

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Кислицына Алексея Алексеевича

**«Моделирование индикаторов разладки в нестационарных временных рядах электроэнцефалограмм»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и
комплексы программ**

Диссертация А.А. Кислицына посвящена решению важной и актуальной задачи – построению индикатора разладки в нестационарных временных рядах. Областью практического применения разрабатываемой методики является нейрохирургия – в частности, соискателем решается задача распознавания наступления приступа эпилепсии по изменяющимся характеристикам рядов электроэнцефалограмм. Задача построения предиктора приступа эпилепсии имеет давнюю историю, но решения с удовлетворительной для практики точностью (на уровне значимости 0,05) нет и до настоящего времени. Поэтому рассматриваемая соискателем задача относится к классу важных и актуальных проблем. Наилучшие результаты достигнуты методом разложения сигнала в ряд Фурье и исследованием спектра мощности в рамках гипотезы о стационарной автокорреляционной функции сигнала. Однако из-за фактической нестационарности точность этого метода составляет всего 0,35. Соискателю же удалось построить метод, точность которого имеет величину 0,20, что является значительным достижением.

Статистический смысл решаемой соискателем задачи состоит в следующем. Приступ эпилепсии трактуется как разладка временного ряда электроэнцефалограммы. Для построения предиктора разладки в нестационарном ряде изменяется сама трактовка разладки, которая в классическом понимании представляет собой момент смены одного

стационарного распределения другим, также стационарным. В данной работе разладкой является изменение уровня нестационарности фрагмента временного ряда в скользящем окне наблюдения. Величина этого окна является оптимизируемым параметром задачи. Уровень нестационарности – это специальная статистика, которая введена автором для формализации отклонения расстояний между выборочными распределениями от стационарного закона, который выражается непараметрическим критерием Колмогорова-Смирнова. Более точно, сравниваются между собой не сами эмпирическое и теоретическое распределения, а их стационарные точки, получаемые как решения уравнений относительно уровня значимости – такого, который равен расстоянию между выборками. Решение этого уравнения дает критическое расстояние между выборками, вероятность превышения которого равна самому этому расстоянию. Такое определение оказалось весьма удобно, поскольку позволило корректно определить уровень значимости, на котором работает построенный предиктор.

Однако сам предиктор является сложно вычисляемой двухпараметрической статистикой. Он зависит от длины фрагмента ряда, а также от длины сегментов этого фрагмента, называемых встык-выборками, расстояния между которыми и составляют анализируемое распределение. Критическое значение этого индикатора вычисляется по промежутку времени, отвечающему спокойному (условно здоровому) состоянию пациента. Разладкой считается превышение этого значения уровнем нестационарности в скользящем окне. Для уменьшения вычислительных процедур соискатель предложил использовать теорему о сходимости определенного итерационного процесса в теории полугрупп, которая имеет трактовку как нестационарный аналог центральной предельной теоремы, применяемой к так называемым безгранично делимым случайным процессам. В результате удалось разработать численный алгоритм с линейной сложностью, что позволяет использовать его в режиме реального времени. Кроме того, применяемый метод аппроксимации в теории полугрупп позволил автору придать

корректный смысл эволюции выборочных распределений в терминах уравнения Лиувилля. Скорость эволюции плотности распределения фрагмента временного ряда согласно этому уравнению является эквивалентной по Чернову средней скоростью эволюции встык-выборок, на который разбит фрагмент. Формулировка эквивалентности по Чернову и соответствующее доказательство сходимости применительно к выборочным распределениям составляет содержание второй главы диссертации. Таким образом, **теоретический уровень работы** в области создания математической модели изучаемого явления очень высок и свидетельствует о высокой математической квалификации соискателя.

Каждый из трех алгоритмов имеет свою численную реализацию. Это относится к алгоритмам: точного вычисления предиктора приступа эпилепсии; вычисления его приближенного значения по теореме Чернова; построения эволюционной схемы уравнения Лиувилля, сохраняющей нормировку, положительность и полугрупповое свойство на каждом шаге по времени. Алгоритмы распараллелены и объединены в **программный комплекс**, для которого разработан пользовательский интерфейс, что представляет отдельную работу в области программирования и показывает, что и в этом направлении диссертант имеет высокий уровень квалификации.

Особо следует сказать, что **тестирование метода** проведено соискателем **на реальных данных**, предоставленных в рамках совместных исследований специалистами института нейрохирургии им. Бурденко. Выявленные статистические свойства предиктора (правда, на ограниченной выборке пациентов) показали, что его распределение для нестационарного ряда стационарно, что позволило корректно указать уровень значимости, на котором принимается решение о разрядке. Также интересным оказался результат нулевой эмпирической ошибки пропуска цели, что имеет высокую практическую важность.

Таким образом, в диссертации построен высокоточный алгоритм обнаружения разрядки в нестационарном временном ряде, имеющий

актуальную и важную область применения. В целом диссертация А.А. Кислицына дает полное представление о разработанном автором методе индикации и, главное, предсказания разрядки в фиксированном горизонте прогнозирования. Приведенные им примеры показывают, что этот метод **может быть применен на практике**. Работа содержит обоснованные и корректно доказанные математические результаты, подробно описанные численные алгоритмы и дискретные схемы их реализации.

Однако, по диссертации следует отметить некоторые **недостатки**.

1. Работа представляет собой большой задел в задаче практического распознавания приближения приступа эпилепсии. Представляется естественным внедрение этого результата в практическую среду или хотя бы проведение валидационных расчетов в режиме реального времени. Насколько можно понять из главы IV диссертации, такой работы проведено не было.
2. Хотелось бы видеть более подробное описание результатов тестирования. Насколько различаются индикаторы для разных пациентов и в разные моменты для одного и того же пациента, каково распределение времен горизонтов прогнозирования приступа при срабатывании предиктора, какие электроды наиболее эффективны для индикации приступа.
3. Из текста диссертации не совсем ясно, почему в качестве окна, в котором вычисляется разрядка, выбран промежуток времени в 2 минуты. Почему не 3 минуты, не 1 минута? Можно ли выбрать другой промежуток и не будет ли в нем срабатывание более достоверным?

Перечисленные замечания никак не умаляют значимости работы. Они показывают, что результаты диссертации имеют значительный горизонт развития и могут представлять хороший базис для будущих исследований. Диссертация А.А. Кислицына безусловно оценивается положительно. Она выполнена на высоком научном уровне и содержит решение важной и сложной задачи, связанной с исследованием и моделированием индикаторов разрядки в нестационарных временных рядах. Все результаты диссертации

полно представлены в публикациях соискателя и правильно отражены в автореферате.

Считаю, что диссертационная работа «Моделирование индикаторов разладки в нестационарных временных рядах электроэнцефалограмм» удовлетворяет требованиям Положения ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, а ее автор – Кислицын Алексей Алексеевич – заслуживает присуждения ему искомой степени.

Официальный оппонент

доцент кафедры прикладной информатики и
теории вероятностей
федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Российский университет дружбы народов»
(ФГАОУ ВО РУДН),
кандидат физико-математических наук
(специальность 05.13.17 – Теоретические
основы информатики), доцент



И.А. Кочеткова

13 апреля 2021 г.

Подпись И.А. Кочетковой удостоверяю.

Ученый секретарь ФГАОУ ВО
«Российский университет дружбы народов»
доктор физико-математических наук
профессор



В.М. Савчин

13 апреля 2021 г.

Отзыв подготовила:

Кочеткова (Гудкова) Ирина Андреевна, гражданка Российской Федерации, кандидат физико-математических наук по специальности 05.13.17 «Теоретические основы информатики», доцент по специальности 05.13.17 «Теоретические основы информатики», доцент кафедры прикладной информатики и теории вероятностей

Адрес: Россия, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6.

Тел.: +7 (495) 955 08 78. E-mail: gudkova-ia@rudn.ru

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов» (ФГАОУ ВО РУДН)

Россия, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

+7 (495) 434 53 00; rector@rudn.ru; <http://www.rudn.ru>