

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Сидорова Дениса Николаевича

«ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ:

приближенные методы и приложения»,

представленную в Диссертационный совет Д 212.074.01

на соискание ученой степени доктора физико-математических наук
по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные
методы и комплексы программ

Диссертационная работа Д.Н. Сидорова посвящена аналитическому и численному исследованию возникающих в различных областях техники, включая электроэнергетику и микроэлектронику, динамических моделей на основе линейных и нелинейных интегральных и интегро-дифференциальных уравнений с особенностями.

Актуальность исследования определяется, с одной стороны, тем, что указанные уравнения с параметрами и сингулярностями могут представлять собой краткую операторную формализацию огромного количества содержательных задач физики, механики, экономики, энергетики, электроники, биологии и даже логистики. С другой стороны, наличие особенностей не позволяет использовать для исследования такого рода моделей стандартные методы и порождает необходимость разработки специального математического: как аналитического, так и алгоритмического аппарата.

Исследование проведено в рамках приоритетной темы СО РАН «Разработка теории, моделей и методов обоснования развития и управления функционированием структурно неоднородных электроэнергетических систем в рыночных условиях», при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры современной России», проект «Сингулярные и интегральные модели и преобразования: теория и приложения» (рук. Д.Н. Сидоров), грантов РФФИ № 12-01-00722 (рук. А.С. Апарцин), № 11-08-00109 (рук. Н.И. Воропай), а также в рамках ряда международных проектов под руководством ведущих российских (чл.-корр. РАН Н.И. Воропай) и европейских ученых (J.-H. Chenot, C. Rehtanz).

Диссертация в полной мере соответствует Паспорту специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ:

Пункту 1 «Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений» в части построения моделей динамических систем, имеющих вид уравнений Вольтерра с кусочно-заданными ядрами, и

применения интегральных преобразования для распознавания дефектов и анализа временных рядов.

Пункту 2 «Развитие качественных и приближенных аналитических методов исследования математических моделей» в части оригинальных аналитических (в том числе, асимптотических) и численных методов решения линейных и нелинейных уравнений Вольтерра и Гаммерштейна с особенностями.

Пункту 4 «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента» относится разработка программ для ЭВМ «Адаптивный режекторный фильтр по подавлению муарового шума в цифровых изображениях» (свидетельство № 2012611329 от 09.01.2013) и «Программный комплекс численного решения интегрального уравнения Вольтерра первого рода с кусочно-непрерывным ядром» (свидетельство № 2012616439 от 03.06.2013).

При этом, поскольку в качестве аппарата исследования преобладают математические методы, а полученные результаты имеют вид новых закономерностей, характеризующих изучаемые объекты и системы, и оригинальных математических методов и алгоритмов их исследования, диссертационная работа относится к физико-математическим наукам.

Диссертация состоит из введения, двух частей, разбитых на пять глав и 19 параграфов, заключения, списка литературы, списка основных обозначений и предметного указателя. Общий объем текста составляет 353 страницы.

Во введении содержится библиографический обзор по теме исследования, кратко охарактеризовано содержание диссертации по главам, приведены результаты, выносимые на защиту, перечислены конференции и семинары, на которых результаты исследования проходили апробацию.

Первая часть диссертации «Интегральные динамические модели: элементы анализ» посвящена исследованию разрешимости и построению (аналитическому и численному) решений различных классов интегральных и интегро-дифференциальных уравнений и систем, возникающих при моделировании некоторых эволюционных физических процессов и развивающихся технических систем. В первой главе изложена теория линейных уравнений Вольтерра с кусочно-заданными ядрами. Во второй – приближенные (асимптотические) методы построения решений общих классов интегральных и интегро-дифференциальных систем, возникающих в механике сплошных сред и электронике. Разработанные методы применены в исследовании содержательных задач (моделировании динамики малых колебаний спутника в плоскости слабо-эллиптической орбиты, модели магнитной изоляции вакуумного диода и некоторых других). В третьей главе

результаты первой и частично второй глав обобщаются на случай абстрактных банаховых пространств.

Вторая часть «Приложения интегральных преобразований в моделировании нелинейной динамики и в обработке сигналов», как это явствует из названия, носит прикладной характер. В четвертой главе представлены методы идентификации моделей Вольтерра нелинейных нестационарных динамических систем, проводится апробация метода с использованием синтетических данных эталонной математической модели нелинейно динамики теплообмена. В пятой главе предложена методология и разработаны новые модели прогнозирования временных рядов и оценки рисков появления неустойчивых межсистемных колебаний в электроэнергетических системах.

В заключении сформулированы выводы по результатам исследования, указана научная новизна как математических моделей, так и аналитических методов и численных алгоритмов, примененных для их исследования. Содержание раздела изложено весьма развернуто, знакомство с ним позволяет получить общее представление о научных результатах диссертации.

Библиографический список является весьма представительным и включает 361 наименование, в нем гармонично сочетаются работы отечественных и зарубежных авторов.

Раздел «Основные обозначения» вполне отвечает своему названию и очень удобен для читателя, в особенности такого, который не является профессиональным математиком.

Предметный указатель удачно дополняет оглавление и позволяет легче ориентироваться в тексте работы, которая, как уже отмечалось, имеет немалый (даже для докторской диссертации) объем.

Научная новизна диссертации определяется тем, что

1. Разработан новый класс моделей развивающихся систем в виде интегральных уравнений Вольтерра с кусочно-непрерывным ядрами, терпящими разрывы первого рода на непрерывных непересекающихся кривых.

2. Для линейных и нелинейных интегро-дифференциальных уравнений с вырождением доказаны новые конструктивные теоремы существования классических и обобщенных решений.

3. Для нелинейных дифференциальных и интегро-дифференциальных уравнений, возникающих в механике и физике, впервые построены главные асимптотики решений.

4. Разработаны и программно реализованы оригинальные численные методы решения уравнения Вольтерра I рода с кусочно-непрерывными ядрами, имеющими разрывы первого рода.

5. Разработан новый метод прогнозирования поведения нестационарных динамических систем на основе анализа временных рядов с использованием интегрального преобразования Гильберта-Хуанга и методов машинного обучения.

6. Предложены и программно реализованы авторские алгоритмы подавления нелинейных нестационарных (квазипериодических) муаровых шумов в многомерных цифровых сигналах и распознавания дефектов.

Характеризуя диссертацию в целом, хотелось бы отметить, что она выполнена на высоком математическом уровне, отличается ясностью и последовательностью изложения, написана единолично, имеет внутреннее единство и свидетельствует о личном вкладе автора в науку. Особо хотелось бы отметить разнообразие и сложность примененного автором математического аппарата: математический и функциональный анализ, линейная алгебра, дискретная оптимизация, методы решения обратных и некорректных задач, искусственного интеллекта и т.д. Все математические утверждения строго и аккуратно доказаны, а также проиллюстрированы многочисленными примерами. Продемонстрирована связь полученных теоретических результатов с приложениями.

Вместе с тем, диссертация Д.Н. Сидорова не лишена определенных недостатков:

1. Обзор литературы, приведенный во введении, вызывает некоторые нарекания, поскольку охватывает менее половины библиографического списка. Кроме того, автор использует не вполне удачный подход к оформлению ссылок на литературу (см. ниже). Данные недочеты в значительной степени искупаются обсуждением литературы по теме исследования непосредственно в разделах, однако такая организация библиографического обзора, на наш взгляд, создает определенные неудобства для читателя.

2. Второе замечание является прямым продолжением первого. Во введении одна часть ссылок на литературу почему-то представлена в виде сносок внизу страницы, а другая – в виде ссылок на библиографический список. Принцип, на основании которого источники были разделены подобным образом, для нас остался загадкой, поскольку некоторые работы одновременно присутствуют и в сносках, и в библиографическом списке (см., например, сноску ⁸ и ссылку [120]; сноску ¹³ и ссылку [155] и т.п.). На наш взгляд, гораздо естественнее и удобнее было бы полностью перенести библиографию в соответствующий раздел в конце диссертации.

3. Во вводной части раздела 5.1, посвященной обоснованию актуальности исследования моделей прогнозирования поведения нестационарных динамических систем, акцент делается на проблемах электроэнергетики, что, на наш взгляд, не вполне оправданно. Данная

проблематика актуальна для экономических, экологических, социальных систем, а также в медицине, на транспорте и т.д. – список можно было бы продолжить.

4. Изложение материала не всегда продумано. Так, в одном разделе порой встречаются одинаковые формулы под разными номерами: (1.1.4) и (1.1.20); (1.3.3) и (1.3.6); (1.3.19) и вынесенная формула без номера на с. 58, и т.п. Аналогичные недочеты характерны и для третьей главы, в которой обобщаются результаты первой.

5. В диссертации большое внимание уделено описанию конкретных производственных задач, которые были решены автором. С одной стороны, это, безусловно, украшает исследование. Однако с другой – в некотором смысле – противоречит духу специальности 05.13.18, поскольку для нее (особенно это отгостится к работам по физико-математическим наукам) более ценна новизна и широта приложений, нежели внедрение результатов в производство: в Паспорте специальности прямо сказано, что она не включает в себя разработку новых математических моделей из конкретных предметных областей. Данное обстоятельство особенно обращает на себя внимание на фоне того, что возможные приложения рассмотренных интегральных уравнений в физике, механике и биологии освещены в диссертации гораздо слабее, хотя и обсуждаются во второй, третьей и четвертой главах.

6. Наконец, в диссертации имеются определенное количество опечаток, неудачных выражений и прочих тому подобных погрешностей. Приведу некоторые примеры:

6.1. В автореферате в ссылке на Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ «Программный комплекс численного решения интегрального уравнения Вольтерра первого рода с кусочно-непрерывным ядром» (с. 32, источник [38]) указаны два различных номера регистрации (2012616439 и 2013615261).

6.2 В диссертации на с. 8 имеется ошибочная ссылка: вместо ¹, по-видимому, должно быть ¹⁴.

6.3. В некоторых местах по-разному обозначены одинаковые величины: тангенс обозначен на с. 91 tg , а на с. 95 – \tan ; для обозначения векторов на странице 94 используется верхняя черта, а на с. 97 и далее в разделе 2.3 они выделены жирным шрифтом.

6.5. На с. 98 имеется фраза «определим ... коэффициенты v_i из линейных систем». Системы каких именно уравнений здесь имеются в виду: алгебраических, дифференциальных? Из контекста можно (потратив некоторое количество времени) понять, что уравнения алгебраические, однако это стоило отметить явно.

6.6. На с. 98 и в первой строке на с. 99 присутствуют обозначения s и S . По-видимому, они обозначают один и тот же параметр (число), создавая путаницу, которая далее усиливается из-за того, что в 8-й строке на той же странице символом S обозначается совершенно другой объект – некоторое множество функций.

6.7. На с. 204 имеется формула $\lim_{k \rightarrow \infty} \sqrt[k]{|\alpha|^k M^k} = |\alpha| \beta$, которая, очевидно, справедлива тогда и только тогда, когда $M = \beta > 0$. По-видимому, здесь имеется опечатка и вместо M^k должно быть M_k .

6.8. Укажем еще словесные ошибки и опечатки допущенные автором:

- a) «тем НИ менее» (с. 9, последняя строка);
- b) «обобщают результаты» (с. 14, 2-я строка снизу);
- c) «построение главных членов асимптотики решений строятся в главном виде» (с. 19, 13-я строка сверху);
- d) «с явном построением главного члена» (с. 75, 3-я строка снизу);
- e) «эффективность ИНС в решении задач ... напрямую следуют» (с. 246, 10-я строка снизу);
- f) неоднократно встречаются конструкции типа «используя..., был сделан (получен, протестирован)...» (см., например, с.11, 6-я строка сверху; с. 290, 7-я строка снизу): здесь налицо несогласованность времен.

Вместе с тем, справедливости ради, следует отметить, что в целом работа написана достаточно аккуратно и опечаток немного.

Высказанные здесь замечания ничуть не умаляют высокой научной ценности полученных результатов, поскольку замечание 5 носит, скорее, характер пожелания на будущее, а прочие относятся не к существу проведенного автором исследования, а к погрешностям изложения материала.

Подводя итог обсуждению, хотелось бы отметить, что диссертация Д.Н. Сидорова представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, выполненную на интересную и актуальную тему. Автором получены решения задач, имеющих большое значение для математического моделирования, теорий интегро-дифференциальных уравнений и искусственного интеллекта, а также для предметных областей. Основные результаты, полученные соискателем, являются новыми, их достоверность и научная значимость не вызывают у нас сомнений.

Особо хотелось бы указать на то, что результаты диссертации широко представлены в научной печати. Только в изданиях, включенных в Международные базы цитирования Web of Science и Scopus, имеется 17 (!) публикаций, всего же в журналах, включенных в Перечень ВАК, Д.Н.

Сидоровым по теме диссертационного исследования напечатано 27 работ. При этом география публикаций чрезвычайно широка: Москва, Иркутск, Новосибирск, Екатеринбург, Челябинск, Казань, Минск, Мешхед (Иран), Пинанг (Малазия) и т.д.

Результаты исследования прошли надлежащую апробацию, они докладывались на различных международных и российских научных семинарах и конференциях, включая семинар «Обратные задачи» в Институте Исаака Ньютона в Кембридже и семинар «Обратные задачи математической физики» в МГУ им. Ломоносова (только в автореферате указано более 50 научных мероприятий, в которых принимал участие соискатель, вероятно, фактически их значительно больше).

Диссертация написана грамотно, на высоком научном и методическом уровне, хорошим математическим языком, автореферат достаточно полно и правильно отражает ее содержание, показана результативность проведенного исследования.

Исходя из сказанного выше, считаю, что диссертационная работа Д.Н. Сидорова «ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ: приближенные методы и приложения» вносит крупный вклад в развитие методов математического моделирования и методов вычислений и может быть квалифицирована как научное достижение. Она в полной мере удовлетворяет требованиям ВАК России, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент:
Заведующий лабораторией
Математических методов анализа динамических систем
Института динамики систем и теории управления СО РАН,
доктор физико-математических наук,
доцент

Казаков Александр Леонидович
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 134, ИДСТУ СО РАН
(3952)453033
kazakov@icc.ru

А.Л. Казаков



Подпись заверяю
Нац. Отдела ДОО
Иванов Т.В. Ученый