

Отзыв официального оппонента
на диссертацию Дмитрия Михайловича Молодцова
“Совместная инверсия сейсмических, магнитотеллурических и гравиметрических
данных с использованием структурных ограничений”,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 25.00.10 – геофизика,
геофизические методы поиска полезных ископаемых

Работа посвящена развитию методов совместного обращения сейсмических, магнитотеллурических и гравиметрических данных.

Развитие вычислительной техники и численных методов привело к тому, что решение обратных двух- и трёхмерных задач стало одним из стандартных инструментов при интерпретации геофизических данных. Совместная интерпретация данных различной природы позволяет повысить качество геофизического прогноза, и, в случае сложнопостроенных сред, является производственной необходимостью. Проблема совместной интерпретации многометодных данных путём решения совместных обратных задач находится в фокусе внимания современной геофизики, о чём свидетельствует большое количество публикаций в профильных журналах, а также финансирование разработок в этой области со стороны коммерческих компаний. Эта задача сложна из-за разномасштабности обрабатываемых данных и большой вычислительной сложности. До настоящего времени не выработано устойчивых методик выполнения совместной инверсии, хотя количество предложенных подходов огромно. В представленной диссертации изучается класс подходов, основанных на структурных ограничениях, и делается попытка построения эффективных методов обращения сейсмических, магнитотеллурических и гравиметрических данных. Таким образом, тема диссертационной работы является актуальной; цели и задачи исследования современны и соответствуют существующим тенденциям.

Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения и списка литературы, объём – 102 страницы.

Основная научная ценность работы заключается в том, что выполнено сравнительное изучение нескольких структурных ограничений для задачи совместного обращения данных для двух (трёх) типов данных. Некоторые структурные ограничения предложены автором, такие как ограничения, учитывающие знак корреляции моделей; другие являются модификациями ранее предложенных функционалов, например функционал совместной полной вариации и совместного минимального носителя.

Практическая ценность работы состоит в том, что построены алгоритмы обращения, выполнены численные эксперименты и эмпирически оценены свойства алгоритмов обращения разнородных данных на реалистичных моделях. Полученные результаты уже можно использовать, по крайней мере, в двумерном случае, для построения промышленных алгоритмов совместной инверсии.

Защищаемые положения сформулированы четко, без логических противоречий, несут конкретную содержательную информацию. Степень обоснованности положений различается. Рассмотрим каждое в отдельности:

1.Комплексирование сейсмической томографии, магнитотеллурики, гравиметрии и гравитационной градиентометрии посредством совместной инверсии со структурными ограничениями улучшает восстановление скорости продольных волн, удельного сопротивления и плотности.

Доказательство этого защищаемого положения выполнено численно на нескольких примерах. Автором построен алгоритм минимизации двумерных данных, основанный на безусловной минимизации Гаусса-Ньютона, где на каждом шаге возникающая СЛАУ решается методом сопряжённых градиентов с предобуславливателем Якоби. Представленные аргументы вполне убедительны и хорошо согласуются с общепринятыми представлениями.

2.Структурные ограничения, учитывающие априорную информацию о знаке корреляции скорости и удельного сопротивления, позволяют улучшить восстановление данных параметров по сравнению с ограничением кросс-градиента.

Доказательство этого защищаемого положения также выполнено численно на нескольких примерах. С приведёнными аргументами можно согласиться. Оппонент отмечает, что большое количество «настроечных» параметров алгоритма минимизации затрудняют обобщение полученных результатов на случай другого набора геофизических методов. Некоторые теоретические оценки, даже самые общие, могли бы дополнить представленную картину.

3.Предложенный многосеточный алгоритм, использующий полностью независимые квазирегулярные сетки для сейсмической томографии, МТ и структурных ограничений, позволяет повысить эффективность совместной инверсии благодаря учёту топографии/батиметрии, разной разрешающей способности, глубинности и геометрии систем наблюдений сейсмике и МТ.

Под термином «многосеточный алгоритм» автор понимает использование независимых сеток для моделей разных типов, отдельной сетки, на которой вычисляются операторы структурных ограничений, а также операторов интерполяции между сетками. Этому посвящён раздел 2.2 и глава 3, в которой этот подход применяется для построения алгоритма минимизации. Научная новизна данного пункта заключается в особенностях реализации операторов интерполяции. Этот подход позволяет строить оптимальные сетки для каждого метода независимо, что повышает качество и скорость совместной инверсии. Представленные диссертантом результаты вполне убедительны.

4.Структурные ограничения, основанные на смешанной $L_{1,2}$ норме и функционале с совместным минимальным носителем, приводят к эффективному алгоритму двумерной совместной инверсии с произвольным количеством геофизических методов и моделей среды.

Для доказательства этого защищаемого положения автор построил и программно реализовал алгоритм минимизации на основе итераций Гаусса-Ньютона (во многом сходного с алгоритмом из первого защищаемого положения, но дополненного регуляризацией соответствующего вида) и выполнил ряд численных экспериментов. Обращались времена первых вступлений, кажущиеся удельные сопротивления и фазы МТ импеданса для двух поляризации, а также данные

гравиметрии и градиентометрии. Инвертировались синтетические данные от двумерных моделей с добавлением шума. Результаты представляются вполне убедительными. При анализе представленных данных у оппонента возник следующий вопрос. Судя по рис. 3.6, невязка гравитационных и МТ данных перестают значительно меняться после 3-й и 4-й итерации, соответственно. Последующие изменения моделей происходят исключительно под влиянием минимизации невязки сейсмических данных. Влияет ли различная скорость сходимости функционалов невязки различных типов на финальные модели среды?

Несмотря на сделанные замечания, в целом диссертация написана ясным языком и свидетельствует о том, что автор хорошо разбирается в предмете исследований. В работе представлены результаты, которые уже могут быть использованы для создания промышленных алгоритмов обращения разнометодных данных. Особенно следует отметить публикацию соискателя в высокорейтинговом журнале *Geophysical Prospecting*, в которой изложены результаты второй главы диссертации. Подобные факты нехарактерны для кандидатских геофизических диссертаций и свидетельствует о том, что соискатель вполне сформировался, как научный работник.

Оппонент считает, что работа Д. М. Молодцова представляет собой полноценную кандидатскую диссертацию, которая выполнена на актуальную тему и содержит новые результаты в области решения совместных обратных задач, которые имеют существенное значение для геофизики. Диссертация соответствует критериям, установленным п.9 Положения о присуждении учёных степеней (утверждено Правительством Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842) для учёной степени кандидата наук, а её автор Д.М. Молодцов достоин присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник Лаборатории прикладной вычислительной геофизики
Московского физико-технического института (МФТИ),
ассистент кафедры Информатики и вычислительной математики МФТИ

Михаил Сергеевич Маловичко

141707, г. Долгопрудный, ул. Первомайская, д. 5, к. 202, 8(495)4084554,
malovichko.mikhail@gmail.com

10.10.2017

Подпись РУКИ
ЗАВЕРЯЮ:
ЗАВЕДУЮЩАЯ КАНЦЕЛЯРИЕЙ
АДМИНИСТРАТИВНОГО ОТДЕЛА
М.А.ГУСЕВА

