

На правах рукописи

Подпись

Скурыдина Алия Фиргатовна

**Регуляризованные алгоритмы на основе схем
Ньютона, Левенберга – Марквардта и
нелинейных аналогов α -процессов для решения
нелинейных операторных уравнений**

01.01.07 – Вычислительная математика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Работа выполнена в *Федеральном государственном бюджетном учреждении науки
Институт математики и механики им. Н. Н. Красовского Уральского отделения
Российской академии наук.*

Научный руководитель: *доктор физико-математических наук,
доцент Акимова Елена Николаевна*

Официальные оппоненты: *доктор физико-математических наук,
профессор, главный научный сотрудник кафедры Си-
стемного программирования ФГАОУ ВО «Южно-
Уральский государственный университет (нацио-
нальный исследовательский университет)» (г. Челя-
бинск),*

Танана Виталий Павлович

*доктор физико-математических наук,
профессор, профессор кафедры математики физиче-
ского факультета ФГБОУ ВО «Московский государ-
ственный университет имени М. В. Ломоносова»,
Ягола Анатолий Григорьевич*

Ведущая организация: *ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный
университет»*

Защита состоится «_____» _____ 2018 г. в _____ часов на заседании диссертаци-
онного совета Д 004.006.04 при ФГБУН Институт математики и механики им. Н. Н.
Красовского УрО РАН по адресу: 620990, Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, 16, акто-
вый зал

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБУН Институт математики и ме-
ханики им. Н. Н. Красовского УрО РАН.

Автореферат разослан «_____» _____ 2018 г.

Отзывы и замечания по автореферату в двух экземплярах, заверенные печатью, просьба
высылать по вышеуказанному адресу на имя ученого секретаря диссертационного совета.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор физ.-мат. наук, с.н.с.

Подпись

Скарин В. Д.

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. Построение итеративно регуляризованных алгоритмов востребовано для решения широкого круга прикладных некорректно поставленных задач. Так, решение структурных обратных задач гравиметрии и магнитометрии сводится к решению нелинейных интегральных уравнений Урысона первого рода. После дискретизации операторное уравнение сводится к системе нелинейных уравнений с большим числом неизвестных, поэтому есть необходимость в параллелизации алгоритмов для многопроцессорных и многоядерных вычислительных систем с целью уменьшения времени счета.

Цели и задачи диссертационной работы: построить новые методы решения нелинейных операторных уравнений первого рода в гильбертовом пространстве, исследовать их сходимость. Предложить методы решения обратной задачи гравиметрии, использующие особенности физической модели.

Научная новизна. Результаты, полученные в диссертационной работе, являются новыми и состоят в следующем:

в рамках двухэтапного метода построения регуляризующего алгоритма обоснована сходимость метода Ньютона и нелинейных аналогов альфа-процессов: метод минимальной ошибки (ММО), метод наискорейшего спуска (МНС) и метод минимальных невязок (ММН). Также установлена сходимость модифицированных вариантов методов ММО, МНС, ММН, когда производная оператора вычисляется в начальной точке итераций. Рассмотрены два случая: оператор задачи является монотонным, либо оператор является конечномерным и его производная имеет неотрицательный спектр.

Для решения систем нелинейных интегральных уравнений с ядром оператора структурной обратной задачи гравиметрии для модели двуслойной среды предложен экономичный покомпонентный метод, основанный на методе Ньютона.

Для решения систем нелинейных уравнений структурных обратных задач гравиметрии в многослойной среде предложен покомпонентный метод типа Левенберга – Марквардта с весовыми множителями.

Предложена вычислительная оптимизация метода Ньютона и его модифицированного варианта в виде перехода от плотно заполненной матрицы производной оператора к ленточной в силу особенности строения ядер интегральных операторов задач гравиметрии.

Теоретическая и практическая значимость. Результаты, изложенные в диссертации, могут быть использованы для решения нелинейных операторных уравнений. В частности, на практике можно применять для обратных задач теории потенциала, для различных обратных задач фильтрации.

Положения, выносимые на защиту:

1. Доказаны теоремы о сходимости и сильной фейеровости регуляризованного метода Ньютона решения нелинейного уравнения с монотонным оператором. Построены регуляризованные методы градиентного типа для решения нелинейного уравнения с монотонным оператором: метод минимальной ошибки, метод наискорейшего спуска, метод минимальных невязок (α -процессы). Доказаны теоремы сходимости и сильная фейеровость итерационных процессов.

В случае задачи с немонотонным оператором, производная которого имеет неотрицательный спектр, доказаны теоремы сходимости методов Ньютона, нелинейных α -процессов и их модифицированных вариантов.

2. Предложен покомпонентный метод типа Ньютона для решения систем нелинейных интегральных уравнений с ядром оператора структурной обратной задачи гравиметрии для модели двухслойной среды. Показана его экономичность при решении модельных задач на больших сетках. Также предложена вычислительная оптимизация метода Ньютона и его модифицированного варианта при решении задач с матрицей производной, которую можно заменить на ленточную; на примере решения обратной задачи гравиметрии продемонстрирована вычислительная экономичность модификации. Предложен поком-

понентный метод типа Левенберга – Марквардта с весовыми множителями для решения структурной обратной задачи гравиметрии для модели многослойной среды предложен.

3. Разработан комплекс параллельных программ для решения обратных задач гравиметрии и магнитометрии с использованием многоядерных процессоров и с вычислением на графических процессорах (видеокартах) для покомпонентных методов и метода Ньютона и модифицированного варианта.

Степень достоверности и апробация результатов. Результаты, полученные в работе над диссертацией, полностью подтверждаются численными экспериментами. Основные результаты по материалам диссертационной работы докладывались на конференциях:

1. XIV и XV Уральская молодежная научная школа по геофизике (Пермь, 2013 г., Екатеринбург 2014 г.);
2. Международная конференция «Параллельные вычислительные технологии» (Ростов-на-Дону, 2014 г., Екатеринбург, 2015 г., Казань, 2017 г.);
3. Международная конференция «Геоинформатика: теоретические и прикладные аспекты» (Киев 2014, 2015, 2016 г.)
4. Международная конференция «Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики» (Новосибирск, 2014 г.)
5. Международный научный семинар по обратным и некорректно поставленным задачам (Москва, 2015 г.)

Публикации. Материалы диссертации опубликованы в 11 печатных работах, из них 3 статей в рецензируемых научных изданиях [3; 6; 7], 3 рекомендованных ВАК и проиндексированных Scopus [1; 2; 5], 3 статей в сборниках трудов конференций и 2 тезисов докладов.

Личный вклад автора. Подготовка к публикации работ проводилась совместно с соавторами. Все результаты, представленные в данной работе, получены автором лично. Защищаемые положения отражают вклад автора в опубликованных работах. В работе [7] автору диссертации принадлежат построение

методов для решения нелинейных уравнений на основе α -процессов, доказательства сходимости и сильной фейеровости регуляризованного метода Ньютона, сильной фейеровости нелинейных α -процессов для монотонного оператора и оператора, производная которого имеет неотрицательный спектр, результаты численного моделирования. В работах [10; 4; 6; 13] автором проведено численное моделирование для методов ньютоновского типа с разработкой параллельных программ для метода Ньютона и его модифицированного варианта. В статье [12], [8] автор реализовал параллельный алгоритм линеаризованного метода минимальной ошибки. В работе [5] автором предложена вычислительная оптимизация метода Ньютона и поставлен вычислительный эксперимент, разработаны параллельная программы. В работах [9; 1; 2] автором предложены методы покомпонентного типа Ньютона и Левенберга – Марквардта, проведены численные эксперименты, написаны параллельные программы для задач с большими сетками. В работе [11] автору принадлежат доказательства сходимости модифицированных методов на основе α -процессов в случае монотонного оператора задачи, а также результаты расчетов на ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, 3 глав, заключения и библиографии. Общий объем диссертации ?? страниц, включая 18 рисунков, 14 таблиц. Библиография включает 112 наименований, в том числе 12 публикаций автора.

Содержание работы

Во Введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель и аргументирована научная новизна исследований, показана практическая значимость полученных результатов, представлены выносимые на защиту научные положения.

В первой главе ...

Содержание первой главы.

Результаты первой главы опубликованы в работе [7].

Во второй главе ...

Содержание второй главы.

Результаты второй главы опубликованы в работе [7].

В третьей главе ...

Содержание третьей главы.

Результаты третьей главы опубликованы в работах [5], [1], [2], [3].

В Заключение

Основные результаты диссертации

1. Для нелинейного уравнения с монотонным оператором доказаны теоремы о сходимости регуляризованного метода Ньютона. Построены нелинейные аналоги α -процессов — регуляризованные методы градиентного типа для решения нелинейного уравнения с монотонным оператором: метод минимальной ошибки, метод наискорейшего спуска, метод минимальных невязок. Доказаны теоремы сходимости и сильная фейеровость итерационных процессов.

Для задачи с немонотонным оператором, производная которого имеет неотрицательный спектр, доказаны теоремы сходимости методов Ньютона, нелинейных α -процессов и их модифицированных вариантов.

2. Для решения систем нелинейных интегральных уравнений с ядром оператора структурной обратной задачи гравиметрии для модели двухслойной среды предложен покомпонентный метод типа Ньютона и показана его экономичность при решении модельных задач на больших сетках. Предложена вычислительная оптимизация метода Ньютона и его модифицированного варианта при решении задач с матрицей производной, близкой к ленточной; на примере решения обратной задачи гравиметрии продемонстрирована вычислительная экономичность модификации. Для решения систем нелинейных уравнений структурных обратных задач гравиметрии для моделей многослойной среды

предложен покомпонентный метод типа Левенберга – Марквардта с весовыми множителями.

3. Для решения обратных задач гравиметрии и магнитометрии разработан комплекс параллельных программ, с использованием многоядерных процессоров и с вычислением на графических процессорах (видеокартах) для покомпонентных методов и метода Ньютона и модифицированного варианта.

В дальнейшей научной работе автора предполагается исследование на сходимость покомпонентных методов типа Ньютона и Левенберга – Марквардта.

Основные публикации по теме диссертации

Статьи в изданиях из перечня ВАК, SCOPUS

1. *Akimova E., Skurydina A.* A Componentwise Newton Type Method for Solving the Structural Inverse Gravity Problem // XIVth EAGE International Conference - Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects. — Kiev, Ukraine, 2015.
2. *Akimova E., Skurydina A.* On Solving the Three-Dimensional Structural Gravity Problem for the Case of a Multilayered Medium by the Componentwise Levenberg–Marquardt Method // XVth EAGE International Conference - Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects. — Kiev, Ukraine, 2016.
3. *Skurydina A. F.* Regularized Levenberg — Marquardt Type Method Applied to the Structural Inverse Gravity Problem in a Multilayer Medium and its Parallel Realization // Bulletin of South Ural State University. Series: Computational Mathematics and Software Engineering. — 2017. — Т. 6, № 3. — С. 5—15. — URL: <http://dx.doi.org/10.14529/cmse170301>.
4. *Акимова Е. Н., Мусилов В. Е., Скурыдина А. Ф.* Параллельные алгоритмы решения структурной обратной задачи магнитометрии на многопроцессорных вычислительных системах // Вестник УГАТУ. — 2014. — Т. 18, № 4. — С. 19—29.
5. *Акимова Е. Н., Скурыдина А. Ф., Мартышко М. П.* Оптимизация и распараллеливание методов типа Ньютона для решения структурных обратных задач гравиметрии и магнитометрии // XIIIth EAGE International Conference - Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects. — Kiev, Ukraine, 2014.
6. *Васин В. В., Акимова Е. Н., Миниахметова А. Ф.* Итерационные алгоритмы ньютоновского типа и их приложения к обратной задаче грави-

метрии // Вестник Южно-Уральского государственного университета. — 2013. — Т. 6, № 3. — С. 26—37.

7. *Васин В. В., Скурыдина А. Ф.* Двухэтапный метод регуляризации для нелинейных некорректных задач // Труды ИММ УрО РАН. — 2017. — Т. 23, № 1. — С. 57—74.
8. Градиентные методы решения структурных обратных задач гравиметрии и магнитометрии на суперкомпьютере «Уран» / Е. Н. Акимова [и др.] // Вычислительные методы и программирование. — 2015. — Т. 16, № 1. — С. 155—164.

Другие публикации

9. *Akimova E. N., Miniakhmetova A. F., Misilov V. E.* Fast stable parallel algorithms for solving gravimetry and magnetometry inverse problems // International conference "Advanced Mathematics, Computations Applications – 2014". — 2014.
10. *Акимова Е. Н., Мисилов В. Е., Миниахметова А. Ф.* Параллельные алгоритмы решения структурной обратной задачи магнитометрии на многопроцессорных вычислительных системах // Труды международной конференции «Параллельные вычислительные технологии (ПАВТ'2014)». — 2014.
11. *Васин В. В., Скурыдина А. Ф.* Регуляризованные модифицированные процессы градиентного типа для нелинейных обратных задач // Тезисы докладов международного научного семинара по обратным и некорректно поставленным задачам. — 2015.
12. Градиентные методы решения структурных обратных задач гравиметрии и магнитометрии на суперкомпьютере «Уран» / Е. Н. Акимова [и др.] //

Труды международной конференции «Параллельные вычислительные технологии (ПАВТ'2015)». — 2015.

13. *Мисилов В. Е., Миниахметова А. Ф., Дергачев Е. А.* Решение обратной задачи гравиметрии итерационными методами на суперкомпьютере «Уран» // Труды XIV Уральской молодежной научной школы по геофизике. — 2013.

Научное издание

Скурыдина Алия Фиргатовна

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук на тему:

Регуляризованные алгоритмы на основе схем Ньютона, Левенберга –
Марквардта и нелинейных аналогов α -процессов для решения нелинейных
операторных уравнений

Подписано в печать 25.01.2011. Формат 60 × 90 1/16. Тираж 100 экз. Заказ 256.

Санкт-Петербургская издательская фирма «Наука» РАН. 199034, Санкт-Петербург, Менделеевская линия, 1, <http://www.naukaspb.spb.ru>