

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и программам
развития
федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего
образования «Московский физико-
технический институт (национальный
исследовательский университет)»



Баган Виталий

Анатольевич

«15» ноября 2019 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию **Швемлер Натальи Александровны**

«Обнаружение скачкообразного изменения в стохастических моделях:

наблюдения с разрывной плотностью вероятности»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по

специальности 05.13.18 - Математическое моделирование,

численные методы и комплексы программ

Актуальность темы диссертации. Диссертация Н.А. Швемлер посвящена исследованию задачи о разладке для стохастических систем, в которых наблюдения могут быть описаны в виде случайной выборки с разрывной плотностью вероятности. Понятие “задач о разладке” объединяет целое направление теоретических и прикладных исследований, связанных с обнаружением спонтанного изменения вероятностных характеристик случайного процесса. Интерес к методам поиска “разладки” вызван необходимостью решения широкого круга прикладных задач. К первым исследованиям в этой области можно отнести работу W.A.Shewhart (1931г.), направленную на решение проблемы контроля качества продукции и обнаружение моментов изменения характеристик выпускаемого товара в результате поломки оборудования. К настоящему времени область приложений значительно расширилась. Необходимость выявления изменений статистических свойств рядов возникает, например, при анализе работы компьютерных сетей (атаки, аномалии сетевого трафика и т.п.), краткосрочном анализе волатильности финансовых инструментов и экономических показателей, в медицине (обнаружение моментов вспышек эпидемий) и биоинженерии (выделение однородных участков

последовательностей ДНК), анализе отказов узлов систем управления транспортными средствами и т.д. Впервые термин “задача о разладке” возник в докладе А.Н. Колмогорова и А.Н. Ширяева 1960г. С тех пор математические методы решения таких задач стали предметом многих научных публикаций. Существенный вклад в развитие направления внесен А.Н.Ширяевым (премия А.Н. Коломогорова РАН за цикл работ «Задача Колмогорова о „разладке“, методы её решения и их развитие», 1994г.). Математические методы решения задач обнаружения характеристик перехода одного случайного процесса в другой изучаются с точки зрения разных постановок задач (байесовской, непараметрической и др.) В основном методы решения этих задач опираются на результаты так называемой теории оптимальных правил остановки.

В диссертационной работе Н.А. Швемлер исследуется одна из постановок задачи о разладке: требуется оценить неизвестную точку разрыва θ функции плотности распределения $f(x, \theta)$ случайного процесса X по данным наблюдения (X_1, X_2, \dots, X_n) . Задача предполагает известную локализацию параметра θ . Постановка такого рода вполне соответствует термину “задача о разладке” и может быть сведена к ней путем преобразования имеющейся выборки к двум вариационным рядам с разными условными распределениями.

Учитывая сказанное выше, тема диссертации Н.А. Швемлер является актуальной.

Целью диссертации является развитие математического аппарата для решения задач о разладке в стохастических моделях, имеющих разрывную плотность вероятности.

Научная новизна полученных в диссертации результатов состоит, в первую очередь, в нахождении в явном виде функции распределения момента достижения максимума обобщенного процесса Пуассона с линейным сносом. На основании этого результата в диссертации получено в явном виде выражение для предельного распределения нормированной оценки максимального правдоподобия искомой точки разрыва плотности распределения. На основе результатов исследования построен асимптотический доверительный интервал для оцениваемого значения параметра разрывной функции плотности распределения. Результаты апробированы на стохастической модели, описывающей процесс обучения рекуррентных нейронных сетей с разрывной плотностью вероятности и позволили оценить момент перехода от “эффективного” периода обучения к “неэффективному”.

Теоретическая значимость работы заключается в нахождении явного вида предельного распределения нормированной оценки максимального правдоподобия неизвестной точки разрыва плотности распределения в стохастических моделях на основе исследования функции распределения момента достижения максимума обобщенного процесса Пуассона с линейным сносом.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения разработанного математического аппарата для анализа стохастических процессов с разрывной плотностью вероятности. Возможность практического применения результатов, в частности, для оптимизации процесса обучения рекуррентных нейронных сетей, подтверждается копиями

соответствующих справок от ООО “ОКАС” и АО “Газпромбанк”, приложенными к диссертационной работе.

Основное содержание работы.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и двух приложений.

Во **введении** содержится постановка задачи, определены цели исследования, обоснована актуальность темы диссертации, дан обзор имеющейся литературы, описана теоретическая и практическая значимость исследования.

В **главе 1** задача об оценке искомой точки разрыва плотности распределения сводится к поиску момента достижения максимума случайным процессом специального вида. Для этого используется известный результат о сходимости по распределению нормированных оценок максимального правдоподобия (ОМП) точки разрыва к моменту достижения максимума обобщенным пуассоновским процессом с отрицательным линейным сносом. Получено интегральное представление для функции распределения ОМП точки разрыва и проанализированы ее свойства. Найден явный вид соответствующих подынтегральных функций в виде рядов и исследованы их свойства.

В **главе 2** на основе результатов главы 1 построены дифференциальные уравнения с граничными условиями, которым удовлетворяет функция распределения ОМП точки разрыва на положительной и отрицательной осях. На основе решения уравнений найден явный вид функции распределения ОМП точки разрыва. Для соответствующей функции плотности распределения получены не улучшаемые с точностью до константы экспоненциальные оценки, из которых вытекает существование асимптотического доверительного интервала для неизвестной точки разрыва плотности.

В **главе 3** излагается процесс нахождения ОМП и построения асимптотического доверительного интервала оценки точки разрыва, основанные на результатах, полученных в главах 1-2. Вычисленная в явном виде функция распределения оценки точки разрыва позволяет рассчитать доверительные интервалы для оценки точки разрыва по заданному уровню доверия, используя ОМП вместо истинного значения точки разрыва в полученной формуле. В качестве обоснования возможности такой подстановки в работе доказана теорема 9, утверждающая, что при стремлении размера выборки к бесконечности доверительный интервал, построенный по оценке, сходится к доверительному интервалу, соответствующему истинному значению. Предложена стохастическая модель, описывающая процесс обучения рекуррентных нейронных сетей с разрывной плотностью вероятности. В терминах модели результаты исследования применены к проблеме обнаружения момента остановки обучения рекуррентных нейронных сетей. Представлены результаты численных экспериментов с выборками разной длины.

В **заключении** сформулированы основные результаты работы. В приложениях содержатся копии свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, а также

копии справок о практической значимости диссертационной работы и использовании результатов.

Степень обоснованности и достоверности научных результатов и выводов диссертационной работы обеспечивается корректностью математических доказательств и выводов, проведенных на хорошем математическом уровне в 1-2 главах диссертации. Это обосновывает достоверность результатов, изложенных в главе 3.

По теме диссертации автором опубликовано 4 работы в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Результаты исследований докладывались на российских и международных конференциях. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Замечания по диссертационной работе.

- В нескольких местах в тексте приведены лишь ссылки на используемые результаты из других работ (например, с.11, с.59 теорема 9, с.60), однако сами эти результаты и обоснование возможности их применения в рамках рассматриваемой задачи отсутствуют, что затрудняет чтение и приводит к не вполне корректным переобозначениям. Например, не приведены исходные обозначения из монографии И.А. Ибрагимова, Р.З. Хасьминского и соответствующие переобозначения, которые использованы для описания обобщенного пуассоновского процесса со случайным сносом на с.11. В формуле 1.4 на с.12 полагаемые пуассоновские процессы считаются одинаковыми, что не соответствует обозначениям монографии, где они отличаются знаками аргументов.

- На с.52 указано, что в параграфе 2.5 выводятся интегро-локальные оценки. Ни определение этих оценок, ни вывода параграф 2.5 не содержит.

- Естественно было бы в работе проанализировать сложность вычислений предлагаемыми методами и привести подробно используемые численные методы решения возникающих экстремальных задач и неявных уравнений. Например: шаг 4 алгоритма на с.62 включает решение неявных уравнений; термины “значительно ускорить” и “весьма громоздким” на с. 56 не формализованы, тем самым отсутствует количественное обоснование предложенного метода ускорения расчетов.

Отмеченные недостатки не снижают теоретическую и практическую значимость диссертационной работы в целом.

Заключение по диссертации.

Диссертационная работа Н.А. Швемлер представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, в которой развивается математический аппарат для обнаружения момента разладки в стохастических процессах с разрывной плотностью вероятности. В диссертационной работе получены новые результаты, имеющие, несомненную теоретическую и прикладную ценность.

Тема, содержание и результаты диссертации Н.А. Швемлер отвечают Паспорту специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (физико-математические науки). Автореферат полностью и точно отражает

содержание диссертации. Работа полностью соответствует требованиям п.п. 9,10,11,13,14 Положения о присуждении ученых степеней N842 от 24.09.2013г., а диссертант Н.А. Швемлер заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв на диссертацию обсуждён и одобрен на расширенном научном семинаре кафедры Математического моделирования сложных систем и оптимизации МФТИ «13» ноября 2019 г., протокол №11.

К.ф.-м.н., доцент



Обросова Наталия Кирилловна

Почтовый адрес: 141700, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер.,9

Телефон: 8 (499) 135-30-23

Адрес электронной почты: nobrosova@ya.ru

Организация – место работы: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», кафедра математического моделирования сложных систем и оптимизации

Должность: доцент

Web-сайт организации: <https://mipt.ru/>

Заведующий кафедрой Математического моделирования сложных систем и оптимизации МФТИ,

чл.-корр.РАН, профессор



Поспелов Игорь Гермогенович

Почтовый адрес: 119333, Москва, ул. Вавилова, 40

Телефон: 8 (499) 135-04-40

Адрес электронной почты: wcan@ccas.ru

Организация – место работы: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», кафедра Математического моделирования сложных систем и оптимизации

Должность: заведующий кафедрой

Web-сайт организации: <https://mipt.ru/>