

## **Численное моделирование эффективных параметров гетерогенных сред.**

*Асс., м.н.с., к.ф.-м.н. Удалов Артем Сергеевич*

*Научный руководитель – д.ф.-м.н., проф. Звягин Александр Васильевич*

*МГУ им. М.В. Ломоносова, Механико-математический факультет,*

*Кафедра Газовой и волновой динамики*

Задачи описания свойств сложных гетерогенных сред возникают во многих областях промышленности. Распространение тепла в телах со сложной внутренней структурой встречается в горнодобывающей отрасли, например, при нефтедобыче, в химической отрасли при поддержании реакций внутри неоднородных тел, в аэрокосмической отрасли при моделировании процессов разрушения, вызванного неравномерным нагревом деталей конструкций с внутренними дефектами, а также во многих отраслях, в которых используются композитные материалы. Понять свойства подобных сред можно, проведя многочисленные эксперименты, однако на это требуются серьезные ресурсы и дорогостоящее оборудование. Поэтому на практике нередко прибегают к математическому моделированию. Среди основных методов решения можно выделить аналитические и численные. Получить точное решение удастся в малом числе случаев простейшей геометрии, используя методы осреднения или предположения о периодичности структуры. Для рассмотрения действительно сложных структур и получения локального поведения сред используют вычислительные мощности компьютеров. Самым распространенным подходом к моделированию является метод конечных элементов. При его использовании, учитывая масштабы рассматриваемых тел, для достижения приемлемой точности требуются большие затраты ресурсов. Из-за этого в настоящее время активно разрабатываются методы способные при ограниченных компьютерных мощностях показывать высокую эффективность. Одним из таких вариантов является использование глубокого машинного обучения, который получил популярность в последнее время. Другим альтернативным подходом могут служить различные виды методов граничных элементов. Одна высокопроизводительная вариация этих методов представлена в данной работе для моделирования процессов теплопроводности гетерогенных сред. Она относится к непрямым методам граничных элементов и при помощи использования предварительно найденных базовых аналитических решений модельных задач теплопроводности позволяет получить решение в форме конечного функционального ряда. Точность метода продемонстрирована путем сравнения с хорошо известными решениями других авторов. Метод

позволяет получать распределение поля температур и плотности тепловых потоков в любой точке рассматриваемого тела, а также вычислять эффективные параметры материалов с высокой точностью при сравнительно малых затратах времени расчетов с использованием обычных персональных компьютеров средней мощности. С его помощью исследована зависимость эффективного коэффициента теплопроводности от объемного содержания и взаимного расположения теплоизолированных пор и трещин.