

УДК 631.563.2:621.72

Доцент А.В. Журавлев, аспирант А.В. Бородкина

(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра машин и аппаратов пищевых производств.
тел. (473) 255-55-57

начальник отдела И.М. Черноусов

(Управление ОАО «Сбербанк России»)

Associate Professor A.V. Zhuravlev, graduate A.V. Borodkina

(Voronezh state university of engineering technologies) Department of machines and equipment for food production . phone (473) 255-55-57

head of the Department I.M. Chernousov

(OJSC «Sberbank of Russia»)

Разработка математической модели сушки семян амаранта в аппарате со взвешенно-закрученным слоем

Development of mathematical model of drying amaranth seeds in the machine with a balanced twisted – layer

Реферат. Одним из путей создания новой сушильной техники является разработка и внедрение в промышленность высокоинтенсивных аппаратов с активными гидродинамическими режимами, обеспечивающих во многих случаях более высокие технико-экономические показатели. Данный принцип весьма успешно реализуется в аппаратах с закрученными потоками теплоносителя и дисперсного материала. Поэтому применение аппаратов с закрученным потоком теплоносителя для интенсификации процесса сушки дисперсных материалов представляет, как теоретический интерес, так и практическую ценность. Семена амаранта содержат в среднем 17 % белка, до 8 % масла и 4-5 % клетчатки. Из-за значительного содержания аминокислоты лизина, которого в белке амаранта в два раза больше, чем у пшеницы, и в три раза больше, чем у кукурузы и сорго, и сопоставимо по количеству с соей и коровьим молоком, качество белка амаранта считается очень высоким. Семена амаранта являются сырьем для производства масла, содержащего до 8 % сквалена. На основе проведенного теоретического анализа тепло- и массообмена процесса сушки семян амаранта в аппарате со взвешенно-закрученным слоем авторами разработана его математическая модель. Рассмотрена структура течения процесса сушки в поперечных сечениях аппарата. Модель базируется на фундаментальных уравнениях А.В. Лыкова, описывает тепло- влагоперенос в капиллярнопористых средах в линейном термодинамическом приближении, учитывая конвективный способ подвода теплоты и малые размеры высушиваемых семян амаранта. Полученные уравнения описывают динамическое изменение полей температуры и влагосодержания в условиях сопряженного тепломассообмена на границе твердая фаза-теплоноситель. Найдены макрокинетические закономерности процесса. Результаты работы будут полезны широкому кругу специалистов, занимающихся сушкой семян амаранта, а также для расчета и проектирования современных сушильных установок.

Summary. One way to create a new drying technology is the development and adoption by the industry of high-intensity machines with active hydrodynamic regimes, providing in many cases, higher technical and economic indicators. This principle is very successfully implemented in devices with swirling flow and particulate material. Therefore, the use of devices with twisted coolant flow to intensify the process of drying particulate materials is both theoretical interest and practical value. Amaranth seeds contain an average of 17 % protein, 8 % of oil and 4-5% fiber. Because of the significant amino acid content of lysine in the protein which amaranth twice larger than that of wheat, and three times more than corn and sorghum, and compares the number with cow's milk and soy , amaranth protein quality is considered very high . Amaranth seeds are the raw material for the production of oil containing up to 8 % of squalene. On the basis of theoretical analysis of heat and mass transfer process of drying amaranth seeds in the machine with a balanced twisted - layer authors developed a mathematical model of it . The structure of the flow of the drying process in the cross sections of the machine. The model is based on the fundamental equations AV Lykov , describes a heat moisture transfer in capillary-porous environments in the linear thermodynamic approximation , given the way the convective heat supply and small size of dried amaranth seeds . The resulting equations describe the dynamic change of temperature fields and the moisture content in a conjugated heat and mass transfer at the boundary of the solid phase - coolant. Found macrokinetic regularities of the process. The results of the work will be useful to a wide range of professionals involved in drying amaranth seeds, as well as for the calculation and design of modern dryers.

Ключевые слова: математическая модель, сушка, семена амаранта, сушильный аппарат, взвешенно-закрученный слой, теплоноситель, тепло- массообмен.

Keywords: mathematical model, drying, amaranth seeds, dryer, balanced twisted - layer, heat transfer fluid, heat and mass transfer.

© Журавлев А.В., Бородкина А.В.,
Черноусов И.М., 2015

Процессы тепло- и массообмена в сушильных аппаратах в значительной мере определяются гидродинамической обстановкой в его внутреннем объеме. Учитывая сложность геометрии и структуры поля скорости во взвешенно-закрученном слое, которое в общем случае является существенно трехмерным, необходимо декомпозировать гидродинамическую задачу на две суперпозиционные части. Из анализа физической картины следует, что траектории линий тока близки к семейству винтовых кривых. Поэтому логично рассмотреть структуру течения в поперечных сечениях аппарата и наложить на определенную таким образом картину течения осевую составляющую, которую положить близкой к структуре идеального вытеснения.

Это правомочно допустить ввиду значительной скорости осевого потока.

Процесс сушки семян амаранта рассмотрим для одиночного семени амаранта, а затем с учетом суммирования итоговых потоков влаги для всех семян найдем макрокинетические закономерности [4].

На рисунке 1 представлена расчетная схема аппарата. Для анализа выберем цилиндрическую систему координат, расположив ось oz по оси аппарата и пренебрегая массовыми силами, тогда уравнение движения в цилиндрических координатах (r, θ, z) запишется в виде (1) с учетом постоянства плотности сушильного агента ρ и его динамической вязкости μ :

$$\rho \left(\frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \cdot \frac{\partial v_r}{\partial \theta} - \frac{v_\theta^2}{r} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial r} - \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \tau_{rr}) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (r \tau_{r\theta}) + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} \right]; \quad (1)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v_\theta}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \cdot \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{v_r v_\theta}{r} + v_z \frac{\partial v_\theta}{\partial z} \right) = -\frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial \theta} - \left[\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 \tau_{r\theta}) + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\theta\theta}}{\partial \theta} - \frac{\tau_{\theta\theta}}{r} + \frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial z} \right]; \quad (2)$$

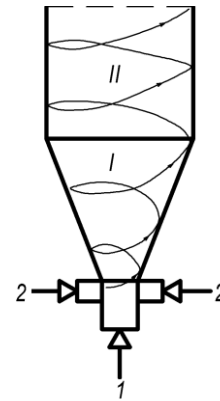


Рисунок 1. Расчетная схема: 1 – осевая подача теплоносителя; 2 – тангенциальная симметричная подача воздушного потока; I – конусная часть аппарата; II – цилиндрическая часть аппарата

$$\rho \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \cdot \frac{\partial v_z}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} - \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \tau_{rz}) + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\theta r}}{\partial \theta} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right]; \quad (3)$$

а уравнение неразрывности:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r v_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0, \quad (4)$$

где v_r, v_θ, v_z – компоненты радиальной, угловой и осевой скорости соответственно; τ – тензор напряжений, компоненты которого для неньютоновских жидкостей таковы:

$$\tau_{rr} = -\mu \left[2 \frac{\partial v_r}{\partial r} - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \vec{v}) \right]; \quad (5)$$

$$\tau_{\theta\theta} = -\mu \left[2 \left(\frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial v_r}{\partial r} \right) - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \vec{v}) \right]; \quad (6)$$

$$\tau_{zz} = -\mu \left[2 \frac{\partial v_z}{\partial z} - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \vec{v}) \right]; \quad (7)$$

$$\tau_{r\theta} = \tau_{\theta r} = -\mu \left[r \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{v_\theta}{r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} \right]; \quad (8)$$

$$\tau_{\theta z} = \tau_{z\theta} = -\mu \left(\frac{\partial v_\theta}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \theta} \right); \quad (9)$$

$$\tau_{rz} = \tau_{zr} = -\mu \left(\frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{\partial v_r}{\partial z} \right); \quad (10)$$

$$\nabla \cdot \vec{v} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r v_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \quad (11)$$

При стационарном течении семени амаранта двигаются по кольцевым траекториям и компоненты скорости v_r и v_z равны нулю. Кроме этого считаем, что течение теплоносителя стационарное и градиенты давления вдоль координаты θ отсутствуют. В этом случае все члены уравнения (4) равны нулю, а (1) - (3) с учетом (5) - (11) принимают вид:

$$-\rho \frac{v_\theta^2}{r} = -\frac{\partial p}{\partial r}; \quad (12)$$

$$0 = \frac{d}{dr} \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r v_\theta) \right]; \quad (13)$$

$$0 = -\frac{\partial p}{\partial z}. \quad (14)$$

Общее решение (13) таково

$$v_\theta = \frac{1}{2} r C_1 + \frac{1}{r} C_2, \quad (15)$$

где $\tilde{N}_1$ и $\tilde{N}_2$ - константы интегрирования, требующие интегрирования, они могут быть найдены из условий: при $r=0$ для сохранения физичности $C_2=0$; при $r=r_i$ (r_o - радиус поперечного сечения) $v_\theta = w_i$ (w_i - скорость тангенциального потока, которая определяется как:

$$w_o = \frac{G_o}{\rho \cdot S},$$

где G - массовый расход тангенциального потока, S - площадь поперечного сечения закручивающего патрубка), тогда скорость будет

$$v_\theta = w_o \left(\frac{r}{r_o} \right). \quad (16)$$

Пусть r_o - входной радиус области I , а r_1 - радиус цилиндрической области (считаем, что входная область аппарата представляет собой правильный усеченный конус), тогда скорость в тангенциальном направлении при входе в цилиндрическую часть II будет:

$$v'_\theta = w_1 \left(\frac{r}{r_1} \right).$$

Значение w_1 найдем из уравнения: сохранения, то есть:

$$w_1 = \frac{r_o w_o}{r_1},$$

тогда:

$$v'_\theta = \frac{w_o r_o r}{r_1^2}, \quad (17)$$

Поэтому среднее значение будет:

$$\overline{v'_\theta} = \frac{1}{r_1} \int_0^{r_1} v'_\theta \partial r = \frac{w_o r_o}{r_1^3} \frac{1}{2} r^2 \Big|_0^{r_1} = \frac{1}{2} w_o \frac{r_o}{r_1}.$$

Осевая составляющая скорости v'_z находится (считая потери на сопротивление потоку несущественными) из формулы:

$$v'_z = \frac{G_n}{\rho \cdot S_1}, \quad (18)$$

где G_n - массовый расход через осевой подающий патрубок; S_1 - площадь поперечного сечения цилиндрической области II .

Из (17) и (18) следует оценка скорости движения сушильного агента в цилиндрической области сушильного аппарата:

$$v = \sqrt{(\overline{v'_\theta})^2 + (v'_z)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{2} \frac{w_o r_o}{r_1} \right)^2 + \left[\frac{G_i}{\pi \rho r_1^2} \right]^2}, \quad (19)$$

по которой можно рассчитать локальные значения коэффициентов тепло- и массоотдачи.

Расчет процесса сушки выполним из следующих соображений. Будем рассматривать этот процесс для семени амаранта, считая его форму близкой к сферической. Затем с учетом суммирования итоговых потоков влаги для всех семян найдем макрокинетические закономерности.

Для этого вначале на основе линейной термодинамики явлений переноса в капиллярно-пористых телах обобщенная система дифференциальных уравнений диффузионно-фильтрационного тепло- влагопереноса записывается в следующем виде [5]:

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = a_m \nabla^2 u + (a_{m1}^T + a_{m2}^T) \nabla^2 t + \frac{k_p}{\rho_o} \nabla^2 p; \quad (20)$$

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{r^* \varepsilon}{c} a_m \nabla^2 u + \left(a_q + \frac{\varepsilon^*}{c} a_m \delta \right) \nabla^2 t +$$

$$+ \varepsilon^* \frac{a_m}{c} \delta_p \nabla^2 p;$$

$$\frac{\partial p}{\partial \tau} = -\frac{\varepsilon a_m}{c_p} \nabla^2 u - \frac{\varepsilon a_m}{c_p} \delta \nabla^2 t +$$

$$+ \left(a_p - \frac{\varepsilon a_m}{c_p} \delta_p \right) \nabla^2 p, \quad (22)$$

где u - влагосодержание, кг/кг; t - температура, К; p - давление влажного воздуха, Па; τ - время, сек.; a_m - коэффициент диффузии

влаги во влажном материале, м²/с; K_p - коэффициент фильтрационного переноса влаги; ρ_o - плотность материала, кг/м³; r^* - удельная теплота испарения жидкости, Дж/кг; c - удельная теплоемкость частиц материала, Дж/(кг·К); $\dot{a}_q$ - коэффициент температуропроводности частиц материала, м²/с; ε - коэффициент, характеризующий отношение потока жидкости и пара при нестационарном влагопереносе, $\varepsilon = \dot{a}_{m1} / a_m$, $\dot{a}_{m1}$ - коэффициент диффузии паробразной влаги во влажном материале, м²/с; $\delta_p = K_p / (a_p \cdot \rho_o)$ - относительный коэффициент фильтрационного потока влаги; $a_p = K_p / (c_p \cdot \rho_o)$ - коэффициент конвективной фильтрационной диффузии, м²/с; $\tilde{n}_p$ - коэффициент емкости влажного воздуха, $\tilde{n}_p \dot{a}^{-1}$; ∇^2 - оператор Лапласа.

Будем считать, что на распределение влагосодержания и температуры внутри частицы давление не оказывает существенного влияния ввиду малоинтенсивности процесса сушки. Поэтому система (20)-(22) упростится до вида:

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = a_m \nabla^2 u + (a_{m1}^T + a_{m2}^T) \nabla^2 t; \quad (23)$$

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{r^* \varepsilon}{c} a_m \nabla^2 u + \left(a_q + \frac{\varepsilon r^*}{c} a_m \delta \right) \nabla^2 t \quad (24)$$

К системе (23), (24) добавляются начальные условия:

$$u|_{\tau=0} = u_0, \quad t|_{\tau=0} = t_0 \quad (25)$$

где u_0, t_0 - начальное влагосодержание и температура частиц материала. Условия симметрии частицы из-за сферической симметрии:

$$\nabla u|_{(\bullet)0} = \nabla t|_{(\bullet)0} = 0 \quad (26)$$

Граничные условия теплообмена на поверхности частицы:

$$-\lambda_q (\nabla t)_n + j_q(\tau) - (1 - \varepsilon) r^* j_m(\tau) = 0, \quad (27)$$

где λ_q - теплопроводность семян амаранта; $j_q(\tau)$ - плотность теплового потока через поверхность семени амаранта за счет конвективного теплообмена с окружающей средой; $j_m(\tau)$ - плотность потока массы влаги через поверхность семени амаранта.

Граничное условие массообмена на поверхности семени амаранта:

$$\lambda_m (\nabla u + \delta \nabla t)|_f + j_m(\tau) = 0, \quad (28)$$

где λ_m - массопроводность семян амаранта.

Уравнения (23)-(28) образуют математическую модель.

В силу интенсивного перемешивания семян амаранта в аппарате будем считать поверхность семени равнодоступной для тепловых и массовых потоков, поэтому можно рассматривать математическую модель в зависимости от одной радиальной координаты. В этом случае в координатном виде система (23), (24) будет выглядеть:

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = a_m \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \quad (29)$$

$$+ (a_{m1}^T + a_{m2}^T) \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial t}{\partial r} \right);$$

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{r^* \varepsilon}{c} a_m \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) + (a_q + \quad (30)$$

$$+ \frac{\varepsilon r^*}{c} a_m \delta) \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial t}{\partial r} \right);$$

где r - текущий радиус частицы дисперсного материала.

Начальные условия примут вид:

$$u(r, 0) = u_0, \quad t(r, 0) = t_0; \quad (31)$$

Условия симметрии будут выглядеть:

$$\frac{\partial u(0, \tau)}{\partial r} = \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial r} = 0. \quad (32)$$

С учетом того, что тепловой и массовый потоки по определению есть соответственно:

$$j_q(\tau) = \alpha_q (t_c - t_n), \quad j_m(\tau) = \alpha_m (u_n - u_c),$$

где α_q - коэффициент теплоотдачи от окружающей среды к поверхности семени амаранта; t_c - температура дисперсной среды; t_n - температура поверхности семени амаранта; α_m - коэффициент теплоотдачи от поверхности семени амаранта к окружающей среде; u_n - влагосодержание поверхности семени амаранта; u_c - влагосодержание окружающей среды; то условие (27) примет вид:

$$-\lambda_q \frac{\partial t(r_o, \tau)}{\partial r} + \alpha_q [t_c - t(r_o, \tau)] - \quad (33)$$

$$- (1 - \varepsilon) r^* \alpha_m [u(r_o, \tau) - u_c] = 0,$$

а условие (28) станет:

$$\lambda_m \left[\frac{\partial u(r_o, \tau)}{\partial r} + \delta \frac{\partial t(r_o, \tau)}{\partial r} \right] + \quad (34)$$

$$+ \alpha_m [u(r_o, \tau) - u_c] = 0.$$

Система уравнений (29)-(34) образует окончательный вид математической модели конвективной сушки сферического семени амаранта.

Запишем систему (29)-(34) в безразмерном виде с помощью относительных переменных:

$$R = \frac{r}{r_o}; Fo = \frac{a_q \tau}{r_o^2}; T(R, Fo) = \frac{[t(r, \tau) - t_o]}{(t_c - t_o)},$$

$$U(R, Fo) = \frac{[u(r, \tau) - u_o]}{(u_c - u_o)},$$

То есть:

$$\frac{\partial U}{\partial Fo} = L_u \left(\frac{\partial^2 U}{\partial R^2} + \frac{2}{R} \frac{\partial U}{\partial R} \right) +$$

$$+ Lu Pn \left(\frac{\partial^2 T}{\partial R^2} + \frac{2}{R} \frac{\partial T}{\partial R} \right); \quad (35)$$

$$\frac{\partial T}{\partial Fo} = \frac{Fe Lu}{Pn} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial R^2} + \frac{2}{R} \frac{\partial U}{\partial R} \right) +$$

$$+ (1 + Fe Lu) \left(\frac{\partial^2 U}{\partial R^2} + \frac{2}{R} \frac{\partial U}{\partial R} \right); \quad (36)$$

$$U(R, 0) = T(R, 0) = 0; \quad (37)$$

$$\frac{\partial U(0, Fo)}{\partial R} = \frac{\partial T(0, Fo)}{\partial R} = 0; \quad (38)$$

$$\frac{\partial U(1, Fo)}{\partial R} + Pn \frac{\partial T(1, Fo)}{\partial R} +$$

$$+ Bi_m [U(1, Fo) - 1] = 0; \quad (39)$$

$$- \frac{\partial T(1, Fo)}{\partial R} + Bi_q [1 - T(1, Fo)] -$$

$$- (1 - \varepsilon) Bi_m Ko Lu [U(1, Fo) - 1] = 0, \quad (40)$$

где $Lu = a_m / a_q$ - критерий Лыкова, характеризующий отношение скоростей переноса массы и тепла диффузией; $Pn = \delta(t_c - t_o) / (u_c - u_o)$ - критерий Поснова, характеризующий отношение термодиффузионного переноса влаги к диффузионному переносу; $Fe = \delta^* \varepsilon / c$ - критерий Федорова, характеризующий отношение теплосодержания переносимой жидкой и парообразной влаги к теплосодержанию высушиваемого материала; $Bi_q = \alpha_q r_o / \lambda_q$ - теплообменное число Био; $Bi_m = \alpha_m r_o / \lambda_m$ - массообменное число Био; $Ko = r^* (u_c - u_o) / (c_p (t_c - t_o))$ - критерий Косовича, характеризующий зависимость между количеством теплоты, затраченным на испарение жидкости и на нагревание влажного тела.

Предлагаемая математическая модель позволяет проводить расчет процесса сушки, а также получать кривые процесса сушки семян амаранта во взвешенно-закрученном слое. Данная модель базируется на фундаментальных уравнениях А. В. Лыкова, описывает тепло- влагоперенос в капиллярнопористых средах в линейном термодинамическом приближении учитывающая конвективный способ подвода теплоты и малые размеры высушиваемого материала.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Антипов С.Т., Прибытков А.В., Черноусов И.М. Проблема сушки зерна амаранта в России // Вестник ВГТА. 2009. № 1. С. 27-30.
- 2 Антипов С.Т., Казарцев Д.А., Бунин Е.С., Черноусов И.М. Новые технические решения в технике сушки дисперсных материалов // Техника машиностроения. 2009. № 1. С. 55-58.
- 3 Антипов С.Т., Журавлев А.В., Бунин Е.С., Черноусов И.М. Исследование и анализ гигроскопических свойств семян амаранта // Вопросы современной науки и практики. 2008. № 4. С. 197-201.
- 4 Антипов С.Т., Журавлев А.В. Тепло- и массообмен при сушке послеспиртовой зерновой барды в аппарате с закрученным потоком теплоносителя. Воронеж: ВГТА, 2006. 252 с.
- 5 Лыков А. В. Теория сушки. М.: Энергия, 1968. 230 с.

REFERENCES

- 1 Antipov S.T., Pribitkov A.V., Chernousov I. M. The problem of drying of grain amaranth in Russia. *Vestnik VGTA*. [Bulletin of Voronezh state technology academy], 2009, no. 1, pp. 27-30. (In Russ.).
- 2 Antipov S. T., Kazartsev D. A., Bunin E. S., Chernousov I. M. New technical solutions in the technique of drying of dispersed materials. *Tekhnika mashinostroeniya*. [Equipment engineering], 2009, no. 1, pp. 55-58. (In Russ.).
- 3 Antipov S. T., Zhuravlev A. V., Bunin E. S., Chernousov I. M. Research and analysis of the hygroscopic properties of amaranth seeds. *Voprosy sovremennoi nauki i praktiki*. [Problems of contemporary science and practice], 2008, no. 4, pp. 197-201. (In Russ.).
- 4 Antipov S. T., Zhuravlev A. V. Teplo- i massoobmen pri sushke poslespirtovoi zernovoi bardy v apparate s zakruchennym potokom teplonositelya [Heat and mass transfer during drying of grain mash bards in the apparatus with twisted coolant flow]. Voronezh: VGTA, 2006. 252 p. (In Russ.).
- 5 Lykov A. V. Teoriya sushki [Theory of drying]. Moscow: Energiya, 1968. 230 p. (In Russ.).