

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Бокова А.В. «Численные методы исследования математических моделей геофизики и тепловой диагностики на основе теории обратных задач», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Во многих областях естествознания приходится сталкиваться с задачами, которые являются некорректно поставленными. Основы теории исследования и методов решения таких задач были разработаны в трудах академиков А.Н. Тихонова, М.М. Лаврентьева и член-корр. РАН В.К. Иванова. В числе некорректных задач можно особо выделить обратные задачи математической физики, имеющие большое прикладное значение.

Диссертационная работа Бокова А.В. посвящена исследованию методов решения некоторых обратных задач математической физики. За основу их был взят метод регуляризации А.Н. Тихонова, рассмотрены вопросы единственности решения, сходимости приближённых решений к точному решению, получены точные по порядку оценки погрешности предлагаемых методов. Разработанные алгоритмы были применены для решения некоторых нелинейных обратных задач математической физики: обратной коэффициентной задачи гидропроводности, обратной граничной задачи для уравнения теплопроводности, обратной задачи гравиметрии. Для решения представленных задач с применением указанных выше методов был создан комплекс программ для расчётов на ЭВМ и проведены вычислительные эксперименты.

### *Научная новизна результатов*

Научная новизна работы состоит в новом подходе к исследованию математических моделей ряда обратных задач математической физики. Доказана теорема единственности решения обратной коэффициентной задачи фильтрации к одиночной скважине при условии непротекания на границе области. Проведено теоретическое исследование для обоснования применимости метода обобщённой  $L$ -регуляризации для нахождения приближённых решений в обратной задаче потенциала и в обратных коэффициентных задачах теплопроводности и фильтрации. Доказана применимость метода конечномерных аппроксимаций для нахождения регуляризованных решений применительно к решению обратных задач для уравнений фильтрации и теплопроводности. Разработаны и обоснованы новые численные методы решения обратной задачи потенциала. На основе этих методов разработаны и реализованы на ЭВМ комплексы программ для

решения указанных обратных задач математической физики. Проведены тестовые расчёты и численные эксперименты.

### *Ценность научных работ соискателя*

Теоретическая значимость работы заключается в обосновании возможности применения методов регуляризации к решению важных практических задач. Предложен обобщённый метод  $L$ -регуляризации и конечномерных аппроксимаций для решения нелинейных операторных уравнений. Получены оценки точности приближённого решения в обратной задаче тепловой диагностики с подвижной границей. Исследован вопрос единственности решения обратной задачи нестационарной фильтрации.

### *Практическая значимость полученных результатов*

Основные результаты диссертационной работы имеют значение для строгого обоснования методов, используемых при решении обратных задач математической физики.

Практическая значимость работы заключается в применении созданного комплекса программ к численному решению ряда задач математической физики.

Научные результаты диссертации, судя по приведенному списку литературы, хорошо апробированы на конференциях международного уровня и изложены в рецензируемых изданиях, удовлетворяющих требованиям ВАК.

Предложенные в диссертации Боковым А.В. методы могут быть применены для решения других практических задач тепловой диагностики и геофизики и могут служить основой для разработки новых алгоритмов решения широкого круга задач математической физики из различных предметных областей.

Считаю, что диссертационная работа отвечает требованиям ВАК Минобрнауки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор А.В. Боков заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Отзыв подготовил:

Ассистент кафедры вычислительной математики ЧелГУ, к. ф.-м. н.

09.09.2014

Подпись Ершова Александра Анатольевича заверяю:

Челябинский государственный университет,  
454021, г. Челябинск, ул. Братьев Кашириных, 129,  
тел. (351) 7997231, e-mail: aen15@yandex.ru

*Ершов*

/ Ершов А.А.



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Бокова А.В. «Численные методы исследования математических моделей геофизики и тепловой диагностики на основе теории обратных задач», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Работа Бокова А.В. посвящена исследованию математических моделей физических явлений и технологических процессов, а также разработке и обоснованию численных методов решения обратных задач математической физики. Тема исследования несомненно актуальна.

В автореферате диссертации сформулирована задача гидродинамического исследования нефтяных пластов как обратная задача гидропроводности. При математическом моделировании изучаемого процесса учтены особенности задач подземной гидромеханики. Проведено исследование единственности решения соответствующей обратной задачи. Рассмотрена задача тепловой диагностики технических объектов, подверженных тепловым нагрузкам. Исследована единственность решения соответствующей обратной граничной задачи для уравнения теплопроводности. Получена оценка погрешности приближённого решения. Изучена задача определения запасов полезных ископаемых в геологоразведке по регистрируемой аномалии гравитационного поля, вызванной неоднородностью горных пород. Построена математическая модель сопутствующей задачи восстановления поверхности раздела двух сред, как нелинейная обратная задача гравиметрии. Исследовано строение оператора, порождённого данной обратной задачей.

Предложен общий для всех указанных задач численный метод решения, в основе которого лежат методы  $L$ -регуляризации приближённых решений и конечномерной аппроксимации регуляризованных решений.

Проведено сравнение с точки зрения эффективности методов решения вариационной задачи. Для нахождения минимума функционала применялись градиентные, квазиньютоновские методы и метод сопряжённых градиентов. На основе этих методов разработаны алгоритмы решения рассмотренных обратных задач.

Разработан комплекс программ, реализующих предложенные алгоритмы решения нелинейных обратных задач. С помощью разработанного программного обеспечения исследованы прикладные задачи гидродинамического прослушивания нефтяного пласта, тепловой диагностики технических объектов с подвижной границей и восстановления поверхности залегающих пород по аномалии гравитационного поля.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, подкрепляется строгим математическим доказательством всех утверждений.

Теоретическая значимость работы заключается в обосновании возможности применения методов регуляризации к решению важных практических задач. Предложен обобщённый метод  $L$ -регуляризации и конечномерных аппроксимаций для решения нелинейных операторных уравнений. Получены оценки точности приближённого решения в обратной задаче тепловой диагностики с подвижной границей. Исследован вопрос единственности решения обратной задачи нестационарной фильтрации.

Работа содержит оригинальные результаты одновременно из трех областей: математического моделирования, численных методов и комплексов программ. Предлагаемые методы могут быть применены для исследования широкого круга математических моделей, приводящих к задачам математической физики из различных предметных областей. Диссертационное исследование соответствует следующим трем пунктам паспорта специальности: п. 1 – разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений; п. 2 – развитие качественных и приближенных аналитических методов исследования математических моделей; п. 4 – реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительных экспериментов. Это позволяет сделать вывод о соответствии диссертации паспорту специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Считаю, что диссертационная работа «Численные методы исследования математических моделей геофизики и тепловой диагностики на основе теории обратных задач» Бокова Александра Викторовича отвечает требованиям ВАК Минобрнауки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор А.В. Боков заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Отзыв подготовил:

Профессор кафедры вычислительной

механики сплошных сред ЮУрГУ

д.ф.-м.н. , svv@csu.ru, (351) 267-92-47

454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76

ФГБОУ ВПО "Южно-Уральский

государственный университет"

Дата 9.09.2014



/ Суров В.С.

Подпись Сурова Виктора Сергеевича заверяю:

**ВЕРНО**

Ведущий документовед  
О.В. Брюхова

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Бокова А.В. «Численные методы исследования математических моделей геофизики и тепловой диагностики на основе теории обратных задач», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Работа выполнена в рамках актуального научного направления, основными задачами которого являются исследование математических моделей физических явлений, разработка и обоснование эффективных численных методов.

Решение целого класса сложных технических проблем проводится с использованием теории обратных и некорректно поставленных задач. В их ряду можно выделить обратные задачи математической физики, имеющие большое прикладное значение. Автором были предложены численные методы решения ряда обратных задач математической физики на основе метода регуляризации А.Н. Тихонова.

Достоинством данной работы является применение общего для всех рассмотренных задач численного метода, в основе которого лежат методы обобщенной  $L$ -регуляризации приближённых решений и конечномерной аппроксимации регуляризованных решений.

Разработанные алгоритмы были применены для решения таких задач, как задача гидродинамического исследования нефтяных пластов, задача тепловой диагностики технических объектов, подверженных тепловым нагрузкам, задача определения запасов полезных ископаемых в геологоразведке по регистрируемой аномалии гравитационного поля, вызванной неоднородностью горных пород. В рамках рассматриваемых моделей осуществлён переход к обратным задачам. При этом нужно отметить следующие важные результаты. Для задачи гидродинамического исследования нефтяных пластов, сформулированной как обратная задача фильтрации, проведено исследование единственности решения. В задаче тепловой диагностики технических объектов получена оценка

точности приближенного решения соответствующей обратной задачи для уравнения теплопроводности с неизвестным граничным условием второго рода, подлежащим определению. В задаче гравиразведки, сформулированной как обратная задача гравиметрии, приведено теоретическое обоснование применимости метода для нахождения приближённого решения в пространстве  $L_2$ . Был разработан комплекс программ для проведения численных экспериментов на ЭВМ. К сожалению, в автореферате не указаны среда, язык программирования, использованные пакеты и вклад автора в программирование и использование программ.

Полученные в диссертации Боковым А.В. результаты являются оригинальными и могут служить основой для решения других задач тепловой диагностики и геофизики, что имеет большое практическое значение.

Считаю, что диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.13.18—математическое моделирование, численные методы и комплексы программ и требованиям ВАК Минобрнауки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор — А.В. Боков заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.

**Отзыв подготовил:**

Катаргин Николай Викторович, к.ф-м.н., доцент,  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования «Московский государственный  
университет путей сообщения»  
г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9  
тел. (495) 684-29-07  
доцент кафедры «Логистика  
и управление транспортными  
системами»  
nnnkkk@yandex.ru

Н.В. Катаргин



Подпись руки гр. Катаргин НВ  
Заверяю Александр 01.09.2014  
Начальник ОДО МИИТ ИВ Смирнов

Отзыв на автореферат кандидатской диссертации  
Бокова Александра Викторовича  
"Численные методы исследования математических моделей  
геофизики и тепловой диагностики на основе теории обратных задач"

Диссертационная работа посвящена разработке новых методов моделирования задач геофизики и тепловой диагностики объектов средствами теории некорректно поставленных задач, а также, разработке эффективных численных алгоритмов приближенных решений изучаемых задач.

В первой главе исследуются математические модели физических процессов, сводящихся к нелинейным обратным задачам: модели тепловой диагностики технических объектов, процесса регистрации аномалий гравитационного поля и гидродинамического исследования нефтяных пластов.

Наиболее содержательной является вторая глава, в которой обсуждаются вопросы математического обоснования численных методов решения обратных задач, рассмотренных в первой главе. Отмечается, что метод регуляризации Тихонова для нелинейного оператора может не иметь решения. В автореферате обсуждается метод L-регуляризации и формулируется теорема о сходимости аппроксимационного решения соответствующей вариационной задачи к регуляризованному решению. Опираясь на результаты руководителя о сходимости приближенных решений к точному решению строятся конечномерные аппроксимации регуляризованных решений, удовлетворяющие условиям сходимости, таких задач как регистрация аномалии гравитационного поля и задачи гидродинамического исследования нефтяных пластов.

Третья глава посвящена разработке комплекса программ численного решения упомянутых обратных задач. В качестве основного метода нахождения приближенного решения вариационных задач метода L-регуляризации применяется градиентный метод.

В заключительной части диссертации приводятся результаты численных экспериментов.

В целом работа Бокова А.В. содержит новые интересные результаты, получение результатов численных экспериментов потребовало преодоления больших вычислительных трудностей. Отличительной чертой диссертации является внутреннее единство работы и законченность ее результатов. Автореферат тщательно оформлен. Каких-либо недостатков, достойных упоминания в отзыве на автореферат, я не обнаружил.

По автореферату могу судить, что работа удовлетворяет требованиям, предъявляемых к кандидатским диссертациям, в автор работы достоин присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Профессор кафедры компьютерной безопасности и прикладной алгебры Челябинского государственного университета Соловьев Александр Артемович  
Доктор физ.-матем. наук,  
профессор

(351) 799-73-03

alsol@csu.ru

454021, г. Челябинск,

ул. Братьев Кашириных, 129



А.А. Соловьев

10.09.2014