Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Н.И. ЛОБАЧЕВСКОГО»

(ННГУ им. Н.И. Лобачевского)

УДК 004.896

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по науке и инновациям

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ М.Ю. Грязнов  
« »\_\_\_\_\_\_\_\_\_2024 г.

ОТЧЁТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

«РАЗРАБОТКА ДЕТЕКТОРА ЗРЕЛОСТИ РИТМОВ МОЗГА»

(заключительный этап)

Исполнитель НИР,

старший инженер-программист   
кандидат технических наук \_\_\_\_\_\_\_\_\_ C.А. Пермяков

Нижний Новгород 2024

**РЕФЕРАТ**

РАЗРАБОТКА ДЕТЕКТОРА ЗРЕЛОСТИ РИТМОВ МОЗГА

Отчет выполнен в 1 части и содержит: страниц — 27, иллюстраций — 13, таблиц — 3, приложений — 1, в отчете использовано источников — 7.

В последние десятилетия интерес к исследованию ритмов головного мозга значительно возрос в связи с их значительной ролью в понимании нейрофизиологических процессов и потенциальной возможности использовать их в клинической практике. Автоматическая оценка уровня зрелости ритмов головного мозга становится важным инструментом при планировании и оценке эффективности различных коррекционных методик, таких как нейробиоуправление и другие технологии воздействия на мозг.

Ритмы мозга, включая альфа, бета, гамма, дельта и тета волны, представляют собой различные паттерны электрической активности, которые связаны с различными когнитивными и физиологическими состояниями. Зрелость этих ритмов может указывать на текущее состояние мозговой активности и нейрофункциональных возможностей индивида. Аномалии в этих ритмах часто коррелируют с различными неврологическими и психиатрическими расстройствами, такими как эпилепсия, депрессия и дефицит внимания.

Автоматическая оценка зрелости ритмов головного мозга предлагает значительные преимущества перед ручной более трудоемкой аналитикой. Во-первых, автоматизация расчетов позволяет стандартизировать и верифицировать процесс оценки, минимизируя влияние субъективного человеческого фактора, что особенно важно при работе с накапливаемыми большими объемами данных. Во-вторых, это значительно ускоряет лечебного-диагностический процесс, что немаловажно в условиях клинической практики, где время играет критически важную роль. Последние практические результаты, стандартизация методик нейробиоуправления и современные алгоритмы цифровой обработки сигналов, при их корректном использовании способны выявлять сложные паттерны и тенденции в данных электроэнцефалографии (ЭЭГ), что делает возможным более точную оценку зрелости ритмов мозга.

Интеграция детектора зрелости ритмов в процесс планирования и оценки коррекционных методик, таких как нейробиоуправление, открывает новые горизонты в эффективности терапий. Нейробиоуправление, базирующееся на принципах нейропластичности, использует ритмы мозга как функциональные маркеры для реального времени, чтобы обеспечить обратную связь, способствующую изменению мозговой активности для достижения оптимального состояния. Благодаря автоматической оценке возможна персонализация этих методик на основе индивидуальных нейрофизиологических характеристик пациента, что делает их более таргетированными и результативными.

Объектом настоящей НИР является детектор, использующий алгоритмы обработки ЭЭГ сигналов и характеристик, информативных для оценки текущего функционального состояния головного мозга.

В ходе выполнения НИР получены следующие результаты:

1) Разработан алгоритм автоматической оценки уровня зрелости ритмов головного мозга;

2) Разработано программное обеспечение для анализа электроэнцефалографической информации и автоматизированного расчета уровня зрелости ритмов.

3) Подана заявка на регистрацию результатов интеллектуальной деятельности по итогам разработки алгоритмов автоматической оценки зрелости ритмов мозга.

Полученные результаты выполненных работ описаны в данном научном отчете.

*Ключевые слова:* оценка зрелости ритмики мозга, нейробиоуправление, усвоение ритмов, мультипликация, ЭЭГ

СОДЕРЖАНИЕ

[ВВЕДЕНИЕ 5](#_Toc1)

[ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ ОТЧЁТА 7](#_Toc2)

[1. Формализация параметров ЭЭГ сигнала при нейробиоуправлении для оценки зрелости 7](#_Toc3)

[2. Функциональная проба динамической нейромодуляции 9](#_Toc4)

[3. Описание алгоритма оценки зрелости 10](#_Toc5)

[4. Апробация работы алгоритма оценки зрелости 15](#_Toc6)

[5. Описание программного обеспечения для оценки зрелости 20](#_Toc7)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 24](#_Toc8)

[ПРИЛОЖЕНИЯ 25](#_Toc9)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 27](#_Toc10)

# ВВЕДЕНИЕ

В современном динамичном обществе стресс становится одним из источников различных психофизиологических нарушений на фоне условно-здорового и патологического состояния организма. Одним из самых важных аспектов негативного влияния стресса является изменение функционального состояния мозга и снижение когнитивных возможностей. Современная реабилитационная медицина активно развивает неинвазивные методы стимуляции мозга, ключевыми преимуществами которых являются отсутствие хирургических вмешательств, высокая персонализация и эффективность процедур.

Одной из ведущих методик является сенсорная стимуляция, основанная на биологической обратной связи с использованием электроэнцефалограммы (ЭЭГ), благодаря ее неинвазивности и высокому временному разрешению. Подобные системы успешно применяются в клинической и неклинической практике для реабилитации пациентов с неврологическими и психиатрическими расстройствами, а также для усиления когнитивных функций у здоровых людей.

Важной вехой развития данных методик выступает работа Института биофизики клетки РАН и Национального исследовательского Нижегородского государственного университета, где разработаны технологии, использующие неинвазивные сенсорные воздействия, управляемые биопотенциалами мозга. Учеными разработан ряд эффективных стратегий воздействия на ритмы головного мозга с общей целью коррекции стресс-вызванных расстройств, оптимизации функционального состояния, лечения посттравматических стрессовых расстройств и профессионального выгорания, а также в других областях. Однако широкий спектр возможных функциональных состояний головного мозга при различных донозологических и патологических состояний приводит к сложности внедрения методик нейробиоуправления в практику. Как правило, нейробиоуправление не является единственной методикой лечения (коррекции) для конкретного пациента, поэтому на выбор протокола коррекции накладываются более строгие ограничения при назначении, что в свою очередь требует высокой квалификации эксперта.

Тем не менее, накопленный практический опыт нейробиоуправления и анализа ЭЭГ позволяет выявить характерные черты нарушения ритмики мозга, общие для органических и функциональных деструкций нейронных сетей, такие как энцефалопатия и депрессия. Выделяемые черты нарушений требуют формализации и параметризации для последующего использования при поэтапном снижении уровня регрессии ритмики.

# ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ ОТЧЁТА

## **1. Формализация параметров ЭЭГ сигнала при нейробиоуправлении для оценки зрелости**

ЭЭГ-сигнал в зависимости от различной локализации регистрирующих электродов обладает различной информативностью при одних и тех методов исследования цифрового сигнала. Для исследования когнитивных процессов и нейробиоуправления одним из основных фокусов для исследования является локализация Cz-Pz по следующему ряду причин [1]:

* Cz считается частью сенсомоторной коры, которая играет ключевую роль в обработке сенсомоторной информации. Это может быть ценно для изучения процессов принятия решений и взаимодействия между сенсорными и моторными компонентами мозга.
* Pz локализуется ближе к теменной доле, которая участвует в обработке сенсорной информации, пространственном восприятии и внимании. Эти функции важны для изучения когнитивной нагрузки, внимания и памяти, так как теменная кора влияет на распределение ресурсов внимания и обработку мультисенсорной информации.
* области биоэлектричической активности Cz-Pz активно проявляют себя как в покое, так и во время выполнения когнитивных задач. Исследования показывают, что мозговая активность в этом регионе может изменяться в зависимости от уровня когнитивного контроля и вовлеченности в задачи, что делает его стратегически важным для изучения когнитивной гибкости и концентрации.
* волновые паттерны, такие как альфа-ритм, регистрируемые в области Cz-Pz, могут указывать на уровень когнитивной нагрузки, расслабления или фокусировку внимания. Это критически важно для разработки интерфейсов мозг-компьютер и нейробиоуправления, поскольку изменения в этих паттернах могут быть использованы в цепочках обратной биологической связи.
* Cz-Pz зона также является ключевым объектом изучения в нейропластичности нервной системы, особенно в контексте реабилитации после травм или инсультов. Последние успехи в изучении этой области приводят к разработке современных программ реабилитации на основе нейробиоуправления.

Таким образом, локализация Cz-Pz является критической областью для изучения взаимодействия различных когнитивных процессов, напрямую соотносится с пониманием зрелости ритмов головного мозга.

Под зрелостью ритмов головного мозга коллективом авторов [] понимается совокупность проявляющих себя фукнциональных способностей:

1. Нейропластичность – изменение структуры и функции как ответной реакции на воздействие.

2. Обучение и память – адаптация к новой информации через процессы обучения и формирования памяти.

3. Компенсация - активация новых областей взамен подврежденных или изменение структуры для адаптации к новым условиям.

4. Развитие в течение жизни – постоянное проявление динамики структурной и функциональной организации и борьба с регрессией в рамках адаптации.

При этом ключевым объектом изучения становится альфа-ритм. Одним из свойств альфа-ритма является его естественный онтогенез – у детей развитие альфа-активности связано с процессами созревания и мелинизации, которые напрямую связаны с когнитивным развитием. Альфа-ритм тесно связан с когнитивными функциями, что позволяет классифицировать его подавление или усиление внешим стимулом в терминах состояний когнитивной нагрузки.

В электоэнцефалографии при спектральном анализе принято выделять следующие характеристики альфа-ритма:

* мощность (абсолютную и относительную);
* наличие доминирующего пика;
* частоту и амплитуду пика;
* cоотношение (α/θ).

## **2. Функциональная проба динамической нейромодуляции**

В рамках многолетней научно-исследовательской работы была преложена процедура нейробиоуправления (рис.1), позволяющая в рамках одного протокола оценить когнитивные функции и стрессоустойчивость – динамическая нейромодуляция (также в лит. – “сканирование”) [2,4].

Структура пробы:

* Фон ДО – запись ЭЭГ в покое, 2 минуты;
* Стимуляция - для световой стимуляции назначается режим «Сканирование» в диапазоне частот от 4 Гц (Fmin) до 14 Гц (Fmax) с шагом по частоте 0,1 Гц (dF) и шагом по времени 3 сек. (dT); для звуковой стимуляции в качестве зоны интереса назначается тета-ритм (4-8 Гц), функция обратной связи реализуется через прямую коррелляцию между мощностью тета-ритма и высотой тональных модуляций;
* Фон ПОСЛЕ – запись ЭЭГ в покое, 2 минуты.

Продолжительность функциональной пробы - 540 секунд

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 1 – Визуализация пробы «динамическая нейромодуляция». Визуальный стимул представлен на графике яркости свечения фотостимулятора в виде гармонических колебаний с фиксированной максимальной яркостью, частота которых дискретно изменяется согласно протоколу, вне зависимости от регистрируемого нейросигнала. Максимальная яркость Imax может быть скорректирована с учетом индивидуальной светочувствительности пациента, t –время (с), I – яркость (кд/м2) |

Известно, что этап «ДО» позволяет достоверно определить выраженность альфа-ритма, во время стимуляции определить – сохраняется или собственный альфа-ритм, проявляется ли нейропластичность (эффект усвоения ритма, эффект мультипликации).

Исходя из этого результаты ЭЭГ по данному протоколу могут быть использованы для детектора зрелости головного мозга.

## **3. Описание алгоритма оценки зрелости**

*Формальная постановка задачи*

В рамках исследования рассматривается дискретный сигнал электроэнцефалограммы (ЭЭГ), который включает структурированные и аннотированные сегменты, обозначенные как «ДО», «Функциональная проба» (ФП) и «После». В процессе функциональной пробы регистрируются детализированные частотно-временные характеристики стимулирующего сигнала, что позволяет осуществлять более точный анализ. Наличие указанных условий является строго необходимым для проведения достоверной и всеохватывающей оценки зрелости мозговых ритмов. При отсутствии данных условий реализация оценки становится проблематичной, однако эти сегменты могут быть включены в более сложный протокол, где оценка зрелости по текущему алгоритму будет релевантной с учетом поправок на конкретное положение пробы в протоколе.

Основная цель заключается в определении суммы рангов, которая включает ключевые чувствительные параметры, которые по отдельности служат для характеристики той или иной стороны зрелости ритмов головного мозга. Ввиду высокой реактивности сигнала ЭЭГ априорная информация о состоянии головного мозга приобретает меньшую релевантность по сравнению с данными, получаемыми непосредственно перед началом функциональной пробы. Как следствие, в отсутствие фрагмента «ДО» невозможно адекватно оценить степень изменений, происходящих в альфа-тета диапазоне как во время, так и после завершения ФП.

Длительность этапа ФП обусловлена используемым протоколом динамической нейромодуляции, что требует внимательного выбора. Продолжительность этапов «ДО» и «После» должна определяться исходя из необходимости обеспечения достаточного объема выборки для статистической достоверности и соблюдения условий стационарности состояний характера ритмов ЭЭГ у обследуемого пациента. Данные требования важны для уменьшения вероятности артефактов и повышения значимости и достоверности получаемых результатов. Таким образом, соблюдение временных рамок для каждого из этапов критически важны для достижения надежных и воспроизводимых научных результатов.

Блок схема алгоритма представлена на рисунке 2.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 2 - Блок схема алгоритма автоматической оценки зрелости ритмов головного мозга |

**Обработка данных**

Данные ЭЭГ обычно представляются в виде зависимости амплитуды ЭЭГ сигнала от времени, для перехода к частотному представлению используется быстрое преобразование Фурье (БПФ) с окном Ханна и Хэмминга (для снижения влияния краевых оконных эффектов) в скользящем по времени окне. В результате исходаная последовательность преобразуется в многомерный массив, связывающий временное положение окна и двумерный амплитудный спектр участка ЭЭГ сигнала.

Вычисление оценки α/θ производится по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (1) |

где A – амплитудный спектр ЭЭГ-сигнала,

Вычисление пиковой частоты (*fp*) осуществляется как поиск частоты осциллятора в диапазоне 8..13 Гц с максимальной амплитудой.

Вычисление доминантности альфа пика:

|  |  |
| --- | --- |
| \* 100%, | (2) |

где *A* – амплитудный спектр ЭЭГ-сигнала, fp – пиковая частота, Δf – окрестность писоковой частоты.

Оценка устойчивости альфа-ритма по время функциональной пробы оценивается с помощью оценок во время и до стимуляции:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (3) |

Оценка усвоения ритма производится с помощью формулы (рис.3):

|  |  |
| --- | --- |
| , | (4) |

Графическое представление выделения эффекта усвоения ритма и мультипликации представлено на рисунке 4.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 3 - Блок схема алгоритма оценки усвоения |

Оценка мультипликации оценивается с помощью коэффициента гармонических искажений *К*г [3,4]:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (5) |
| , | (6) |

где, Ui – амплитуды гармоник, Nf – количество частот стимуляции

Графическое представление выделения эффекта мультипликации ритма и мультипликации представлено на рисунке 5.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 4 - Блок схема алгоритма оценки мультипликации |

**Ранжирование**

Таблица 1. Веса характеристик зрелости в общей оценке

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | + D | Устойчивость  Sustain | Усвоение  Assump | Мультипликация  M | Δ |
| Вес | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

|  |
| --- |
| а)  б)  в) |
| Рисунок 5 - Графическое представление выделения эффектов мультипликации и усвоения а) регистрация с без эффекта усвоения, б) – регистрация с эффектом усвоения, в) – типичный график Кг(f) при наличии эффекта усвоения и мультипликации |

## **4. Апробация работы алгоритма оценки зрелости**

Для аппробации алгоритма использовался аудиовизуальный комплекс для коррекции психосоматических состояний “НейроОптима” (произв. ООО НПФ “Реабилитационные технологии”). Характеристики комплекса представлены в таблице 2. Внешний вид представлен на рисунке 6.

Таблица 2 – Технические характерстики комплекса “НейроОптима”

|  |  |
| --- | --- |
| **п/п** | **Характеристика** |
|  | Диапазон регулировки внутренней окружности шлема: 530 до 640 ± 10% мм (без дополнительной затылочной подушки); |
|  | Количество каналов регистрации нейросигнала головного мозга:1; |
|  | Уровень собственных шумов нейросигнала: не более 5 мкВ; |
|  | Ток утечки на пациента: не более 0,5 мА. |
|  | Количество фото стимуляторов: 2; |
|  | Количество аудио стимуляторов: 2; |
|  | Максимальная громкость звука аудио стимулятора: должна быть 60 ± 10% дБ; |
|  | Максимальная яркость поля фото стимуляции: 28 ± 5 кд/м2; |
|  | Изменение частоты фото стимуляции: 0,1 до 25,0 ± 10% Гц; |
|  | Время работы от полностью заряженной аккумуляторной батареи: не менее 4 часов; |
|  | Время необходимое для полного заряда аккумуляторной батареи: не более 4 часов; |
|  | Комплекс при проводном соединении предназначен для продолжительного режима работы. Требования к параметрам питающей цепи: постоянный ток (USB) напряжение 5В +/- 10%, ток, не более 0,5 А.; |
|  | Время установления рабочего режима комплекса после включения не более 2 мин. с учетом подключения аппаратной части комплекса к программному обеспечению, без учета времени загрузки программного обеспечения; |
|  | Диапазон регулировки внутренней окружности шлема: 530 до 640 ± 10% мм (без дополнительной затылочной подушки); |
|  | Количество каналов регистрации нейросигнала головного мозга:1; |
|  | Уровень собственных шумов нейросигнала: не более 5 мкВ; |
|  | Ток утечки на пациента: не более 0,5 мА. |

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 6 - Внешний вид комплекса «НейроОптима» |

Данный комплекс позволяет реализовывать различные протоколы нейробиуправления, а также экспортировать данные для дополнительного анализа в стандартном формате EDF+.

**Методика**. В качестве обследуемых выступила группа добровольцев (16 человек, 29-50 лет, 10 женщин и 6 мужчин) из числа сотрудников ГК Мадин, не имевших установленных противопоказаний к применению коррекционных процедур с помощью комплекса “Нейрооптима”.

Во временном промежутке 13:00-16:00 каждый из обследумых проходил процедуру по протоколу “Динамическая нейромодуляция”, длительностью 9 мин. По окончанию процедуры полученные данные эспортировались из программного обеспечения и анализировались экспертом, с опытом проведения процедур нейробиоуправления. Далее данные эксперта сопоставлялись с результатом автоматического анализа.

Всего было получено 20 записей. Результаты оценки записей представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Результаты исследования.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | До | | | Стимуляция | | | После | | Оценка по алгоритму | Оценка эксперта |
| № |  | Доминиров | Fp, Гц | Устойчивость | Усвоение | Мультипликация | Δ | Δ Fp, Гц |
| 1 | 1,4 | + | 9,7 | + | + | + | -0,1 | 0,2 | 5 | Эталон |
| 2 | 1,5 | + | 11,0 | + | + | + | -0,05 | 0,3 | 5 | Эталон |
| 3 | 1,8 | + | 9,7 | + | + | + | +0,12 | 0,9 | 4 | Слабая |
| 4 | 1,2 | + | 11,1 | + | + | + | +0,10 | 0,3 | 4 | Слабая |
| 5 | 0,98 | - | 8,6 | + | + | - | +0,7 | 1,0 | 3 | Умеренная |
| 6 | 1,25 | + | 9,3 | - | + | + | +0,9 | 0,8 | 4 | Слабая |
| 7 | 1,19 | + | 9,4 | - | + | + | +0,3 | 0,5 | 4 | Слабая |
| 8 | 1,10 | + | 10,1 | - | + | - | +1,1 | 0,5 | 2 | Умеренная |
| 9 | 1,15 | - | 9,0 | - | + | + | +0.3 | 1,2 | 3 | Умеренная |
| 10 | 1,7 | + | 8,9 | + | - | - | +0,5 | 0,3 | 3 | Умеренная |
| 11 | 2,12 | + | 10,1 | + | + | + | -0,1 | -0,3 | 4 | Слабая |
| 12 | 2,34 | + | 12,1 | + | + | + | +0,6 | 0,9 | 4 | Слабая |
| 13 | 0,77 | - | 8,2 | - | - | - | -0.1 | -0,1 | 1 | Глубокая |
| 14 | 1,6 | + | 10,3 | + | + | + | -0,1 | 0,4 | 5 | Эталон |
| 15 | 0,68 | - | - | - | + | - | +0,2 | -0,3 | 1 | Глубокая |
| 16 | 2,2 | + | 11,0 | - | + | + | +0,4 | 0,9 | 4 | Слабая |
| 17 | 1,0 | - | 8,6 | - | + | - | +0,7 | 0,7 | 3 | Умеренная |
| 18 | 1,12 | - | 9,2 | - | + | + | +0,9 | 1,5 | 3 | Умеренная |
| 19 | 0,89 | - | 9,7 | - | + | - | +0,3 | 1,3 | 3 | Умеренная |
| 20 | 1,0 | - | 9,3 | - | - | - | -0,1 | -0,3 | 2 | Глубокая |

На основе сравнительного анализа результатов работы алгоритма и экспертной оценки зрелости ритмов головного мозга можно сделать несколько ключевых выводов.

В первую очередь стоит отметить, что наблюдается согласованность между алгоритмическими и экспертными оценками, особенно в случае эталонной зрелости (3 записи) ритмов, где алгоритм присвоил записям 5 баллов (рис. 5).

Наибольшая сложно для классификации экспертом является в категориях слабой и умеренной регрессии (по 7 записей) (рис. 6,7). Разработанный алгоритм оценивает слабую регрессию в 4 балла, умеренную в 3 балла. В дальнейшем продвижении алгоритма важно учесть такие аспекты, улучшив его точность и специфичность в этих категориях.

Глубокая регрессия (рис.8) отмеченная экспертами на 3 записях получили от алгоритма оценку - 1 и 2 балла. Чтобы улучшить точность распознавания глубокой регрессии, необходимо сосредоточиться на улучшении алгоритмов машинного обучения, включая расширение тренировочных датасетов с разнообразными паттернами глубоких регрессий.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 7 - Спектрограмма эталонной ритмики. Оценка по алгоритму = 5 |
|  |
| Рисунок 8 - Спектрограмма при слабой регрессии. Оценка по алгоритму = 4 |
|  |
| Рисунок 9 - Спектрограмма при умеренной регрессии. Оценка по алгоритму = 3 |
|  |
| Рисунок 10 - Спектрограмма при глубокой регрессии. Оценка по алгоритму = 2 |

## **5. Описание программного обеспечения для оценки зрелости**

Разработанное программное обеспечение представляет собой кроссплатформенную систему для управления и анализа данных регистраций, обеспечивающую пользователям удобный интерфейс для работы с базой данных. Программа реализует процессы индексации, визуализации, анализа, редактирования и экспорта данных, а также поддерживает работу с различными форматами файлов (CSV, EDF+, TXT). Приложение имеет функцию кеширования исходных данных в собственном хранилище.

Программная платформа – Java 17, язык программирования - Kotlin, тип ЭВМ – IBM совместимая, операционная система – Windows (10/11), Linux, MacOs. Общая структура меню представлена на рисунке 11.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 11 - Структура меню программного обеспечения детектора зрелости |

Основные компоненты

*Загрузочный экран*. При запуске отображается загрузочный экран, на котором выполняются следующие процессы:

* индексация данных в базе данных: программа загружает документо-ориентированную базу данных, индексируя все доступные записи. Эта индексация позволяет ускорить последующий доступ к данным во время сеанса работы.
* индексация файлового хранилища: аналогичный процесс индексации происходит для внешних данных, загруженных в файловое хранилище. Это необходимо для обеспечения возможности быстрого поиска и извлечения данных из архива.

*Меню базы данных.* После завершения загрузки пользователь попадает в меню базы данных, где представлен список уже загруженных регистраций. В данном интерфейсе отображаются следующие параметры каждой записи:

* идентификатор записи;
* название файла;
* формат файла;
* дата добавления;
* дата регистрации;
* аннотация записи (например, краткое описание функциональной пробы);
* оценка зрелости данных.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 12 – Меню базы данных |

Основные функции меню базы данных включают:

* добавление и удаление записей: пользователь может добавлять новые файлы с регистрациями ЭЭГ или удалять существующие из базы.
* обновление списка: служит для актуализации отображаемых данных.
* навигационные кнопки "Файл", "Настройки", "О программе": предоставляют доступ к расширенным настройкам системы, справочной информации и другим вспомогательным функциям.

Меню анализа. Интерфейс анализа данных представлен в виде двух колонок: слева отображается таблица этапов и рассчитанных параметров; справа – панель для работы с графиком спектрограммы и визуализации стимулов (рис. 13).

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 13 – Меню анализа |

В таблице с участками ЭЭГ данных и рассчитанными параметрами пользователь может просматривать результаты предварительного автоматического анализа данных, включая параметры, рассчитанные для каждого участка. График спектрограммы исходных данных отображает спектральный анализ с нанесением участков стимуляции, что позволяет визуально сопоставить изменения сигналов с различными стимулами.

В программе реализованы функции редактирования и экспорта данных:

* редактор разметки стимула: позволяет изменить или ввести вручную параметры функциональной пробы или выделить другие интересующие участки данных, что обеспечивает гибкость анализа.
* редактор временной разметки: служит для удаления артефактов и нежелательных сигналов из временного ряда, повышая качество анализа.
* меню экспорта: пользователь может выбрать, какие параметры включать при экспорте в PDF или Word.

**Выводы**

Разработанное программное обеспечение, реализующее алгоритмы автоматической оценки зрелости обеспечивает полный цикл работы с регистрационными ЭЭГ и НБУ данными, от их обработки и анализа до визуализации и экспорта. Оно разработано для удовлетворения потребностей исследователей и специалистов, предоставляя мощные инструменты анализа и удобный пользовательский интерфейс.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка алгоритма автоматической оценки зрелости ритмов мозга представляет собой значительный шаг вперед в интеграции методик нейробиоуправления в клиническую и психофизиологическую практику. Это становится возможным благодаря разработке ясных и строго определенных критериев изменения уровня регрессии мозговой активности, которые вычисляются на основе унифицированной функциональной пробы со световой стимуляцией. Данный подход способствует уменьшению рабочей нагрузки на медицинский персонал, поскольку принятие решений о результатах коррекционных процедур требует значительно меньших временных затрат. Решения формируются на основе конкретных и количественно измеримых показателей, которые легко сравнивать между собой, даже при появлении новых научных данных или разработке новых более специализированных функциональных проб.

Классификация уровня регрессии, определяемая с помощью данного алгоритма, позволяет детально охарактеризовать различия в функциональных состояниях головного мозга. Эти различия часто остаются незаметными в стандартных метриках психофизиологических заданий, несмотря на их влияние на когнитивные способности, скорость реакции и память. Таким образом, алгоритм помогает выявлять особенности мозговой активности, которые не всегда очевидны при традиционных методах исследования.

Кроме того, разработанный алгоритм предоставляет возможность для систематизации данных и их воспроизведения в клинической практике. Это обеспечивает гибкость в адаптации методик нейробиоуправления, что позволяет их эффективность и актуальность всегда оставаться на передовом уровне научных достижений. Внедрение данного алгоритма способствует повышению точности диагностики и лечения, благодаря прямой связи с процессами, происходящими в головном мозге, что особенно важно в контексте быстрого развития нейромедицинских технологий.

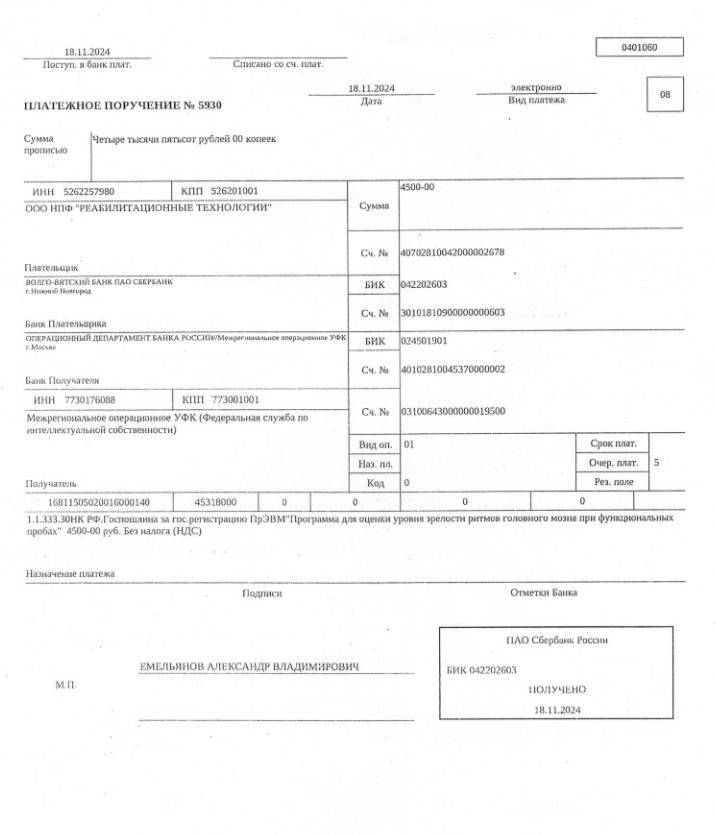
# ПРИЛОЖЕНИЯ

Подтверждения подготовки и подачи заявки на регистрацию результатов интеллектуальной деятельности по итогам разработки алгоритмов автоматической оценки зрелости ритмов мозга:

* сопроводительное письмо с отметкой о получении (19 ноября 2024) в Федеральный Институт промышленной собственности для регистрации программы для ЭВМ: «Программа для оценки уровня зрелости ритмов головного мозга при функциональных пробах»



* платежное поручение об оплате государственной пошлины (18 ноября 2024) для регистрации программы для ЭВМ: «Программа для оценки уровня зрелости ритмов головного мозга при функциональных пробах»



# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Александров М.В., Иванов Л.Б., Лытаев С.А. и др. Электроэнцефалография/ Под ред. М.В. Александрова. 2-е изд., перераб. и дополн. СПб.: Стратегия будущего, 2019. 209 с.
2. Савчук Л.В., Полевая С.А., Парин С.Б., Бон­дарь А.Т., Федотчев А.И. Резонансное сканирование и ана­лиз ЭЭГ при определении зрелости корковой ритмики у младших школьников. Биофизика 2022; 67(2): 354–361, <https://doi.org/10.31857/s0006302922020181.>
3. Бондарь А.Т., Федотчев А.И., Полевая С.А. Пространственные особенности нелинейных процессов в коре головного мозга. // Нелинейная динамика в когнитивных исследованиях: Труды VI Всероссийской конференции. Нижний Новгород: Нижний Новгород. ИПФ РАН. 234 с.. 2019. С. 49-50.
4. Горохов П. К. Толковый словарь по радиоэлектронике. Основные термины. — М: Рус. яз., 1993.
5. Федотчев А.И., Полевая С.А, Парин С.Б. Резонансное нейробиоуправление для улучшения когнитивных функций мозга. – Нижний Новгород: Изд-во «ННГУ им. Н.И. Лобачевского», 2024. – 186 с.
6. Синдром дефицита внимания с гиперактивностью и современные возможности его лечения методом нейробиоуправления А. И. Федотчев [и др.] // Журн. неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. - 2016. - Том 116, N 5 : 98-101
7. И. В. Нуйдель, А. В. Колосов, С. А. Пермяков, И. С. Егоров, С. А. Полевая, В. Г. Яхно, “Математическая модель управления нейропластичностью мозга при нейробиоуправлении”, Известия вузов. ПНД, 32:4 (2024), 472–491