

## С. В. Козлова

м. н. с., Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор, И. И. Рыжков

Институт вычислительного моделирования СО РАН, Россия, Красноярск

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА СОРЕ В СМЕСЯХ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКИХ И НАЗЕМНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Термодиффузия (эффекта Соре) – это явление потока массы в смесях под действием градиента температуры, который играет важную роль в природных и технологических процессах: разделение изотопов в смесях, транспорт веществ через клеточные мембраны, распределение углеводородов в углеродных месторождениях и пр. Одним из методов измерения коэффициентов термодиффузии является термодиффузионная колонна. Измерения возможны только при устойчивом конвективном течении смеси [1]. Математическое моделирование позволяет наиболее полно описать процесс термодиффузии [2,3], а также объяснить некоторые экспериментальные наблюдения [4].

С целью исследования устойчивости вертикального конвективного течения в цилиндрической колонне разработан программный комплекс, который позволяет определить точные диапазоны параметров системы, при которых конвективное течение будет устойчивым. Результаты хорошо согласуются со случаем плоского вертикального слоя – предельным случаем цилиндрической колонны. Программный интерфейс и нейтральные кривые для числа Грасгофа показаны на рис. 1.

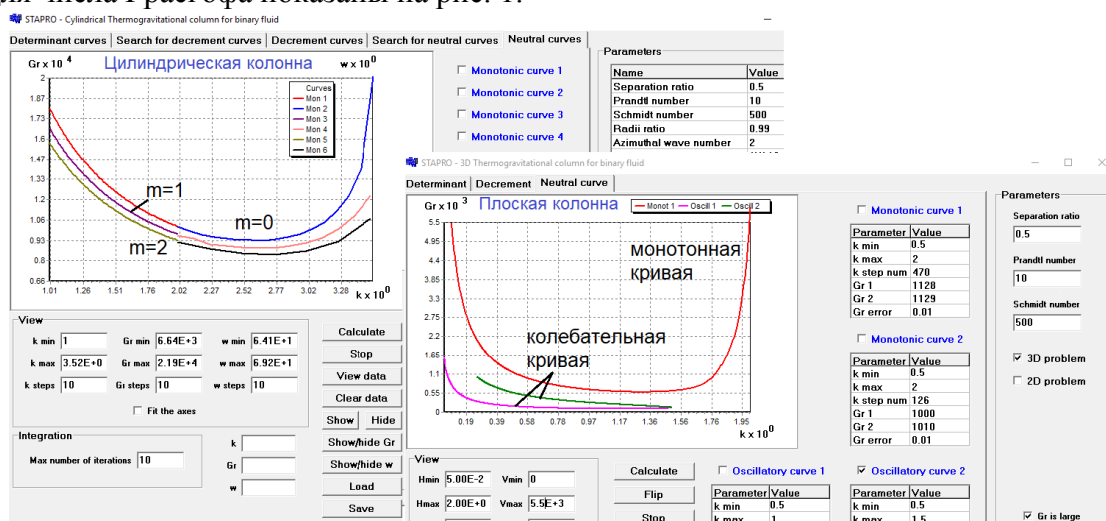


Рис. 1. Монотонные кривые для числа Грасгофа. В случае цилиндрической колонны монотонные кривые построены для различных азимутальных волновых чисел  $m$ .

Другим способом определения коэффициента термодиффузии (коэффициента Соре) является ячейка Соре. В настоящей работе осуществляется развитие теоретической методики определения температурной зависимости коэффициента Соре в бинарных и тройных смесях из одного эксперимента с достаточно большой приложенной разностью температур.

В 2019 году в Свободном университете Брюсселя (Бельгия) были получены новые экспериментальные данные для смеси этанол – вода с помощью оптической интерферометрии. Серия замеров была проведена в ячейке Соре высотой  $H=6$  мм для различных разностей температур между верхом и низом ячейки, а также для различных средних температур. Космические эксперименты проводились с помощью аппаратуры SODI (инструмент оптической диагностики), размещенной в европейском модуле Columbus на МКС.

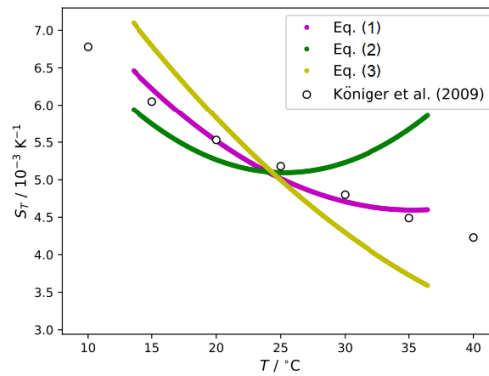


Рис. 2. Результаты определения коэффициента Соре из одного эксперимента при разности температур  $\Delta T = 24$  °C с помощью подходов (1-3).

Определенные зависимости коэффициента Соре от температуры на основе подходов

$$\frac{\partial^2 C}{\partial C^2}(T_0, C_0)(C - C_0)^2 + \left[ 2 \frac{\partial^2 n}{\partial T \partial C}(T_0, C_0)(T - T_0) + 2 \frac{\partial n}{\partial C}(T_0, C_0) \right] (C - C_0) - n_{\text{exp}}(T) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 C}{\partial C^2}(T_0, C_0)(C - C_0)^2 + \left[ \left( \frac{\partial^2 n}{\partial T \partial C} + \frac{\partial^2 n}{\partial C \partial T} \right) (T - T_0) \right] + \frac{\partial n}{\partial C}(T_0, C_0) \right] (C - C_0) - n_{\text{exp}}(T) = 0 \quad (2)$$

$$\left[ \frac{\partial^2 C}{\partial C^2}(T_0, C_0) \right]^2 (C - C_0)^2 + \left[ 2 \frac{\partial^2 n}{\partial T \partial C}(T_0, C_0)(T - T_0) + 2 \frac{\partial n}{\partial C}(T_0, C_0) \right] (C - C_0) - n_{\text{exp}}(T) = 0 \quad (3)$$

показаны на рис. 2, где  $n$  – показатель преломления,  $n_{\text{exp}}$  – экспериментальный показатель преломления, полученный с помощью вычитания стационарного интерференционного изображения из изображения с установившимся температурным профилем,  $T$  – температура,  $C$  – концентрация. Результаты хорошо согласуются с экспериментальными наблюдениями [5].

### Список литературы

1. Thermogravitational measurement of the Soret coefficient of liquid mixtures / M. M. Bou-Ali, O. Ecenarro, J. A. Madariaga [et al] // J. of Phys.: Cond. Matter. 1998. № 10: 15. P. 3321–3331.
2. S. V. Kozlova, I. I. Ryzhkov. On the separation of multicomponent mixtures in a cylindrical thermogravitational column // Physics of Fluids. 2016. № 28: 11. P. 117102.
3. S. V. Kozlova, I. I. Ryzhkov. The study of transient separation of multicomponent mixtures in a cylindrical thermogravitational column // J. Heat and Mass Trans. 2018. № 126. PP. 660–669.
4. Stability of convection in a vertical binary fluid layer with an adverse density gradient / M. M. Bou-Ali, O. Ecenarro, J. A. Madariaga [et al] // Phys. Rev. E. 1999. № 59: 1. P. 1250–1252.
5. A. Königer, B. Meier, W. Köhler. Measurement of the Soret, diffusion, and thermal diffusion coefficients of three binary organic benchmark mixtures and of ethanol–water mixtures using a beam deflection technique // Philos. Mag., № 89: 10. 2009. PP. 907–923.