действием градиентов влагосодержания. Общий поток влаги внутри зерновок при нагреве будет равен:

$$j_{\text{sum}} = j_W + j_D.$$

Поток влаги в виде пара будет определяться по следующей зависимости:

$$j_D = \rho_D \cdot v_D.$$

Поток влаги в виде жидкости определится по следующему выражению:

$$j_W = \rho_W \cdot v_W.$$

При этом средняя скорость истечения пара по капиллярам зерна определяется из уравнения:

$$v_D = \frac{\delta_D^T}{\rho_D} \nabla P,$$

а средняя скорость движения влаги в жидком состоянии по капиллярам будет равна:

$$v_W = a_m \frac{\rho_0}{\rho_D} \nabla u + a_m \delta_T \frac{\rho_0}{\rho_D} \nabla T.$$

Градиент давления ∇P создает молекулярный поток пара в капиллярах, и результирующим направлением его движения является перемещение к поверхности зерновок. При этом он увлекает при своем движении пузырьки газа, капельки влаги и слои жидкости в виде пробок в капиллярах, проталкивая их к поверхности зерновки. Таким образом, выражение (3) должно быть дополнено в левой части составляющей переноса влаги в виде пара, вызванной ∇P :

$$a_m \rho_0 (\nabla u + \delta_T \nabla T) + \delta_D^T \nabla P = \frac{\alpha}{r_0} (T_{ac} - T_3).$$

Для системы микрокапилляров молекулярный поток влаги будет равен:

$$j_M = -1,064 \sqrt{\frac{\mu_D}{R \cdot T_0}} \cdot K_D \nabla P.$$

Исходя из предположения сферически симметричной частицы капиллярно-пористого тела, П.В. Акулич [4] определил скорость углубления границы испарения согласно следующему выражению:

$$\frac{dR_u}{d\tau} = - \frac{\lambda a (T_{Ru} - T_{i\hat{a}})}{R_u [\alpha \rho r_0 + \lambda (T_{i\hat{a}} - T_{Ru})]}, \quad (4)$$

где T_{Ru} – температура частицы в зоне испарения;
 $T_{нов}$ – температура на поверхности частицы.

На основании зависимости (4) им предложено рассчитывать время сушки частицы по следующей формуле:

$$\tau_n = \frac{R_u}{2a} \left(\frac{a \rho r_0}{\lambda (T_{нов} - T_{Ru})} + 1 \right).$$

С другой стороны, рассматривая процесс удаления влаги с частицы в целом, его можно выразить следующей зависимостью:

$$4\pi i_b R_3^2 d\tau = - \frac{dm_w}{m_w}. \quad (5)$$

Интегрирование выражения (5) позволяет определить зависимость изменения количества влаги в зерновке в процессе сушки:

$$m_w = m_{w_0} e^{-4\pi R_3^2 i_b \tau},$$

а также общее время ее сушки:

$$\tau_0 = \frac{1}{4\pi R_3^2 i_b} \ln \frac{m_{w_0}}{m_w}.$$

Исходя из известного времени сушки зерновки с перемещающейся зоной испарения и общего времени сушки, может определяться время сушки (6) до начала перемещения зоны испарения вглубь зерновки:

$$\tau_\partial = \tau_0 - \tau_n = \frac{1}{4\pi R_3^2 i_b} \ln \frac{m_{w_0}}{m_w} - \frac{R_u}{2a} \left(\frac{a \rho_3 r_0}{\lambda (T_{нов} - T_{Ru})} + 1 \right). \quad (6)$$

Избыточная безразмерная температура агента сушки в сравнении с температурой зерновки определится согласно выражению:

$$\Theta_{ac} = \frac{T_{ac} - T_{пов.з}}{T_{ac} - T_0}. \quad (7)$$

Уравнение теплового баланса для зерновки, исходя из выражения (7), будет следующим:

$$\rho_\varphi \tilde{n}_\varphi V_\varphi \frac{\partial \Theta}{\partial \tau} = \alpha \cdot F_\varphi \cdot \Theta. \quad (8)$$

После преобразования уравнения (8) получается дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными следующего вида:

$$\frac{\partial \Theta}{\Theta} = \frac{\alpha \cdot F_3}{\rho_3 c_3 V_3} d\tau. \quad (9)$$

Интегрирование дифференциального уравнения (9) позволяет получить следующее уравнение:

$$\ln \Theta = \frac{\alpha \cdot F_3}{\rho_3 c_3 V_3} \tau + C. \quad (10)$$

Значение постоянной интегрирования C определяется путем подстановки в уравнение (10) следующих начальных условий: $\tau = 0, \Theta = \Theta_0$. Оно будет равно:

$$C = \ln \Theta_0.$$

После подстановки значения постоянной интегрирования в уравнение (10) и соответствующих преобразований решение дифференциального уравнения (9) будет представлено в виде:

$$\ln \frac{\Theta}{\Theta_0} = \frac{\alpha \cdot F_3}{\rho_3 c_3 V_3} \tau,$$

и после потенцирования оно будет следующим:

$$\frac{\Theta}{\Theta_0} = e^{\frac{\alpha \cdot F_3}{\rho_3 c_3 V_3} \tau}. \quad (11)$$

Графическое изображение уравнения (11) для расчета полей температур зерновки может быть представлено в координатах безразмерной избыточной температуры $\ln(\Theta/\Theta_0)$ в зависимости от времени τ в виде семейства прямых линий с параметром $\frac{\alpha \cdot F_3}{\rho_3 c_3 V_3}$. Однако для более точного и наглядного расчета,

оценки таких полей температур А.В. Лыковым [5], П. Шнейдером [6], Р. Гребером и У. Григулем [7] было предложено использовать графики $\Theta/\Theta_0 = f(Fo, Bi)$. Поэтому, согласно Э.Р. Эккерт и Р.М. Дрейку [8], уравнение (11) может быть представлено в следующем виде:

$$\frac{\Theta}{\Theta_0} = e^{\left(\frac{\alpha \cdot L}{\lambda}\right) \left(\frac{a \cdot \tau}{L^2}\right)},$$

где $\frac{\alpha \cdot L}{\lambda} = Bi$ – критерий Био;

$\frac{a \cdot \tau}{L^2} = Fo$ – критерий Фурье;

и, таким образом, уравнение (11) будет иметь следующий вид:

$$\frac{\Theta}{\Theta_0} = e^{Bi \cdot Fo}. \quad (12)$$

График уравнения (12) будет представлять зависимость $\ln(\Theta/\Theta_0)$ от критерия Fo с критерием Bi в качестве параметра. Поскольку величина L в критериях Bi и Fo представляет характерный размер системы и определяется как отношение объема тела к площади его поверхности, для основных форм зерновок величина L будет равна:

для сфероидальных, шарообразных:

$$L = \frac{\frac{4}{3}\pi \cdot r_3^3}{4\pi \cdot r_3^2} = \frac{r_3}{3};$$

для эллипсоидальных:

$$L = \frac{\frac{4}{3}\pi a^2 b}{2\pi a \left(a + \frac{b^2}{\sqrt{b^2 - a^2}} \arcsin \left(\frac{\sqrt{b^2 - a^2}}{b} \right) \right)} = \frac{2a b}{a + \frac{b^2}{\sqrt{b^2 - a^2}} \arcsin \left(\frac{\sqrt{b^2 - a^2}}{b} \right)}.$$

При нагревании зерновки агентом сушки с постоянной температурой T_{ac} , когда тепловой поток на ее поверхность пропорционален разности температур между агентом сушки и нагреваемой поверхностью, плотность теплового потока равна:

$$q_{пов} = \alpha(T_{ac} - T_{пов.з}).$$

Тепловой поток, который движется от поверхности в середину зерновки, в свою очередь, будет равен:

$$q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}.$$

Граничные условия запишутся следующим образом:

$$\alpha(T_{ac} - T_{пов.з}) = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \text{ при } x = \pm r_3.$$

Процесс нагревания зерновки протекает так, как изображено на рисунке 72.

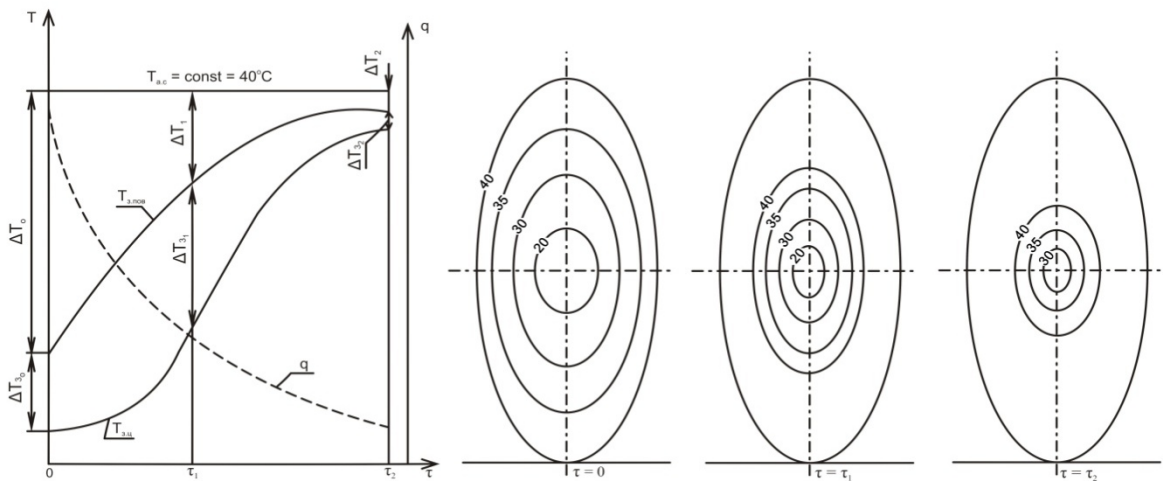


Рисунок 72 – Схематическое изображение нагревания зерновки при постоянной температуре агента сушки $T_{ac} = \text{const}$

В начале процесса температура на поверхности зерновки поднимается быстрее, чем в центре. По мере снижения разницы температур агента сушки и поверхности зерновки $\Delta T_0 > \Delta T_1 > \Delta T_2$ удельный тепловой поток уменьшается, нагрев зерновки замедляется. Одновременно уменьшается разница температуры зерна на поверхности и в центре $\Delta T_{30} > \Delta T_{31} > \Delta T_{32}$. В результате ко времени τ_2 нагревания зерновки температура на поверхности практически сравнивается с температурой в центре и становится незначительно ниже температуры агента

сушки. В таких условиях математическое описание процесса нагревания зерновки может быть выполнено путем решения дифференциального уравнения (9), представленного в общем виде следующими выражениями:

$$\Theta_{i\hat{a}} = \frac{T_{ac} - T_{i\hat{a},c}}{T_{ac} - T_0} = f\left(Bi, Fo, \frac{\delta}{r_3}\right); \quad (13)$$

$$\Theta_{\delta} = \frac{T_{ac} - T_{\delta}}{T_{ac} - T_0} = f\left(Bi, Fo, \frac{\delta}{r_3}\right). \quad (14)$$

Аналитические решения зависимостей (13) и (14) сложны, поэтому для расчета температурных полей зерновки используют графики зависимостей $\Theta/\Theta_0 = f(Fo, Bi)$, представленные на рисунках 73 и 74.

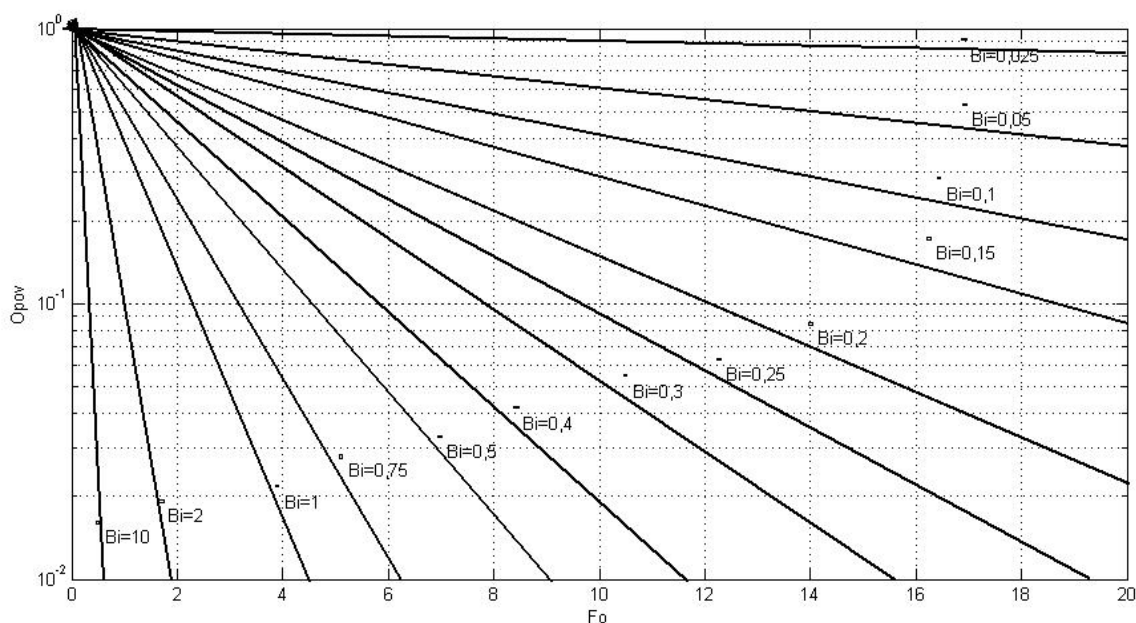


Рисунок 73 – Зависимость безразмерной температуры от критериев Bi и Fo при нагревании поверхности зерновки для граничных условий III рода

Порядок расчета времени нагревания зерновки до заданной температуры ее поверхности или центра следующий:

- задаются значения исходных параметров зерновки α , a_3 , λ_3 , ρ_3 , c_3 , r_3 , F_3 , V_3 , L , T_{ac} , $T_{пов.з}$, $T_{цз}$;
- рассчитываются значения параметров Bi и Θ зерновки;
- с помощью графиков (рисунок 73, 74) при известных значениях параметров Bi и Θ определяется критерий Fo ;
- исходя из вычисленного значения критерия Fo определяется время нагрева зерновки по следующей зависимости:

$$\tau = Fo \frac{L^2}{a} .$$

В зерносушильной технике важное значение имеет то обстоятельство, что форма и поверхность зерновок, подвергающихся сушке, могут быть существенно различны в широком диапазоне. Это обстоятельство значительно усложняет расчеты процесса теплообмена при сушке зерна.

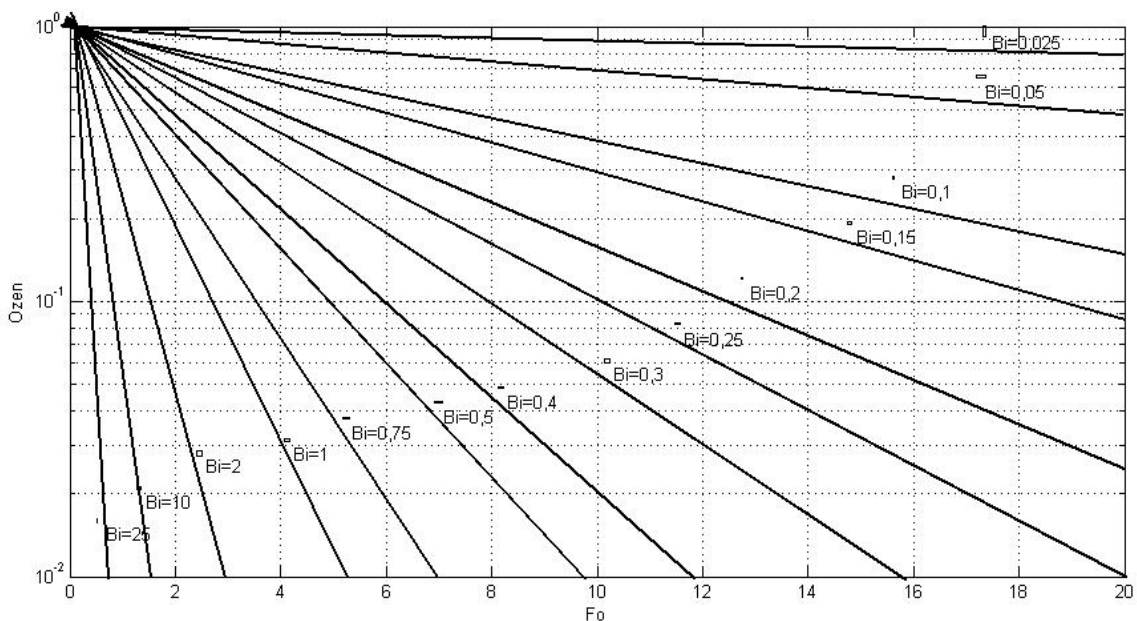
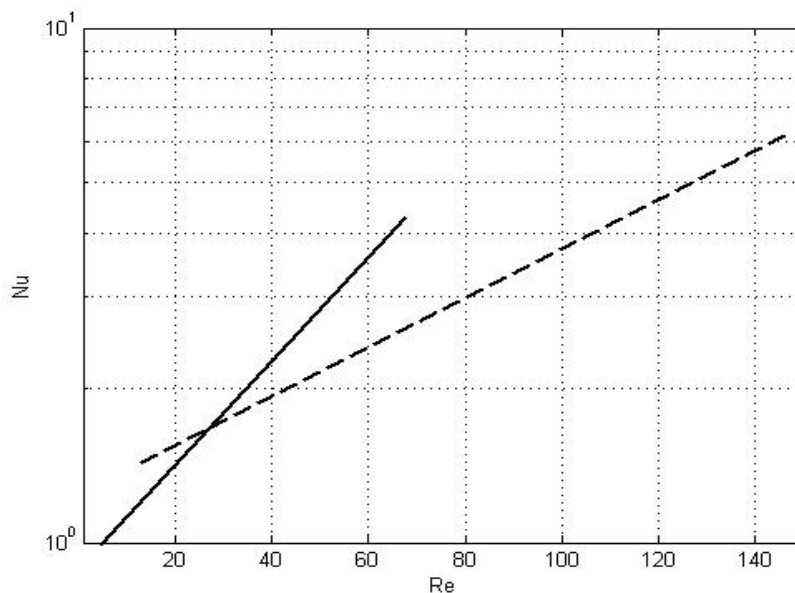


Рисунок 74 – Зависимость безразмерной температуры от критериев Bi и Fo при нагревании центра зерновки для граничных условий III рода

Конвективная передача тепла от агента сушки, омывающего поверхность зерновки, к самой поверхности зависит главным образом от потока тепла, направленного перпендикулярно направлению потока агента сушки. Кроме того, скорость агента сушки в различных точках одного и того же такого сечения потока оказывается существенно неоднородна. Это приводит к тому, что тепловой поток от агента сушки к поверхности зерновки в основном зависит от характера потока агента сушки. Поэтому при обтекании потоком агента сушки неподвижной зерновки возникает непосредственно вблизи ее поверхности тонкий слой агента сушки, скорость движения которого равна нулю. По мере удаления от поверхности зерновки в направлении, перпендикулярном направлению потока агента сушки, его скорость движения возрастает до некоторой величины и остается постоянной. В зависимости от формы и размеров поверхности обтекаемой зерновки, в пределах движения потока вокруг нее создаются различные поля скоростей и температур, оказывающие решающее влияние на теплообмен. Рассматривая большое число факторов, влияющих на теплообмен, а следовательно, большое количество различных локальных значений коэффициентов теплообмена, необходимо для расчетов принимать среднее значение такого коэффициента для всей поверхности зерновки. Поскольку уравнения теплопередачи обычно описываются в безразмерных координатах, в качестве безразмерного коэффициента теплообмена используется критерий Nu . Расчет теплообмена зерновки, подвергающейся в процессе сушки обтеканию агентом сушки, при любой ее форме можно провести на основании следующей зависимости: $Nu = f(Re, Pr^{2/3})$. Для воздуха, который является основным агентом сушки зерна, со значительной долей приближения можно принять $Pr^{2/3} = 0,8$ [9]. С другой стороны, безразмерный коэффициент массообмена может быть представлен значением массообменного критерия Nu_m согласно следующему выражению:

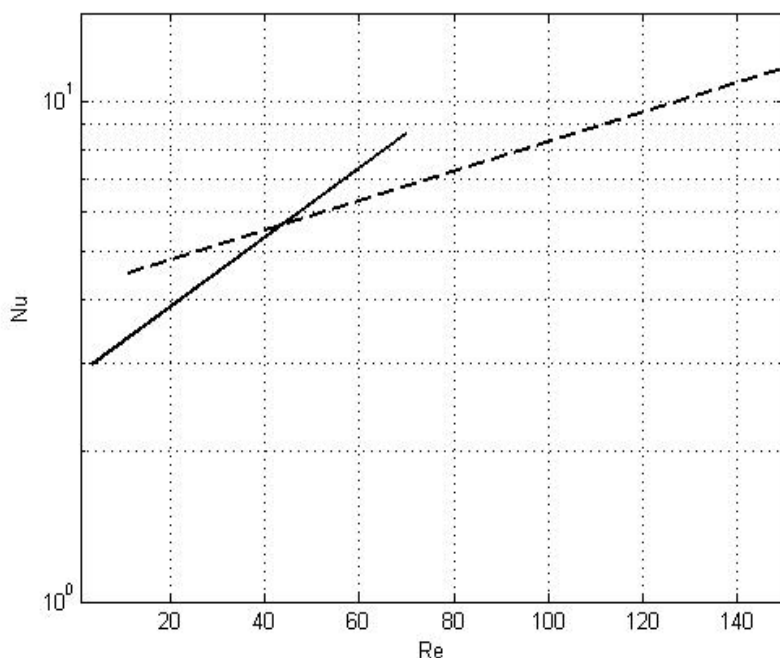
$$Nu_m = \frac{P}{P - P_D} f(Re, Pr^{2/3}).$$

Для двух характерных типов зерновок: пшеницы и кукурузы, рассчитаны теоретические зависимости тепло- и массообмена при обтекании их вынужденным потоком агента сушки. Они представлены на рисунках 75 и 76.



-- для пшеницы; --- для кукурузы

Рисунок 75 – Теплообмен при обтекании различных по форме зерновок вынужденным потоком агента сушки



-- для пшеницы; --- для кукурузы

Рисунок 76 – Массообмен при обтекании различных по форме зерновок вынужденным потоком агента сушки

Анализ зависимостей, представленных на рисунках 75 и 76, показывает, что протекание процессов тепло- и массообмена с агентом сушки зерен, имеющих значительные отличия физико-механических параметров, существенно отличаются. Теплообменный критерий для зерновки кукурузы в диапазоне изменения скоростей потока агента сушки 0,1...1,5 м/с по сравнению с аналогичным критерием для зерновки пшеницы имеет больший интервал и величину

значений: $Nu_{\text{кукурузы}} = 1,5 \dots 6,0$ и $Nu_{\text{пшеницы}} = 1,0 \dots 4,0$ соответственно, при более широком диапазоне изменения критерия $Re_{\text{кукурузы}} = 8,3 \dots 143,7$ и $Re_{\text{пшеницы}} = 4,0 \dots 66,0$. Интервал и величина диапазонов изменения массообменных критериев Nu_m для зерновки кукурузы (3,2 ... 12,3) значительно выше, чем у зерновки пшеницы (2,1 ... 8,2).

Выводы

1. Проведенные расчеты позволяют моделировать процессы переноса тепла и влаги в различных элементарных слоях, особенно в области малых значений критерия Re .

2. Приближенное подобие процессов массо- и теплообмена отдельных зерновок позволяет с достаточной точностью применять полученные коэффициенты для расчета процессов в зернистом слое.

01.07.10.

Литература

1. Сорочинский, В.Ф. Изменение полей влагосодержания, температуры и массообменных критериев в процессе охлаждения нагретой зерновки / В.Ф. Сорочинский // Управление свойствами зерна в технологии муки, крупы и комбикормов: матер. 2-й междунар. науч. конф., Москва, 24–25 апреля 2000 г. – М., 2000. – С. 14-16.

2. Лыков, А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 471 с.

3. Мальтри, В. Сушильные установки сельскохозяйственного назначения / В. Мальтри, Э. Петке, Б. Шнайдер; сокр. пер. с нем.: В.М. Комиссаров, Ю.Л. Фрегер; под. ред. В.Г. Евдокимова. – М.: Машиностроение, 1979. – 525 с.

4. Акулич, П.В. Термогидродинамические процессы в технике сушки / П.В. Акулич. – Минск: Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАНБ, 2002. – 268 с.

5. Лыков, А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М.: ГИТТЛ, 1952. – 392 с.

6. Шнейдер, П. Инженерные проблемы теплопроводности / П. Шнейдер. – М.: ИЛ, 1960. – 478 с.

7. Гребер, Р. Основы учения о теплообмене / Р. Гребер, С. Эрк, У. Григуль. – М.: ИЛ, 1958. – 566 с.

8. Эккерт, Э.Р. Теория тепло- и массообмена / Э.Р. Эккерт, Р.М. Дрейк. – М.-Л., Госэнергоиздат, 1961. – 680 с.

9. Лыков, А.В. Тепло- и массообмен в процессах сушки / А.В. Лыков. – М.-Л., Госэнергоиздат, 1956. – 464 с.

УДК 631.365.22

В.Г. Самосюк

(РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь)

Е.И. Михайловский

(ИПК и ПК АПК БГАТУ,

г. Минск, Республика Беларусь)

РАЦИОНАЛЬНОЕ КОМПЛЕКТОВАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ АПК РЕСПУБЛИКИ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКОЙ ДЛЯ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА – ОСНОВА СОХРАННОСТИ УБРАННОГО УРОЖАЯ

Введение

Рациональное комплектование современным оборудованием и машинами зернотоков сельскохозяйственных организаций является важной народнохозяйственной задачей в деле сохранения убранного урожая зерна в республике.