

9. Papin A. A., Sibin A. N. Model isothermal internal erosion of soil // J. Phys.: Conf. Ser. Volume 722, conference 1, 2016. p. 1–8.

10. Папин А.А., Сибин А.Н. Автомодельное решение задачи поршневого вытеснения жидкостей в пороупругой среде // Известия АлтГУ. – 2016. – № 1 (89). – С. 152–156.

## УДК 536.25

### **Математические модели конвективных течений в условиях массопереноса на термокапиллярной границе раздела**

*О.Н. Гончарова*  
*АлтГУ, г. Барнаул*

Теоретическому и экспериментальному изучению проблем конвекции жидкостей в условиях тепломассопереноса на границе раздела уделяется в настоящее время большое внимание [1]. Важность результатов таких исследований состоит в их использовании при решении комплекса научных задач механики жидкости и теплофизики, возникающих при оптимизации и совершенствовании прикладных разработок в области жидкостных технологий охлаждения, систем регистрации информации, получения кристаллов с высокой степенью структурной однородности. При проведении исследований разрабатываются новые либо уточнённые математические модели, адекватно описывающие изучаемые физические процессы, позволяющие выявить механизмы возможных кризисных явлений и определить способы управления течениями, изучить влияние разнородных физико-химических факторов, в частности, воздействия точечного лазерного излучения и испарения на структуру течения.

Одним из принципиальных вопросов математического моделирования является построение точного решения определяющих уравнений. На основе трёхмерных [2, 3] и двумерных [4, 5] точных решений уравнений Навье–Стокса в приближении Обербека–Буссинеска проводится аналитическое и численное исследование двухслойных течений с испарением и/или конденсацией на границе раздела. Построенные решения могут быть названы обобщением решения Остроумова–Бириха [6, 7], имеют групповую природу [8] и позволяют учесть одновременно наличие горизонтального и вертикального градиентов температуры, эффекты диффузионной теплопроводности и термодиффузии пара в газовой среде и на межфазной границе. Именно решения групповой природы подразумевают сохранение свойств симметрии,

заложенных при выводе основных уравнений и обеспечивающих, тем самым, физическое правдоподобие и физическую (экспериментальную) реализацию таких решений.

Впервые проведена классификация двухслойных термокапиллярных течений с испарением в двумерном случае. В случае равных значений продольных градиентов температуры на границах канала выделены три типа течений в зависимости от доминирующих сил: чисто термокапиллярное и смешанное течения и течение Пуазейлевой структуры. В общем случае, когда на внешних стенках канала прикладывается различная тепловая нагрузка, классификация может быть обобщена добавлением частных подклассов. Тем самым, получено расширение классификации Наполитано [9].

Изучены характеристики течений с испарением, зависимость массовой скорости испарения от параметров задачи, устойчивость течений, свойства и типы характеристических возмущений (см., например, [10]). Получены зависимости критических тепловых нагрузок, приводящих к потере устойчивости, для различных систем «жидкость – газ». Для задачи с деформируемой границей раздела численное исследование термокапиллярной конвекции проводится в случае локального нагрева одной из границ канала.

Представлены результаты численного моделирования трёхмерных и двумерных течений системы «жидкость – газ» типа «этанол – азот», «HFE7100 – азот», «FC72 – азот». Изучено влияние гравитационного поля, граничного теплового режима и испарения на динамику течения и распределение температуры

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 17-08-00291).*

### **Библиографический список**

1. Бекежанова В.Б., Гончарова О.Н. Задачи испарительной конвекции (обзор) // Прикладная математика и механика. – 2018. – Т. 82 (2). – С. 1–42.
2. Goncharova O.N., Kabov O.A. Investigation of the two-layer fluid flows with evaporation at interface on the basis of the exact solutions of the 3D problems of convection // Journal of Physics: Conference Series. – 2016. – Vol. 754 (032008). – P. 1–6.
3. Bekezhanova V.B., Goncharova O.N. Three-dimensional thermocapillary flow regimes with evaporation // Journal of Physics: Conference Series. – 2017. – 894 (012023). – P. 1–9.
4. Гончарова О.Н., Резанова Е.В. Пример точного решения стационарной задачи о двухслойных течениях с испарением на границе раздела // ПМТФ. – 2014. – № 55(2). – С. 68–79.

5. Bekezhanova V.B., Goncharova O.N., Shefer I.A. Analysis of an exact solution of problem of the evaporative convection (Review). Part I. Plane case // J. Sib. Fed. Univ. Math. & Phys. – 2018. – Vol. 11 (2). – P. 178–190.

6. Остроумов Г.А. Свободная конвекция в условиях внутренней задачи. – Москва-Ленинград: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1952. – 256 с.

7. Бирих Р.В. О термокапиллярной конвекции в горизонтальном слое жидкости // ПМТФ. – 1966. – № 3. – С. 69–72.

8. Пухначёв В.В. Теоретико-групповая природа решения Бириха и их обобщения. Симметрии и дифференциальные уравнения // Сб. науч. тр. – Красноярск: РАН. Сиб. отд-ние. Ин-т вычисл. моделирования. – 2000. – С. 180–183.

9. Napolitano L.G. Plane Marangoni Poiseuille flow of two immiscible fluids // Acta Astronautica. – 1980. – No. 7. – P. 461–478.

10. Bekezhanova V.B., Goncharova O.N. Stability of the exact solutions describing the two-layer flows with evaporation at interface // Fluid Dynamics Research. – 2016. – Vol. 48 (6). – 061408. – P. 1–25.

**УДК 517.95 + 532.582**

### **Исследование формирования вынужденных гравитационных волн в канале, покрытом битым льдом**

***К.Н. Завьялова, К.А. Шишмарев***

*АлтГУ, г. Барнаул*

В данной работе исследуется формирование волн в канале покрытом битом льдом, вызванных движением внешней нагрузки. Внешняя нагрузка моделируется гладкой локализованной функцией. Исследуется установившееся решение в системе координат, движущейся вместе с нагрузкой с постоянной скоростью. Битый лед моделируется уравнением тонкой пластины с нулевой жесткостью. Основными уравнениями являются дифференциальное уравнение колебаний битого льда и уравнение Лапласа для потенциала скорости течения жидкости в канале. Данные уравнения замыкаются граничными условиями непротекания на твердых границах канала, кинематическим и динамическим условиями на границе битый лед – жидкость. Предложен алгоритм полуаналитического решения рассматриваемой задачи, где решение представляется в виде аналитических формул, полученных методами аппроксимации подынтегральных функций.