

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ

Бурдо О.Г., Кац А.К., Тимофеева И.С.  
Одесская национальная академия пищевых технологий

*Анализируются различные подходы к построению регрессионных моделей свойств жидких веществ. Предлагается универсальная модель для описания теплофизических свойств. Представлены результаты моделирования свойств воды и водяного пара. Поведена оценка погрешностей моделирования при использовании различных функциональных зависимостей.*

*Analyzes different approaches to the construction of regression models, the properties of liquids. Propose a universal model to describe thermophysical properties. Shows the results of modeling properties of water and water vapor. Behavioral assessment of modeling errors using different functional dependencies.*

**Ключевые слова:** свойства веществ, математические модели.

### Введение

Ключевым вопросом в инженерной практике являются представления о свойствах теплоносителей. Эти представления лежат в основе проектирования оборудования для термической обработки пищевого сырья, совершенствования режимных параметров его эксплуатации. Ряд важных научно-исследовательских задач также связаны с необходимостью четких знаний свойств теплоносителей в зависимости от давлений, температуры и т.п. Именно погрешности в оценке свойств рабочих тел являются базовыми, поскольку модели свойств находятся на первом уровне иерархий при построении теплообменных, массообменных и биотехнологических моделей переработки пищевого сырья.

Вместе с тем, необходимые базы данных по свойствам представлены в основном в табличном виде [1, 2], что вызывает неудобства при использовании компьютерных технологий. Обработки этих данных в виде уравнений ограничены и зачастую некорректны.

Исследования данной работы направлены на разработку универсального подхода к моделированию свойств жидких систем и получению моделей удобных для компьютерных экспериментов и корректных с физическими позиций.

**Развитие методов регрессионного моделирования свойств жидкостей.** В литературных источниках представлены аппроксимации свойств жидких систем в виде:

$$Y = A + a \cdot T + b \cdot T^2 + c \cdot T^3 \quad (1)$$

В модели (1)  $Y$  и  $T$  – являются физическими параметрами, которые имеют разную размерность. При этом,  $A$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – это константы, которые приводятся в виде чисел. Таким образом в (1) производят сложение чисел с размерными параметрами. Некорректность таких действий не требует комментариев. Объясняется этот парадокс тем, что для обработки базы размерных параметров привлекаются стандартные компьютерные программы, которые изначально создавались для работы с числами.

Предлагается преобразовать модель (1) к виду, который бы отвечал положениям физики и был пригодным для использования существующих программ статистической обработки баз данных. В этом случае универсальной может быть модель вида:

$$Y = Y_0 \left[ A + a \left( \frac{T}{T_0} \right) + b \left( \frac{T}{T_0} \right)^2 + c \left( \frac{T}{T_0} \right)^3 + \dots \right] \quad (2)$$

В соотношении (2)  $Y$  и  $T$  – являются текущими значениями физического параметра,  $Y_0$  и  $T_0$  – их базовые значения. Таким образом, найден компромисс и предложен универсальный подход для получения корректных физических моделей свойств веществ.

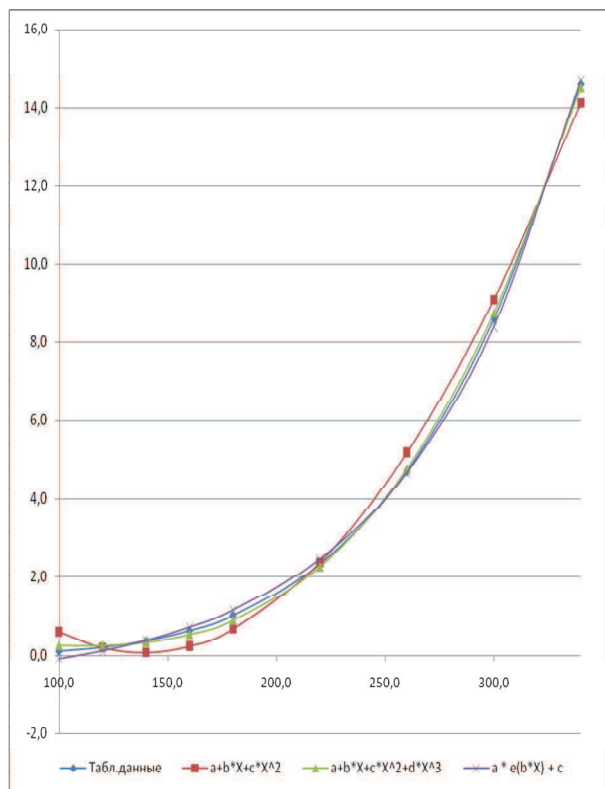
Кроме степенной функции (2) рассматривались функции: одиночной регрессии, экспоненциальные, логарифмические и т.п.

**Результаты моделирования свойств воды.** На основе данных [1] по предложенной методике проведены расчеты теплофизических свойств воды. Была разработана программа расчета на ПЭВМ констант регрессионных моделей, которая выводила на печать аппроксимации с допустимыми значениями среднеквадратичной погрешности ( $\epsilon$ ). Результаты расчета давления воды на линии насыщения приведены на рис.1. Соотношения (3...5) рекомендуются для пользователей. Приняты базовые значения давления  $P_0 = 0,1013 \text{ МПа}$ ,  $a_{t_0} = 5^\circ \text{C}$ .

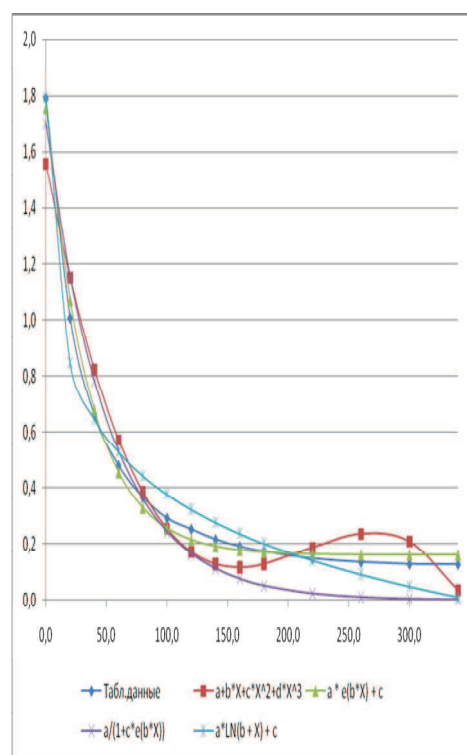
$$P = P_0 * \left[ (61,73) + \frac{t - t_0}{t_0} * (-4,565) + \left( \frac{t - t_0}{t_0} \right)^2 * (0,0854) \right] \quad (3)$$

$$P = P_0 * \left[ (0,9692) + \frac{t - t_0}{t_0} * (0,6106) + \left( \frac{t - t_0}{t_0} \right)^2 * (-0,0478) + \left( \frac{t - t_0}{t_0} \right)^3 * (0,0011) \right] \quad (4)$$

$$P = P_0 * \left[ (1,89) * e^{\frac{P-P_0}{10} * (0,00000)} + (-7,345) \right] \quad (5)$$



**Рис.1 – Зависимость  $P = f(t)$**



**Рис. 2 – Зависимость  $v = f(t)$**

Зависимость кинематического коэффициента вязкости (рис. 2) определена для  $t_0 = 5^\circ\text{C}$  и  $\nu_0 = 1,5933 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$

$$y = y_0 \times \left[ (0,9083) + \frac{t-t_0}{t_0} \times (-0,0674) + \left( \frac{t-t_0}{t_0} \right)^2 \times (0,0017) + \left( \frac{t-t_0}{t_0} \right)^3 \times (0) \right] \quad (6)$$

$$v = v_0 * \left[ (0.8702) * e^{\frac{v-v_0}{v_0} * (-0.244)} + (0.1015) \right] \quad (7)$$

$$V = V_0 \times \left[ \frac{(9150)}{\left( 1 + (9447) \times e^{\frac{r - r_f}{r_f} (2027.0)} \right)} \right] \quad (8)$$

$$v = v_0 * \left[ (-0,1876) * LN\left(\frac{t-t_0}{t_0} + (1,176)\right) + (0,7994) \right] \quad (9)$$

Коэффициент теплопроводности при  $t_0 = 5^\circ\text{C}$  и  $\lambda_0 = 0,56325 \text{ Вт/(м К)}$

$$\lambda = \lambda_0 * \left[ (1,023) + \frac{t - t_0}{t_0} * (0,0147) + \left( \frac{t - t_0}{t_0} \right)^2 * (-0,0003) \right] \quad (10)$$

$$\lambda = \lambda_0 * \left[ (1,011) + \frac{t - t_0}{t_0} * (0,0177) + \left( \frac{t - t_0}{t_0} \right)^2 * (-0,0004) + \left( \frac{t - t_0}{t_0} \right)^3 * (0) \right] \quad (11)$$

Плотность при  $t_0 = 5^\circ\text{C}$  и  $\rho_0 = 999,48\text{кг/м}^3$

$$\rho = \rho_0 * \left[ (0,9984) + \frac{t - t_0}{t_0} * (-0,0004) + \left( \frac{t - t_0}{t_0} \right)^2 * (-0,0001) \right] \quad (12)$$

Число Прандтля при  $t_0 = 5^\circ\text{C}$  и  $Pr_0 = 12,008$

$$Pr = Pr_0 * \left[ (0,8717) * e^{\frac{t - t_0}{t_0} * (-0,1695)} + (0,0935) \right] \quad (13)$$

$$Pr = Pr_0 * \left[ (-0,1629) * \ln \left( \frac{t - t_0}{t_0} + (1,064) \right) + (0,6926) \right] \quad (14)$$

Удельная теплоемкость при  $t_0 = 5^\circ\text{C}$  и  $C_0 = 4,2048\text{ кДж/(кгК)}$

$$C = C_0 * \left[ (1,062) + \frac{t - t_0}{t_0} * (-0,0123) + \left( \frac{t - t_0}{t_0} \right)^2 * (0,0003) \right] \quad (15)$$

$$C = C_0 * \left[ (0,9697) + \frac{t - t_0}{t_0} * (0,0112) + \left( \frac{t - t_0}{t_0} \right)^2 * (-0,0006) + \left( \frac{t - t_0}{t_0} \right)^3 * (0) \right] \quad (16)$$

Методика расчета приведенных выше зависимостей была одинаковой.

#### Выводы

Зависимости (3...16) рекомендуются для расчета теплофизических свойств воды на линии насыщения в диапазоне температур  $(0...300)^\circ\text{C}$ .

#### Литература

1. Богданов С.Н., Иванов О.П., Куприянова А.В. Холодильная техника. Свойства веществ: Справочник
2. М.: Агропромиздат.- 1985.-208 с.
3. Чубик И.А., Маслов А.М. Справочник по теплофизическим константам пищевых продуктов и полуфабрикатов. М.: "Пищевая промышленность". -1965.- 156 с.

УДК 665.63

## ВПЛИВ ЕКСЕРГІЇ-НЕТТО НА РЕЗУЛЬТАТИ ПІНЧ-АНАЛІЗУ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТЕПЛООБМІНУ УСТАНОВКИ ЕЛОУ-АВТ

Кривда В.І., асп., Максимов М.В., д-р. техн. наук, професор  
Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса

*Запропоновано новий метод аналізу рекуперативного теплообміну, який поєднує в собі пінч-аналіз та ексергію-нетто. Нова методика дозволяє врахувати витрати енергії не лише під час експлуатації теплообмінних апаратів, а також під час їх виготовлення та будівництва.*

*The new method analysis of recuperation heat exchange, that combines in itself a pinch- analysis and exergy-net, is offered. New methodology allows to take into account the charges of energy not only during exploitation of heat-exchange vehicles, and also during their making and building.*

**Ключові слова:** пінч-аналіз, ексергія-нетто, теплообмінник, холодний потік, гарячий потік.

Ефективне використання первинних енергоресурсів першочергова задача як виробника так і споживача теплової та електричної енергії. Цією проблемою займалися в минулому, і розв'язання цього питання залишається актуальним і на сьогодні, так як попит на енергоносії постійно зростає, а первинної сировини стає з кожним роком менше. Метою даного дослідження є виявити вплив затраченої енергії на ви-