

## **ОТЗЫВ**

Официального оппонента на диссертационную работу

Иванова Дьулуса Харламповича

«Численные методы решения прямых и обратных задач гравиметрии»  
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и  
комплексы программ

В диссертационной работе Иванова Дьулуса Харламповича разработаны и исследованы методы решения прямых и обратных гравиметрических задач. В прямой задаче гравиметрии по расчету гравитационного поля заданного материального тела исследованы алгоритмы на основе вычисления объемных и поверхностных интегралов, а также на основе решения краевых задач для уравнения Пуассона в ограниченной области, объемлющей тело. Для решения обратной задачи гравиметрии предложен вычислительный алгоритм решения краевой обратной задачи для эллиптического уравнения по восстановлению кусочно-постоянной правой части.

### **Актуальность темы диссертации**

В разведочной геофизике, в частности в гравиразведке, необходимо анализировать большой объем данных для адекватной интерпретации гравитационных наблюдений на дневной поверхности или в скважинах, при этом задача определения области залегания рудного тела относится к классу некорректных задач. Это в свою очередь требует разработки новых эффективных методов решения прямых и обратных задач гравиметрии с применением современных вычислительных технологий. Поэтому тема исследования диссертационной работы, безусловно, актуальна.

### **Научная и практическая значимость исследований**

Автором диссертационной работы впервые предложен численный метод расчета элементов гравитационного поля с привлечением вспомогательной краевой задачи для эллиптического уравнения с граничным условием третьего рода в области, содержащей аномалию, и переходом вычислений значений потенциалов простого и двойного слоев, что позволяет уменьшить вычислительную сложность. Разработан вычислительный алгоритм для восстановления кусочно-постоянной правой части эллиптического уравнения по граничному условию переопределения при идентификации неоднородности правой части по изоповерхности решения вспомогательной краевой задачи. Полученные результаты имеют прямое практическое применение в гравиразведке, предложенные идеи могут быть применены в других отраслях разведочной геофизики, прежде всего, в магниторазведке.

### **Структура диссертационной работы**

Диссертация Д.Х. Иванова состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и одного приложения. Список литературы включает 155 наименований, включая 6 работ автора по теме диссертации. Объем диссертации составляет 141 страниц.

Во **введении** дан краткий обзор исследований, связанных с темой диссертации, обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цели и задачи работы, выделены степень научной новизны полученных результатов, кратко описаны методология и методы исследований, перечислены положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** систематизированы численные методы решения прямой задачи гравиметрии. Реализованы и исследованы вычислительные алгоритмы расчета элементов гравитационного поля на основе вычисления объемного интеграла с использованием квадратурной формулы Гаусса и на основе решения краевой задачи для уравнения Пуассона в ограниченной области с помощью метода конечных элементов. Численные эксперименты на модельных задачах показали хорошую точность с аналитическими решениями.

Во **второй главе** предложен новый метод вычисления гравитационного поля на основе решения вспомогательной краевой задачи для уравнения Пуассона. При переходе в ограниченную область применяется граничное условие третьего рода. Для определения элемента гравитационного поля необходимо вычислить поверхностный интеграл по границе расчетной области, что соответствует сумме потенциалов простого и двойного слоев. Для иллюстрации возможностей предложенного метода проведены численные расчеты на модельных задачах, исследованы параметры метода.

В **третьей главе** на примере эллиптического уравнения рассмотрена обратная задача краевой задачи по восстановлению кусочно-постоянной правой части уравнения по граничным данным. При известном граничном условии первого рода в качестве условия переопределения взято условие второго рода. Для приближенного решения обратной задачи автором строится вычислительный алгоритм на основе решения вспомогательной краевой задачи для эллиптического уравнения, решения основной краевой задачи и минимизации функционала квадратичного отклонения приближенных и наблюдаемых величин. Как утверждает автор, вспомогательная задача вводится для получения регуляризованных решений, которые подбираются правой частью вспомогательного эллиптического уравнения. На численных двух- и трехмерных экспериментах исследовано влияние параметра регуляризации, показана устойчивость решений от начального приближения и зашумленности входных данных.

В **четвертой главе** приведено применение разработанных алгоритмов для решения обратной задачи гравиметрии по идентификации области залегания аномального однородного рудного тела. Наблюдения производятся на горизонтальной поверхности, возможен учет данных в вертикальных скважинах, гравитационное поле приближается решением эллиптической краевой задачи в ограниченной области, включающей аномалию. Контур рудного тела определяется изоповерхностью нулевого уровня вспомогательной функции. Приближенное решение обратной задачи находится из минимизации функционала невязки входных данных. Вычисление градиента функционала невязки по параметрам управления производится с помощью пакета *dolphin-adjoint*. На ряде численных расчетов для двухмерных и трехмерных модельных задач автором показана возможность восстановления области залегания рудного односвязного или составного тела по гравитационным наблюдениям на конечном числе точек.

В **заключении** приведены основные результаты диссертации, выносимые на защиту.

### **Степень обоснованности и достоверности**

**Достоверность** полученных диссертантом научных результатов обусловлена применением современных методов вычислительной математики, корректной постановкой вариационных формулировок при решении краевых задач методом конечных элементов, тестированием предложенных вычислительных алгоритмов на модельных задачах с аналитическими решениями.

Диссертация выполнена на высоком научном уровне, материалы диссертации докладывались на научных семинарах и конференциях всероссийского и международного уровней. Полученные результаты по теме диссертации изложены в пяти научных работах в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК и международную систему цитирования Scopus, получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Автореферат достаточно полно и адекватно отражает основное содержание диссертационной работы.

### Замечания по диссертационной работе

1. Из текста диссертации не ясно, какой метод градиентной минимизации применяется в главе 3.
2. Возможно изменение способа остановки итерационного процесса (согласуя значение невязки с уровнем погрешности) позволило бы улучшить качество восстановления области при наличии шума  $\delta$ .
3. В тексте диссертации имеются опечатки.

### Соответствие работы требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям

Диссертация Д.Х. Иванова является законченной научно-квалификационной работой. Диссертация и автореферат написаны ясным языком и хорошо иллюстрированы. Автореферат в полной мере отражает основные научные результаты, сформулированные в диссертации. Диссертационная работа и автореферат оформлены в соответствии с принятыми нормами и соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

### Заключение

Высказанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации. Диссертационная работа «Численные методы решения прямых и обратных задач гравиметрии» по своему содержанию и полученным результатам удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор Иванов Дьбулус Харлампович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

### Официальный оппонент:

кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории климатических испытаний Института проблем нефти и газа СО РАН — обособленного подразделения ФГБУН «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»

Аммосова Ольга Александровна

Дата написания отзыва:

\_\_\_\_\_   
 “ 30 ” марта 2023 г.

Подпись Аммосовой О.А. заверяю:  
Ученый секретарь ИПНГ СО РАН, и

 В. А. Будугаева

