

Косачев Вячеслав Степанович

д-р техн. наук, профессор

Степанова Евгения Григорьевна

канд. техн. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный

технологический университет»

г. Краснодар, Краснодарский край

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА ПОТЕНЦИАЛОВ В ЗАДАЧАХ ИНТЕНСИВНОЙ КОНВЕКЦИИ

***Аннотация:** в данной статье рассматривается моделирование переноса потенциалов в задачах интенсивной конвекции. Решение дифференциальных уравнений переноса в многофазных системах связано с определением скорости фронтальной плоскости фазовых переходов. Авторы предлагают использовать параболической системы переноса потенциалов температуры, влажности и давления с учетом соотношений переноса потенциалов неравновесной термодинамики.*

***Ключевые слова:** интенсивная конвекция, потенциал, моделирование переноса, влагосодержание, термодинамика.*

Производство продуктов повышенной пищевой ценности является стратегией развития пищевой промышленности [1]. Приоритетом технического совершенствования в этом случае будет научное обоснование разработки ресурсосберегающих процессов и создания конкурентоспособной промышленной аппаратуры [2]. С научной точки зрения решение поставленных задач связано с изучением прочностных характеристик плодовой оболочки семян [3], гидравликой течения внутри рабочей зоны [4], а также изучением физико-химических особенностей процесса [5]. Значительное влияние на эти процессы оказывает массопередача целевых компонентов осложненная наличием поверхностно-активных веществ [6]. Системный анализ этих факторов позволяет интенсифицировать процессы диффузии [7] на основе решения дифференциальных уравнений

гидродинамики [8] при синергетическом переносе тепла, массы и давления в таких процессах как сушка [9] получение диффузионного сока из сахарной свеклы [10] или яблок [11]. Решение дифференциальных уравнений переноса в многофазных системах связано с определением скорости фронтальной плоскости фазовых переходов. Предлагается использовать параболическую систему переноса потенциалов температуры (t), влажности (θ) и давления (p) с учетом соотношений переноса потенциалов неравновесной термодинамики:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial t}{\partial \tau} = \left(a_q + \frac{a_m \cdot c_m \cdot \varepsilon \cdot r \cdot \delta_\theta}{c_q} \right) \cdot \nabla^2 t + \left(\frac{a_m \cdot c_m \cdot \varepsilon \cdot r}{c_q} \right) \cdot \nabla^2 \theta + \left(\frac{a_m \cdot c_m \cdot \varepsilon \cdot r \cdot \delta_p}{c_q} \right) \cdot \nabla^2 p \\ \left(\frac{c_m \cdot \varepsilon \cdot r}{c_q \cdot \delta_\theta} \right) \cdot \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \left(\frac{a_m \cdot c_m \cdot \varepsilon \cdot r}{c_q} \right) \cdot \nabla^2 t + \left(\frac{a_m \cdot c_m \cdot \varepsilon \cdot r}{c_q \cdot \delta_\theta} \right) \cdot \nabla^2 \theta + \left(\frac{a_m \cdot c_m \cdot \varepsilon \cdot r \cdot \delta_p}{c_q \cdot \delta_\theta} \right) \cdot \nabla^2 p \\ \left(-\frac{r \cdot \delta_p}{\delta_\theta} \right) \cdot \frac{\partial p}{\partial \tau} = \left(\frac{a_m \cdot c_m \cdot \varepsilon \cdot r \cdot \delta_p}{c_q} \right) \cdot \nabla^2 t + \left(\frac{a_m \cdot c_m \cdot \varepsilon \cdot r \cdot \delta_p}{c_q} \right) \cdot \nabla^2 \theta - \left[\frac{r \cdot \delta_p \cdot (a_p \cdot c_q - a_m \cdot c_m \cdot \varepsilon \cdot \delta_p)}{c_q \cdot \delta_\theta} \right] \cdot \nabla^2 p \end{array} \right. \quad (1),$$

где a – коэффициенты теплопроводности; ∇^2 – оператор Лапласа; δ – термоградиентные коэффициенты; ε – коэффициент фазового перехода; r – удельная теплота парообразования; c – удельные теплоёмкости.

Система уравнений (1) может быть преобразована в эквивалентную одномерную задачу в случае использования геометрии линий тока задающих систему изопотенциальных поверхностей:

$$\begin{aligned} \left(\frac{d}{d\xi} V(\xi) \right) \cdot \frac{\partial t(\xi, \tau)}{\partial \tau} &= \left(a_q + \frac{a_m \cdot c_m \cdot \varepsilon \cdot r \cdot \delta_\theta}{c_q} \right) \cdot \frac{\partial}{\partial \xi} \left[S(\xi) \cdot \frac{\partial t(\xi, \tau)}{\partial \xi} \right] + \left(\frac{a_m \cdot c_m \cdot \varepsilon \cdot r}{c_q} \right) \cdot \frac{\partial}{\partial \xi} \left[S(\xi) \cdot \frac{\partial \theta(\xi, \tau)}{\partial \xi} \right] + \left(\frac{a_m \cdot c_m \cdot \varepsilon \cdot r \cdot \delta_p}{c_q} \right) \cdot \frac{\partial}{\partial \xi} \left[S(\xi) \cdot \frac{\partial p(\xi, \tau)}{\partial \xi} \right] \\ \left(\frac{c_m \cdot \varepsilon \cdot r}{c_q \cdot \delta_\theta} \right) \cdot \left(\frac{d}{d\xi} V(\xi) \right) \cdot \frac{\partial \theta(\xi, \tau)}{\partial \tau} &= \left(\frac{a_m \cdot c_m \cdot \varepsilon \cdot r}{c_q} \right) \cdot \frac{\partial}{\partial \xi} \left[S(\xi) \cdot \frac{\partial t(\xi, \tau)}{\partial \xi} \right] + \left(\frac{a_m \cdot c_m \cdot \varepsilon \cdot r}{c_q \cdot \delta_\theta} \right) \cdot \frac{\partial}{\partial \xi} \left[S(\xi) \cdot \frac{\partial \theta(\xi, \tau)}{\partial \xi} \right] + \left(\frac{a_m \cdot c_m \cdot \varepsilon \cdot r \cdot \delta_p}{c_q \cdot \delta_\theta} \right) \cdot \frac{\partial}{\partial \xi} \left[S(\xi) \cdot \frac{\partial p(\xi, \tau)}{\partial \xi} \right] \\ \left(-\frac{r \cdot \delta_p}{\delta_\theta} \right) \cdot \left(\frac{d}{d\xi} V(\xi) \right) \cdot \frac{\partial p}{\partial \tau} &= \left(\frac{a_m \cdot c_m \cdot \varepsilon \cdot r \cdot \delta_p}{c_q} \right) \cdot \frac{\partial}{\partial \xi} \left[S(\xi) \cdot \frac{\partial t(\xi, \tau)}{\partial \xi} \right] + \left(\frac{a_m \cdot c_m \cdot \varepsilon \cdot r \cdot \delta_p}{c_q} \right) \cdot \frac{\partial}{\partial \xi} \left[S(\xi) \cdot \frac{\partial \theta(\xi, \tau)}{\partial \xi} \right] - \left[\frac{r \cdot \delta_p \cdot (a_p \cdot c_q - a_m \cdot c_m \cdot \varepsilon \cdot \delta_p)}{c_q \cdot \delta_\theta} \right] \cdot \frac{\partial}{\partial \xi} \left[S(\xi) \cdot \frac{\partial p(\xi, \tau)}{\partial \xi} \right] \end{aligned} \quad (2),$$

где $V(\xi)$ – удельный объем изопотенциальной поверхности; $S(\xi)$ – удельная площадь изопотенциальной поверхности относительно обобщенной координаты ξ .

Зависимость (2) позволяет формализовать расчет изопотенциальных полей температуры влажности и давления с учетом синергетики их взаимодействия в капиллярно-пористых телах при интенсивной конвекции, когда гидродинамические поля течения совпадают с потенциальными полями переноса компонентов.

Список литературы

1. Вершинина О. Производство хлеба повышенной пищевой ценности обогащенного тыквенным жмыхом / О. Вершинина, В. Деревенко, Е. Миланова // Хлебопродукты – 2010 – №11. – С. 42–43.
2. Деревенко В.В. Научное обоснование разработки ресурсосберегающих процессов производства растительных масел и создания конкурентоспособной промышленной аппаратуры: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В.В. Деревенко // Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий. – СПб., 2006.
3. Деревенко В.В. Прочность плодовой оболочки семян арбуза и дыни / В.В. Деревенко, Г.Х. Мирзоев, Е.А. Калиенко // Масложировая промышленность. – 2013. №4. – С. 20–21.
4. Гидравлика реверсивного течения внутри мембраны контактора / А.А. Заславец, А.А. Схалыхов, Е.П. Кошевой, В.С. Косачев, С.Е. Кошечая // Новые технологии. – 2013. – №2. – С. 91–94.
5. Косачев В.С. Повышение эффективности рафинации масел в мыльно-щелочной среде на основе изучения физико-химических особенностей процесса: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.С. Косачев. – Краснодар: Краснодарский ордена Трудового Красного Знамени политехнический институт, 1985.
6. Косачев В.С. Теоретические и практические основы осложненной поверхностно-активными веществами массопередачи в процессе рафинации масел: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Краснодар: Кубанский государственный технологический университет, 1998.
7. Кошевой Е.П. Способ получения диффузионного сока // патент на изобретение RUS 2035515 15.02.1991 / Е.П. Кошевой, Е.Г. Степанова.
8. Методы решения дифференциальных уравнений гидродинамики / З.А. Меретуков, А.А. Заславец, Е.П. Кошевой, В.С. Косачев // Новые технологии. – 2012. – №1. – С. 36–41.

9. Постановка задачи описания переноса тепла, массы и давления при сушке / С.А. Подгорный, Е.П. Кошевой, В.С. Косачев, А.А. Схляхов // Новые технологии. – 2014. – №3. – С. 20–27.

10. Степанова Е.Г. Способ получения диффузионного сока из сахарной свеклы / Е.Г. Степанова, Е.П. Кошевой // патент на изобретение RUS 2053305 27.07.1993

11. Степанова Е.Г. Реологические свойства яблок при различных способах их обработки / Е.Г. Степанова, В.А. Причко // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 1999. – №5–6. – С. 72–73.