

ОТЗЫВ

официального оппонента **Орлова Сергея Сергеевича**

на диссертацию **Нгуен Дык Банга**

на тему "Моделирование гидравлических и электрических цепей на основе теории вырожденных систем интегро-дифференциальных уравнений"

по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук

Хорошо известно, что непосредственному изучению сложных технических или природных процессов по ряду причин следует предпочесть исследование их математических моделей. Одна из фундаментальных задач математического моделирования состоит в описании изменений состояния реального объекта во времени. В этом случае характеристики, определяющие его состояние, полагаются функциями неотрицательного аргумента t – времени, а сама математическая модель принимает вид системы эволюционных уравнений, которые связывают мгновенные значения этих характеристик. Заметим, что в реальности текущее состояние процесса определяется не только его начальным состоянием, но и всей предысторией от старта до момента наблюдения. Подобные явления в современной научной литературе называются последствием, наследственностью или динамической памятью. Наиболее адекватным средствами их описания являются системы интегро-дифференциальных уравнений Вольтерра. В общем случае матрицы коэффициентов при производной неизвестной вектор-функции могут иметь неполные ранги. Такие системы называют вырожденными. Начальные и краевые задачи для них относятся к классу некорректных задач, т. е. их решение не всегда существует, может быть неединственным, неустойчиво к малым возмущениям входных данных. Возникает ряд проблем при поиске численного решения, например, даже если исходная задача разрешима, это не означает, что и ее дискретный аналог со сколь угодно малым шагом дискретизации имеет решение и наоборот. В настоящее время начальные и краевые задачи для вырожденных систем являются недостаточно изученными даже в линейном случае. Представленная диссертационная работа

Нгуен Дык Банга посвящена аналитическим и численным методам исследования математических моделей гидравлических и электрических цепей в форме вырожденных систем интегро-дифференциальных уравнений. Рассматриваемые математические модели описывают составные части реальных функционирующих энергетических установок. Таким образом, актуальность темы диссертации определяется, с одной стороны, вполне конкретной направленностью на решение важнейших прикладных задач. С другой стороны, исследуемые объекты – вырожденные системы интегро-дифференциальных уравнений – мало изучены и представляют самостоятельный научный интерес. Автор рассматривает наиболее сложные из них – незамкнутые (переопределённые и недоопределённые) системы, т. е., когда число компонент неизвестной вектор-функции не совпадает с количеством уравнений, входящих в систему.

Выполненное Нгуен Дык Бангом диссертационное исследование можно мысленно разделить на естественные этапы:

- создание теоретической основы, куда входит доказательство теорем однозначной разрешимости начально-краевых задач для вырожденных систем интегро-дифференциальных уравнений;

- разработка и обоснование численных методов решения рассматриваемых задач для систем индекса 1, а также реализация программного комплекса;

- вывод вырожденных систем интегро-дифференциальных уравнений, описывающих гидравлическую цепь связки "прямоточный котел – турбина" и электрическую цепь "двухконтурная установка" с внедрением в обоих случаях автоматических регуляторов;

- исследование полученных математических моделей на основе разработанных аналитических и численных методов, интерпретация результатов.

В ходе первого этапа автору удалось распространить идеи и подходы, развитые в работах научного руководителя В. Ф. Чистякова для исследования алгебро-дифференциальных систем, на более сложные объекты принципиально иной природы – вырожденные системы интегро-дифференциальных уравнений с прямоугольными матрицами коэффициентов. На втором этапе к решению начально-краевых задач удалось адаптировать достаточно простые численные

методы и строго обосновать их применимость. Все это в совокупности можно расценить как вполне оригинальные научные достижения.

Наиболее значимыми результатами диссертационного исследования являются:

1) теоремы о разрешимости и структуре общих решений недоопределенных, переопределенных и замкнутых вырожденных систем линейных интегро-дифференциальных уравнений;

2) теоремы существования и единственности начальных и краевых задач для вырожденных систем линейных интегро-дифференциальных уравнений индекса 1;

3) теорема о достаточных условиях однозначной разрешимости начальной задачи для класса квазилинейных интегро-дифференциальных систем;

4) метод нахождения численного решения начальных и краевых задач для вырожденных систем интегро-дифференциальных уравнений индекса 1 (на основе метода наименьших квадратов);

5) разностные методы решения линейных и квазилинейных вырожденных систем интегро-дифференциальных уравнений;

6) программы для реализации указанных выше вычислительных методов;

7) модели гидравлической цепи "прямоточный котел – турбина" и электрической цепи "двухконтурная установка" с учетом автоматических регуляторов;

8) программные компоненты, реализующие численные расчеты этих моделей.

Все перечисленные результаты, полученные в диссертации, являются новыми. Их достоверность подтверждается строгими доказательствами формулируемых утверждений о разрешимости рассматриваемых задач и сходимости предлагаемых численных методов; проверкой работы программного комплекса серией тестовых примеров; соотносением расчетов, полученных при исследовании математических моделей гидравлических и электрических цепей с данными многолетних наблюдений за реальными объектами, которые они описывают.

Диссертация содержит 132 с. основного текста, приложения на 2 с., список литературы из 100 наименований.

По теме диссертации автором опубликовано 12 работ, из них 3 – в рецензируемых изданиях по списку ВАК (2 – в издании, включенном в международную базу цитирования SCOPUS). Материалы диссертации в указанных публикациях отражены достаточно полно. Получены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2014615157 и № 2015660014.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Замечания.

1. На стр. 12 во введении указано, что системы интегро-дифференциальных уравнений с прямоугольными матрицами коэффициентов исследованы впервые. По мнению автора отзыва, здесь следовало более аккуратно сформулировать, что системы интегро-дифференциальных уравнений с прямоугольными матрицами коэффициентов недостаточно полно изучены в настоящее время, и в данной диссертации впервые проводится систематическое изложение результатов исследования этих математических объектов. В статье ¹ рассмотрен специальный класс интегро-дифференциальных уравнений в банаховых пространствах с нетеровым оператором в главной части, который в конечномерном случае может трактоваться именно как вырожденная система интегро-дифференциальных уравнений с прямоугольными матрицами коэффициентов. В монографии ² на стр. 72–74 и 77–79 именно такие интерпретации приведены в качестве иллюстративных примеров. Рассмотрены случаи положительного и отрицательного индексов нетерова оператора при старшей производной, которые отвечают случаям переопределенной и недоопределенной систем интегро-дифференциальных уравнений. Упомянутые работы являются предшествующими данной диссертации, но не претендуют на первенство в исследовании таких систем.

2. При исследовании разрешимости систем интегро-дифференциальных уравнений одной из ключевых конструкций является так называемый *левый*

¹ Фалалеев М. В., Орлов С. С. Обобщенные решения вырожденных интегро-дифференциальных уравнений в банаховых пространствах и их приложения. Труды института математики и механики УрО РАН. 2012. Т. 18, № 4. С. 286–297.

² Орлов С. С. Обобщенные решения интегро-дифференциальных уравнений высоких порядков в банаховых пространствах. Иркутск: Изд-во ИГУ. 2014.

регуляризирующий оператор (ЛРО) соответствующей интегро-дифференциальной системы, который связан также с важным понятием *индекса* системы как минимального порядка ЛРО (стр. 21–22, определение 1.1.9). В примере 1.1.4 на стр. 22 нет объяснения, того что 2 – минимально возможный порядок ЛРО. Аналогичных обоснований нет в примерах 1.1.5 (стр. 23), 1.2.1 (стр. 31). В тексте диссертации явно не обсуждаются вопросы построения ЛРО, единственности или неединственности его вида, инвариантности структуры общего решения интегро-дифференциальной системы относительно вида ЛРО.

3. Отсутствует анализ разработанных в диссертации численных методов решения систем интегро-дифференциальных уравнений в контексте их сравнения с другими методами, которые предлагались предшественниками для исследования аналогичных задач. Подобные сравнения, по крайней мере, применительно к начальным задачам для замкнутых систем можно сделать.

4. Обзор литературы по тематике исследований именно систем интегро-дифференциальных уравнений весьма скудный. В основном, приводятся ссылки на работы представителей научной школы профессора Ю. Е. Бояринцева, которой принадлежит сам диссертант. Ссылки на работы зарубежных исследователей вовсе отсутствуют. В библиографическом списке очень много наименований учебной литературы.

5. Замечены некоторые стилистические погрешности, пунктуационные неточности и опечатки:

- 1) На стр. 10 (строка 3 сверху) "вектора", правильно "векторы".
- 2) На стр. 18 в определении 1.1.6 во второй формуле сразу непонятно, что следует после первого слагаемого в правой части. Резонно ставить многоточие, когда указано количество слагаемых, достаточное для понимания закономерности. Аналогичные замечания на стр. 34 (строка 2 сверху), стр. 45 (строка 3 сверху) и стр. 93 (строка 4 сверху).
- 3) На стр. 70 и 79 имеются очень длинные предложения, занимающие более половины страницы.
- 4) На стр. 10 (строка 3 снизу), стр. 21 (строки 3 и 5 снизу), стр. 23 (строка 6 сверху), стр. 84 (строка 4 снизу), стр. 85 (строка 13 сверху), стр. 87 (строка 2 снизу), стр. 88 (строка 1 снизу) обнаружены пунктуационные неточности.

- 5) На стр. 5 (строка 2 снизу) опечатка в сокращении "гидравлическая цепь" – "ГД", вместо "ГЦ", используемого всюду в тексте диссертации.
- 6) На стр. 89 (строка 5 снизу) неверно употреблен оборот "линейно независимая строка".

Указанные замечания не снижают научной ценности выполненного диссертационного исследования.

Диссертация Нгуен Дык Банга соответствует специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, имеет внутреннее единство и является завершённой научно-квалификационной работой. В ней на основании выполненных автором исследований содержится решение задачи математического моделирования составляющих сложных энергетических установок, имеющей существенное значение для развития теории гидравлических и электрических цепей, а также аналитических и вычислительных методов решения вырожденных интегро-дифференциальных систем.

Диссертация соответствует требованиям п. 9 "Положения о порядке присуждения учёных степеней" постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а её автор Нгуен Дык Банг достоин присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Доцент кафедры математического анализа и дифференциальных уравнений,
Институт математики, экономики и информатики,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Иркутский государственный университет»,
к. ф.-м. н.

Орлов Сергей Сергеевич

11.05.2016 г.

Почтовый адрес: Россия, 664003, г. Иркутск, б-р Гагарина, 20

телефон: 8 (3952) 52-12-85

электронный адрес: orlov_serгей@inbox.ru

