

УДК 664.6

## **Аналитическое исследование процесса термической обработки тестового жгута соломки в содовом растворе.**

Андреев А.Н., Вороненко Б.А.

[andreevanatoly@yandex.ru](mailto:andreevanatoly@yandex.ru)

Санкт-Петербургский государственный университет  
низкотемпературных и пищевых технологий

*В работе проведен компьютерный анализ аналитического решения системы дифференциальных уравнений совместного теплопереноса применительно к гидротермической обработке тестового жгута соломки в содовом растворе, позволяющей определять температурные и концентрационные поля внутри соломки, и тем самым влияние обработки на процесс проникновения в материал содового раствора.*

Ключевые слова: соломка, гидротермическая обработка, тепло- и массоперенос, число Фурье, число Лыкова, число Коссовича, число Поснова.

### **Analytical study of thermal processing of the test harness straw in soda solution.**

Andreev A.N. Voronenko, B.A. [andreevanatoly@yandex.ru](mailto:andreevanatoly@yandex.ru)

St.- Petersburg State University refrigeration and food engineering

*In the work of a computer analysis of analytical solutions of systems of differential equations combined heat transfer for hydrothermal processing of the test harness straw in soda solution to determine temperature and concentration fields inside the straw, and thus influence the processing process of penetration into the material of the soda solution.*

Key words: straw, hydro thermal treatment, heat and mass transfer, Fourier transform, number, number Kossoviča, Lykov Insistute of Posnova.

В работе [1] поставлена и решена аналитически система дифференциальных уравнений совместного теплопереноса применительно к гидротермической обработке тестового жгута соломки в содовом растворе. Полученное решение позволяет определять

температурные и концентрационные поля внутри соломки и тем самым влияние обработки на процесс проникновения в соломку содового раствора.

Решение указанной системы уравнений с соответствующими условиями однозначности дает зависимость процесса от большой группы теплообменных и массообменных чисел (критериев) подобия:

$$T=T(X, Fo, Lu, \varepsilon Ko, Pn); \quad (1)$$

$$\theta=\theta(X, Fo, Lu, \varepsilon Ko, Pn) \quad (2)$$

Однако не все числа подобия в одинаковой мере влияют на ход процесса. Одни из них воздействуют на теплообменные характеристики переноса, другие – на массообменные.

Проведен компьютерный анализ найденного решения.

Прежде всего, видно, что в стационарном состоянии, т.е. при  $Fo \rightarrow \infty$ , температура тела стремится к температуре среды, а концентрация соды внутри соломки стремится к концентрации содового раствора, что соответствует физике процесса.

При этом (рис.1) локальная температура быстро возрастает, а затем медленно приближается к постоянному значению, соответствующему стационарному линейному распределению температуры в цилиндрическом теле (соломке).

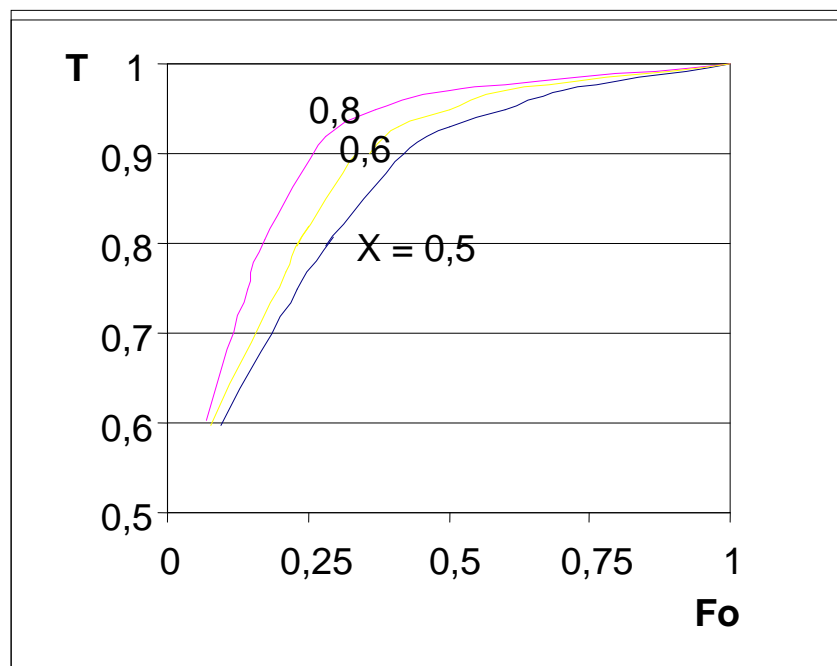


Рис. 1. Изменение  $T(X, Fo)$  по толщине соломки в зависимости от числа Фурье ( $Pn = 0,1$ ;  $\varepsilon Ko = 0,25$ ;  $Lu = 0,01$ )

Безразмерная локальная концентрация соды в соломке (рис. 2) сначала быстро уменьшается, особенно вблизи поверхности соломки, а затем медленно приближается к постоянному значению, соответствующему стационарному распределению концентрации в материале.

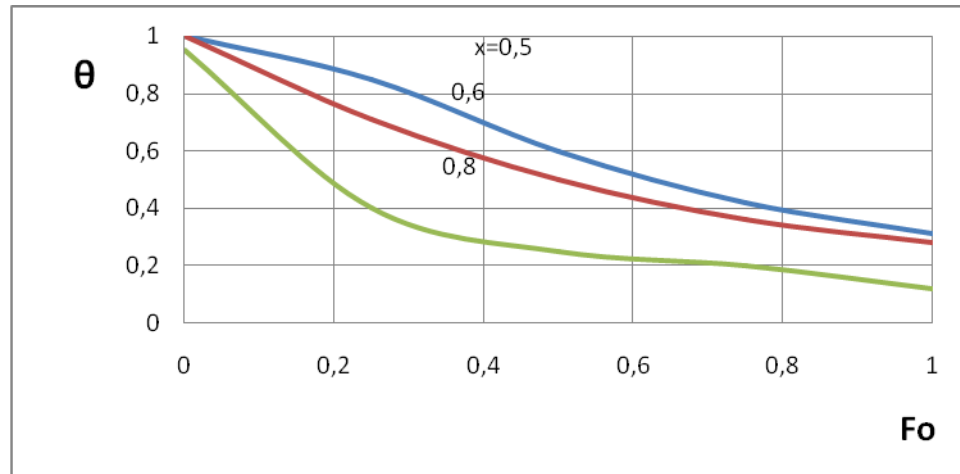


Рис.2 Зависимость  $\theta$  от величины числа Фурье и безразмерной координаты ( $Pn = 0,15$ ;  $\varepsilon K_0 = 0,2$ ;  $Lu = 0,15$ )

Сравнение кривых изменения безразмерных потенциалов переноса в одинаковые моменты времени показывает, что наиболее интенсивное изменение потенциала массопереноса происходит в период наиболее интенсивного изменения потенциала теплопереноса.

Наиболее существенное влияние на тепло- и массоперенос оказывает число Лыкова (критерий взаимосвязи тепло- и массопереноса).

Температура поверхностного слоя материала с самого начала процесса быстро возрастает (рис. 3), в толще материала возникают значительные градиенты температуры. Чем ниже значения критериев взаимосвязи тепло- и массопереноса  $Lu$ , тем интенсивнее происходит прогрев материала и быстрее устанавливается квазистационарное распределение температуры, при этом для каждого слоя характерна своя постоянная температура, распределение которой по толщине материала приобретает параболический характер.

Из рис. 3-4 видно, что при малых значениях  $Lu$  потенциал переноса тепла (температуры) распространяется значительно быстрее, чем потенциал массопереноса.

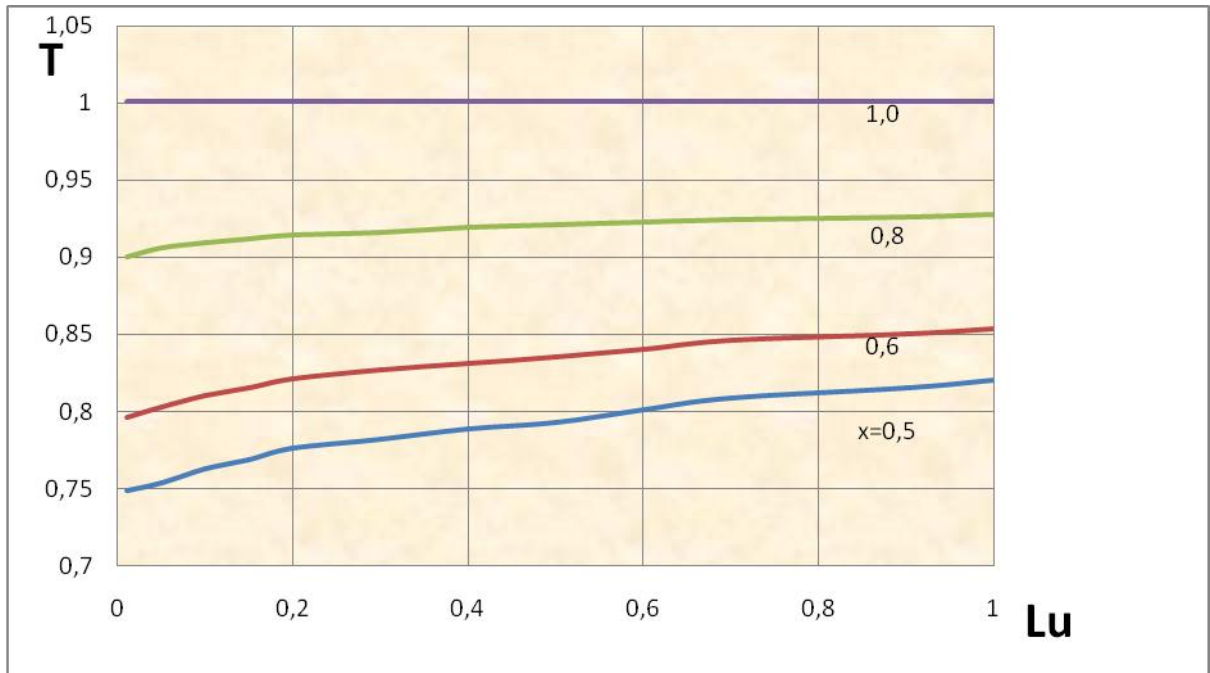


Рис. 3. Распределение потенциала теплопереноса  $T$  внутри цилиндра в зависимости от  $Lu$

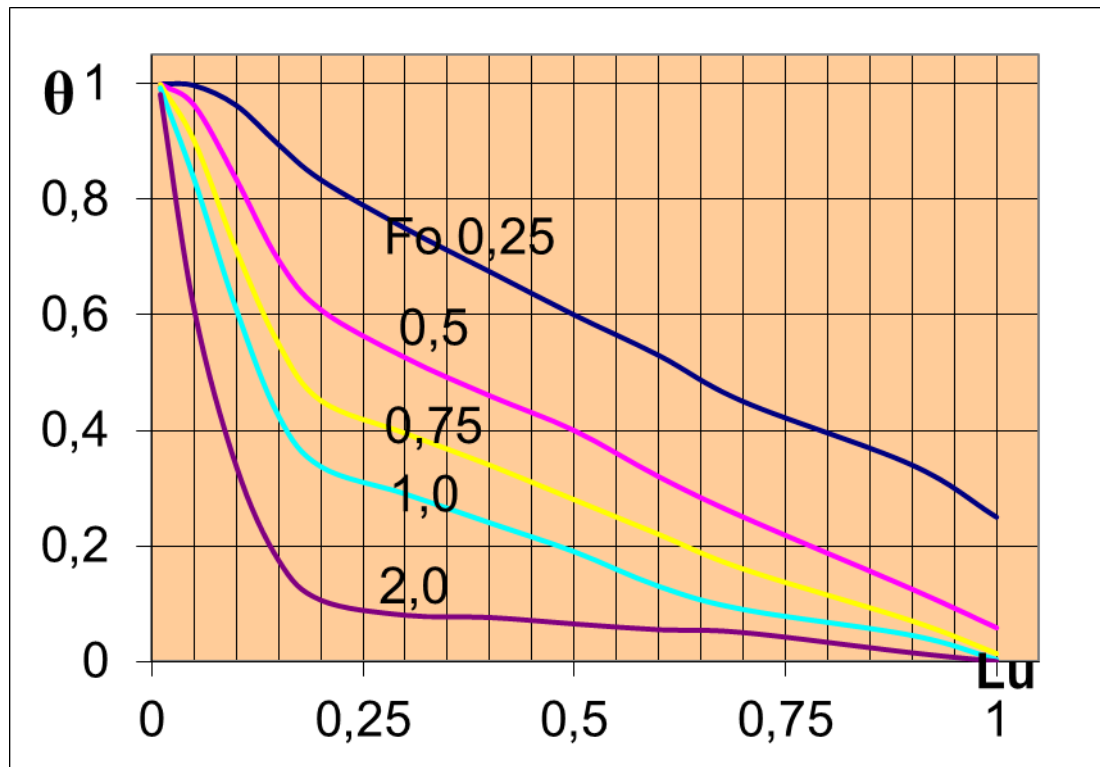


Рис. 4 - Распределение безразмерного потенциала массопереноса  $\theta$  в материале

Этот анализ полученного решения в [1] подтверждает общий анализ влияния числа  $Lu$  на процесс тепломассопереноса [2].

Исследования решений показали, что число  $Pn$  практически влияет только на поля потенциала массопереноса, а модифицированный критерий Коссовича  $\epsilon Ko$ , представляющий собой произведение критериев фазового превращения  $\epsilon$  и  $Ko$ , - на поля температур. При уменьшении  $Pn$  вместе с интенсификацией массопереноса улучшаются температурные условия, так как процесс проходит при более низких температурах материала.. С уменьшением массосодержания происходит резкое падение величины числа  $Pn$ , т.е. внутренний массообмен определяется этим числом.

На основе приведенного анализа при расчете нестационарных полей потенциалов представляется возможным пренебречь некоторыми числами подобия и тем самым упростить аналитическую модель молекулярного тепло- и массопереноса. Упрощенные уравнения подобия при постоянном начальном распределении потенциалов имеют следующий общий вид:

$$T = T(X, Fo, Lu, \epsilon Ko);$$

$$\theta = \theta(X, Fo, Lu, Pn)$$

### Обозначения

$$T = T(X, F0) = \frac{t(r, \tau) - t_0}{t_c - t_0} - \text{безразмерная температура};$$

$$t = t(r, \tau) - \text{температура, } ^\circ\text{C, K};$$

$t_0$  - начальная температура (температура тела в момент начала процесса);

$$t_c - \text{температура среды; } \Delta t = t_c - t_0;$$

$$\theta = \theta(X, F0) = \frac{c_c - c(r, \tau)}{c_c} - \text{безразмерная концентрация};$$

$c = c(r, \tau)$  - концентрация соды в растворе, %,  $\text{кг/м}^3$ ;  $c_c$  - концентрация среды (содового раствора);

$r$  - текущая координата, м;  $R$  - характерный размер, равный для цилиндра радиусу его поперечного сечения;

$$X = \frac{r}{R} - \text{безразмерная координата};$$

$\tau$  - время, с;

$$a_q - \text{коэффициент температуропроводности, } \text{м}^2/\text{с};$$

$\epsilon$  - критерий фазового превращения;

$\rho$  - удельная теплота фазового перехода,  $\text{Дж/кг}$ ;

$\gamma$  - плотность,  $\text{кг/м}^3$ ;

$c_q$  - удельная теплоемкость,  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$ ;

$a_m$  – коэффициент теплопроводности (диффузии), м<sup>2</sup>/с;

$\delta$  – термостатический коэффициент, 1/К;

$Fo = \frac{a_q \tau}{R^2}$  – число Фурье;

$Lu = \frac{a_m}{a_q}$  – число Лыкова;

$Ko = \frac{\rho c_c}{c_q \Delta t}$  – число Коссовича;

$Pr = \frac{\delta \Delta t}{c_c}$  – число Прандтля для переноса массы вещества теплопроводностью.

### Список литературы:

1. Андреев А. Н., Вороненко Б. А. Математическое описание гидротермической обработки тестового жгута соломки в содовом растворе// Электронный журнал, СПб.: СПбГУНиПТ, №1, март, 2011.
2. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория тепло- и массопереноса. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 536с.

