25. Метод численной гомогенизации гетерогенных сред, основанный на гиперболической термодинамически согласованной модели пористой среды

руководитель группы, д.ф.-м.н. Е.И. Роменский,
Разработка корректных математических и вычислительных моделей флюидопотоков в насыщенных пористых средах (ММЦ, П2.9);
в сотрудничестве с Г.В. Решетовой, ИНГГ СО РАН

Предложен и реализован новый метод оценки эффективных модулей упругости для деформируемых пористых материалов, насыщенных флюидом.

Подход основан на вычислении энергии деформации гетерогенной среды и ее сопоставлении с энергией эквивалентной однородной упругой среды. Гетерогенность описывается с помощью гиперболической термодинамически согласованной модели пористой среды, упрощенной для случая малых деформаций. Модель позволяет рассматривать границы раздела фаз с помощью скачка объемной концентрации, что удобно при наличии областей, занятых либо чисто упругим твердым телом, либо чистым флюидом.

Сравнение численно вычисленной энергии гетерогенной образца среды и его эквивалентного упругого аналога при решении серии простых стационарных задач о напряженно-деформированном состоянии образца, дает возможность определить все компоненты тензора эффективной податливости и затем вычислить тензор эффективной жесткости, а также нужные эффективные скорости распространения волн.

Для численного решения задач равновесия применяется конечно-разностная схема высокого порядка точности на сдвинутых сетках. При этом межфазные границы рассматриваются как диффузные и применяется метод сквозного счета. Стационарные равновесные решения находятся путем установления по времени с использованием метода искусственной релаксации скоростей.

Серия тестовых задач демонстрирует гибкость предложенного метода применительно к различным типам насыщенных пористых сред. Проведено сопоставление с известными теоретическими оценками эффективных модулей для некоторых сред, и показано что вычисленные эффективные модули упругости близки к теоретическим оценкам.

Работа выполнена при поддержке Математического центра в Академгородке, соглашение с Министерством науки и высшего образования Российской Федерации № 075–15–2025–348.

Результат опубликован в работе:

E. Romenski, G. Reshetova A method of computational homogenization of a heterogeneous porous medium based on a hyperbolic thermodynamically compatible model // Journal of Computational and Applied Mathematics, **491**:118064 (2027), DOI:10.1016/j.cam.2026.118064