

## О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию Аль-Кхазраджи Сундус Хатем Маджид „О компьютерном моделировании некоторых задач фильтрации в пористой среде“, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.01.02 — Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление и 05.13.18 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

**Актуальность темы диссертации.** Диссертационная работа Аль-Кхазраджи Сундус Хатем Маджид посвящена изучению математической модели, которая представлена как интегро-дифференциальное уравнение с начальным и граничными условиями при наличии в уравнении параметров, характеризующих проточность зон, массообмен между проточными и застойными зонами и пьезопроводимость. При этом используется модификация модели В.С. Голубева движения жидкости в пористой среде с застойными зонами.

Численное исследование этой модели приводит к необходимости изучения условий ее адекватности, корректности и, следовательно, устойчивости решений уравнения, описывающего модель.

Аналогично работам Ю.И. Бабенко, исследование модели производится с применением дробных степеней операторов, а решения задач описываются с применением этих степеней. Методами теории сильно непрерывных полугрупп операторов установлена равномерная корректность в смысле С.Г. Крейна некоторых задач, частным случаем которых является изучаемая задача.

Следует отметить, что вопросы корректности и, в частности, устойчивости решений для рассматриваемой модели ранее не обсуждались. Данное обстоятельство свидетельствует об актуальности темы диссертационного исследования.

Разработка алгоритма и программы для численного решения изучаемой задачи, проведение численного эксперимента и анализ его результатов с практическими рекомендациями также характеризуют актуальность диссертационного исследования Аль-Кхазраджи Сундус Хатем Маджид.

Об актуальности диссертационного исследования свидетельствуют также и возможности использования результатов диссертации при чте-

ний курсов по выбору по дифференциальным уравнениям и численным методам.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.** Автор достаточно корректно применяет известные научные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций, что подтверждается использованием методов функционального анализа, теории сильно непрерывных полугрупп операторов, теории корректных и некорректных задач для интегро-дифференциальных уравнений. Диссертационная работа выполнена на хорошем математическом уровне, отличается ясностью и строгостью математических обоснований. Основные результаты сформулированы в виде формул и теорем, которые снабжены строгими доказательствами. Разработанные алгоритмы и программы апробированы в виде проведенных численных экспериментов.

**Оценка новизны. Замечания.** Диссертация состоит из введения, трех глав, пятнадцати параграфов, одного приложения с алгоритмами и программами и списка цитируемой литературы. Работа содержит восемь рисунков.

Во введении обоснованы актуальность темы и научная новизна работы, формулируются цели и задачи исследования, указываются применяемые методы теории полугрупп линейных операторов, кратко излагается содержание диссертации и описываются ее основные результаты.

Первая глава носит вспомогательный характер. В ней изложены необходимая терминология, понятия, результаты и факты по теории сильно непрерывных полугрупп, групп и косинус-функций, связанные с равномерно корректными задачами для эволюционных уравнений. Приводятся утверждения о решениях дифференциальных уравнений первого и второго порядков, понимаемых в различных смыслах. По мнению оппонента глава содержит избыточную информацию, которую можно найти в различных курсах функционального анализа и дифференциальных уравнений, в частности, в известных монографиях Э.Хилле и Р. Филлипса, С.Г.Крейна, А.В. Костины и В.А. Костины и других авторов.

*Замечание 1. Каким условиям удовлетворяют  $\Delta_j$  в определении 1.1.5?*

*Замечание 2. Текст в приведенном определении 1.2.4 не дописан.*

*Замечание 3. Какой смысл имеют функции  $\varphi$  и  $\psi$  в теоремах 1.3.1 и 1.3.2? В контексте о них не говорится.*

*Замечание 4. Что такое  $G_1$  в формуле (1.4.3)?*

*Замечание 5. Каким условиям удовлетворяет функция  $q(t)$  в теореме 2.4.1?*

Основные результаты диссертации представлены во второй и третьей главах.

Во второй главе изучаемые задачи формулируются в терминах теории сильно непрерывных полугрупп. Даётся понятие решения дифференциального уравнения

$$\frac{d^2u}{dx^2} = Au(x), x \in [0, l], \quad (1)$$

определение корректной задачи Дирихле и Неймана для уравнения (1) при конечном  $l$  и определения решений этих задач при  $l = \infty$ . Приводятся условия их корректной разрешимости. Для изучения корректной разрешимости изучаемых в диссертации задач фильтрации в пористой среде строится соответствующая полугруппа  $U(t, -A)$ , удовлетворяющая оценке

$$\|U(t, -A)\| \leq M e^{-\omega t}, \omega \geq 0.$$

С помощью этой полугруппы доказывается теорема 2.4.1 о существовании и единственности решения интегро-дифференциального уравнения задачи фильтрации в пористой среде, из которой вытекает приведенная в работе оценка этого решения, устанавливающая корректную разрешимость задачи.

С применением теоремы 2.4.1 доказываются критерий устойчивости решения, теоремы о сходимости и устойчивости применяемых в работе разностных схем. Из результатов главы вытекает, что при решении задачи Дирихле сначала следует находить решение равномерно корректной задачи Неймана, а затем применять стандартный алгоритм вычисления производной.

В заключительной главе диссертационной работы результаты работы по вычислению градиента давления применяются к построению модели автоматического регулирования течения вязкой сжимаемой жидкости в пористой среде. В связи с этим произведен анализ возможностей использования неявной разностной схемы, рассмотрено численное решение граничной задачи, приведены результаты расчетов и рекомендации о размещении датчиков давления жидкости и о структуре измеряемых данных.

В приложении разработана программа для численных экспериментов. Программа направлена на выработку рекомендаций при выборе численных датчиков давления и алгоритмов их работы. Программа написана на

языке Паскаль в среде Delphi. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Основные результаты диссертации Аль-Кхазраджи Сундус Хатем Маджид являются новыми.

**Общие замечания по диссертационной работе.**

1. На стр. 18 повторено сделанное на стр. 17 предположение о том, что  $E$  — банахово пространство, что излишне.
2. В формулах (1.5.15) на странице 43 совпадают две формулы.
3. В работе встречаются описки, опечатки, орфографические, синтаксические и стилистические погрешности.
4. Допущены погрешности в использовании ГОСТ при оформлении литературы.

Указанные здесь и выше замечания не снижают общего научного уровня работы.

**Заключение по диссертации.** Диссертация Аль-Кхазраджи Сундус Хатем Маджид „О компьютерном моделировании некоторых задач фильтрации в пористой среде“ соответствует специальностям 01.01.02 – Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление и 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ в областях:

- Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений.
- Развитие качественных и приближенных аналитических методов исследования математических моделей.
- Впервые исследована и доказана корректная разрешимость нестационарных задач для дифференциального уравнения в пористых средах с помощью методов теории сильно непрерывных полугрупп линейных преобразований.
- Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента.

Диссертация является законченной квалификационной научной работой, самостоятельно подготовленной автором. Основные результаты диссертации своевременно опубликованы, автореферат соответствует основному содержанию диссертации. Диссертационная работа отвечает требованиям п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней к кандидатским диссертациям по указанным специальностям, а ее автор

Аль-Кхазраджи Сундус Хатем Маджид заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.02 — Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление и специальности 05.13.18 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент,  
заведующий кафедрой математики  
Липецкого государственного педагогического университета,  
доктор физ.-матем. наук, профессор

С. Калитвин



Адрес ЛПГУ: 398020, г. Липецк, ул. Ленина, д. 44, телефон: 328303, 328381; E-mail: kalitvinas@mail.ru

Подпись А.С. Калитвина заверяю.

Начальник управления кадрового обеспечения ЛГПУ

08.02.2016.

