

Отзыв

официального оппонента на диссертацию Шишленина Максима Александровича «Прямые и итерационные методы регуляризации многомерных обратных задач акустики и электродинамики» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.01.07 «вычислительная математика»

Актуальность темы исследования. Диссертационная работа М.А.Шишленина посвящена построению и обоснованию численных методов решения обратных задач для двумерных уравнений в основном гиперболического типа, которые выступают в качестве математической модели задач акустики и электродинамики. Исследуются два класса обратных задач: задач продолжения с части границы гравитационных, акустических и электромагнитных полей и задач определения некоторых коэффициентов этих уравнений по дополнительной информации о решении прямой задачи. Эти задачи относятся к классу существенно некорректных задач, следовательно, при построении методов их решения необходимо использовать идеи регуляризации. Общеизвестно, что теория некорректных задач преобразила облик современного естествознания и ее методы находят все новые и новые приложения в различных областях человеческой деятельности. Разработка регулярных, т.е., устойчивых к погрешностям методов решения некорректных линейных и, особенно нелинейных задач, находится в русле перспективных направлений исследования в современной вычислительной математике. Поэтому тема исследования диссертационной работы безусловно актуальна.

Теоретическая значимость полученных автором диссертации результатов заключается в разработке и обосновании методов решения задач продолжения геофизических полей и обратных коэффициентных задач для

дифференциальных уравнений гиперболического и эллиптического типов. Это обоснование состоит либо в сведении исходной постановки к операторному уравнению и доказательству выполнения условий для применения известных вариационных и итерационных методов, либо в построении проекционно-итерационной схемы с полным исследованием всех ее этапов (сходимость, оценка погрешности).

Практическая значимость работы обусловлена тем, что эффективность развитых методов убедительно продемонстрирована на решении практически важных обратных постановок для дифференциальных уравнений, которые описывают процессы, возникающие в сейсмике, электродинамике и подповерхностной радиолокации.

Остановимся кратко на содержании работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Полный объем диссертации составляет **226** страниц текста. Список литературы содержит **299** наименований.

Глава I посвящена задаче продолжения решения с части границы двумерных дифференциальных уравнений эллиптического и гиперболического типов (уравнения сейсмике, электродинамики, Пуассона и Гельмгольца) с начально-краевыми условиями. Идея последовательно развиваемого автором подхода состоит в сведении исходной постановки к линейному уравнению с неявно заданным оператором и применении методов градиентного типа для квадрата нормы невязки. Для некоторых постановок (см. раздел 1.2.3) для эллиптического уравнения проведено полное исследование метода, включая обоснование сходимости и получение оценки погрешности метода.

В **главе II** предложена и исследована общая схема решения задачи по восстановлению двумерного коэффициента и решения волнового уравнения. Методика основана на сведении исходной постановки к системе интегро-дифференциальных уравнений Вольтера и использовании проекционно-

итерационного метода решения этой системы. Затем этот метод применен для уравнения акустики и выполнен численный эксперимент.

В заключительной главе III в начале дается обширный обзор по спектральным обратным задачам и обратным задачам рассеяния. Далее, используя двумерные аналоги Гельфанда-Левитана и Крейна, которые представляют собой уравнения гиперболического типа с неизвестным коэффициентом (функции двух переменных), автор формулирует обратные задачи по определению этого коэффициента. Для ее решения привлекается проекционный метод главы II, но аппроксимирующая система линейных дифференциальных уравнений относительно коэффициентов Фурье после конечно-разностной аппроксимации решается не итерационным, а прямым методом. В приложениях приведены результаты решения задач подповерхностной радиолокации и околоскважинного зондирования.

Научная новизна работы и основных результатов:

1. Развита универсальная схема приближенного решения задачи продолжения акустических и электромагнитных полей, основанная на сведении исходной постановки к линейному уравнению и его решению градиентным методом, для которого получены оценки погрешности по функционалу и аргументу.

2. Для уравнения Гельмгольца с комплексным волновым числом исследована степень неустойчивости (некорректности) задачи продолжения с помощью анализа поведения сингулярных чисел оператора задачи.

3. Предложена и исследована оригинальная общая схема решения задачи по восстановлению двумерного коэффициента и решения волнового уравнения. Методика основана на сведении исходной постановки к системе интегро-дифференциальных уравнений Вольтерра, использовании проекционного метода и получении бесконечной системы нелинейных уравнений относительно двумерных коэффициентов Фурье, для решения конечной подсистемы которой

получена оценка погрешности и обоснован итерационный метод Ландвебера. Этот алгоритм применен для уравнения акустики и выполнен численный эксперимент.

4. Для двумерных уравнений Гельфанда-Левитана и Крейна сформулированы обратные коэффициентные задачи, для которых предложен и реализован алгоритм, основанный на проекционном методе главы II с использованием прямых методов обращения конечно-разностной схемы. Работоспособность алгоритма продемонстрирована на решении задач с модельными данными.

Основные результаты по теме диссертации изложены в 34 печатных изданиях, из них 7 в журналах, рекомендованных ВАК, 7 в журналах, зарегистрированных в системе Web of Science, 15 в журналах, зарегистрированных в системе Scopus, и трех монографиях. Результаты диссертации докладывались и обсуждались на 4 всероссийских конференциях, 36 международных конференциях, а также на ведущих научных семинарах. Содержание диссертации соответствует специальности 01.01.07 – вычислительная математика.

Достоверность и обоснованность результатов и выводов диссертации определяется доказанными основными утверждениями и проведенными численными расчетами, подтверждающими работоспособность развитых методов.

Замечания и комментарии: 1. На стр. 18 необходимо поменять местами слагаемые в правой части неравенства (20), чтобы это соответствовало утверждению, сформулированному в замечании на стр. 19 о стремлении слагаемых к нулю и бесконечности. Эта же неточность присутствует на стр. 56 диссертации и продублирована в автореферате на стр. 14,15.

2. Название глав 2, 3 вряд ли можно считать удачными: в названии главы 2 присутствуют слова “задач акустики и электродинамики”, тогда как

исследование этой главы фактически посвящено только задаче акустики; в названии главы 3 методы Гельфанда-Левитана и Крейна упомянуты как методы регуляризации, в то время как они являются методами преобразования одной обратной задачи в другую.

3. На стр. 211 после пункта В2 написана фраза “Обозначим $w(z, r, t) = H(z, r, t)$ ”, но далее в тексте новая функция нигде не обнаруживается.

Очевидно, что отмеченные погрешности носят чисто редакторский характер, легко поправляются и, естественно, не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение о работе. Представленная диссертация является завершённой научной работой, в которой решены важные научные задачи, имеющие большую практическую значимость. Диссертация выполнена на высоком научном уровне. Представленные в работе исследования обладают научной новизной и достоверностью, которая подтверждена доказанными утверждениями и выполненными численными экспериментами, все полученные основные результаты математически обоснованы. Основные результаты диссертационной работы изложены с достаточной полнотой в публикациях автора, прошли широкую апробацию на многочисленных международных и всероссийских конференциях. Автореферат достаточно полно и адекватно отражает основное содержание диссертации.

Считаю, что диссертация Шишленина Максима Александровича «Прямые и итерационные методы регуляризации многомерных обратных задач акустики и электродинамики» соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора физико-математических наук, согласно п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого правительством РФ (№842 от 24.09.2013 г.), с изменениями постановления Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2016 г. № 335 «О внесении изменений в Положение о присуждении ученых степеней», а

её автор, Шишленин Максим Александрович, безусловно, заслуживает присуждения ему учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.01.07 – вычислительная математика.

Официальный оппонент:

Профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник ИММ им. Н.Н. Красовского УрО РАН

д.ф.-м.н.

 Владимир Васильевич Васин

«30» августа 2016 года

телефон: +7 (343) 374-32-92

e-mail: vasin@imm.uran.ru

Подпись д.ф.-м.н., член-корреспондента РАН В.В. Васина заверяю.

Зав. отделом кадров ИММ УРО РАН  Л.Н. Бестужева

Васин Владимир Васильевич - доктор физико-математических наук по специальности 01.01.07 – «вычислительная математика», профессор, главный научный сотрудник отдела некорректных задач анализа и приложений Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского Уральского отделения Российской академии наук.

Адрес: 620990, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 16; телефон: +7 (343) 374-83-32

тел./факс: +7 (343) 374-25-81

e-Web: <http://www.imm.uran.ru>

e-mail: vasin@imm.uran.ru