

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО «СГУ имени
Н.Г. Чернышевского», доктор
географических наук, профессор



Алексей Николаевич Чумаченко

« 10 » апреля 2023 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» на диссертационную работу Куца Александра Константиновича «Влияние неоднозначной визуальной информации на процессы ее обработки в нейронной сети головного мозга», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 1.5.2. – Биофизика и 1.2.2. – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Диссертационная работа Куца Александра Константиновича посвящена исследованию биофизических механизмов, описывающих особенности обработки головным мозгом визуальной сенсорной информации в условиях высокой и низкой неоднозначности. В диссертационной работе разработана модель на основе сверточной нейронной сети для описания и классификации выявленных биофизических механизмов.

Актуальность работы

Восприятие и обработка сенсорной информации является одной из главных функций головного мозга, отвечающей за взаимодействие с окружающей средой. Большинство работ по исследованию нейрофизиологических механизмов сенсорной обработки основано на таких методах измерения активности мозга, как функциональная магниторезонансная томография, магнитоэнцефалография и инвазивные методы с погруженными в мозг электродами. Однако, такие методы обладают рядом недостатков, среди которых дороговизна, большие размеры регистрирующих установок, а также недоступность самих методов. Поэтому важной задачей биофизики является исследование биофизических механизмов обработки визуальной информации с использованием электроэнцефалографии (ЭЭГ), которая является более доступным и простым в использовании методом. При этом,

использование ЭЭГ для практических целей требует разработки математических моделей, численных методов и программ для обработки экспериментальных данных.

Сигналы ЭЭГ, регистрируемые неинвазивно с поверхности головы, содержат много шумов и артефактов, а также обладают низким пространственным разрешением. Также свойства сигналов ЭЭГ подвержены высокой вариабельности как между испытуемыми, так и между различными испытаниями для одного испытуемого. Для преодоления этих сложностей актуальной задачей является разработка новых численных методов обработки ЭЭГ, которые будут устойчивы к шумам, артефактам и вариабельности данных между испытуемыми.

Наконец, актуальность работы определяется важностью понимания нейрофизиологических механизмов, отвечающих за изменение стратегии обработки визуальной информации головным мозгом в условиях неоднозначности. Изучение механизмов обработки головным мозгом визуальной информации является важной задачей биофизики, так как это позволит лучше понять основные механизмы работы мозга и способствует развитию прикладных исследований в области диагностики нормальной и патологической нейронной активности. Известно, что нарушения сенсорной обработки наблюдаются при заболеваниях центральной нервной системы, таких как дисфункция сенсорной интеграции, синдром дефицита внимания, гиперактивность, аутизм, шизофрения, возрастная деградация. Поэтому понимание биофизических механизмов обработки визуальной информации поможет создать интерпретируемые методы машинного обучения, а также математические модели, численные методы и комплексы программ для классификации состояний головного мозга, что является актуальной современной задачей для разработки систем поддержки принятия врачебных решений.

Поэтому **целью диссертационной работы** является выявление электроэнцефалографических биомаркеров, характеризующих биофизические механизмы обработки визуальной сенсорной информации в нейронной сети мозга в условиях неоднозначности, а также разработка математического аппарата для описания и классификации выявленных электроэнцефалографических биомаркеров.

Содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения.

Во **введении** представлено обоснование актуальности диссертационного исследования, описано современное состояние проблемы, сформулированы цель работы, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, дано краткое содержание работы и сформулированы основные результаты и положения, выносимые на защиту.

Первая глава содержит результаты исследования влияния неоднозначности визуальной информации на процессы ее обработки в нейронной сети головного мозга человека. В этой главе описан поставленный нейрофизиологический эксперимент, где в роли визуального стимула выступало изображение куба Неккера с различной степенью неоднозначности (определяемой яркостью внутренних ребер). В ходе эксперимента регистрировались сигналы ЭЭГ и ответы испытуемых на предъявленные стимулы. Сигналы анализировались при помощи непрерывного вейвлет-преобразования, рассчитывалась мощность сигналов ЭЭГ в процессе обработки стимулов с высокой и низкой неоднозначностью. Полученные результаты позволили выявить принципиально различные стратегии обработки в случае однозначных и неоднозначных стимулов: однозначная информация обрабатывается преимущественно в зрительной коре, что сопровождается ростом мощности сигналов ЭЭГ в затылочной области в дельта-диапазоне частот, в то время как при обработке неоднозначной информации высокая мощность ЭЭГ наблюдается в лобной области в дельта- и тета-диапазонах частот.

Вторая глава посвящена выявлению особенностей структуры сигналов ЭЭГ, характеризующих концентрацию внимания в ходе обработки неоднозначной визуальной информации. С этой целью по-прежнему производился расчет мощности сигналов ЭЭГ с использованием непрерывного вейвлет-преобразования, но в альфа- и бета-диапазонах частот, отвечающих за концентрацию внимания. Выявлено уменьшение мощности вейвлетного спектра в альфа-диапазоне частот на стадиях обработки головным мозгом визуального стимула. При этом, наблюдалось локальное увеличение вейвлетной мощности в бета-диапазоне. Стимулы с высокой неоднозначностью индуцировали высокую мощность ЭЭГ в бета-диапазоне на фронтальных электродах на начальных этапах обработки стимула.

Третья глава направлена на изложение результатов исследования влияния свойств сигналов ЭЭГ, отражающих общее ментальное состояние испытуемых, на эффективность обработки визуального стимула. Для этого рассмотрены фрагменты записей этих сигналов, предшествующие появлению стимула. Длительности записей составляли порядка 40 минут, что соответствует времени проведения эксперимента. Анализ сигналов выявил, что при увеличении времени уменьшается и время принятия решения, и частота ошибок. При этом, происходит увеличение мощности сигналов ЭЭГ в частотном диапазоне 9-11 Гц в правой теменной зоне.

Четвертая глава содержит описание разработанных алгоритмов и комплекса программ для определения пространства признаков на сигналах ЭЭГ, обеспечивающих устойчивость классификатора к вариабельности между испытуемыми. Программный продукт применен к сигналам ЭЭГ, полученным в ходе восприятия кубов Неккера с высокой

и низкой степенью неоднозначности. Произведена оценка точности классификации данных для тестовой группы испытуемых.

Основные результаты и выводы диссертационной работы перечислены в **заключении**. Анализируя их, можно выделить следующие наиболее интересные и важные результаты, обладающие **научной новизной, теоретической и практической значимостью**:

1. Поставлена серия экспериментов, обработка результатов которых позволила выявить особенности структуры сигналов ЭЭГ, характеризующие обработку неоднозначной визуальной информации.

2. Для обработки экспериментальных данных разработан комплекс программ, позволяющий сформировать пространство признаков для машинного алгоритма классификации состояний мозга, связанных с обработкой визуальной информации в условиях высокой и низкой неоднозначности.

3. Произведена обработка сигналов ЭЭГ при помощи непрерывного вейвлет-преобразования и показано, какие отделы головного мозга отвечают за обработку информации при высокой и низкой неоднозначности, адаптацию к обработке неоднозначной сенсорной информации, концентрацию внимания в ходе обработки неоднозначной визуальной информации.

Полученные результаты имеют важное прикладное значение для понимания нейрофизиологических механизмов восприятия визуальной сенсорной информации в условиях неоднозначности, а также могут найти применение при разработке пассивных интерфейсов мозг-компьютер и систем поддержки принятия врачебных решений.

Научные результаты и положения, выносимые на защиту, обоснованы и в достаточной степени защищены.

Личный вклад автора заключается в непосредственном участии во всех этапах проведенных исследований: от реализации поставленных научными руководителями задач до обсуждения результатов и написания статей.

Автореферат диссертации Куца А.К. полностью соответствует содержанию диссертационной работы и оформлен в соответствии с предъявляемыми требованиями. Выводы, представленные в автореферате, полностью соответствуют выводам, представленным в диссертации.

Публикации по теме диссертации представлены в 31 научной работе, из них 7 статей в журналах, индексируемых базами данных Scopus и Web of Science, 2 из которых опубликованы в журналах первого квартиля, 13 тезисов докладов в сборниках трудов

конференций, индексируемых Scopus, 11 свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Результаты диссертационной работы прошли хорошую апробацию на ведущих международных и всероссийских конференциях, проходивших как в нашей стране, так и за рубежом.

Замечания по содержанию диссертации

По диссертационной работе и автореферату существенных нареканий нет. Однако, несмотря на общую положительную оценку, при изучении материалов возникли некоторые вопросы и замечания, требующие уточнения:

1. Хорошо известно, что выбранная материнская вейвлет-функция существенно влияет на результаты при вейвлет-анализе. Таким образом, было бы важно подробнее обосновать выбор материнской вейвлет-функции с акцентом на специфические свойства вейвлета, а также сравнить представленные результаты вейвлет-анализа с базовым вейвлетом Морле с применением других материнских вейвлет-функций.

2. Во второй главе диссертационной работы для описания времени реакции испытуемых на стимулы с различным уровнем неоднозначности используется критерий «среднее значение группы \pm стандартная ошибка». На наш взгляд, более корректным было бы использование в качестве характеристики разброса либо стандартное отклонение, либо доверительный интервал.

3. Во второй главе диссертации для удаления артефактов на сигналах ЭЭГ использовался метод эмпирической модовой декомпозиции, в то время как в первой, третьей и четвертой главах для этой же задачи использовался метод анализа независимых компонент. Было бы полезно провести сравнительный анализ методов удаления артефактов и обосновать использование различных методов для обработки сигналов ЭЭГ в различных частях диссертационной работы.

Отмеченные недостатки касаются представления материалов и их обсуждения и не влияют на достоверность и обоснованность положений, выносимых на защиту.

Заключение

Диссертационная работа Куца А.К. является законченным научным исследованием, выполненным на актуальную в области математического моделирования биофизических процессов тему. Диссертация полностью соответствует специальностям 1.5.2. – Биофизика и 1.2.2. – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

По результатам диссертационной работы опубликовано 7 статей в журналах, индексируемых базами данных Scopus и Web of Science, среди которых Scientific Reports

(Q1), Sensors (Q1), Frontiers in Systems Neuroscience, Applied Sciences, Frontiers in Psychology, Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика, Информационно-управляющие системы.

Результаты диссертационной работы могут найти применение в ВШЭ, МФТИ, СПбГУ, СГУ, УрФУ, подразделениях Российской академии наук, а также в научно-исследовательских институтах, занимающихся изучением биофизических процессов в головном мозге при восприятии и обработке сенсорной информации, созданием технологий компьютерной обработки нейрофизиологической активности мозга, а также их приложений в биомедицине и нейрофизиологии.

Актуальность темы исследования, новизна полученных результатов, высокий научный уровень работы, ее теоретическая и практическая значимость позволяют сделать заключение о том, что диссертационная работа Куца Александра Константиновича «Влияние неоднозначной визуальной информации на процессы ее обработки в нейронной сети головного мозга» отвечает всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а диссертант заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 1.5.2. – Биофизика и 1.2.2. – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Доклад Куца А.К. по материалам диссертации был представлен на заседании кафедры физики открытых систем института физики.

Отзыв составлен и утвержден на заседании кафедры физики открытых систем института физики (Протокол № 3 от 16 ноября 2023 г.).

Заведующий кафедрой физики открытых систем института физики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», доктор физико-математических наук (01.04.03 – Радиофизика), профессор



Короновский Алексей Александрович.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»

Почтовый адрес: 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83,

Тел.: +7 (8452)26-16-96 +7(927)2275163; +7(8452)271496

Электронная почта: rector@sgu.ru, koronovskyyaa@info.sgu.ru

