

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА  
о диссертации ИСАЕВОЙ Елены Валерьевны  
«ВОССТАНОВЛЕНИЕ ФУНКЦИИ ПЛОТНОСТИ И ОЦЕНИВАНИЕ  
ПАРАМЕТРОВ РЕГРЕССИОННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-  
АНАЛИЗА», представленной на соискание ученой степени кандидата технических  
наук по специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики

**АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Математические конструкции и алгоритмы стохастического (вероятностного) моделирования позволяют адекватно описывать достаточно тонкие и малоизученные процессы и явления. Аналитические подходы позволяют представить основные тренды динамики изучаемых процессов, а вычислительные алгоритмы и соответствующие им компьютерные эксперименты позволяют как протестировать аналитические результаты, так и получить и исследовать новые детали и эффекты. Важной является грамотная обработка реальных статистических данных с целью иллюстрации работоспособности предложенных алгоритмов. Все эти элементы стохастического моделирования в полной мере представлены в рецензируемой работе Е. В. Исаевой в приложении к построению и исследованию специальных адаптивных алгоритмов оценивания регрессионных зависимостей и использованию этих алгоритмов при решении задачи мониторинга температурных изменений состояния грунта в городе Норильске.

Главное внимание в работе уделено изучению и использованию проекционных методов приближения неизвестной плотности распределения по заданной выборке, в которых неизвестная плотность разлагается по задаваемой исследователем системе ортогональных или «почти ортогональных» функций; при этом коэффициенты разложения пропорциональны математическим ожиданиям от этих функций по исследуемому распределению. Особенностью этих методов является то, что для каждого типа ортогональных или «почти ортогональных» функций требуется разработка отдельной теории сходимости, устойчивости и т. п., и из-за ряда принципиальных трудностей теоретико-математические достижения здесь относительно скромны. Поэтому весьма перспективным видится применение численных методов изучения соответствующих функциональных представлений. Такой подход реализован в работе Е. В. Исаевой для случая, когда упомянутую выше систему ортогональных или «почти ортогональных» функций образуют вейвлеты и/или тригонометрические функции.

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ И НОВИЗНА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ**

Работа состоит из Введения, пяти глав, Заключения, списка литературы и четырех приложений.

Введение представляет собой по сути повторение разделов «Актуальность темы и степень ее разработанности», «Цель и задачи исследования», «Область исследования», «Методы исследования», «Достоверность и обоснованность научных

положений», «Научная новизна работы», «Теоретическая значимость работы», «Практическая значимость работы», «Реализация результатов работы», «Основные положения, выносимые на защиту», «Личный вклад автора», «Апробация работы», «Публикации», «Структура и объем работы», «Краткое содержание работы» автореферата (что соответствует современному, несколько излишне формализованному стилю оформления научных диссертаций).

В Главе 1 приводятся (иногда излишне подробно – см. далее пункт 3 раздела «Замечания по работе») известные сведения по теории Фурье- и вейвлет-анализа, по параметрическому и непараметрическому оцениванию вероятностных плотностей, по методологии оценивания параметров регрессионных моделей. Особо выделены активно разрабатываемые в последнее время адаптивные методы оценивания регрессионных параметров. Приведен обзор компьютерных пакетов SPSS, STATISTICA, Stadia, Minitab с точки зрения возможности их использования при реализации таких адаптивных методов. Поставлена задача изучения возможностей использования проекционных методов с разложениями по ортогональным или «почти ортогональным» вейвлет и/или тригонометрическим функциям для приближения плотности на соответствующем шаге адаптивного алгоритма оценивания регрессионных параметров.

В Главе 2 рассматриваются проекционные методы приближения плотности по заданной выборке с различными системами ортогональных или «почти ортогональных» функций. Конкретнее, рассмотрены: тригонометрические функции, ортогональные вейвлеты Хаара, LITTLEWOOD & PALEY, Морле и «почти ортогональные» вейвлеты DOG, «Мексиканская шляпа». Отдельным достижением здесь являются полученные автором диссертации выражения для  $L_2$ -норм вейвлетов LITTLEWOOD & PALEY (Утверждение 1), Морле (Утверждение 2), DOG (Утверждение 3), «Мексиканская шляпа» (Утверждение 4), а также выражения для нормировочных множителей вейвлетов «Мексиканская шляпа» (Утверждение 5) и DOG (Утверждение 6). В подразделах 2.4 – 2.6 приведены результаты численных исследований рассмотренных приближений плотностей, позволивших сформулировать целый ряд рекомендаций по их практическому использованию. Здесь особого внимания заслуживает то обстоятельство, что наилучшие результаты показало применение «простейших» вейвлетов Хаара (что вполне соответствует приведенным далее соображениям из пункта 1 раздела «Замечания по работе»).

В разделе 3.1 Главы 3 представлена схема адаптивного алгоритма оценивания неизвестных параметров регрессионных моделей, основанного на технологии метода максимального правдоподобия; при этом в пункте (на шаге) 3 алгоритма предполагается приближение плотности, и автор диссертации предлагает использовать разработанные в Главе 2 проекционные методы (к слову, в самой формулировке шага 3 в тексте диссертации имеется «редкая» – см. далее пункт 4А раздела «Замечания по работе» – опечатка: использован неверный падеж слова «соотношение»). Здесь обнаруживается целесообразность использования «гладких» ортогональных или «почти ортогональных» функций (отличных от функций Хаара). Такой подход позволяет автору диссертации получить новые аналитические соотношения для логарифмических функций правдоподобия и их производных: для тригонометрических функций (формулы (3.5), (3.6) из подраздела 3.2), для

ортогональных вейвлетов LITTLEWOOD & PALEY и Морле (формулы (3.8), (3.9); (3.11), (3.12) из подраздела 3.3) и для «почти ортогональных» вейвлетов DOG и «Мексиканская шляпа» (формулы (3.14), (3.15); (3.17), (3.18) из подраздела 3.4). В разделе 3.5 представлены результаты многочисленных компьютерных экспериментов по исследованию предложенных алгоритмов оценивания неизвестных параметров для модельной регрессионной зависимости (3.19) на основе преобразования Фурье и исследованных в работе вейвлетов.

В Главе 4 представлены структура и режимы работы разработанного автором диссертации программного комплекса WTIRM v1.0.

В Главе 5 предложена и исследуется задача ковариационного анализа (5.1) в применении к описанию температурных изменений грунтов в отдельных точках на сваях сооружений в городе Норильске (на основании имеющихся замеров). Проведено оценивание неизвестных параметров регрессионной зависимости на основе разработанных адаптивных алгоритмов, включающих все виды рассмотренных в диссертации проекционных алгоритмов приближения вероятностных плотностей. Получен ряд важных графиков, которые можно использовать в прогнозировании температурных состояний норильских грунтов, что, в свою очередь, позволит своевременно обнаруживать нарушения мерзлотно-грунтовых условий для зданий и сооружений.

Удобным при чтении диссертации является то обстоятельство, что в конце каждой главы сформулированы основные полученные результаты. Соответственно, в разделе «Заключение» эти формулировки немного сокращены и соединены воедино, образуя описание пяти основных результатов работы.

Список литературы содержит 107 названий (из них 10 – это работы автора диссертации).

В Приложении А показаны интерфейсы различных режимов работы созданного автором диссертации комплекса компьютерных программ WTIRM v1.0. В Приложении Б приведены данные температурного мониторинга состояния грунтов города Норильска (кем были получены данные, автор диссертации не сообщает). В Приложении В представлено отсканированное свидетельство о государственной регистрации программного комплекса WTIRM v1.0 для восстановления функции плотности и оценивания параметров регрессионных моделей на основе вейвлет-анализа. В Приложении Г представлены сканы трех документов: акта о внедрении полученных автором диссертации научных результатов в работу ООО «Мерзлотный инженерно-строительный центр» и двух актов о внедрении этих же результатов в учебный процесс кафедры математики и информатики Инженерного лицея НГТУ и кафедры теоретической и прикладной информатики НГТУ, соответственно.

### СТЕПЕНЬ ОБОСНОВАННОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТЬ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ, СФОРМУЛИРОВАННЫХ В ДИССЕРТАЦИИ

Требующиеся автору факты из литературы сформулированы верно (с соответствующими ссылками) – с некоторыми оговорками (см. далее пункты 2, 3 и 4В раздела «Замечания по работе»). Объективными и достоверными являются выводы автора, сформулированные на основании доказанных утверждений,

полученных математических формул и проведенных компьютерных экспериментов (в том числе, с использованием самостоятельно реализованного и официально зарегистрированного комплекса программ WTiRM v1.0).

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ РАБОТЫ

Проведенные Е. В. Исаевой исследования вносят вклад в теорию проекционных методов приближения неизвестной плотности распределения по заданной выборке: в частности, достаточно подробно изучен случай, когда вводимую ортонормированную или «почти ортонормированную» систему функций образуют вейвлеты и тригонометрические функции. В качестве приложения этих приближений рассмотрено оценивание параметров регрессионных моделей; создан соответствующий комплекс программ WTiRM v1.0; имеется свидетельство о государственной регистрации этого комплекса.

Полученные теоретические и прикладные результаты внедрены в учебный процесс кафедры математики и информатики Инженерного лицея НГТУ и кафедры теоретической и прикладной информатики НГТУ (имеются соответствующие акты о внедрении).

Предложенные автором подходы успешно использованы при решении задачи мониторинга температурных изменений состояния грунта в городе Норильске (имеется соответствующий акт о внедрении от ООО «Мерзлотный инженерно-строительный центр»).

## ЗАМЕЧАНИЯ ПО РАБОТЕ

1. В дальнейших научных исследованиях в избранном автором диссертации направлении следует учитывать, что в целом, в рамках теории численной аппроксимации функций, изучаемые ею проекционные компьютерные алгоритмы приближения плотности по заданной выборке являются численно неустойчивыми и искажающими свойства приближаемой функции (особенно в случае выбора «нелокальных» и «излишне гладких» ортогональных или «почти ортогональных» систем функций); к слову, это в полной мере проявилось и в рецензируемой работе – см. разделы 2.4 – 2.6. По мнению автора отзыва (отраженного в целом ряде его публикаций), для построения вычислительных (компьютерных) алгоритмов приближения плотностей более перспективным видится использование упрощенных оптимизированных «не слишком гладких» конструкций, таких, например, как полигон частот (с этой точки зрения, наличие в широко распространенных статистических пакетах SPSS, STATISTICA, Stadia, Minitab только гистограммного подхода видится вполне логичным и правильным).

2. При представлении и исследовании проекционных подходов к приближению плотности по заданной выборке следовало упомянуть не только довольно странный набор западных публикаций [79, 80, 94, 100, 104], датированных девяностыми годами прошлого века (см. раздел 2.1 диссертации), но и работы такого классика (и, по-видимому, пионера в этой области), как Николай Николаевич Ченцов (как минимум, включить в список литературы книгу *Ченцов Н. Н. Статистически решающие правила*

и оптимальные выводы. М.: Наука, 1972). Можно также отметить, что идеи из подраздела 2.1 с различными ортогональными системами функций (отличными от вейвлетов) применяются в последние годы в научной группе ведущего российского специалиста по методам Монте-Карло чл.-корр. РАН Г. А. Михайлова из новосибирского Академгородка.

3. В ряде разделов диссертации большие куски текста представляют собой не описание результатов научного исследования, а фрагменты учебного пособия: приводятся хорошо известные определения и утверждения; при этом многие из приведенных фактов в работе не используются. Особенно это проявляется в вводной Главе 1 (34 страницы), которую можно было бы существенно сократить.

4. Текст диссертации хорошо структурирован и оформлен. Есть только относительно мелкие редакторские замечания.

А). В названии раздела 4.2 логичнее использовать слово «режим» во множественном числе. В названии раздела 5.3 слово «уравнениям», по-видимому, следует заменить на слово «уравнений». В Приложении В представлено только одно свидетельство о регистрации программного продукта, поэтому множественное число в названии этого раздела видится неточным. В текстах разделов также имеются редкие опечатки (неправильные падежи слов, неоднократное использование одного и того же слова и т. п.).

Б). «Нестабильно» использование в тексте буквы «ё»: почти везде она отсутствует, но в редких местах вдруг появляется (например, в слове «объём» на странице 11 или в слове «обобщённого» на стр. 104).

В). На странице 30 приведен довольно обширный список используемых на практике ядерных функций со ссылкой на учебник И. М. Соболя [55], но в этом учебнике такой список отсутствует.

## ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа Е. В. Исаевой «Восстановление функции плотности и оценивание параметров регрессионных зависимостей на основе вейвлет-анализа» является завершённой научной работой, определяющей развитие теории и приложений адаптивных алгоритмов оценивания регрессионных параметров, и соответствует требованиям, предъявляемым нормативными актами Российской Федерации к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Работа формально соответствует пункту 5 «Разработка и исследование моделей и алгоритмов анализа данных, обнаружения закономерностей в данных и их извлечения, разработка и исследование методов и алгоритмов анализа текстов, устной речи и изображений» паспорта специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики. Полученные результаты отражены в 10 публикациях и представлены на научных семинарах и конференциях. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Автор диссертации Елена Валерьевна Исаева заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики.

### Официальный оппонент

ведущий научный сотрудник лаборатории стохастических задач  
Федерального государственного бюджетного учреждения  
науки Института вычислительной математики и математической  
геофизики Сибирского отделения Российской Академии наук,  
доктор физико-математических наук (01.01.07 – Вычислительная  
математика), профессор

**Войтишек Антон Вацлавович**

22 июля 2022 года

**Подпись А. В. Войтишека удостоверенная**

Ученый секретарь ИВМиМГ СО РАН

Л. В. Вшивкова

**Сведения об организации:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук; адрес: 630090, Новосибирск, проспект Академика М. А. Лаврентьева, 6; телефон: +7 (383) 330 83 53; адрес электронной почты: [contacts@sscc.ru](mailto:contacts@sscc.ru); сайт: <https://icmmg.nsc.ru>

Отзыв поступил  
в совет 27.07.2022

С отзывом ознакомлена 28.07.2022