

ОТЗЫВ

официального оппонента – доктора геолого-минералогических наук
Куликова Виктора Александровича на диссертацию Вагина Дениса Владимировича
«Методы и реализующее их программное обеспечение для решения трехмерных
прямых и обратных задач геоэлектромагнетизма, термоупругости и многофазной
фильтрации», представленную на соискание ученой степени доктора технических
наук по специальности
05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы
и комплексы программ

Полезность математического моделирования при решении реальных практических задач существенным образом связана с адекватностью используемых математических моделей реальным физическим процессам. Одной из наиболее важных составляющих адекватного моделирования является учет трехмерной геометрии моделируемых объектов и их свойств, например, анизотропных. На сегодняшний день существует довольно много как универсальных, так и специализированных пакетов решения различных трехмерных задач. Однако при решении практических задач их применение часто затруднено и в лучшем случае носит завершающий (уточняющий) характер, в то время как основная работа выполняется с помощью программных комплексов, использующих упрощенные постановки. Использование упрощенных подходов позволяет существенно ускорить обработку данных, но в сложных случаях может приводить к неверным результатам.

Эта проблема особенно актуальна при решении обратных задач, так как в этом случае общий объем вычислительной работы при полноценном трехмерном моделировании чрезвычайно высок. К таким задачам относятся и рассматриваемые в диссертационной работе Вагина Д.В. задачи геоэлектрики и обратные задачи многофазной фильтрации.

Какая бы задача ни решалась, необходимо учитывать то, что специалист-производственник не может достаточно глубоко понимать вычислительные аспекты используемых методов. Поэтому важна проблемная ориентированность разрабатываемых программных комплексов и максимальная автоматизация всех этапов решения задачи. Лишь в этом случае математическое моделирование может стать эффективным инструментом решения сложных производственных задач и развития новых технологий.

Таким образом, данная работа, целью которой является разработка высокоточных, но при этом вычислительно эффективных методов решения трехмерных прямых и обратных задач геоэлектромагнетизма, обратных задач многофазной фильтрации и прямых задач термоупругости с учетом анизотропных свойств моделируемых сред и материалов, а также создание на их основе проблемно-ориентированных программных комплексов, безусловно, **актуальна**.

Степень обоснованности научных положений и выводов. Основные научные положения и выводы диссертационной работы отражают предложенные автором подходы к решению трехмерных задач геоэлектрики, многофазной фильтрации и термоупругости в сложных средах с анизотропными свойствами.

Предлагаемые в диссертационной работе методы конечноэлементного моделирования геоэлектромагнитных полей позволяют выполнять расчеты трехмерных полей в сложно построенных средах для различных типов контролируемых источников и для источника в виде магнитотеллурических токов. Вычислительные схемы основаны на применении технологии разделения поля на первичное (поле источника в горизонтально-слоистой среде) и вторичное (добавочное поле, определяемое трехмерными аномалиями). При этом используются нерегулярные несогласованные сетки. Для расчета полей индукционной вызванной поляризации разработана вычислительная схема, основанная на использовании функции спада ЭДС ВП. В диссертации на множестве примеров для всех типов рассматриваемых задач приводятся сравнения с результатами, полученными как с использованием разных способов решения этих задач, так и другими авторами. Выполненные верификации в достаточной степени подтверждают обоснованность полученных научных результатов и выводов.

Для решения обратных задач геоэлектромагнетизма и многофазной фильтрации используется метод Гаусса-Ньютона и геометрическая параметризация восстанавливаемой среды. Для этого разработаны специальные методы расчета производных по искомым параметрам обратной задачи, набор локальных и глобальных ограничений на эти параметры, реализуемых с помощью адаптивной регуляризации, и специальная схема решения обратной задачи при наличии дискретно-определенных геометрических параметров. Корректность и высокая эффективность предложенных методов подтверждена многими численными экспериментами, проведенными как для модельных, но вполне реалистичных сред, так и решениями сложных практических задач.

Таким образом, научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, можно считать вполне обоснованными. Основные результаты диссертации в достаточной степени опубликованы в рецензируемых изданиях и представлены на российских и международных научно-практических конференциях. Всего по теме диссертации опубликовано 55 научных работ. Среди них в изданиях, рекомендуемых ВАК для защиты докторских диссертаций, 12 научных публикаций. 34 научные публикации проиндексированы в международной системе цитирования Scopus, в том числе 12 публикаций в журналах первого и второго квартиля. 26 научных публикаций проиндексированы в международной системе цитирования Web of Science, в том числе 5 публикаций в журналах первого и второго квартиля.

Оценка новизны и достоверности

1. Предложенная новая вычислительная схема расчета трехмерных геоэлектромагнитных полей с учетом кривизны геологических слоев обладает высокой вычислительной эффективностью и за счет этого существенно расширяет возможности моделирования и оценки различных технологий электроразведки. Высокая вычислительная эффективность предложенной схемы и достоверность получаемых при ее применении результатов подтверждены сравнениями с решениями, полученными с использованием других подходов (аппроксимации изогнутых границ слоев на прямоугольных сетках) и другими авторами, которые использовали для дискретизации сред с изогнутыми границами слоев тетраэдральные конечные элементы.

2. Предложенная вычислительная схема для расчета поля индукционной вызванной поляризации, реализованная во временной области, позволяет использовать различные функции спада ЭДС ВП. Ее достоверность и эффективность подтверждены сравнением с расчетом, основанным на использовании модели ВП в частотной области, и с результатами других авторов.

3. Предложена новая схема выполнения многомерных инверсий в задачах геоэлектромагнетизма и нефтедобычи, основанная на геометрической параметризации. Для этой схемы разработаны специальные способы регуляризации и расчета производных для искомых параметров обратной задачи. Достоверность результатов, полученных разработанной схемой, обоснована вычислительными экспериментами на множестве модельных задач и обработкой практических данных, подтвержденной данными бурений.

4. Разработанные программные комплексы существенно расширяют возможности решения наиболее сложных задач геоэлектромагнитных зондирований и предоставляют новые возможности построения цифровых моделей нефтяных месторождений на основе решения трехмерных обратных задач многофазной фильтрации.

Замечания

1. Автором предлагаются подходы к 3D-интерпретации данных геофизических зондирований и формулируются основные этапы ее выполнения. При этом не совсем понятно, например, откуда берется стартовая модель (например, количество слоев), используется ли для ее построения 1D-инверсия или другая априорная информация, такая как данные сейсморазведки и др.

2. В работе в части решения прямых задач достаточно много внимания уделяется анизотропии среды, при этом не совсем понятно, как она учитывалась при решении обратных задач.

3. В работе рассматриваются методы геометрической 3D-инверсии для восстановления удельного сопротивления среды, но не рассматриваются другие геофизические методы, например, магниторазведка и гравиразведка. Будет ли применение геометрической инверсии столь же эффективным для этих технологий?

Заключение

Диссертация содержит новые значимые результаты в области 3D-инверсий данных различных технологий электроразведки и построения цифровых моделей нефтяных месторождений на основе решения трехмерных обратных задач. Предложенные подходы реализованы в программных комплексах, использование которых существенно расширяет возможности поиска различных целевых объектов в сложных геоэлектрических условиях и повышает достоверность прогнозов, необходимых для эффективной разработки нефтяных месторождений. Практическая значимость полученных результатов подтверждается пятью актами внедрения.

В целом, диссертация выполнена на высоком уровне, является законченным научным исследованием и имеет важное практическое значение. Научные положения в достаточной степени обоснованы, достоверность полученных результатов не вызывает сомнений. В автореферате отражено основное содержание, идеи и выводы диссертации.

Диссертационная работа «Методы и реализующее их программное обеспечение для решения трехмерных прямых и обратных задач геоэлектромагнетизма, термоупругости и многофазной фильтрации» отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациями, а ее автор Вагин Д.В. заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент,
доктор геолого-минералогических наук, доцент,
профессор кафедры «Геофизических методов исследования земной коры» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
специальность: 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых, геолого-минералогические науки

Дата: 27.06.2022 г.

В.А. Куликов

Адрес организации:
119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ имени М.В.Ломоносова)
Сайт: <https://www.msu.ru>
E-mail: info@rector.msu.ru
Тел.: 8 (495) 939-10-00
Подпись д.г.-м.н., доц. В.А. Куликова заверяю:

*Отзыв поступил
в совет 8.07.2022.*

*С отзывом ознакомлен Вагин
8.07.2022*