

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института вычислительной математики и математической физики  
СО РАН, доктор физико-математических наук, профессор РАН

Марченко Михаил Александрович

«9» апреля 2020



## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Шергина Сергея Николаевича, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, «Аналитическое и численное исследование одного класса математических моделей фильтрации и гидродинамики на основе теории обратных задач»

### 1. Актуальность темы

Многие прикладные задачи, связанные с описанием свойств исследуемых сред, таких как плотность и скорость распространения волн, параметры упругости, проводимость, диэлектрическая и магнитная проницаемость, а также свойства и местоположение неоднородностей сводятся к решению обратных задач. Эта информация интересна и важна во многих областях, в частности, в теории фильтрации, теории упругости, гидродинамике, геофизике, теории волновых процессов, томографии. Диссертационная работа посвящена аналитическому и численному исследованию математических моделей фильтрации и гидродинамики на основе теории обратных задач. В класс рассматриваемых моделей входят модели, основанные на уравнении Баренблатта – Желтова – Кочипой, уравнении волн Россби, уравнении Буссинеска – Лява, уравнении Соболева, уравнении электромагнитных

волн в анизотропных средах и нестационарных внутренних волн в несжимаемой стратифицированной вращающейся жидкости.

## 2. Содержание работы

Во введении приводится постановка задачи, обосновывается актуальность темы, научная новизна, практическая значимость, охарактеризованы методы исследования, используемые в работе, определяется цель и задачи работы, дана характеристика степени проработанности темы.

В первой главе изложены вспомогательные результаты, используемые во второй и третьей главах для получения основных теоретических и практических результатов диссертации. что-то еще бы, например: Используются не только выводы из имеющихся источников, а также присутствуют собственные выводы и доказательства.

Во второй главе рассматриваются математические модели фильтрации, в частности модель Баренблатта – Желтова – Кочиной и модель Буссинеска – Лява. Рассматриваются задачи об определении решения, функций источников, а также определения параметров среды. Описан алгоритм численного решения коэффициентных обратных задач и задач об определении функции источника для математических моделей фильтрации, реализуемый в комплексе программ. Приведены и описаны основные блок-схемы алгоритма. Приводятся результаты численных экспериментов и их сравнение при различных входных данных.

В третьей главе рассматриваются математические модели, описывающие процессы распространения электромагнитных волн в анизотропных средах и нестационарных внутренних волн в несжимаемой стратифицированной вращающейся жидкости. Приводятся основные результаты и доказательства. Приводится описание численного алгоритма, основанного на методе конечных элементов, для модельного уравнения в случае краевых условий Дирихле. Приводится описание программного комплекса, использующего полученные алгоритмы. Рассмотрены результаты численных экспериментов и их сравнение при различных входных данных.

В заключении содержатся выводы по работе.

## 3. Научная новизна

В качестве основных результатов можно выделить:

1. Исследованы вопросы корректности для многомерных достаточно общих классов обратных задач для математических моделей фильтрации и гидродинамики.

2. Получены новые результаты о глобальной по времени корректности обратных задач с условиями переопределения общего вида для математических моделей квазистационарных электромагнитных волн в анизотропных средах и нестационарных внутренних волн в несжимаемой стратифицированной вращающейся жидкости.

3. Построены и реализованы новые прямые итерационные численные методы для нахождения неизвестных коэффициентов в задачах фильтрации и задачах определения параметров среды в математических моделях квазистационарных электромагнитных волн и нестационарных внутренних волн в несжимаемой стратифицированной вращающейся жидкости.

4. Разработаны программные комплексы численного определения коэффициента средних гидравлических характеристик в обратных задачах фильтрации и численного определения параметров среды в математических моделях квазистационарных электромагнитных волн.

#### **4. Степень обоснованности научных результатов и корректность выводов**

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается корректным применением методов теории дифференциальных уравнений и математического моделирования, метода конечных элементов и конечных разностей. Корректность выводов обеспечивается строгостью доказательств и их совпадением в частных случаях с известными ранее результатами, подтверждением полученных результатов и сделанных выводов вычислительными экспериментами на модельных примерах.

Полученные результаты своевременно опубликованы, апробированы на различных всероссийских и международных конференциях. Диссертация С.Н. Шергина имеет стройную, логически законченную структуру, автореферат соответствует содержанию диссертации. По теме диссертации соискателем опубликовано 17 научных работ. Среди них 6 статей опубликовано в журналах из Перечня ведущих российских рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, из них 3 статьи в

журналах, индексируемых базами данных WoS и Scopus, получено 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

## **5. Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций диссертации**

В рамках теоретической значимости впервые проведено исследование вопросов разрешимости, единственности, получены оценки устойчивости для решений обратных задач фильтрации и гидродинамики, в частности для модели Баренблатта – Желтовой – Кочинной и Буссинеска – Лява. Исследованы математические модели квазистационарных электромагнитных волн в анизотропных средах и нестационарных внутренних волн в несжимаемой стратифицированной вращающейся жидкости. Достоверность полученных результатов обеспечена полными доказательствами всех утверждений, причем математическая строгость доказательств соответствует современному уровню. В рамках практической значимости построены численные методы решения обратных задач об определении правой части (функции источников) и коэффициента пьезопроводности для уравнения фильтрации и обратных задач об определении параметров среды в математических моделях квазистационарных электромагнитных волн в анизотропных средах и нестационарных внутренних волн в несжимаемой стратифицированной вращающейся жидкости. На основе построенных численных алгоритмов разработаны комплексы программ и проведены вычислительные эксперименты.

Результаты диссертации могут найти применение в Югорском, Челябинском, Южно-Уральском, Сургутском, Новосибирском, Московском, Башкирском государственных университетах, Институте математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Институте гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, в Институте математики и механики УрО РАН, Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, и других учреждениях.

## **6. Замечания по диссертации**

Содержательный анализ материалов диссертационной работы позволил сделать следующие замечания:

1) При значительном объеме диссертации иллюстративная часть, в которой приведены результаты расчетов и их сравнение представлены в весьма небольшом объеме. Следовало бы, по возможности, добавить число графиков и описаний результатов.

- 2) Разные постоянные часто обозначаются одним и тем же символом, что не всегда понятно и сложно отслеживается.
- 3) Мне кажется, что нужно более подробное обоснование, утверждения "Отметим, что без ограничения общности можем считать, что все постоянные возникающие в процессе доказательства оценки (2.20) не зависят от  $\gamma$ " на стр. 53. Аналогичное замечание можно отнести к утверждению "Необходимо отметить, что без ограничения общности можем считать, что все постоянные, возникающие в процессе доказательства оценки (2.88), не зависят от  $\gamma$ " на стр. 73. Таким образом, способы продолжения решения в линейном случае на весь промежуток времени обоснованы в недостаточной степени.
- 4) К недостаткам оформления можно отнести небольшое количество стилистических и грамматических ошибок и опечаток, например, на стр. 13, 48 и др.
5. Имеется некоторое количество опечаток в формулах, например, в первой строчке формулы (2.73) присутствует лишний символ  $Q$ , в первой вынесенной формуле на стр. 52 не хватает скобки, и др.
6. В формуле (2.19) используется обозначение  $y$ , которое не определено и не хватает запятой.
7. Хотелось бы увидеть больше примеров конкретных приложений (задачи нефтедобычи и др.).

## 7. Общая оценка работы

Приведенные замечания не уменьшают значимости предоставленных научных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы. Диссертация и автореферат написаны грамотно, стиль изложения доказательный, оба документа оформлены в соответствии с установленными требованиями. Диссертационная работа С.Н. Шергина «Аналитическое и численное исследование одного класса математических моделей фильтрации и гидродинамики на основе теории обратных задач» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для математического моделирования и численных методов. Полученные результаты соответствуют научной специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Результаты диссертации являются новыми, строго обоснованы и получены автором самостоятельно. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа соответствует пп. 9 – 14 Положения о присуждении ученых степеней Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Шергин Сергей Николаевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Отзыв о диссертации С.Н. Шергина составлен доктором физико-математических наук, членом-корреспондентом РАН, профессором Кабанихиным Сергеем Игоревичем. Диссертация и отзыв заслушаны, обсуждены и одобрены на расширенном заседании лаборатории обратных задач естествознания Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, протокол №4 от 02.04.2020

Главный научный сотрудник лаборатории  
обратных задач естествознания  
д.ф.-м.н., член-корреспондент РАН, профессор

С.И. Кабанихин

Заведующий лаборатории  
обратных задач естествознания  
д.ф.-м.н., доцент



М.А. Шишленин

*Подписи С.И. Кабанихина и М.А. Шишленина заверяю*

Ученый секретарь

Л.В. Вшивкова

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук», адрес: 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 6, телефон: +7 (383) 330 83 53, Факс: +7 (383) 330 87 83, +7 (383) 330 66 87, e-mail: contacts@sscc.ru, сайт: <https://icmmg.nsc.ru/>

Лаборатория обратных задач естествознания ИВМиМГ СО РАН

Телефон: +7 (383) 332 04 04, e-mail: kabanikhin@sscc.ru