

сения, названного стартовым, поскольку оно может произойти до того, как сближающиеся литосферные плиты начнут взаимодействовать. Разрушение происходит в связи с появлением в зоне концентрации контактных напряжений сблизившихся литосферных плит сингулярных составляющих [4]. В докладе излагаются новые результаты применения внешней алгебры и внешнего анализа в проблеме оценки возможности стартового землетрясения при вертикальных и горизонтальных воздействиях на литосферные плиты.

Отдельные фрагменты работы выполнены в рамках реализации Госзадания на 2017 г. проекты (9.8753.2017/БЧ) и при поддержке грантов РФФИ (15-01-01379), (15-08-01377), (16-41-230214), (16-41-230218), (16-48-230216), (17-08-00323).

### **Литература**

1. Бабешко В.А., Бабешко О.М. Метод факторизации решения некоторых краевых задач // ДАН. 2003. Т. 389. № 2. С.184–188
2. Бабешко В.А., Евдокимова О.В., Бабешко О.М. О связи факторизационных методов с другими подходами в теории дифференциальных и интегральных уравнений // ДАН. 2015. 2015. N 463, № 1. С. 32–35
3. Бабешко В.А., Бабешко О.М., Евдокимова О.В. К теории блочного элемента // ДАН. т. 427, №2, 2009. С. 183–186
4. Бабешко В.А., Евдокимова О.В., Бабешко О.М. К проблеме физико-механического предвестника стартового землетрясения: место, время, интенсивность // ДАН. 2016. Т. 466. № 6. С. 664–669.

### **Точное решение для одномерного течения газа в гомобарическом приближении**

**Д. М. Балапанов, А. А. Ведерников**

*Microgravity Research Center, Université libre de Bruxelles, Belgium*  
dbalapan@ulb.ac.be

Принято считать, что сжимаемые среды ведут себя аналогично несжимаемым при малых числах Маха. Однако, можно привести ряд течений свойственных только газам, но вызванных медленными, по сравнению с распространением звука, изменениями плотности. Среди них: установившиеся течения с подвижными или проницаемыми границами; тепловое расширение/сжатие у стенки с переменной температурой; потоки типа Стефановского, вызванные химическими реакциями и фазовыми переходами на стенках или взвешенных частицах. Найдены точные аналитические решения, описывающие динамику газов при медленных изменениях плотности.

Решения найдены для одномерной геометрии, что характерно для условий микрогравитации, и симметричных источников и границ. При медленном изменении плотности газа давление в газе можно считать однородным (гомобарическое приближение). При указанных допущениях, уравнение импульса удовлетворяется автоматически [1]. В предположении, что конвективный перенос тепла пренебрежим по сравнению с молекулярным, уравнение энергии переходит в уравнение теплопроводности и решается независимо относительно температуры.

Давление находится из условия сохранения массы во всем объеме среды с использованием уравнение состояния идеального газа для связи плотности с давлением. Явное выражение получается как следствие того, что давление не зависит от координаты и выходит из-под знака интегрирования. Выражение для скорости газа получается из условия сохранения массы в выделенном объеме, как для скорости поверхности, заключающей постоянную массу газа. Таким образом, получаются общие решения для давления и скорости, включающие подвижные границы, источники массы и переменную температуру газа.

В качестве наглядного примера приведем решение для течения газа в плоской щели ширины  $L$ , вызванного изменением температуры стенок  $T_1(t)$  и  $T_2(t)$  во времени [2]. Источники массы отсутствуют. При больших числах Фурье профиль температуры линейный и решение для скорости имеет вид

$$u = L \left( T \frac{\ln(T/T_1)}{\ln(T_2/T_1)} - x T_2 \right) \frac{\dot{T}_2/T_2 - \dot{T}_1/T_1}{T_2 - T_1}, \quad (1)$$

где точкой обозначено дифференцирование по времени  $t$ , а  $0 \leq x \leq 1$  это безразмерная координата поперек щели. Показано, что

при небольших  $\Delta T$  профиль скорости упрощается до параболического:

$$u = \frac{\dot{T}_2 - \dot{T}_1}{2\overline{T}^2} T(x-1)xL, \quad (2)$$

В работе найдены частные решения для различных термических граничных условий, для подвижных и проницаемых стенок, для объемных источников массы, а также для ряда комбинаций данных эффектов. Полученные решения могут быть полезны для валидации численных методов в динамике сжимаемых сред при малых числах Маха. Результаты работы имеют приложение в точных измерениях кинетических коэффициентов и транспортных свойств частиц. Предложенная методика наглядна, и может быть включена в университетские курсы механики сплошной среды, поскольку позволяет получать частные точные решения для ряда постановок с использованием лишь интегрального исчисления. Все полученные решения совпадают с аналогичными численными решениями полной системы уравнений сохранения, выполненными в пакете ANSYS Fluent.

Авторы признательны за поддержку Европейскому Космическому Агентству и Бельгийскому Федеральному Министерству науки и культуры.

### Литература

1. С.Г. Черкасов. Теплофизика высоких температур, Т. 48, Вып. 3, СС. 422–426.
2. A. Vedernikov and D. Balapanov, Phys. Rev. E 94, 053121, 2016.

### Задача о движении нелинейно-вязкой жидкости при условии проскальзывания порогового типа

**Е. С. Барановский**

*Воронежский государственный университет*  
esbaranovskii@gmail.com