

КЕНЖЕБАЕВА МЕРЕЙ ОМАРОВНА

**ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ГРАВИМЕТРИИ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени
доктора философии (PhD) по специальности
6D060300 – «Механика»

Актуальность темы исследования. Среди основных энергоносителей в современном мире нефть занимает особое место, оставаясь при этом еще стратегически важным продуктом, оказывающим значительное влияние на мировую экономику. Наращивание объемов добычи нефти напрямую зависят от точных данных месторасположения нефти в недрах месторождения.

По энерго и трудоемкости среди основных этапов в добыче нефти можно выделить этап разведки нефтегазового месторождения. Он связан с большими затратами труда, времени и средств. На технико-экономические показатели разведочных работ влияют такие факторы, как точность измерительных приборов и инструментов, организация их режимов работ, влияние окружающей среды на измерения показаний приборов и др. При этом из практики эксплуатации нефтегазовых месторождений известно, что нефть в процессе извлечения может перетекать в соседние пространства под действием давления и других факторов, что весьма усложняет процесс добычи нефти. Происходит это по причине сложных физических процессов и явлений в эксплуатационной работе месторождения, обусловленных техническими, технологическими и геологическими факторами в результате сложного взаимодействия. Большие пространственные перемещения нефти, которые, как правило, носят случайный характер. Воздействие сил атмосферного давления и другие осложняющие факторы. Все они требуют тщательного исследования влияния указанных факторов на динамику движения нефти с целью прогнозирования дальнейших действий при эксплуатации нефтегазового месторождения.

Современное состояние указанных проблем мало изучено. В основном разведочные работы производятся при первоначальной разведке месторождения и не производятся повторно в связи с большими временными и финансовыми затратами. Исходные разведочные данные позволяют существенно сузить круг рассматриваемых проблем и дает лишь их первое приближение, на основе которых можно делать ускоренную разведку. При этом количество гравиметрических данных очень ограничено, усложняя при этом математическую сторону их решения. Имеющиеся математические модели, как правило, не допускают всестороннего качественного и количественного анализа обратных задач гравиметрии. Необходимы разработки современных математических моделей разведки нефтегазовых месторождений с позиций возможности высоко вычислительных средств. Применение современных математических методов их решения с применением высокопроизводительных вычислительных комплексов и пакетов визуализации для анализа динамики нефтяных месторождений в процессе добычи нефти с целью обеспечения

бесперебойных работ по добычи недр.

Таким образом, **актуальность темы исследования** не вызывает сомнений, представляет научный и практический интерес.

Цель работы: разработка математической модели и решение обратной задачи гравиметрии для восстановления плотности полезных ископаемых на основе данных гравитационных измерений (гравиразведки) для нефтегазовых месторождений.

В связи с поставленной целью вытекают **следующие задачи исследования:**

- Математическое моделирование распределения потенциала гравитационного поля в неоднородной среде;
- Разработка алгоритма численного исследования математической модели, его программная реализация и анализ влияния параметров процесса;
- Постановка задачи восстановления плотности гравитационной аномалии по результатам измерения гравитационного поля на внешней поверхности;
- Разработка алгоритма решения обратной задачи гравиметрии для нефтегазовых месторождений и ее программная реализация;
- Численное решение обратной задачи гравиметрии для нефтегазовых месторождений с использованием данных гравиразведки.

Объект исследования. Объектом исследования являются геолого-литологические профили месторождений, гравиметрические данные, применяемые в нефтегазодобывающей промышленности для геодинимического мониторинга нефтегазовых месторождений, изменяющиеся под влиянием внешних сил и окружающей среды.

Предмет исследования. Предметом исследования являются обратная задача гравиметрии нефтегазовых месторождений с учетом осложняющих факторов в процессе добычи нефти.

Методы исследований: методы нелинейной механики деформируемых сред; методы математического моделирования задач геофизики; вариационные методы; современные численные методы информационных технологии; пакеты символьных вычислений для численного моделирования и визуализации технологических процессов; теория прямых и обратных задач; теория обратных задач математической физики; теория оптимального управления.

Научная новизна работы состоит в постановке новых прямых и обратных задач геофизики. Качественный анализ решаемых обратных задач геофизики. Разработка алгоритмов решения обратных задач геофизики и их программная реализация.

Научные положения, выносимые на защиту

- математическая модель распространения гравитационного поля в нефтегазовом месторождении, численное решение задачи и соответствующее программное обеспечение, оценка влияние параметров процесса, определение потенциала гравитационного поля на основе реального геолого-литологического профиля нефтяного месторождения;
- постановка задачи восстановления плотности гравитационной аномалии по результатам измерения гравитационного поля на внешней поверхности, доказательство единственности решения задачи, разработка и программная реализация алгоритма решения обратных задач с использованием градиентного метода и метода Монте-Карло, оценка точности решения

обратной задачи в зависимости от места расположения гравитационной аномалии и ее размеров;

– постановка обратной задачи гравиметрии с данными на внутренней поверхности при наличии двух гравитационных аномалий, разработка и программная реализация алгоритма решения обратной задачи с использованием метода Нелдера-Мида, оценка точности решения обратной задачи в зависимости от взаимного расположения гравитационных аномалий и их размеров;

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и результатов диссертационной работы подтверждается использованием основных фундаментальных законов и соотношений механики деформируемого твердого тела при построении математических моделей; сравнением результатов счета с экспериментальными данными; сопоставлением и удовлетворительным согласованием полученных моделей и результатов исследования с результатами работ других авторов; доказанными теоремами, подтверждающими корректность применяемых математических методов.

Теоретическая и практическая значимость исследования.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке новых математических моделей распределения гравитационного поля в нефтегазодобывающем пласте, в развитии методов идентификации этих моделей и алгоритмов решения соответствующих прямых и обратных задач гравиразведки. Результаты диссертационной работы могут быть использованы для мониторинга действующих нефтегазовых месторождений на основе гравиметрических измерений и проектирования новых месторождений полезных ископаемых. Разработанные методы и их программная реализация могут быть использованы также для решения различных задач компьютерной томографии.

Практическая значимость диссертационных исследований состоит в том, что применение современных методов математического моделирования и компьютерных технологий максимально приближает полученные результаты к реальным процессам, позволяет с высокой точностью прогнозировать значение плотности аномалии нефтегазового месторождения, обеспечивая эффективную и надежную подземную картину нефтегазодобывающей отрасли.

Связь данной работы с другими научно-исследовательскими работами. Данная работа выполнена в рамках проектов программы грантового финансирования фундаментальных исследований в области естественных наук «Разработка геоинформационной системы для решения задачи гравиметрического мониторинга состояния недр нефтегазоносных районов Казахстана на основе высокопроизводительных вычислений в условиях ограниченного объема экспериментальных данных» (2018- 2020 гг., AP05135158-OT-19).

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих мероприятиях:

– научные семинары Института механики и машиноведения имени У.А. Джолдасбекова (2017 - 2023 гг., Алматы);

– Международная конференция «Inverse Problems in Finance, Economics and Life Sciences» (КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, декабрь 2017 г.);

- V Международная конференция «Фарабиевские чтения» (КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, апрель 2018 г.);
- Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы информатики, механики и робототехники. Цифровые технологии в машиностроении» (ИММаш им. У.А. Джолдасбекова, Алматы, Казахстан, октябрь 2018 г.);
- Десятая международная молодежная научная школа-конференция «Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач» (НГУ, Новосибирск, Россия, октябрь 2018 г.);
- XIII международная конференция «Параллельные вычислительные технологии» (Калининград, Россия, апрель 2019 г.);
- Одиннадцатая международная молодежная научная школа-конференция «Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач» (НГУ, Новосибирск, Россия, август 2019 г.);
- Традиционная международная апрельская математическая конференция в честь Дня работников науки Республики Казахстан, посвященная 1150-летию Абу Насыр аль-Фараби и 75-летию Института математики и математического моделирования. (Алматы, Казахстан, апрель 2020 г.);
- научные семинары кафедры Механики КазНУ им. аль-Фараби (2017–2020 гг., Алматы).

Публикации. По теме диссертации автором было опубликовано 15 работ, в том числе 2 публикации в научных изданиях, входящих в перечень рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК для публикации основных результатов научной деятельности; 4 публикации в научных журналах индексируемой базой данных Scopus; 9 публикаций в трудах зарубежных и отечественных научных конференций, среди которых 1 публикации в материалах зарубежных конференций, 4 публикации в трудах всероссийских научных конференций, 4 публикации в материалах отечественной конференции.

Личный вклад автора. Основные результаты исследований, изложенные в диссертационной работе, получены автором самостоятельно. В совместной статье соискателем была проделана основная часть работы, соавторы участвовали в постановке задачи и обсуждении результатов. Отечественным научным руководителем Серовайским С.Я. была поставлена задача, соискателю Кенжебаевой М.О. принадлежит численная реализация модели, ее качественный и количественный анализ и обсуждение результатов. В работах соавторам принадлежит постановка задачи и реализация метода Монте-Карло, соискателю – численная реализация модели и анализ результатов. В статьях соискатель внес вклад в построении модели и анализ результатов с соавтором Тойганбаевой Н.А.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из титульного листа, содержания, обозначений и сокращений, введения, четырех разделов, заключения, списка использованных источников из 70. Общий объем диссертации составляет 106 страниц, включая 13 иллюстрации и 21 таблицу.

Основное содержание диссертации

Во введении отражены следующие моменты: актуальность темы диссертационного исследования, основная цель работы, объект, предмет и методы исследования, научная новизна, научно-практическое значение диссертационной работы, степень ее разработанности.

В первой главе описывается современное состояние исследуемой проблемы, проводится обзор существующих работ в области исследования обратных задач гравиметрии. А также дано описание процесса, математическая модель прямой задачи гравиметрии, доказательство единственности решения оптимизационной задачи, вычисление градиента функционала, решение прямой задачи на реальных данных.

Во второй главе описывается решение обратной задачи градиентным методом: генерация искусственных значений потенциала и градиента гравитационного поля, решение обратной оптимизационной задачи методом Монте-Карло, а также приведены анализы полученных вычисления при изменении месторасположения, размера аномалии и влияние значение эпсилон на минимизируемый функционал.

Третья глава связана с разработкой уточненной математической модели распространения потенциала гравитационного поля аномалии с учетом таких осложняющих факторов как: граничные условия исследуемой области, значения градиента гравитационного поля на внутренней области и т.д. Проводится постановка уточненной обратной задачи гравиметрии, вывод градиента функционала и сопряженной задачи, доказательство строгой выпуклости функционала, анализ результатов численного решения поставленной задачи.

В четвертой главе мы рассматриваем обратную задачу гравиметрии с двумя аномалиями. Приводятся постановка задачи, вывод градиента функционала и сопряженной задачи, анализ результатов численных расчетов с двумя аномалиями методом Нелдера-Мида.

В заключении приводятся основные результаты и выводы, полученные в диссертационной работе.