4. Алексеев Г. В. Проблема невидимости в акустике, оптике и теплопереносе. Владивосток: Дальнаука, 2016.
5. Алексеев Г. В., Левин В. А., Терешко Д. А. Оптимизационный анализ задачи тепловой маскировки цилиндрического тела // Докл. АН. 2017. Т. 472, N 4. С. 398–402.
6. Алексеев Г. В., Левин В. А., Терешко Д. А. Оптимизационный метод в задачах дизайна сферических слоистых тепловых оболочек // Докл. АН. 2017. Т. 476, N 5.

Термомеханическая модель поведения непроницаемой пористой среды с химически активным наполнителем

М. В. Алексеев, Е. Б. Савенков
ФГУ ФИЦ «Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН»
mikhail.alekseev@phystech.edu

В работе рассматривается самосогласованная математическая модель термомеханического поведения упругой среды, содержащей пустоты, заполненные химически активным веществом [1,2].

Для описания поведения вмещающей пустоты (поры) среды используются уравнения термомеханики, описывающие совместную эволюцию механических и температурных полей.

Процессы в порах описываются сосредоточенной моделью с учетом энерговыделения, химических реакций и условий фазового равновесия. Модель состояния вещества в порах позволяет учитывать произвольное число компонент, которые могут находиться в твердой и трех подвижных фазах (жидкой и газообразной углеводородных и водной). Распределение компонент по фазам определяется термодинамически согласованным способом, при этом любой подвижный компонент может присутствовать в любой из подвижных фаз. Для описания термодинамического поведения компонент и фаз с учетом фазовых переходов используются кубические уравнения состояния, распространенные в инженерной практике.

Указанные группы уравнений дополняются условиями согласования на границах пустот, которые имеют вид условий непрерывности потоков энергии и импульса.

В силу допущений модели поведение системы описывается дифференциальными уравнениями законов сохранения массы компонент и энергии, дополненными алгебраическими уравнениями, описывающими фазовое равновесие системы. Массы компонент изменяются за счет химических реакций, а внутренняя энергия смеси изменяется благодаря притоку тепла из вмещающей среды и тепловому эффекту химических реакций, протекающих в порах. Приток массы через границу пор в данной модели не рассматривается.

Таким образом, полная система уравнений для определения решения задачи состоит из уравнений, описывающих состояние среды; уравнений, описывающих состояние вещества в пустотах и условий согласования на границах пустот. При этом в матрице рассматривается пространственное распределение параметров, описывающих состояние среды, а в пустотах соответствующие параметры являются сосредоточенными. Полная задача описывает процессы с существенно отличающимися характерными временами, протекающие в областях различной пространственной размерности, и является жесткой.

Для численного решения построенной системы уравнений предложен вычислительный алгоритм на основе комбинации метода декомпозиции области и метода расщепления по физическим процессам. При этом для аппроксимации уравнений термоупругости используется метод конечных элементов.

Схема алгоритма для одного шага по времени имеет следующий вид:

1) рассчитывается поле температуры в матрице путем интегрирования уравнения теплопроводности термоупругой модели с известными граничными и начальными условиями;

2) по полученному полю температуры, а также известным давлениям в пустотах и граничным условиям определяются поля перемещений, деформаций и напряжений в среде;

3) производится расчет объема пор исходя из полученного поля перемещений;

4) производится расчет изменения внутренней энергии вещества в порах с использованием ранее рассчитанного на шаге 1) поля температур;

5) производится расчет равновесного состава фаз, температуры и давления вещества в порах, насыщенности фаз и их компонентного состава.

В работе представлены результаты моделирования с использованием разработанного подхода.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 16-29-15078 офи_м.

Литература

1. Алексеев М.В., Кулешов А.А., Савенков Е.Б. Математическая модель поведения непроницаемой пористой среды при температурном воздействии //Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2017. N 35. 34 с.
2. Алексеев М.В., Кулешов А.А., Савенков Е.Б. Термомеханическая модель непроницаемой пористой среды с химически активным наполнителем // Математическое моделирование, 2018 (принята к печати).

О влиянии нестационарного градиента температуры на движение жидкости в канале

В. К. Андреев
Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск
andr@icm.krasn.ru

Изучаются однонаправленные движения жидкости в плоском канале, описываемые формулами

$$\begin{gathered}\mathbf{u}=(U(y,t)0,0), \quad \theta=-A(y,t)x+T(y,t),\\ p=-B(y,t)x+P(y,t).\end{gathered} \tag{1}$$

Стационарные течения при $A\equiv\mathrm{const}$ исследованы уже давно и носят название решений Остроумова – Бириха [1]. В докладе решения вида (1) применяются для анализа движений в модели Обербека – Буссинеска: а) одной жидкости в плоском канале с твёрдыми стенками или верхней свободной границей; б) двух