



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«Вологодский
государственный университет»
(ВоГУ)**

ул. Ленина, д.15, г. Вологда, 160000
тел. (8172) 72-46-45, факс (8172) 72-45-62
E-mail: kanz@vogu35.ru

ОКПО 02069792, ОГРН 1023500876453
ИНН/КПП 3525027110/352501001

24.05.2018 № 07.01-45/0313-55.20
На № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения
высшего образования
«Вологодский государственный университет»

профессор М. А. Безнин

24 июня 2018 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

о диссертационной работе Звонарева Никиты Константиновича «Структурные
аппроксимации временных рядов», представленной на соискание учёной
степени кандидата физико-математических наук по специальности
01.01.07 – вычислительная математика

Актуальность темы исследования. Диссертационная работа Звонарева Никиты Константиновича посвящена анализу временных рядов, которые представляют собой сумму сигнальной и шумовой составляющей, причем последняя является случайным процессом с нулевым математическим ожиданием. В работе рассматривается задача оценивания полезного сигнала по результатам его наблюдений для сигналов, которые являются решениями линейных разностных уравнений с постоянными коэффициентами. Актуальность темы исследования обусловлена тем, что такие сигналы являются моделями различных колебательных процессов, в том числе периодических, затухающих и резонансных, и находят применение при исследовании различных технических систем. Рассматриваемые сигналы имеют конечный ранг, который определяется через стандартную процедуру вложения пространства сигналов в пространство ганкелевых матриц и совпадает с минимальным порядком линейного разностного уравнения, определяющего сигнал. Этот факт позволяет решать задачу оценивания сигнала взвешенным методом наименьших квадратов в пространстве временных рядов фиксированного ранга. Решаемая при этом экстремальная задача весьма сложна. Она возникла давно, но до сих пор не является полностью решенной. В частности, нерешенными являются проблемы сходимости численных методов ее решения, их свойств и построения быстрых реализаций вычислительных алгоритмов. В последние годы задача Hankel structured low-rank approximation исследуется в большом количестве работ, что подтверждает ее актуальность.

Основные результаты исследования и их новизна. Первая глава работы носит вспомогательный характер и содержит известные определения и утверждения, необходимые для изложения собственных результатов автора.

Теоретические результаты представлены во второй главе диссертации.

Автором впервые предложена явная параметризация множества рядов заданного конечного ранга, доказана ее дифференцируемость. Получено представление касательного подпространства к пространству рядов в произвольной точке в терминах введенной параметризации. Это позволило, в дальнейшем, построить эффективные численные алгоритмы оценивания сигнала, а также изучать в этих терминах свойства его аппроксимации.

Для задачи оценивания сигнала, в которой возмущение линейно зависит от малого параметра, явно выделена линейная по параметру часть оценки и доказано, что разность между оценкой и ее линейной частью сходится к нулю быстрее, чем параметр (в смысле слабой сходимости). Дано определение ошибки первого порядка по параметру и получен ее явный вид. В случае возмущения с нулевым средним значением, имеющего нормальное распределение с матрицей ковариаций обратной весовой матрице, доказано, что ошибка первого порядка имеет нулевое математическое ожидание, а ее матрица ковариаций совпадает с нижней границей в неравенстве Рао-Крамера. Аналогичный результат получен для средней по точкам ряда среднеквадратичной ошибки.

Третья глава содержит численные алгоритмы решения задачи оценивания сигнала как задачи аппроксимации по взвешенному методу наименьших квадратов. Оценкой сигнала является точка глобального минимума нелинейного функционала, которая определяется с помощью итерационной процедуры. На основе теории из второй главы построен новый алгоритм аппроксимации сигнала (модифицированный алгоритм Гаусса-Ньютона) и показано, что он более устойчив к погрешностям вычислений, чем ранее известные алгоритмы. Кроме того, предлагаемый итеративный алгоритм существенно лучше по показателю трудоемкости известного алгоритма К. Усевича и И. Марковского.

В четвертой главе рассматривается подход к оцениванию сигнала с помощью метода итераций Кэдзоу, который решает задачу аппроксимации с точки зрения методов, основанных на подпространстве сигнала, т.е. как задачу аппроксимации ганкелевыми матрицами меньшего ранга. Автором найдено соотношение между весовой матрицей взвешенного метода наименьших квадратов и весовыми матрицами кососимметричного скалярного произведения матриц в методе Кэдзоу, обеспечивающее эквивалентность параметрического и матричного метода аппроксимации сигнала. В исходной работе Кэдзоу рассматривался невзвешенный метод, который дает неоптимальный в смысле величины ошибки результат. Автором построены эффективные численные методы поиска правильных весов для взвешенного метода Кэдзоу, дающих весовую матрицу параметрического метода, близкую к матрице, обратной для матрицы ковариаций временного ряда, что обеспечивает величину ошибки, близкую к оптимальной. Предложен такой вариант алгоритма Кэдзоу, в котором за счет выбора весов можно регулировать соотношение между точностью и трудоемкостью реализации оценки.

В последней, пятой, главе, содержатся результаты численных экспериментов, подтверждающих теоретически обоснованные свойства разработанных алгоритмов.

Все перечисленные результаты являются новыми.

Значимость полученных автором диссертации результатов. Полученные в диссертации результаты имеют высокую практическую ценность, так как предлагают новый подход к построению более быстрых и более устойчивых к ошибкам вычислений численных методов аппроксимации сигнала, по сравнению с известными ранее алгоритмами. Предложенные в диссертации алгоритмы могут быть использованы при решении прикладных задач в области биологии, распознавания речи, идентификации систем, и других областях науки и практики. Теоретическая ценность результатов заключается в полном и исчерпывающем описании параметризации пространства аппроксимации, а также в получении ошибок первого порядка по параметру для оценивания сигнала, что позволяет определять скорость сходимости итерационных алгоритмов для оценивания сигнала. Теоретические результаты могут быть использованы специалистами в области решения задач аппроксимации временных рядов. Они могут найти применение в исследованиях, проводимых в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, Санкт-Петербургском государственном университете, Вологодском государственном университете, Новосибирском государственном университете, Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений. Представленные в диссертационной работе результаты являются достоверными и обоснованными. Все теоремы и леммы строго доказаны с использованием методов линейной алгебры, теории гладких многообразий, вычислительной математики, математической статистики и функционального анализа. Вычислительные алгоритмы корректно описаны. Доказана их сходимость, исследована устойчивость к ошибкам округлений, оценена трудоемкость. Эффективность алгоритмов подтверждена результатами численных экспериментов.

Результаты диссертационной работы опубликованы в четырех статьях, из которых одна опубликована в научном издании, входящем в Перечень ВАК и одна – в научном издании, входящем в базы цитирования Web of Science и Scopus. Результаты работы прошли апробацию на двух международных конференциях. Вклад автора описан на стр. 8 автореферата и стр. 11-12 диссертации и является определяющим.

Замечания и рекомендации по диссертационной работе.

1) Основное замечание по оформлению работы связано с тем, что автор применяет термины, которые еще не определены в момент их использования.

Например, среди сформулированных целей работы на стр. 9 написано: «Исследование асимптотических по соотношению сигнал/шум ошибок первого порядка для полученных методами оценок сигнала». Из этого текста невозможно понять, о чем идет речь, поскольку применяемые в данной фразе термины ранее не были определены.

В работе с самого начала говорится об устойчивости разрабатываемых алгоритмов. При этом строго понятие устойчивости не определяется.

2) Полученные в работе алгоритмы можно применять непосредственно в предложенном виде, если известны ранг сигнала и ковариационная матрица шума. В качестве дальнейших исследований можно рекомендовать разработку методики применения алгоритмов в случае, когда указанные параметры сигнала неизвестны или известны частично.

Пример анализа ряда безработицы в США, рассмотренный автором в конце пятой главы, показывает, в каком направлении можно развивать алгоритмы.

Указанные замечания не являются определяющими и не влияют на общую положительную оценку работы.

Заключение.

Диссертационная работа представляет собой логически завершенное исследование. В ней с разных точек зрения рассмотрена задача оценивания сигнала заданного ранга, разработан и обоснован новый подход к построению численных методов аппроксимации сигнала, доказаны необходимые теоретические утверждения, построены эффективные реализации алгоритмов аппроксимации. Основные положения диссертации представлены в работах автора, опубликованных в рецензируемых научных изданиях. Автореферат полностью соответствует всем основным положениям диссертации.

Таким образом, диссертационная работа Н. К. Звонарева «Структурные аппроксимации временных рядов» полностью удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Звонарев Никита Константинович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.07 «Вычислительная математика».

Отзыв о диссертации и автореферате обсужден и одобрен на заседании кафедры прикладной математики Вологодского государственного университета «17» мая 2018 года, протокол № 7.

Заведующий кафедрой прикладной математики
Вологодского государственного университета,
доктор физико-математических наук,
профессор



Зейфман Александр Израилевич

Доктор физико-математических наук, доцент,
профессор кафедры прикладной математики
Вологодского государственного университета



Сипин Александр Степанович

Адрес: 160000, Российская Федерация, г. Вологда,
ул. Ленина, 15,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Вологодский государственный университет»

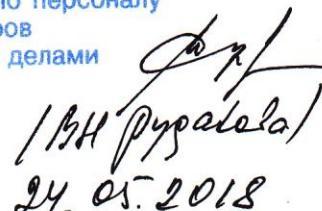
Телефон: (8172) 72-46-45

www: <http://www.vogu35.ru>

E-mail: kanz@mh.vstu.edu.ru

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ

Менеджер по персоналу
отдела кадров
Управления делами


/BH Руслана/

24.05.2018