

## ОТЗЫВ

официального оппонента

Маркина Артёма Васильевича

на диссертацию Ерошенко Александра Андреевича

«Статистические свойства оценок сигналов и изображений при пороговой обработке коэффициентов в вейвлет-разложениях»,

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности

01.01.05 – теория вероятностей и математическая статистика

Тема диссертационной работы А.А. Ерошенко связана с теорией вейвлет-преобразования, которая является одним из молодых и активно развивающихся направлений современной математики. Первые значимые шаги в исследовании данного направления были сделаны в конце прошлого века, сейчас уже можно смело утверждать, что вейвлет-анализ стал мощным математическим аппаратом.

Одними из основных свойств вейвлетов являются возможность компактного представления сигнала и наличие быстрых алгоритмов разложения и восстановления. Вейвлет-базис строится путем сдвигов и растяжений единственной функции – базового вейвлета. Раскладывая сигнал в ряд по вейвлет-базису, можно добиться очень хорошего приближения сигнала с помощью небольшого числа коэффициентов. Поэтому вейвлеты успешно используются на практике в задачах хранения и передачи сигналов и изображений.

Масштабное свойство вейвлетов используется, в том числе, для очистки сигнала от шума, поскольку коэффициенты вейвлет-разложения на мелких масштабах содержат в основном информацию о шуме, а не о полезном сигнале. Для фильтрации шума обычно применяется пороговая обработка вейвлет-коэффициентов.

Риск, то есть ошибка, пороговой обработки на практике неизвестен, поскольку неизвестен исходный незашумленный сигнал. Поэтому оценка риска и ее свойства, исследуемые в диссертации, представляет не только теоретический, но и практический интерес. Например, ее можно использовать при выборе оптимального порога на этапе пороговой обработки или при построении доверительных интервалов для риска.

Вейвлет-методы также нашли свое применение в обратных задачах, где данные наблюдаются после линейного преобразования и также могут содержать шум. Требование однородности линейного оператора позволяет определить специальные функции, называемые вейглетами. Вейглет-функции, которые также образуют базис, применяются в методах вейвлет-вейглет и вейглет-вейвлет-разложений для решения обратных задач.

Важным для практики примером обратных задач является задача компьютерной томографии, где наблюдается не сам объект, а его проекции. Цель состоит в восстановлении функции по ее проекциям, полученным в результате преобразования Радона. Это преобразование является линейным и однородным по одной из переменных, поэтому в задаче компьютерной томографии также применима теория вейвлетов.

В перечисленных выше задачах наблюдаемые данные неизбежно содержат шум, а с помощью механизма пороговой обработки можно эффективно его удалять. Поэтому здесь важно уметь вычислить ошибку пороговой обработки с помощью оценки риска. Кроме того, в наблюдениях может присутствовать коррелированный шум с долгосрочной зависимостью. Причиной появления такого шума являются не только неизбежные погрешности измерения, но и физическая природа наблюдаемого объекта. Коррелированный шум можно наблюдать при измерении сердечных ритмов или



электрической активности мозга, а также практически в любых электронных и механических устройствах.

Таким образом, тематика диссертационной работы является актуальной и важной, и представляет теоретический и практический интерес.

Большая часть исследований в данной области посвящено исследованию свойств самого риска пороговой обработки, а те, что касаются свойств оценки риска, проводятся в рамках моделей с независимым шумом. В диссертации А.А. Ерошенко впервые исследованы асимптотические свойства оценки риска в задачах, где наблюдаемые данные содержат коррелированный шум. Все полученные автором результаты, являются новыми.

Основным объектом исследования диссертации А.А. Ерошенко является оценка риска пороговой обработки вейвлет-коэффициентов. Цель диссертации состоит в исследовании ее свойств в задачах, где по наблюдаемым данным, прямым или косвенным, требуется восстановить исходную функцию. В работе получены и корректно обоснованы следующие новые результаты:

1. Доказаны свойства состоятельности и асимптотической нормальности оценки риска в задаче фильтрации коррелированного шума при прямом наблюдении.
2. Исследованы свойства оценки риска в задачах, где исходный объект наблюдается лишь косвенно через некоторый линейный оператор, а полученные данные содержат коррелированный шум. Здесь также сформулированы и обоснованы свойства асимптотической нормальности и состоятельности оценок риска.
3. Доказано свойство асимптотической нормальности оценки риска пороговой обработки в задаче компьютерной томографии в условиях наличия коррелированного гауссовского шума.

Все приведенные утверждения строго математически доказаны. Степень обоснованности научных положений и выводов диссертации А.А. Ерошенко отвечает общепринятой в рамках специальности 01.01.05 – теория вероятностей и математическая статистика. Полученные результаты являются ценными как с точки зрения практики, так и с точки зрения дальнейших теоретических исследований.

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. В работе недостаточно подробно дан обзор актуальных результатов в области вейвлет-преобразования. Вопросы выбора пороговой функции и самого порога, асимптотики оценки сигнала и оценки риска при различных порогах помогли бы лучше понять место результатов А.А. Ерошенко в теории вейвлетов.
2. В диссертации неоднократно упоминается возможность выбора вейвлета Мейера, обладающего необходимыми для справедливости теорем свойствами. Для большей наглядности имело смысл привести пример построения такого вейвлета.
3. В утверждениях диссертации предполагается, что дисперсия шума известна, тогда как на практике дисперсия всегда оценивается. Поэтому исследование свойств оценки риска в условиях оцениваемой дисперсии шума представляет несомненный теоретический и практический интерес.

Несмотря на приведенные выше замечания, диссертационная работа А.А. Ерошенко заслуживает высокой оценки. Актуальность темы, научная новизна и ценность работы не вызывают сомнений. Результаты диссертации обоснованы и представляют собой законченное научное исследование. Полученные результаты полностью опубликованы в научной печати, среди публикаций 5 статей в журналах из



списка изданий, рекомендованных ВАК. Результаты работы соответствуют уровню кандидатской диссертации. Автореферат составлен в соответствии с требованиями и корректно отражает содержание диссертации. Тематика соответствует специальности 01.01.05 – теория вероятностей и математическая статистика.

Обобщая все выше сказанное, работа Александра Андреевича Ерошенко «Статистические свойства оценок сигналов и изображений при пороговой обработке коэффициентов в вейвлет-разложениях» полностью соответствует требованиям, предъявляемым Положением о порядке присуждения ученых степеней к диссертациям на соискание ученой степени кандидат физико-математических наук по специальности 01.01.05 – «Теория вероятностей и математическая статистика».

Официальный оппонент

главный специалист Банка ГПБ (АО), к.ф.-м.н.

А.В. Маркин

«25» августа 2015 г.

Почтовый адрес: 117420, г. Москва, ул. Наметкина, д. 16, корпус 1,  
тел.: +7-495-2876100\*29445, email: artem.v.markin@mail.ru

Подпись официального оппонента заверяю

