

**Заключение диссертационного совета МГУ.011.3
по диссертации на соискание ученой степени доктора наук**

**Решение диссертационного совета от «21» июня 2024 г. №
о присуждении Линке Юлиане Юрьевне, гражданке РФ,
ученой степени доктора физико-математических наук.**

Диссертация «Универсальные ядерные оценки в непараметрической регрессии с приложениями к нелинейным регрессионным моделям» по специальности 1.1.4 – «теория вероятностей и математическая статистика» принята к защите диссертационным советом 29.03.2024, протокол № 2.

Соискатель **Линке Юлиана Юрьевна**, 1975 года рождения, в 1998 году окончила с отличием магистратуру механико-математического факультета Новосибирского государственного университета по направлению «математика» и поступила в аспирантуру Новосибирского государственного университета. В 2000 году защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему «Асимптотически нормальное оценивание параметров для класса задач дробно—линейной регрессии» в диссертационном совете Д 003.015.01, созданном на базе Института математики им. С.Л. Соболева СО РАН (диплом кандидата наук КТ № 043773, выдан 13 апреля 2001 г.). С 2001 года по настоящее время работает в Институте математики им. С.Л. Соболева СО РАН в должности старшего научного сотрудника.

С 2022 года по настоящее время соискатель является докторантом кафедры теории вероятностей механико-математического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Диссертация выполнена на кафедре теории вероятностей механико-математического факультета ФГБОУ ВО «МГУ имени М.В. Ломоносова».

Научный консультант — Яровая Елена Борисовна, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры теории вероятностей механико-математического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Официальные оппоненты:

- **Мелас Вячеслав Борисович** – доктор физико-математических наук (специальность 01.01.07 – вычислительные методы и 01.01.05 – теория вероятностей и математическая статистика), профессор, профессор кафедры статистического моделирования механико-математического факультета Федерального государственного бюджетного

образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет».

- **Хохлов Юрий Степанович** – доктор физико-математических наук (специальность 01.01.05 – теория вероятностей и математическая статистика), профессор, профессор кафедры математической статистики факультета вычислительной математики и кибернетики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».
- **Наумов Алексей Александрович** – доктор компьютерных наук (физико-математических наук) (специальность 1.2.1 – искусственный интеллект и машинное обучение), заведующий международной лабораторией стохастических алгоритмов и анализа многомерных данных Института искусственного интеллекта и цифровых наук факультета компьютерных наук Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики».

дали положительные отзывы на диссертацию.

Основные результаты диссертации содержатся в 19 публикациях, из них 19 — по теме диссертации. В том числе в научных журналах Web of Science, SCOPUS, RSCI представлено 19 работ, из которых 10 — без соавторов. Эти журналы входят в список рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.1.4 – «теория вероятностей и математическая статистика».

Основные публикации по теме диссертации:

1. *Линке Ю.Ю., Борисов И.С.* Универсальные непараметрические ядерные оценки для функций среднего и ковариации случайного процесса // Теория вероятн. и ее примен. — 2024. — Т. 69, № 1. — С. 46-75.

Scopus (SJR 2022 0.37) / 1.88 п.л. / вклад соискателя 1.79 п.л.

Постановки задач и общие подходы к их решению принадлежат Ю.Ю. Линке, И.С. Борисовым предложена идея оценивания функции ковариации в случае разреженных данных. Доказательства выполнила Ю.Ю. Линке.

2. *Линке Ю.Ю.* К вопросу о нечувствительности оценок Надарая-Ватсона относительно корреляции элементов дизайна // Теория вероятн. и ее примен. — 2023. — Т.68, № 2. — С. 236-252.

Linke Yu. Yu. Towards insensitivity of Nadaraya--Watson estimators to design correlation // *Theory Probab. Appl.* — 2023. — V. 68, no.2. — P. 198-210.

Scopus (SJR 2022 0.37) / 1.06 п.л. / вклад соискателя 1.06 п.л.

3. *Линке Ю.Ю.* О достаточных условиях состоятельности локально-линейных ядерных оценок // *Матем. заметки.* — 2023. — Т. 114, № 3. — С. 353-369.

Linke Yu. Yu. On sufficient conditions for the consistency of local linear kernel estimators // *Math. Notes.* — 2023. — V. 114, no. 3. — P.283-296.

Scopus (SJR 2022 0.49) / 1.06 п.л. / вклад соискателя 1.06 п.л.

4. *Linke Yu.Yu., Borisov I.S., Ruzankin P.S.* Universal kernel-type estimation of random fields. // *Statistics.* — 2023. — V. 57, no.4. — P. 785-810.

Scopus (SJR 2022 0.38) / 1.63 п.л. / вклад соискателя 1.47 п.л.

И.С. Борисовым предложена постановка задачи. Доказательства всех результатов выполнила Ю.Ю. Линке. П.С. Рузанкиным получены результаты численного анализа.

5. *Линке Ю.Ю.* Оценивание функции среднего для зашумленного случайного процесса при наличии разреженных данных // *Чебышевский сб.* — 2023. — Т. 24, № 5. — С. 112-125.

Scopus (SJR 2022 0.31) / 0.88 п.л. / вклад соискателя 0.88 п.л.

6. *Linke Yu.Yu., Borisov I.S.* An approach to constructing explicit estimators in nonlinear regression // *Siberian Adv. Math.* — 2023. — V. 33, no.4. — P. 338-346.

Scopus (SJR 2022 0.19) / 0.56 п.л. / вклад соискателя 0.56 п.л.

И.С. Борисову принадлежит идея использования непараметрических ядерных методов в задаче оценивания конечномерных параметров нелинейной регрессии. Ю.Ю.Линке выполнила доказательства всех утверждений.

7. *Linke Yu.Yu.* Kernel estimators for the mean function of a stochastic process under sparse design conditions // *Siberian Adv. Math.* — 2022. — V. 32, no.4. — P. 269-276.

Scopus (SJR 2022 0.19) / 0.5 п.л. / вклад соискателя 0.5 п.л.

8. *Linke Y., Borisov I., Ruzankin P., Kutsenko V., Yarovaya E., Shalnova S.* Universal local linear kernel estimators in nonparametric regression // *Mathematics.* — 2022. — V.10. — no.15. — 2693.

Scopus (SJR 2022 0.45) / 1.88 п.л. / вклад соискателя 1.57 п.л.

Идея написания работы принадлежит Е.Б. Яровой. И.С. Борисовым доказаны результаты раздела 4 (предложения 2, 3 и следствия 3, 4). Все остальные теоретические результаты (включая постановку задачи, конструкцию универсальных ядерных оценок и доказательства основных результатов) получены Ю.Ю. Линке. Компьютерное

моделирование и обработку реальных данных провели В.А. Куценко и П.С. Рузанкин. Реальные данные предоставлены Е.Б. Яровой и С.А. Шальной.

9. Linke Yu.Yu., Borisov I.S. Insensitivity of Nadaraya-Watson estimators to design correlation // Commun. Stat. Theory Methods. — 2022. — V. 51, no.19. — P.6909-6918.

Scopus (SJR 2022 0.41) / 0.63 п.л. / вклад соискателя 0.63 п.л.

Постановки задач предложены И.С. Борисовым. Все доказательства выполнила Ю.Ю. Линке.

10. Borisov I.S., Linke Yu.Yu., Ruzankin P.S. Universal weighted kernel-type estimators for some class of regression models // Metrika. — 2021. — V.84, no.2. — P.141-166.

Scopus (SJR 2022 0.45) / 1.63 п.л. / вклад соискателя 1.31 п.л.

И.С. Борисовым доказаны леммы 2 и 3 из раздела 5. Постановка задачи, конструкция новых оценок и доказательства остальных результатов принадлежат Ю.Ю. Линке. П.С. Рузанкиным проведено компьютерное моделирование.

11. Linke Yu.Yu. Asymptotic properties of one-step M-estimators // Commun. Stat. Theory Methods. — 2019. — V. 48, no.16. — P. 4096-4118.

Scopus (SJR 2022 0.41) / 1.44 п.л. / вклад соискателя 1.44 п.л.

12. Linke Yu.Yu., Borisov I.S. Toward the notion of intrinsically linear models in nonlinear regression // Siberian Adv. Math. — 2019. — Т. 29, no.3. — P. 210-216.

Scopus (SJR 2022 0.19) / 0.44 п.л. / вклад соискателя 0.38 п.л.

И.С. Борисовым доказана несостоятельность оценок параметров трансформирующихся моделей. Все остальные результаты получены Ю.Ю. Линке.

13. Линке Ю.Ю., Борисов И.С. Построение явных оценок в задачах нелинейной регрессии // Теория вероятн. и ее примен. — 2018. — Т. 63, № 1. — С. 29-56.

Linke Yu. Yu., Borisov I. S. Constructing explicit estimators in nonlinear regression models // Theory Probab. Appl. — 2018 — V. 63, no. 1. — P. 22-44.

Scopus (SJR 2022 0.37) / 1.75 п.л. / вклад соискателя 1.56 п.л.

И.С. Борисовым доказаны результаты разделов 4.2 (следствия 2-5) и следствие 9 из раздела 6.1. Все остальные результаты получены Ю.Ю. Линке.

14. Линке Ю.Ю. Асимптотические свойства одношаговых взвешенных М-оценок с приложениями к задачам регрессии // Теория вероятн. и ее примен. — 2017. —Т. 62, № 3. — С. 468-498.

Linke Yu. Yu. Asymptotic properties of one-step weighted M-estimators with application to some regression problems // Theory Probab. Appl. — 2018. — V. 62, no. 3. — P. 373-398.

Scopus (SJR 2022 0.37) / 1.94 п.л. / вклад соискателя 1.94 п.л.

15. Linke Yu.Yu. Asymptotic normality of one-step M-estimators based on non-identically distributed observations // Statist. Probab. Lett. — 2017. — V. 129. — P. 216-221.

Scopus (SJR 2022 0.45) / 0.38 п.л. / вклад соискателя 0.38 п.л.

16. Линке Ю.Ю. Двухшаговое оценивание параметра в одной неоднородной линейной регрессионной модели. // Сиб. журн. чист. и прикл. матем. — 2017. — Т. 17, № 2. — С. 39-51.

Linke Yu. Yu. Two-step estimation in a heteroscedastic linear regression model // J. Math. Sci. — 2018. — V. 231, no. 2. — P. 206-217.

Scopus (SJR 2022 0.31) / 0.81 п.л. / вклад соискателя 0.81 п.л.

17. Linke Yu.Yu., Borisov I.S. Constructing initial estimators in one-step estimation procedures of nonlinear regression // Statist. Probab. Lett. — 2017. — V. 120. — P.87-94.

Scopus (SJR 2022 0.45) / 0.5 п.л. / вклад соискателя 0.44 п.л.

И.С. Борисовым доказана теорема 5. Ю.Ю. Линке предложена методика построения оценок и получены все остальные результаты.

18. Линке Ю.Ю. Об уточнении одношаговых оценок Фишера в случае медленно сходящихся предварительных оценок // Теория вероятн. и ее примен. — 2015. — Т. 60, № 1. — С. 80-98.

Linke Yu. Yu. Refinement of Fisher's one-step estimators in the case of slowly converging preliminary estimators // Theory Probab. Appl. — 2016. — V. 60, no. 1. — P. 88-102.

Scopus (SJR 2022 0.37) / 1.19 п.л. / вклад соискателя 1.19 п.л.

19. Линке Ю.Ю. Об асимптотике распределения двухшаговых статистических оценок // Сиб. матем. журн. — 2011. — Т. 52, № 4. — С. 841-860.

Linke Yu. Yu. On the asymptotics of distributions of two-step statistical estimates // Siberian Math. J. — 2011. — V. 52, no 4. — P. 665-681.

Scopus (SJR 2022 0.4) / 1.25 п.л. / вклад соискателя 1.25 п.л.

На диссертацию и автореферат дополнительных отзывов не поступало.

Выбор официальных оппонентов обосновывался компетентностью в соответствующей отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований получены следующие результаты.

Диссертация посвящена методологии оценивания в задачах непараметрической и нелинейной регрессии. Предложена концепция плотных данных и классы универсальных оценок в моделях непараметрической и нелинейной регрессии. Полученные результаты позволили в задачах непараметрической регрессии значительно ослабить известные ограничения на регрессоры и выделить одно существенное их свойство (условие асимптотически плотного заполнения), а в задачах нелинейной регрессии для достаточно широких классов моделей решить проблему поиска явных оценок конечномерных параметров. Предложенные методы позволили использовать единый подход к анализу моделей с детерминированными и случайными регрессорами.

В первой главе рассматриваются задачи непараметрической регрессии. Построены универсальные относительно стохастической природы регрессоров равномерно состоятельные оценки ядерного типа для регрессионной функции, а также характеристик случайного процесса (в различных постановках этой задачи). Получены более общие, чем ранее известные, и универсальные условия поточечной и равномерной состоятельности оценок Надарая–Ватсона и классических локально-линейных ядерных оценок. Все условия на регрессоры сформулированы в терминах плотных данных. Новые условия в терминах плотных данных нечувствительны к корреляции регрессоров и включает в себя как ситуацию детерминированных регрессоров без дополнительного требования регулярности, так и случайных регрессоров, которые могут не удовлетворять условиям слабой зависимости. Новые условия универсальны и позволяют выйти за рамки слабо зависимых наблюдений.

Во второй главе рассматриваются модели нелинейной регрессии. Разработаны методы построения явных состоятельных или асимптотически нормальных оценок конечномерных параметров в случае плотного заполнения регрессорами некоторой области, что решает проблему поиска предварительных (начальных) оценок для ньютоновских одношаговых процедур оценивания параметров рассматриваемых моделей.

В третьей главе проведен асимптотический анализ одношаговых M -оценок, построенных по разнораспределенным выборочным данным и имеющих ту же асимптотическую точность, как и оптимальные M -оценки (например, оценки метода наименьших квадратов, квазиправдоподобия,

максимального правдоподобия в нелинейной регрессии). Эти результаты, вместе с методами построения предварительных оценок, открывают возможность находить оптимальные явные одношаговые оценки для широкого класса моделей нелинейной регрессии.

Диссертация носит теоретический характер и является законченным научным трудом. В ней решен ряд актуальных проблем регрессионного анализа, реализованы оригинальные идеи, разработаны новые методы и подходы к оцениванию. Совокупность разработанных теоретических положений можно квалифицировать как важное научное достижение. Полученные результаты могут быть использованы специалистами в области математической статистики. Предлагаемые в диссертации идеи и методы могут получить дальнейшее развитие в тех или иных статистических задачах и уже применяются авторами, работающими в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, Международном математическом центре в Академгородке, Институте математики имени С.Л. Соболева, Новосибирском государственном университете и других научных центрах.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Теоремы о равномерной состоятельности новых универсальных локально-постоянных и локально-линейных ядерных оценок для вещественнозначной регрессионной функции скалярного и векторного аргумента в условиях плотного заполнения регрессорами области задания регрессионной функции. Теоремы об асимптотической нормальности новых универсальных локально-постоянных оценок.
2. Теоремы о поточечной и равномерной состоятельности оценок Надарая–Ватсона и классических локально–линейных ядерных оценок. Универсальные достаточные условия состоятельности в терминах плотного заполнения регрессорами области задания регрессионной функции.
3. Теоремы о равномерной состоятельности новых универсальных оценок для функций среднего и ковариации непрерывного случайного процесса как в случае разреженных данных, так и плотных.
4. Новый подход получения явных состоятельных оценок конечномерных параметров в задачах нелинейной регрессии, основанный на использовании непараметрических оценок регрессионной функции. Теорема об α_n -состоятельности оценок.
5. Метод построения явных состоятельных оценок конечномерных

параметров, основанный на аддитивных преобразованиях откликов. Теоремы об α_n -состоятельности и асимптотической нормальности оценок.

6. Асимптотический анализ одношаговых M-оценок, построенных по разнораспределенным выборочным данным: теорема об асимптотической нормальности одношаговых оценок в широком спектре ограничений на точность предварительной оценки, теорема о минимальном достаточном условии на точность предварительной оценки, теорема о сходимости к нормальному закону погрешностей оценивания при замене асимптотических дисперсий их оценками.
7. Алгоритм построения асимптотически эффективных одношаговых оценок неизвестного параметра в случае однородной выборки из однопараметрического семейства распределений и достаточно медленно сходящейся к параметру предварительной оценки. Теорема об асимптотической эффективности оценок.

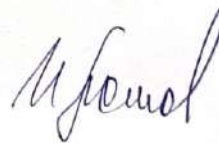
На заседании 21.06.2024 диссертационный совет принял решение присудить Линке Юлиане Юрьевне ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 9 докторов наук по специальности 1.1.4 – «теория вероятностей и математическая статистика», участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за — 17, против — 0, недействительных бюллетеней 2.

Заместитель председателя

диссертационного совета МГУ.011.3,

доктор физико-математических наук, доцент



Ломов И.С.

Ученый секретарь

диссертационного совета МГУ.011.3,

доктор физико-математических наук



Шерстюков В.Б.

21.06.2024