

### Библиографический список

1. Нотт Дж. Ф. Основы механики разрушения. – М.: Металлургия, 1978.
2. Партон В.З., Морозов Е.М. Механика упругопластического разрушения. – М.: Наука, 1985.
3. Саврук М.П. Двумерные задачи упругости для тел с трещинами. – Киев: Наук. думка, 1981.
4. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. – М.: Мир, 1979.

УДК 536.25

## Математическое моделирование двухслойных течений с испарением на основе точных решений

*Е.В. Резанова*

Одним из важных аспектов в изучении конвективных течений жидкостей является исследование влияния эффектов испарения на характер течений [1–3]. В данной работе рассматриваются стационарные течения в системе «жидкость – газ», находящиеся под действием продольных градиентов температуры. Двухслойные течения жидкости и газа в горизонтальном канале с непроницаемыми стенками сопровождаются испарением жидкости с термокапиллярной границы раздела. При моделировании процессов переноса в верхнем слое, состоящем из смеси газа и паров жидкости, учитываются эффекты Соре (термодиффузии) и Дюфура [4].

В качестве математической модели для определения скорости, распределения температуры и давления в нижнем слое системы используются уравнения Навье-Стокса в приближении Обербека-Буссинеска. Для моделирования течения в газо-паровом слое эту систему необходимо дополнить уравнением диффузии. Функции скорости, распределения температуры, давления, а также концентрации пара выстраиваются с помощью точных решений типа Бириха [5], вертикальная составляющая скорости полагается равной нулю, а температура и концентрация линейно зависят от продольной координаты (при этом, продольный градиент температуры и концентрации линейно зависит от поперечной координаты).

На свободной границе раздела выполнены кинематическое и динамические условия, температура удовлетворяет условию теплопереноса через границу раздела с учетом эффекта Дюфура [6–8], а концентрация

– условию баланса масс с учетом эффекта Соре [4]. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса в линеаризованной форме определяет концентрацию насыщенного пара [7, 8]. На твердых непроницаемых границах заданы условия прилипания, температура распределена линейно относительно продольной координаты. На верхней границе поток пара полагается равным нулю.

Построены точные решения задачи тепло-массопереноса с учетом испарения. Представлены профили скоростей и температуры для систем жидкость – газ типа «этанол – азот», «НФЕ-7100 – азот» в условиях гравитации и микрогравитации. Исследовано влияние эффектов термодиффузии и Дюфура на интенсивность испарения жидкости и распределение температуры. Учет влияния потока газа и продольных градиентов температуры на структуру течения также является немаловажным фактором.

На рисунках 1 и 2 представлены профили скорости в системе «НФЕ-7100 – азот» в случаях нормальной ( $981 \text{ см/сек}^2$ ) и слабой ( $9,81 \text{ см/сек}^2$ ) гравитации при различных значениях расхода газа в верхнем слое. Учет эффектов Соре и Дюфура существенно влияет на испарение жидкости с границы раздела сред. Так, при значении расхода газа  $Q = 9 \cdot 10^{-4} \text{ г/(см} \cdot \text{сек)}$  в условиях нормальной гравитации с учетом данных эффектов масса испаряющейся жидкости  $M = 1,17 \cdot 10^{-6} \text{ г/(см}^2 \cdot \text{сек)}$ , а без учета  $M = 1,11 \cdot 10^{-5} \text{ г/(см}^2 \cdot \text{сек)}$ ; при  $Q = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ г/(см} \cdot \text{сек)}$  с учетом эффектов  $M = 3,74 \cdot 10^{-5} \text{ г/(см}^2 \cdot \text{сек)}$ , без учета  $M = 5,73 \cdot 10^{-5} \text{ г/(см}^2 \cdot \text{сек)}$ ; при  $Q = 9 \cdot 10^{-3} \text{ г/(см} \cdot \text{сек)}$  с учетом эффектов  $M = 8,27 \cdot 10^{-5} \text{ г/(см}^2 \cdot \text{сек)}$ , без учета  $M = 1,15 \cdot 10^{-4} \text{ г/(см}^2 \cdot \text{сек)}$ .

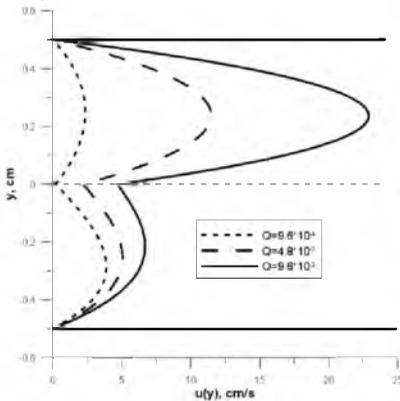


Рисунок 1. Профили скорости в системе «НФЕ-7100 – азот» в случае нормальной гравитации

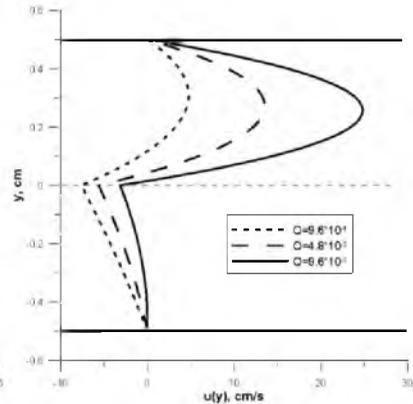


Рисунок 2. Профили скорости в системе «НФЕ-7100 – азот» в случае слабой гравитации

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-08-00163).

### **Библиографический список**

1. Гончарова О.Н. Моделирование течений в условиях тепло- и массопереноса на границе // Известия АлтГУ. – 2012. – № 73 (1/2). – С. 12–18.
2. Гончарова О.Н. Конвективные движения жидкостей под действием сопутствующих потоков газа: математическое моделирование, численные исследования // Омский научный вестник. – 2013. № 1(117). – С. 19–25.
3. Гроот С.Р. Термодинамика необратимых процессов. – М.: Гос. изд. технико-теоретической литературы, 1956. – 281 с.
4. Резанова Е.В. Математическое моделирование двухслойных течений с учетом эффектов Соре и Дюфура // Известия АлтГУ. – 2014 – №81 (1/2) (в печати).
5. Бирих Р.В. О термокапиллярной конвекции в горизонтальном слое жидкости // Прикладная механика и техническая физика. – 1966. – № 3. – С. 69-72.
6. Гончарова О.Н., Резанова Е.В. Моделирование двухслойных течений с учетом испарения на границе раздела на основе точных решений // Известия АлтГУ. – 2013. – № 1/2 (77). – С. 22–27.
7. Гончарова О.Н., Резанова Е.В. Пример точного решения стационарной задачи о двухслойных течениях при наличии испарения на границе раздела // ПМТФ. – 2014. – № 2. – С. 68–79.
8. Goncharova O.N, Hennenberg M., Rezanova E.V., Kabov O.A. Modeling of the convective fluid flows with evaporation in the two-layer systems // Interfacial Phenomena and Heat Transfer – 2013. – Vol. 1. – P. 317–338.

УДК 517.9 + 51-76

## **Метод Аллера–Бриана для описания воздушных потоков у поверхности листа растения с учетом влияния опушения**

*С.А. Саженков*

*ИГиЛ СО РАН, НГУ, Новосибирск  
КРИ Хэйлуцзянского университета, Харбин*

**1. Предисловие.** Работа посвящена построению новой математической модели аэродинамики воздушных потоков у поверхности листа