ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

INTERNATIONAL WORKSHOP

**«Multiscale Biomechanics and Tribology
of Inorganic and Organic Systems»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»

DOI: 10.17223/9785946218412/216

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ГЕТЕРОГЕННОМ МАТЕРИАЛЕ
С ПРЯМЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ ЕГО МИКРОСТРУКТУРЫ**

¹Алексеев М.В., ¹Савенков Е.Б., ¹Березин А.В., ¹Марков М.Б., ²Садовничий Д.Н.

¹ИПМ им. М. В. Келдыша

²ФГУП ФЦДТ «Союз»

Создание материалов с заданными свойствами является актуальной научно-технической задачей. Ее основная цель - создание материалов, обеспечивающих заданные функциональные характеристики материала при заданных внешних воздействиях на него.

Оптимальный вариант параметров и технологии изготовления материала с заданными свойствами выбирают на основе анализа, сочетающего экспериментальные исследования с математическим моделированием. В настоящее время при моделировании композитных материалов чаще всего применяются различные методики усреднения их структуры и свойств. Эти подходы позволили получить множество практических результатов. Однако такие модели эффективны при анализе свойств образцов материалов на пространственных масштабах не меньших, чем масштаб усреднения. В то же время ряд важных процессов принципиально не могут быть проанализированы таким способом и требуют детального анализа процессов на масштабе (микро)неоднородностей. К таким процессам чаще всего относятся «дискретные» события типа разрушения или заполнение пор композита, электрического пробоя и т.д. Реалистичное математическое моделирование внешних возмущений в материале гетерогенного типа требует прямого учета его структуры на микроуровне. Такие задачи являются крайне сложными ввиду необходимости рассмотрения сеточных моделей образцов материала большой размерности. Естественным способом их решения является применение методов вычислительного эксперимента с использованием суперкомпьютеров.

Настоящая работа посвящена математическому моделированию процесса распространения электромагнитного поля в сложно устроенном материале с прямым разрешением его микроструктуры. В качестве объекта исследования выбран синтетический гетерогенный материал сложной (микро)структуры с изолированными включениями. Включения имеют форму сфер с существенно различающимися размерами и электрофизическими свойствами (диэлектрики и проводники). Геометрическая модель образца материала, то есть конкретного размещения внутри него сферических включений с заданными геометрическими свойствами, построена с помощью алгоритма Любачевского-Стилиджера [1,2].

Динамика распространения электромагнитных полей описывается в рамках полной нестационарной системы уравнений Максвелла. Результаты расчетов позволяют получить как непосредственно динамику электромагнитных полей, так и выполнить оценку влияния неоднородности материала и его гранулометрических характеристик на распространение электромагнитного поля. В общем случае микроструктура материала и его макроскопические свойства определяется распределением включений по размерам, форме и ориентации, а также объемной долей включений. Поэтому рассмотрены оценки влияния неоднородностей для регулярных сред, полученные экспериментальным путем [3], а также численно [4]. Проведено сравнение результатов расчета в неоднородной гетерогенной среде и соответствующих данных для гомогенных сред с эффективными параметрами (рис.1).

Для обсуждения этих вопросов поставлен ряд вычислительных экспериментов с различными электрофизическими характеристиками включений.

Применение разработанных программных комплексов представлено в виде результатов, полученных на вычислительном кластере К-100 в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 17-01-00301.

Рис.1. Распределение электрического поля. Сечение вдоль плоскости XZ, $Y = 0.0055$ см, $t = 0.1$ нс. На рисунке справа синяя линия соответствует распределению поля вдоль белой линии правого рисунка.

1. О моделировании радиационно-индуцированных термомеханических эффектов в гетерогенных материалах сложной дисперсной структуры / М.В.Алексеев [и др.] // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2019. No 32.
2. Packing hyperspheres in high-dimensional Euclidian spaces, Skoge, Donev, Stillinger, Torquato, 2007
3. Mendelson K. S. A theorem on the effective conductivity of a two-dimensional heterogeneous medium // J. Appl. Phys. 1975. V. 46, N 11. P. 4740, 4741
4. O. Pekonen, K. Kärkkäinen, A. Sihvola, and K. Nikoskinen, "Numerical testing of dielectric mixing rules by FDTD method," J. Electromagn. Waves Applicat., vol. 13, pp. 67–87, 1999.