

ОТЗЫВ

официального оппонента Чистякова Виктора Филимоновича на диссертационную работу Манаковой Натальи Александровны «Аналитическое и численное исследования оптимального управления в полулинейных моделях гидродинамики и упругости», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук в диссертационный совет Д 212.298.14 при ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет) по специальности 05.13.18 — математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность темы диссертационного исследования. Современные наука и техника развиваются стремительными темпами. В ходе этого развития возникают новые задачи в практически важных областях естествознания и техники, в частности, в гидродинамике, электродинамике, теории упругости и моделировании сложных теплотехнических установок. Натурный эксперимент при изучении процесса может зачастую стоить очень дорого. Поэтому актуальным является построение и изучение математических моделей физических процессов и технических устройств с последующими численными расчетами режимов их функционирования. На современном уровне моделирования система уравнений процесса может содержать взаимосвязанные уравнения различного типа: дифференциальные, алгебраические, интегральные, в случае бесконечномерных задач стационарные и эволюционные уравнения. Здесь можно отметить уравнения Навье-Стокса, некоторые модификации уравнений фильтрации двухфазной жидкости, нестационарные уравнения динамики океана и т.д. Такие системы принято называть неклассическими уравнениями. Обширный класс неклассических уравнений математической физики образуют уравнения соболевского типа. В настоящее время внимание многих исследователей обращено на исследование задач оптимального управления для них. Диссертационная работа Н.А. Манаковой посвящена изучению задач оптимального управления процессами, описываемыми полулинейными математическими моделями соболевского типа с начальным условием Коши или условием Шоултера — Сидорова. Под полулинейными уравнениями автор понимает линейные уравнения с дополнительным нелинейным слагаемым.

Уравнения соболевского типа относятся к классу уравнений, не разрешенных относительно производной искомой функции по времени, причем оператор при производной искомой функции по времени имеет ненулевое ядро и необратим. Это приводит к принципиальной неразрешимости задачи Коши в классе гладких решений для произвольных начальных данных. Допустимые начальные данные должны принадлежать некоторому многообразию в фазовом пространстве. Аналитическим и качественным исследованиям такого рода задач и их приложений посвящены работы российских и зарубежных исследователей, например,

Р.Е. Шоултера, А. Фавини, А. Яги, Г.А. Свиридюка, Т.Г. Сукачевой, Г.В. Демиденко, Н.А. Сидорова, М.В. Фалалеева и их учеников, А.Г. Свешникова, М.О. Корпусова, В.Е. Федорова и других. В диссертационной работе наряду с традиционной задачей Коши изучена задача Шоултера — Сидорова, в которой произвольные начальные данные проектируются на допустимое фазовое многообразие и алгоритмы численных методов существенно упрощаются.

Методы изучения оптимального управления для нелинейных систем уравнений в частных производных чаще всего разрабатываются для каждой системы индивидуально. В диссертации Н.А. Манаковой построена общая теория оптимального управления для полулинейных уравнений соболевского типа на единой методологической основе, позволяющей провести аналитическое и численное исследование целого класса математических моделей гидродинамики и упругости и задач оптимального управления для них. Для получения приближенного решения поставленных задач разработаны новые численные методы и алгоритмы, реализованные в виде комплекса компьютерных программ.

Содержание работы. Диссертационная работа содержит введение, пять глав, заключение, список использованной литературы, включающего 220 наименований и приложения. Объем работы – 255 страниц. Во введении дан содержательный и довольно полный обзор литературы по тематике диссертации и смежным областям. Первая глава посвящена построению модели Осколкова нелинейной фильтрации, математической модели динамики слабосжимаемой вязкоупругой жидкости, обобщенной модели Хоффа, обобщенной модели Буссинеска, математической модели распределения потенциала электрического поля в полупроводнике, математической модели деформации конструкции из двутавровых балок. Проводится редукция изучаемых моделей к абстрактному полулинейному уравнению соболевского типа с s -монотонным и r -коэрцитивным или билинейным оператором, что позволило автору разработать общий метод исследования целого класса моделей математической физики из разных областей. Основным методом исследования является метод фазового пространства, основы которого были заложены в работах Г.А. Свиридюка и Т.Г. Сукачевой. Изучена структура фазового пространства уравнений, лежащих в основе изучаемых моделей.

Во второй главе получены достаточные условия однозначной разрешимости задачи Коши, задачи Шоултера — Сидорова для абстрактных полулинейных уравнений соболевского типа и достаточные условия существования оптимального управления для них. В основе доказательств лежит проекционный метод Галеркина, показана сходимость приближенных решений к точному решению. Третья глава посвящена аналитическому исследованию задач оптимального управления для изучаемых математических моделей. Получены достаточные условия существования слабого обобщенного решения начальных задач, показана нетривиальность

множества допустимых пар и найдены достаточные и необходимые условия существования решения задач оптимального управления для них.

В четвертой главе на основе метода декомпозиции строится эквивалентная задача управления и доказывается сходимость приближенного решения построенной задачи к решению исходной. Данная глава содержит описание разработанных численных методов исследования математических моделей соболевского типа и задач оптимального управления для них. Приведены описания программ для ЭВМ: «Численное моделирование процесса нелинейной диффузии», «Численное моделирование неравновесной противоточной капиллярной пропитки в круге», «Численное исследование задачи оптимального управления для полулинейных моделей фильтрации», «Численное исследование задачи оптимального управления для полулинейных моделей соболевского типа». В пятой главе приведены результаты вычислительных экспериментов для математических моделей гидродинамики и упругости с начальным условием Коши и Шоуолтера — Сидорова, а также задач оптимального управления для них.

Научная новизна и значимость исследования для дальнейшего развития науки. Результаты диссертационного исследования содержат новые аналитические подходы анализа и численные методы решения указанных математических моделей: приведены постановки начально-краевых задач, доказаны теоремы существования и единственности слабого обобщенного решения начально-краевых задач, соответствующих математическим моделям, доказаны теоремы существования решения задачи оптимального управления, разработаны и обоснованы численные методы решения поставленных задач. Математические модели, исследуемые в диссертации, изучаются в рамках задач Коши и Шоуолтера — Сидорова для абстрактного полулинейного уравнения соболевского типа и задачи оптимального управления для них.

Обоснованность и достоверность результатов исследования. Достоверность результатов, полученных в диссертации Н.А. Манаковой, обеспечена четкой постановкой изучаемых задач и полными доказательствами всех утверждений, соответствующими современному уровню математической строгости. Все утверждения, полученные в работах других исследователей, снабжены ссылками на источники. Результаты экспериментов хорошо согласуются с выводами излагаемой теории. Основные результаты диссертации опубликованы в 57 научных работах, из которых 1 монография, 29 статей (в том числе 14 — в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ для опубликования результатов диссертационного исследования, и 2 — в рецензируемых научных изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования) и 4 свидетельства государственной регистрации программ для ЭВМ. Результаты научно-исследовательской работы прошли апробацию на различных всероссийских и международных конференциях и семинарах. Все вышесказанное дает основание считать полученные результаты достаточно

обоснованными и достоверными. Автореферат полностью соответствует диссертации, составлен с соблюдением установленных требований и дает адекватное представление о работе.

Основные результаты диссертации можно сгруппировать в три блока:

1. Проведено исследование полулинейных уравнений соболевского типа и получены теоремы существования и единственности решений начальных задач. Решены задачи о продолжимости решений на заданный отрезок без использования стандартных и весьма ограничительных условий линейного роста;
2. Доказаны теоремы о разрешимости задач оптимального управления при связях, задаваемых полулинейными уравнениями соболевского типа. Построены и обоснованы численные методы решения этих задач;
3. Общая теория, построенная в диссертации, позволяет применять полученные результаты к более широкому классу прикладных задач. Предлагаемые в работе алгоритмы могут быть адаптированы к исследованию других математических моделей и задач оптимального управления для них. Разработанный комплекс программ позволяет проводить вычислительные эксперименты.

Замечания по работе:

1. Для нахождения приближенных решений изучаемых моделей необходимо построение и решение начальной задачи для системы вырожденных нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений. Однако в приведенных вычислительных экспериментах отсутствуют данные задачи, что не позволяет судить о сложности их решения.

2. При описании математической модели деформации конструкции из двутавровых балок использованы неудачные обозначения x_{jss} , x_{jtss} и т.д.

3. В алгоритмах не описан численный метод нахождения решения начальной задачи для системы вырожденных обыкновенных дифференциальных уравнений, который является одним из ключевых в построенных алгоритмах.

4. В практических задачах входные данные, например, свободный член и граничные условия могут быть заданы неточно. В диссертации этот момент не прояснен.

Тем не менее, указанные недостатки и замечания не снижают ценности полученных результатов и не влияют на оценку теоретической и практической значимости работы.

Заключение. Диссертация Манаковой Натальи Александровны «Аналитическое и численное исследования оптимального управления в полулинейных моделях гидродинамики и упругости» представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему в области математического моделирования и численных методов. Она прошла хорошую апробацию, включая выступления на ведущих семинарах по данной тематике. Все основные результаты диссертации являются новыми и опубликованы в российских изданиях, включая авторитетные издания из

списка ВАК. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. В диссертации изложены научные результаты, имеющие, несомненно, важное научное значение для специальности 05.13.18 — математическое моделирование, численные методы и комплексы программ и их совокупность может быть квалифицирована как научное достижение.

Диссертационная работа соответствует всем требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК при Министерстве образования и науки РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Манакова Наталья Александровна, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 — математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник,
главный научный сотрудник лаборатории
системного анализа и вычислительных методов
Института динамики систем и теории управления
им. В.М. Матросова СО РАН

В.Ф. Чистяков

В.Ф. Чистяков

02.12.2015

Чистяков Виктор Филимонович, e-mail: chist@icc.ru.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова» СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 134,
тел. (3952) 45-30-29, сайт: <http://www.icc-irk.ru/ru>



Подпись заверяю
Нач. отдела делопроизводства
и организационного обеспечения
ИДСТУ СО РАН
Г.Б. Кононенко