

Описание программного обеспечения  
"Brain-expert"

Нижний Новгород

2023

## **Предупреждение об исключительных правах и конфиденциальной информации**

Исключительные права на все результаты интеллектуальной деятельности и приравненные к ним средства индивидуализации юридических лиц, товаров, работ, услуг и предприятий, которым предоставляется правовая охрана (интеллектуальную собственность), используемые при разработке, поддержке и эксплуатации программного обеспечения Brain-Expert, включая, но не ограничиваясь, программы для ЭВМ, базы данных, изображения, тексты, а также изобретения, полезные модели, товарные знаки, знаки обслуживания, коммерческие обозначения и фирменные наименования, принадлежат ООО «ЭМРА ТЕХНОЛОГИЯ» либо его лицензиарам. Использование результатов интеллектуальной деятельности и приравненных к ним средств индивидуализации в целях, не связанных с разработкой, поддержкой и эксплуатацией программного обеспечения Brain-Expert, не допускается без получения предварительного согласия правообладателя. Настоящий документ содержит конфиденциальную информацию ООО «ЭМРА ТЕХНОЛОГИЯ». Использование конфиденциальной информации в целях, не связанных с разработкой, поддержкой и эксплуатацией программного обеспечения Brain-Expert, а равно как и разглашение таковой, не допускается. При этом под разглашением понимается любое действие или бездействие, в результате которых конфиденциальная информация в любой возможной форме (устной, письменной, иной форме, в том числе с использованием технических средств) становится известной третьим лицам без согласия обладателя такой информации либо вопреки трудовому или гражданско-правовому договору. Отношения ООО «ЭМРА ТЕХНОЛОГИЯ» с лицами, привлекаемыми для разработки, поддержки и эксплуатации программного обеспечения Brain-Expert, регулируются законодательством Российской Федерации и заключаемыми в соответствии с ним трудовыми и/или гражданско-правовыми договорами (соглашениями). Нарушение требований об охране результатов интеллектуальной деятельности и приравненных к ним средств индивидуализации, а равно как и конфиденциальной информации, влечет за собой дисциплинарную, гражданско-правовую, административную или уголовную ответственность в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Контактная информация:

ООО «ЭМРА ТЕХНОЛОГИЯ»

603127, Нижегородская обл., г. Нижний Новгород,  
Коновалова ул., д.6, к.Литера У2, оф.34

<https://www.emra.tech>

Тел.: +7 831 4101207

Email: [info@emra.tech](mailto:info@emra.tech)

## СОДЕРЖАНИЕ

1	Вводная часть	4
2	Структура программного обеспечения	12
3	Функции частей программного обеспечения	13
4	Методы и средства разработки программного обеспечения	22
5	Операционная система	22
6	Возможности операционной системы	23

## **1. ВВОДНАЯ ЧАСТЬ**

### **Назначение**

Программное средство предназначено для обмена данными с нейроинтерфейсом Brain expert, в том числе их хранения, передачи настроечных данных, анализа данных получаемых в режиме текущей эксплуатации (текущие данные), накопленных данных (исторические данные), в том числе анализ исторических данных полученных от нейроинтерфейсов или энцефалографов сторонних производителей, имеющих возможность передачи исходящих данных в международном формате. Анализ данных включает компоненты статистической обработки, возможности создания и обучения нейросети с целью выявления закономерностей в регистрируемых данных, их классификации и прогноза ближайших за регистрируемым потенциалом изменений паттерна электрической активности для последующего имитационного моделирования в системах поддержки принятия решений. Прикладное применение программного средства направлено на анализ данных электроэнцефалограммы в интересах выявления индивидуальных комплексных реакций при проведении медицинского обследования, психофизиологических тестов и разработки алгоритмов программного анализа мозговой активности человека для систем человеко-машинного взаимодействия. Программное обеспечение Brain-expert (далее ПО) является неотъемлемой частью программно-аппаратного комплекса (ПАК) предназначенного для предиктивного (прогнозного) построения паттернов электрической активности коры больших полушарий человека на основе текущих и исторических данных электроактивности мозга, для использования в анализе ожидаемых поведенческих реакций обследуемого и состоит из модуля обмена данными с нейроинтерфейсом Brain expert и модуля анализа данных.

Основные функции, которые поддерживает ПО:

- получение данных от нейрогарнитуры «BrainExpert» внешними вычислительными устройствами с операционными средами Windows, Linux;
- отправка настроечных параметров на аппаратные компоненты нейрогарнитуры "Brain expert";
- возможность обработки программным обеспечением комплекса данных от нейрогарнитур или энцефалографов иных производителей при условии наличия в них соответствующих нейрогарнитуры "Brain expert" данных от активных электродов по международной системе 10-20% и синхронизированных по времени факторов воздействия.
- построение текущих, исторических трендов локальных амплитуд по отведениям и цифровых паттернов по всей поверхности регистрации;
- построение прогнозных трендов локальных амплитуд по отведениям и цифровых паттернов всей поверхности регистрации по уровням отсроченности от 1 секунды и выше;
- подключение модулей для прогнозной поддержки принятия решений на обученных моделях, написанных на языке Python;
- возможность синхронизации с регистрируемыми параметрами ЭЭГ факторов-триггеров для создания и обучения собственных моделей на основе глубокого машинного обучения по регистрируемым текущим и историческим данным с целью прогнозирования;
- вывод данных в общепризнанных форматах для обработки сторонними приложениями;

### **Обзор существующих программных решений**

В настоящее время в области обработки данных энцефалографии и реализации интерфейса мозг-компьютер существует множество

программ, библиотек и комплексов ПО. Перед разработкой структуры ПО был произведен анализ существующих решений на предмет выявления их особенностей и недостатков, а также оценки подходов реализации и возможности применения в работе с нейрогигиеной Brain expert в интересах удобства эксплуатации. Кроме этого, прорабатывалась возможность совместимости разрабатываемых программно-аппаратных средств со сторонними комплексами для развития продукта. Существующие программные решения имеют различный функционал и направленность применения, начиная от простых программ для просмотра физиологических данных, которые могут включать набор инструментов для анализа, обработки и визуализации до программных платформ которые содержат в себе системы сбора данных, поддерживающие оборудование как известных производителей, так и собственные разработки, включающие библиотеки, используемые в научно-исследовательской деятельности, которые позволяют получать, обрабатывать и качественно визуализировать биологические данные. Такие системы позволяют писать сценарии и легко интегрируются с высокоуровневыми языками программирования, тем самым позволяя не только анализировать биологические данные, но и создавать интерфейсы мозг-компьютер. Приоритет изучаемых программных компонентов преимущественно был направлен на рассмотрение продуктов с открытым исходным кодом для возможности использования наработанных программных решений в разрабатываемом ПО, а также для обеспечения совместимости со сторонними программными решениями для дальнейшего развития продукта.

Для обмена физиологическими данными существует несколько наиболее популярных форматов файлов, разработанных различными организациями:

- "EDF" (EuropeanDataFormat) - Европейский формат данных, предназначенный для обмена и хранения медицинских временных

рядов. Являясь открытым и непатентованным форматом, EDF обычно используется для архивирования, обмена и анализа данных с коммерческих устройств в формате, который не зависит от системы сбора данных, опубликован в 1992г;

- EDF+ – Расширение формата EDF, названное EDF+. Стандарт опубликован в 2003 году и во многом совместим с EDF.
- BDF+ – это расширение BDF и 24-ти битная версия EDF+, используемая компанией Biosemi, следовательно, названа BiosemiDataFormat.
- GDF (GeneralDataFormat) – это 24/32-ти битный универсальный формат, предназначенный для хранения различных биомедицинских сигналов.
- EEG –Расширенный формат для приложений BrainVision от BrainProductsGmbH.

Имеющиеся аналоги программных решения для чтения и обработки биологических данных, в том числе с открытым исходным кодом, представлены ниже:

EEGViewer ([github.com/danierrr/EEGViewer](https://github.com/danierrr/EEGViewer))

программа предназначена для просмотра, анализа, и анимации данных из EDF файлов. Исходный код программы на языке Java открыт. Предназначена для работы с серверной компонентой на [LearningEEG.com](http://LearningEEG.com)

EDFbrowser ([teuniz.net/edfbrowser](http://teuniz.net/edfbrowser))

бесплатная, мультиплатформенная, универсальная программа, с открытым исходным кодом ([gitlab.com/Teuniz/EDFbrowser](https://gitlab.com/Teuniz/EDFbrowser)), предназначенная для просмотра и обработки физиологических данных, таких как ЭЭГ, ЭМГ, ЭКГ, Биоимпеданс и т.д. Поддерживает форматы: EDF(+), BDF(+). Исходный код на QT, лицензия GNU GPL v3.0.

SigViewer ([github.com/cbrnr/sigviewer](https://github.com/cbrnr/sigviewer))

бесплатное многофункциональное приложение для просмотра и анализа ЭЭГ и других электрофизиологических данных. Поддерживает следующие форматы данных при помощи библиотеки `libbiosig` (например: GDF, EDF, CNT, EEG и многие другие). Исходный код на QT, лицензия GNU GPL v3.0.

Polyman

([sites.google.com/view/diegoalvarezestevez/projects/polyman](https://sites.google.com/view/diegoalvarezestevez/projects/polyman))

бесплатная программа для просмотра/проверки EDF/EDF+ файлов. Программа может демонстрировать сигналы, отсчеты, аннотации и любые видео-данные. Исходный код закрыт, в связи с возможностью программы открывать проприетарные форматы файлов.

Experiment ([expyriment.org](https://expyriment.org))

библиотека Python с открытым исходным кодом для разработки и проведения критичных ко времени поведенческих экспериментов и экспериментов по нейровизуализации. Основная цель состоит в том, чтобы предоставить хорошо структурированную библиотеку Python для разработки экспериментов на основе скриптов. Это комплексное решение, так как оно обрабатывает представление стимулов, запись событий ввода-вывода, связь с другими устройствами, а также сбор и предварительную обработку данных.

MNE-Python ([mne.tools](https://mne.tools))

библиотека Python с открытым исходным кодом для изучения, визуализации и анализа нейрофизиологических данных человека: МЭГ, ЭЭГ, сЭЭГ, ЭКоГ, NIRS и т.д. Включает модули для ввода/вывода данных, предварительной обработки, визуализации, оценки источника, частотно-временного анализа, анализа связности, машинного обучения и статистики.



BioSig ([biosig.sourceforge.net](http://biosig.sourceforge.net))

это программная библиотека с открытым исходным кодом для обработки биомедицинских сигналов, включающая, например, анализ биосигналов, таких как ЭЭГ, ЭКГ, ЭОГ, ЭМГ и т.д. Основные области применения: нейроинформатика, интерфейсы мозг-компьютер, нейрофизиология, психология, сердечно-сосудистые системы и исследования сна. Целью проекта BioSig является содействие исследованиям в области обработки биомедицинских сигналов путем предоставления программных инструментов с открытым исходным кодом для различных приложений.

MathBrain([mathbrain.ru](http://mathbrain.ru))

облачный ресурс предназначен для обработки и анализа многоканальных экспериментальных данных и может применяться для решения фундаментальных и прикладных задач энцефалографии. Пользователю предоставляется инструмент для построения точного преобразования Фурье и восстановления временных рядов по ранее рассчитанному спектру.

OpenBCI ([openbci.com](http://openbci.com))

представляет собой open-source платформу интерфейса «человеческий мозг – электронное устройство». Платы OpenBCI совместимы с электродами стандартных электроэнцефалографов. Их применяют для регистрации и диагностирования электрической активности, которая создается разными органами: мозгом – ЭЭГ, сердцем – ЭКГ, мышцами – ЭМГ. Обработка сигналов происходит в сопровождающих программах или с помощью собственных решений:

- OpenBCI GUI – графический интерфейс межплатформенного приложения, визуализирующий данные с устройств типа Ganglion, Cyton и др. Запускается как нативный на Windows, Linux и MacOS;

- `brainflow` - с помощью этой библиотеки получают и анализируют ЭЭГ, ЭМГ, ЭКГ и прочие данные с биосенсоров;
- `OpenBCI_Python` - Python-библиотека для работы с OpenBCI-оборудованием;
- `pyOpenBCI` - Python-драйвер, подходящий для любых биосенсоров OpenBCI.

OpenViBE ([openvibe.inria.fr](http://openvibe.inria.fr))

бесплатная платформа с открытым исходным кодом, предназначенная для разработки, тестирования и использования нейрокомпьютерных интерфейсов. Может использоваться для регистрации, фильтрации, обработки, классификации и визуализации сигналов головного мозга в режиме реального времени, либо в автономном режиме из файла. Можно использовать для получения, фильтрации, обработки, классификации и визуализации сигналов мозга в режиме реального времени. Начиная с версии 2.2.0, OpenViBE также включает инструмент для автономного или пакетного анализа больших наборов данных.

EEGLAB ([sccn.ucsd.edu/eeglab](http://sccn.ucsd.edu/eeglab))

это интерактивный набор инструментов Matlab для обработки непрерывных и связанных с событиями ЭЭГ, МЭГ и других электрофизиологических данных, включающий анализ независимых компонентов (ICA), анализ времени/частоты, подавление артефактов, статистику, связанную с событиями, а также несколько полезных режимов визуализации усредненных данных. и данные одного испытания. Работает под Linux, Unix, Windows и MacOSX.

ERPLAB ([erpinfo.org/erplab](http://erpinfo.org/erplab))

это бесплатный пакет Matlab с открытым исходным кодом для анализа данных ERP. Он тесно интегрирован с EEGLAB, расширяя его

возможности и предоставляя надежные промышленные инструменты для обработки, визуализации и анализа ERP. Графический пользовательский интерфейс облегчает обучение новичкам, а скрипты Matlab предоставляют огромные возможности для пользователей среднего и продвинутого уровня. ERPLAB реализован благодаря гранту R01MH087450 Национального института психического здоровья.

BrainBay ([github.com/ChrisVeigl/BrainBay](https://github.com/ChrisVeigl/BrainBay))

приложение для биологической обратной связи, предназначенное для работы с различными усилителями ЭЭГ (включая аппаратные усилители OpenEEG и OpenBCI). Оно поддерживает функции интерфейса «человек - компьютер» и программную платформу NeuroServer для передачи записей в реальном времени через Интернет и локальную сеть. Также предлагает некоторые функции для создания альтернативных человеко-компьютерных интерфейсов (HCI), таких как отслеживание лица через веб-камеру, распознавание шаблонов сигналов Электромиографии (ЭМГ) или управление мышью / клавиатурой. Весь исходный код находится под лицензией GPL.

Программный продукт Brain Expert ([emra.tech/software](http://emra.tech/software))

включает программное обеспечение для нейрогарнитуры Brain Expert, а также компоненты совместимости программного интерфейса к существующим платформам имеющихся средств предварительной обработки, анализа, машинного обучения, статистики и визуализации данных.

## 2. СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Программное обеспечение Brain Expert включает в себя:

- прикладное программное обеспечение нейрогарнитуры Brain Expert;
- общее программное обеспечение необходимое для работы прикладного ПО Brain Expert.
- системное программное обеспечение Brain Expert;

К прикладному и общему программному обеспечению Brain Expert относятся:

- операционная система Windows;
- операционная система Linux;
- программное обеспечение "Brain Expert" (BE)
  - программная компонента передачи данных
  - программная компонента локального интерфейса
  - программная компонента локальной обработки данных
  - программная компонента взаимодействия с серверной компонентой SABE

Прикладное программное обеспечение, предназначено для взаимодействия с нейрогарнитурой Brain Expert и первичной обработки данных на вычислительном устройстве оператора.

К системному программному обеспечению Brain Expert относится:

- операционная система Alma Linux;
- СУБД PostgreSQL;
- сервер Nginx HTTP server.
- серверная компонента Brain Expert (SABE).

Системное программное обеспечение, предназначено для облачного хранения данных, получаемых от нейрогарнитуры Brain Expert и их обработки с помощью обученных нейросетевых моделей, а также для обновления прикладного программного обеспечения.

### **3. ФУНКЦИИ ЧАСТЕЙ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

#### **Прикладное и общее программное обеспечение Brain Expert:**

- операционная система Windows

функции альтернативной базовой операционной среды для стабильной работы прикладного программного обеспечения Brain Expert на вычислительных устройствах - Windows версий 8.1 и 10. Лицензия Windows.

- операционная система Linux

функции альтернативной базовой операционной среды для стабильной работы прикладного программного обеспечения Brain Expert на вычислительных устройствах - Linux под лицензиями GNU GPL модификаций Ubuntu и Debian.

- программное обеспечение "Brain Expert" (BE);

выполняет функции взаимодействия с нейрогарнитурой Brain Expert и первичной обработки данных на вычислительном устройстве пользователя устройства. Включает следующие компоненты:

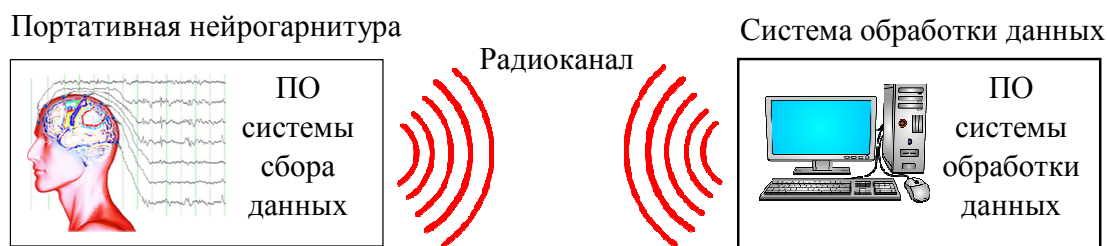
- подсистему передачи данных
- подсистему локального интерфейса

- подсистему локальной обработки данных
- подсистему взаимодействия с серверной компонентой SABE

#### Подсистема передачи данных

выполняет функцию взаимодействия с нейрогарнитурой Brain Expert, обеспечивая преемственность протоколов между аппаратной компонентой сбора данных на устройстве и подсистемой локальной обработки данных на вычислительном устройстве по беспроводному интерфейсу (Рис.1).

Рис.1 Структурная схема взаимодействия с устройством.



Портативная нейрогарнитура осуществляет преобразование электрической активности мозга человека в аналоговый сигнал, с последующим преобразованием его в цифровой для передачи по радиоканалу в подсистему локальной обработки данных. А также, имеет в своем составе встроенные модули вызванного потенциала фото и фоно стимуляции, что позволяет произвести калибровку прибора под индивидуальный уровень генерируемого потенциала для повышения точности программной интерпретации регистрируемых данных. Подсистема передачи данных осуществляет поддержку потока данных ЭЭГ до 20 каналов по 16 бит, с дискретизацией 1 кГц, что обеспечивает необходимую скорость обмена не менее 320кБит/сек. В текущей версии программы реализована аппаратная поддержка функционала передачи данных на восьми битном микроконтроллере из семейства AVR с радиоканалом на модуле nRF24. Допускается

модификация программной компоненты в интересах взаимодействия с микроконтроллером поддерживающим SD-карту на аппаратном уровне, класса ESP32, который в свою очередь имеет периферийный модуль Bluetooth, способного выполнять функции сбора данных и обмен по радиоканалу.

Система обработки данных должна обеспечить прием данных от гарнитуры, и программный интерфейс передачи данных далее в систему обработки и анализа, а также управление модулями вызванного потенциала фото и фоно стимуляции.

#### Подсистема локального интерфейса

выполняет функции поддержки графического приложения для удобства взаимодействия оператора с устройством, изменения настроек активности нейроинтерфейса и анализа данных в т.ч. отправку управленческих параметров модулями вызванного потенциала фото и фоно стимуляции, синхронизацией их активности, параметрами активности модулей регистрации.

#### Подсистема локальной обработки данных

подсистема обработки данных обеспечивает прием данных от гарнитуры (исходные данные), через программный интерфейс передачи данных модули обработки и анализа.

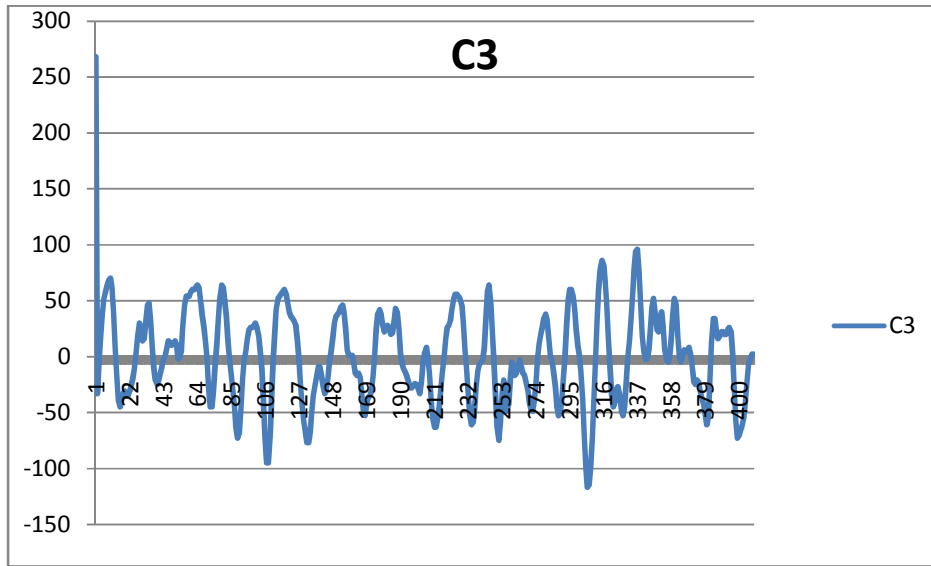
#### Исходные данные

Как известно важным этапом в разработке любой модели глубокого машинного обучения является решение задачи поиска ключевых признаков исходных данных, которые имеют значимое влияние на искомый результат применения модели. Какие признаки следует использовать, а какие нет, в том числе, следует ли осуществлять преобработку (преобразование) входных данных,

решение этих вопросов непосредственно влияет на выбор пути реализации модели. Исходные данные получаемые от нейрогарнитуры подсистемой передачи данных представляют собой пул оцифрованных величин (см схема 1, 2) регистрируемого потенциала. Важным преимуществом нейрогарнитуры является возможность изменения параметров полученных исходных данных энцефалограммы не во время ее регистрации, а во время дальнейшей работы с накопленными данными. С помощью программной обработки регистрируемых данных реализованных в опытном образце путем униполярного монтажа, позволяет предоставить исходные данные трансформируя униполярный монтаж в любой желаемый, в том числе и биполярный. Такой подход важен для представления их во всем многообразии сочетаний потенциалов от каждого электрода. Исходные данные до поступления в подсистему локальной обработки проходят аппаратную обработку на предмет отсеивания артефактов (изменений потенциала) вызванных мышечной активностью и токами наведения. Пример графического отображения исходных данных в ВЕ представлены на рис. 2 и таб.1

Рис.2 Пример исходных данных по отведению С3





Таб. 1 Пример исходных данных в формате European Data Format (EDF)

T[sec]	F3	F4	T3	T4	C3	O1	O2
41	268.1	268.1	268.1	268.1	268.1	268.1	268.1
3.82	-33.12	45.95	-65.07	35.87	-53.02	-59.05	35.87
3.825	-5.106	81.96	-47	39.93	-15.06	-53.02	37.97
3.83	17.94	99.89	-29.06	41.9	3.928	-39.02	39.93
3.835	37.97	102	-11.13	39.93	13.88	-25.01	43.99
3.84	51.98	89.94	0.9165	29.98	19.9	-9.034	43.99
3.845	58	67.95	11.91	13.88	29.98	-2.095	39.93
3.85	63.89	39.93	27.89	0	43.99	3.928	33.91
3.855	67.95	17.94	35.87	-3.011	49.88	3.928	27.89
3.86	69.91	9.95	35.87	-5.106	49.88	7.986	23.96

3.865	61.93	11.91	31.95	-3.011	49.88	23.96	17.94
3.87	39.93	5.892	25.92	-5.106	47.92	43.99	7.986
3.875	7.986	-9.034	15.97	-11.13	31.95	47.92	-1.047
3.88	-17.02	-33.12	0	-17.02	0.9165	37.97	-9.034
3.885	-39.02	-47	-15.06	-15.06	-45.04	25.92	-5.106
3.89	-45.04	-51.06	-29.06	-5.106	-77.11	19.9	5.892
3.895	-39.02	-51.06	-29.06	0.9165	-89.03	22	19.9

#### Подсистема взаимодействия с серверной компонентой SABE

функции непрерывной отправки регистрируемых данных в СУБД PostgreSQL, при работе устройства, а также выгрузки архивных данных в форматах EDF, CSV.

#### Системное программное обеспечение Brain Expert:

функции системного программного обеспечения заключаются в предоставлении программно-аппаратных ресурсов для анализа (классификации и интерпретации) исходных данных, получаемых от нейрогарнитуры Brain Expert, с помощью обученных нейросетевых моделей, требующих больших вычислительных возможностей. Доступ к системному программному обеспечению осуществляется по подписке для клиентов на портале <https://emra.tech/>. Включаете следующие компоненты:

- операционная система Alma Linux

функции базовой серверной операционной среды для запуска серверной компоненты Brain Expert (SABE). Лицензия GNU GPL. Совместимость с версиями 8,9.

- СУБД PostgreSQL;

функции серверной базы данных для хранения и защиты данных серверной компоненты Brain Expert (SABE). Лицензия PostgreSQL License. Совместимость с версией 14.

- сервер Nginx HTTP server.

функции HTTP сервера для обслуживания взаимодействия с серверной компонентой Brain Expert (SABE). Лицензия Nginx License.

- серверная компонента Brain Expert (SABE).

функции

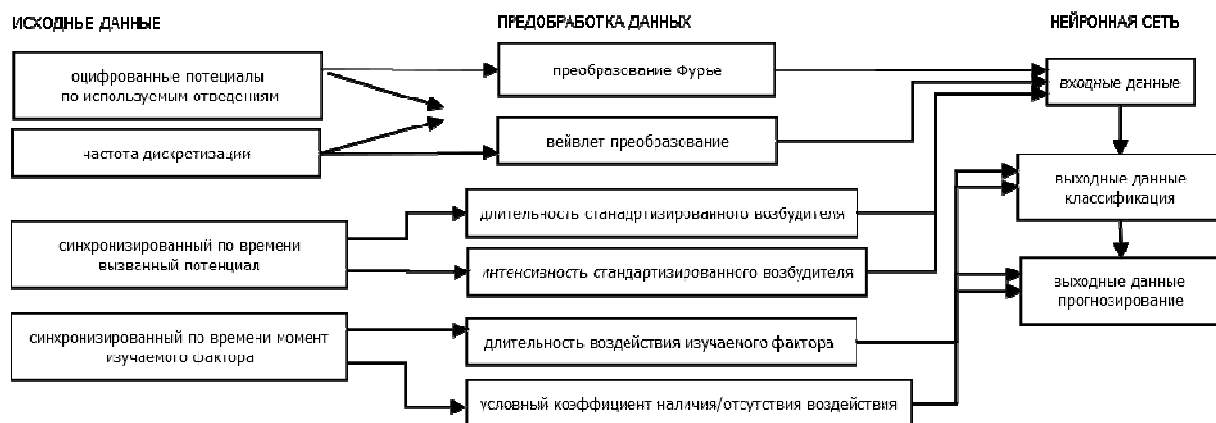
- обновления прикладного программного обеспечения BE
- хранения регистрируемых исходных данных
- обработки запросов по обработке исходных данных
- обработка исходных данных

обеспечивает обучение нейросетевой модели по данным пользователя и (или) использование обученных моделей для интерпретации данных пользователя. Проблема отбора существенных признаков (features selection) в анализе данных нейрогарнитур осложнена невозможностью определения их исследователем уже на этапе формирования задачи прогнозирования, и соответственно её решение целесообразно делегировать модели машинного обучения. Исходные данные получаемые от нейрогарнитур могут быть представлены как непосредственно во время снятия параметров нейрогарнитурой (текущие), так и быть отложенным во времени (исторические), при этом точность анализа (классификации или прогноза изменений) будет различной в зависимости от глубины ретроспективного охвата

исторических данных, что является важным фактором неопределенности при обучении модели. Последовательность регистрируемых потенциалов в соотношении с частотой дискретизации нейроинтерфейса по сути является временным рядом исторических данных. Это означает, что при частоте дискретизации 100 Гц полученные исходные данные в количестве 8800 будут полностью отличаться по информативности признаков 8800 цифровых значений при частоте дискретизации 200 Гц, т.к. интервал охвата данных уменьшится пропорционально в два раза и будет соответствовать другому периоду анализа. Очевидно, что чем выше частота дискретизации тем больше количество данных, тем больше вычислительных ресурсов потребуется для их анализа. Подсистема обработки данных работает как с текущими так и историческими данными. Следует учитывать, что при отправке текущих данных на существенное влияние на работу нейросетевой модели будет оказывать качество каналов связи, поэтому для интерпретации результатов, требующих оперативной реакции рекомендуется использование исторических данных, отправляемых единым запросом.

На рис. 3 представлена принципиальная схема модели глубокого машинного обучения реализуемая SABE, и которая применима как к историческим данным так и к текущим, с той лишь разницей, что для текущих данных, модель должна быть уже обученной на изучаемый параметр.

Рис.3 Принципиальная схема модели глубокого машинного обучения



Функции нейросетевой модели Brain Expert (SABE) заключаются в выявлении в ЭЭГ скрытых закономерностей, повторяющихся при тех или иных внешних факторах воздействия на испытуемых, или выявлении индивидуальных особенностей нейрофизиологической реакции, что позволит использовать данные нейрогарнитуры Brain expert в практической нейропсихологии и управления роботизированными устройствами или программными средствами. Доступные в текущей версии SABE функции классификации и прогнозирования включая

построение высокоточного разложения в ряды Фурье и графическое отображение спектров;

разложение в ряды Фурье скользящим окном;

восстановление временных рядов по заранее рассчитанному спектру и их графическое отображение;

вейвлет преобразование.

#### **4. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

Прикладное программное обеспечение ВЕ и его серверный компонент SAVE ориентированы на выполнение специальных функций, обеспечивающих работу с данными регистрируемыми нейрогарнитурой Brain Expert версий 1.2 и выше. Технические требования разработки учитывали международные стандарты регистрации ЭЭГ, регламенты обусловленные использованными аппаратными компонентами нейрогарнитур, и наиболее востребованными алгоритмами интерпретации ЭЭГ. Для написания программного кода используются следующие средства разработки:

- Интегрированная среда разработки IDE – Eclipse 12.0;
- Система управления базами данных – PostgreSQL 14;
- Серверная среда Alma Linux 8;
- Сервер Http Nginx 1.20;
- Сервер приложений Django 11;
- Средство отладки тестирования API HTTP – Postman v8.

Используемые языки программирования кода прикладных и серверных программных компонентов Go, C++, Python v3. Процедуры, исполняемые на сервере базы данных, реализованы на PL/pgSQL. Применение данных инструментальных систем и языков программирования ставит целью поддержку масштабируемости программного обеспечения.

#### **5. ОПЕРАЦИОННАЯ СИСТЕМА**

Базовой операционной средой необходимой для работы прикладного программного обеспечения ВЕ является либо ОС Windows версий 8.1, 10 производства компании Microsoft, либо Open source операционная система Linux модификаций Ubuntu и Debian.

Перечисленные операционные системы протестированы на совместимость и стабильность работы ПО. Подробное описание особенностей инсталляции указанных операционных систем и требований к их функционированию можно найти по адресам: [www.microsoft.com](http://www.microsoft.com), и [www.linux.org](http://www.linux.org) соответственно. Выбор данных операционных систем осуществлялся на основе их высокой распространенности среди вычислительного оборудования пользователей и их взаимозаменяемости.

В качестве операционной системы серверной компоненты SАВЕ, является ОС Alma Linux версии 8,9. Описание требований, функции и установки см [www.alma-linux.org](http://www.alma-linux.org) Выбор данной операционной системы обусловлен надежностью, безопасностью и скоростью работы при решении задач реального времени.

## **6. СРЕДСТВА, РАСШИРЯЮЩИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ**

В состав программного обеспечения Brain expert не входят средства, расширяющие возможности операционных систем.