

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Кутищевой Анастасии Юрьевны «Математическое моделирование стационарных процессов электропроводности и упругой деформации в трехмерных гетерогенных средах с включениями», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Развитие современного материаловедения является одним из важных приоритетов мирового технологического прогресса в последние три десятилетия. Фактически сегодня создаются материалы, которых не знала природа. Практически во всех случаях здесь речь идет о гетерогенных, композитных, микро- и наноструктурированных материалах. Создание таких материалов по понятным причинам требует проведения весьма сложных экспериментов, интерпретация которых в ряде случаев затруднена. Чрезвычайно сложным и дорогостоящим оказывается выполнение таких экспериментов, в ряде случаев вызывает затруднение даже их постановка. В этой ситуации предварительное математическое моделирование является совершенно необходимым элементом создания новых материалов. Более того, даже после успешного завершения экспериментов по разработке нового материала, снова необходимо проведение систематического математического моделирования, поскольку только его результаты помогут оптимизировать разрабатываемую структуру материала и соответствующий технологический процесс. Фактически с близкой задачей мы сталкиваемся при анализе и описании свойств сложных неоднородных горных пород, исследование которых является чрезвычайно важным элементом разведки и разработки различных полезных ископаемых, включая нефть и газ. Целью данной диссертации и является создание математического инструментария для расчета эффективных удельного электрического сопротивления и тензора упругости гетерогенных сред с микровключениями, характерных для горных пород. Таким образом, тематика диссертации,

конечно, **актуальна**. Ее актуальность в целом обусловлена, как возможным практическим применением полученных результатов, так и получением необходимых фундаментальных знаний. Последнее делает данную диссертационную работу **теоретически важной**. **Практическая важность** таких исследований также вполне очевидна, поскольку полученные данные можно непосредственно использовать при геологическом и геофизическом изучении различных коллекторов.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Во введении сформулированы цель и задачи диссертации, основные положения, выносимые на защиту. Вместе с тем стоит отметить чрезмерную его лаконичность. Фактически во введении отсутствует мотивация данной постановки цели диссертационной работы и ее конкретных задач. Не ясно также, почему выбраны те или иные методы и технологии их решения. Вызывает вопрос и тематическая разнородность решаемых задач, с одной стороны это электрические свойства среды, а с другой, – механические.

Первая глава носит обзорный характер. Фактически здесь определяется, что диссертант понимает под гетерогенной средой и обсуждаются известные методы их описания, включая гомогенизацию и многомасштабные методы. Однако эта глава также не отвечает на вопрос о выборе диссертантом цели диссертации и соответствующих задач. Это хорошо иллюстрируют выводы к главе 1, фактически не содержащие никаких выводов.

Обзорной по существу является и вторая глава, посвященная изложению некоторых сведений об описании стационарных электрических полей и стационарной изотермической упругой деформации твердого тела. Здесь сформулированы основные, использующиеся в дальнейшем математические модели распределения скалярного потенциала в среде с включениями под действием постоянного тока и квазистационарной изотермической упругой деформации твердого тела с включениями при воздействии внешнего нагружения различных типов.

Первой содержательной главой является третья. Здесь анализируется формирование функциональных иерархических пространств в многомасштабном методе конечных элементов на тетраэдральных носителях, в гетерогенном много-

масштабном методе конечных элементов на полиэдральных носителях и в расширенном методе конечных элементов на тетраэдральных носителях. Для каждого из методов выписаны соответствующие непрерывные и дискретные иерархические вариационные постановки, предложены технологии построения функций формы и сборки матриц для систем линейных алгебраических уравнений. На каждом уровне иерархии используются неструктурированные адаптивные сеточные разбиения. Формальным недостатком этой главы является введение большого числа подразделов, что затрудняет чтение диссертации и не позволяет ясно проследить их взаимосвязь. Так, например, подраздел 3.1.1 состоит из трети страницы, 3.1.2 – две трети и т.д. В результате весь раздел носит "кусочно-гладкий" характер. Помимо этого, не ясно, как физически вводится грубая и мелкая сетка, как различаются масштабы. Каким малым параметром можно описать строящуюся иерархию. Кроме того, вполне возможно было бы построить не двухмасштабную, а многомасштабную схему.

Верификация предлагаемых вычислительных схем проведена на сопоставлении с решением соответствующей задачи классическим методом FEM на подробной сетке. Однако, строго говоря это не является верификацией, поскольку не ясна в данном случае и точность последнего. Значительно разумнее выполнена верификация в двух других разделах этой главы.

В четвертой главе анализируется влияние физических свойств включений и матрицы на эффективный тензор упругости и на эффективное удельное электрическое сопротивление. Здесь выполнены достаточно систематические расчеты влияния на электрофизические свойства рассматриваемых гетерогенных сред ее различных свойств, включая концентрацию и форму включений. Однако вывод делается достаточно тривиальный о том, что электрофизические свойства среды (концентрация, ориентация, форма включений) оказывают значительное влияние на эффективное удельное электрическое сопротивление (УЭС). Правда отмечается, что для смеси включений с различными УЭС имеет место несколько скачкообразных изменений эффективного УЭС среды. К сожалению, фактически не ис-

следовано, чем конкретно они порождаются, не ясно, можно ли их предсказывать.

Странно, что представленные данные не указывают на влияние свойств гетерогенных образцов на эффективный тензор упругости. Из физических соображений ясно, что такое влияние должно быть.

Пятая глава посвящена описанию различных структурных частей разработанных программных комплексов, в частности, процедуры параллельных вычислительных схем численной гомогенизации и алгоритмов многомасштабных методов. Следует отметить, что программные комплексы достаточно сложные, они вполне разумно организованы и описаны. Некоторым недостатком этой главы является странный вывод о «почти линейном ускорении, то есть при увеличении количества ядер в k раз время решения уменьшается почти в k раз». Рис. 5.16 (см. также рис. 5.19), однако, свидетельствует о нелинейной зависимости. Кроме того, 4–12 ядер для этой цели, по-видимому, не достаточно. Так что качество процедур распараллеливания в значительной мере остается не ясным.

В заключении сформулированы основные полученные в диссертации выводы. В целом диссертационная работа Кутищевой А.Ю. написана неплохим языком, решен широкий класс задач, возникающий при моделировании различных свойств структурно неоднородных сред. Здесь систематически исследованы, модифицированы и программно реализованы алгоритмы вычисления эффективного тензора упругости, квазихрупкого распространения трещин при упругой деформации твердого тела и эффективного удельного электрического сопротивления. Получен ряд интересных и важных результатов, описанных выше. Однако диссертация помимо уже указанных имеет и несколько недостатков редакционного свойства.

- Нетрадиционная организация цитирования (см., например, [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39],[16], [40]) затрудняет чтение диссертации. Цитирование принято выполнять так: [16, 33–40].
- Использование явного жаргона: "многофизичные задачи".

- Явно неудачные обозначения в уравнении (1.1) и далее A^ε (и другие подобные), где параметр мелкости включений можно перепутать со степенью и тогда это уравнение теряет физический смысл.

Несмотря на это следует отметить, что в диссертации получен ряд указанных выше **новых результатов. Достоверность и обоснованность результатов и выводов** подтверждается использованием проверенных технологий математического моделирования, согласованием полученных данных с рядом известных решений и другими известными данными. Полученные результаты вполне достаточно опубликованы и докладывались на многих всероссийских конференциях, хорошо известны отечественным специалистам.

Текст автореферата вполне соответствует содержанию диссертации. Недостатком реферата является то, что в нем не дифференцированы уже известные, в том числе и классические, результаты и оригинальные.

Автор диссертации продемонстрировала хорошее владение различными разделами вычислительной математики, включая математическое моделирование, численные методы и создание программных комплексов. Кроме того, выполнение данной диссертации потребовало достаточно глубоких знаний ряда разделов физики и механики.

Тема и содержание диссертации соответствуют специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ по областям исследования: «Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений» (п. 1 паспорта специальности), «Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий» (п. 3 паспорта специальности), «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента» (п. 4 паспорта специальности). В ней присутствует необходимая триада: математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Таким образом, данная диссертация удовлетворяет критериям, установленным п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней (постановление Правительства РФ от 24.09.13 г. № 842)», а ее автор Кутищева Анастасия Юрьевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент,

доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)»

Рудяк Валерий Яковлевич

Адрес: Новосибирск, Ленинградская, 113

Телефон: 8 383 2668014

e-mail: valery.rudyak@mail.ru

Handwritten signature

05.06.2019

