ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу 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 выполненной работы. Диссертационная работа Н.А. Швемлер посвящена развитию теории принятия решений и реконструкции параметров систем на основе наблюдений и статистических методов. Модели, изучаемые в диссертации, предполагают наличие скачкообразного изменения параметров. Это соответствует широкому ряду прикладных задач, возникающих при изучении явлений живой природы, решении задач управления, технической и медицинской диагностики, обработке изображений, анализа работы технических систем. В работе предполагается, что исследуемая система задается абсолютно непрерывной случайной величиной, зависящей от некоторого параметра, таким образом, что при некоторой (заранее неизвестном) значении параметра имеется разрыв первого рода. Разработка теоретических и численных методов поиска этого параметра и составляет задачу диссертационной работы.

Структура диссертации и общая характеристика работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Каждая глава в конце содержит выводы.

Во введении обосновываются актуальность исследований, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, формулируются цель, задачи работы, выносимые на защиту положения, дается краткая характеристика структуры диссертации.

Также во введении приводится результат И.А. Ибрагимова, Р.З. Хасьминского, позволяющий свести исходную задачу к поиску максимумов случайного процесса, на каждой полуоси равному обобщенному процессу Пуассона с линейным сдвигом.

Первая глава посвящена исследованию распределения момента достижения максимума этого процесса. Получены интегральные представления на положительной и отрицательной осях. Найден явный вид соответствующих подынтегральных функций в виде рядов и исследованы их свойства. Для подынтегральных функций получены функционально-дифференциальные уравнения с граничными условиями.

Во второй главе продолжено изучение функции распределения момента достижения максимума процессом, на каждой полуоси равному обобщенному процессу Пуассона с линейным сдвигом. На основе полученных в первой главе результатов найдены аналитические выражения для функции распределения момента достижения максимума обобщенного процесса Пуассона на положительной и отрицательной осях. Для соответствующей функции плотности найдены неулучшаемые с точностью до константы экспоненциальные оценки, из которых вытекает существование асимптотического доверительного интервала для неизвестной точки разрыва плотности.

В третьей главе на основе полученных ранее результатов, изложен алгоритм нахождения состоятельной оценки, оценки максимального правдоподобия, построения асимптотического доверительного интервала для искомого параметра, определяющего разрыв плотности распределения. Найденная в явном виде функция распределения момента достижения максимума обобщенного процесса Пуассона позволяет построить асимптотический доверительный интервал с заданным уровнем достоверности. Приведено описание комплекса программ, реализующего предложенные алгоритмы. Для выборок разного объема представлены результаты численных экспериментов. Результаты математических исследований применены к задаче обучения рекуррентных нейронных сетей. Построена стохастическая модель, которая описывает процесс обучения рекуррентных нейронных сетей, позволяющая оценить момент смены периода обучения с «эффективного» на «неэффективный».

В заключении диссертационной работы представлены основные результаты и подведены итоги исследования.

Список литературы содержит публикации по теме диссертации и отражает существующие публикации в исследуемом научном направлении.

Научные результаты, представленные соискателем, достаточно полно опубликованы в 11 научных работах, среди которых 4 – статьи в журналах, рекомендованных ВАК (3 индексированны в базе данных Web of Science), 6 - в тезисах докладов. Соискатель является соавтором зарегистрированного программного комплекса для оценки неизвестного параметра точки разрыва плотности распределения (РОСПАТЕНТ).

Научная новизна исследования и результатов.

Отметим полученные в диссертации Н.А. Швемлер результаты.

1. Разработан метод нахождения функции распределения момента достижения максимума обобщенного процесса Пуассона с линейным сносом.
2. Найдено предельное распределение последовательности нормированных оценок максимального правдоподобия для неизвестной точки разрыва плотности распределения.
3. Построена стохастическая модель, описывающая процесс обучения рекуррентных нейронных сетей с разрывной плотностью вероятности, позволяющая оценить момент перехода от «эффективного» периода обучения к «неэффективному».
4. Разработан метод построения асимптотического доверительного интервала для неизвестной точки разрыва плотности распределения и создан комплекс программ для его вычисления.

Эти результаты являются новыми.

Теоретическая и практическая значимость. В задачах об оценке неизвестной точки разрыва плотности распределения впервые найден явный вид предельного распределения нормированных оценок максимального правдоподобия. Разработанные в диссертации методы и программы позволяют обнаружить скачкообразные изменения в стохастических моделях прикладных задач, описываемых разрывной плотностью вероятности.

Достоверность полученных результатов подтверждается строгими математическими доказательствами и проведением численных экспериментов на тестовых моделях.

По содержанию диссертации имеются следующие **замечания**:

1. Необходимо уточнить ряд ссылок, в частности, на стр. 13, строка 10,
2. В некоторых местах доказательства станет более понятным при наличии дополнительных ссылок, в частности, ссылку на 1.11 (стр. 14, строка 14)
3. На стр. 15, строка 1, необходимо указать, что функция является дифференцируемой и удовлетворяет функционально-дифференциальным уравнениям.
4. В работе для разных объектов используются одни и те же буквы. В частности буква S обозначает моменты скачков процесса, суммы рядов, буква A с индексом используется также два раза для обозначения принципиально разных объектов
5. В формулировке Леммы 11 необходимо указать, что второе уравнение (1.39) является функционально-дифференциальным. Также необходимо уточнить в каком смысле понимаются уравнения (1.39). Здесь достаточно показать, что вдоль лучей x=const, z>0, эти

уравнения выполняются почти всюду (это требуется в доказательстве Теоремы 3, формула (2.1)).

6. На стр. 32, строки 8 и 10 необходимо уточнить, что равенства понимаются с точностью до первых порядков малости.
7. В доказательстве Леммы 11 на стр. 32, 33 необходимо вначале ввести величины P_1 и P_2 и лишь потом выводить равенство (1.40).
8. Аналогичные замечания к замечаниям 5 и 7 справедливы и для формулировки и доказательства Леммы 12.
9. Последнее предложение на стр. 44 сообщает, что получаемые в Теореме 6 оценки неулучшаемы с точностью до константы однако этот факт не доказан и далее нигде не используется.
10. Желательно было бы уточнить условия при которых существует параметр, максимизирующий выражение (3.2).
11. На стр. 56, строка 24, указывается, что полученные результаты позволяют ускорить процесс численного нахождения оценок максимального правдоподобия. Желательно привести оценки получаемого ускорения.

В заключении, следует отметить, что работа является завершенной научно-квалификационной работой и выполнена на высоком научном уровне. Представленные в работе исследования обладают научной новизной и достоверностью, все научные выводы научно обоснованы. Основные положения диссертации достаточно полно освещены в научных публикациях автора, прошли апробацию на конференциях и семинарах ИММ УрО РАН, ИВМиМГ СО РАН, ВЦ РАН ФИЦ ИУ РАН. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Считаю, что диссертация Швемлер Н.А. соответствует требованиям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент
Старший научный сотрудник отдела
управляемых систем ИММ УрО РАН,
к.ф.-м.н. по специальности 01.01.02 -
Дифференциальные уравнения, динамические
системы и оптимальное управление Ю.В. Авербух

Подпись к.ф.-м.н. Авербуха Ю.В. заверяю
Ученый секретарь ИММ УрО РАН
к.ф.-м.н. О.Н. Ульянов

27.12.2019

Авербух Юрий Владимирович
Старший научный сотрудник отдела управляемых систем
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт математики и механики им. Н. Н. Красовского Уральского отделения Российской академии наук (ИММ УрО РАН), 620108, Россия, г. Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 16
Телефон: (343) 375-34-66
E-mail: ayv@imm.uran.ru