

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук, профессора Миллера Бориса Михайловича на диссертацию Догадовой Татьяны Валерьевны на тему «Прогнозирование и идентификация динамических систем методами усеченного оценивания», на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 05.13.01 – «**Системный анализ, управление и обработка информации** (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации)».

Актуальность темы исследования и соответствие темы работ специальности 05.13.01. Тема диссертационной работы Догадовой Т. В. относится к теории статистического анализа и прогнозирования временных рядов. Данная тематика имеет долгую историю, начиная с прогнозирования солнечной активности, и актуальна в настоящее время, имея множество приложений в банковской деятельности, сельском хозяйстве, добыче и распределении природных ресурсов и многих других. В статистическом анализе при анализе временных рядов применяются в основном два подхода: спектральный и анализ в пространстве состояний. Основной задачей анализа временных рядов является на первом этапе – построение модели ряда и далее прогнозирование. Большинство существующих методов основаны на асимптотических оценках точности и, как правило, работают с неограниченной выборкой. Однако, часто доступная информация ограничена и необходимо искать оптимальный прогноз по выборке ограниченного объема. Именно этой проблеме и посвящена диссертация, в которой статистический анализ производится методами усеченного последовательного оценивания, предложенного в работах В.В.Конева и С.М.Пергаменщикова, также на основе метода усеченного оценивания, параметров и функционалов типа отношений, развитого в работах В.А.Васильева. Таким образом, работа ориентирована в значительной степени на разработку эффективных алгоритмов анализа и прогнозирования временных рядов по выборкам ограниченного объема, что подтверждает ее значимость и актуальность.

Научная новизна. В данной работе метод усеченного оценивания впервые используется при оценивании параметров авторегрессионных моделей для многомерных временных рядов с дискретным и непрерывным временем. Для динамических моделей стохастических систем с непрерывным временем впервые использованы оценки матричных параметров моделей по методу усеченного оценивания, имеющие гарантированную точность на выборках фиксированного объема и обладающие свойством сильной состоятельности. Использование таких оценок позволило получить решения задач прогноза для многомерных устойчивых диффузионных процессов, а также процессов с шумами типа Леви и удовлетворяющих дифференциальным уравнениям с запаздыванием.

Структура работы. Работа состоит из введения, двух глав основного текста, заключения, списка литературы и приложения. Полный объем диссертации составляет 140 страниц, 15 рисунков, 8 таблиц. Список литературы включает 130 наименований.

Во введении автор подробно излагает современное состояние дел в теории анализа и прогнозирования временных рядов с акцентом на неасимптотические методы, в которых со времен Вальда используется случайный момент остановки процедуры оценивания. Тем не менее, поскольку момент остановки не ограничен, для реализации таких процедур требуются выборки неограниченного объема. Важным отличием методов усеченного оценивания является заранее фиксированный ограниченный объем выборки, на котором достигается гарантированная точность оценивания. Автором показаны основные этапы и подходы в развитии методов усеченного оценивания и формулируются задачи, исследованию которых посвящена данная работа.

Первая глава диссертации посвящена динамическим системам с дискретным временем. Основным объектом исследования является модель авторегрессии общего вида и целью является оценка неизвестных параметров модели с помощью метода усеченного последовательного оценивания. Здесь автор придерживается единой методики, состоящей из следующих этапов:

- Выписывается взвешенная оценка параметра методом наименьших квадратов (МНК);
- Производится усечение оценки по выборке конечного размера N путем определения момента остановки наблюдений, так что до момента остановки оценка определяется из МНК, а далее оценка не изменяется.

С практической точки зрения, алгоритм зависит от выбора весов при вычислении взвешенной суммы дисперсий ошибок, которая при определении момента остановки сравнивается с заданным порогом, отвечающим за точность оценки. Получена оценка точности определения неизвестного параметра и описаны свойства оценки, которые далее используются в следующих задачах:

- Оценивание параметра динамики авторегрессионного процесса **AR(1)**, для которого предложен метод адаптивного усеченного последовательного оценивания параметра для процесса с неизвестной дисперсией шума.
- Доказана эффективность усеченной последовательной оценки с неизвестной дисперсией шума и проведено имитационное моделирование усеченных последовательных оценок параметра процесса **AR(1)**.
- Выполнено моделирование адаптивных прогнозов стоимости акций четырех крупных компаний, которые демонстрируют достаточно высокое качество одношаговых прогнозов на периоде в 1 год.

- Исследован процесс оценивания регрессионного параметра динамики процесса $ARARCH(1,1)$. Выведены соотношения для последовательных усеченных оценок, показана их эффективность и состоятельность, иммитационное моделирование подтверждает высокое качество оценок.
- Исследованы модели оценки параметров специального процесса $AR(2)$, процессов $ARARCH(1,q)$, $ARARCH(2,2)$ и процесса $ARARCH(1,1)$ с дрейфующим параметром.

Результаты данной главы демонстрируют эффективность метода последовательного усеченного оценивания параметра, которая подтверждена точными оценками и многочисленными примерами иммитационного моделирования.

Вторая глава диссертации посвящена динамическим системам с непрерывным временем. Метод исследования основан на фундаментальной работе В. А. Васильева, в которой разработан подход к построению процедуры усеченного оценивания для функционалов типа отношений. В диссертации решается задача прогнозирования для систем с непрерывным временем по аналогии с со случаем дискретного времени. Ограниченность выборки в этом случае соответствует конечному времени наблюдения. В работе решены следующие задачи:

- На основе оценки максимального правдоподобия построена усеченная оценка параметра устойчивого процесса Орнштейна-Уленбека. Показано свойство сходимости оценки в среднем и асимптотическая эквивалентность усеченной оценки и оценки максимального правдоподобия. Доказана эффективность усеченной оценки.
- Решена задача адаптивного оптимального прогнозирования процесса Орнштейна-Уленбека, показано, что адаптивные значения функции риска и времени прогнозирования асимптотически эквивалентны оптимальным.
- Иммитационное моделирование процедуры оценивания на основе усеченных оценок подтверждает их сходимость.
- Интересный результат получен для негауссовского процесса Орнштейна-Уленбека, возмущенного взвешенной суммой винеровского и пуассоновского процессов. Решена задача адаптивного оптимального прогнозирования процесса, показано, что адаптивные значения функции риска и времени прогнозирования асимптотически эквивалентны оптимальным.
- Решена задача гарантированного оценивания параметра процесса Орнштейна-Уленбека по наблюдениям с аддитивным зависимым шумом.
- Предлагаемая методика развивается и для многомерных диффузионных процессов с неизвестной устойчивой матрицей Λ , в линейном

диффузионном уравнении. Относительно неизвестной матрицы Λ предполагается известным лишь ограничивающее множество, знание которого позволяет получить необходимые оценки.

- Решена задача адаптивного оптимального прогнозирования многомерных диффузионных процессов. Показана сильная состоятельность оценок неизвестной матрицы и дисперсии процесса.
- Построена усеченная оценка параметра однопараметрического дифференциального уравнения с запаздыванием, построены оптимальные и адаптивные прогнозы процесса, исследованы их свойства.

Практическая ценность работы состоит в том, что построенные процедуры прогнозирования могут использоваться для стохастических динамических систем в условиях, когда неограниченное увеличение объема наблюдений невозможно или слишком затратно. Области приложений – это финансовая математика, социология, вычислительная генетика и многие другие.

Теоретические результаты могут являться основой курсов лекций для студентов специализирующихся в области математической статистики и стохастического управления. Необходимо отметить, что рассмотренные в диссертации методы адаптивного оценивания и усеченные оценки параметров случайных процессов с дискретным и непрерывным временем используются в учебном процессе в курсе «Эконометрическое моделирование и стохастические процессы» для студентов 4-го курса по специальности 01.03.02 Прикладная математика и информатика.

Достоверность и обоснованность положений диссертации подтверждается тремя (3) публикациями в ВАКовских журналах и представлением результатов в других научных журналах и на авторитетных научных конференциях, всего (17). Доказательство основных теорем и численное моделирование алгоритмов, демонстрирующих их сходимость, достаточны для подтверждения достоверности и обоснованности положений диссертации.

Замечания по работе.

1. Усеченные оценки строятся на основе взвешенных оценок метода наименьших квадратов. Однако выбор коэффициентов взвешивания и его влияние на точность оценивания никак не обосновывается и не анализируется.
2. Иммитационное моделирование выполнено лишь для одношаговых оценок, что на мой взгляд недостаточно для убедительной демонстрации работоспособности метода.
3. В разделах, где оценивается неизвестный параметр λ автор не делает о нем никаких предположений, однако результаты формулируются в терминах матожидания и распределения, зависящего от этого параметра.

Заключение по работе. Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком математическом уровне. Автор диссертации является соавтором 3 статей, опубликованных в журналах из списка научных журналов, рекомендованных ВАК. Основные положения, выносимые на защиту, полностью отражены в публикациях. Автореферат соответствует содержанию текста диссертации. Диссертация удовлетворяет требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, то есть удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, Догадова Татьяна Валерьевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации)».

Официальный оппонент:

Главный научный сотрудник лаборатории № 2 «Методов анализа и цифровой обработки изображений» ИППИ РАН, профессор, доктор физико-математических наук

Миллер Борис Михайлович

 14/08/2019

Адрес: 127051, г. Москва, Большой Каретный переулок, 19, стр. 1, Телефон:

8 (495) 650-47-81, e-mail: bmiller@iitp.ru



Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем передачи информации им. А. А. Харкевича Российской академии наук

Адрес: 127051, г. Москва, Большой Каретный переулок, 19, стр. 1; телефон:

8 (495) 6504225; e-mail: director@iitp.ru; сайт: <http://iitp.ru>