

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ, НГУ)

---

Кафедра общей информатики

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА**

Чагин Кирилл Вадимович

**Разработка программной системы для проведения ЭЭГ-  
обследований на основе речедвигательной методики**

Направление подготовки  
230100.62 ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

**Руководитель**

Савостьянов А.Н.  
(фамилия, И., О.)  
д. филос. н., к. б. н, доцент  
(уч. степень, уч. звание)

.....  
(подпись, дата)

**Автор**

Чагин К.В.  
(фамилия, И., О.)  
ФИТ, 9205  
(факультет, группа)

.....  
(подпись, дата)

Новосибирск, 2013г.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ, НГУ)

---

Кафедра общей информатики

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой Пальчунов Д.Е.  
(фамилия, И., О.)

.....  
(подпись, дата)

**ЗАДАНИЕ  
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ БАКАЛАВРА**

Студенту Чагину Кириллу Вадимовичу

Направление подготовки 230100.62 ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ  
ТЕХНИКА

ФАКУЛЬТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Тема: Разработка программной системы для проведения ЭЭГ-обследований на основе речедвигательной методики

Исходные данные (или цель работы): Разработать и реализовать программную систему, позволяющую проводить ЭЭГ-обследования на основе речедвигательной методики.

Структурные части работы:

Работа включает в себя обзор предметной области и существующих решений; постановку задачи на основе недостатков существующих решений; описание программной реализации; результаты работы.

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	4
Глава 1. Обзор предметной области и существующих решений.....	6
1.1 Электроэнцефалограмма .....	6
1.2 Речедвигательная методика .....	7
1.3 Обзор программ для психологических экспериментов.....	9
1.4 Недостатки существующего ПО .....	16
Глава 2. Постановка задачи .....	18
Глава 3. Программная реализация .....	20
3.1 Модуль генерации эксперимента .....	20
3.1.1 Используемые технологии .....	20
3.1.2 Особенности архитектуры .....	21
3.1.3 Пользовательский интерфейс .....	21
3.2 Модуль воспроизведения эксперимента.....	22
3.2.1 Используемые технологии .....	22
3.2.2 Особенности архитектуры .....	23
3.2.3 Пользовательский интерфейс .....	24
Заключение.....	25
Литература .....	26
Приложение А.....	28
Приложение Б .....	29
Приложение В.....	30

## **ВВЕДЕНИЕ**

На сегодняшний день актуальной задачей клинической психофизиологии является диагностирование у пациентов нарушений в области мозговой активности и нарушений, связанных с речью. Количество пациентов с подобными проблемами непрерывно растет. В связи с этим, необходимо иметь инструмент, позволяющий врачам регистрировать и выявлять эти нарушения. Кроме того, регистрация и анализ связанной с речью активности мозга представляет интерес для научных исследований на здоровых людях, проводимых в рамках психологии и физиологии ВНД.

Наиболее эффективным способом диагностирования нарушений активности мозга и исследования паттернов его нормальной деятельности у здоровых людей является запись и анализ ЭЭГ (электроэнцефалограммы) с поверхности головы человека. Для выявления проблем, связанных с речью, может быть применена двигательная методика с речевым подкреплением (т.н. речедвигательная методика), предложенная А.Г. Ивановым-Смоленским.

На данный момент существует ряд программ, которые могут быть применены для создания и проведения экспериментов в области электрофизиологии. Большинство продуктов являются полными аналогами друг друга. Основной минус всего существующего программного обеспечения – трудоёмкий процесс построения сценария эксперимента. Более того, многие программы предполагают владение программированием для реализации того или иного теста. В результате, на рынке ПО нет подходящего инструмента, которым мог бы воспользоваться среднестатистический врач или физиолог.

Цель данной работы – создание такого программного продукта, который помогает проводить ЭЭГ обследование на основе речедвигательной методики, удовлетворяющий следующим требованиям:

- Простой и удобный интерфейс пользователя;
- Минимальные временные затраты на создание теста;
- Возможность быстро и легко менять содержание теста;
- Синхронизация с записью ЭЭГ;
- Сохранение полных данных о ходе эксперимента;
- Высокая производительность и минимальные задержки во время проведения эксперимента.
- Минимальные задержки, как в ходе предъявления стимулов, так и в синхронизации с ЭЭГ.

Результатом работы стала готовая система, удовлетворяющая всем перечисленным выше требованиям. Она позволяет проводить пять видов экспериментов, покрывающих большой спектр задач, связанных с исследованием речевой активности человека. Система уже используется в НИИ физиологии и фундаментальной медицины СО РАМН при обследовании здоровых взрослых добровольцев, здоровых детей и детей с нарушениями внимания.

В дальнейшем, программа может быть пополнена новыми вариантами экспериментов, что позволит решать другие задачи электрофизиологии.

# Глава 1. Обзор предметной области и существующих решений

## 1.1 Электроэнцефалограмма

Электроэнцефалография — раздел электрофизиологии, изучающий закономерности суммарной электрической активности головного мозга, отводимой с поверхности кожи головы, позволяющий судить о его физиологической зрелости, функциональном состоянии, наличии локальных и очаговых поражений, общемозговых расстройств и их характере [2]. Также, электроэнцефалография — метод записи электрических потенциалов головного мозга (формирования электроэнцефалограмм) [1].

Стоит отметить, что это чувствительный метод исследования, он отражает малейшие изменения функции коры головного мозга и глубинных мозговых структур, обеспечивая миллисекундное временное разрешение, не доступное другим методам исследования мозговой активности, в частности ПЭТ и фМРТ.

Электроэнцефалография дает возможность качественного и количественного анализа функционального состояния головного мозга и его реакций при действии раздражителей.

Электроэнцефалограмма — графическое изображение сложного колебательного электрического процесса, результата электрической суммации и фильтрации элементарных процессов в нейронах. Регистрация данного процесса производится прибором электроэнцефалограф при расположении специальных электродов на мозге или поверхности скальпа. Запись потенциалов с каждого электрода осуществляется относительно нулевого потенциала референта, за который, как правило, принимается мочка уха или сосцевидный отросток височной кости (mastoid), расположенный позади уха и содержащий заполненные воздухом костные полости [3].

Одной из основных характеристик ЭЭГ является частота. Однако из-за ограниченных возможностей восприятия при визуальном анализе ЭЭГ, применяемом в электроэнцефалографии, целый ряд частот не может быть достаточно точно охарактеризован оператором, так как глаз человека выделяет только некоторые основные частотные полосы, явно присутствующие в ЭЭГ. В соответствии с возможностями ручного анализа была введена классификация частот ЭЭГ по некоторым основным диапазонам, которым присвоены названия букв греческого алфавита (альфа — 8—13 Гц, бета — 14—40 Гц, тэта — 4—8 Гц, дельта — 0,5—3 Гц, гамма — выше 40 Гц и др.).[4]

В зависимости от частотного диапазона, амплитуды, формы волны, топографии и типа реакции различают ритмы ЭЭГ, которые также обозначают греческими буквами. Например,  $\alpha$ -ритм,  $\beta$ -ритм,  $\gamma$ -ритм,  $\delta$ -ритм,  $\theta$ -ритм,  $\kappa$ -ритм,  $\lambda$ -ритм,  $\mu$ -ритм,  $\sigma$ -ритм,  $\tau$ -

ритм и др. Считается, что каждый такой «ритм» соответствует некоторому определённому состоянию мозга и связан с определёнными церебральными механизмами.[4]

Клиническая электроэнцефалография помогает врачам в следующих случаях:

- оценка функционального состояния головного мозга с учётом индивидуальных особенностей конкретного пациента;
- выявление наличия и характера нарушений в работе мозга;
- определение локальных и очаговых повреждений;
- определение характера и объёма лечебных процедур.

ЭЭГ-контроль при операциях на головном мозге позволяет дозировать глубину наркоза, контролировать безопасность и минимизировать объём вмешательства, точно определять границы повреждения участков мозга.

Очень важную роль ЭЭГ приобрела в изучении эпилепсии и разработке методов её лечения. ЭЭГ – один из основных методов объективной диагностики этого заболевания.

ЭЭГ широко применяется в исследовательской деятельности: в когнитивной психологии, неврологии, нейролингвистике, психофизиологии, психиатрии и др.

На сегодняшний день важной задачей физиологии является диагностика у пациентов нарушений, связанных с речью, а также исследование мозговых процессов, лежащих в основе речевой деятельности у здорового человека. Решением данной задачи может служить применение речедвигательной методики и анализ ЭЭГ, записанной во время прохождения испытуемым экспериментов. Одной из областей применения этой методики является так называемая «психология развития», т.е. научная дисциплина, изучающая изменение мыслительной деятельности у детей в их онтогенезе. Речедвигательная методика широко применяется в рамках психологии развития как для исследования здоровых детей, так и при выявлении детских патологий, связанных с речью.

## **1.2 Речедвигательная методика**

Взаимоотношения организма со средой осуществляются на основе сигналов, поступающих в нервную систему в результате непосредственного воздействия предметов и явлений внешнего мира на рецепторы. Этот тип сигнализации И. П. Павлов назвал первой сигнальной системой. Предметы окружающей среды, их физические и химические свойства приобретают значение условных сигналов, оповещают организм о следующих за ними явлениях и, таким образом, заставляют вырабатывать организм приспособительные реакции.

Первая сигнальная система обеспечивает достаточно точное отражение внешнего мира, и, тем самым, приспособление животного к среде. Сигналы данной системы конкретны и относятся к определенному предмету. Благодаря первой сигнальной системе у животных образуются условные рефлексы, что составляет основу элементарного конкретного, или предметного мышления. Она является общей для человека и животного. В обычных условиях, первая сигнальная система функционирует изолированно первые шесть месяцев жизни [5].

Вторая сигнальная система развивается в онтогенезе со временем и характерна только для человека. Это речь, слово, которое может быть видимым, слышимым, произносимым мысленно[5]. Данная система состоит в словесном обозначении всех сигналов и в речевом общении. В её пределах обобщаются раздражители, как первой сигнальной системы, так и её собственные. Одно и то же слово может означать не только определенный предмет, но и множество других.

Вторая сигнальная система резко увеличивает объем информации за счет использования не только индивидуального, но и коллективного опыта. Она, также, является основой абстрактного речевого мышления, характерного только для человека.

Обе сигнальные системы функционально взаимосвязаны. Сигналы первой системы непрерывно взаимодействуют с сигналами второй, что приводит к образованию условных рефлексов.

Для изучения вопроса о соотношении первой и второй сигнальных систем применяются различные методики. Самое широкое распространение получила двигательная методика с речевым подкреплением (речедвигательная методика), предложенная А.Г. Ивановым-Смоленским [6].

В этой методике условный рефлекс образуется на базе не безусловного рефлекса (как это имело место в опытах И. П. Павлова), а на основе выработанного условного рефлекса, а именно: используются условные связи между словами и действиями, которые они обозначают.

Речедвигательная методика заключается в следующем. Испытуемому предъявляется индифферентное раздражение и к нему присоединяется речевое подкрепление (например, «нажмите пробел»). Повторяя сочетание индифферентного раздражителя с речевым подкреплением, можно закрепить условную связь, и тогда испытуемый будет нажимать пробел или делать какое-либо другое движение уже без команды экспериментатора: двигательная реакция возникает рефлексорно [7].

Как в экспериментальных исследованиях, так и для диагностики нарушений, связанных с речью, в качестве стимулов/раздражителей второй сигнальной системы могут



применяться изображения, а в качестве речевого подкрепления - звуковое или письменное обозначение их содержания.

При изучении условных реакций необходимо учитывать скрытый период реакции и его величину, так как эти показатели отражают взаимоотношение процессов возбуждения и торможения в центральной нервной системе.

Немаловажным фактором, влияющим на результаты эксперимента, является природа раздражителей/стимулов, их содержание (в случае изображения). В зависимости от пола пациента, возраста, его психологического развития и других характеристик, стимулы могут вызвать различные эмоции. Например, в работе Князева Г.Г. и др. [8] показано, что при проведении эксперимента, в ходе которого испытуемому предъявляются изображения лиц людей с рассерженным, счастливым и нейтральным выражением лица, результаты ЭЭГ позволяют сделать вывод о том, что рассерженные и позитивные лица вызывают большую эмоциональную реакцию в начальной, бессознательной стадии обработки информации мозгом, чем нейтральные. В последней, сознательной стадии обработки, позитивное выражение лица предполагает большую эмоциональную чувствительность, нежели рассерженное.

### **1.3 Обзор программ для психологических экспериментов**

На сегодняшний день существует ряд программ, позволяющих создавать и проводить психологические тесты. Далее рассматриваются наиболее часто используемое в современных лабораториях программное обеспечение.

#### **PsyScope X**

PsyScope [9] – программа, позволяющая разрабатывать и проводить психологические эксперименты, которая может быть использована для исследований в области зрительного восприятия. Разработана в университете Carnegie Mellon. Работает на компьютерах компании Apple Macintosh. PsyScope X – версия для операционной системы OS-X. Программа доступна бесплатно, исходный код лицензирован на условиях GNU GPL. Не поддерживает ЭЭГ.

#### **Presentation**

Presentation [10] – программа для психологических и нейрофизиологических экспериментов. Поддерживается операционными системами Windows 95/98/2000/XP/Win7. Позволяет обрабатывать почти любые поведенческие, психологические или физиологические эксперименты с использованием МРТ, ERP, ЭЭГ, МЭГ, меры времени реакции. Presentation создана для точной регистрации событий и точной подачи стимулов, включая визуальные 2D и 3D стимулы, слуховые раздражители

отдельно или одновременно. Является программируемым и расширяемым программным обеспечением. Для создания отдельного эксперимента используется сценарный язык (scripting language), но предоставляется GUI-редактор, позволяющий изменять некоторые параметры. Так же разработчиками предоставляется пакет готовых к использованию экспериментов. Presentation является проприетарным программным обеспечением. Отдельно предоставляется набор инструментов VisGen Toolkit, позволяющий вручную создавать различные визуальные стимулы.

### **PsychoPy**

PsychoPy [11] представляет собой достаточно простой в использовании пакет для психологических экспериментов, который может быть использован на платформах Windows, Mac OS X и Linux. Использует Python в качестве скриптового языка. Данная программа предлагает два пользовательских интерфейса для создания экспериментов. Первый, “Coder” - для опытных программистов, позволяющий контролировать все детали эксперимента. Второй – графический интерфейс “Builder”. Второй вариант не поддерживает обработку ввода, обладает ограниченным набором стимулов и другими недостатками. PsychoPy также не обладает возможностью взаимодействия с электроэнцефалографом. Является открытым программным обеспечением.

### **Paradigm**

Paradigm [12] – новая система для психологических экспериментов. В отличие от других схожих продуктов обладает удобным и качественным редактором, который позволяет симулировать поведение испытуемого. Данная программа предоставляет возможность записи звуковых, создание и редактирование зрительных (картинки, текст, видео) стимулов. Также, есть возможность интеграции ЭЭГ и Viopac, используя Parallel Port, Paradigm USB-to-Parallel Converter или DIO-24 Port соединение. Создание эксперимента с помощью редактора, предполагает тщательную проработку каждого этапа и всех деталей теста. Для полной гибкости, Paradigm предоставляет полнофункциональный интерфейс для написания скриптов на языке Python, что в свою очередь требует навыков программирования. Данное программное обеспечение является проприетарным и поддерживается только операционной системой Windows.

### **PyEPL**

PyEPL [13] (Python Experiment-Programming Library) является открытой библиотекой для кодирования психологических экспериментов (в том числе и виртуальной реальности) на языке программирования Python. Она поддерживает презентацию зрительных и слуховых раздражителей. Ответы испытуемого могут быть как ручными (используя клавиатуру, мышь, джойстик), так и звуковыми (микрофон). PyEPL

предназначена только для систем семейства Unix (Mac OSX, Linux, Ubuntu, Debian). Синхронизация с ЭЭГ может быть осуществлена отправкой TTL-сигналов на электроэнцефалограф.

### **E-Prime**

E-Prime [14] – пакет приложений компании Psychology Software Tools Inc., который включает в себя:

- E-Studio – графический интерфейс для планирования эксперимента;
- E-Basic – базовый скриптовый язык E-Prime (Аналог Visual-Basic);
- E-Run – программа, для записи в файл детальной информации об эксперименте (время предъявления стимула с точность до миллисекунды, ответы испытуемого и т.д.);
- E-Merge – программа для объединения в одну сессию файлов данных для группового анализа;
- E-DataAid – менеджер утилит, который позволяет фильтровать, редактировать, анализировать и экспортировать данные;
- E-Recovery – программа, позволяющая восстанавливать данные в случае досрочного прекращения экспериментов.

По сравнению с другими программами E-Prime обладает сложным графическим пользовательским интерфейсом. Для создания отдельного эксперимента требует полного его описания. Работает под управлением операционной системы Windows, является проприетарным программным обеспечением и использует аппаратный ключ защиты от копирования. E-Prime не предоставляет возможность работы с ЭЭГ, но существует расширение E-Prime Extensions for fMRI для МРТ-экспериментов и E-Prime Extensions for Tobii для окулографии (eye tracking).

### **SuperLab**

SuperLab [15] – проприетарное программное обеспечение от Cedrus Corporation, позволяющее создавать и запускать различные психологические эксперименты. Используется для большинства типов экспериментов, которые требуют представления визуальных стимулов на экране, звуковых раздражителей через динамики, а также контроля и синхронизации с лабораторным оборудованием, включая МРТ, ЭЭГ и др. Выходные данные сохраняются в текстовый файл и включает в себя время реакции. Поддерживается операционными системами Mac OS X и Windows 7/Vista/XP. Создание экспериментов в SuperLab – довольно трудоёмкая задача. Необходимо задать большое число параметров для каждого типа и тщательно продумать сценарий эксперимента.

## **Inquisit**

Inquisit [16] – мощное программное обеспечение от Millisecond Software для создания и администрирования широкого спектра когнитивных и нейропсихологических экспериментов, как в лабораторных условиях, так и в сети Internet. Обладает следующими основными характеристиками:

- поддержка Mac OS X и Windows;
- миллисекундная точность, как на выделенных компьютерах, так и через Internet;
- большая библиотека готовых к использованию экспериментов с полным доступом к исходному коду;
- предоставление широкого спектра форматов для стимулов (как для изображений, так и для звуков и видео);
- синхронизация с ЭЭГ, МРТ, МЭГ, eye tracker, и др.
- поддержка различных устройств ввода / вывода;
- сохранение любых данных, как встроенных в Inquisit переменных и статистик, так и собственных метрик;
- использование DirectX для достижения временной точности на операционной системе Windows.

Данное программное обеспечение является проприетарным и поддерживает создание экспериментов только путем кодирования на специальном скриптовом языке, схожем с HTML, или загрузкой существующего.

## **Experiment Builder (SR Research)**

Данное программное обеспечение ориентировано на работу с системой отслеживания глаз EyeLink. Предоставляет как графический интерфейс для создания тестов, так и возможность их расширять с помощью скриптов на языке Python. Поддерживается Windows и Mac OS X. [17]

## **OpenSesame**

OpenSesame [18] – открытое программное обеспечение и находится в свободном доступе под GNU General Public License в трех версиях: для Windows, Mac OS X и Linux. С помощью графического редактора можно создавать простые эксперименты. Для более сложных задач OpenSesame поддерживает скрипты на языке Python с помощью встроенного редактора с подсветкой синтаксиса. Позволяет создавать эксперименты для

задач психофизики, времени реакции, анкетирования. Скрипты позволяют синхронизироваться с внешними устройствами, такими как eye trackers и устройствами, подключенными через parallel port.

### **Wiener Testsystem**

Wiener Testsystem [19] – универсальная комплексная система для профессиональной психологической диагностики. Включает функции визуального тестирования для применения в авиации, симуляторов вождения и т.д.

### **MEL**

MEL (Micro Experimental Laboratory) – продукт Psychology Software Tools Inc. для операционной системы DOS, предшественник E-Prime.

### **ERTS**

ERTS [20] – система психологического тестирования для операционной системы DOS. Использует скриптовый язык и имеет миллисекундную погрешность. Существует большая библиотека когнитивных парадигм.

### **PEBL**

The Psychology Experiment Building Language (PEBL) [21] – бесплатная кросс-платформенная система для компьютерных экспериментов. Эксперименты создаются скриптовым языком. Обладает возможностями создания графических стимулов (графики, текста), пользовательского ввода с помощью мыши или клавиатуры, рандомизации, балансировки и записи данных.

### **MediaLab**

MediaLab [22] – программа компании Empirisoft, разработанная специально для операционной системы Windows, которая позволяет создавать анкеты и мультимедийные эксперименты с различными вариантами вопросов. MediaLab поставляется с расширенным набором файлов справки и руководства, примерами экспериментов и учебником. Обладает следующими основными характеристиками:

- неограниченное число экспериментальных условий;
- гибкие функции рандомизации;
- возможность встраивания сторонних программ в рамках эксперимента или анкеты;
- выполнение DirectRT или Inquisit сессий из эксперимента;

- представление графики (.bmp, .jpg, .gif), звука (.wav, .mp3), видео или их комбинаций;
- отображение html, flash, java, asp и любых других форматов, совместимых с браузерами.
- запись данных в ASCII файл;
- импорт переменных в Excel;

MediaLab не обладает синхронизацией с ЭЭГ.

### **DirectRT**

DirectRT [23] – программа компании Empirisoft, предназначенная для когнитивных задач и задач восприятия, которые требуют минимальной погрешности. Основные характеристики данного программного обеспечения включают:

- временное разрешение – 1 миллисекунда;
- использование DirectX;
- использование в качестве устройств ввода клавиатуры, джойстика, мыши, микрофона;
- синхронизация с внешним оборудованием, используя TTL сигналы;
- Создание нескольких параметров стиля с выбором шрифтов и цвета;
- запись данных в текстовый файл;
- создание шкалы ответов и вопросов для множественного выбора в любом формате;
- импорт данных в Excel;

### **Ехро**

Ехро [24] – программа для создания визуального отображения и анализа физиологических или психофизических ответов в реальном времени для Macintosh. Большинство её возможностей были предусмотрены для управления пространственно-временными устройствами отображения на телевидении (благодаря использованию функций видео OpenGL), но могут управлять и другими устройствами. Имеется возможность непрерывной обработки аналоговых сигналов.

### **Ехругмент**

Ехругмент [25] является кросс-платформенной библиотекой Python для проектирования и проведения поведенческих экспериментов и экспериментов нейровизуализации. Основная цель проекта – создание хорошо структурированной

библиотеки на языке Python, предназначенной для создания экспериментов на основе легко читаемых скриптов.

Ехрyгiment протестирован под Linux и Windows. Исходный код библиотеки находится в свободном доступе.

### **PsyToolkit**

PsyToolkit [26] представляет собой набор инструментов, предоставляющий следующие возможности:

- выполнить когнитивные психологические эксперименты на компьютере, такие как стимул-реакция, визуальный поиск, “Fitt’s law” и др. Данные эксперименты поставляются с PsyToolkit;
- программирование собственных экспериментов;
- создание и запуск экспериментов, используя веб-сайт (требуется Java-плагин для браузера);

Данное программное обеспечение бесплатно для использования.

### **PsychJava**

PsychJava [27] – бесплатный инструментарий, предназначенный для программирования психологических экспериментов на языке Java. В настоящий момент еще не разработан.

### **Tscope**

Tscope [28] – бесплатная C/C++ библиотека для программирования психологических экспериментов. Распространяется под лицензией Gnu Public License. Предназначена для работы на операционных системах Windows 2000 и XP. Библиотека предоставляет функции для графики, звука, времени, рандомизации и регистрации ответа. Также доступны ограниченные версии для Linux и Mac OS X.

### **Webexp2**

Webexp2 [29] представляет собой набор классов Java для проведения психологических экспериментов в сети Internet.

### **PsychToolbox**

PsychToolbox [30] – бесплатный пакет расширений для Matlab. Позволяет синтезировать, отображать и контролировать зрительные и слуховые раздражители, а также взаимодействовать с наблюдателями.

#### 1.4 Недостатки существующего ПО

Часть из вышеперечисленных программ, позволяющих создавать и проводить психологические эксперименты, не имеют возможности синхронизации с ЭЭГ. Такие программы могут быть использованы исключительно для анализа правильности ответа, времени реакции и не могут быть использованы в электроэнцефалографии. Остальное программное обеспечение можно разделить на три категории:

- 1) программы, позволяющие создавать эксперименты с помощью графического редактора;
- 2) программы, предоставляющие возможность генерировать эксперименты на основе различных скриптов;
- 3) библиотеки для языков программирования, предоставляющие функции, для создания экспериментов;

Многие программы могут быть отнесены к первой и второй категориям одновременно, а некоторые и ко всем трем. Каждый подход имеет свои недостатки.

Графический редактор тестов прост в использовании и позволяет создавать те или иные эксперименты техникой “Drag and Drop”. Минусом данного подхода является необходимость описания полного сценария эксперимента. Кроме того, многие редакторы обладают ограниченным набором стимулов и не предоставляют возможности сохранять результаты эксперимента в нужном объеме.

Эксперименты на основе скриптов обладают высокой гибкостью. Часто, набор стимулов и раздражителей при таком подходе не ограничен. Но поскольку скрипт – язык сценариев, для создания отдельного теста требуется, как и для программ первой категории, достаточно полное описание его этапов и деталей. В большинстве случаев невозможно управление дизайном, что приводит к непривлекательному внешнему виду эксперимента. Главный минус программ второй категории заключается в необходимости владения навыками программирования для реализации даже самого простого эксперимента.

Создание тестов с помощью специальных библиотек требует еще большей подготовки в области программирования. С другой стороны, появляется возможность создавать эксперименты любой сложности, наделяя их любым дизайном. В тех случаях, когда библиотека не предоставляет функций для работы с внешними устройствами, в частности ЭЭГ, возможно расширение самой библиотеки, если её исходный код



находится в свободном доступе, либо путем прямого обращения непосредственно из кода эксперимента. При выборе библиотеки, немаловажным фактором является язык программирования, для которого она предназначена. Например, программы, написанные на высокоуровневых языках, таких как Java и C#, будут менее производительны и будут иметь большую погрешность во времени отображения/воспроизведения стимулов, обработки данных и др., по сравнению с программами на основе более низкоуровневых языков, например, C/C++, что является критическим фактором для экспериментов в области электроэнцефалографии.

## Глава 2. Постановка задачи

Поскольку эксперименты в области физиологии проводятся преимущественно врачами или исследователями-физиологами, необходим инструмент, простой в использовании и позволяющий быстро создавать нужные тесты. Существующие решения предполагают либо достаточно долгий и трудоемкий процесс построения эксперимента, либо владение программированием. Поэтому было решено создать новый программный продукт, ориентированный преимущественно на одну из важных задач современной клинической психофизиологии - диагностирование у пациентов нарушений, связанных с речью. Данный продукт должен удовлетворять следующим требованиям:

1. возможность создания и проведения экспериментов;
2. минимальные временные затраты на построение теста;
3. возможность изменения основных параметров теста;
4. покрытие широкого спектра задач речевдвигательной методики;
5. синхронизация с записью ЭЭГ;
6. сохранение результатов эксперимента;
7. минимальные задержки, как в ходе предъявления стимулов, так и в синхронизации с ЭЭГ.

В качестве возможных вариантов эксперимента было решено выбрать следующие сценарии тестов:

1. На экране появляется набор изображений и ключевое слово. Пациенту необходимо выбрать картинку, соответствующую слову.
2. На экране появляется одно изображение и набор слов. Нужно выбрать слово, соответствующее картинке.
3. На экране появляется ряд изображений и воспроизводится звуковое название содержания одной из них. Пациент, также как и в первом варианте, должен выбрать одну картинку.
4. На экране появляется зеленый круг. Одновременно предъявляется текстовое слово на определенный промежуток времени. Через определенное время на месте круга появляется картинка. Из всех сочетаний “картинка-слово”, только одно верное, т.е. только после одного и того же слова всегда будет предъявлена картинка, соответствующая ему. После любого другого слова, будет предъявлена любая картинка, ему несоответствующая, причем, каждый раз

разная. Пациенту необходимо определить “верное” сочетание, и нажимать на клавишу, пока отображается зеленый круг, до появления изображения.

5. Пятый вариант аналогичен четвертому, за исключением того, что в ключевом сочетании картинка не соответствует слову, но только после этого слова будет появляться одно и то же изображение.

Такой набор тестов покрывает широкий спектр задач речедвигательной методики в области физиологии, что, в свою очередь, удовлетворяет задаче 4 данной работы.

## Глава 3. Программная реализация

Для решения поставленных задач, было решено разделить программный продукт на два основных модуля. Первый модуль предоставляет возможности для проектирования и создания теста, второй – выполняет эти тесты и взаимодействует с ЭЭГ.

### 3.1 Модуль генерации эксперимента

#### 3.1.1 Используемые технологии

В качестве платформы для разработки данного модуля были выбраны .NET и язык C#. Определяющим критерием при выборе стала низкая стоимость разработки.

Преимущества .NET(C#):

- наличие сборщика мусора;
- поддержка LINQ;
- поддержка средств функционального программирования;
- удобная среда разработки (Microsoft Visual Studio 2012 + JetBrains ReSharper).

В качестве графической системы отображения был выбран WPF.

Преимущества WPF:

- более современная и совершенная графическая система отображения;
- наличие аппаратного ускорения через DirectX;
- удобный и расширяемый язык разметки приложений XAML;
- новая модель привязки данных;
- возможность почти безболезненно перенести проект в Web;
- богатые возможности визуализации.

В качестве основного архитектурного шаблона использовался MVVM (Model-View-View-Model) [31]. Это архитектурный принцип, согласно которому WPF приложения делятся на компоненты. Такое разделение облегчает управление отдельными частями приложения, что упрощает их разработку, изменение и тестирование. Основная особенность MVVM заключается в том, что все поведение выносится из представления (view) в модель представления (view model). Связывание представления и модели представления осуществляется декларативными биндингами (bindings) в XAML разметке.

Для хранения сгенерированных тестов используется язык разметки XML. Данный формат обладает простым формальным синтаксисом, а также легко обрабатывается и сериализуется.

### **3.1.2 Особенности архитектуры**

Благодаря паттерну MVVM, а также шаблону проектирования Factory, процедура добавления нового варианта теста заключается исключительно в создании класса структуры теста (model), реализовав интерфейс ITestItem, и в добавлении небольшого класса, т.н. UserControl, для отображения в окне программы уникальных для нового теста настроек.

Для интеграции в выходной XML-файл теста изображений и аудиозаписей используется кодировка Base64. В результате объем занимаемой памяти для хранения теста увеличивается в 4/3 раза, что не является критичным в условиях данного проекта. Пример выходного файла приведен в Приложении А.

### **3.1.3 Пользовательский интерфейс**

При разработке данного модуля большое внимание уделялось пользовательскому интерфейсу.

При запуске программы, пользователю предлагается создать новый тест, или открыть существующий, для его модификации.

Для создания теста необходимо выбрать один из пяти вариантов тестов, описанных выше. После выбора варианта, пользователю предлагается заполнить форму соответствующего теста: добавить картинки и соответствующие им слова или аудио-файлы. Есть возможность прослушать добавленную аудиозапись. Добавленные картинки также отображаются в окне программы. Кроме того, пользователь имеет возможность ввести в текстовые поля характеристики теста, такие как: количество одновременно отображенных на экране картинок или слов, временной интервал для предъявления стимула, количество повторений теста и временной интервал между ними. Данные параметры важны ввиду того, что тестируются люди разного возраста, психологического развития, с различными нарушениями нервной системы. Им требуется разное время на распознавание, прочтение и выбор правильного ответа. Введенные пользователем данные валидируются регулярными выражениями по мере ввода. Затем пользователь может сохранить тест на диск.

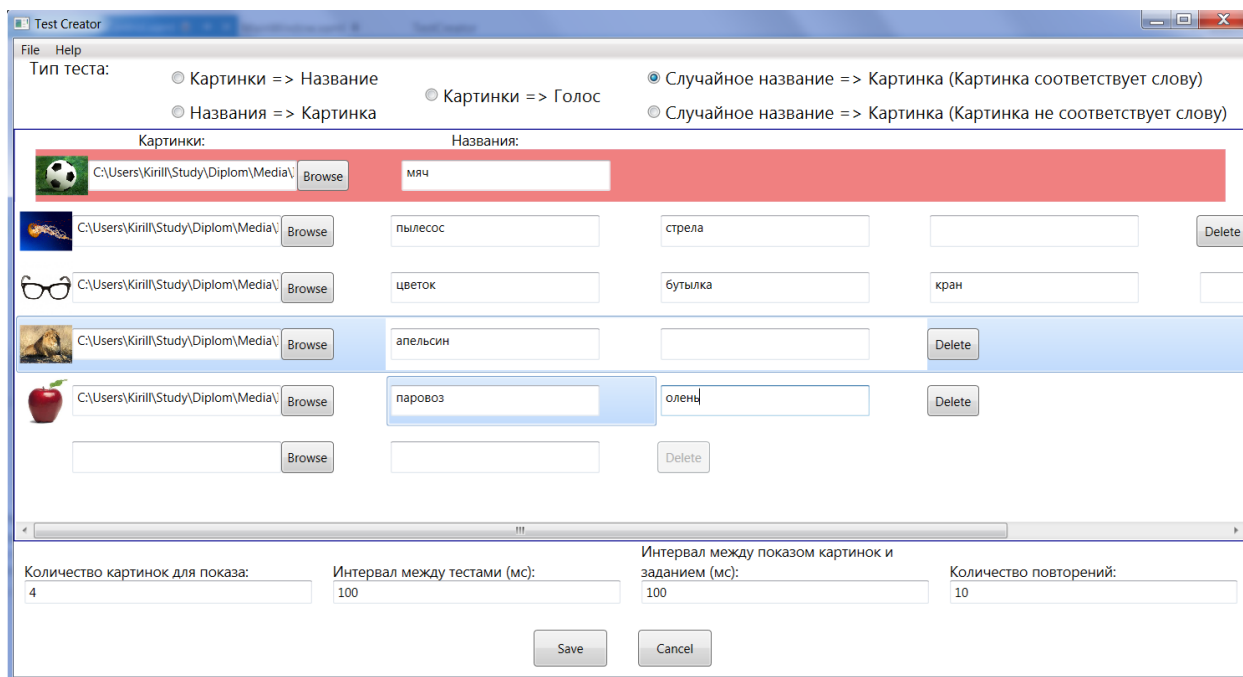


Рисунок 1. Пользовательский интерфейс модуля генерации теста.

## 3.2 Модуль воспроизведения эксперимента

### 3.2.1 Используемые технологии

Для разработки данного модуля был выбран язык C++. C++ - компилируемый статически типизированный язык программирования. Определяющими факторами при выборе стали следующие преимущества данного языка:

- поддержка такой парадигмы программирования, как объектно-ориентированное программирование;
- контроль над расходом памяти;
- высокая производительность, по сравнению с Java, .NET;
- низкая стоимость разработки, по сравнению с более низкоуровневыми языками;

В качестве основного инструментария для разработки была выбрана библиотека Qt версии 4.8.4.

Преимущества Qt [32]:

- кросс-платформенность инструментария;
- удобная среда разработки (QtCreator);
- богатые возможности для мультимедиа.

В качестве компилятора использовался MinGW.

Использовались следующие модули Qt: QtCore – классы ядра библиотеки, QtGui – компоненты графического интерфейса, QtXml – модуль для работы с XML, Phonon – модуль для поддержки воспроизведения аудио.

Для синхронизации с ЭЭГ использовались стандартный класс Socket и библиотека WinIo.

В качестве основного архитектурного шаблона использовался MVC.

### **3.2.2 Особенности архитектуры**

Ввиду того, что разные варианты эксперимента обладают своими отличительными особенностями, для каждого варианта создан свой класс model, view и контроллер, согласно паттерну MVC. Для упрощения процедуры добавления новых вариантов экспериментов создан набор классов-интерфейсов, абстрагирующий общие и существенные характеристики.

Для синхронизации с ЭЭГ и передачи ЭЭГ-меток программе, ведущей запись электроэнцефалограммы, использовался существующий модуль-сервер программы Hunt, разработанной в НИИ физиологии и фундаментальной медицины СО РАМН выпускником кафедры общей информатики ФИТ НГУ Юргановым А.В., который затем был заменен прямой передачей меток электроэнцефалографу через параллельный порт с целью увеличения точности синхронизации.

Параллельно с ходом программы, помимо отправки меток на серверную часть, ведется подробный отчет о ходе эксперимента, который включает в себя:

- время начала теста;
- номер итерации теста;
- время предъявления стимула;
- время выбора ответа;
- скорость реакции;
- правильность ответа, включая как правильный, так и выбранный ответ;
- время, затраченное на тест;
- некоторые другие параметры, характерные для того или иного эксперимента.

Пример отчета приведен в Приложении Б.

### 3.2.3 Пользовательский интерфейс

При запуске программы пользователю предлагается выбрать тест для запуска, открыть TestCreator или завершить работу программы. При успешном выборе теста из диалогового окна, пользователь (исследователь или обследуемый) должен ввести имя или кодовое обозначение обследуемого для структурирования результатов. Затем на экране появляется описание выбранного теста и кнопка “Старт”, при нажатии на которую начинается эксперимент.

Во время эксперимента поочередно появляются случайные наборы стимулов и речевых подкреплений. В зависимости от структуры теста, на каждой либо ожидается ввод пользователя, либо начинается следующая итерация.

После окончания эксперимента, пользователю предьявляется краткий результат прохождения теста, а так же возможность вернуться в стартовое меню.



Рисунок 2. Пример работы модуля проведения эксперимента для сценария картинка-текстовое слово.



## **Заключение**

В результате проделанной работы был разработан программный продукт, позволяющий исследователям проводить эксперименты в области электрофизиологии и ориентированный на выявление у пациентов нарушений, связанных с речью.

В ходе работы было проделано следующее:

- изучена предметная область;
- проведен анализ существующих решений;
- разработан программный модуль, позволяющий посредством простого и удобного пользовательского интерфейса создавать структуру и содержание пяти видов экспериментов;
- разработан программный модуль, позволяющий проводить эксперименты, а также диагностировать речевые нарушения путем анализа подробных результатов прохождения теста и ЭЭГ, записанного во время эксперимента.

Таким образом, автором было разработано решение, удовлетворяющее всем критериям поставленной задачи. Цель проекта была успешно достигнута.

Разработанный автором программный продукт на данный момент проходит тестирование в реальных условиях на здоровых испытуемых и пациентах в НИИ физиологии и фундаментальной медицины СО РАМН. В Приложении В можно увидеть обработанные с помощью пакета Matlab результаты эксперимента на здоровых людях для сценария картинка-слово. Результаты оказались ожидаемы, что позволяет проводить эксперименты для выявления нарушений речи.

Дальнейшее развитие программы предполагает возможность расширения функциональных возможностей, путем добавления новых вариантов экспериментов.

## Литература

1. Niedermeyer E. and da Silva F.L. *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2005.
2. Гусельников В. И. *Электрофизиология головного мозга*. М: Высшая школа, 1976.
3. Зенков Л. Р. *Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии)* 4-е изд. Москва: Изд-во МЕДпресс-информ, 2011.
4. Erol Basar, *Brain-Body-Mind in the Nebulous Cartesian System: A Holistic Approach by Oscillations*, Springer 2011, 523 с.
5. Павлов И. П., Полн. собр. соч., 2 изд., т. 3, кн. 2, 1951.
6. А. Г. Иванов-Смоленский. Биогенез речевых рефлексов и основные принципы методики их исследования // *Психиатрия, неврология и экспериментальная психология*. Пг.: Гос. изд-во, 1922. № 2. С. 231—242.
7. Н. Ижинкин *Механизмы речи*. М.: Изд. Академии педагогических наук, 1958.
8. The relationship of positive and negative expressiveness to the processing of emotion information. Knyazev GG, Barchard KA, Razumnikova OM, Mitrofanova LG.
9. Описание программы PsyScope X [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <http://psyscope.psy.cmu.edu/>, свободный.
10. Описание программы Presentation [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <http://www.neurobs.com/>, свободный.
11. Описание PsychoPy [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <http://www.psychopy.org/>, свободный.
12. Описание программы Paradigm [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <http://www.paradigmexperiments.com/>, свободный.
13. Описание библиотеки PyEPL [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <http://pyepl.sourceforge.net/>, свободный.
14. Сайт Psychology software tools, inc. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <http://www.pstnet.com/>, свободный.
15. Описание программы SuperLab [Электронный ресурс]: - Режим доступа: <http://www.superlab.com/>, свободный.
16. Описание программы Inquisit [Электронный ресурс]: - Режим доступа: <http://www.millisecond.com/>, свободный.
17. Описание программы Experiment Builder [Электронный ресурс]: - Режим доступа: <http://www.sr-research.com/eb.html>, свободный.

18. Описание программы OpenSesame [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <http://osdoc.cogsci.nl/>, свободный.
19. Описание системы Wiener Testsystem [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <http://www.schuhfried.at/>, свободный.
20. Описание программы ERTS [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <http://www.berisoft.com/>, свободный.
21. Описание библиотеки SDL [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <http://www.libsdl.org/>, свободный.
22. Сайт компании Empirisoft, Обзор программы Medialab [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <http://www.empirisoft.com/medialab.aspx>, свободный.
23. Сайт компании Empirisoft, Обзор программы DirectRT [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <http://www.empirisoft.com/directrt.aspx>, свободный.
24. Описание программы Expro [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://sites.google.com/a/nyu.edu/expro/>, свободный.
25. Описание библиотеки Experiment [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <http://www.experiment.org/>, свободный.
26. Описание программы PsyToolkit [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <http://psytoolkit.gla.ac.uk/>, свободный.
27. Описание библиотеки PsychJava [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <http://psychjava.com/html/>, свободный.
28. Описание библиотеки Tscope [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <http://users.ugent.be/~masteven/tscope/>, свободный.
29. Описание программы WebExp [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <http://www.webexp.info/>, свободный.
30. Описание пакета Psychtoolbox [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <http://psychtoolbox.org/HomePage>, свободный.
31. Josh Smith, WPF Apps With The Model-View-ViewModel Design Pattern, MSDN Документация. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <http://msdn.microsoft.com/en-us/magazine/dd419663.aspx>, свободный.
32. Э. Гамма, Р. Хелм, Р. Джонсон, Дж. Влоссидес Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования = Design Patterns: Elements of Reusable Object - Oriented Software. — СПб: «Питер», 2007.
33. Документация библиотеки Qt [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <http://doc.qt.digia.com/>, свободный.

# Приложение А.

(обязательное)

## Листинг А1. Пример сгенерированного теста в формате XML

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<TestModel xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
  <TestName>text</TestName>
  <TestType>PicturesText</TestType>
  <TextTestItems>
    <TextTestItem>
      <PicturePath>C:\Users\Public\Pictures\Sample Pictures\Chrysanthemum.jpg</PicturePath>
      <PictureText>хризантема</PictureText>
      <Image>/9j/4AAQSkZJRgABAQEAYABgAAD/7gAOQWRvYmUAZAAAAAAAAAB/+ETXUV4aWYAAE1NACoAAAAIAAcBMgACAAAFAAAAAGIBOwACA/
    </TextTestItem>
    <TextTestItem>
      <PicturePath>C:\Users\Public\Pictures\Sample Pictures\Desert.jpg</PicturePath>
      <PictureText>Desert</PictureText>
      <Image>/9j/4AAQSkZJRgABAQEAYABgAAD/4Q8HRXhpZgAATU0AKgAAAAGABgEyAAIAAAAUAAAAYkdGAAMAAAABAAMAAEdJAAMAAAABA/
    </TextTestItem>
    <TextTestItem>
      <PicturePath>C:\Users\Public\Pictures\Sample Pictures\Hydrangeas.jpg</PicturePath>
      <PictureText>Hydrangeas</PictureText>
      <Image>/9j/4AAQSkZJRgABAQEAYABgAAD/4RA2RXhpZgAATU0AKgAAAAGABwEyAAIAAAAUAAAAYkdGAAMAAAABAAMAAEdJAAMAAAABA/
    </TextTestItem>
    <TextTestItem>
      <PicturePath>C:\Users\Public\Pictures\Sample Pictures\Jellyfish.jpg</PicturePath>
      <PictureText>Jellyfish</PictureText>
      <Image>/9j/4AAQSkZJRgABAQEAYABgAAD/4QwtRXhpZgAATU0AKgAAAAGABwEyAAIAAAAUAAAAYkdGAAMAAAABAAMAAEdJAAMAAAABA/
    </TextTestItem>
  </TextTestItems>
  <TestItemsToShow>6</TestItemsToShow>
  <IntervalBetweenTestUnits>100</IntervalBetweenTestUnits>
  <IntervalForShowingTask>100</IntervalForShowingTask>
  <TestUnitsCount>20</TestUnitsCount>
</TestModel>
```

## Приложение Б.

(обязательное)

### Листинг Б1. Пример вывода результата эксперимента для сценария картинки-слово

```
0: Started
1: Images showed: 239; Command showed: 347; Click: 1061; Reaction: 714; Correct answer: Hydrangeas; Player answer: Jellyfish
2: Images showed: 1426; Command showed: 1528; Click: 2741; Reaction: 1213; Correct answer: хресантема; Player answer: хресантема
3: Images showed: 3108; Command showed: 3218; Click: 4700; Reaction: 1482; Correct answer: Desert; Player answer: Desert
4: Images showed: 5063; Command showed: 5163; Click: 6325; Reaction: 1162; Correct answer: Jellyfish; Player answer: Jellyfish
5: Images showed: 6675; Command showed: 6787; Click: 8389; Reaction: 1602; Correct answer: Penguins; Player answer: Penguins
6: Images showed: 8761; Command showed: 8863; Click: 12445; Reaction: 3582; Correct answer: Hydrangeas; Player answer: Hydrangeas
7: Images showed: 12806; Command showed: 12919; Click: 13909; Reaction: 990; Correct answer: Koala; Player answer: Koala
8: Images showed: 14281; Command showed: 14383; Click: 15765; Reaction: 1382; Correct answer: Hydrangeas; Player answer: Hydrangeas
9: Images showed: 16132; Command showed: 16240; Click: 17125; Reaction: 885; Correct answer: Koala; Player answer: Koala
10: Images showed: 17490; Command showed: 17599; Click: 18412; Reaction: 813; Correct answer: Penguins; Player answer: Penguins
11: Images showed: 18776; Command showed: 18875; Click: 19389; Reaction: 514; Correct answer: Desert; Player answer: Koala
12: Images showed: 19756; Command showed: 19861; Click: 20036; Reaction: 175; Correct answer: Penguins; Player answer: Jellyfish
13: Images showed: 20396; Command showed: 20501; Click: 20740; Reaction: 239; Correct answer: Jellyfish; Player answer: Jellyfish
14: Images showed: 21109; Command showed: 21218; Click: 21348; Reaction: 130; Correct answer: Desert; Player answer: Jellyfish
15: Images showed: 21706; Command showed: 21810; Click: 21956; Reaction: 146; Correct answer: Desert; Player answer: Desert
16: Images showed: 22318; Command showed: 22416; Click: 22557; Reaction: 141; Correct answer: Jellyfish; Player answer: Desert
17: Images showed: 22925; Command showed: 23030; Click: 23148; Reaction: 118; Correct answer: Jellyfish; Player answer: Koala
18: Images showed: 23510; Command showed: 23625; Click: 23748; Reaction: 123; Correct answer: Penguins; Player answer: Penguins
19: Images showed: 24108; Command showed: 24210; Click: 24341; Reaction: 131; Correct answer: Penguins; Player answer: Penguins
20: Images showed: 24703; Command showed: 24804; Click: 24949; Reaction: 145; Correct answer: Hydrangeas; Player answer: Desert
Average reaction: 784
Finish: 24949
```

## Приложение В.

(обязательное)

Рисунок 3. Пример обработанных с помощью пакета Matlab результатов эксперимента на взрослом здоровом обследуемом

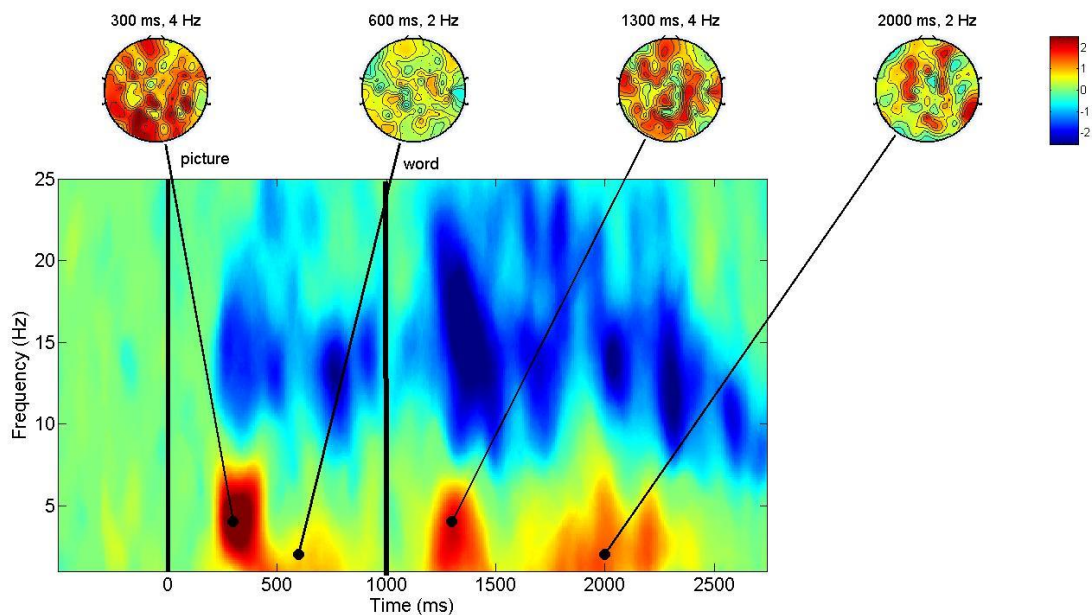


Рисунок 4. Пример обработанных с помощью пакета Matlab результатов эксперимента на здоровом ребенке

