

УДК 665.1 – 665.3

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЛАГОТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ МЯТКИ СЕМЯН МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР В МНОГОЧАННОЙ ПАРОВОЙ ЖАРОВНЕ

Ткаченко А.В., к.т.н.,

Дидур В.В., к.т.н.,

Дидур В.А., д.т.н.,

Ткаченко В.А., к.т.н.

*Таврический государственный агротехнологический университет*

Тел. (0619) 44-02-74

**Аннотация** – работа посвящена математическому моделированию влаготепловой обработки мезги в многочанных паровых жаровнях. Получена математическая модель с использованием системы дифференциальных уравнений переноса массы и энергии. Для численных исследований разработана дискретная модель процесса влаготепловой обработки в толстом слое.

**Ключевые слова** – математическая модель, мезга, влаготепловая обработка, паровая жаровня, уравнения переноса массы и энергии.

*Постановка проблемы.* Многочанная паровая жаровня предназначена для преобразования мезги из мятки семян клещевины методом влаготепловой обработки. Для этого предварительно проводится инактивация ферментной системы мятки путём увлажнения и нагрева в течение 30 – 40 с насыщенным острым паром до влажности 9,0 – 10,0% и температуры 85 – 90°С. Увлажнение мятки в первом чане производится распылением воды при помощи струи пара, пронизывающей материал при поступлении в чан. Выбор оптимального режима жарения, осуществляемого в чанных жаровнях, сводится к различным изменениям влажности мятки при различных температурах, при разном темпе изменения температуры в течение разных промежутков времени. Рассмотрим толстый плотный слой мятки, расположенный на обогреваемом глухим паром днище. Водяной пар (обычно насыщенный или слегка перегретый) давлением до 0,5 – 0,7 МПа подаётся в паровую рубашку днища он конденсируется и отдаёт тепло поверхности нагрева, а через неё мятке.

От нагретого днища тепло передаётся нижнему слою перемещаемой мезги. При этом слой мятки или мезги будем рассматривать как капиллярно пористое тело. Далее тепло распространяется за счёт теплопроводности в самом слое материала. Кроме того, нижние слои материала нагреваются быстрее, происходит испарение, и образовавшийся пар, пронизывая слой капиллярно пористого материала, отдаёт своё тепло вышележащим слоям. В верхнем чане, где закрыта заслонка в вытяжную трубу жаровни, происходит процесс пропаривания мятки. В последующих чанах процесс пропаривания сочетается с процессом сушки материала. Моделирование этого процесса представляет собой сложную теплофизическую задачу, решение которой позволит оптимизировать энергоёмкие технологические режимы и конструктивные параметры оборудования, предназначенного для этих целей.

*Анализ последних исследований.* Расчёт влаготепловой обработки в паровых жаровнях обычно сводится к трём основным частям: конструктивному, механическому и тепловому. При конструктивном расчёте определяют размеры чана. Для этого рассчитывают время жарения по одной из эмпирических зависимостей. Затем задаются производительностью жаровни и числом чанов.

Разделив количество мезги, прошедшей через жаровню за время сушки на число чанов, находят количество мятки в чане. Задав диаметр чана, определяют высоту слоя мезги в чане или же задавшись высотой слоя мезги, определяют диаметр чана.

После определения размеров чанов приступают к их механическому расчёту в соответствии с условиями, в которых работает обечайка или днище, по известным теориям прочности. Необходимая мощность для привода мешалки определяется по одному из эмпирических уравнений.

После этого проводят тепловой расчёт каждого чана. Цель теплового расчёта – определить количество пара, потребного на жарение, и необходимую поверхность нагрева. Потребное количество пара определяется из уравнений материального и теплового балансов. По тепловой нагрузке в каждом чане определяют из уравнения Фурье потребную поверхность нагрева.

*Формулировка целей статьи.* Целью данной работы является разработка математической модели, обеспечивающей обоснование технологических режимов и основных параметров многочанной жаровни для влаготепловой обработки мезги семян масличных культур.

*Основная часть.* По осуществлению обогрева чанов глухим паром жаровни можно разделить на три группы: жаровни с обогревом только днищ; жаровни с обогревом днищ и внутреннего парового кольца в верхнем чане; жаровни с обогревом днищ и боковых стенок.

Схемы наиболее употребительных конструкций чанных жаровен даны на рис.1.

В многочанных жаровнях в каждом из последовательно расположенных чанов может быть осуществлена обработка различной интенсивности. Таким образом, при непрерывном жарении необходимое изменение температуры и влажности материала обеспечивается по мере прохождения материала через чаны,

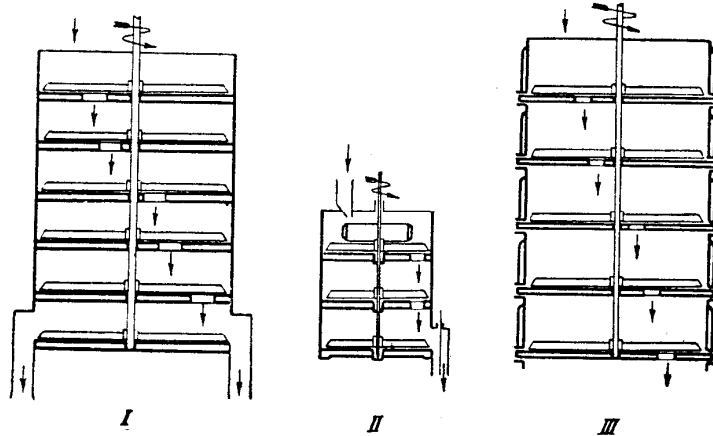


Рис. 1. Типы чанных жаровен (упрощённые схемы):

I – с обогревом днищ – шестичанная жаровня форпрессов ФП и МП; II – с обогревом днищ и внутреннего кольца в верхнем чане – трёхчанная жаровня экспеллеров ЕП; III – с обогревом днищ и боковых стенок – пятичанная жаровня.

Для описания внутреннего влаготеплового обмена в паровой жаровне при влаготепловой обработке мезги семян масличных культур используем систему дифференциальных уравнений переноса энергии и массы, разработанную на основании термодинамики необратимых процессов А.В. Лыковым [1]

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

Безразмерные граничные условия третьего рода применительно к системе уравнений тепло- и массопереноса, сопровождающегося фазовыми превращениями, имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial T(1, Fo)}{\partial X} - Bi_q [1 - T(1, Fo)] + (1 - \varepsilon) Ko Lu Ki_m &= 0 \\ \frac{\partial \theta(1, Fo)}{\partial X} + Pn \frac{\partial T(1, Fo)}{\partial X} + Ki_m &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Постоянные начальные условия

$$T(X, 0) = \theta(X, 0) = 0. \quad T = \frac{t - t_0}{t_c - t_0}; \quad \theta = \frac{\theta_0 - \theta}{\theta_0 - \theta_p}.$$

В выражениях (1) – (2) приняты следующие обозначения:

$\Gamma$  – постоянные формы: для неограниченной плоскости  $\Gamma = 0$ , для неограниченного цилиндра  $\Gamma = 1$  для шара  $\Gamma = 2$ ;

$W_1, V_1$  – симплексы неравномерности начального распределения потенциалов тепло- и массопереноса.

Индекс  $p$  – поверхность.

$X$  – безразмерная координата,  $X = \sigma/R$ ;

$\sigma$  – текущая координата;

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

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

$$Fo_q \text{ – теплообменный критерий Фурье, } Fo_q = \frac{a_q t}{d_s^2};$$

$$Fo_m \text{ – массообменный критерий Фурье, } Fo_m = \frac{a_m t}{d_s^2};$$

$$Ko \text{ – критерий Коссовича, } Ko = \frac{r Du}{c_q Dt};$$

$$Ko^* \text{ - модифицированный критерий Коссовича } Ko = \square Ko;$$

$$Lu \text{ – критерий Лыкова, } Lu = \frac{a_m}{a_q};$$

$Pn$  – критерий Поснова, учитывающий перенос влаги массопроводностью;

$$Bi_q \text{ – теплообменный критерий Био, } Bi_q = \frac{\alpha_q d_s}{\lambda_q};$$

$Ki_m$  – массообменный критерий Кирпичёва,

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

В нашем случае граничные условия связывают значения потенциалов переноса на поверхности тела с соответствующими потенциалами среды через заданные значения коэффициентов теплообмена и массообмена или, что тоже самое, через законы конвективного теплообмена и массообмена на поверхности. В качестве закона конвективного теплообмена принимается закон Ньютона, а в качестве закона поверхностного массообмена – закон Дальтона.

Коэффициенты теплообмена ( $a_q$ ) и массообмена ( $a_m$ ) в общем случае зависят от режимных параметров и состояния поверхности материала. Для упрощения решений А.В. Лыков принял коэффициенты  $a_q$  и  $a_m$ , равно как температуру среды  $t_c$ , постоянными и одинаковыми для всей поверхности тела.

Условия пропарки и сушки в чанах жаровен несколько иные. Слой материала пронизывается паром, получаемом при испарении воды с самой мезги. Поэтому математические модели, разработанные А. В. Лыковым, должны быть доработаны для этих условий.

Анализ и практика решения системы уравнений с частными производными показывают, что применение классических методов не позволяет эффективно решить эти уравнения и тем самым довести решение задачи до конца.

При применении методов интегральных преобразований эти трудности преодолеваются. Решение модели влаготепловой обработки мятки в многочанной паровой жаровне с использованием классического тела правильной формы в виде цилиндра и граничными условиями третьего рода получено методом интегрального преобразования Лапласа [2,3].

Для распределения безразмерных потенциалов тепло- и массопереноса получены следующие решения:

$$\begin{aligned}
 T(X, Fo) = & 1 - \varepsilon Ko \bar{K}_1 - \frac{1}{2} \varepsilon Ko Lu Ki_m \left( 1 - X^2 + \frac{2}{Bi_q} \right) - \\
 & - \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{i=1}^2 C_{ni} J_0(v_i \mu_n X) \exp(-\mu_n^2 Fo) - \frac{\varepsilon Ko Ki_m}{v_2^2 - v_1^2} \times \\
 & \times \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{i=1}^2 C_{ni} J_0(v_i \mu_n X) \exp(-\mu_n^2 Fo);
 \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned} \theta(X, Fo) = & Ki_m \left[ 2Lu Fo - \frac{1}{2}(1 + \varepsilon Ko Pn Lu) \left( \frac{1}{2} - X^2 \right) \right] + \\ & + \frac{1}{\varepsilon Ko} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{i=1}^2 C_{ni} (1 - v_i^2) J_0(v_i \mu_n X) \exp(-\mu_n^2 Fo) + \\ & + \frac{Ki_m}{v_2^2 - v_1^2} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{i=1}^2 C_{mi} (1 - v_i^2) J_0(v_i \mu_m X) \exp(-\mu_m^2 Fo). \end{aligned} \quad (4)$$

Где

$$C_{n1} = \frac{2}{\mu_n \psi_n} \left[ (1 - \varepsilon Ko \bar{K}_1) P_{n2} + \varepsilon Ko Ki_m Q_{n2} \right]; \quad (5)$$

$$C_{n2} = \frac{2}{\mu_n \psi_n} \left[ (1 - \varepsilon Ko \bar{K}_1) P_{n1} + \varepsilon Ko Ki_m Q_{n1} \right]; \quad (6)$$

$$\psi_n = v_1 A_{n1} P_{n2} + v_2 B_{n2} Q_{n1} - v_2 A_{n2} P_{n1} - v_1 B_{n1} Q_{n2}; \quad (7)$$

$$Q_{ni} = J_0(v_i \mu_n) - \frac{1}{Bi_q} v_i \mu_n J_1(v_i \mu_n); \quad (8)$$

$$P_{ni} = - \left[ \varepsilon Ko Pn + (1 - v_i^2) \right] v_i \mu_n J_1(v_i \mu_n); \quad (9)$$

$$A_{ni} = J_1(v_i \mu_n) + \frac{1}{Bi_q} v_i \mu_n J_0(v_i \mu_n); \quad (10)$$

$$B_{ni} = \left[ \varepsilon Ko Pn + (1 - v_i^2) \right] v_i \mu_n J_0(v_i \mu_n); \quad (11)$$

$$C_{m1} = - \frac{2Lu}{\mu_m^2 J_0(v_1 \mu_m)}, \quad C_{m2} = \frac{2Lu}{\mu_m^2 J_0(v_2 \mu_m)}. \quad (12)$$

Характеристические корни  $\mu_n$  определяются из решения уравнения (13)

$$\left[ \varepsilon Ko Pn + (1 - v_1^2) \right] \frac{J_0(v_2 \mu_n)}{v_2 \mu_n J_1(v_2 \mu_n)} - \left[ \varepsilon Ko Pn + (1 - v_2^2) \right] \frac{J_0(v_1 \mu_n)}{v_1 \mu_n J_1(v_1 \mu_n)} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{Bi_q} \quad (13)$$

а  $\mu_m$  – из решения уравнений (14)

$$\left. \begin{aligned} J_1(v_1\mu_m) &= 0; \\ J_1(v_2\mu_m) &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Усреднённые по координате безразмерные выражения потенциалов имеют следующие виды:

$$\begin{aligned} \bar{T}(Fo) &= 1 - \varepsilon Ko \bar{K}_1 - \frac{1}{2} \varepsilon Ko Lu Ki_m \left( \frac{1}{2} + \frac{2}{Bi_q} \right) - \\ &- \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{i=1}^2 D_{ni} \exp(-\mu_n^2 Fo) - \frac{\varepsilon Ko Ki_m}{v_2^2 - v_1^2} \sum \sum D_{mi} \exp(-\mu_m^2 Fo); \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \bar{\theta}(Fo) &= 2 Ki_m Lu Fo + \frac{1}{\varepsilon Ko} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{i=1}^2 D_{ni} (1 - v_i^2) \exp(-\mu_n^2 Fo) + \\ &+ \frac{Ki_m}{v_2^2 - v_1^2} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{i=1}^2 D_{mi} (1 - v_i^2) \exp(-\mu_m^2 Fo), \end{aligned} \quad (16)$$

где

$$D_{ni} = 2C_{ni} \frac{J_1(v_i\mu_n)}{v_i\mu_n}, \quad D_{mi} = 2C_{mi} \frac{J_1(v_i\mu_m)}{v_i\mu_m}. \quad (17)$$

Система дифференциальных уравнений должна замыкаться экспериментальными зависимостями технологических свойств (теплофизические и термодинамические характеристики) перерабатываемой массы и зависимостями, определяющими основные параметры агента сушки.

Математическую модель влаготепловой обработки мятки в толстом неподвижном слое паровой жаровни следует принять как сумму тонких элементарных слоёв. Толстый неподвижный слой условно разбиваем на элементарные слои, а время влаготепловой обработки на малые промежутки времени. Для каждого элементарного слоя в малом промежутке времени в пределах данного интервала потенциалов принимаются постоянные коэффициенты тепло- и массопереноса и термодинамические характеристики. А с переходом из слоя в слой и изменением времени коэффициенты тепло- массопереноса и термодинамические характеристики меняются дискретно.

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

Материальный баланс по испаряемой влаге можно представить выражением

$$L(\bar{x}_k - \bar{x}_n) = m_m(\bar{u}_n - \bar{u}_k), \quad (18)$$

где  $L$  - расход сухого сушильного агента, кг, за время  $\sigma t$ , с;  
 $\bar{x}_k, \bar{x}_n$  - среднее влагосодержание теплоносителя за время  $\sigma t$  на выходе из  $i$ -го элементарного слоя и на входе в  $(i+1)$ -й элементарный слой, кг/кг;

$m_m$  - масса сухого вещества элементарного слоя соответственно мезги;

$\bar{u}_n, \bar{u}_k$  - средние по объёму влагосодержания мезги на кг сухого вещества соответственно в начале и конце  $j$ -го промежутка времени, кг/кг.

Средние по объёму влагосодержания мезги определяем из уравнения (16).

Средние начальные влагосодержания мезги  $\bar{u}_n$  определяются из внутреннего тепло- и массопереноса  $i$ -го слоя мезги  $(j-1)$ -го промежутка времени. Средние конечные влагосодержания мезги  $\bar{u}_k$  определяются из внутреннего тепло- и массопереноса  $i$ -го слоя мезги  $j$ -го промежутка времени. Среднее начальное влагосодержание теплоносителя  $\bar{x}_n$  определяется из материального баланса  $(i-1)$ -го слоя  $(j-1)$ -го промежутка времени.

Из материального балансового уравнения (18) определяем влагосодержание теплоносителя на выходе  $i$ -го и на входе  $(i+1)$ -го слоёв

$$x_k = \frac{m_m(\bar{u}_n - \bar{u}_k) + Lx_n}{L}. \quad (19)$$

Согласно закону сохранения энергии приход тепла в сушилку должен быть равен его расходу. Следовательно, тепловой баланс влаготепловой обработки  $i$ -го слоя в период падающей скорости сушки будет иметь вид:

$$Q_{сгн} + Q_{пн} + Q_{тн} + Q_{вн} = Q_{сгк} + Q_{пк} + Q_{тк} + Q_{вк} + Q_{и} + Q_{пт}, \quad (20)$$

где  $Q_{сгн}, Q_{сгк}$  - тепло исходного и отработанного сухого агента сушки;

$Q_{пн}, Q_{пк}$  - тепло исходной и отработанной паровой фазы агента сушки;

$Q_{тн}, Q_{тк}$  - начальное и конечное тепло твёрдой фазы мезги;

$Q_{вн}, Q_{вк}$  - начальное и конечное тепло жидкой фазы мезги;



$Q_n$  – тепло, затраченное на испарение влаги мезги;

$Q_{пт}$  - потери тепла, Дж.

Индексы обозначают следующее: сг, п, т, в – соответственно сухой газ, паровая фаза газа, твёрдая фаза материала, жидкая фаза материала; и, пт – соответственно испарение влаги, потери тепла; н, к – соответственно начальное, конечное состояния мезги.

После подстановки значений составляющих расхода и поступления тепла в уравнение (20), уравнение теплового баланса примет вид:

$$Lc_{сг}t_{гн} + (r_0 + c_{п}t_{гн})\bar{x}_n L + c_{т}m_{т}t_{тн} + c_{в}\bar{u}_n m_{т}t_{т} = Lc_{сг}t_{гк} + (r_0 + c_{п}t_{гк})\bar{x}_k L + c_{т}m_{т}t_{тк} + c_{в}\bar{u}_k m_{т}t_{тк} + m_{т}\delta(\bar{u}_n - \bar{u}_k)(r_0 + c_{п}t_{т}) + Q, \quad (21)$$

где  $c_{г}$ ,  $c_{п}$ ,  $c_{т}$ ,  $c_{в}$  – удельная теплоёмкость соответственно сухого воздуха, пара, сухого вещества, воды, Дж/кг·град;

$t_{гн}$ ,  $t_{гк}$ ,  $t_{тн}$ ,  $t_{тк}$  – температура воздуха (агента сушки) в начале и конце прохода через элементарный слой, температура сухого вещества мезги элементарного слоя в начале и в конце рассматриваемого промежутка времени, °С;

$r_0$  – удельная теплота парообразования при 0° С и нормальном атмосферном давлении,  $r_0=2493$  кДж/кг;

$c_{п}$  – средняя удельная теплоёмкость водяного пара  $c_{п} = 1,97$  кДж/(кг·град).

При анализе теплового баланса процесса влаготепловой обработки мезги в элементарном слое рассмотрим следующие периоды процесса: нагрев от начальной температуры материала до заданной температуры; сушку с падающей скоростью, когда температура материала повышается, приближаясь к температуре агента сушки.

Для упрощения расчёта принимаем, что в период нагрева влажного материала испарения влаги не происходит. Поэтому влажность воздуха должна оставаться постоянной, если температура его не опускается ниже температуры мокрого термометра. В случае падения температуры агента сушки ниже температуры мокрого термометра, происходит конденсация влаги.

После соответствующих преобразований уравнения (21), найдем значение температуры теплоносителя на выходе из элементарного слоя  $i$  в момент времени  $j$  и на входе в элементарный слой  $i+1$  в момент времени  $j+1$  в период падающей скорости сушки, т. е. при сушке в области гигроскопической влажности

$$t_{\text{ГК}} = \frac{c_{\text{сг}} t_{\text{ГН}} L + (r_0 + c_{\text{п}} t_{\text{ГН}}) \bar{x}_{\text{Н}} L + m_{\text{Т}} t_{\text{ГН}} (c_{\text{Т}} + c_{\text{В}} \bar{u}_{\text{Н}})}{(c_{\text{сг}} + c_{\text{п}} \bar{x}_{\text{К}}) L} - \frac{m_{\text{Т}} t_{\text{ГК}} (c_{\text{Т}} + c_{\text{В}} \bar{u}_{\text{К}}) + m_{\text{Т}} (\bar{u}_{\text{Н}} - \bar{u}_{\text{Г}}) (r_0 + c_{\text{п}} t_{\text{ГК}}) + r_0 \bar{x}_{\text{К}} L + Q_{\text{ПТ}}}{(c_{\text{сг}} + c_{\text{п}} \bar{x}_{\text{К}}) L} \quad (22)$$

В период нагрева влажного материала от начальной температуры до заданной температуры  $Q_{\text{Н}} = 0$ . Тогда температура агента сушки на выходе из элементарного слоя будет равна

$$t_{\text{ГК}} = \frac{c_{\text{сг}} t_{\text{ГН}} L + (r_0 + c_{\text{п}} t_{\text{ГН}}) \bar{x}_{\text{Н}} L + m_{\text{Т}} t_{\text{ГН}} (c_{\text{Т}} + c_{\text{В}} \bar{u}_{\text{Н}})}{(c_{\text{сг}} + c_{\text{п}} \bar{x}_{\text{К}}) L} - \frac{m_{\text{Т}} t_{\text{ГК}} (c_{\text{Т}} + c_{\text{В}} \bar{u}_{\text{К}}) + r_0 \bar{x}_{\text{К}} L + Q_{\text{ПТ}}}{(c_{\text{сг}} + c_{\text{п}} \bar{x}_{\text{К}}) L} \quad (23)$$

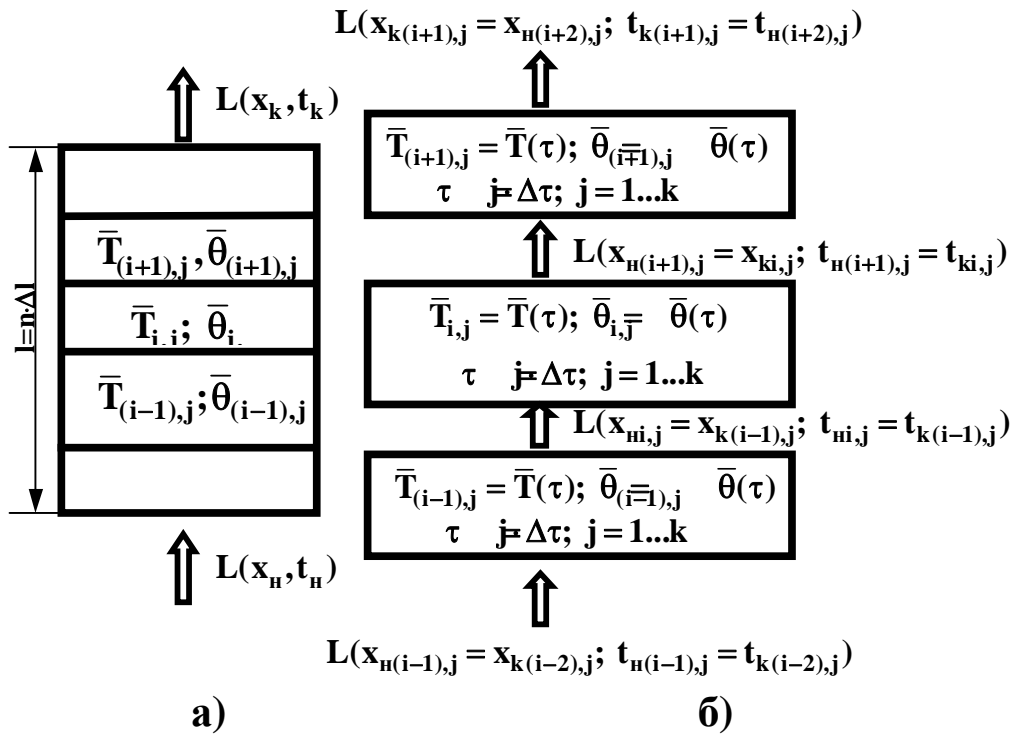


Рис. 2. Дискретная модель процесса влаготепловой обработки мезги в толстом слое многочанной жаровни: а) – разбивка толстого слоя мезги в чане жаровни на тонкие элементарные слои в момент времени  $j$ ; б) – схема тепло- и влагообмена процесса.

Для анализа процессов влаготепловой обработки мезги семян масличных культур в толстом слое многочанной паровой жаровне разработана дискретная модель, схема которой приведена на рис.2 [4]. Толстый слой  $l$  представлен как сумма из  $n$  тонких элементар-

ных слоёв  $\Delta l$ . Время влаготепловой обработки разбивается на малые промежутки времени. Через слой снизу вверх проходит сушильный агент с расходом  $L(x_n, t_n)$  кг за время  $t$ , с начальным влагосодержанием  $x_n$  и начальной температурой  $t_n$ . Сушильный агент отдаёт мезге тепло и забирает влагу.

При выходе из толстого слоя влагосодержание сушильного агента повышается до  $x_k$ , а температура понижается до  $t_k$ . При сушке  $i$ -го слоя в  $j$ -ом промежутке времени безразмерные потенциалы тепло и влагопереноса  $\bar{T}_{ij} = \bar{T}(\tau)$ ,  $\bar{\theta}_{ij} = \bar{\theta}(\tau)$  мезги определяются по формулам (15) и (16). Агент сушки  $L$  при входе в элементарный слой  $i$  во время  $j$  имеет начальное влагосодержание, равное конечному влагосодержанию  $(i-1)$  слоя во время  $(j-1)$  и начальную температуру, равную конечной температуре  $(i-1)$  слоя во время  $(j-1)$ .

При прохождении агента сушки сквозь элементарные слои температура его понижается, а влагосодержание повышается.

При достижении насыщенного влагосодержания и дальнейшего понижения температуры до точки росы влага конденсируется. Количество конденсируемой влаги в элементарном слое  $i$  в момент времени  $j$  равно

$$gk = L \cdot (x_{i,j} - x_{max,i,j}). \quad (24)$$

Влагосодержание и температуру агента сушки в каждом элементарном слое определяем соответственно из уравнений материального и теплового баланса элементарного слоя. Численное решение уравнений (15) и (16), позволит построить диаграммы зависимости влажности и температуры мезги семян клещевины в толстом слое чана многочанной жаровни от времени сушки и глубины слоя.

#### *Выводы:*

1. Впервые получена математическая модель влаготепловой обработки мезги в многочанных паровых жаровнях с использованием системы дифференциальных уравнений переноса массы и энергии.

2. Для численных исследований разработана дискретная модель процесса влаготепловой обработки в толстом слое, состоящем из элементарных слоёв, в каждом из которых коэффициенты влаго- и теплопереноса, термодинамические характеристики принимаются постоянными, но изменяемыми при переходе из слоя в слой.

3. Для численного исследования процессов влаготепловой обработки мезги на основе полученной модели необходимо экспериментально определить основные теплообменные и влагообменные характеристики изучаемой мезги.

## Литература

1. *Лыков А.* Теория тепло- и массопереноса / *А. Лыков, Ю. Михайлов.* – М.–Л. : Госэнергоиздат. - 1963. – 535 с.
2. *Мартыненко В.С.* Операционное исчисление / *В.С. Мартыненко.* - Изд. Третье, перераб. И доп. . - К.: Вища шк. - 1973.
3. *Пчёлкин Б.К.* Специальные разделы высшей математики (Функции комплексного переменного. Операционное исчисление) / *Б.К. Пчёлкин.* – М.: Высш. шк. - 1973. – 464 с.
4. *Дидур В.А.* Контейнерная технология послеуборочной обработки семян подсолнечника высших репродукций / *В.А. Дидур, А.В. Ткаченко* // Восточноевропейский журнал передовых технологий. Математика и кибернетика фундаментальные и прикладные аспекты. – Харьков. - 2007. - №3/6. – С. 62 – 72.

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВОЛОГОТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ  
М'ЯТКИ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР  
У БАГАТОЧАННОЇ ПАРОВОЇ ЖАРОВНІ**

О.В. Ткаченко, В.В. Дідур, В.А. Дідур, В.О. Ткаченко

*Анотація* - робота присвячена математичному моделюванню вологотеплової обробки мезги в багаточанних парових жаровнях. Отримано математичну модель із використанням системи диференціальних рівнянь переносу маси й енергії. Для чисельних досліджень розроблена дискретна модель процесу вологотеплової обробки в товстому шарі.

**MATHEMATICAL MODEL MOISTURE THERMAL OF  
PROCESSING SUSPENSION OF SEEDS OF OLIVE CULTURES  
IN TUB THE STEAM BRAZIER**

A. Tkachenko, V. Didur, V. Didur, V. Tkachenko

*Summary*

Work is devoted mathematical modeling moisture thermal process suspension in tub steam braziers. The mathematical model with use of system of the differential equations of carrying over of weight and energy is received. The discrete model of process is developed for numerical researches moisture thermal process in a thick layer.