

исследований процессов тепло- и массопереноса для изложенного способа сушки. Начальная температура сушильного агента задавалась  $T_c^0 = 100^\circ\text{C}$ , предельно допустимая температура для моркови принималась  $T^* = 50^\circ\text{C}$ . Полученные эмпирическим путем графики изменения температуры сушильного агента, среднего влагосодержания и температуры на поверхности слоя коллоидного капиллярно-пористого тела, которые изображены на рисунке точками, а также время сушки, хорошо согласуются с расчетными данными. Это свидетельствует о возможности применения найденных численно зависимостей  $T_c = T(t)$  для управления процессом сушки слоя термолабильного материала с различными геометрическими параметрами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лыков А.В. Теория сушки. — М.: Энергия, 1968.—372 с.
2. Никитенко Н.И., Снежкин Ю.Ф., Сорокова Н.Н. Динамика процессов теплообмена, фазовых превращений и усадки при обезвоживании коллоидных капиллярно-пористых материалов. // Пром. теплотехника. — 2003. — Т. 25, № 3. — С. 56—66.

3. Никитенко Н.И. Проблемы радиационной теории тепло — и массопереноса в твердых и жидких средах. // Инж.-физ. журн. — 2000. — Т. 73, № 4. — С. 851-860.

4. Никитенко Н.И. Теория теплообмена. Киев: Наук. думка, 1983. — 352 с.

5. Никитенко Н.И. Исследование динамики испарения конденсированных тел на основе закона интенсивности спектрального излучения частиц — ИФЖ — 2002. — Т. 75, № 3. — С. 128—134.

6. Рудобахта С.П. Массоперенос в системах с твердой фазой. Москва: Химия. 1980. — 248 с.

7. Никитенко Н. И. Сопряженные и обратные задачи теплообмена. Киев: Наук. думка, 1988. — 240 с.

8. Белоцерковский О.М. Численное моделирование в механике сплошных сред. — Москва: Наука, 1984. — 520с.

9. Деклараційний патент на винахід 62665А України А 23 В 7/02 Спосіб сушіння термолабільних матеріалів / Нікітенко М.І., Снежкін Ю.Ф., Сорокова Н.М. — № 2003043816; Заявлено 24.04.2003; Опубл. 15.12.2003; Бюл. №12.

Получено 01.03.2006 г.

УДК 664.834

Потапов В.А., Погожих Н.И.

Харьковский государственный университет питания и торговли

## СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ КИНЕТИКИ ПЕРЕНОСА ПРОЦЕССА СУШКИ КОЛЛОИДНЫХ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ ТЕЛ

Запропоновано гетероенергетичну модель колоїдного капілярно-пороватого тіла, що являє собою трикомпонентну систему: сухий кістяк, зв'язана волога, вільна волога. Одержано відповідну систему рівнянь кінетики спряжених явищ переносу в процесі сушіння, розв'язок якої дає змогу прогнозувати кінетику та-

Предложена гетероэнергетическая модель коллоидного капиллярно-пористого тела, представляющая трехкомпонентную систему: сухой скелет, связанная влага, свободная влага. Получена система уравнений кинетики сопряженных явлений переноса в процессе сушки, решение которой позволяют прогнози-

Is offered the hetero-energy model of a damp body, which are presented in a tree component system: a dry skeleton - bound water - free water The appropriate system of the equations for kinetics of the connected phenomena of transfer in the drying process is received, which decision allow to predict kinetics of such important physical

ких важливих фізичних показників, як вміст вільної та зв'язаної вологи, середньої температури, тиску та деформації.

ровать кинетику таких важных физических показателей, как содержание свободной и связанной влаги, средней температуры, давления и деформации.

parameters, as the contents of the free and bound water, average temperature, pressure and deformation.

$A$  – относительная доля свободной, связанной влаги;  
 $a_m$  – коэффициент диффузии влаги;  
 $a_T$  – коэффициент температуропроводности;  
 $a_p$  – коэффициент конвективной фильтрационной диффузии;  
 $c_p^a$  – коэффициент емкости влажного воздуха в пористом теле;  
 $c$  – приведенная удельная теплоемкость влажного тела;  
 $E_y$  – модуль объемной упругости;  
 $F$  – площадь поверхности тела;  
 $I$  – плотность внутренних источников (стоков) массы;  
 $j_\Psi$  – диффузионный (молекулярный) поток субстанции;  
 $k$  – коэффициент динамического структурирования влаги;  
 $k_p$  – коэффициент молярного переноса;  
 $Ko$  – критерий Коссовича;  
 $p$  – давление;  
 $R_V$  – отношение объема к поверхности тела;  
 $Ra$  – критерий Рамзина;  
 $r$  – скрытая теплота фазового перехода жидкость – пар;  
 $T$  – температура;  
 $V$  – объем тела;

$v_\Psi$  – скорость конвективного (молярного) потока субстанции;  
 $w$  – влагосодержание;  
 $\alpha_T$  – коэффициент теплообмена;  
 $\alpha_\Psi$  – коэффициент потенциалообмена;  
 $\beta_m$  – коэффициент массообмена;  
 $\varepsilon_1$  – относительная деформация;  
 $\gamma_w$  – коэффициент линейной усадки;  
 $\eta_\varepsilon$  – эффективная вязкость;  
 $\mathfrak{R}_{\Psi j}^\varepsilon$  – коэффициент сопротивления потоку  $i$ -ой субстанции, сопряженному с  $j$ -ым потенциалом переноса;  
 $\lambda_\Psi$  – коэффициент потенциалопроводности;  
 $\rho_0$  – концентрация сухих в объеме материала;  
 $\rho_w$  – концентрация влаги, переносимой с деформируемым объемом тела;  
 $\tau$  – текущее время;  
 $\Psi$  – объемная концентрация физической субстанции;  
 ККПТ – коллоидные капиллярно-пористые материалы.

**Индексы:**

$b$  – связанная влага при высоком влагосодержании;  
 $i, j$  – число физических параметров состояния;  
 $f$  – свободная влага;  
 $0$  – начальное значение;  
 $\infty$  – равновесное значение при  $\tau \rightarrow \infty$ .

Актуальной проблемой при разработке новых энерго- и ресурсосберегающих технологий и оборудования является снижение финансовых и временных затрат на процесс разработки и внедрения. Перспективным решением этой проблемы является разработка новых методов решения комплекса задач теории сопряженных процессов переноса, дающих возможность оптимизировать процесс сушки по энергозатратам, прогнозировать качество продукта на конечной стадии и повысить эффективность разработки сушильного оборудования.

До настоящего времени существуют определенные противоречия в методах описания и практической реализации основных положений теории тепломассопереноса в процессах сушки: если

в статике сушки активно используется понятие структуры влаги, ее энергия связи, то при выводе уравнений динамики применяются законы неравновесной термодинамики, не учитывающие основных положений учения о формах связи влаги. На практике при описании кинетики сушки и расчете сушилок используются эмпирические формулы, полученные для определенного вида сырья, технологии и вида оборудования.

Общепризнанной является необходимость совершенствования классической теории тепломассопереноса в связи с рядом проблем. Это, прежде всего, проблема коэффициента фазового перехода, отсутствие учета деформирования коллоидных капиллярно-пористых материалов (ККПТ), корректный учет коэффициента термо-

влажностности и некоторые другие вопросы [1,2]. В [3] дано термодинамическое обоснование уравнений термомассопластичности и деформирования гомогенных систем. Основываясь на этих идеях, в [4–6] была опубликована система уравнений массотермического деформирования коллоидных капиллярно-пористых материалов в процессе сушки. Однако при выводе этих уравнений автор работ [4–6] рассматривает объект сушки как упругое тело, что противоречит общепринятой реологической модели упруго-вязкого ККПТ [7]. К тому же, в эту систему уравнений входит коэффициент фазового превращения. Для того чтобы исключить этот коэффициент в явном виде, чаще всего используют производную по времени от изотерм сорбции-десорбции [8–10]. Однако такой прием для нестационарных процессов является приближенным. Другой способ – построение уравнений переноса для трехкомпонентной системы: жидкость, пар, инертный газ – более перспективен [11–12]. В частности, в работах [13,14] получена система уравнений тепломассопереноса с учетом фазовых превращений и усадки влажных материалов в процессе сушки. Однако, предложенная модель также не является полной, поскольку в ней отсутствует уравнение переноса механического импульса, что может быть оправдано при свободных деформациях в отсутствии механических напряжений. Появление механических напряжений в процессе сушки приводит к растрескиванию таких коллоидных капиллярно-пористых материалов, как древесина или макаронные изделия.

Целью данной работы является обоснование физически корректной модели кинетики сопряженных явлений переноса при сушке коллоидных капиллярно-пористых материалов. Основой такой модели служит наиболее существенная структурная особенность ККПТ – энергетическая неоднородность влаги внутри коллоидного капиллярно-пористого тела. При этом наиболее простым и экспериментально контролируемым способом классификации влаги по энергии связи является разделение ее на свободную и связанную воду. В связи с этим логично использовать гетероэнергетическую модель влажного тела, представляющую собой трехкомпонентную систему: сухой скелет –

связанная влага – свободная влага. При этом принимаются следующие допущения: все существующие элементарные механизмы перемещения влаги в любой фазе могут быть описаны диффузией свободной или связанной влаги со своими характерными коэффициентами массопереноса; учитывается эффект динамического структурирования влаги, суть которого заключается во взаимном превращении форм связи влаги в процессе сушки [14]; все коэффициенты переноса (массы, энергии, импульса) принимаются постоянными, равными их средним эффективным значениям за весь период сушки. В уравнениях переноса учитываются только те движущие силы, которые статистически значительно коррелируют с кинетикой данной физической субстанции. В частности, как было показано ранее в [14], роль деформации в процессе сушки более сложная, чем просто механический перенос влаги, как принято считать в классической теории тепломассопереноса. Изменение пористой структуры ККПТ в процессе сушки приводит к изменению энергии связи влаги, проявляемой в изменении первоначального соотношения между свободной и связанной влагой. Наличие такого внутреннего источника (стока) массы исключает проблему определения коэффициента фазового превращения и одновременно учитывает влияние деформаций при сушке ККПТ.

Уравнения динамики и кинетики сопряженных явлений переноса могут быть получены на основе интегрального уравнения сохранения и переноса субстанции

$$\int_V \frac{\partial \Psi}{\partial \tau} dV + \oint_S (\Psi v_\Psi + j_\Psi) = \int_V I_\Psi dV . \quad (1)$$

Проводя интегрирование (1), получаем уравнение кинетики  $i$ -ой субстанции для средних по объему значений

$$R_V \frac{\partial \bar{\Psi}_i}{\partial \tau} = -\bar{j}_\Psi^i - \bar{\Psi}_i v_\Psi^i + R_V \bar{I}_\Psi^i . \quad (2)$$

Для среднего потока субстанции в аддитивном приближении для суммы движущих сил при линейном феноменологическом законе переноса можно записать

$$\bar{j}_{\Psi}^i = \sum_j \frac{1}{\mathfrak{R}_{\Psi_j}^i} \Delta \bar{\Psi}_{ij} = \sum_j \frac{1}{\mathfrak{R}_{\Psi_j}^i} (\bar{\Psi}_j - \bar{\Psi}_{\infty j}), \quad (3)$$

$$\mathfrak{R}_{\Psi_j}^i = \frac{1}{R_V / \lambda_{\Psi_j}^i + 1 / \alpha_{\Psi_j}^i}. \quad (4)$$

Тогда систему кинетических уравнений для сопряженных процессов переноса в матричном выражении можно записать следующим образом:

$$R_V \frac{d\Psi}{d\tau} = -K \cdot \Delta\Psi - v \cdot \Psi - R_V \cdot I, \quad (5)$$

где  $K = 1 / \mathfrak{R}_{\Psi_j}^i$ .

Последнее уравнение позволяет получить уравнение кинетики для физических величин, наблюдаемых в эксперименте. Для массопереноса физической субстанцией является влагосодержание, поэтому  $\Psi = \rho_0 w$ , аналогично для теплопереноса  $\Psi = \rho_0 c T$ , для фильтрационного массопереноса  $\Psi = \rho_0 c_p^a p$ , для переноса механического импульса при деформации тела  $\Psi = \rho_V R_V \frac{d\varepsilon_l}{d\tau}$ .

Выражение для объемной мощности внутренних источников (стоков) субстанции определяется видом переноса, в частности, для переноса свободной и связанной влаги физическим источником (стоком) субстанции, как уже отмечалось, является эффект динамического структурирования влаги ( $I_m = \rho_0 k \Delta w_f \Delta w_b / \Delta w_0$  [16]). С целью ограничения числа движущих сил, входящих в уравнения (5), будем учитывать только те, которые статистически значимо коррелируют с экспериментальными данными для кинетики физических величин, непосредственно наблюдаемых в эксперименте (влагосодержание, температура, давление, деформация) [17].

С учетом этого получена система уравнений кинетики сопряженных явлений переноса в процессе сушки, которая имеет следующий вид:

$$\frac{dw_f^*}{d\tau} = -k_f w_f^* - \frac{Ra}{A_f} k_p p^* - k A_b^0 w_f^* w_b^*, \quad (6)$$

$$\frac{dw_b^*}{d\tau} = -k_b w_b^* + k A_f^0 w_f^* w_b^*, \quad (7)$$

$$\frac{dp^*}{d\tau} = -k_p p^* + \frac{A_f^0}{Ra} (k_f w_f^* + k A_b^0 w_f^* w_b^*), \quad (8)$$

$$\frac{dT^*}{d\tau} = -k_T T^* + Ko \left( A_f^0 k_f w_f^* + A_b^0 k_b \frac{r_b}{r_f} w_b^* - A_f^0 A_b^0 \frac{r_b - r_f}{r_f} k w_f^* w_b^* \right), \quad (9)$$

$$\frac{d^2 \varepsilon_l^*}{d\tau^2} = -k_{\varepsilon l} \frac{d\varepsilon_l^*}{d\tau} - k_{\varepsilon E} \varepsilon_l^{*2} (A_f^0 w_f^* + A_b^0 w_b^*) + k_{\varepsilon p} p^{*2} \quad (10)$$

В уравнениях (6)-(10) использованы следующие обозначения для безразмерных нормированных переменных

$$w_f^* = \frac{w_f}{w_{0f}}, T^* = \frac{\Delta T}{\Delta T_0} = \frac{T_{\infty} - T}{T_{\infty} - T_0}, w_b^* = \frac{\Delta w_b}{\Delta w_{0b}} = \frac{w_b - w_{\infty}}{w_{0b} - w_{\infty}}$$

$$p^* = \frac{\Delta p}{\Delta p_0} = \frac{p - p_{\infty}}{p_0 - p_{\infty}}, \varepsilon_l^* = \frac{\Delta R_V}{\Delta R_{V_0}} = \frac{R_V - R_{V_{\infty}}}{R_{V_0} - R_{V_{\infty}}}.$$

$$A_f^0 = \frac{w_{0f}}{w_0 - w_{\infty}}; A_b^0 = \frac{w_{0b} - w_{\infty}}{w_0 - w_{\infty}}$$

Кинетические коэффициенты переноса в системе уравнений имеют размерность  $s^{-1}$  и характеризуют время релаксации соответствующего потенциала к его равновесному значению. В то же время они алгебраически связаны с общепринятыми физическими коэффициентами переноса: массы, теплоты и импульса.

Коэффициент массопереноса свободной влаги

$$k_f = \frac{1}{R_V} \left( \frac{R_V}{a_m^f} + \frac{1}{\beta_m} \right)^{-1},$$

коэффициент массопереноса связанной влаги

$$k_b = \frac{1}{R_V} \left( \frac{R_V}{a_m^b} + \frac{1}{\beta_m} \right)^{-1},$$

коэффициент конвективного массопереноса

$$k_p = \frac{a_p}{R_V^2},$$

коэффициент теплопереноса

$$k_T = \frac{1}{\rho_0} \left( \frac{R_V}{a_T} + \frac{1}{\alpha_T c R_V} \right)^{-1},$$

коэффициент вязких напряжений

$$k_{\varepsilon\eta} = \frac{\eta_\varepsilon}{\rho_V R_V^2},$$

коэффициент упруго-влажностных напряжений

$$k_{\varepsilon E} = \sqrt{\frac{E_y \gamma_w \Delta w_0}{\rho_V \varepsilon_\infty R_V^2}},$$

коэффициент упруго-барометрических напряжений

$$k_{\varepsilon p} = \sqrt{\frac{\Delta p_0}{\rho_V \varepsilon_\infty R_V^2}}.$$

Система (6)-(10) содержит линейные и нелинейные дифференциальные уравнения которые аналитического решения не имеют. Однако приближенное решение системы может быть получено разложением по малому параметру – коэффициенту структурного изменения влаги –  $k$ . Согласно экспериментальным данным и теоретическим оценкам относительное изменение концентрации связанной (свободной) влаги вследствие эффекта динамического структурирования в процессе сушки мало и составляет 1...20 % [15,16].

В частности, для практически важных случаев низкотемпературной и высокотемпературной конвективной сушки получены следующие решения для кинетики свободной, связанной влаги, температуры материала, давления парогазовой смеси в нем и его деформации:

кинетика низкотемпературной конвективной сушки:

$$w_f^* = e^{-k_f \tau} \left[ 1 - \frac{k A_b^0}{k_b} (1 - e^{-k_b \tau}) \right], \quad (11)$$

$$w_b^* = e^{-k_b \tau} \left[ 1 + \frac{k A_f^0}{k_f} (1 - e^{-k_f \tau}) \right], \quad (12)$$

$$T^* = (1 - A_1 - A_2 - A_3) e^{-k_T \tau} + A_1 e^{-k_f \tau} + A_2 e^{-k_b \tau} + A_3 e^{-(k_f + k_b) \tau}, \quad (13)$$

$$\varepsilon_l^* = -k_{\varepsilon E}^2 \left[ \frac{B_1}{k_f} (1 - e^{-k_f \tau}) + \frac{B_2}{k_b} (1 - e^{-k_b \tau}) + \frac{B_3}{k_f + k_b} (1 - e^{-(k_f + k_b) \tau}) + \frac{B_4}{k_{\varepsilon\eta}} (1 - e^{-k_{\varepsilon\eta} \tau}) \right], \quad (14)$$

где  $A_1 = \text{Ko} A_f^0 k_f \frac{k_b - k A_b^0}{k_b (k_T - k_f)},$

$$A_2 = \text{Ko} \frac{r_b}{r_f} A_b^0 k_b \frac{k_f + k A_f^0}{k_f (k_T - k_b)},$$

$$A_3 = \text{Ko} k A_f^0 A_b^0 \frac{k_f^2 - \frac{r_b}{r_f} k_b^2}{k_b k_f (k_T - k_f - k_b)},$$

$$B_1 = A_f^0 \frac{k_b - k A_b^0}{k_b (k_{\varepsilon\eta} - k_f)}, \quad B_2 = A_b^0 \frac{k_f + k A_f^0}{k_f (k_{\varepsilon\eta} - k_b)},$$

$$B_3 = k A_f^0 A_b^0 \frac{k_f - k_b}{k_b k_f (k_{\varepsilon\eta} - k_f - k_b)},$$

$$B_4 = \frac{B_1 k_f + B_2 k_b + B_3 (k_f + k_b)}{k_{\varepsilon\eta}};$$

кинетика высокотемпературной конвективной сушки:

$$w_f^* = -\frac{k_p - k_f - \Omega}{2\Omega} e^{-\kappa_1 \tau} + \frac{k_p - k_f + \Omega}{2\Omega} e^{-\kappa_2 \tau}, \quad (15)$$

$$w_b^* = \exp(-k_b \tau). \quad (16)$$

$$p^* = \frac{A_f^0 k_f}{\text{Ra} \Omega} (e^{-\kappa_2 \tau} - e^{-\kappa_1 \tau}), \quad (17)$$

$$T^* = (1 - A_1 - A_2 - A_3) e^{-k_T \tau} + A_1 e^{-\kappa_1 \tau} + A_2 e^{-\kappa_2 \tau} + A_3 e^{-k_b \tau}, \quad (18)$$

$$\varepsilon_l^* = -k_{\varepsilon E}^2 \left[ \frac{B_1}{\kappa_1} (1 - e^{-\kappa_1 \tau}) + \frac{B_2}{\kappa_2} (1 - e^{-\kappa_2 \tau}) + \frac{B_3}{k_b} (1 - e^{-k_b \tau}) + \frac{B_4}{k_{\varepsilon\eta}} (1 - e^{-k_{\varepsilon\eta} \tau}) \right], \quad (19)$$

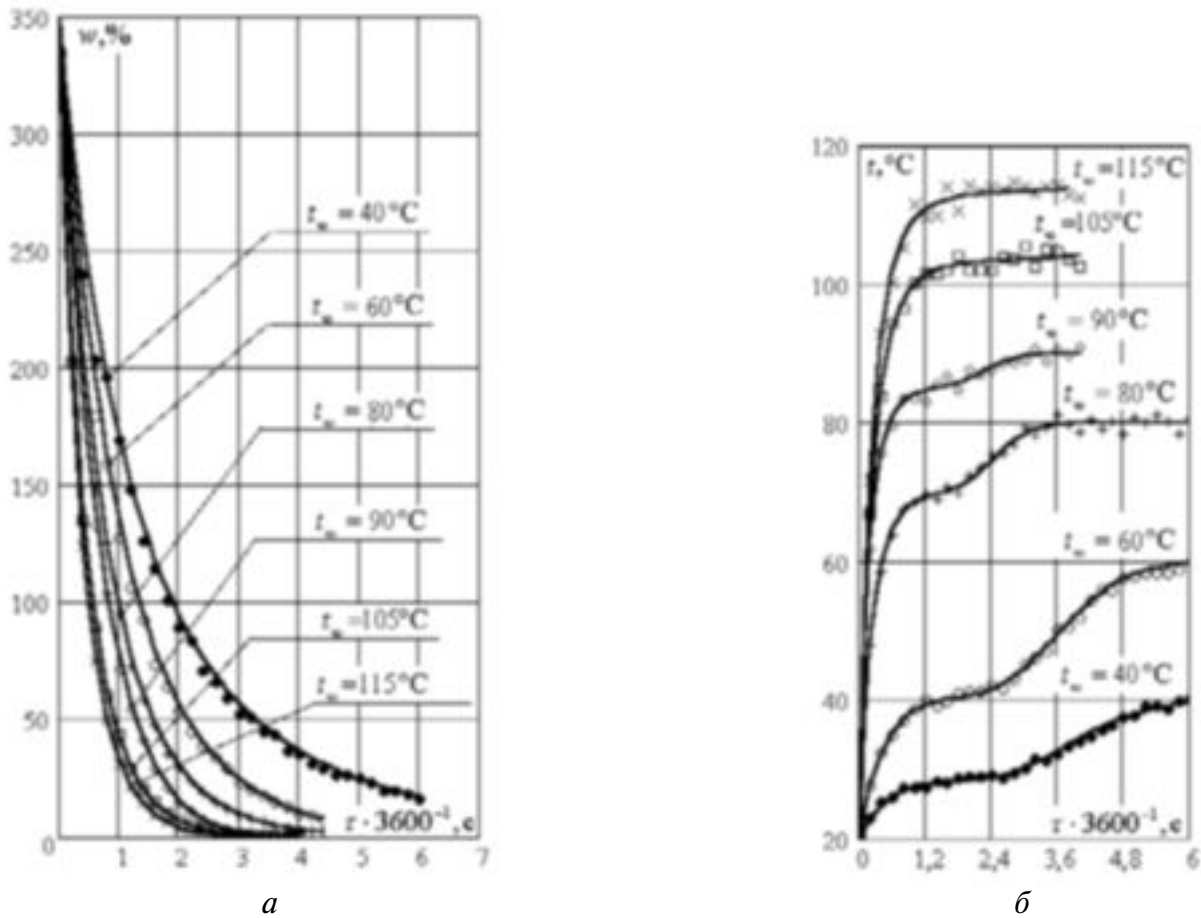


Рис. 1. Экспериментальная и расчетная кинетика влагосодержания (а) и средней температуры материала (б) при конвективной сушке картофеля.

где  $\kappa_1 = \frac{1}{2}(k_p + k_f + \Omega)$ ,  $\kappa_2 = \frac{1}{2}(k_p + k_f - \Omega)$ ,

$$\Omega = \sqrt{k_p^2 - 6k_p k_f + k_f^2},$$

$$A_1 = -\text{Ko} A_f^{02} k_f \frac{k_p + k_f - \Omega}{\Omega(2k_T - k_p - k_f - \Omega)},$$

$$A_2 = \text{Ko} A_f^{02} k_f \frac{k_p + k_f - \Omega}{\Omega(2k_T - k_p - k_f + \Omega)},$$

$$A_3 = \text{Ko} A_b^0 \frac{r_b}{r_f} \frac{k_b}{(k_T - k_b)},$$

$$B_1 = \frac{A_f^0}{\Omega(k_{\text{en}} - \kappa_1)} \left[ \frac{k_f}{\text{Ra}} \left( \frac{k_{\text{ep}}}{k_{\text{eE}}} \right)^2 - \frac{1}{2}(k_p - k_f - \Omega) \right],$$

$$B_2 = \frac{A_f^0}{\Omega(k_{\text{en}} - \kappa_2)} \left[ \frac{k_f}{\text{Ra}} \left( \frac{k_{\text{ep}}}{k_{\text{eE}}} \right)^2 + \frac{1}{2}(k_p - k_f + \Omega) \right],$$

$$B_3 = \frac{A_b^0}{k_{\text{en}} - k_b}, \quad B_4 = \frac{B_1 \kappa_1 + B_2 \kappa_2 + B_3 k_b}{k_{\text{en}}}.$$

На рисунках 1–2 приведены экспериментальные данные о кинетике влагосодержания, температуры, характерного размера образца, избыточного давления парогазовой смеси внутри материала при конвективной сушке кубиков картофеля размером 10×10×10 мм, а также аппроксимация экспериментальных кривых уравнениями (11–19). Как показал статистический анализ, средняя относительная ошибка аппроксимации не превышает 10 %.

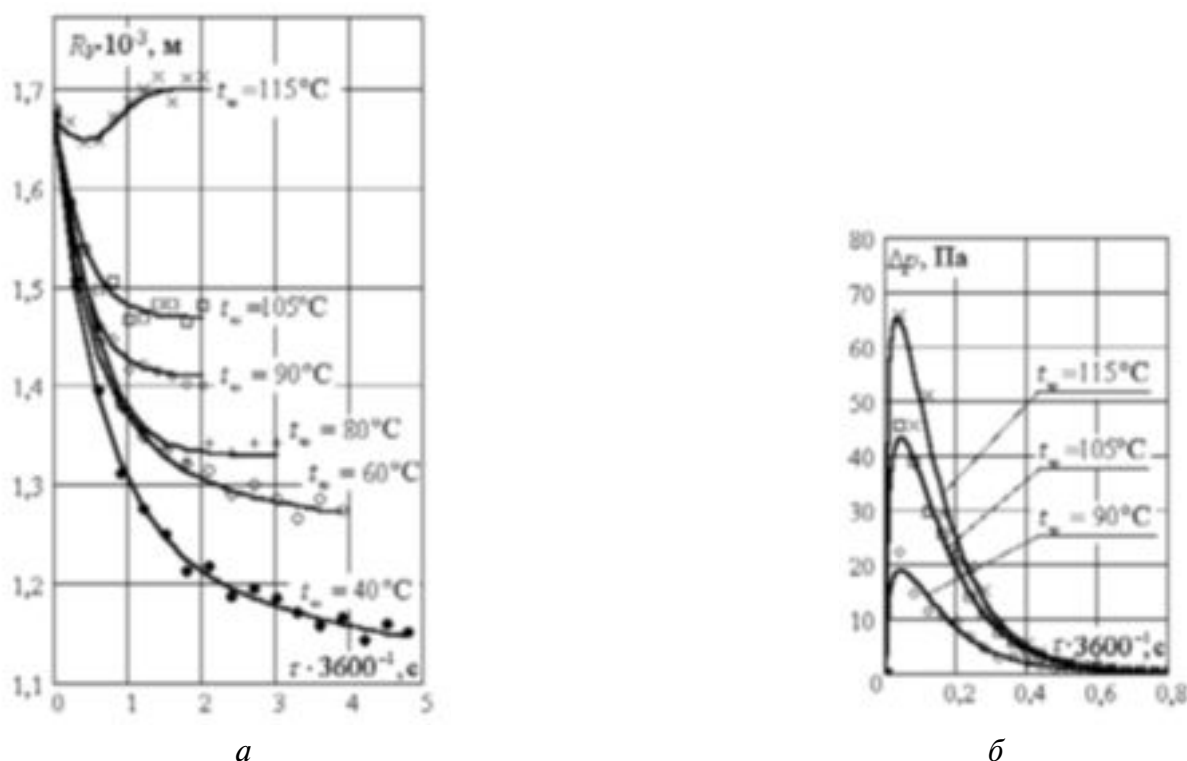


Рис. 2. Экспериментальная и расчетная кинетика характерного размера образца (а), избыточного давления внутри образца (б) при конвективной сушке картофеля.

Таким образом, полученные уравнения позволяют прогнозировать кинетику таких важных физических показателей, как содержание свободной и связанной влаги, средней температуры, давления и деформаций, возникающих в процессе сушки ККПТ. Кроме того, они позволяют решать обратную задачу – определять средние значения физических коэффициентов переноса. Все это дает возможность проводить эффективный анализ процесса сушки с целью поиска рациональных технологических режимов и совершенствования расчета сушильного оборудования.

В дальнейшем предложенная гетероэнергетическая модель влажного тела может являться основой для получения уравнений динамики физических полей в процессе сушки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шубин Г.С. Развитие некоторых аспектов теории теплообмена А.В.Лыкова // Труды Международной научно-практической конференции “Современные энергосберегающие тепловые

технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов)”. Т.1. – М.: МГАУ. – 2002. – С. 52–60.

2. Dedic A.Dj., Mujumdar A.S., Voronjec D.K. A three dimensional model for heat and mass transfer in convective wood drying // Drying Technology. – 2003. – V.21, №1. – P. 1 – 15.

3. Никитенко Н.И. Теория теплообмена. К.: Наук. Думка, 1983. – 352 с.

4. Луцик П.П. Массотермическое деформирование капиллярно-пористых коллоидных тел в процессах сушки // Материалы Междун. форума “Теплообмен – VII”. Т.6. – Минск. – 1984. – С. 90.

5. Луцик П.П. Уравнения теории сушки деформируемых твердых изотропных тел // Промышленная теплотехника. – 1985. – Т.7, № 6. – С. 7–20.

6. Луцик П.П. Исследование процессов теплообмена при сушке капиллярно-пористых тел с учетом внутренних напряжений // Материалы Междун. Форума “Теплообмен”. Проблемные доклады. – Секция 6,7 – Минск. – 1988. – С. 183–197.

7. Реометрия пищевого сырья и продуктов. Справочник. Под ред. Ю.А.Мачихина. М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.

8. Численное моделирование неізотермического влагопереноса в биологических коллоидных пористых материалах // Струмилло Ч., Гринчик Н.Н., Куц П.П. и др.// Инженерно-физический журнал. – 1994. – Т. 66, № 2. – С. 202–212.

9. Гринчик Н.Н., Куц П.П., Акулич П.В. Моделирование тепловлагопереноса и поверхностных явлений в биологических коллоидных пористых материалах// Материалы Междун. форума Теплообмен ММФ-96. – Минск: ИТМО им. А.В.Лыкова НАНБ, 1996. – Т.7. – С. 21–28.

10. Корнюхин И.П., Жмакин Л.И. Теплообмен в пористых телах. М: ОЭЭП РАН, Информэлектро, 2000. 235 с.

11. Whitaker S. Simultaneous heat and momentum transfer in porous media: theory of drying// Advance in Heat Transfer. Academic Press, New York. – 1977. – P. 119–203.

12. Никитенко Н.И., Снежкин Ю.Ф., Сорокова Н.Н. Математическая модель и метод расчета теплообменного переноса и фазовых превращений в процессах сушки // Промышленная теплотехника. – 2001. – Т. 23, № 3. – С. 65–73.

13. Никитенко Н.И., Снежкин Ю.Ф., Сорокова Н.Н. Моделирование теплообменного переноса, фазовых превращений и усадки при сушке // Труды Международной научно-практической конференции “Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов)”. Т. 2. – М.: МГАУ. – 2002. – С. 49–53.

14. Гришин М.А., Погужих Н.И., Потапов В.А. Модель динамического структурирования влаги в процессе сушки // Промышленная теплотехника. – 2001. – Т. 23, № 4–5. – С. 100–105.

15. Потапов В.А., Погужих Н.И. Модель поведения влаги в процессах сушки// Промышленная теплотехника. – 2003. – Т. 25, № 4. – С. 423–425.

16. Потапов В.А., Погужих Н.И., Цуркан Н.М. Экспериментальное определение движущих сил кинетики сушки// Труды Международной научно-практической конференции “Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов)”. – Т. 2. – М.: МГАУ. – 2002. – С. 118–121.

Получено 27.08.2005 г.

УДК 663.812;538.953

Ободович А.Н., Хибина М.А., Боряк Л.А.,  
Ободович А.А., Тесля А.И.

*Институт технической теплофизики НАН Украины*

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГЛЮКОЗО-ФРУКТОЗНЫХ СИРОПОВ ЗА СЧЕТ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ

Представлена вдосконалена енерго-та ресурсозберігаюча технологія виробництва глюкозо-фруктозних сиропів з сахарози із застосуванням механохімічної обробки.

Представлена усовершенствованная энерго- и ресурсосберегающая технология производства глюкозо-фруктозных сиропов из сахарозы с применением механохимического воздействия.

The improved energy-saving and resources-economy technology of glucose-fructose syrups production from a saccharose with the use of the mechanochemistry treatment is presented.

ГФС – глюкозо-фруктозный сироп;  
ОМФ – оксиметилфурфурол;  
РПА – роторно-пульсационный аппарат;

СВ – сухое вещество;  
Т – температура;  
t – время.