



МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В ЕМКОСТНЫХ АППАРАТАХ С РУБАШКОЙ

С. В. ШИХАЛЁВ,

кандидат технических наук, старший преподаватель,
Уральский экономический университет,

В. С. ЗВЕРЕВ,

аспирант,

С. А. ЕРМАКОВ,

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой процессов и аппаратов химической технологии, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,

Л. А. МИНУХИН,

доктор технических наук,

профессор, заведующий кафедрой пищевой агроинженерии,
Уральская государственная сельскохозяйственная академия

620144, г. Екатеринбург,
ул. 8 Марта, д. 62

г. Екатеринбург, пр. Ленина, д. 51;
тел. 8 (343) 261-66-92

620075, г. Екатеринбург,
ул. К. Либкнехта, д. 42

Положительная рецензия представлена Ю. С. Рыбаковым, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой пищевой инженерии Уральского государственного экономического университета.

В большинстве емкостных аппаратов с рубашкой, широко применяемых на предприятиях агропромышленного комплекса, в частности в химических, пищевых, фармацевтических производствах, общественном питании, разогрев или охлаждение жидких продуктов осуществляется путем передачи к нему тепла от греющего водяного пара через стенку варочной емкости, т. е. с помощью процесса нестационарной теплопроводности [1]. Особенностью процесса нестационарной теплопроводности в данном случае является изменение во времени энтальпии твердого тела, характеризующееся изменением во времени температуры стенки технологической емкости аппарата.

Для условий работы технологических аппаратов с рубашкой основой расчета переноса количества теплоты при нестационарной теплопроводности через стенки рабочей камеры является решение дифференциального уравнения теплопроводности, или уравнения Фурье, в случае отсутствия внутренних источников:

$$\frac{dt}{d\tau} = a \cdot \nabla^2 t, \quad (1)$$

где t — температурное поле в стенке технологической емкости, τ — время, a — коэффициент теплопроводности, ∇^2 — оператор Лапласа.

В литературе приведено достаточно большое количество и методов решений уравнения [1] для простых тел различной конфигурации (пластина, шар, цилиндр) и произвольных форм. Так, авторами работы [2] получено распределение температурного поля емкостного аппарата, но для условий, когда однофазный теплоноситель в рубашке аппарата движется в режиме идеального вытеснения.

Однако стенки рабочих камер емкостных аппаратов с рубашкой зачастую представляют собой тела сложной конфигурации. Как правило, это технологические емкости, являющиеся комбинацией цилиндрической и полусферической обечеек [2], обогреваемые греющим паром с примесью неконденсирующихся газов [3]. Как показали проведенные исследования [4], температура парогазовой смеси меняется

в течение всего периода разогрева продукта в аппарате с рубашкой.

Возникающие сложности расчета переноса количества теплоты через стенки технологических камер емкостных аппаратов явились предпосылкой для разработки модели процесса нестационарной теплопроводности, позволяющей получить аналитическое выражение для определения температурного поля стенки емкостного аппарата с рубашкой.

Моделирование процесса нестационарной теплопроводности проводилось на примере емкости с цилиндрической стенкой и полусферическим дном, целостность конструкции которой учитывалась с помощью граничных условий сопряжения (рис. 1).

В нашей работе использовались следующие условные обозначения: t_p, t_z, t_g — соответственно температурное поле цилиндрической, полусферической стенки, окружающего воздуха; $t_{ж}, t_{см}$ — средние объемная температура соответственно содержимого емкости и парогазовой смеси; λ — коэффициент теплопроводности материала стенки технологической емкости.

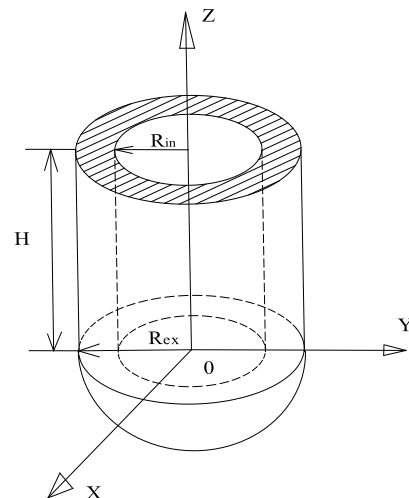


Рисунок 1
Модель технологической емкости:
 R_{in}, R_{ex} — соответственно внутренний и наружный радиус цилиндрической (сферической) стенки;
 H — высота цилиндрической части



Решение уравнения нестационарной теплопроводности [1] проводили отдельно для цилиндрической и полусферической обечайки с учетом их сопряжения. Нестационарное температурное поле цилиндрической стенки емкости, то есть для зоны $0 < z < H$, описывалось дифференциальным уравнением теплопроводности в цилиндрических координатах:

$$\frac{\partial t_1}{\partial \tau} = a \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial t_1}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 t_1}{\partial z^2} \right] \quad (2)$$

Данное уравнение учитывало возможную неравномерность температурного поля по высоте и толщине цилиндрической стенки аппарата.

Распределение температуры для цилиндрической и полусферической стенки в начальный момент времени предполагалось известным, постоянным и равным t_0 : $t_1(0, r, z) = t_0$ (3)

С учетом того, что теплообмен между поверхностью стенок емкости аппарата и теплоносителями протекал согласно закону Ньютона-Рихмана, граничные условия записывались в следующем виде:

$$\begin{aligned} \lambda \frac{\partial t_1(\tau, R_{in}, z)}{\partial r} &= \alpha_{ж,1} [t_1(\tau, R_{in}, z) - \bar{t}_{ж}] \\ -\lambda \frac{\partial t_1(\tau, R_{ex}, z)}{\partial r} &= \alpha_{см,1} [t_1(\tau, R_{ex}, z) - \bar{t}_{см}] \\ -\lambda \frac{\partial t_1(\tau, r, H)}{\partial z} &= \alpha_6 [t_1(\tau, r, H) - t_6] \end{aligned} \quad (4)$$

где $\alpha_{ж,1}$, $\alpha_{см,1}$ — коэффициенты теплоотдачи соответственно от внутренней цилиндрической стенки к жидкому продукту и от парогазовой смеси к наружной цилиндрической стенке; α_6 — коэффициент теплоотдачи от торцевой поверхности стенки емкости к окружающему воздуху.

Нестационарное температурное поле полусферической стенки емкости, то есть для зоны $R_{ex} < z < 0$, описывается схожим образом, с учетом сферической геометрии:

$$\frac{\partial t_2}{\partial \tau} = a \left[\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial t_2}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial t_2}{\partial \theta} \right) \right] \quad (5)$$

Как уже упоминалось, температура в начальный момент времени известна, постоянна и равна t_0 :

$$t_2(0, r, \theta) = t_0 \quad (6)$$

Граничные условия при условии теплообмена между поверхностью полусферической стенки и теплоносителями:

$$\begin{aligned} \lambda \frac{\partial t_2(\tau, R_{in}, \theta)}{\partial r} &= \alpha_{ж,2} [t_2(\tau, R_{in}, \theta) - \bar{t}_{ж}] \\ -\lambda \frac{\partial t_2(\tau, R_{ex}, \theta)}{\partial r} &= \alpha_{см,2} [t_2(\tau, R_{ex}, \theta) - \bar{t}_{см}] \end{aligned} \quad (7)$$

где $\alpha_{ж,2}$, $\alpha_{см,2}$ — коэффициенты теплоотдачи соответственно от внутренней полусферической стенки к жидкому продукту и от парогазовой смеси к наружной полусферической стенке, определяемые по работам соответственно [1, 3].

Цилиндрическая и полусферическая стенка емкости являются частями цельной конструкции, поэтому температуры на поверхностях контакта должны быть одинаковыми, что позволяет составить граничные условия сопряжения в виде:

$$t_1(\tau, r, z=0) = t_2(\tau, r, \theta = \pi/2) \quad (8)$$

Для решения задачи (2)–(8) использовали безразмерные координаты и величины. При этом были введены следующие обозначения: безразмерное время

$$\text{(критерий Фурье)} \quad Fo = \frac{a \cdot \tau}{R_{ex}^2};$$

$$\text{критерий Био} \quad Bi_i = \frac{\alpha_i \cdot R_{ex}}{\lambda}, (i = 1, 2);$$

безразмерные координаты системы

$$\rho = \frac{r}{R_{ex}}, \eta = \frac{z}{R_{ex}}, R = \frac{R_{in}}{R_{ex}}, \eta_f = \frac{H}{R_{ex}}.$$

Ввиду громоздкости выкладок, в данной работе процесс получения решения описывался на идейном уровне. Для нахождения температуры стенки на цилиндрической и полусферической частях в обоих случаях неизвестная функция представлялась в виде суммы двух функций $t_i = v_i + u_i$. Первая являлась решением квазистационарной задачи теплопроводности с соответствующими условиями, а вторая — задача (2)–(8), но уже с однородными граничными условиями. Этот прием позволил для нахождения функции η использовать стандартный метод разделения переменных (метод Фурье) [5]. Отдельно стоит отметить, что к задаче (2)–(4), (8) предварительно было применено интегральное преобразование с конечными пределами по переменной η [6].

В связи с этим выражение для температурного поля полусферической части технологической емкости аппарата имело следующий вид:

$$\begin{aligned} t_2(Fo, \rho, \theta) &= \frac{Bi_2(t_{ж} - t_{см})}{Bi_2 \cdot (Bi_1 \cdot R + 1) + Bi_1 \cdot R^2 \cdot (1 - Bi_2)} \left(Bi_1 \cdot R^2 \cdot \frac{1}{\rho} - 1 - Bi_1 \cdot R \right) + t_{ж} + \\ &+ \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} \left(C_{n,m} - \int_0^{Fo} K_{n,m}(\bar{\tau}) \exp(\gamma_{n,m} \bar{\tau}) d\bar{\tau} \right) \exp(-\gamma_{n,m} Fo) Y_m(\rho) P_n(\cos \theta). \end{aligned} \quad (9)$$

Конечное решение задачи (2)–(4), (8) выглядело следующим образом:

$$\begin{aligned} t_1(Fo, \rho, \eta) &= \frac{Bi_2(t_{ж} - t_{см})}{Bi_1 \cdot Bi_2 \cdot R \cdot \ln R - Bi_1 \cdot R - Bi_2} (Bi_1 \cdot R \cdot \ln \rho + 1 - Bi_1 \cdot R \cdot \ln R) + t_{ж} + \\ &+ \frac{2}{\eta_{\max}} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\mu_n^2 + Bi_3^2 \eta_{\max}^2}{\mu_n^2 + Bi_3^2 \eta_{\max}^2 + Bi_3 \eta_{\max}} \cdot \\ &\cdot \left(\bar{C}_m + \int_0^{Fo} E_m(\bar{\tau}) \exp(\beta_{n,m} \bar{\tau}) d\bar{\tau} \right) V_m(\rho) \exp(-\beta_{n,m} Fo) \sin \frac{\mu_n \eta}{\eta_{\max}} \end{aligned} \quad (10)$$

В полученных выражениях (9), (10) входящие во вторые части решения величины $\beta_{n,m} = v_m^2 + \left(\frac{\mu_n}{\eta_{\max}} \right)^2$, $\gamma_{n,m}$, v_m , $\mu_{n,m}$ являлись корнями уравнений (11), (12), (13) соответственно:

$$\left(J'_{n+\frac{1}{2}}(\gamma R) - \left(\frac{1}{2R} + Bi_1 \right) J_{n+\frac{1}{2}}(\gamma R) \right) \left(N'_{n+\frac{1}{2}}(\gamma) - \left(\frac{1}{2} - Bi_2 \right) N_{n+\frac{1}{2}}(\gamma) \right) - \left(N'_{n+\frac{1}{2}}(\gamma R) - \left(\frac{1}{2R} + Bi_1 \right) N_{n+\frac{1}{2}}(\gamma R) \right) \left(J'_{n+\frac{1}{2}}(\gamma) - \left(\frac{1}{2} - Bi_2 \right) J_{n+\frac{1}{2}}(\gamma) \right) = 0, \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \left[J_0(vR) + \frac{v}{Bi_1} J_1(vR) \right] \left[N_0(v) - \frac{v}{Bi_2} N_1(v) \right] - \\ - \left[J_0(v) - \frac{v}{Bi_2} J_1(v) \right] \left[N_0(vR) + \frac{v}{Bi_1} N_1(vR) \right] = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

$$ctg \mu = -Bi_3 \frac{\eta_{\max}}{\mu} \quad (13)$$

где J , N — функций Бесселя и Неймана соответствующего порядка [5, 6], P_n — полином Лежандра n -го порядка, V_m , Y_m — комбинации функции Бесселя

и Неймана порядка $n+1/2$ в выражении (14) и нулевого и первого в (15):

$$Y_m(\rho) = \frac{1}{\sqrt{\rho}} \left[\left(N'(\gamma R) - \left(\frac{1}{2R} + Bi_1 \right) \cdot N(\gamma R) \right) \cdot J_{n+\frac{1}{2}}(\gamma_{n,m} \rho) - \left(J'(\gamma R) - \left(\frac{1}{2Ro} + Bi_1 \right) \cdot J(\gamma R) \right) \cdot N_{n+\frac{1}{2}}(\gamma_{n,m} \rho) \right] \quad (14)$$

$$V_m(\rho) = \left[J_0(v_m R) + \frac{v_m}{Bi_1} \cdot J_1(v_m R) \right] \cdot N_0(v_m \rho) - \left[N_0(v_m R) + \frac{v_m}{Bi_1} \cdot N_1(v_m R) \right] \cdot J_0(v_m \rho) \quad (15)$$

$K_{n,m}, E_{n,m}$ — коэффициенты разложения в ряды Фурье-Бесселя функции $(v_1)_{Fo}$ и

$$g = T_e \sin \mu_n + \frac{\mu_n}{\eta_{max}} T_2 \left(Fo, \rho, \frac{\pi}{2} \right) - (v_2)_{Fo} - \left(\frac{\mu_n}{\eta_{max}} \right)^2 v, \text{ то есть}$$

$$(v_1)_{Fo} = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} K_{n,m} Y_m P_n, \quad g = \sum_{m=1}^{\infty} C_m V_m(\rho),$$

определяемые по соответствующим формулам [6].

В итоге температурное поле стенки технологической емкости аппарата с рубашкой для любого момента времени на промежутке Δt определялось как:

$$t(Fo, \rho) = \frac{1}{F} \iint_{F_1} t(Fo, \rho, \eta) d\sigma = \frac{F_1 \int_0^{\eta_1} t_1(Fo, \rho, \eta) dz + F_2 \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} t_2(Fo, \rho, \theta) \sin \theta d\theta}{F} \quad (16)$$

где F_1, F_2 — площадь поверхности цилиндрической и полусферической части емкости соответственно.

Анализ полученных аналитических выражений (9) и (10) для температурного поля цилиндрической и полусферической стенки емкости в режиме разогрева емкостного аппарата показал, что температура по толщине стенки емкости распределяется равномерно и ее характер близок к линейному для любого момента времени (рис. 2).

Данное обстоятельство объясняется тем, что процесс выравнивания температуры в стенке происходил существенно интенсивнее, чем подвод и отвод количества тепла с поверхности, а также из-за малой толщины стенки технологической емкости аппарата, то есть процесс теплопроводности в стенке протекал при малых значениях Bi .

Для апробации полученной аналитической модели (16) были проведены экспериментальные исследования процесса нестационарной теплопроводности.

Подробное описание и схема экспериментальной установки представлены в работе [3], поэтому ниже приведены лишь основные положения проведения опытов.

Объектами экспериментальных исследований являлись емкостные аппараты рубашечного типа, форма рабочей камеры которых была выполнена с цилиндрической стенкой и полусферическим дном. Номинальная вместимость технологических емкостей варьировалась от 0,02 до 0,06 м³.

Измерение температуры теплоносителей и стенок технологических емкостей при разогреве аппаратов с рубашкой производилось хромель-копелевыми термомпарами с термоэлектродами диаметром 0,2 мм. Автоматическая фиксация температур при этом осуществлялась многоточечными потенциометрами типа КСП-4 класса точности 0,25.

Геометрическое расположение термопар в слое жидкости, в рубашке и на внутренней поверхности стенки емкости аппарата проиллюстрировано на рис. 3.

В опытах по разогреву рубашечных аппаратов высота слоя содержимого технологической емкости была разбита на пять равных частей, в каждой из которых производилось измерение температуры на одинаковом удалении от стенки, то есть на оси варочной емкости. Температура основной массы парогазовой смеси замерялась в каждом из пяти кольцевых условных объемов рубашки на одинаковом расстоянии от ограничивающих ее стенок. При переходе в нижележащий условный объем точка замера смещалась по винтовой спирали на 120°. Горячие спаи термопар устанавливались на внутренней стороне поверхности технологической емкости аппарата в углубление и заливались термоустойчивым лаком. При переходе в нижележащую условную часть поверхности точка замера смещалась по винтовой спирали на 120° (рис. 3).

Рабочая емкость аппарата заполнялась номинальным количеством продукта с температурой, равной температуре окружающей среды. В качестве технологических сред использовали растворы, отличные по своим физико-химическим свойствам: сахарный раствор с концентрацией сухих веществ от 10 до 20 %

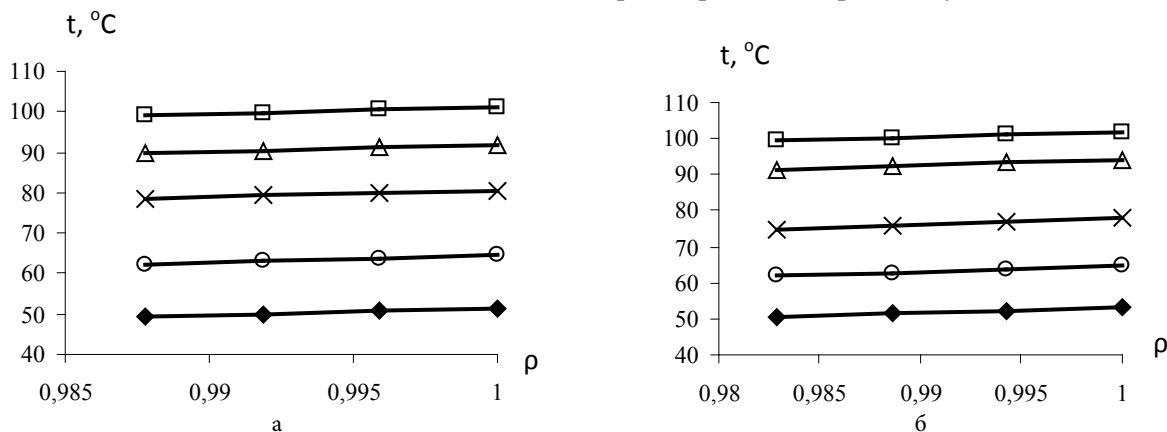


Рисунок 2

Температурное поле в стенке при разогреве рубашечного аппарата:

- а — емкостью 20 литров (стенка из стали толщиной 0,003 м, $D = 0,345$ м, $H = 0,270$ м, тепловая мощность 6 кВт);
 б — емкостью 60 литров (стенка из стали толщиной 0,003 м, $D = 0,485$ м, $H = 0,313$ м, тепловая мощность 9 кВт);
 □ — в момент времени 33 мин; Δ — 29 мин; × — 23 мин; ○ — 19 мин; ◆ — 15 мин [4];
 □ — в момент времени 42 мин; Δ — 36 мин; × — 30 мин; ○ — 21 мин; ◆ — 12 мин [4]

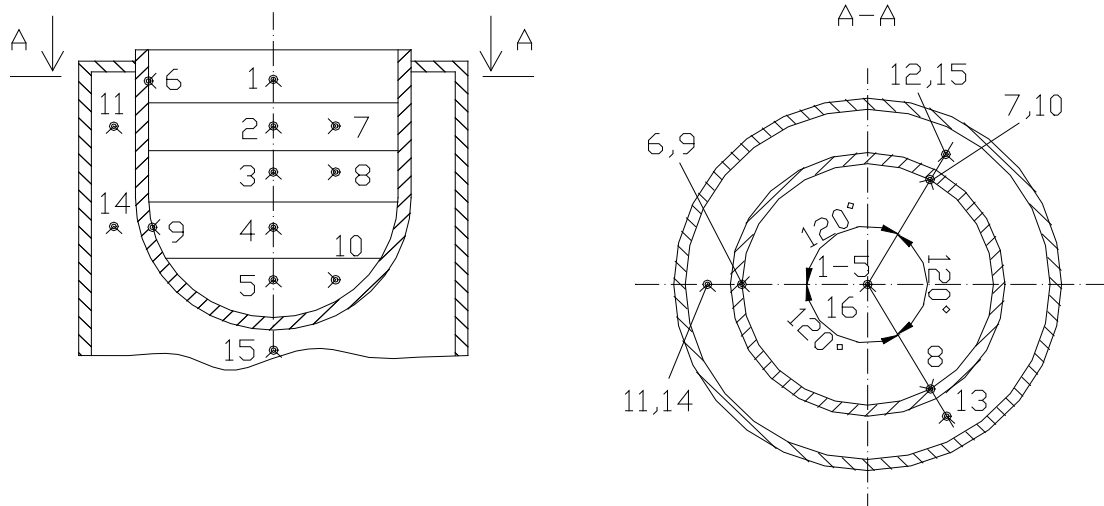


Рисунок 3

Схема расположения термодпар в рубашечных аппаратах: 1-5 — термодпары, служащие для измерения температуры жидкости; 5-10 — термодпары, служащие для измерения температуры поверхности; 10-16 — термодпары, служащие для измерения температуры смеси

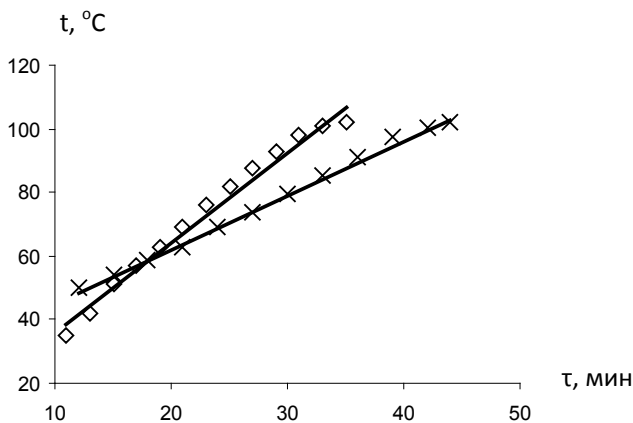


Рисунок 4

Проверка адекватности аналитического выражения (16) для температуры внутренней поверхности стенки технологической емкости аппарата с рубашкой: \diamond — с привлечением опытных данных при разогреве аппарата емкостью 20 литров [4]; \times — с привлечением опытных данных при разогреве аппарата емкостью 60 литров [4]; с использованием расчетных моделей работы [3]

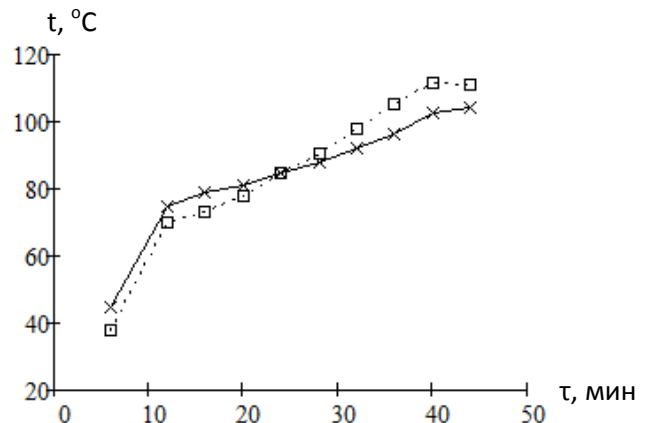


Рисунок 5

Температура парогазовой смеси в емкостных аппаратах с рубашкой и график относительной погрешности: \square \square — опытные данные при разогреве аппарата емкостью 60 литров [4]; \times \times \times — температура, рассчитанная по формулам (17)–(18)

и пятипроцентный раствор пищевой соли. Параметры разогрева этих растворов сопоставляли с данными по разогреву эталонной жидкости (воды).

С использованием выражения (16) проводилось сопоставление опытных данных по температуре на внутренней поверхности стенки емкости с расчетными значениями. Представленные на рис. 4 результаты сопоставления позволили считать пригодным выражения (9), (10) для определения температурного поля в стенке технологической емкости аппаратов с рубашкой.

При расчете температуры на внутренней стенке по выражению (16) привлекались данные по температурам технологических сред рубашечного аппарата в соответствии с расчетными моделями работы [3] и использовались критериальные уравнения для определения соответствующих коэффициентов теплоотдачи α_i , приведенные в работе [1] для цилиндрической и полусферической емкости.

Разработанная аналитическая модель процесса нестационарной теплопроводности может быть ис-

пользована в тепловых расчетах емкостных аппаратов для оценки температуры парогазовой смеси и коэффициента теплоотдачи от парогазовой смеси к наружной цилиндрической и полусферической стенке аппарата, если в выражениях (9)–(10) ограничивались слагаемым, отвечающим за «стационарное распределение». Отметим, что в таком случае неизвестные будут входить в уравнения нелинейным образом:

$$t(Fo, \rho, t_{cm}, Bi_2) - \bar{t}_{жс} = 0$$

$$\frac{\partial t}{\partial \rho}(Fo, \rho, t_{cm}, Bi_2) - Q = 0 \quad (17)$$

Данные уравнения решались приближенно с помощью метода минимизации вспомогательной функции по неизвестным переменным t_{cm} , Bi_2 :

$$\min_{t_{cm}, Bi_2} \left[(t(Fo, \rho, t_{cm}, Bi_2) - \bar{t}_{жс})^2 + \left(\frac{\partial t}{\partial \rho}(Fo, \rho, t_{cm}, Bi_2) - Q \right)^2 \right]$$

Для нахождения минимума использовали метод сопряженных градиентов [7]. На рис. 5 продемон-



стрированы полученные результаты для случая емкости объемом 60 литров.

Относительное расхождение опытных и расчетных данных, представленных на рис. 5, в среднем составляет 7 %.

Таким образом, для процесса нестационарной теплопроводности в стенке технологических емкостей аппаратов с рубашкой представлена математическая модель (2)–(8), которая состоит из уравнений в част-

ных производных, связанных между собой с помощью условий сопряжения. Она позволяет определять температурное поле стенки сложной конфигурации с цилиндрической и полусферической обечайкой. Расчетные значения температур, по нашему мнению, являются довольно хорошей аппроксимацией экспериментальных наблюдений. Полученные выражения также позволяют решать обратную задачу и находить температуру парогазовой смеси в рубашке аппарата в любой момент времени процесса разогрева.

Работа выполнена при частичной поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» и гранта РФФИ № 10-01-96045-р_урал_a.

Литература

1. Минухин Л. А. Расчеты сложных тепло- и массообмена в аппаратах пищевой промышленности. М. : Агропромиздат, 1986. 174 с.
2. Туголуков Е. Н. Методика математического моделирования нестационарных температурных полей емкостного аппарата // Химическая промышленность. 2004. Т. 81. № 2. С. 84–92.
3. Шихалёв С. В., Ермаков С. А., Решетников И. Ф. Моделирование процесса нестационарной теплопередачи в аппаратах с рубашкой // Журнал прикладной химии. 2008. № 9. С. 1432–1435.
4. Минухин Л. А., Шихалев С. В., Решетников И. Ф. Исследование тепловых процессов при нестационарном режиме работы варочных аппаратов // Хранение и переработка сельхозсырья. 2009. № 5. С. 75–76.
5. Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики. М. : Наука, 1977. 736 с.
6. Карташов Э. М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел : учеб. пособие. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Высш. шк., 2001. 550 с.
7. Моисеев Н. Н., Иванилов Ю. П., Столярова Е. М. Методы оптимизации. М. : Наука, 1978. 197 с.

ВЛИЯНИЕ ГИДРОБАРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА УГЛЕВОДНЫЙ СОСТАВ КОНЦЕНТРАТОВ

А. И. ПАНЫШЕВ,

соискатель,

В. А. СИТНИКОВ,

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,

Пермская государственная сельскохозяйственная академия,

С. Ю. НИКОЛАЕВ,

руководитель НПО «Семена Прикамья»

614099, г. Пермь,
ул. Петропавловская, д. 23

Положительная рецензия представлена Д. Ф. Ибишовым, доктором ветеринарных наук, профессором Пермского института Федеральной службы исполнения наказаний России.

Анализ рационов кормления животных в Пермском крае показал, что в структуре рационов на концентраты приходится до 50 % от общей питательности.

Концентрированные корма по своей стоимости превышают стоимость других кормов, поэтому стоит задача их правильного рационального использования. В своем составе концентрированные корма содержат крахмала до 500 г, сахара до 20 г. Нормальное соотношение сахара к крахмалу для оптимизации рубцового брожения жвачных животных должно быть 1 : 3, следовательно, необходимо выбрать такой способ подготовки концентратов, который бы изменял их углеводную структуру. Применяемые во многих хозяйствах способы подготовки концентратов к скармливанию сводятся к измельчению (дроблению, плющению), которое улучшает переваримость корма, не изменяя его хи-

мический состав [1, 5]. Ранее применялась гидротермическая обработка концентрированных кормов, но она не получила широкого распространения в силу того, что, не изменяя химический состав, приводила к увеличению затрат ручного труда на раздачу жидкого поила.

Цель и методика исследования.

Цель исследования — оптимизация способа подготовки концентратов, который бы в процессе их обработки изменял углеводный состав и повышал качество кормления.

В изученной нами литературе мы не нашли рекомендуемых параметров и поставили перед собой задачу провести предварительные испытания на отрубях для установления оптимальных параметров давления, температуры и времени воздействия, при которых будет обеспечен наибольший выход сахаров в расчете на глюкозу.