

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Куца Александра Константиновича на тему «Влияние неоднозначности визуальной информации на процессы ее обработки в нейронной сети головного мозга» представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 1.5.2. Биофизика, 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Диссертация А.К. Куца посвящена актуальной проблеме нейронауки, имеющей как фундаментальное биофизическое, так и прикладное значение, подход к решению которой требует глубокой разработки математических методов. Комплексность подобной задачи полностью оправдывает ее представление по двум соответствующим специальностям. Основной фокус работы с точки зрения фундаментальной биофизики состоит в исследовании специфики взаимодействия зрительного (ответственного за восприятие визуальной информации) и фронтального (отвечающей обработке информации) участков коры головного мозга. В данном контексте, использование визуальных сигналов с высокой неоднозначностью является адекватным задаче и эффективным методом. При этом исследование, основанное на анализе ЭЭГ, имеет существенные преимущества перед инвазивными методами, так как позволяет работать с большими экспериментальными выборками, в силу распространенности требуемого оборудования и отсутствия необходимости подвергать подопытных травмирующим процедурам. Одновременно с этим, разработка соответствующих методик имеет широкие перспективы практического применения для разработки мобильных устройств контроля внимания, необходимых для снижения рисков при опасном производстве, транспорте и т.д. Однако следует заметить, что данный упрощенный способ получения сигналов, характеризующих нервную деятельность, имеет и обратную сторону в виде повышения сложности их обработки и интерпретации, что, в свою очередь требует разработки новых математических методов, алгоритмов и реализующих их комплексов программ.

Таким образом, материал, представленный в диссертации, обладает высокой актуальностью, теоретической и практической значимостями и полностью соответствует паспортам обеих специальностей, по которым работа представлена к защите. Результаты работы опубликованы в достаточном количестве статей, включая вышедшие в высокорейтинговых изданиях – Scientific Reports и Sensors и цитируются другими

исследователями, что свидетельствует об их новизне и внимании к ним широкого научного сообщества. Апробация работы прошла в виде докладов на достаточном количестве научных конференций; кроме того, соответствие пункта формулы специальности «комплексы программ» подтверждено наличием 11 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, отражающем знакомство диссертанта с основными научными публикациями по тематике его работы и состоянием исследований в области работы.

Во **введении** подробно обосновывается актуальность работы и формулируются следующие из неё поставленные цель и задачи работы, указываются научная новизна и выносимые на защиту положения, приводятся необходимые сведения о теоретической и практической значимости работы, ее методологии, личном вкладе автора, апробации и публикации результатов, а также краткий синопсис последующих глав диссертации.

В **первой главе** описывается экспериментальная методология, результаты экспериментов и их обработка с последующим анализом для примененного подхода с использованием куба Неккера. Хотя данный объект, представляющий типичный случай неоднозначной визуальной информации, уже активно использовался в существенном числе работ по данной тематике, реализация в исследованиях, составляющих данную диссертацию, включает ряд новых факторов. Прежде всего, это включение зеркальных отражений куба, которые позволяют включить в рассмотрение перспективу визуального стимула. Описание методики эксперимента является достаточно подробным и использованные выборки обладают достаточной мощностью для надежности сделанных выводов, которые сопровождаются корректной статистической обработкой. Полученные данные проанализированы как с использованием прямой оценки времени задержки принятия решения, так и на основе анализа вейвлет-мощности регистрируемых ЭЭГ сигналов, что дало возможность построить пространственные карты локализации нейроактивности при принятии решений и выявить априорное смещение в пользу перспективы сверху.

Вторая глава посвящена более детальному анализу, обращаемому к откликам индивидуальных сенсоров, обработанных с помощью вейвлет-анализа. Такой подход позволил выявить кластеры локализованных периодических возмущений в альфа и бета диапазонах и исследовать

зависимости между ними для различных участков локализации. Полученная информация стала основой для обсуждения биофизических предпосылок, обуславливающих наблюдаемые явления механизма нисходящего внимания во время целенаправленной обработки визуальных стимулов лобными и теменными участками коры головного мозга.

В **третьей главе** пространственно-локализованная мозговая активность, связанная с интерпретацией неоднозначной информации, проанализирована более подробно в отношении престаимпульной активности в условиях длительного эксперимента, связанного с наблюдением повторяющихся визуальных стимулов. В данном случае сигналы с различных датчиков были сгруппированы и обработаны по этапам сеанса с целью выявления того, как менялось состояние испытуемого в ходе эксперимента независимо от типа визуального стимула. Был проведен анализ на иерархии процессов от поведенческой до уровня источников нейронной активности, а также проанализированы медленные изменения состояния головного мозга в течение длительного процесса восприятия информации. Последнее имеет существенное значение для возможного практического применения метода, основанного на анализе сигналов ЭЭГ как относительно простого и мобильного для контроля текущего внимания и усталости субъектов, работа которых связана с постоянной обработкой визуальной информации.

Последняя, **четвертая, глава**, обращается к разработке новых математических моделей процесса обработки и контроля визуальной информации на основе нейросетевого подхода, формулировке расчетных алгоритмов и разработке соответствующего комплекса программ. Предложенный набор классификационных признаков, используемых сверточной нейросетью, выбран на основе детального биофизического анализа, описанного в предыдущих главах и таким образом, обучение нейросети базируется на интерпретируемом подходе. Алгоритмическая и программная части описания выполнены достаточно подробно и являются убедительными, а тестовые анализы работоспособности практической реализации алгоритма сопровождаются подробным корректным статистическим анализом, включая учет индивидуальной variability отклика испытуемых.

Таки образом, материал, представленный в диссертации, содержит последовательное изложение решения поставленных взаимосвязанных задач в области биофизики и прикладной математики, которые не вызывают сомнения в их достоверности.

Вместе с тем, к изложению материала в тексте диссертации имеется ряд замечаний.

1. Формулы, задающие вейвлет-преобразование, содержат ряд опечаток: (i) в интеграле-свертке пропущен индекс 0 у скользящей переменной, в результате чего время центровки окна не отличается от скользящей переменной свертки; (ii) либо в (1.1), либо в (1.2) квадратный корень частоты лишний, т.к. при их произведении нарушится условие нормировки; в главе 2 вместо знака модуля стоят круглые скобки, что выглядит возведением комплексной функции в квадрат вместо взятия абсолютного значения и очевидно не соответствует процедуре.
2. Следовало привести оценку разности выходной частоты вейвлет-преобразованного сигнала и частоты исходного сигнала, так как при использованной энергетической нормы (в отличие от амплитудной) соотношение между ними нелинейно.
3. На рис. 2.5, 2.7 изображение поверхности мозга названо «поверхностью головы».
4. Учитывая рассмотрение детальных эффектов, связанных с сочетаниями ориентации и перспективы куба Неккера, стоило бы привести характеристику угла зрения, которое занимает изображение для наблюдателя (в зависимости от него, теоретически возможны дополнительные эффекты неоднозначности видимого восприятия согласно расчетам теории Раушенбаха пространственных построений в живописи).

Однако данные замечания не подвергают сомнению качество выполненной работы и частично могут рассматриваться как рекомендации к дальнейшему развитию данных исследований.

Суммируя, можно заключить, что данная диссертационная работа содержит всю необходимую совокупность оригинальных научных результатов, обобщений и выводов, удовлетворяет всем требованиям пп. 9–11, 13–14 действующего «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденном постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 (в редакции от 26.10.2023), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Куц Александр Константинович, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальностям 1.5.2. Биофизика, 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент
доктор физико-математических наук (05.13.18 –
Математическое моделирование, численные
методы и комплексы программ), доцент,
профессор кафедры физики и нанотехнологий,
заведующий отделом теоретической физики
Научно-исследовательского центра физики
конденсированного состояния
Курского государственного университета



Постников Евгений Борисович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Курский государственный университет» (ФГБОУ ВО «Курский государственный университет»). Почтовый адрес: ул. Радищева, 33, Курск, 305000
Телефон: +7 (4712) 51-04-69; электронная почта: postnicov@gmail.com

Согласен на обработку персональных данных

