

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ СУШКИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

С.И. Дворецкий¹, В.М. Дмитриев², Г.С. Кормильцин¹,
С.И. Пестрецов¹, А.А. Ермаков¹

Кафедры: «Технологическое оборудование и прогрессивные технологии», (1),
«Процессы и аппараты химической технологии» (2), ТГТУ

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: влагосодержание материала; зерновые культуры; кинетика сушки; кривые десорбции; критерий Био массообменный; поперечно-продуваемый слой; уравнение массопроводности; эффективный коэффициент диффузии.

Аннотация: Проведены эксперименты по исследованию кинетики сушки зерновых культур: пшеницы «Безенчукская 139», ржи «Саратовская 5», ячменя «Дворан» и овса «Горизонт», районированных в Тамбовской области. Выявлены особенности кинетики сушки одиночной частицы указанных сортов зерновых культур. Показано, что данные материалы можно отнести к классу материалов с высоким внутридиффузионным сопротивлением. Для указанных сортов зерновых культур получены зависимости эффективного коэффициента диффузии влаги от влагосодержания материала и температуры сушильного агента. Составлено математическое описание процесса сушки дисперсных материалов с высоким внутридиффузионным сопротивлением в движущемся плотном поперечно-продуваемом кольцевом слое и разработан алгоритм расчета процесса и аппарата сушки.

Обозначения

$A_{рп}$ – коэффициент распределения функции равновесия;	x – влагосодержание сушильного агента, кг/кг;
c – теплоемкость, кДж/(кг·град);	β_c – коэффициент массоотдачи, кг/(м ² ·с);
D_e – эффективный коэффициент диффузии влаги, м ² /с;	$\delta_1, \delta_2, \delta_3$ – погрешность расчета;
G – масса материала, кг;	τ – время, с;
L – расход сушильного агента, кг/с;	$Bi_m = \frac{\beta_c \ell}{D_e \rho_M A_{рп}}$ – критерий Био массо-
ℓ – определяющий размер, м;	обменный.
r, R – текущий и конечный радиус частицы соответственно, мм;	

Индексы

r_n – теплота испарения, кДж/кг;	доп – допустимый;
S – толщина поперечно-продуваемого слоя, мм;	к – конечный;
t – температура сушильного агента, °С;	м – материал;
T, \bar{T} – текущая и среднеобъемная температура материала соответственно, °С;	н – начальный;
u – влагосодержание материала, кг/кг;	р – равновесный;
v – скорость, м/с;	с.а. – сушильный агент;
	экв – эквивалентный;
	ф – фильтрация.

Обеспечение высоких посевных и продовольственных качеств зерна, в особенности семенного и селекционного, требует совершенствования технологических режимов сушки и хранения зерновых культур.

Сушке подвергается как влажное зерно (с начальным влагосодержанием $u > 0,177$ кг/кг), так и зерно, лежащее на хранении и имеющее влагосодержание в пределах $0,16 < u < 0,177$ кг/кг. При этом влагосодержание высушенного зерна должно быть $0,16 \pm 0,005$ кг/кг, что соответствует, согласно классификации зерна по влажности, «зерну сухому» [1, 2].

Сушку зерновых культур проводят, как правило, в аппаратах с плотным продуваемым движущимся (шахтные зерносушилки) и стационарным (установки активного вентилирования) слоями [1-4]. При этом в зависимости от назначения зерна (семенное, продовольственное или фуражное) возможны различные режимы осуществления процесса сушки. Согласно рекомендациям [1-3] при обработке семенного зерна с влагосодержанием не более 0,2 кг/кг в шахтных зерносушилках максимально допустимая температура нагрева семян должна составлять не более 45°C. В установках активного вентилирования используются более «мягкие» режимы сушки.

Активное вентилирование применяют чаще всего для консервации зерновых культур, лежащих на хранении в емкостях, бункерах и насыпью. В имеющейся литературе [1-5] данные по коэффициентам диффузии влаги в зерне противоречивы в отношении их порядка. Так, например, приведенные в работе [5] значения коэффициентов диффузии влаги в зерне D_e для диапазона влагосодержания зерна $0,013 < u < 0,793$ кг/кг различаются на один – три порядка: $10^{-9} \div 10^{-12}$ м²/с. Кроме того, неизвестно, для какого сорта и почвенно-климатических условий произрастания, а также при каких температурных режимах сушки зерновых культур эти данные получены.

С целью определения зависимости коэффициентов диффузии D_e от влагосодержания зерна и температуры нами проведены исследования кинетики процесса сушки ряда зерновых культур, районированных в Тамбовской области. В качестве объектов сушки нами рассматривались: пшеница «Безенчукская 139», рожь «Саратовская 5», ячмень «Дворан», овес «Горизонт». Начальное влагосодержание зерна принималось равным 0,177 кг/кг, что соответствует зерну «средней сухости», лежащему на хранении.

Кинетика сушки указанных зерновых культур вначале изучалась на одиночной частице. Диапазон изменения температуры сушильного агента при проведении экспериментов выбирался в пределах 22÷65°C из следующих соображений:

1) нижнее значение температуры соответствует условиям обработки семян зерновых культур в режиме активного вентилирования, когда в качестве сушильного агента применяется воздух с относительной влажностью 65%;

2) верхнее значение температуры соответствует рекомендуемой температуре сушки при обработке зерновых культур с влагосодержанием до 0,22 кг/кг.

На рис. 1 приведены кривые сушки исследуемых зерновых культур для различных температур сушильного агента. Кривые сушки построены по результатам осреднения 5 опытов, проведенных в одинаковых условиях. Как показали опыты, варьирование скорости сушильного агента незначительно влияет на скорость сушки, что свидетельствует о чисто внутридиффузионном кинетическом режиме этого процесса.

Из анализа кривых сушки можно сделать вывод о различной продолжительности сушки исследуемых зерновых культур. Это обусловлено как размером семян, их различными физико-химическим составом, связью влаги с белками и крахмалом, так и массопроводными свойствами зерновых культур. Так, например, семена овса «Горизонт» высушиваются быстрее семян других зерновых культур, благодаря более низкому содержанию крахмала, который связывает влагу сильнее, чем белки.

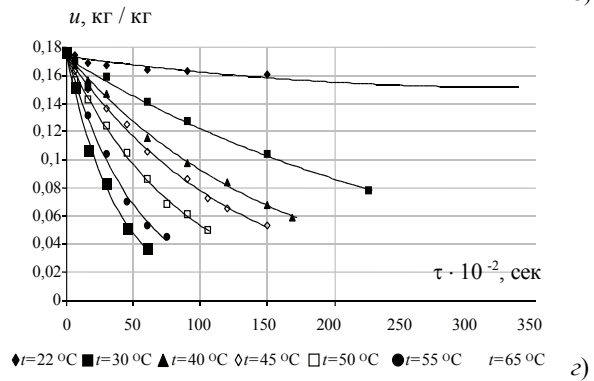
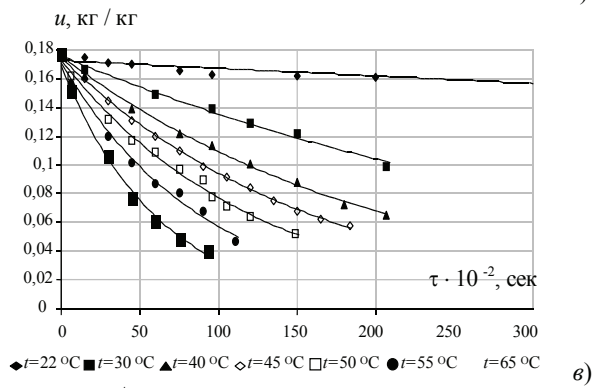
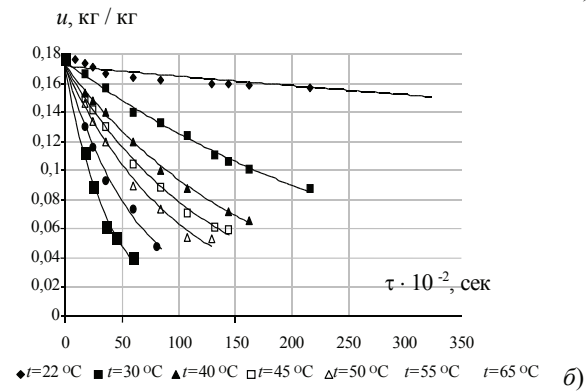
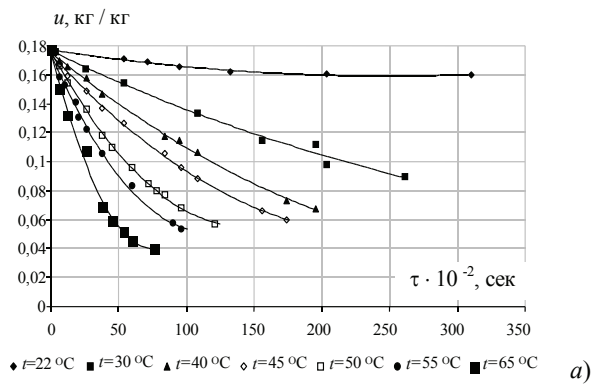


Рис. 1 Кривые сушки семян зерновых культур при различной температуре сушильного агента: а – пшеница «Безенчукская 139»; б – рожь «Саратовская 5»; в – ячмень «Дворан»; г – овес «Горизонт»

Зависимости эффективного коэффициента диффузии влаги от влагосодержания материала $D_e = f(u)$ для исследуемых зерновых культур получены нами из кривых кинетики сушки (рис. 1) по методике [6].

На рис. 2 показаны кривые нагрева семян пшеницы «Безенчукская 139», откуда следует, что время прогрева семян исследованных сортов зерновых культур до условий, близких к изотермическим ($\bar{T} \geq 0,95t$ при $t = 65^\circ\text{C}$) составляет не более 95 с. Это свидетельствует о сравнительно быстром прогреве зерна.

Кривые десорбции для пшеницы «Безенчукская 139» (рис. 3), построенные в координатах $\frac{\bar{u}' - \bar{u}}{\bar{u}'} - \sqrt{\tau}$, где \bar{u}' – среднееобъемное влагосодержание, соответствующее наступлению условий сушки, близких к изотермическим, имеют следующие особенности: а) количество удаляемой влаги в начальный период времени линейно зависит от $\sqrt{\tau}$, линейная зависимость сохраняется в пределах 50÷70% от всего интервала, а при $t = 22\div30^\circ\text{C}$ на всем интервале изменения влагосодержания материала; б) на криволинейных участках кинетики десорбции нет точек перегиба. Характер зависимости $\frac{\bar{u}' - \bar{u}}{\bar{u}'} - \sqrt{\tau}$ для остальных зерновых культур аналогичен.

Процессы десорбции, кривые кинетики которых имеют описанный выше вид, подчиняются закону Фика, что позволяет использовать уравнение массопроводности для описания кинетики процесса сушки исследуемых зерновых культур.

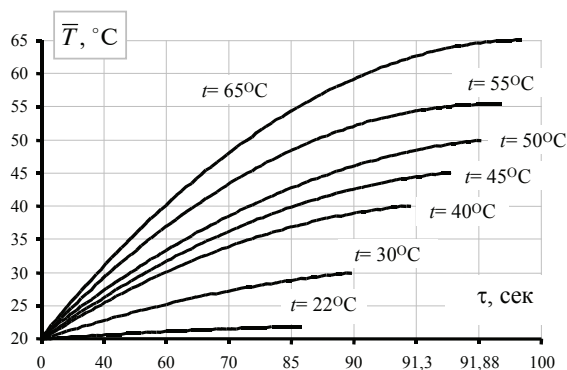


Рис. 2 Кривые нагрева семян пшеницы «Безенчукская 139»

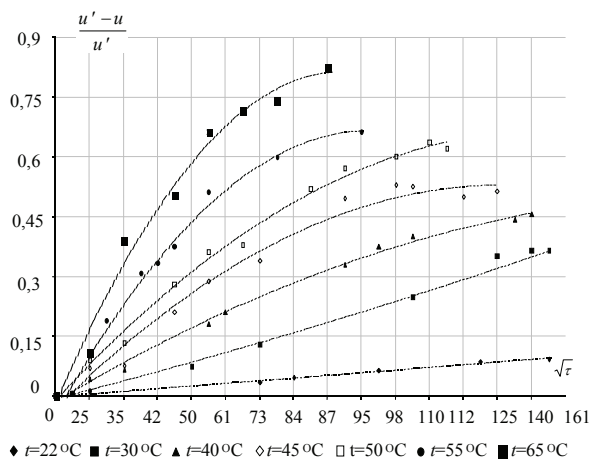


Рис. 3 Зависимость $(\bar{u}' - \bar{u}) / \bar{u}' - \sqrt{\tau}$ для пшеницы «Безенчукская 139»

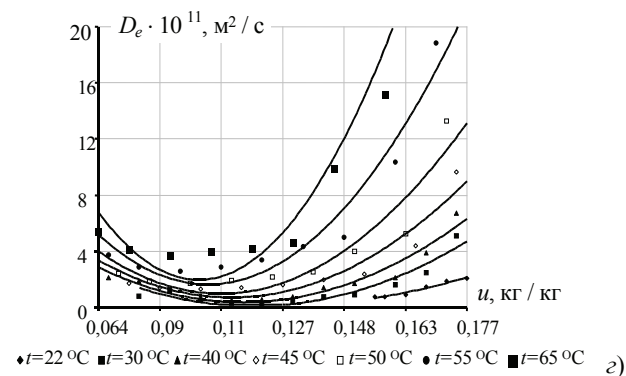
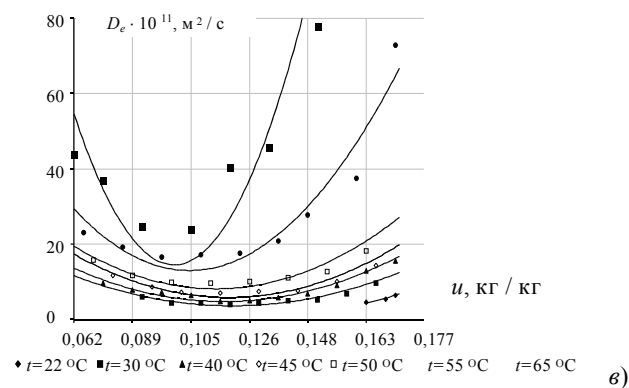
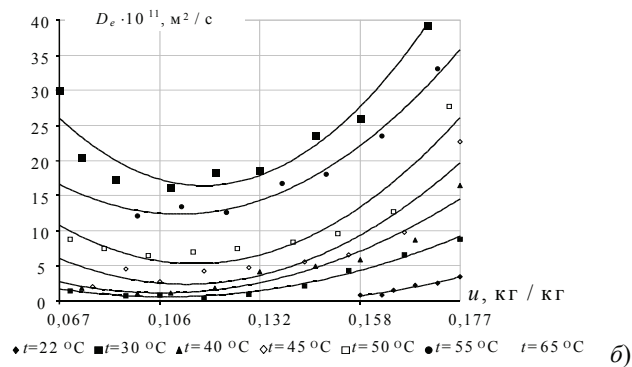
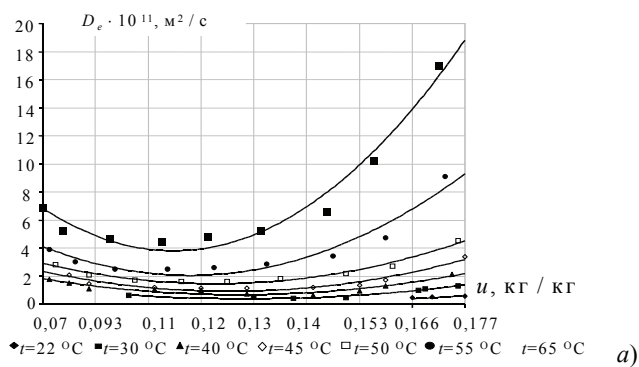


Рис. 4 Зависимости $D_e = f(u)_t$ для исследуемых зерновых культур:

а – пшеница «Безенчукская 139»; б – рожь «Саратовская 5»; в – ячмень «Дворан»;
 з – овес «Горизонт»

В таких системах коэффициент диффузии зависит только от влагосодержания материала (при постоянной температуре процесса), что характерно для материалов с малым содержанием влаги и незначительной их усадкой в процессе сушки.

Зависимости $D_e = f(u)_t$ приведены на рис. 4 (экспериментальные данные обозначены точками).

Как видно из рис.4 эффективные коэффициенты диффузии для всех исследованных зерновых культур возрастают с увеличением влагосодержания и существенно зависят от температуры сушильного агента. Характер зависимостей $D_e = f(u)_t$ для зерновых культур свидетельствует об их коллоидном капиллярно - пористом строении и переносе влаги как по капиллярному механизму ($u > u_{\text{син}}$ –убывающий характер зависимостей $D_e = f(u)_t$), так и диффузионному ($u < u_{\text{син}}$ –возрастающий характер зависимостей $D_e = f(u)_t$). Низкие значения коэффициентов D_e (10^{-11} м²/с) характерны для малых влагосодержаний исследуемых зерновых культур, причем их сушка в данной области влагосодержаний происходит без значительной усадки.

Зависимости $D_e = f(u)_t$ для исследованных зерновых культур удовлетворительно описываются выражениями вида (коэффициенты в формулах учитывают размерность u и t):

а) пшеница «Безенчукская 139» (при $t = 22 \div 65$ °C; $u = 0,04 \div 0,177$ кг/кг)

$$D_e = 10^{-11} ((6 \cdot 10^{-6} t^2 - 3 \cdot 10^{-4} t + 0,0054)u^2 - (2 \cdot 10^{-4} t^2 - 0,012t + 0,2203)u + (0,0041t^2 - 0,2234t + 4,1108)); \quad (1)$$

б) рожь «Саратовская 5» (при $t = 22 \div 65$ °C; $u = 0,0408 \div 0,177$ кг/кг)

$$D_e = 10^{-11} ((2 \cdot 10^{-5} t^2 - 5 \cdot 10^{-4} t + 0,0118)u^2 - (8 \cdot 10^{-4} t^2 - 0,0399t + 15,669)u + (0,0191t^2 - 1,0457t + 15,669)); \quad (2)$$

в) ячмень «Дворан» (при $t = 22 \div 65$ °C; $u = 0,04 \div 0,177$ кг/кг)

$$D_e = 10^{-11} ((4 \cdot 10^{-4} t^2 - 0,025t + 0,4313)u^2 - (0,0088t^2 - 0,6255t + 11,605) \cdot u + (0,0635t^2 - 0,601t + 2,0877)); \quad (3)$$

г) овес «Горизонт» (при $t = 22 \div 65$ °C; $u = 0,037 \div 0,177$ кг/кг)

$$D_e = 10^{-11} ((3 \cdot 10^{-5} t^2 - 0,0014t + 0,235)u^2 - (4 \cdot 10^{-4} t^2 - 0,019t + 0,4255)u + (0,0023t^2 - 0,601t + 2,0877)). \quad (4)$$

Для проверки условия снятия внешнедиффузионного сопротивления ($Bi_m \rightarrow \infty$) на основании полученных данных по эффективным коэффициентам диффузии были рассчитаны значения чисел Bi_m для соответствующих температур сушильного агента. Коэффициенты массоотдачи β_c определялись из соответствующего критериального уравнения А.В. Нестеренко [7]. Значения чисел Bi_m в указанных интервалах температур находятся в пределах $(20 \div 250) \cdot 10^6$. Эти данные свидетельствуют о том, что в опытах по определению диффузионных свойств исследуемых дисперсных материалов рассматривалась чисто внутренняя задача массопереноса.

На основе уравнения массопроводности и полученных зависимостей (1)–(4) нами проведены расчеты кинетики сушки одиночной частицы (рис. 5) и распределения влагосодержания по радиусу частицы при сушке семян указанных зерновых культур при различной температуре сушильного агента (рис. 6). При этом принималось, что на поверхности частицы устанавливается равновесное влагосодержание, соответствующее температуре и влагосодержанию сушильного агента [6].

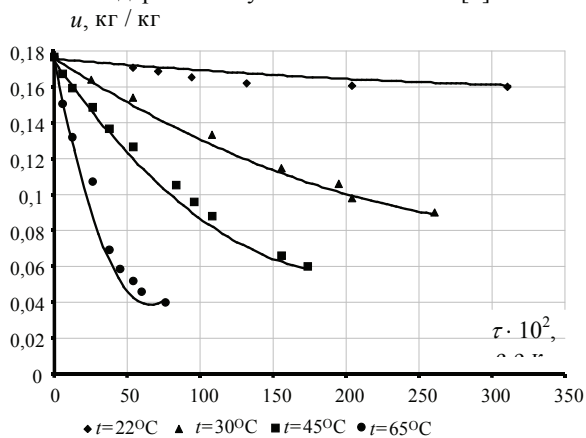
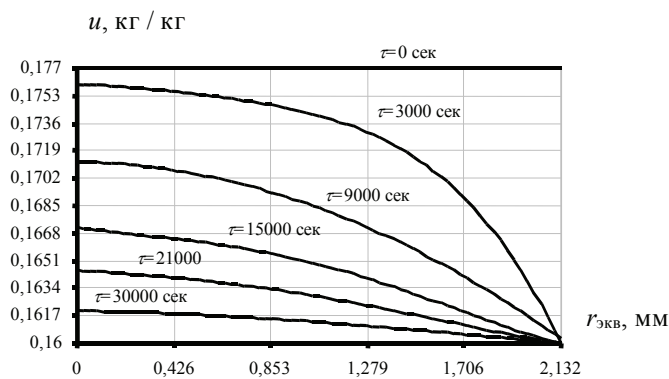
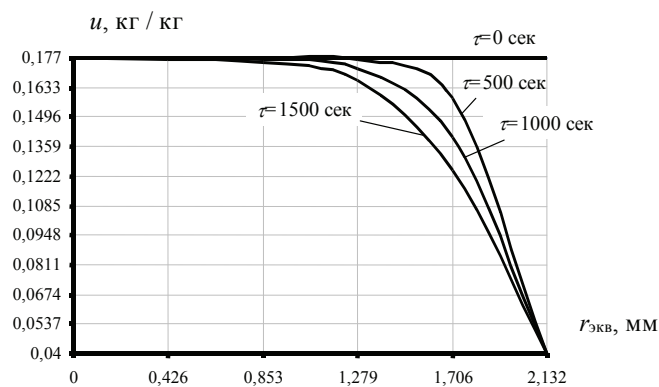


Рис. 5 Расчетные кривые сушки семян пшеницы «Безенчукская 139» (точки – экспериментальные данные (см. рис. 1))



a)



б)

Рис. 6 Распределение влагосодержания по радиусу частицы при сушке семян пшеницы «Безенчукская 139» при различной температуре сушильного агента:
 $a - t = 22 \text{ }^\circ\text{C}, x = 0,01 \text{ кг/кг}; \text{ } \vartheta - t = 65 \text{ }^\circ\text{C}, x = 0,01 \text{ кг/кг}$

Максимальная относительная погрешность расчета кинетики сушки одиночной частицы исследуемых зерновых культур не превышает 10%, что свидетельствует об удовлетворительном описании кинетики сушки указанных зерновых культур с помощью уравнения массопроводности.

Согласно рекомендациям [1-3] при сушке семенного зерна с влажностью до 0,2 кг/кг используется сушильный агент с температурой 65÷70 °С. Как показали проведенные нами экспериментальные исследования и расчеты, при использовании сушильного агента с такой температурой на поверхности частицы очень быстро устанавливается равновесное влагосодержание 0,04 кг/кг (рис. 6, б), что является причиной пересушки материала (закал зерна) и снижения посевных качеств зерна. При использовании сушильного агента с низкой температурой, соответствующей режиму активного вентилирования, например, $t = 22$ °С, на поверхности зерна устанавливается равновесное влагосодержание 0,16 кг/кг, равное влагосодержанию «сухого» зерна, а в центре зерна 0,1617 кг/кг (рис. 6, а). При таком режиме сушки не происходит закала поверхности слоев зерна и, как следствие, вздутия зерна, вызванного задержкой паров испаряющейся влаги. Поверхностные и внутренние слои зерна имеют влагосодержание, близкое к кондиционному. Исходя из этих предпосылок, окончательный выбор температурного режима сушки исследуемых зерновых культур в промышленном аппарате будет осуществляться нами при решении задачи оптимизации конструктивных и режимных параметров сушильной установки.

Таким образом, полученные зависимости $D_e = f(u)_t$ возможно использовать как для анализа диффузионных свойств зерновых культур, так и для расчета сушильного аппарата и анализа различных режимов сушки исследуемых зерновых культур.

Для возможности проведения расчетов сушильного аппарата и анализа различных режимов сушки зерновых культур нами составлено математическое описание процесса и аппарата сушки. За базовый аппарат принята сушилка с движущимся плотным поперечно-продуваемым кольцевым слоем (рис. 7).

Схема движения фаз в кольцевой камере сушильного аппарата может быть представлена следующим образом. Влажный материал подается в кольцевую камеру сушилки, заполняя все пространство зон предварительного нагрева и сушки. Сушильный агент по центральной распределительной трубе поступает в зону сушки, где поперечно продувается через кольцевой слой движущегося материала. После чего отработанный сушильный агент выбрасывается в атмосферу. Высушенный материал непрерывно выгружается из аппарата.

При моделировании процесса сушки в движущемся слое принята следующая расчетная схема: 1) аналогом непрерывного процесса сушки в движущемся слое может быть периодический процесс сушки в неподвижном слое; 2) неподвижный слой разбивается на конечное число элементарных слоев (размер которых подбирается экспериментально); 3) частицы высушиваемого мате-

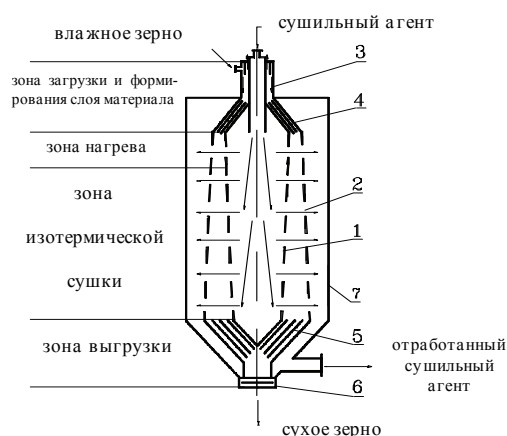


Рис. 7 Сушилка с движущимся плотным поперечно-продуваемым кольцевым слоем:

- 1 – внутренняя перфорированная стенка;
- 2 – наружная перфорированная стенка;
- 3 – верхняя конусная часть;
- 4, 5 – распределительные конуса;
- 6 – выгрузное устройство;
- 7 – корпус

риала в первом приближении имеют цилиндрическую форму с эквивалентным радиусом $R_{\text{эКВ}}$; 4) режим фильтрации сушильного агента через неподвижный слой близок к режиму идеального вытеснения.

С учетом принятой схемы модель кинетики сушки дисперсных материалов с высоким внутридиффузионным сопротивлением для i -го элементарного слоя имеет вид:

$$G_i \left(\bar{u}_i^{j-1} - \bar{u}_i^j \right) = L (x_{i-1} - x_i) \tau_j \text{ и } \bar{u}_i = \overline{\text{иТ}}; j = \overline{\text{иТ}}; \quad (5)$$

$$Lc_{\text{с.а}} (t_{i-1} - t_i) \tau_j = G_i r \left(\bar{u}_i^{j-1} - \bar{u}_i^j \right); \quad (6)$$

$$\tau_j = S / v_{\text{с.а}}; \quad (7)$$

$$u_{ij} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} [r D_e (u_i \text{ и } \Gamma) u_{ir}], \quad 0 \leq r \leq R_{\text{эКВ}} \text{ и } \tau > 0; \quad (8)$$

$$u_i (r \text{ и } 0) = u_{\text{и}}; \quad (9)$$

$$u_{ir} (0 \text{ и } \tau) = 0;$$

$$u_i (R_{\text{эКВ}} \text{ и } \tau) = u_{\text{р}};$$

$$\bar{u}_i^j = \frac{2}{R_{\text{э}}^3} \int_0^{R_{\text{эКВ}}} r u_i (r, \tau_j) dr, \quad (10)$$

где G_i – количество материала в i -м слое, кг; \bar{u}_i^{j-1} и \bar{u}_i^j – средние значения влагосодержания материала в моменты времени τ_{j-1} и τ_j соответственно, кг/кг; x_i^{j-1} и x_i^j – влагосодержание сушильного агента материала в моменты времени τ_{j-1} и τ_j соответственно, кг/кг.

Габариты сушильного аппарата с движущимся плотным поперечно-продуваемым кольцевым слоем (рис. 7) рассчитываются по уравнениям:

- внутренний диаметр аппарата

$$D_{\text{вн}} = \sqrt{(4L) / \pi v_{\text{ф}} \rho_{\text{сэа}}}; \quad (11)$$

- наружный диаметр аппарата

$$D_{\text{а}} = D_{\text{вн}} + 2S, \quad (12)$$

где S определяется из решения задачи оптимизации процесса и аппарата сушки;

- высота аппарата

$$H_{\text{а}} = v_{\text{м}} \tau_{\text{суш}}. \quad (13)$$

Гидравлическое сопротивление аппарата

$$\Delta P_{\text{а}} = \tau \Delta P_{\text{ст}} + \Delta P_{\text{сл}}, \quad (14)$$

где сопротивление перфорированных стенок $\Delta P_{\text{ст}}$, Па:

$$\Delta P_{\text{ст}} = \frac{0,050 \nu_0^{\text{Т}} \rho_{\text{сэа}} (1 - \phi^{\text{Т}})}{C_{\text{с}}^{\text{Т}}}; \quad (15)$$

- сопротивление слоя дисперсного материала $\Delta P_{\text{сл}}$, Па:

$$\Delta P_{\text{сл}} = 9,81 A S v_{\text{ф}}^n. \quad (16)$$

Мощность, затрачиваемая на продувку слоя материала [8], кВт

$$N_B = \frac{V_L \Delta P_a}{1000} . \quad (17)$$

Для электрокалорифера определяются:

- расход тепла на нагрев сушильного агента, кДж

$$Q = Lc_{св} (t_H - t_K) ; \quad (18)$$

- гидравлическое сопротивление калорифера, Па

$$\Delta P_K = f (v_{св}) \quad (19)$$

ввиду незначительности сопротивления калорифера данной величиной можно пренебречь;

- мощность электрокалорифера, кВт

$$N_a = \frac{Q_K}{\eta} , \quad (20)$$

где η – КПД электрокалорифера.

В выражениях (15)–(17): ϕ – доля живого сечения (степень перфорации) стенки; $v_0 = v_\phi / \phi$ – скорость потока в отверстиях стенки, м/с; C_c – коэффициент сопротивления стенки, зависящий от соотношения диаметра отверстий перфорации к толщине стенки; A и n – эмпирические коэффициенты; V_L – объемный расход сушильного агента, м³/с.

Алгоритм решения уравнений (5)–(10) включает следующие шаги.

Шаг 1. Рассчитывается шаг τ_i по формуле (7) (на первом шаге $j = 1$), задается номер i слоя (для первого слоя $i = 1$) и значения $t_i^{(v)} = t_{i-1}$; $x_i^{(v)} = x_{i-1}$ (для первой итерации $v = 1$). Определяется значение $u_p(t_i^{(v)}, x_i^{(v)})$ и решается нелинейная краевая задача диффузии (8), (9) конечно-разностным методом с использованием разностной схемы неявного типа и четырехточечного шаблона [9,10]. Рассчитывается \bar{u}_i^j по формуле (10).

Шаг 2. Из уравнений (5), (6) определяются значения t_i и x_i и осуществляется проверка выполнения условий сходимости итераций:

$$\left| (x_i - x_i^{(v)}) / x_i^{(v)} \right| \leq \delta_1 \text{ и } \left| (t_i - t_i^{(v)}) / t_i^{(v)} \right| \leq \delta_T .$$

Если условия не выполняются, то производится уточнение задаваемых значений температуры и влагосодержания в i -м слое

$$t_i^{(v+1)} = (t_i + t_i^{(v)}) / 2 ; x_i^{(v+1)} = (x_i + x_i^{(v)}) / 2$$

и осуществляется переход к шагу 1, в противном случае – к шагу 3.

Шаг 3. Принимается $t_i^{(v)} = t_i$ и $x_i^{(v)} = x_i$; $i_{v+1} = 1$, номер слоя $\langle i \rangle := i + 1$ и проверяем условие $i > n$. Если условие не выполняется, то следует переход к шагу 1, в противном случае – на следующий шаг.

Шаг 4. Проверяется условие

$$\bar{u}_N - \bar{u}_{зад} / \Delta u_{зад} \leq \delta_y ,$$

если условие не выполняется, то задается новый шаг по времени $\langle j \rangle := j + 1$ и следует переход к шагу 1. В противном случае расчет закончен.

Затем по формулам (11)-(20) производится расчет габаритов сушильного аппарата с движущимся плотным поперечно-продуваемым кольцевым слоем, гидравлического сопротивления сушильного аппарата, мощности, затрачиваемой на продувку слоя материала в сушильной камере и мощности электрокалорифера.

В последующих статьях будут изложены результаты исследования процесса сушки зерновых культур в движущемся плотном поперечно-продуваемом кольцевом слое методом математического моделирования с использованием составленного математического описания и разработанного алгоритма расчета.

Список литературы

1. Гинзбург А. С. Технология сушки пищевых продуктов. - М.: Пищевая промышленность, 1976. - 248 с.
2. Саун В. А. Сушка и активное вентилирование зерна и зеленых кормов. - М.: Колос, 1974. - 216 с.
3. Мальтри В. Сушильные установки сельскохозяйственного назначения. - М.: Машиностроение, 1979. - 526 с.
4. Обработка и хранение зерна / Пер. с нем. А. М. Мазурицкого. - М.: Агропромиздат, 1985. - 320 с.
5. Гинзбург А. С., Савина И. М. Массовообменные характеристики пищевых продуктов. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. - 280 с.
6. Рудобашта С. П. Массоперенос в системах с твердой фазой. - М.: Химия, 1979. - 282 с.
7. Лыков А. В. Теория сушки. - Минск.: Энергия, 1968. - 471 с.
8. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. - Л.: Химия, 1987. - 576 с.
9. Самарский А. А. Введение в теорию разностных схем. - М.: Наука, 1971. - 555 с.
10. Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики. - М.: Наука, 1972. - 736 с.

Research of Grains Drying Kinetics

S.I. Dvoretzky¹, V.M. Dmitriev², G.S. Kormiltsyn¹, S.I. Pestretsov¹, A.A. Ermakov¹

*Departments: "Technology Equipment and Advanced Technologies" (1);
"Chemical Engineering" (2), TSTU*

Key words and phrases: moisture content; grains; drying kinetics; desorption; mass transfer Bio Number; dihedral blowing layer; equation of mass conductivity; effective diffusivity.

Abstract: Experiments on research of drying kinetics of grains: wheat "Bezenchukskaya 139", rye "Saratovskaya 5", barley "Dvoran" and oats "Horizont", aerated in Tambov region are carried out. Peculiarities of drying kinetics of a single particle of the given sorts of grains are discovered. It is shown that given materials can be referred to the class of materials with high intradiffusional resistance. Dependence of diffusion moisture coefficient from moisture content of material and temperature of drying agent for the given sorts of grains are obtained. Mathematical description of drying process of particular

materials with high intradiffusional resistance in moving dense dihedral blowing ring layer is composed and algorithm for calculating the process and drying device is developed.

Untersuchung der Kinetik der Trocknung von Kornkulturen

Zusammenfassung: Es sind die Untersuchungsexperimente der Kinetik der Trocknung von Kornkulturen: des Weizens "Besentschukskaja 139", des Roggens "Saratowskaja 5", der Gerste "Dworan" und des Hafers "Gorizont", die im Tambower Gebiet eingeteilt sind, durchgeführt. Es sind die Besonderheiten der Kinetik der Trocknung von Einzelteilchen der genannten Sorten von Kornkulturen aufgedeckt. Es ist gezeigt, daß diese Materialien zur Klasse der Materialien mit hohem innendiffusionischem Widerstand zählen kann. Für die genannten Sorten von Kornkulturen sind die Abhängigkeiten der effektiven Koeffizienten der Diffusion der Feuchtigkeit von Feuchtigkeitsinhalt und Temperatur des Trocknungsagents bekommen. Es ist die mathematische Beschreibung des Prozesses der Trocknung der Dispersionsmaterialien mit hohem innendiffusionischem Widerstand in der bewegenden dichten querdurchluftenden Ringschichte zusammengestellt und das Algorithmus der Berechnung des Prozesses und des Trocknungsapparats ausgearbeitet.

Etude de la cinétique du séchage des céréales

Résumé: On a effectué les expériences sur l'étude de la cinétique du séchage des céréales: froment "Bezentschoukovskaja 139", seigle "Saratovskaja 5", orge "Dvorant" et avoine "Horizon" qui sont cultivés dans la région de Tambov. On a montré les particularités de la cinétique du séchage d'une particule des espèces indiquées des céréales. On a montré que ces matériaux peuvent être rapportés à la classe des matériaux de la haute résistance de la diffusion intérieure. On a reçu les dépendances du coefficient efficace de la diffusion de l'humidité du contenu de l'humidité dans le matériel et de la température de l'agent du séchage pour les espèces indiquées des céréales. On a fait la description mathématique du processus du séchage des matériaux de dispersion avec la haute résistance intérieure dans le mouvement de la couche dense soufflée transversalement et l'on a élaboré l'algorithme du calcul du processus et de l'appareil du séchage.
