УДК 665.1 – 665.3
№ Др0108u005350

Національна академія аграрних наук
Інститут механізації тваринництва

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Директор ІМТ НААН
д.т.н., проф.

_________І.А. Шевченко
« » ___________ 2010 р.

ЗВІТ
ЩОДО НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТІ НА ТЕМУ:

«05.1-2/01 Створити наукові основи глибокої переробки та використання біосировини для енергетичного і кормового забезпечення виробництва тваринницької продукції

05.1-2/02.02.02 Провести уточнення математичних моделей процесів волого-теплової обробки й віджимання насіння рицини та виконати перевірку їх адекватності за результатами експериментальних досліджень

Розробити математичну модель процесу волого-тепловій обробки м'ятки насіння рицини у багаточанної парової жаровні

Науковій керівник завдання
провідний науковий співробітник
лабораторії кормозабезпечення
д.т.н., проф. — В.А. Дідур

Завідувач лабораторії
кормозабезпечення к.т.н., с.н.с. — Р.І. Безпалов

Запоріжжя, 2010

Виконавці

Відповідальній виконувач, с.н.с., к.т.н. В.О. Ткаченко

Уточнение математической модели процесса влаготепловой обработки мезги

Для описания внутреннего влаготеплового обмена в паровой жаровни при влаготепловой обработки мезги семян клещевины используем систему дифференциальных уравнений переноса энергии и массы, разработанную А.В. Лыковым на основании термодинамики необратимых процессов [].

$$\left.\begin{aligned}\frac{\partial \mathbf{T(X,Fo)}}{\partial \mathbf{Fo}} &= \frac{\partial^2 \mathbf{T(X,Fo)}}{\partial \mathbf{X}^2} + \frac{\mathbf{\Gamma}}{\mathbf{X}}\frac{\partial \mathbf{T(X,Fo)}}{\partial \mathbf{X}} - \mathbf{Ko}^*\frac{\partial \boldsymbol{\theta}\mathbf{(X,Fo)}}{\partial \mathbf{Fo}},\\ \frac{\partial \boldsymbol{\theta}\mathbf{(X,Fo)}}{\partial \mathbf{Fo}} &= \mathbf{(1-Pn)\cdot Lu}\left[\frac{\partial^2 \boldsymbol{\theta}\mathbf{(X,Fo)}}{\partial \mathbf{X}^2} + \frac{\mathbf{\Gamma}}{\mathbf{X}}\frac{\partial \boldsymbol{\theta}\mathbf{(X,Fo)}}{\partial \mathbf{X}}\right].\end{aligned}\right\} \tag{1.1}$$

Безразмерные граничные условия третьего рода

$$\left.\begin{aligned}&\frac{\partial \mathbf{T(1,Fo)}}{\partial \mathbf{X}} - \mathbf{Bi_q}\left[\mathbf{1 - T(1,Fo)}\right] + \mathbf{(1-\varepsilon)KoLuKi_m} = \mathbf{0}\\ &\frac{\partial \boldsymbol{\theta}\mathbf{(1,Fo)}}{\partial \mathbf{X}} + \mathbf{Pn}\frac{\partial \mathbf{T(1,Fo)}}{\partial \mathbf{X}} + \mathbf{Ki_m} = \mathbf{0}\end{aligned}\right\} \tag{1.2}$$

Постоянные начальные условия

$$\mathbf{T(X,0) = \boldsymbol{\theta}(X,0) = 0.} \qquad \mathbf{T} = \frac{\mathbf{t - t_0}}{\mathbf{t_c - t_0}}; \quad \boldsymbol{\theta} = \frac{\boldsymbol{\theta}_0 - \boldsymbol{\theta}}{\boldsymbol{\theta} - \boldsymbol{\theta}_p}.$$

В выражениях (1.1) – (1.2) обозначены:

Г – постоянные формы: для неограниченной плоскости **Г** = 0, для неограниченного цилиндра **Г=1** для шара **Г** =2;

$\mathbf{W_1}$, $\mathbf{V_1}$ – симплексы неравномерности начального распределения потенциалов тепло и массопереноса.

Индекс **п** – поверхность.

X – безразмерная координата, **X =ξ/R**;

ξ - текущая координата;

R – характерный размер, равный для неограниченной пластины половине её толщины, а для шара – радиусу).

При щадящих режимах сушки семян подсолнечника высших репродукций при прогреве влажных семян, когда ещё не произошло перераспределение потенциалов переноса, принимаем их постоянное начальное распределение. В периоды постоянной и падающей скоростей сушки, когда уже произошло перераспределение потенциалов переноса, принимаем их параболическое начальное распределение.

Критерии подобия тепло- и массопереноса, используемые в рассматриваемой системе дифференциальных уравнений и граничных условий третьего рода:

$\mathbf{Fo_q}$ – теплообменный критерий Фурье, $\mathbf{Fo_q = \frac{\mathit{a}_q t}{d_{ý}^2}}$;

$\mathbf{Fo_m}$ – массообменный критерий Фурье, $\mathbf{Fo_m = \frac{\mathit{a}_m t}{d_{ý}^2}}$;

Ko – критерий Коссовича, $\mathbf{Ko = \frac{r\Delta u}{c_q \Delta t}}$;

Ko* - модифицированный критерий Коссовича **Ko =εKo**;

Lu – критерий Лыкова, $\mathbf{Lu = \frac{\mathit{a}_m}{\mathit{a}_q}}$;

Pn – критерий Поснова для переноса влаги массопроводностью;

$\mathbf{Bi_q}$ – теплообменный критерий Био, $\mathbf{Bi_q = \frac{\alpha_q d_{ý}}{\lambda_q}}$;

$\mathbf{Ki_m}$ – массообменный критерий Кирпичёва,

$\mathbf{Ki_m = \frac{J(\tau) d_э}{\lambda_m \Delta\theta}}$, где $\mathbf{J(\tau)}$ – поток массы..

Анализ и практика решения системы уравнений с частными производными показывают, что использование классических методов не позволяет эффективно решить с использования метода разделения переменных T и θ и довести тем самым решение задачи до конца. Применение методов интегральных преобразований эти трудности преодолевают. Решение модели влаготепловой обработки мятки в многочанной паровой жаровне с использованием классического тела в виде цилиндра и новыми граничными условиями получено нами методом интегральных преобразований Лапласа [1, 2].

Решение модели неограниченного цилиндра получены методом интегральных преобразований Лапласа.

$$
\begin{aligned}
T\left(X,Fo\right) &= 1-\varepsilon Ko\,\bar{K}_1-\frac{1}{2}\varepsilon Ko\,Lu\,Ki_m\left(1-X^2+\frac{2}{Bi_q}\right)- \\
&-\sum_{n=1}^{\infty}\sum_{i=1}^{2}C_{ni}J_0\left(\nu_i\mu_n X\right)\exp\left(-\mu_n^2 Fo\right)-\frac{\varepsilon Ko\,Ki_m}{\nu_2^2-\nu_1^2}\times \\
&\times\sum_{n=1}^{\infty}\sum_{i=1}^{2}C_{mi}J_0\left(\nu_i\mu_m X\right)\exp\left(-\mu_m^2 Fo\right);
\end{aligned}
\tag{1.3}
$$

$$\theta\left(X,Fo\right)=Ki_m\left[2Lu\,Fo-\frac{1}{2}\left(1+\varepsilon Ko\,Pn\,Lu\right)\left(\frac{1}{2}-X^2\right)\right]+$$
$$+\frac{1}{\varepsilon\,Ko}\sum_{n=1}^{\infty}\sum_{i=1}^{2}C_{n\,i}\left(1-\nu_i^2\right)J_0\left(\nu_i\mu_n X\right)\exp\left(-\mu_n^2\,Fo\right)+ \tag{1.4}$$
$$+\frac{Ki_m}{\nu_2^2-\nu_1^2}\sum_{m=1}^{\infty}\sum_{i=1}^{2}C_{m\,i}\left(1-\nu_i^2\right)J_0\left(\nu_i\mu_m X\right)\exp\left(-\mu_m^2\,Fo\right).$$

Где

$$C_{n1}=\frac{2}{\mu_n\psi_n}\left[\left(1-\varepsilon Ko\,\bar{K}_1\right)P_{n2}+\varepsilon Ko\,Ki_m Q_{n2}\right]; \tag{1.5}$$

$$C_{n2}=\frac{2}{\mu_n\psi_n}\left[\left(1-\varepsilon Ko\,\bar{K}_1\right)P_{n1}+\varepsilon Ko\,Ki_m Q_{n1}\right]; \tag{1.6}$$

$$\psi_n=\nu_1 A_{n1}P_{n2}+\nu_2 B_{n\,2}\,Q_{n1}-\nu_2 A_{n2}P_{n1}-\nu_1 B_{n1}Q_{n2}; \tag{1.7}$$

$$Q_{n\,i}=J_0\left(\nu_i\mu_n\right)-\frac{1}{Bi_q}\nu_i\mu_n J_1\left(\nu_i\mu_n\right); \tag{1.8}$$

$$P_{n\,i}=-\left[\varepsilon\,Ko\,Pn+\left(1-\nu_i^2\right)\right]\nu_i\mu_n J_1\left(\nu_i\mu_n\right); \tag{1.9}$$

$$A_{n\,i}=J_1\left(\nu_i\mu_n\right)+\frac{1}{Bi_q}\nu_i\mu_n J_0\left(\nu_i\mu_n\right); \tag{1.10}$$

$$B_{n\,i}=\left[\varepsilon Ko\,Pn+\left(1-\nu_i^2\right)\right]\nu_i\mu_n J_0\left(\nu_i\mu_n\right); \tag{1.11}$$

$$C_{m1}=-\frac{2\,Lu}{\mu_m^2\,J_0\left(\nu_1\mu_n\right)},\quad C_{m\,2}=\frac{2\,Lu}{\mu_m^2 J_0\left(\nu_2\mu_m\right)}. \tag{1.12}$$

Характеристические корни μ_n определяются из решения уравнения

$$\left[\varepsilon\,Ko\,Pn+\left(1-\nu_1^2\right)\right]\frac{J_0\left(\nu_2\mu_n\right)}{\nu_2\mu_n J_1\left(\nu_2\mu_n\right)}-\left[\varepsilon\,Ko\,Pn+\left(1-\nu_2^2\right)\right]\frac{J_0\left(\nu_1\mu_n\right)}{\nu_1\mu_n J_1\left(\nu_1\mu_n\right)}=\frac{\nu_2^2-\nu_1^2}{Bi_q}, \tag{1.13}$$

а μ_m – из решения уравнений

$$\left.\begin{aligned}J_1\left(\nu_1\mu_m\right)=0;\\ J_1\left(\nu_2\mu_m\right)=0.\end{aligned}\right\} \tag{1.14}$$

Усреднённые по координате безразмерные выражения потенциалов имеют следующие виды

$$\bar{T}\left(Fo\right)=1-\varepsilon\,Ko\,\bar{K}_1-\frac{1}{2}\varepsilon\,Ko\,Lu\,Ki_m\left(\frac{1}{2}+\frac{2}{Bi_q}\right)-$$
$$-\sum_{n=1}^{\infty}\sum_{i=1}^{2}D_{ni}\exp\left(-\mu_n^2 Fo\right)-\frac{\varepsilon Ko\,Ki_m}{\nu_2^2-\nu_1^2}\sum\sum D_{m\,i}\exp\left(-\mu_m^2\,Fo\right); \tag{1.15}$$

$$\overline{\theta}(Fo) = 2Ki_m\,Lu\,Fo + \frac{1}{\varepsilon Ko}\sum_{n=1}^{\infty}\sum_{i=1}^{2} D_{ni}\left(1-\nu_i^2\right)\exp\left(-\mu_n^2 Fo\right) + \\ + \frac{Ki_m}{\nu_2^2-\nu_1^2}\sum_{m=1}^{\infty}\sum_{i=1}^{2} D_{mi}\left(1-\nu_i^2\right)\exp\left(-\mu_m^2 Fo\right), \quad (1.16)$$

где

$$D_{ni} = 2C_{ni}\frac{J_1(\nu_1\mu_n)}{\nu_i\mu_n}, \quad D_{ni} = 2C_{mi}\frac{J_1(\nu_i\mu_m)}{\nu_i\mu_m}. \quad (1.17)$$

Система дифференциальных уравнений должна замыкаться экспериментальными зависимостями технологических свойств (теплофизических и термодинамических характеристик) перерабатываемой массы и зависимостями, определяющими основные параметры агента сушки.

Математическая модель влаготепловой обработки мятки в толстом неподвижном слое паровой жаровни следует принять как сумму тонких элементарных слоёв. Толстый неподвижный слой условно разбили на элементарные слои, а время сушки на малые промежутки времени. Для каждого элементарного слоя в малом промежутке времени для данного интервала потенциалов принимаются постоянные коэффициенты тепло- массопереноса и термодинамические характеристики.

Влагосодержание и температуру агента сушки следует определять соответственно из материального и теплового баланса.

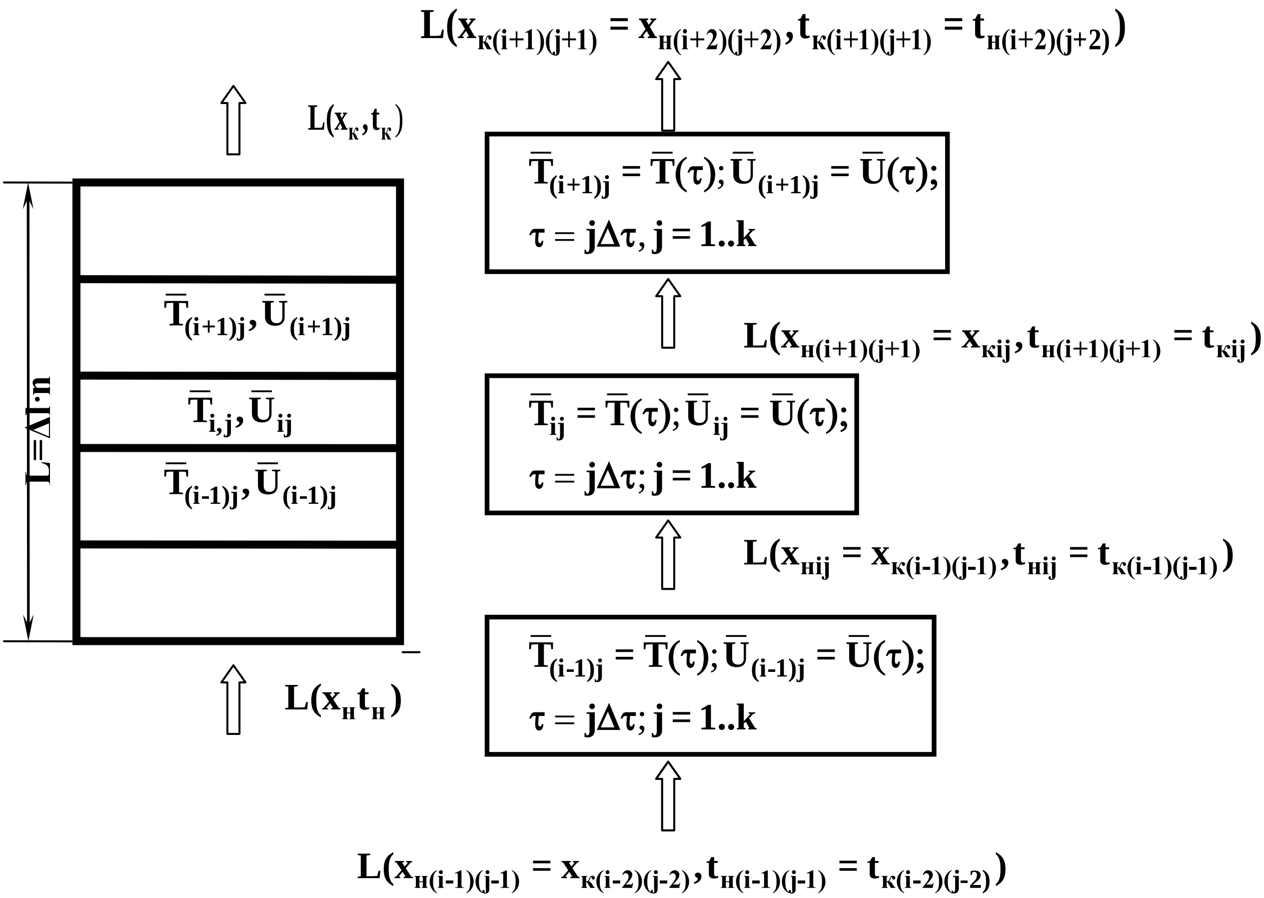

Рисунок 1 – Дискретная модель процесса влаготепловой обработки мятки в многочанной паровой жаровни

---

1 Мартыненко В.С. Операционное исчисление. Изд. Третье, перераб. И доп. К.: Вища шк. 1973.

2 Пчёлкин Б.К. Специальные разделы высшей математики. (Функции комплексного переменного. Операционное исчисление). М.: Высш.шк. 1973.