

УДК 532.529.2;532.5.013.4

**ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ПЛОСКОГО СЛОЯ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ СМЕСИ
С ЭФФЕКТОМ СОРЕ**

© 2011 г.

И.И. Рыжков

Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск

iii@icm.krasn.ru

Поступила в редакцию 16.05.2011

Рассматривается задача об устойчивости механического равновесия многокомпонентной смеси в плоском слое, подогреваемом сверху/снизу в поле силы тяжести. Учитываются перекрестная диффузия и эффект Соре. Доказаны теоремы, обобщающие принцип монотонности возмущений на случай многокомпонентной смеси с эффектом Соре. Построены нейтральные кривые и карты устойчивости в пространстве параметров для трехкомпонентной смеси. Проведено сравнение результатов для различных типов условий на границах слоя.

Ключевые слова: многокомпонентная смесь, эффект термодиффузии, механическое равновесие, устойчивость.

Структура и динамика конвективных течений в многокомпонентных системах достаточно сложны благодаря наличию нескольких механизмов теплообмена: конвекции, теплопроводности, основной и перекрестной диффузии, термодиффузии (переноса массы под действием градиента температуры). Эти механизмы играют важную роль во многих природных и промышленных процессах (течения в атмосфере и океанах, добыча и переработка углеводородов [1], нанесение покрытий, кристаллизация расплавов).

В настоящее время интенсивно развиваются исследования многокомпонентных систем [2–5] в связи с тем, что реальные жидкости и газы представляют собой смеси различных веществ. Для описания и предсказания теплообмена в таких смесях необходимо знание коэффициентов переноса (теплопроводности, диффузии и термодиффузии). Необходимым условием корректности экспериментальных методов измерений часто является устойчивость механического равновесия или стационарного конвективного движения [6]. Конвективная устойчивость многокомпонентных систем представляет собой слабоизученное направление. Использование различных упрощающих предположений в имеющихся работах (например отсутствие перекрестной диффузии) затрудняет сравнение полученных результатов с экспериментом [7].

При экспериментальном измерении коэффициентов диффузии и термодиффузии часто используется конфигурация плоского слоя, подогреваемого снизу или сверху [6, 7]. Основным тре-

бованием к эксперименту является чисто диффузионный теплообмен в исследуемой смеси (т.е. устойчивое состояние механического равновесия). В связи с этим является актуальной задача об устойчивости плоского слоя смеси при различных режимах подогрева. Для бинарной смеси эта задача была исследована в работе [8].

В настоящей работе рассматривается задача об устойчивости механического равновесия многокомпонентной смеси в плоском слое, подогреваемом сверху/снизу в поле силы тяжести. Учитываются перекрестная диффузия и эффект Соре. В основном состоянии движение отсутствует, при этом постоянный градиент температуры в слое приводит к возникновению постоянных градиентов концентрации компонентов благодаря эффекту Соре. Рассматриваемая задача является обобщением известной задачи Рэлея–Бенара об устойчивости механического равновесия в плоском слое однородной жидкости, подогреваемой снизу.

С помощью специальных преобразований [5] задача об устойчивости сведена к задаче без перекрестной диффузии и эффекта Соре (исключаются соответствующие члены в уравнениях). Рассмотрено несколько вариантов граничных условий: 1) свободные, проницаемые для вещества границы; 2) твердые, проницаемые для вещества границы; 3) твердые, непроницаемые для вещества границы. Случай проницаемых границ соответствует постоянным значениям концентрации на границах, а случай непроницаемых границ – отсутствию потока вещества через границы. Для граничных условий типа

1 и 2 доказаны теоремы, обобщающие принцип монотонности возмущений (или принцип обращения устойчивости) на случай многокомпонентной смеси с эффектом Соре. Эти теоремы позволяют оценить область устойчивости системы в пространстве параметров.

Для граничных условий типа 1 получена явная формула для критических чисел Рэлея. Задача с граничными условиями типа 3 решалась численно для случая трехкомпонентной смеси. Построены нейтральные кривые и карты устойчивости в пространстве параметров задачи. Проведено сравнение результатов для различных типов условий на границах слоя.

Работа выполнена при поддержке Интеграционного проекта СО РАН №116.

Список литературы

1. Firoozabadi A. Thermodynamics of hydrocarbon reservoirs. McGraw-Hill Professional, 1999.
2. Ryzhkov I.I., Shevtsova V.M. // Physics of Fluids. 2007. V. 19. Is. 2, P. 027101.
3. Ryzhkov I.I., Shevtsova V.M. // Physics of Fluids. 2009. V. 21. Is. 1, P. 014102.
4. Ryzhkov I.I., Shevtsova V.M. // Physical Review E. 2009. V. 79. Is. 2, P. 026308.
5. Ryzhkov I.I., Shevtsova V.M. // Microgravity Science and Technology. 2009. V. 21. Is. 1-2, P. 37-40.
6. Platten J.K. // Journal of Applied Mechanics. 2006. V. 73. Is. 5. P. 5-15.
7. Larre J.R., Platten J.K., Chavepeyer G. Soret // Int. Journal of Heat and Mass Transfer. 1997. V. 40. P. 545-555.
8. Schechter R.S., Prigogine I., Hamm J.R. // Physics of Fluids. 1972. V. 15. P. 379-386.

ON THE STABILITY OF A PLAIN MULTICOMPONENT FLUID LAYER WITH SORET EFFECT

I.I. Ryzhkov

The stability of mechanical equilibrium in a plane layer of multicomponent fluid heated from above/below in the gravity field is investigated. The cross-diffusion and Soret effect are taken into account. The theorems, which generalize the exchange of stability principle to the case of multicomponent mixture with Soret effect, are proved. The neutral curves and stability maps are constructed in the parameter space of ternary fluids. Comparison between results for different types of boundary conditions is performed.

Keywords: multicomponent mixture, thermal diffusion effect, mechanical equilibrium, stability.