

Отзыв официального оппонента  
на диссертацию Новикова Никиты Сергеевича  
«Численные алгоритмы решения уравнения  
И. М. Гельфанда – Б. М. Левитана – М. Г. Крейна»  
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.01.07 «вычислительная математика»

Актуальность темы исследования. Работа Н. С. Новикова посвящена разработке и программной реализации численных методов решения линейных интегральных уравнений Фредгольма II рода специального вида, когда пределы интегрирования зависят от параметра. Уравнения такого вида стали результативно использоваться при изучении и решении одномерной задачи рассеяния для неоднородной струны в работах И. М. Гельфанда, Б. М. Левитана, М. Г. Крейна, В. А. Марченко, позже других авторов. Существенное продвижение в области решения динамических задач рассеяния произошло после появления работ Э. В. Никольского, А. С. Благовещенского, Б. С. Парийского, В. Г. Романова, в которых искомым решением стала функция Римана. При этом соответствующие интегральные уравнения получили наглядную интерпретацию с точки зрения теории распространения волн.

Можно сказать, что второе дыхание интерес к рассматриваемому классу уравнений получил после развития в работах В. Г. Романова и С. И. Кабанихина проекционного подхода при решении многомерных обратных задач рассеяния. Решение обратных задач рассеяния на основе указанного подхода можно характеризовать как прямой метод решения обратной задачи, т. е. не требующий итераций. Для реализации этого метода требуется на основе решения прямой задачи рассеяния получить основное уравнение обратной задачи в форме интегрального уравнения типа Гельфанда-Левитана-Крейна-Марченко. Понятно, что в задачи диссертанта этот этап не входил, и он воспользовался известными уравнениями.

Считаю, что разработка прямых методов, а именно, основанных на непосредственном обращении нелинейного оператора обратной задачи на базе решения уравнений типа Гельфанда-Левитана-Крейна-Марченко, является актуальной задачей.

Научная и практическая значимость диссертационной работы Н. С. Новикова, как, впрочем, и любого научного исследования, определяется, с одной стороны, естественным желанием математика-вычислителя расширить спектр методов решения прикладных задач математики и физики и, с другой стороны, запросом прикладных и практических областей научных исследований, таких как геофизика и сейсморазведка, на разработку эффективных устойчивых алгоритмов решения все более объемных вычислительных задач.

Научная новизна работы и основных результатов диссертации Н. С. Новикова состоят в следующем:

- на основе метода Монте-Карло и интегральных уравнений Гельфанд-Левитана-Крейна-Марченко предложен алгоритм решения одномерной обратной задачи сейсмики, разработан и обоснован метод решения двумерного уравнения Гельфанд-Левитана на основе стохастического проекционного метода;
- построен и исследован алгоритм решения двумерной обратной задачи определения плотности среды, основанный на комбинации проекционного метода, многомерного аналога метода Гельфанд-Левитана-Крейна-Марченко и метода Левинсона обращения блочно-тёплацевой матрицы;
- на основе разработанных алгоритмов созданы комплексы программ, на их основе проведены серии вычислительных экспериментов, проведен детальный анализ полученных результатов, а сами результаты наглядно представлены.

Соответствие специальности: представленное диссертационное исследование проведено в рамках специальности 01.01.07 – «вычислительная математика».

Объем и структура диссертация соответствуют общепринятым по указанной специальности.

Коротко остановлюсь на содержании диссертации.

Первая глава носит реферативный характер и посвящена постановкам рассматриваемых задач и формулировке уравнений Гельфанд-Левитана-Крейна-Марченко. Рассмотрены одномерная обратная задача для системы уравнений Ламэ, двумерная обратная задача определения потенциала волнового уравнения и двумерная обратная задача для уравнения акустики.

Вторая глава содержит основные результаты теоретического характера. В ней рассматриваются методы Монте-Карло решения интегральных уравнений (модификации типа прямого моделирования и метода подобных траекторий), стохастический проекционный метод решения СЛАУ и метод решения систем с блочно-тёплацевой матрицей.

Третья глава посвящена построению и анализу алгоритмов численного решения обратных задач на основе предложенных методов. В ней рассмотрены схемы решения прямых задач, исследованы свойства построенных алгоритмов, а также приведены результаты численных экспериментов и проведён сравнительный анализ предложенных алгоритмов.

В заключении формулируются основные результаты, которые верно отражают суть представленной Н. С. Новиковым диссертационной работы.

Основные результаты по теме диссертации опубликованы и представлены в соответствии правилами ВАК. Все результаты достоверны и научно

обоснованы, выводы диссертации подтверждаются доказанными в работе утверждениями и проведенными сериями численных расчетов.

Замечания к диссертации Н. С. Новикова можно разделить на две группы. К первой отнесем заметную небрежность в изложении, связанном с уравнениями математической физики. В основном это относится к первой главе. Приведу, на мой взгляд, наиболее существенные.

Так, в формуле (1.1) уравнения Ламэ последнее слагаемое представлено в координатной форме, а все остальные — в инвариантной. Такая эклектика бросается в глаза.

Переход к переменной эйконал (стр. 23) автор называет преобразованием годографа, что, вообще говоря, не соответствует действительности.

Далее, начиная с (1.20), автор использует функцию  $\sigma(z)$  для обозначения совсем другой функции, а именно, сложной функции  $s(x) = \sigma(z(x))$ . Но у этих функций разные производные. Это уже не небрежность, а ошибка. Такая ошибка далее повторяется на стр. 25–28. Результатом подобных манипуляций с заменой переменных является совершенно нелепая по размерности и не верная формула (1.46): слева —  $\text{см}^2\text{сек}^2/\text{г}$ , а справа —  $\text{г}/\text{см}^2\text{сек}^2$ .

По счастью, эти ошибки не повлияли на окончательные результаты, поскольку автор интуитивно использовал верный переход от эйконала к истинным глубинам.

Уравнение (1.44) вызывает недоумение, так как  $u$  — декартова координата. Следовало использовать другое обозначение.

Замечания другого свойства относятся ко второй главе. Вторая глава, как центральная в работе, написана весьма аккуратно. Единственным существенным замечанием принципиального характера является ограниченность применения предложенных методов типа Монте-Карло, связанная со сходимостью ряда Неймана. Как влияет это условие на решение реальных задач сейсмики, автор оставил без ответа в третьей главе.

В главе 3 фраза перед (1.95) лишена содержания.

### **Заключение о работе**

Диссертация Н. С. Новикова является завершенной научной работой, в ней решены актуальные задачи научного и прикладного характера, имеющие определенную практическую значимость. Диссертация выполнена на научном уровне, соответствующем искомой степени по избранной специальности. Представленные в работе исследования обладают научной новизной и достоверностью, все полученные выводы обоснованы. Основные положения диссертационной работы достаточно полно опубликованы в открытой печати и прошли соответствующую апробацию.

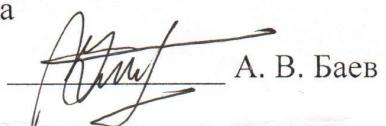
В автореферате обоснована актуальность исследования, его цели и задачи, научная новизна, практическая ценность и значимость научных результатов, выносимых на защиту. Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации.

Считаю, что диссертационная работа Новикова Никиты Сергеевича соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученоей степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.07 – «вычислительная математика».

Официальный оппонент:

профессор кафедры математической физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

д.ф.-м.н.



А. В. Баев

Баев Андрей Владимирович — доктор физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, профессор кафедры математической физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

Адрес: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 52, факультет ВМК  
Телефон: +7(495) 939-53-36  
E-mail: drbaev@mail.ru

Подпись А. В. Баева заверяю

декан факультета ВМК

академик РАН

04.04.2019 г.



И.А. Соколов