ОТЗЫВ

официального оппонента Сумина Михаила Иосифовича на диссертационную работу Стародубцевой Юлии Владимировны "Моделирование прямых и обратных задач стационарной тепловой конвекции", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 — "математическое моделирование, численные методы и комплексы программ"

Диссертационная работа Ю.В. Стародубцевой посвящена исследованию вопросов, связанных с моделированием при решении прямых и обратных граничных задач стационарной тепловой конвекции. Ее основная направленность заключается в создании ряда новых численных алгоритмов решения обратных задач указанного класса. Однако, эффективное создание таких алгоритмов невозможно представить без одновременного адекватного исследования вопросов численного решения соответствующих прямых задач. Выражаясь конкретнее, можно утверждать, что рецензируемая диссертационная работа состоит в теоретическом и численном исследовании прямых и обратных граничных задач для двух моделей стационарной тепловой конвекции, первой из которых является модель стационарной реакции-конвекции-диффузии, а второй – модель стационарной тепловой конвекции высоковязкой жидкости. Важными областями применения подобных моделей являются те, что связаны с задачами распространения загрязняющих веществ, задачами геофизики, медицинской диагностики и многими другими. Обратные задачи, возникающие при изучении моделей тепломассопереноса, являются, как правило, некорректными. По этой причине разработка устойчивых численных методов их решения является несомненно важным и актуальным делом. В пользу важности и актуальности тематики диссертации можно высказать соображения и совсем общего характера. Они связаны с тем, что обратные задачи представляют собою наиважнейшие математические задачи, возникающие в различных естественных науках и являющиеся в огромном числе случаев неустойчивыми по отношению к ошибкам их исходных данных. Постановки таких задач чрезвычайно разнообразны, а их решение, требующее, как правило, разработки новых устойчивых численных алгоритмов, способствует получению новых знаний об окружающем нас мире. Не вызывает сомнений, что рассматриваемые в диссертационной работе обратные задачи стационарной тепловой конвекции относятся к одному из важных классов обратных задач современного естествознания. Наконец, о несомненной актуальности диссертационной работы говорит и тот факт, что граничные прямые и обратные задачи стационарной тепловой конвекции, по сравнению с аналогичными коэффициентными задачами, к настоящему времени оказались относи-

тельно мало исследованными с точки зрения теоретического и численного анализа.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы из 107 наименований. Она содержит 150 страниц текста, включая 183 рисунка и 24 таблицы.

Во введении обсуждается актуальность темы диссертации, ее цели, методы исследования и краткое содержание.

Первая глава диссертации посвящена исследованию прямых и обратных граничных задач для модели стационарной реакции-конвекции-диффузии. Здесь, прежде всего, в параграфах 1.1 - 1.4, обеспечиваются необходимые теоретические основы для дальнейшего их использования при конструировании устойчивых алгоритмов решения обратных задач: формулируются прямая и обратная граничные задачи, доказывается существование и единственность слабого, суммируемого с квадратом, решения прямой задачи, показывается устойчивость прямой задачи и неустойчивость обратной задачи. В свою очередь, в параграфах 1.5 - 1.9, последовательно описываются методы решения обратной граничной задачи нахождения неизвестного теплового режима для модели стационарной реакции-конвекции-диффузии: вариационный метод, метод квазиобращения и модификации методов Ньютона - Канторовича, Ландвебера и Левенберга - Марквардта. Здесь, с целью реализации этих методов, обсуждаются и решаются соответствующие необходимые вспомогательные задачи, весьма подробно описываются схемы решения обратной граничной задачи указанными методами. В заключении каждого из параграфов 1.5 - 1.9 приводятся соответствующие результаты восстановления гладкого, непрерывного кусочно-гладкого и разрывного граничных режимов.

Во второй главе рецензируемой диссертационной работы рассматриваются прямые и обратные граничные задачи для модели стационарной тепловой конвекции высоковязкой жидкости. Структурно, в целом, она устроена так же, как и первая глава. В параграфах 2.1 - 2.4 последовательно формулируются и обсуждаются прямая и обратная граничные задачи для данной модели, приводятся и обсуждаются соответствующие формулировки ранее доказанных в работах А.И. Короткого и Д.А. Ковтунова теорем существования и единственности слабого, суммируемого с квадратом, решения прямой задачи, свойств корректности прямой и некорректности обратной задачи. Далее, в параграфах 2.5 - 2.7 с целью решения обратной граничной задачи для модели стационарной тепловой конвекции высоковязкой жидкости предложены модификации методов Ньютона - Канторовича, Ландвебера и Левенберга - Марквардта. Здесь же, для реализации каждого из этих методов обсуждаются и решаются необходимые вспомогательные задачи, подробно описываются схемы решения обратной граничной задачи на их основе. Наконец, каждый из этих трех

параграфов содержит описание соответствующих вычислительных экспериментов и результаты численного моделирования.

Третья глава диссертации полностью посвящена описанию структуры программных комплексов, результаты работы которых представлены в предыдущих двух главах. Эти программные комплексы направлены на решение обратных граничных задач для моделей из предшествующих глав. При этом в качестве областей задания независимых переменных краевых задач используются прямоугольные области. Здесь приводятся и достаточно подробно обсуждаются структуры и примеры входных и выходных данных. Здесь же предлагаются и обсуждаются средства дальнейшей компьютерной обработки результатов работы программных комплексов.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации, дана сравнительная характеристика методов, указываются некоторые направления дальнейших исследований.

Представляется, что основные результаты рецензируемой диссертации, содержание которой кратко обсуждено выше, могут быть сформулированы следующим образом:

1) Получена и строго обоснована теорема о слабой разрешимости прямой граничной задачи для модели стационарной реакции-конвекции-диффузии (параграф 1.2, теорема 1.2.1).

2) Доказана корректность прямой и некорректность соответствующей обратной граничной задачи (параграф 1.2, теорема 1.2.1; параграф 1.4, теорема 1.4.1).

3) Разработаны новые методы и алгоритмы численного решения обратных граничных задач для модели стационарной реакции-конвекции-диффузии и модели стационарной тепловой конвекции высоковязкой жидкости (параграфы 1.5–1.9, 2.5–2.7).

4) Созданы программные комплексы, реализующие разработанные численные методы и алгоритмы решения обратных граничных задач для рассматриваемых моделей в прямоугольной области (параграфы 3.1, 3.2).

Можно утверждать, что перечисленные выше основные результаты диссертационной работы являются новыми и оригинальными.

Подчеркнем, что вся диссертационная работа направлена именно на исследование прямых и обратных граничных задач стационарной тепловой конвекции. При этом слабые решения этих задач, вообще говоря, принадлежат лишь пространствам суммируемых с квадратом функций, которые в общей ситуации не обязаны иметь соответствующих суммируемых с квадратом следов на границах областей задания независимых переменных. Однако, на самом деле, можно считать, что в диссертации рассматриваются краевые задачи с такими исходными данными (коэффициентами в уравнении и краевых условиях, областями задания независимых переменных),

которые обеспечивают существование "нужных" суммируемых с квадратом следов. В частности, математическое моделирование, описанное в диссертационной работе, проводилось применительно именно к таким краевым задачам.

Хотелось бы особо подчеркнуть, что созданные в результате выполнения диссертационной работы программные комплексы естественно трактовать как налаженные и "привязанные" к конкретным обратным задачам математические приборы, работа которых способствует получению новой информации в важных процессах тепломассопереноса. Такие наладка и "привязка" к конкретным задачам сами по себе являются весьма нелегким делом, связанным с очень затратным по времени подбором различного рода параметров используемых математических алгоритмов и требующим основательной квалификации. Однако, именно такая нелегкая работа по созданию и отладке программных комплексов очень точно отражает суть научной работы, проводимой по выбранной специальности 05.13.18 – "математическое моделирование, численные методы и комплексы программ".

Укажем на некоторые недостатки обсуждаемой диссертации, отметив, прежде всего, что термин "граничные", по-видимому, было бы уместно вставить и в ее название, так как все содержание диссертационной работы ориентировано именно на граничные прямые и обратные задачи.

1) Обозначения для участков границы Γ_1, Γ_2 на рис. 1.1.1 и Γ_1, Γ_2, Γ_3, Γ_4 на рис. 1.1.2 трудно увязать друг с другом, что несколько мешает восприятию соответствующего текста на стр. 18-22.

2) На стр. 30 в 14 строке сверху представляется излишним слово "крайне".

3) На стр. 33 при введении оператора A (формула (1.3.6)) требуется разрешимость краевой задачи (1.3.7)-(1.3.9). Однако, соответствующей теоремы формально в диссертации нет. Может быть, автор имеет в этом месте ввиду теорему 1.2.1, но в ней формально другие краевые условия.

4) На стр. 34 в 4,5 строках сверху читаем: "... для любых функций $v \in L_2(\Gamma_1)$ и $\varphi \in L_2(\Gamma_1)$ по теореме 1.2.1 краевая задача (1.3.7)-(1.3.9) имеет единственное слабое решение ...". Здесь можно сделать формально сразу три замечания: во-первых, в краевую задачу (1.3.7)-(1.3.9) нигде не входит φ; во-вторых, в указанной краевой задаче одно из краевых условий задается на Γ_2, в то время как $v \in L_2(\Gamma_1)$ и $\varphi \in L_2(\Gamma_1)$; в-третьих, вызывает сомнение уместность ссылки здесь на теорему 1.2.1 (см. предыдущее замечание).

5) Чуть ниже на той же стр. 34 в строках 7,8 читаем: "... вообще говоря, краевая задача (1.3.1)-(1.3.3) может не иметь слабого решения при любых $v \in L_2(\Gamma_1)$ и $\varphi \in L_2(\Gamma_1)$". Представляется, что здесь должно быть написано несколько иначе, например, так: "... вообще говоря, при некоторых $v \in L_2(\Gamma_1)$ и $\varphi \in L_2(\Gamma_1)$ краевая

задача (1.3.1)-(1.3.3) может не иметь слабого решения".

6) В главах 1 и 2 при описании результатов численного моделирования дублируются рисунки температуры, соответствующего искомому граничному режиму.

7) Несмотря на то, что текст диссертации очень тщательно выверен, в ней все же встречаются мелкие погрешности, связанные с пропуском букв в словах или, наоборот, с появлением лишних. Рецензенту, хоть и с большим трудом, но удалось найти следующие погрешности такого рода: на стр. 11 в 16 строке снизу в слове "некорректности" пропущено "р"; на стр. 41 в 9 строке сверху в слове "заранее" вместо второй буквы "а" стоит буква "е"; на стр. 60 в строке 11 снизу в слове "метод" добавлена лишняя буква.

Конечно, сделанные замечания никоим образом не умаляют достоинств диссертации, не уменьшают ее общую положительную оценку и не ставят под сомнение ее выводы и результаты. Несмотря на сжатую форму изложения, она вполне понятна для специалистов, весьма тщательно выверена. При этом сжатость изложения можно рассматривать и как единый стиль диссертации, добиться которого было нелегко.

Основные результаты диссертации нашли отражение в 20 научных публикациях и 2 зарегистрированных свидетельствах об интеллектуальной собственности: 5 научных статей опубликованы в рецензируемых научных изданиях из Перечня ВАК, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук; 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ получены в Роспатенте; 15 научных работ опубликованы в других журналах и сборниках трудов конференций. Тема и содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 05.13.18 - "математическое моделирование, численные методы и комплексы программ". Автореферат полно и правильно отражает содержание и основные результаты диссертации.

Итак, рецензируемая диссертационная работа представляет собой научное исследование в области математического моделирования, посвящена важной научной проблеме и содержит новые оригинальные результаты, представляющие несомненный теоретический и прикладной интерес, вносящие значительный вклад в развитие актуального направления науки. Достоверность этих результатов подтверждается как строгими математическими доказательствами, так и хорошо согласующимися между собой результатами вычислительных экспериментов, проведенных разными методами. Результаты диссертации достаточно полно освещены в научной печати, в том числе, и в пяти рецензируемых журналах из перечня ВАК, нашли отражение в 2 свидетельствах о государственной регистрации интеллектуальной собственности, докладывались на научных конференциях разного уровня и различных научных семинарах. Все это свидетельствует о том, что рецензируемая диссертация является

законченной научно-исследовательской работой.

Считаю, что диссертационная работа Ю.В. Стародубцевой "Моделирование прямых и обратных задач стационарной тепловой конвекции" представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, которая удовлетворяет всем требованиям п. 9 "Положения о присуждении ученых степеней", утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 - "математическое моделирование, численные методы и комплексы программ".

Официальный оппонент:
заведующий кафедрой теории функций
Нижегородского госуниверситета им. Н.И. Лобачевского,
доктор физ.-мат. наук, профессор Сумин Михаил Иосифович

"27" октября 2014 года

Адрес организации: 603950, Нижегородская область, г. Нижний Новгород, проспект Гагарина, 23, ФГАОУ ВО "Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского", механико-математический факультет.
Тел.: 8(831)-462-30-90, e-mail: unn@unn.ru

Подпись Сумина М.И.
Заверяю. Ученый секретарь ННГУ
Л.Ю. Черноморская
Тел. 462-30-21