

"Стратегическое общественное движение "Россия 2045":
Проведение исследований по проекту "Создание антропоморфного робота
с нейроуправлением": "Разработка и внедрение психотехнических
инструментов по увеличению психофизических возможностей
биологического тела человека и расширению средств управления
техническими устройствами".

Руководитель направления: Бахтияров О.Г.

Отчет по первому этапу:

**«Предварительная разработка и апробация психотехнического
обеспечения работы операторов с интерфейсом «мозг-компьютер»**

(январь – февраль 2012 г.)

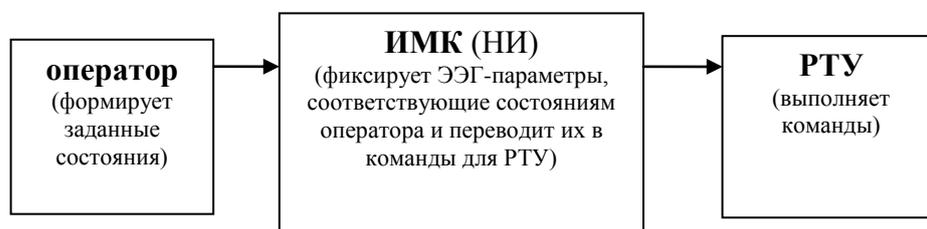
1. Организация работы, постановка задачи

Работа проводилась в рамках тематики «Разработка методики психотехнического обеспечения управления робототехническими устройствами (РТУ) при помощи класса нейроинтерфейсов (НИ) (в контексте данной работы синонимом термина «нейроинтерфейс» является термин «интерфейс «мозг-компьютер» – ИМК), регистрирующих ЭЭГ-параметры, отражающие состояния оператора».

Исследование состоит из трех компонентов:

- экспериментальное исследование возможностей использования ранее разработанных методов психотехнической подготовки операторов и существующих систем биообратных связей (БОС) для управления робототехническими устройствами (РТУ) класса «Аватар»;
- анализ полученных данных;
- предложения по дальнейшему развитию проекта «Аватар»

Общая схема управления РТУ на основе ИМК выглядит следующим образом:



Для реализации приведенной схемы управления следует решить следующие начальные задачи:

1. Выделить класс команд, соответствующих отдельным движениям РТУ (R);
2. Составить язык состояний оператора, достаточный для реализации выделенного класса команд (Q).
3. Отобрать и подготовить группу операторов для работы с выбранным классом РТУ.

Так выглядит подход к решению частной задачи «освоение **управления отдельно взятым РТУ** или компьютерной моделью», при котором решается формальная задача отображения $Q \rightarrow R$, где **Q и R – конечные множества**.

В отличие от частной задачи, результаты которой могут служить опытным подтверждением возможности такого управления, но не достаточным материалом для абстрагирования и формализации процесса в целом, в настоящем эксперименте были выдвинуты следующие **требования к постановке задачи**:

1. Решается задача управления **классами РТУ**, в том числе такими РТУ, свойства которых в настоящий момент невозможно исчерпывающе описать (например, не-антропоморфные РТУ, жидкие РТУ, РТУ, созданные на неизвестных на момент начала проектирования технических основаниях).
2. Необходимо выработать подходы к отбору и обучению операторов биоуправления, предполагающие возможность:
 - a. готовить операторов-**профессионалов**,
 - b. для оператора-профессионала в **ограниченное время** осваивать управление классом РТУ, с возможностью **расширения специализации** оператора,
 - c. повысить процент пригодных к такой работе людей.
3. Эффективное решение не может быть найдено иначе, как в тесном сотрудничестве проектировщиков РТУ и ИМК, разработчиков методики подготовки операторов, и разработчиков **оптимальных** (экономных и экологических с точки зрения использования ресурсов человеческой психики, и ускоряющих освоение

управления) **алгоритмов** преобразования данных ЭЭГ в управляющие команды для РТУ.

Схема управления РТУ (рис. 1):

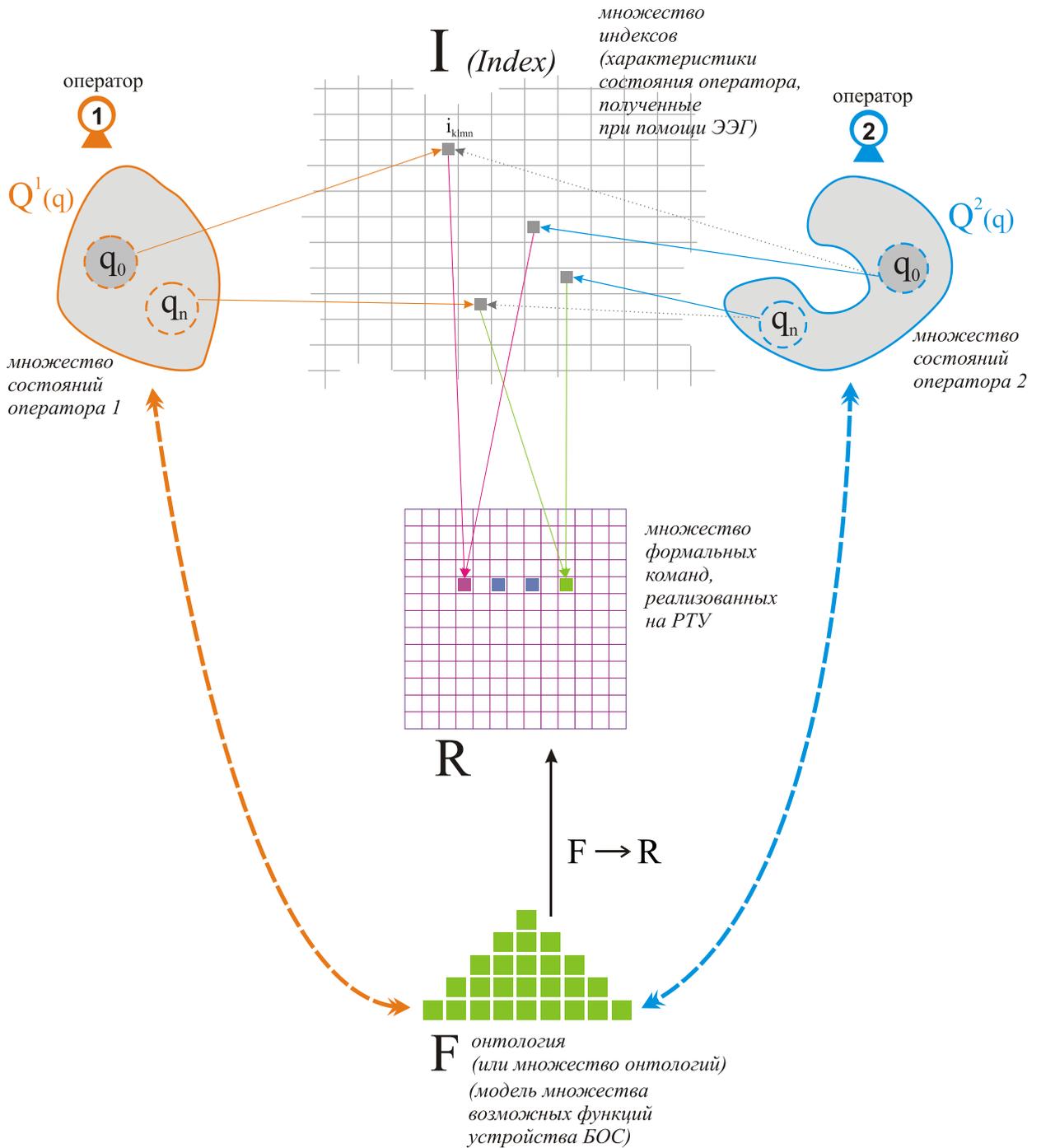


Рис. 1

Здесь:

Q - неупорядоченное множество состояний оператора (неопределенной мерности). $Q1(q)$, $Q2(q)$ - для операторов 1 и 2 соответственно. q_0 - «базовое» состояние оператора,

q_n – различимое состояние оператора, формально согласованное в языке

I - упорядоченное множество индексов (неопр. мерности)

i – индекс, соответствующий состоянию q оператора

R - упорядоченное множество команд для РТУ

F - онтология (иерархическая модель множества возможных функций классов РТУ)

Формальная задача построения методики управления классами РТУ сводится к установлению взаимного отображения между множествами Q, I, R, F .

Другими словами, задача звучит как:

- установить **взаимно однозначное соответствие между дискретными множествами** (индексов и команд РТУ) и **принципиально неформализуемым континуальным множеством** «состояний оператора»,
- сделать возможным для оператора **осознанно использовать это соответствие** для управления РТУ,
- обеспечить возможность эффективно обучать операторов,
- сохранить возможность расширения класса РТУ (и соответственно – мощность и наполнение множеств F, R).

Также можно отметить следующие **особенности** каждого «узла» процесса управления (множества):

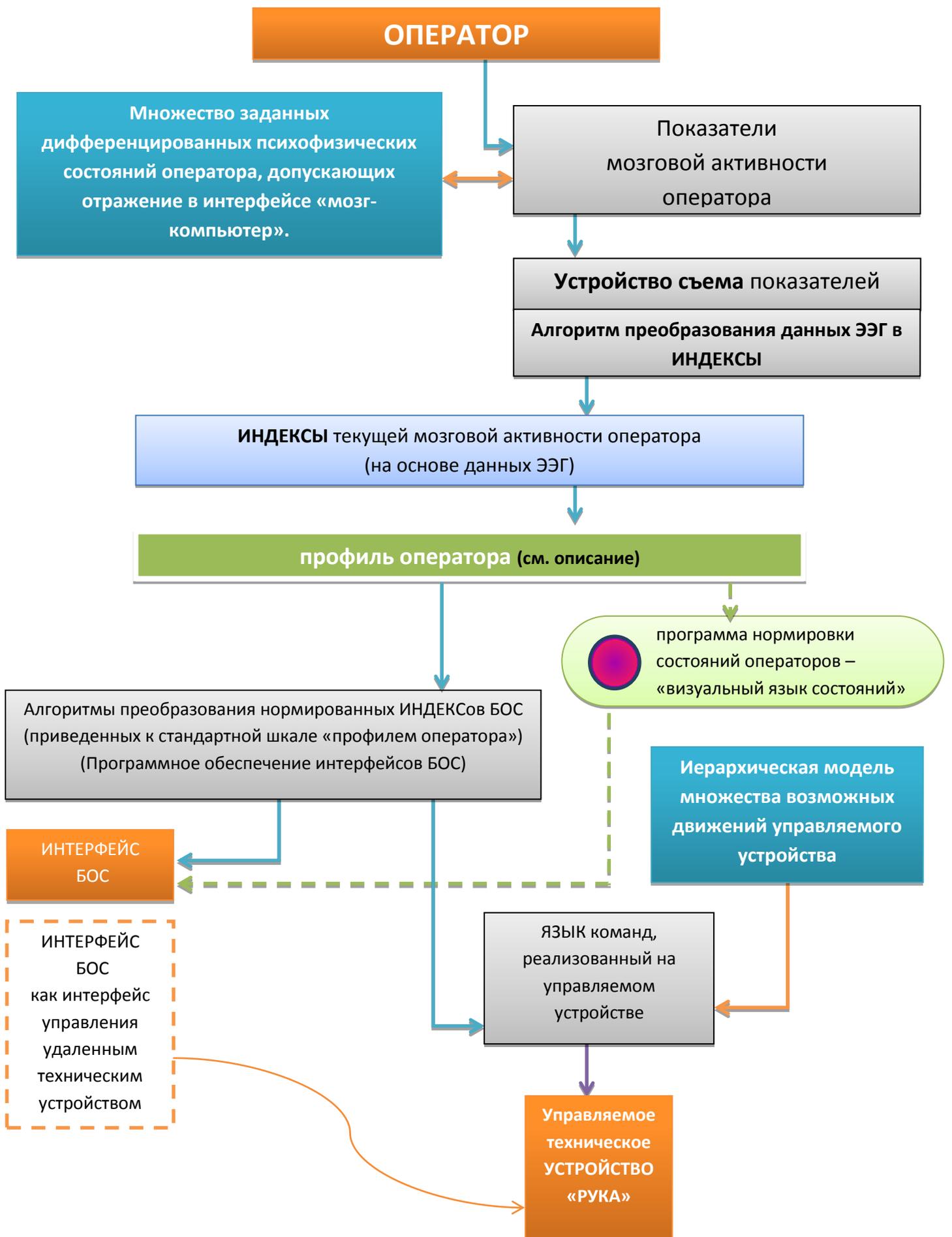
1. Q (множество субъективно различимых состояний отдельно взятого оператора):
 - a. **Неопределенной** мерности, изначально **неупорядочено** (мы имеем дело с субъективным миром психики оператора, не поддающимся формализации существующими методами), **континуально**,
 - b. Различимое и согласованное состояние q (например, базовое состояние покоя, сон, состояние покоя при закрытых глазах) для оператора 1 и оператора 2 **отражается в разных индексах i** .
2. I (множество объективно фиксируемых характеристик состояний оператора, полученных при помощи ИМК):
 - a. Изначально **неупорядочено**, и может изменяться/расширяться с изменением устройства съема данных,
 - b. **Конечно, дискретно**,
 - c. Изначально ограничено (характеристиками устройства съема данных, различимых для использования в алгоритмах управления)
 - d. «Активный диапазон» (диапазон частот, в которых оператор может перемещаться без перехода в экстремальный режим) для каждого оператора **индивидуален**,
 - e. «Активный диапазон» отдельного оператора **меняется** в зависимости от времени суток и от длительности сеанса работы в режиме БОС.
3. R (множество формальных команд, реализованных на РТУ), упорядочено, при этом очевидны следующие требования к алгоритмам программного обеспечения:
 - a. Универсальный подход для возможности масштабирования решений,
 - b. При реализации алгоритмов сопоставления индексов и управляющих команд, реализованных на устройстве, необходимо учитывать *логистику сопоставления состояния (и соответствующих индексов) и действия РТУ*. При этом следует учитывать «относительное сходство состояний» (малое или большое требуется усилие для перехода из одного состояния в другое) и «относительное сходство элементов поведения РТУ». «Близким» состояниям должны соответствовать «близкие» паттерны поведения.
4. F (иерархическая система возможных действий/функций РТУ) влияет на

- a. эффективность оператора в управлении РТУ (эффект «вживания» оператора в интерфейс РТУ, через «идентификацию» с ним как с частью своего «тела»)
- b. экологию профессии («экономичное» использование ограниченного числа состояний оператора позволяет обеспечивать гибкое управление РТУ без необходимости формировать экстремальные психофизиологические состояния),
- c. скорость и эффективность подготовки операторов (разница в формальном и интуитивном подходах в освоении устройства – в пользу последнего),
- d. возможность безболезненного масштабирования существующих моделей управления РТУ при появлении новых классов устройств (в том числе – неантропоморфных РТУ с несвойственными человеческому опыту паттернами функционального поведения).

Задачи, подлежащие решению в этом проблемном поле:

1. На уровне «оператора» необходимо:
 - a. разработать методику подготовки операторов, позволяющую обучающимся получить устойчивый навык **рефлексии, осознанного выделения и удержания определенного диапазона состояний и переходов между ними**, которые могут быть различимы энцефалографическими методами,
 - b. разработать методику отбора потенциально пригодных к данной профессии людей, и методы увеличения процента пригодных.
 - c. выработать требования к «экологии» профессиональной области и гигиене подготовки операторов
 - d. разработать способ согласования персональных психических реальностей операторов в рамках профессии, т.е. сформировать «язык состояний» оператора РТУ.
2. На уровне ИМК, «съемки и алгоритма преобразования полученных первичных данных в ЭЭГ-индексы» необходимо
 - a. решить задачу синхронизации «состояние \leftrightarrow ЭЭГ-индекс» для групп операторов, учитывая проблему индивидуальных вариаций «состояние-ЭЭГ-индекс»
 - b. решить проблему нестабильности «активного диапазона» у отдельных операторов – разработать методику повышения стабильности формируемых состояний и их отражений в ЭЭГ-индексах
3. На уровне «множество команд, реализованных на РТУ», необходимо:
 - a. разработать алгоритмы, позволяющие конечному множеству ЭЭГ-индексов I сопоставить множество команд для РТУ R , учитывая, что множество R – имеет большую мощность, чем I .
 - b. отобразить в формальном языке команд для РТУ онтологию, описывающую абстрактное поле возможных поведенческих функций выбранного класса РТУ («Аватар») с перспективой расширения списка классов РТУ.
 - c. предусмотреть дополнительные «степени свободы» для действий оператора в реальных условиях использования РТУ (возможность навязать РТУ действия, заранее не предусмотренные списком команд, но допустимые технической спецификой РТУ).
4. На уровне «функциональная онтология РТУ»
 - a. задать онтологию «возможных движений/функций» так, чтобы функциональные возможности всех существующих на сегодняшний день РТУ, и также возможных будущих разработок, исчерпывающе и экономно описывались в этой онтологии.
 - b. задать онтологию так, чтобы она была доступна для рационального постижения и эффективного использования оператором РТУ.

Управление ЭЭГ-индексами в режиме БОС применительно к РТУ «Робо-рука» (схема работы):



2. Экспериментальная отработка управления ЭЭГ-индексами.

Работа проводилась на группе испытуемых (8 чел) , ранее обученных в течение 2-х лет методам произвольного управления состояниями сознания в аутогенном режиме. Для сравнения те же задачи были предложены 4-м участникам проекта, не проходившим специальной подготовки.

Эксперимент проводился в интенсивном режиме в течение 8 дней с последующей отработкой навыков управления РТУ в обычном режиме. Эксперимент включал в себя:

- сеансы индивидуальной работы с разработанными в ходе эксперимента системами БОС с целью овладения навыками произвольного управления ЭЭГ-индексами;
- сеансы индивидуальной работы с виртуальной моделью РТУ «Робо-рука»;
- доработку программного обеспечения ИМК;
- самоотчеты и их обсуждение в режиме креативного семинара;
- разработку дальнейших линий работы в режиме креативного семинара.

В результате экспериментальной отработки управления индексами в режиме БОС установлено, что группа испытуемых с предварительной подготовкой достаточно быстро (за 6 – 8 часов работы) овладевает навыками:

- произвольного управления отдельными индексами,
- формирования комбинаций индексов,
- асинхронного управления отдельным ритмом (по правому и левому полушариям независимо).

2.1. Отбор индексов. Алгоритмы отображения индексов в команды БОС

В процессе экспериментальной отработки управления моделью РТУ отобраны конфигурации индексов, пригодные для использования в алгоритмах устройства БОС.

В рамках эксперимента установлено, что операторы с психотехнической подготовкой способны субъективно различать и генерировать изменения (достаточные для использования в алгоритмах управления БОС) по альфа, бета, тета, дельта-ритмам. Хотя у некоторых испытуемых отмечено осознанное управление дельта и тета-ритмами, для большинства операторов более операбельны альфа и бета-ритмы. Эти 4 параметра (альфа правого и левого полушария, бета правого и левого полушария) были избраны для начального использования в алгоритмах управления следующими интерфейсами:

- «компьютерная мышь – движение на плоскости»;
- «набор слов при помощи цепей Маркова»;
- перемещение курсора в трехмерном пространстве;
- «робо-рука».

Также использовался «дискретный» вариант алгоритма управления «робо-рукой» с данными по 6-ти каналам (по каналу на степень свободы модели).

В «интегральном» варианте алгоритма управления использовались 4 канала для семи степеней свободы. Этот вариант стал черновым решением проблемы как с помощью ограниченного числа индексов управлять сложной системой в классе задач, для которых не подходит метод управления при помощи «иерархического языка» (выполнение не определенных в языке, но доступных устройству движений, а также интенсивная работа в режиме реального времени). Суть метода – кодирование пространства тенденций движения устройства (F) таким образом, чтобы оператор мог перемещаться по этому пространству с помощью изменения психофизиологического состояния, отраженного в динамике ЭЭГ- индексов. При этом «близкие» движения отображаются в «близкие» области пространства F. Это дает возможность интуитивно породить широкий спектр не-элементарных движений в режиме реального времени

2.2. Вариации психофизиологических особенностей испытуемых. Проблемы и их решение

Для каждого оператора выделяются индивидуальные профили - индивидуальные психофизиологические особенности, существенно влияющие на эффективность управления конкретным устройством БОС:

- базовая конфигурация индексов ЭЭГ, соответствующая «нормальному» состоянию оператора,
- индивидуальный «активный» диапазон (амплитуда колебаний ритмов), в котором наиболее эффективно работает оператор,
- суточные колебания ритмов мозговой активности – изменение «активного» диапазона и базовой конфигурации для отдельного оператора в зависимости от времени суток,
- смещение «активного диапазона» и «нормального» состояния оператора в процессе работы.

Для решения задач снятия ограничений, накладываемых требованиями различных реализаций устройств БОС на физиологические особенности операторов и повышения процента пригодных к обучению и работе в режиме БОС операторов, предлагается создание программного продукта «Профиль оператора РТУ».

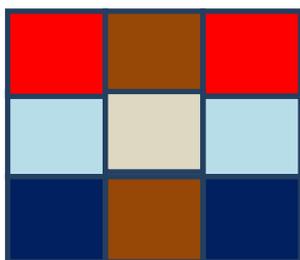
Прототипом «Профиля оператора» является ручное регулирование параметров программ для каждого оператора под его индивидуальные особенности перед началом работы, и алгоритме автоматической подстройки под смещение активного диапазона оператора в процессе работы.

Основная часть работы в режиме БОС проводилась с использованием этого прототипа.

Предполагается на этапе дальнейшей разработки ПРОФИЛЯ использовать «нейронные сети» для автоматической калибровки и самообучения устройства.

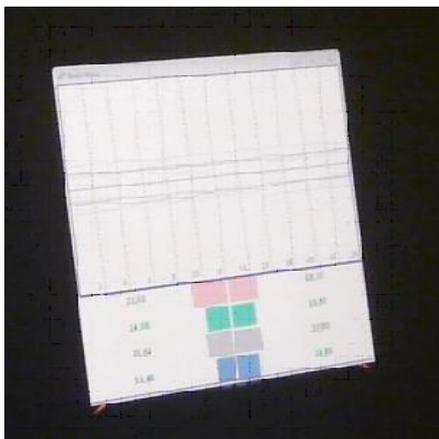
2.3. Варианты отображения ЭЭГ-индексов в системах БОС, разработанных в ходе эксперимента

2.3.1. «Цветная матрица» 3x3:



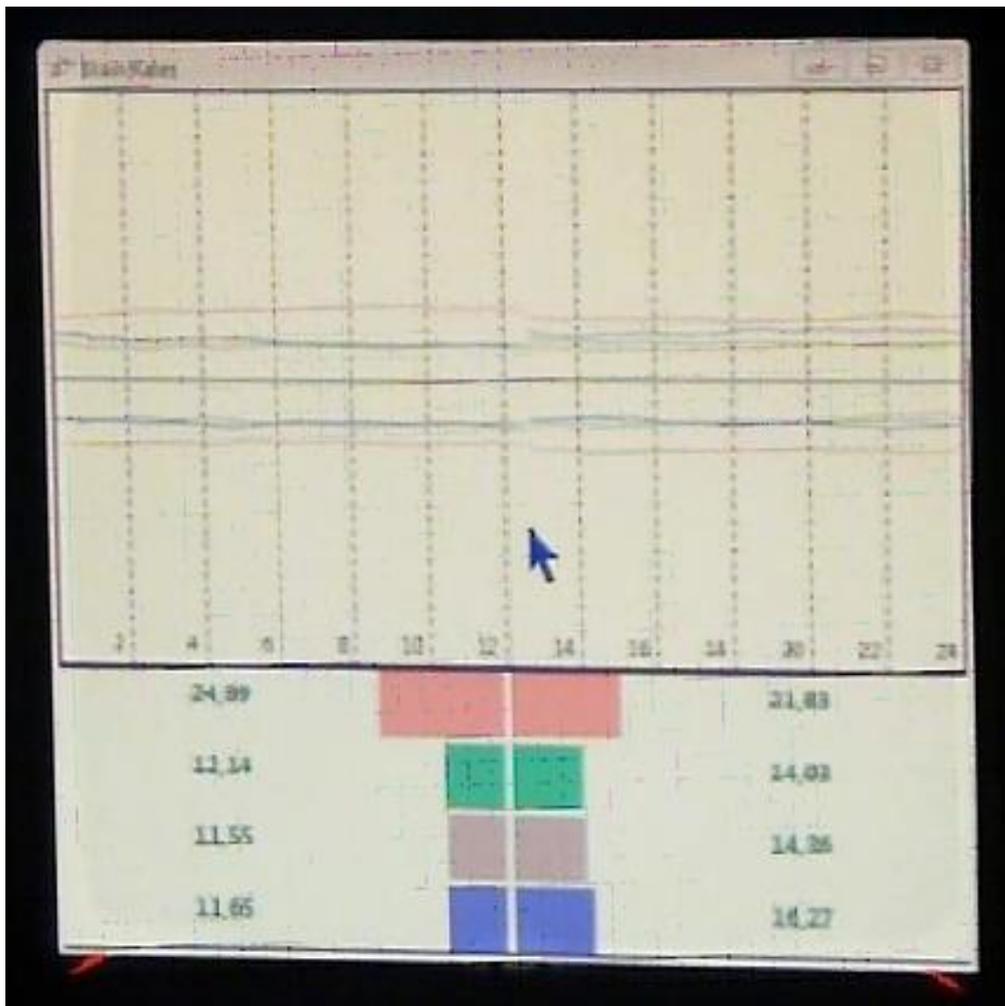
Красные квадраты отражают бета-ритм (правое-левое полушария), бирюзовые – альфа-ритм, синие – тета-ритм, коричневые – дельта-ритм. Центральный серый квадрат – нейтральный фон. Задача – произвольное формирование заданной цветной матрицы, отражающей пороговые значения ЭЭГ-индексов. Цвет квадрата формируется по принципу «да – нет». Успешным считалось удержание цвета заданного квадрата в течение 10 сек, а заданной комбинации цветных квадратов в течение 5 сек

2.3.2. Гистограмма бета-, альфа-, тета-, дельта-ритмов.



В отличие от Матрицы, гистограмма дает представление о выраженности ритма. Задача: произвольное управление величиной составляющих гистограммы по заданной программе. Зафиксировано произвольное управление отдельными индексами, комбинациями индексов, асинхронное управление отдельным ритмом (по правому и левому полушариям независимо). Испытатели с предварительной психотехнической подготовкой овладевали управлением гистограммой в течение 2-х часов, контрольная группа – за 4 – 8 часов работы

Общий вид гистограммы:



2.3.3. Курсор (движение на плоскости в 4-х направлениях)



клики - превышение пороговых величин по тета и дельта

Для движения курсора использовались 4 параметра - альфа- и бета-ритмы правого и левого полушария отдельно. Задача решалась подготовленными испытуемыми в течение 2-х часов, контрольной группой за 4 – 8 часов.

2.3.4. Выбор последовательных команд на основе «цепей Маркова»

Следующая буква в потоке вводится через движение вверх-вниз по одному ритму – на выбор предлагаются самые вероятные продолжения



Ближе всего выводятся буквы, вероятность ввода которых выше, исходя из уже введенного текста.

Как модификация функциональности предыдущего интерфейса, был опробован интерфейс «**Выбор последовательных команд**» при помощи программы набора текста, использующего алгоритм **на основе «цепей Маркова»** (*марковский процесс с дискретным временем, заданный в измеримом пространстве*). Ввод слов осуществляется через выбор одной из наиболее вероятных букв/слов, исходя из словаря (применительно к двухбуквенным сочетаниям) – это позволяет использовать в основе колебание всего одного самого поддающегося ритма. Задача решалась подготовленными испытуемыми за 4 – 6 часов, контрольная группа не смогла решить задачу за 8 часов. Главная трудность – в отвлечении внимания от задачи формирования заданных сочетаний индексов на динамику изменений на мониторе.

2.3.5. «Многомерный» курсор

Также использовался «дискретный» вариант алгоритма управления «роборукой» с данными по 6-ти каналам (по каналу на степень свободы модели).

В «интегральном» варианте алгоритма управления использовались 4 канала для семи степеней свободы.

Задача, поставленная в рамках эксперимента операторам – манипулировать каждым пальцем отдельно, группами пальцев, сжать кулак, развести пальцы.

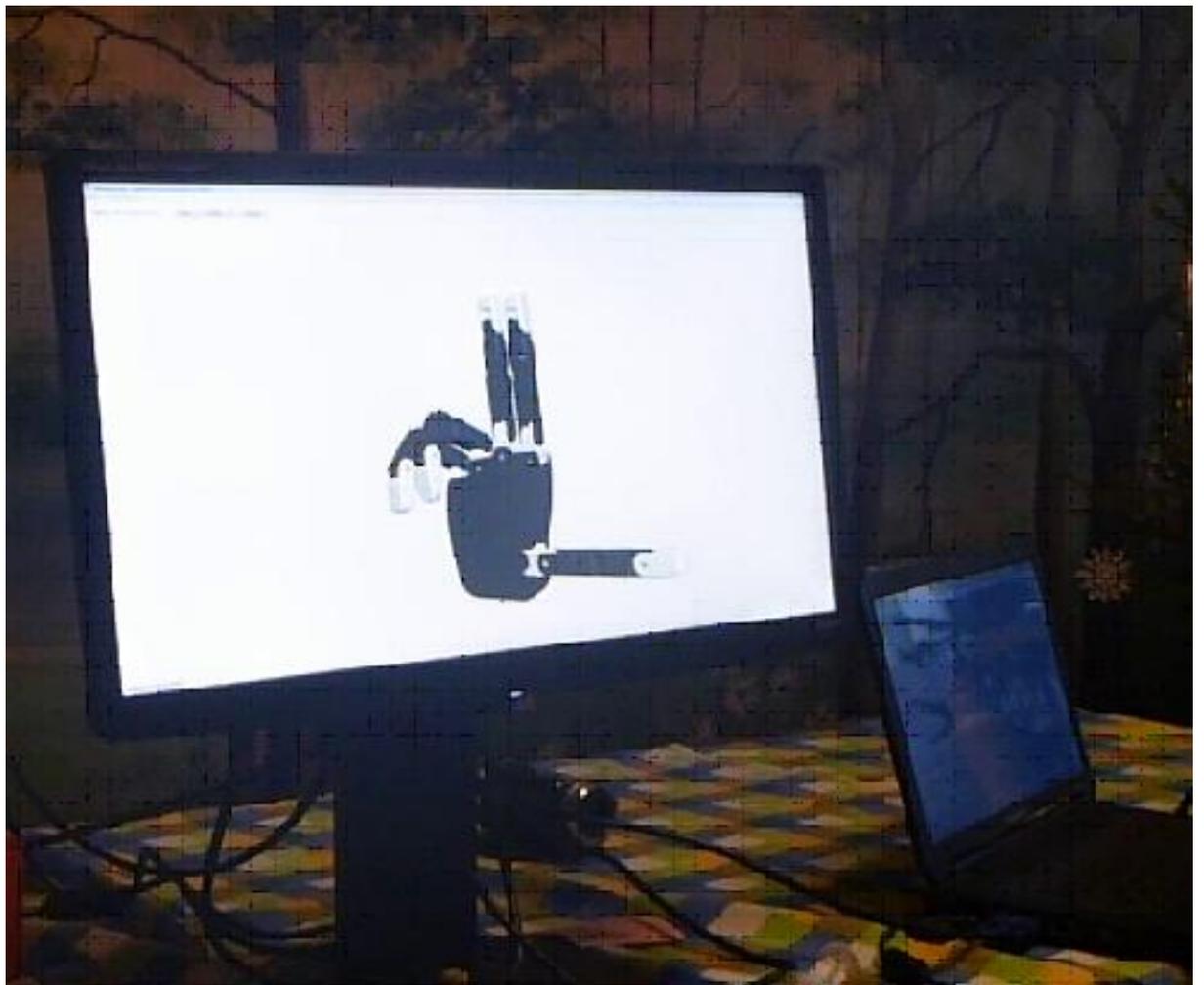
Это сложная задача, требующая координации формирования и удержания заданных ритмов, привязанных к определенным участкам коры головного мозга.

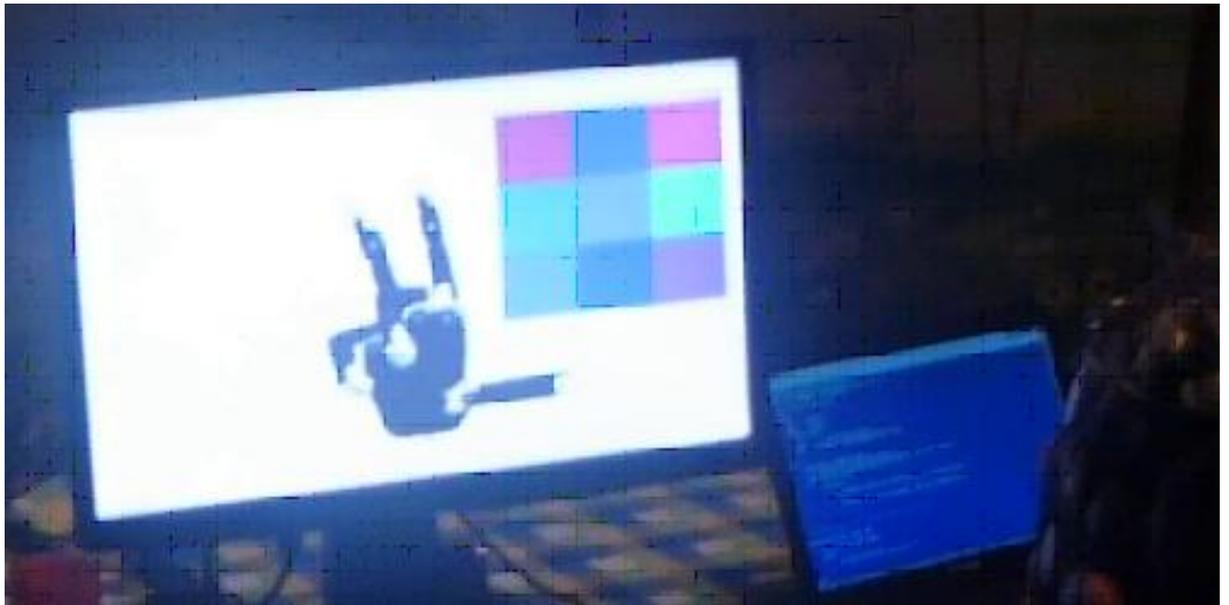
Были отработаны различные режимы управления роборукой как сочетания ритмов и отведений.

При подключении интерфейса к монитору наблюдаются хаотические движения роборуки, отражающие текущую динамику ЭЭГ-активности. Задача испытуемого – настолько овладеть управлением собственной ЭЭГ-динамикой, чтобы достичь выполнения заданной последовательности движений

Процесс обучения достаточно сложен. Учитывая наглядность объекта управления, акцент делался на выявлении состояний, соответствующих каждому типу движений. Обучение полному объему управления движениями роборуки занимает у подготовленного контингента не менее 20 часов работы.

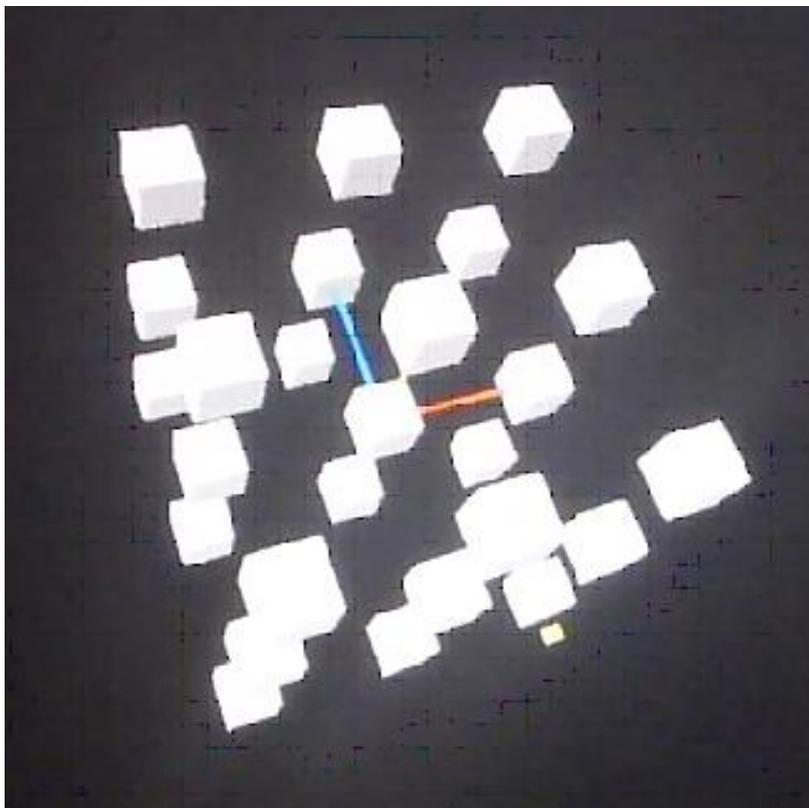
Нюансы обучения и субъективный опыт приводятся в следующих разделах.

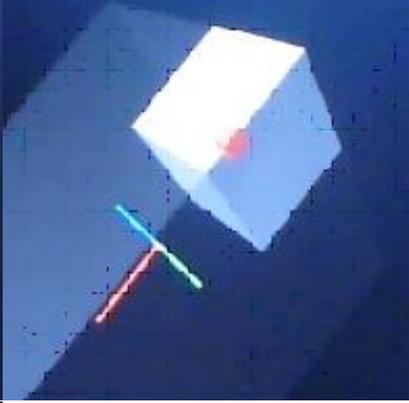
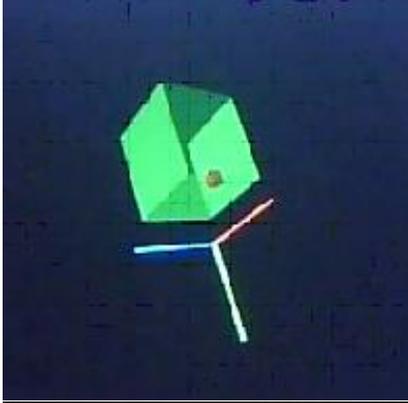
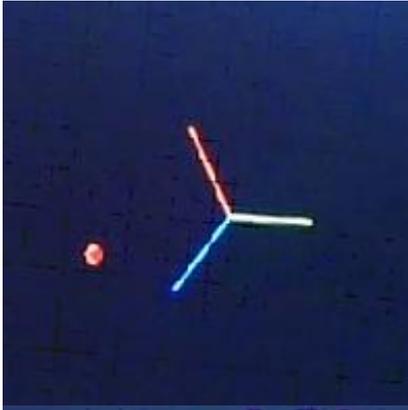


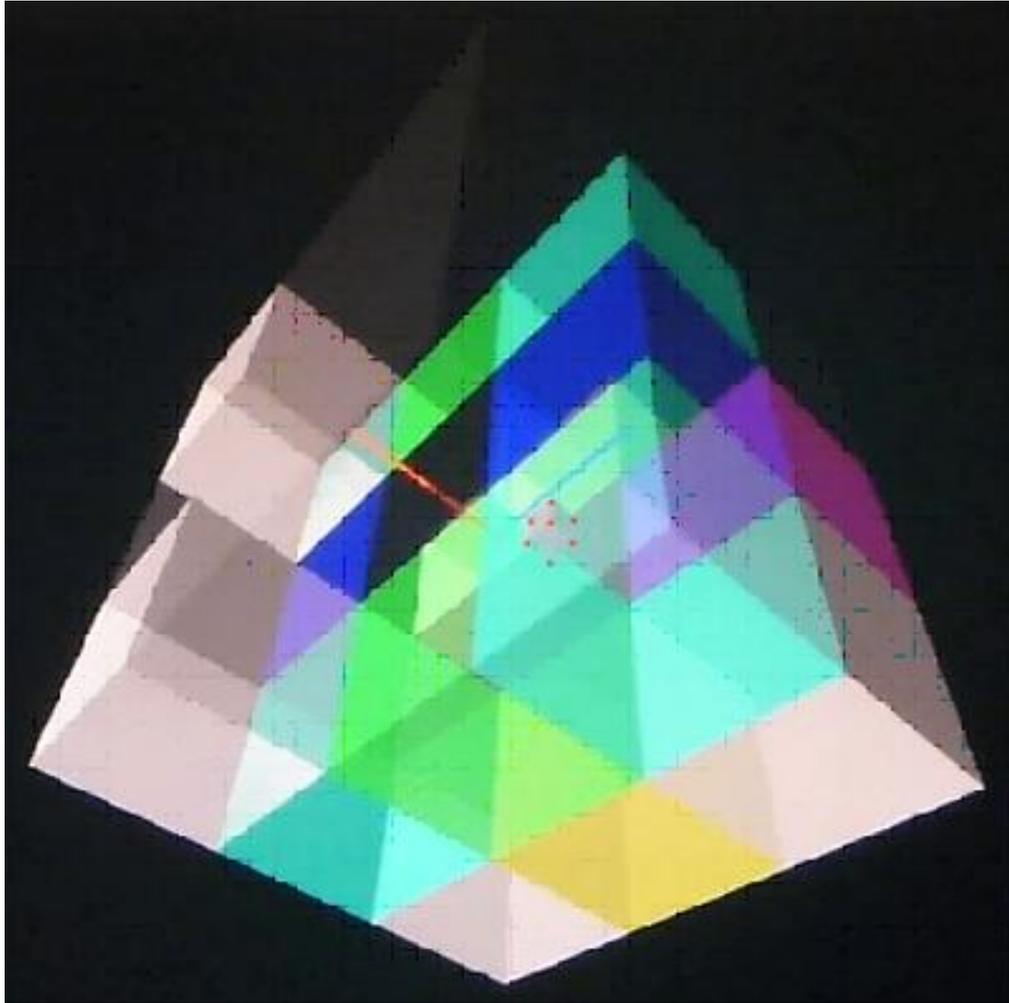


2.3.7. Движение в трехмерном пространстве

Модель представляет собой движение точки трехмерного куба, разбитого на 27 кубических секций и вращение самого куба в пространстве, дискретный алгоритм.







Модель представляет собой трехмерный куб, в пределах которого движется точка. Сам куб, и точка, меняют положение в зависимости от индексов ЭЭГ. Использовались дискретно 8 индексов, по правому и левому полушарию отдельно. Куб разделен на зоны, изменение индексов перемещает точку внутри куба, и меняет положение самого куба относительно точки зрения оператора. Достижение точкой «зон» куба активирует зону (кубик, в который вошла точка, окрашивается в какой-либо цвет). Задача оператора – провести точку по всем зонам куба, в результате засветив весь куб целиком. Модель дает возможность наглядно представить экспериментатору и самому оператору степень управления каждым из индексов. Задача решалась частично, один раз зафиксирована полная засветка куба. Модель дает возможность ввести критерий успешности овладения навыком управления: время, необходимое для проведения точки по всем 27 кубикам. Минимальное время, зафиксированное в эксперименте – 15 минут

3. Методы управления моделями

3.1. Управление с помощью контроля амплитуды различных ритмов мозга:

1. Командой от оператора считается всплеск или понижение активности выбранного ритма по отношению к среднему (фоновому) уровню. Дополнительный параметр – интенсивность градиента;

2. Как в п. 1., только границы «мёртвой зоны» становятся плавающими, они адаптируются под дрейф средней активности ритмов в ходе работы оператора.
3. Как в п. 2., только вводится различие активности левого и правого полушарий для каждого из ритмов.
4. Как в п. 3., только команда оператора не ставится во взаимно-однозначное соответствие с командой устройству, а задаёт перемещение в виртуальном пространстве, каждая область которого, в свою очередь, соответствует командам устройству.

3.2. Управление с помощью запоминания и распознавания ЭЭГ-индексов

Для решения задачи управления указанным выше способом спектральное разложение всех четырёх каналов (отражающих активность четвертей мозга) ЭЭГ-индекса интерпретируется как точка в многомерном евклидовом пространстве.

1. **«IJK-алгоритм»:** в режиме обучения для каждой команды устройства записывается соответствующий ему индекс (производный от генерируемых оператором индексов во время удержания выбранного для данной команды состояния), и всё пространство индексов классифицируется по признаку наиболее близкого из записанных индексов; в режиме управления с определённой частотой поступающий от оператора сигнал классифицируется, и устройству отдаётся команда;
2. **«Перцептрон (нейронная сеть)»:** в режиме обучения составляется обучающий набор из индексов, которые генерирует оператор во время удержания выбранного для команды состояния, и кодов команд устройству, нейронная сеть обучается на данном наборе; в режиме управления индексы подаются на вход нейронной сети, на выходе получается код команды для устройства.
3. Усовершенствование пунктов 1. и 2. с помощью отслеживания доминирующей команды на промежутке между отдачами команды устройству, и выбор этой команды в качестве следующей.
4. **«kNN-алгоритм»:** схож с IJK-алгоритмом с отслеживанием доминирующей команды, но классификация пространства индексов производится по специальному алгоритму не на основе одного усреднённого индекса на команду, а всей совокупности сгенерированных в режиме обучения индексов. Пока данный алгоритм позволяет добиться наилучших результатов.

3.3. Дифференцированные психофизиологические состояния (ПФС), допускающие отражение в ИМК. Подходы к унификации и классификации.

В ходе управления ИМК в режиме БОС для оператора «описанием» отдельного ПФС, облегчающим его распознавание, является отраженное в интерфейсе преобразование визуальной формы. Выделение собственно ПФС, и, тем более, указание на конкретное состояние для согласования с другими участниками процесса без опоры на интерфейс БОС без специальной подготовки связано с большими затруднениями. При решении простых задач этим можно пренебречь. Однако предполагаемые в дальнейшем сложные задачи потребуют особой культуры различения и трансформации ПФС для относительно широкого контингента операторов.

Как только ставятся задачи, требующие системного подхода к отбору и подготовке операторов, проектирования и реализации био-управления на различных классах РТУ,

возникает необходимость выделить для рассмотрения три области, между которыми должно быть установлено взаимно-однозначное соответствие. Это:

1. Множество психофизиологических состояний – внутренняя субъективная реальность оператора,
2. множество комбинаций индексов ЭЭГ, соответствующих состояниям – то, что может быть зафиксировано при помощи устройства ЭЭГ,
3. множество управляющих команд (множества возможных состояний/действий управляемого устройства), реализованных на различных классах РТУ.

3.5. Проблемы взаимного отображения указанных множеств и стратегии решений

1. Отражение в ЭЭГ-индексах ПФС различных операторов, которые оцениваются как идентичные или получены одинаковым способом, не совпадают.

Для унификации множества состояний оператора предполагается использовать визуальный язык, составленный из эйдограмм – абстрактных визуальных изображений, означающих для оператора его конкретное ПФС. Эйдограмма для оператора должна иметь субъективное достоверное соответствие определенному состоянию. Эйдограммы, составленные различными операторами не совпадают и потому разрабатываются специальные процедуры согласования эйдограмм, отражающих одинаковые состояния. Следует, однако, учесть, что различия в субъективном восприятии одних и тех же эйдограмм могут быть достаточно велики и попытки навязать оператору нормативное восприятие эйдограмм ведет к внутреннему напряжению, снижающему эффективность работы.

Возможны две стратегии дальнейшей работы – либо формирование набора эйдографических «диалектов», позволяющих разбить массив операторов на 4 – 8 «диалектных групп», либо разработка сложной эйдографической системы с нормативным ядром идентичным для всех операторов и различающимися периферийными сегментами.

В последнем случае оптимальной стратегией построения эйдографического языка будет создание индивидуальных «справочников состояний» и наборов соответствующих им эйдограмм, составляемых оператором в процессе обучения. В областях пересечений таких «словарей» можно задать точки кристаллизации для дальнейшего **выращивания языка**.

2. Количество комбинаций индексов ЭЭГ, выделенных как пригодные для использования в управлении устройствами БОС, ограничено. В этой ситуации целесообразно создание иерархической системы команд, которую можно применить для множества классов ИМК.
3. В дальнейшем предполагается отработать три возможных подхода к управлению РТУ:
 - дискретный (последовательности точечных команд, каждой команде сопоставляется конкретный параметр из множества выделяемых);
 - континуальный (создается «пространство индексов», по которому движется оператор, при этом активируется не единичный индекс, а группа близлежащих индексов (с затухающей интенсивностью), каждый индекс в свою очередь сопоставлен с действиями устройства – таким образом РТУ активируется не дискретно, а по «зонам возбуждения» с тенденцией к затуханию возбуждения к «краям зоны», воспроизводя, тем самым, тип антропоморфного движения.
 - управление осуществляется «пятном активности», которое контролируется движением оператором по пространству индексов, и, меняя свое положение и размеры, «активирует» определенные области движений РТУ.

Для решения задачи отображения «множества состояний оператора» на «множество команд для большого числа движений РТУ» можно использовать три различных подхода в зависимости от характера участия оператора в процессе управления:

1. высокоточный уровень управления, когда оператор управляет отдельными элементами конструкции РТУ или их группами;
2. абстрактный уровень управления, когда оператор задает конечные цели РТУ, которые ей необходимо выполнить;
3. гибридный подход, соединяющий две вышеуказанные схемы.

Преимуществом первого подхода является большая степень управляемости РТУ за счет возможности тонкого управления конкретным элементом системы или группой элементов. Его минусом - более долгое выполнение конечного задания оператором за счет поэлементного изменения параметров.

Преимущество второго подхода - более простое управление РТУ с точки зрения оператора, когда оператор для осуществления сложного движения (например, «взять стакан со стола»), использует всего лишь одну «высокоуровневую» команду «взять стакан со стола», при этом конкретные движения частей РТУ ложатся на его интеллектуальную начинку. Такой подход является актуальным, когда оператору безразлично, каким конкретным образом андроид должен взять стакан со стола, важным является только достижение конечной цели. Минусом этого подхода является невозможность выполнения команды, не включенной в перечень заранее разработанных команд.

Для избавления от противоречий обеих подходов предлагается применить третий гибридный подход, когда оператор обладает всем спектром команд, часть которых отдаются напрямую компоненту системы, а часть формулируются как конечные задания, реализуемые интеллектуальной начинкой робота. Данные подходы к командам управления не противоречат друг другу, но находятся в иерархически онтологической зависимости, т.к. например для того, чтобы взять стакан (команда высокого уровня), робот проделывает ту же работу, как если бы ему задали совокупность команд более низшего уровня.

Применение гибридного подхода позволяет построить одну единственную иерархическую систему команд, которую можно применить для всех вышеописанных классов. Так, относительно РТУ команда оператора «движение вперед» технически будет реализована в зависимости от модели РТУ, т.е. для гусеничного робота эта команда активизирует свой определенный набор движителей, для колесного робота – свой, однако в обоих случаях команда оператора будет одной и той же и приведет к единому результату.

3.6.Методика обучения оператора

Отработка методики подготовки оператора проводилась на модели «робо-рука», остальные модели являлись лишь обучающим фоном.

К настоящему времени можно выделить две основные методические последовательности:

- обучение «от движения к состоянию»;
- обучение «от состояния к движению».

В первом случае методика разворачивается следующим образом:

1. Оператор фиксирует отдельные спонтанные движения R_i «робо-руки» (отражающие спонтанные колебания параметров ЭЭГ) и их «отклик» q_j в общем состоянии.
2. Фиксируется противоположное движение R_i^- и его отражение q_j^- в состоянии.
3. При повторении движения оно: а) усиливается за счет воспроизведения состояния q_j ; б) тормозится, останавливается и превращается в противоположное по отношению к R_i за счет формирования состояния q_j^- .

4. За счет многократного повторения состояния q_j и q_j^- и отслеживания соответствующих движений уточняются нюансы состояний, обеспечивающих заданные движения.

5. Комбинирование состояний позволяет осуществлять сложные движения.

Преимущество подхода: возможность обучения оператора без предварительной психотехнической подготовки.

Во втором случае используется следующая методика:

1. Оператор формирует спектр состояний $q_j \dots q_n$ известных ему по предыдущему опыту психотехнической работы, опираясь на полученные знания о соответствии ЭЭГ-индексов тем или классам состояний и их отражению в движениях $R_1 \dots R_m$ РТУ.

2. Оператор фиксирует соответствие движений РТУ сформированным состояниям.

3. Формируя зафиксированные состояния, оператор управляет движениями «роборуки».

4. Выделенные эффективно работающие состояния отражаются в эйдограммах.

Преимущество подхода: облегченный переход к формированию сложных составных движений РТУ; возможность передачи инструкции по формированию состояний другим операторам за счет использования эйдографических языков.

3.7.Использование эйдографических языков (ЭГЯ)

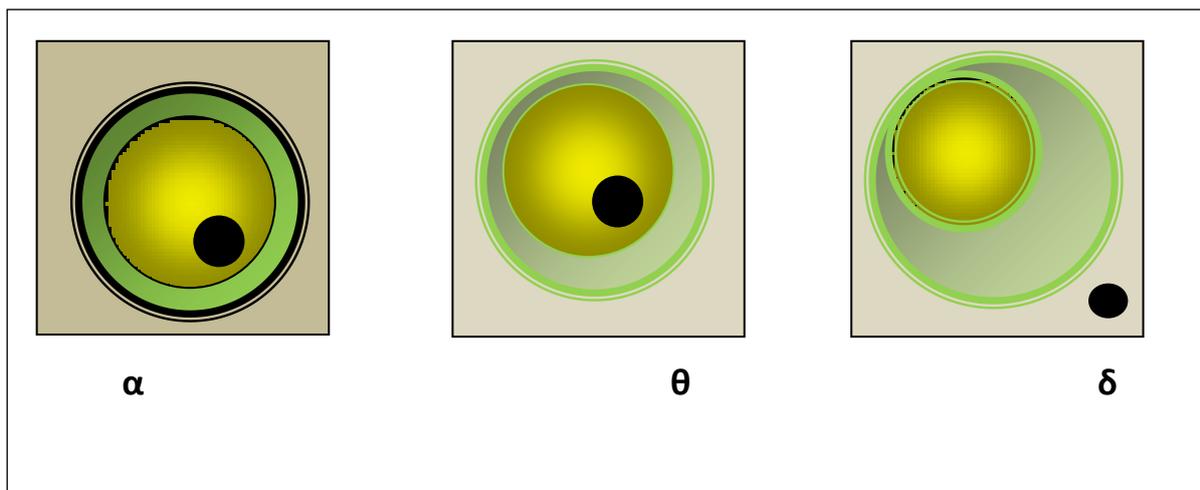
Под ЭГЯ понимается использование визуальных символов - эйдограмм, отражающих невербализуемые смыслы, в нашем случае – невербализуемые состояния. При отождествлении оператором состояния с обозначающим его символом сам символ становится стимулом, формирующим это состояние. Изменения визуальной формы в этом случае сопровождается и изменением состояния. Применительно к практике подготовки оператора РТУ это дает возможность зафиксировать нужное состояние и описать другим операторам особенности своего состояния не прибегая к неадекватным вербальным формулировкам.

Эйдограммы создаются с помощью того или иного графического редактора, что позволяет унифицировать сам ЭГЯ.

Реальная разработка ЭГЯ применительно к состояниям, управляющим движениями РТУ начнется после окончательной унификации ЭЭГ-параметров, используемых для управления РТУ, и соответствующих им состояний. Пока речь идет о выделении основных компонентов – цветовых обозначениях различных ЭЭГ-индексов и фиксации геометрических форм, отражающих движение РТУ.

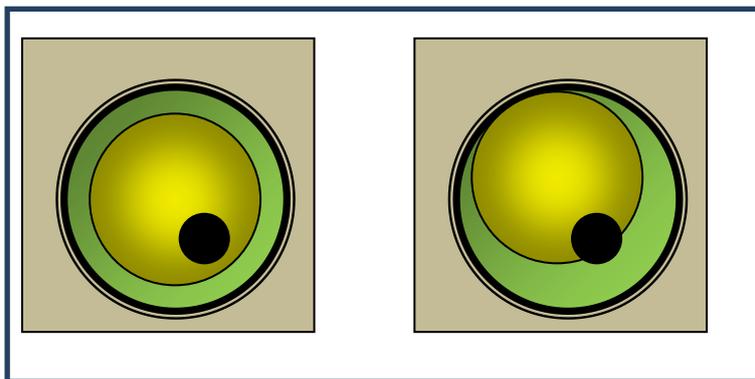
Цветовые обозначения индексов позволяют достаточно точно фиксировать выраженность того или иного ритма. Так, β -ритм ассоциируется с красным цветом, α -ритм с бирюзовым, δ -ритм – с темно-синим, θ -ритм – с голубым.

Более сложная конструкция была выстроена по отношению к состоянию, располагающемуся на шкале состояний, по субъективной оценке, близких к просоночным и фиксируемых на гистограмме как преобладание α -, θ - , и δ -ритмов:



Промежуточные формы эйдограмм отражают плавный переход к доминированию того или иного ритма.

Модификации эйдограмм отражают невербализуемые сдвиги в состоянии:



Проведенная работа носит предварительный характер. Реальная эйдографическая таблица будет построена после утверждения унифицированного списка ЭЭГ-параметров, используемых для управления реальным РТУ.

3.8. Систематика движений «робо-руки»:

Одиночные движения:

1. Сгибание
2. Разгибание
3. Приведение большого пальца
4. Отведение большого пальца

Групповые движения

5. Сгибание кисти
6. Разгибание кисти
7. Разведение всех пальцев
8. Сведение всех пальцев
9. Хваты, представляющие сочетание движений сгибания 2 – 3-х пальцев и

Несмотря на то, что в использованной модели не представлены движения поворота в суставах, их следует ввести для движений более высокого уровня (движения конечностей и туловища в целом):

10. Поворот по часовой стрелке
11. Поворот против часовой стрелки.

При этом разгибание, отведение и поворот против часовой могут быть представлены (и субъективно переживаются) как движение противоположные по отношению сгибанию, приведению и повороту по часовой стрелки, т.е. как «+R₁», «+R₂», «+R₃» и «-R₁», «-R₂», «-R₃». Очевидно, следует ввести три базовые движения и их последующие модификации и сочетания при их развертывании в различных сегментах РТУ.

В этом случае мы получаем трехуровневую кодировку движений: применительно к пальцам, суставам и туловищу. Каждый из этих уровней представляет собой среду, в которой развертываются базовые движения. Кодировка движений состояниями q_i в этом случае выглядит как набор 3-х базовых «+-» состояний, добавление трех уровней s_1, s_2, s_3

среды, отраженных в состояниях и ЭЭГ-параметрах, и сдвигов состояний по каждому из уровней, кодирующих перечень конкретных деталей (номера пальцев, суставов и уровней движения туловища. В сочетании с предложенной методикой «многомерного курсора» (п.2.3.5.) это позволяет свести задачу к движению точки в трехмерном кубе (п.2.3.7.). В случае введения дополнительных уровней движения производятся в 4-х, 5-ти и т. д. пространстве.

Трехчленная формула, развернутая во времени, позволяет организовать движение РТУ в той же логике, в которой происходит движение человека: начальное движение туловища R_{iS_3} , далее сустав конечности R_{jS_2} , далее – движения пальцев R_{kS_1} . Более сложной является задача одновременного осуществления движений сразу на всех уровнях по типу $R_{iS_j}R_{mS_n}R_{xS_y}$

4.Перспективные направления работы

В ходе креативного семинара, сопровождавшего эксперимент были разобраны возможные дальнейшие шаги по развитию проекта «Аватар» в контексте заявленной темы.

4.1.Стратегия управления сложными или групповыми РТУ

При превышении определенного порога сложности РТУ или при возникновении задачи управления группами РТУ целесообразно рассмотреть возможные подходы к организации коллективной работы со сложными устройствами. Перспектива такого усложнения задачи с самого начала разработки закладывает избыточные возможности, которые могут быть реализованы позже.

Возможны два подхода:

1. Сложный объект разбивается на отдельные части, каждой из которых управляет отдельный оператор (метафора – «войсковые части», иерархия). В этом случае должна быть решена задача групповой слаженности операторов. Один из возможных подходов – разработка многозначного языка команд, который получал бы специфическую интерпретацию, привязанную к конкретному сегменту. Эта задача потребует специальной разработки, но представляются интересными побочные применения многозначного языка.
2. Группа операторов управляет устройством как «целым». К объекту идет единый сигнал. Сигнал генерируется коллективом операторов, и разделяется на уровне устройства. (метафора – «целостность»). Особо интересен такой подход для разработки методов управления неантропоморфными сложными устройствами.

В любом случае необходимый этап обучения оператора - осознание множества возможных действий устройства, поиск и формирование оптимальных стратегий управления, - выдвигает требования разработки конструкции достаточно абстрактного «языка», описывающего движения РТУ

Один из возможных подходов к решению задачи:

За основу разработки системы команд нами была взята схема Н.А. Бернштейна. Адаптируя его схему под необходимые нам задачи можно выделить пять уровней управления РТУ:

- Изменение конкретного параметра конкретной части РТУ (изменения напряжения конкретного компонента).
- Синергетическое изменение параметров связанных между собой частей РТУ (расжатие кулака андроида).

- Изменение положения РТУ в пространстве.
- Предметное действие (откупоривание бутылки, писание ручкой).
- Интеллектуальные двигательные акты (танец).

Команда более высокого уровня может быть представлена в виде последовательности команд более низких уровней. Принятие решение о применимости тех или иных команд полностью зависит от оператора, типа его управления и решаемых задач. На данный момент написания настоящего отчета, т.е. до подробного анализа технических описаний вышеописанных классов РТУ, можно выделить следующие примеры общих команд по уровням:

- Величина изменения параметра, изменение напряжения, изменение амплитуды, изменение сопротивления.
- Выравнивание равновесия, поворот (колесный робот).
- Поворот тела (андроид), прямолинейное движение, остановка движения.
- Захват конкретного объекта.
- Взятие и перевозка груза из точки А в точку Б.

Для формализации модели предположим, что у нас есть конечное множество целей T , которые может достигнуть оператор, используя множество отведенных ему разноуровневых команд C (задача отображения $C \rightarrow T$). На основе тезиса о том, что команда более высокого уровня может быть представлена в виде последовательности команд более низких уровней, отображение C в T будет нелинейным, т.е. (используя язык формальных грамматик) могут присутствовать подобные отображения: $C_2 \rightarrow T_4$ и $C_5 C_1 C_6 \rightarrow T_4$, т.е. для достижения одной цели в одном случае оператор может использовать одну команду, а в другом случае – последовательность из трех команд. О дополнительных преимуществах данного подхода будет сказано ниже, при рассмотрении языка состояний оператора. Готовый вариант такой системы команд может быть использован в качестве стандартизованной спецификации к построению систем управления РТУ и свободно дополнен по мере разработки новых РТУ.

Вернемся опять к проблеме языков управления РТУ и отображения состояния оператора. Для того чтобы посредством ИМК оператор смог управлять РТУ, ему необходимо выработать определенный язык состояний, который бы однозначно трактовался ИМК и переводился бы уже в соответствующие команды для РТУ. Предположим, что все операторы могут выработать одно и то же множество собственных состояний Q , которые одинаково считываются ИМК (ИМК получает одинаковый набор параметров). Тогда отображение $Q \rightarrow C$ достаточно тривиально. В случае если множество C больше множества Q , одной команде будет соответствовать последовательность состояний оператора, например $Q_3 Q_6 \rightarrow C_7$. Однако в ходе экспериментов оказалось, что одно и то же состояние оператора может быть определено ИМК разными наборами параметров, вследствие чего ставится задача правильного соответствия данных ИМК командам РТУ в зависимости от конкретного оператора. Для решения этой задачи предлагается создавать индивидуальные профили операторов. При работе конкретного оператора ИМК выбирает его профиль и генерирует команды согласно с его карте соответствий, т.е. происходит отображение $Q \rightarrow O \rightarrow C$, где O – конечное множество профилей оператора. Таким образом, в цикле управления РТУ появляется еще одно звено (диспетчер), отвечающее за сверку данных с профилем оператора.

Актуальность применения Диспетчера особенно хорошо проявляется, когда мы начинаем говорить не об одном ИМК, а о целом классе ИМК, каждый из которых различает свой собственный набор параметров оператора.

Формальное описание схемы: Есть некое конечное множество интерфейсов I , которые способны снимать некоторый набор параметров оператора $P \rightarrow I$ из конечного множества параметров P . С другой стороны у нас есть конечное множество РТУ R , которое может выполнить некоторый набор команд $S \rightarrow R$ из конечного множества команд S . Задача состоит в нахождении такого способа построения соответствия команд конкретного РТУ снимаемым параметрам конкретного ИМК таким образом, чтобы любым ИМК управлялось как можно большее количество РТУ без необходимости переобучения оператора. Для выполнения этой задачи необходимо провести изучение как можно большего класса ИМК, с целью выделения тех параметров, которые в большинстве своем они способны снимать (например, бета-ритм и альфа-ритм). С другой стороны, необходимо определить, какими именно ритмами оператору управлять проще (какие состояния ему проще всего создать). В-третьих, необходимо выделить тот набор команд, который актуально использовать для большего класса РТУ. Проведя подобный статистический анализ, мы получим, каким именно состояниям оператора актуально поставить в соответствие какой набор команд, тем самым начав формировать требуемый язык Q .

Мы подходим к формализации языка состояний с учетом специфики ИМК, т.е. устройства, которое любое состояние оператора сводит к набору снимаемых с него ЭЭГ-параметров, поэтому при описании модели языка мы будем отталкиваться от этого факта. Как уже было сказано ранее, по аналогии с иерархической онтологической системой команд, язык состояний должен быть семантически связанным, т.е. оператор должен осмысленно ставить в соответствие свое пребывание в определенном состоянии с конкретной командой.

Для реализации тех идей, которые были заложены в системе команд, воспользуемся следующим описанием языка состояний. Пусть Q – конечное число всех состояний, которое может определить ИМК. Допустим, что каждый параметр может изменяться в диапазоне от (a, b) , тогда $Q = (b - a)^p$, где p – число параметров, которые способен определить ИМК.

Конечное число таких состояний может быть использовано в качестве букв искомого языка. В случае, когда количество команд меньше количества состояний оператора, каждому из состояний ставится в однозначное соответствие конкретная команда РТУ. Управление будет происходить в быстром темпе, зависящем только от скорости изменения состояний оператором. В случае же, когда количество команд намного выше количества состояний оператора, процесс управления из дискретного можно рассматривать в качестве динамического, при этом каждой команде, которой «не хватило» состояния, ставится в соответствие два и более состояния, подобным образом формируется формальный грамматический язык оператора. При этом возникает необходимость разделять слова языка друг от друга при помощи определенного знака, который бы показывал, что окончилась одна команда и начинается другая. Аналогом данного знака является промежуток между словами в предложении на естественном языке, в языке же состояний оператора этим знаком может выступать базовое состояние оператора (состояния покоя), в которое ему легче всего перейти из любого другого.

4.2. Возможное использование знаковой системы Ithkul для формирования системы языков, используемых операторами в ходе управления РТУ

Краткая справка:

Ифкуиль был разработан Джоном Кихадой (J. Quijada) 1978 – 2004 г.г.
Википедия (<http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D1%84%D0%BA%D1%83%D0%B8%D0%BB%D1%8C>):

Ифкуиль совмещает *априорный философский язык* с логическим языком, применяя лексикон из 3600 семантических корней, развиваемых с помощью сложной, матрицеподобной грамматики, разработанной для максимально точной и эффективной передачи смысла. Что Роберт Хайнлайн предложил для морфо-фонологии в своём «скороговоре», то ифкуиль достигает вдобавок и для морфологии, лексико-морфологии и лексико-семантики. В языке две части речи: словообразующие и адьюнкты (определяющие), где вторые склоняются в 22 морфологические категории. Ифкуильское письмо применяет уникальный морфо-фонологический принцип, чтобы также «ужать» письменные слова. На сайте есть множество звукозаписей в MP3, так что посетители могут послушать произношение ифкуильской речи.

Словообразование в ифкуиле использует ряд принципов из когнитивной психологии и когнитивной лингвистики, таких как теория прототипов, радиальная категоризация, нечёткая логика и семантическое взаимоисключение. Лексико-семантическое сокращение достигается путём лексирования только исходного смысла того понятия, которое в других языках объединяет родственные слова (то есть путём сокращения «зрение», «вид», «взгляд», «уставиться», «панорама», «глаз», «таращиться», «визуализация», и т. д. до одного смыслового корня «зрение»), и применяя обширный набор закономерных, предсказуемых и универсально используемых модификаций на морфологическом (то есть грамматическом), а не лексическом уровне, для образования слов, далеко выходящих за лексический предел большинства других языков.

В ифкуиле вводится сложная система преобразования исходных значений, позволяющая однозначно выразить тончайшие смысловые нюансы. Эта знаковая система выбрана нами как основа для вербального описания ПФС операторами с точки зрения их субъективного опыта. Нюансы состояний не поддаются вербальному описанию в естественных языках, но могут быть отображено в такой избыточной (с точки зрения обычного опыта) системе как Ифкуиль.

Для начальной работы были отобраны следующие базовые морфологические категории Ифкуиля:

- конфигурация
- соотношение
- перспектива
- распространение
- сущность

Если «конфигурации» и «соотношения» еще допускают возможность истолкования в естественном (русском) языке, то следующие категории утрачивают наглядный характер и могут служить основой для последующей разработки описаний невербализуемых состояний.

Так, категория «конфигурация» позволяет произвести классификацию сложных движений по следующей схеме: Одиночная, Двойная, Однородная, Различная, Членистая, Составная, Объединенная, Сложная, Нечеткая конфигурации. Категория «соотношение» дает следующие варианты: Бесцельное, Сплочённое, Разобщённое, Совместное. Этих категорий вполне достаточно для описания действий перспективных РТУ. Реально существующие РТУ и ИМК пока не требуют такой сложности. Однако, учитывая перспективные разработки сложных и групповых РТУ, возможности ифкуиля должны быть проработаны уже в ближайшем будущем и структура ифкуиля может помочь в конструировании таких перспективных систем.

В ходе эксперимента была проделана работа по перспективному моделированию описания действий РТУ в языке конфигураций и соотношений. В этом случае используется двусложная команда либо в последовательном режиме (но это увеличивает

латентное время между формированием заданного состояния и выполнением команды вследствие инерционности состояний, отраженных в ЭЭГ-индекса), либо в параллельном - при сочетании двух разнородных ЭЭГ-параметров (например, ритма и локализации возбуждения в определенном месте на топограмме). Тогда первым «слогом» команды будет обозначение самого действия (например, сгибание). Второй же слог задает характер действия – одиночное, двойное, полное сгибание кисти, серия из нескольких сгибаний одновременно, серия сгибаний и т.д.).

Т.о., эйдографический язык является посредником между различными операторами, а ифкуиль – между оператором и ИМК. В дальнейших разработках целесообразно вести согласованную линию одновременного развития двух видов языков.

4.3. Предложения по изменению в программном обеспечении и технических характеристиках устройств съема данных и интерфейсах БОС

В эксперименте использовались устройства «Нейробелт». В ходе эксперимента выявились некоторые аспекты их работы, требующие доработки. В связи с этим разработаны следующие предложения:

1. Повысить точность устройства съема данных.
2. Предусмотреть возможность в ПО для «Нейробелт» измерения сопротивления контактов для проверки качества их установки. Программное обеспечение неустойчиво, при работе с устройством наблюдались проблемы с регулярным «подтормаживанием» и аварийными прекращением работы ПО по невыясненным причинам. Программе требуется обработка ошибок и составление списка ранее непредусмотренных исключительных ситуаций. высказывается предположение, что проблема возникает по причине несовершенства устройства приема. Возможно, стоит рассмотреть вопрос о его доработке или замене на более совершенное, или прямое подключение по кабелю.
3. Для повышения эффективности работы оператора важна **плавность** изменений конфигураций (интерфейса, устройств), поскольку био-управление не является дискретным процессом, и, как указывается в других параграфах отчета, оператор отождествляется с объектом управления.
4. Цвет объекта влияет на психологический климат оператора (в том числе стрессоустойчивость и степень утомления-восстановления), и рекомендации по цветовым гаммам интерфейсов могут рассматриваться как требования по психогигиене процесса работы. Если цветовая гамма не влияет на функционал устройства – цвета должны согласовываться со специалистами проекта.
5. Рассмотрены варианты интерфейсов – 2-х или 3-хмерные объекты, где оператор управляет формой, положением, цветом объекта-фона.

5. Подготовка операторов

Разработка подходов к подготовке операторов РТУ является главной задачей настоящего исследования.

5.1. Методики подготовки

Методики подготовки должны быть направлены на умение формировать и различать оттенки ПФС, не имеющих аналогов в их повседневной жизни операторов. Эти умения не являются критически необходимыми и их наработка требует специальной практики. Если достаточно простые субъективные состояния, располагающиеся на шкале

«релаксация – мобилизация», доступны для формирования в режиме биообратных связей большинству необученных людей, то сложные паттерны, включающие в себя ритмы, привязанные к отдельным участкам мозга требуют тонкого различения состояний, соответствующих таким паттернам.

В отличие от абстрактной подготовки лиц, ориентированных на внутреннее развитие или иные виды деятельности, помимо операторской, подготовку нужно привязывать с самого начала к конкретным РТУ. Вначале неуправляемые ЭЭГ-паттерны будут отражаться в хаотических движениях РТУ. Задача оператора на этом этапе сводится к «прочувствованию» тонких различий состояний, соответствующих отдельным движениям РТУ, отражающих, в свою очередь, те или иные ЭЭГ-паттерны.

Следующая задача – целенаправленное воспроизведение состояний. Следует отметить, что для различения состояний нет соответствующих модальных систем: состояния отражаются в самих движениях РТУ. Однако для составления «библиотеки состояний» необходимо научиться их произвольно воспроизводить и удерживать вне связи с РТУ. Именно на этом этапе становится очевидной необходимость в формировании особого языка, позволяющего фиксировать освоенные состояния и помогать другим операторам овладевать ими.

5.2. Требования к подготовке операторов:

1. Овладение начальными психотехническими навыками: релаксации, мобилизации, концентрации и деконцентрации внимания, управляемой синестезии, разделение смысловой и формально-чувственной составляющих в содержаниях сознания.
2. Овладение навыками самонаблюдения и фиксации собственных ПФС.
3. Овладение навыками произвольного управления ПФС.
4. Развитие высокой помехоустойчивости.
5. Соблюдение гигиенических норм работы.

Под каждый из этих пунктов нужно подобрать соответствующие приемы и средства контроля за их исполнением. Существующие методы должны быть специализированы, что позволит сократить время подготовки и сделать ее более эффективной. Использование методов биообратных связей как раз и позволяет создать корпус специализированных техник.

5.3. Особенности подготовки

Особенностью подготовки является также учет выявленного в ходе эксперимента факта, что при освоении БОС ИМК ассоциируется с существующими в сознании оператора паттернами движения (этот субъективный фактор описывается в самоотчетах операторов как «отождествление с интерфейсом»). Уловленное состояние неопределенно и есть тенденция к отождествлению с теми или иными телесными ощущениями. Подобное отождествление может затруднить обучение и отказ от него способствует отождествлению (обозначению) состояний с помощью движений РТУ, наблюдаемых в режиме БОС. Таким образом формируется «карта» возможных состояний – континуум состояний, отождествленных с континуумом движений.

Из этих соображений следует разработка программного обеспечения, позволяющего перейти от фиксации дискретных значений индексов к фиксации плавного изменения индексов.

Пример, как с помощью двух управляемых функций можно составить любой жест роборуки:

Представим интерфейс графически. Его можно воспринимать, как графическое меню, где для движения по горизонтали происходит через колебания альфа-ритма, а по вертикали – через колебания бет-ритма.

1 уровень управление положением руки (с возможностью выбрать любое положение)	влево вправо отгибать загибать
мизинец	безымянный
средний	указательный
большой	

перейти от положений к жестам или наоборот

	текущий жест	открытая ладонь	хват	кулак	...
2 уровень жесты (часто используемые, знакомые)	запомнить новый жест	выбрать			

Движения по горизонтали осуществляются через колебания альфы.

Движения по вертикали - через колебания беты.

(Например)

То есть, выбор объекта через один параметр, а действия с ним - через другой.

Оперируя на втором уровне, легко без необходимости работать со всеми пальцами, получить нужный жест. Переход же на первый уровень даёт возможность выучить новый, или принять необычное положение руки.

Ситуативность: в зависимости от контекста действий, интерфейс должен подсказывать жесты, связанные с ним. Это сведёт к минимуму интерфейс и упростит процесс обучения.

5.4.Тренажер «виртуальные миры».

Одним из методов обучения оператора «языку состояний» является формирование виртуального компьютерного мира и персонификация себя в нем в виде субъекта активности. При этом возможности управления субъектом должны соответствовать всем возможным командам множества С без привязки к конкретному РТУ. Обучаясь «существовать» в этом мире, подобно тому, как ребенок учится управлять своим телом, оператор будет на семантическом уровне связывать свои состояния с той или иной командой, вследствие чего будет создаваться логичность соответствия его состояний командам. Большим преимуществом обучения оператора в данном мире является то, что обучившись, оператор сможет без трудности управлять любым РТУ, потому как любое РТУ в принципе не может поддерживать все множество команд С.

В пределе задача формулируется как превращение оператора в «монаду состояний». Это означает, что вся деятельность оператора по управлению устройством и обработке обратной связи от среды сводится к работе с виртуальным миром собственных состояний. То есть, 1) оператор отдает команды через интерфейс БОС, и 2) получает данные из среды через индукцию изменений его состояний. Над первой частью работа ведется в рамках данного эксперимента, второе пока не имеет технических предпосылок, но представляется возможным и крайне перспективным.

6. Выводы:

1. Показана принципиальная пригодность использование сочетания 4-х базовых ритмов (альфа-, бета-, тета-, дельта) и локализации доминирования ритма на топограмме (8 локализаций: левая и правая лобные, височный, теменные и затылочные доли) для формирования первичного «словаря» управляющих импульсов. Принципиально возможно овладение навыком формирования до 32 различными паттернов.
2. Предварительное обучение психотехническим приемам сокращает время овладения навыками формирования заданных паттернов.
3. Следует разработать и изучить преимущества двух линий подготовки операторов РТУ класса «Аватар»: обучение единому нормативному «языку» нейрофизиологических паттернов или разбиение операторов на несколько классов в зависимости от их профиля и разработку программного обеспечения ИМК, учитывающего профиль оператора. Последнее представляется более предпочтительным, однако продолжение исследования возможностей первой линии может принести новые результаты.
4. Разработка «языка паттернов» должна вестись параллельно с разработкой программного обеспечения РТУ.
5. Эксперимент показал пригодность знаковой системы «ифкуиль» для дальнейшей разработки «языка паттернов» совместимого с «языком движений».
6. Обучение оператора в режиме БОС целесообразно вести на моделях движений с большим числом степеней свободы, чем в реальном РТУ.

7. Приложение: Пример отчета (отчет не отредактирован, сохранена стилистика и орфография автора):

«Работа с функциями ведется по принципу «подхватывания» - выявив определенное движение и осознав его связь с изменением внутреннего состояния, можно довольно легко отстроить обратную связь (по тем функциям, где это происходит хорошо). Сам же навык переключения требует обучения – через практику в течение, скажем, пары месяцев ежедневной практики, чтобы получилась достаточная точность движений.

Альфа

Судя по всему, альфа это состояние, которое я обычно развертываю и в котором стремлюсь находиться – поэтому, увеличение и уменьшение альфы мне даётся лучше всего.

Увеличение альфы я бы назвал как развертку «водного», интравертно-мягкого, объемлющего состояния. Состояние приобретения плавности, интуитивное, неконфликтное.

«Уплывая» в него, можно довольно легко добиться роста альфы. В этом случае, альфа вырастает сильнее всех остальных ритмов, как бы заслоняя их.

Чтобы альфу уменьшить, достаточно ощутить более активное, подвижное внимание.

Бета

Столь же значительных результатов по колебанию беты, как по альфе, я не достиг. Однако, активизация внимания как таковая, приводила к росту беты. Активность как таковая, более сенсорное, подвижное внимание, приводит к росту беты.

Тета

Работа с тетой строилась как «открывание крышки» вверх головы и закрытие её. Некое ощущение большой свободы и потока. Что-то более конкретное затрудняюсь сказать, однако повторяющееся управление тетой достигалось именно через этот «вектор» - состояние определенного «освобождения».

О дельте что-то вразумительное сейчас сказать не могу»