

ЭРГАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ ЧЕЛОВЕК- КОМПЬЮТЕР

Туровский Я.А.

Лаборатории №38

ИПУ им. В.А.Трапезникова РАН

Проблемы:

ключевыми проблемами, стоящими на данном этапе развития интерфейсов человек-компьютер являются:

- увеличение скорости коммуникации,
- улучшение эргономичности,
- расширение спектра коммуникационных возможностей.

***Необходимость совершенствования
инструментария конструирования и
анализа систем человек-компьютер***

Сигналы, используемые для управления

- ЭЭГ
- ЭМГ
- ЭОГ, ВОГ
- Дыхание
- ВСР
- Стабилометрия

Задачи для управления (два подхода)

- **Замещающее управление:** комплекс технологий направлен на **восстановление** существовавших, но **утраченных функций**
- **Дополненное управление:** формирование новых схем управления **для здорового пользователя в дополнение к** существующим механизмам управления

Наши интерфейсы

ИМК(НКИ) – интерфейс мозг-компьютер на основе ЭЭГ

ЭОГ-ВОГ-ООГ – интерфейс на основе анализа движения глаз

ЭМИ – интерфейс на основе мышечной активности

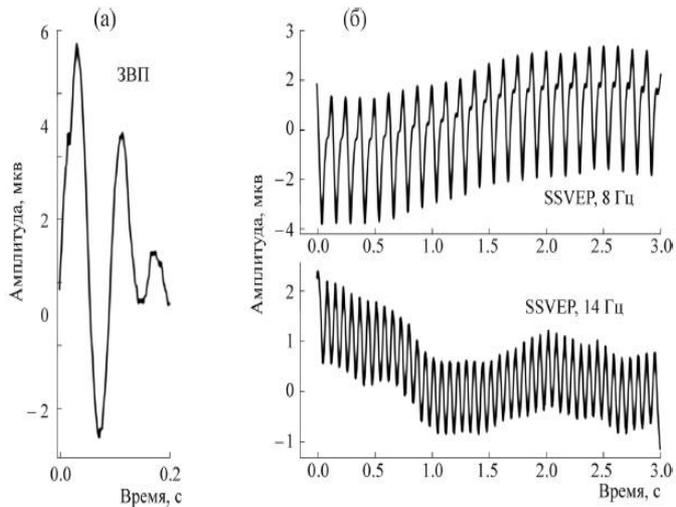
ДИ – интерфейс на основе дыхательных паттернов

Стресс-зависимый интерфейс – интерфейс на основе оценки функционального напряжения пользователя

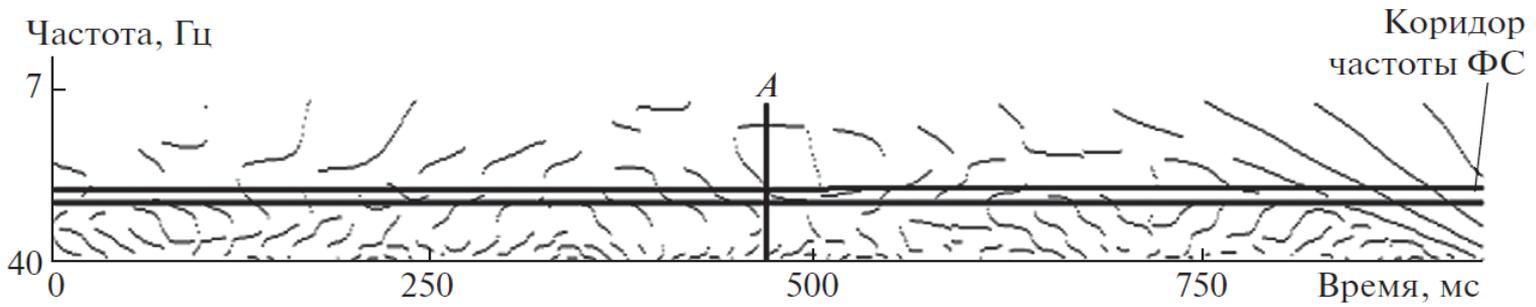
переходные процессы - SSVEP

a	Фотостимуляция	Фотостимуляция	Фотостимуляция	Фотостимуляция	
	Набор данных для первой команды	Набор данных для второй команды	Набор данных для третьей команды	Набор данных для n -й команды	
б	Фотостимуляция	Фотостимуляция	Фотостимуляция	Фотостимуляция	
	Набор данных для первой команды	Набор данных для второй команды	Набор данных для третьей команды	Набор данных для n -й команды	

Рис. 1. Схема времени обработки ЭЭГ для выделения SSVEP.



Примеры зрительного вызванного потенциала и устойчивого зрительного вызванного потенциала с разными частотами фотостимуляции.



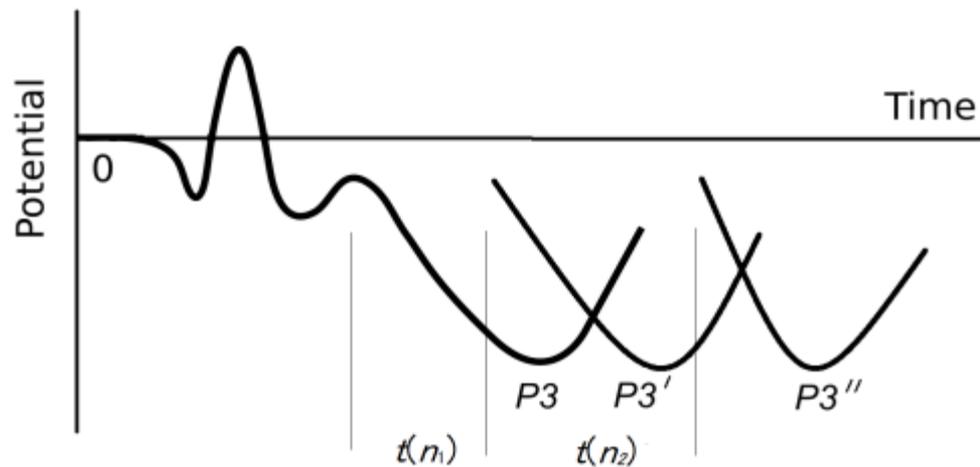
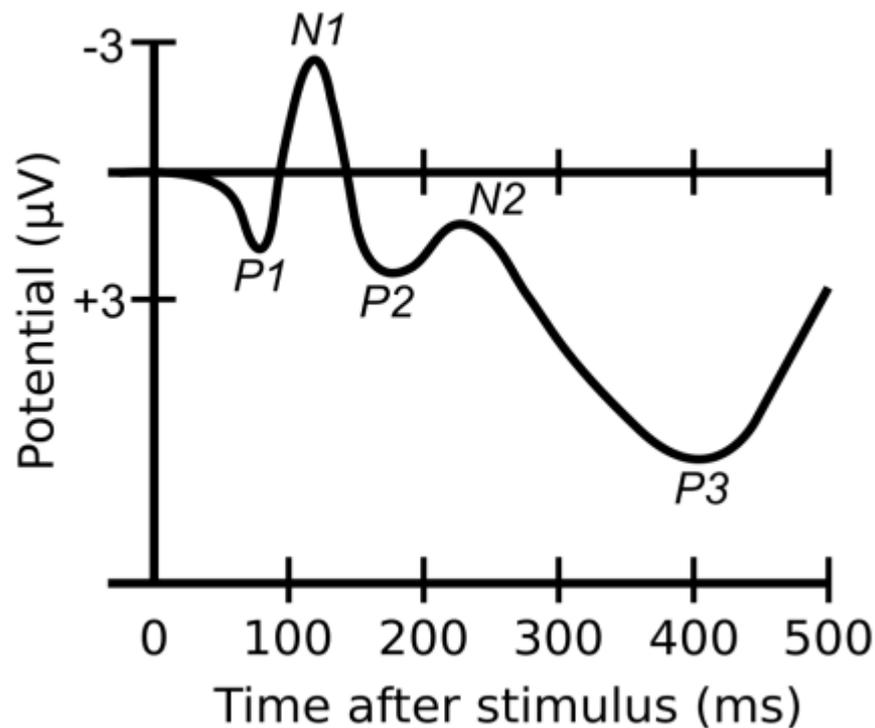
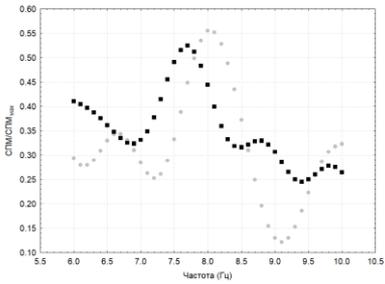
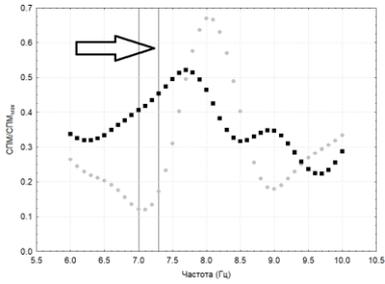
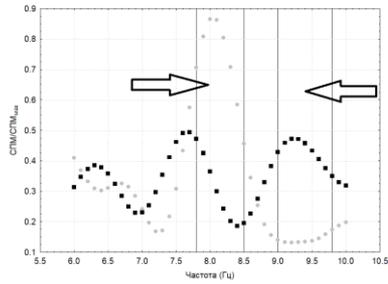
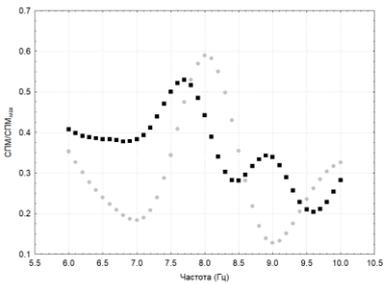
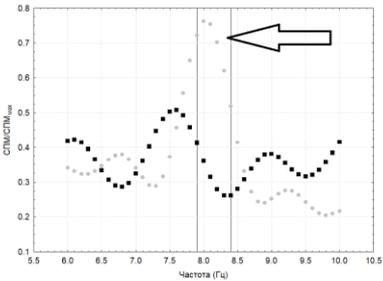
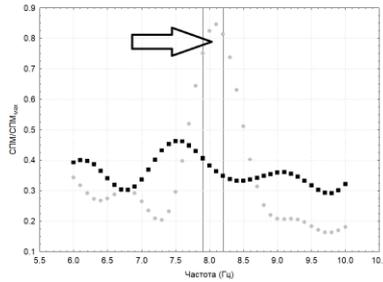
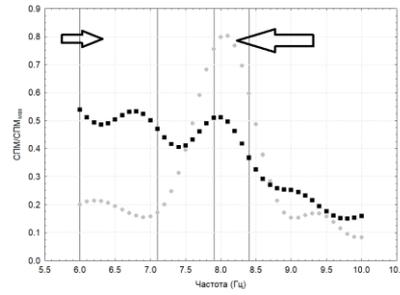
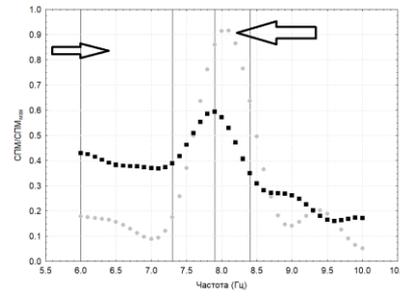
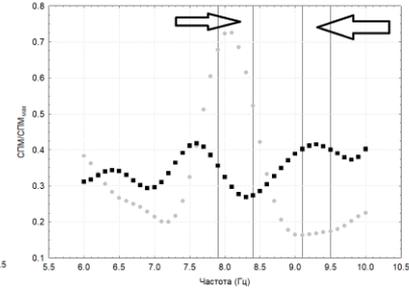
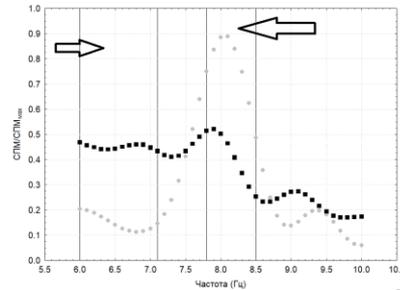
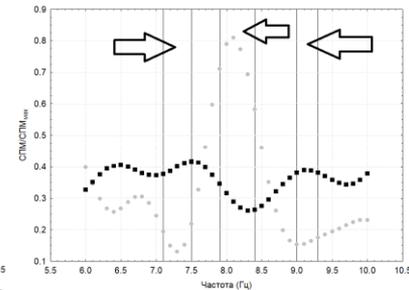


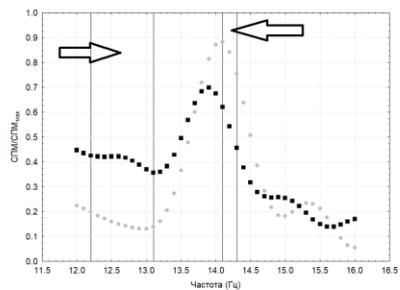
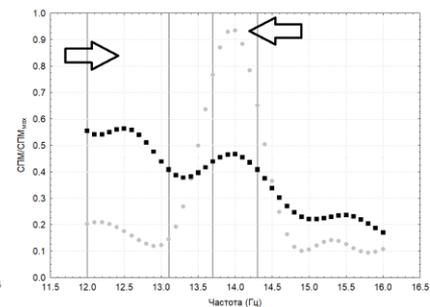
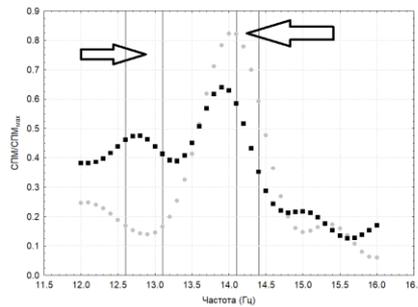
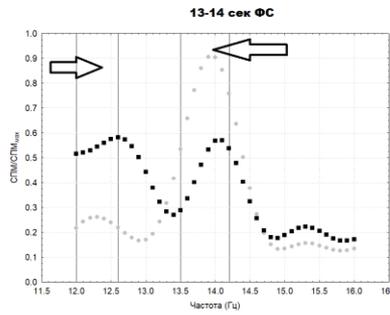
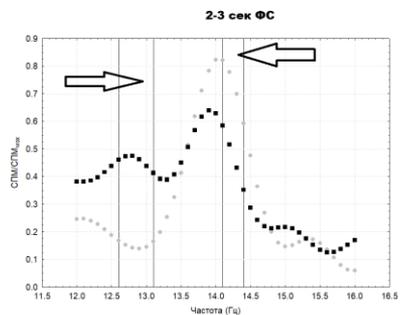
Fig. 2. Additions of the P300 signals with offsets n_1, n_2, \dots

Амплитуда/ буква	40 мкВ	20 МкВ	10 МкВ	5МкВ
А	100%/100%	100%/100%	82.3%/98%	41.17%/100%
Б	100%/100%	100%/100%	98.04%/100%	39.21%/100%
В	100%/98%	100%/97%	51.76%/97.96%	11.76%/97%
Г	100%/100%	75.68%/100%	29.41%/100%	11.76%/100%
Д	100%/100%	96.08%/96%	60.78%/100%	33.33%/11%
Е	100%/100%	92.15%/996%	50.98%/100%	25.49%/98%

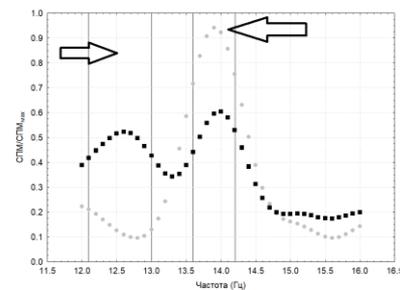
2-3 сек ФС**13-14 сек ФС****O1****O2****Oz****P3****P4****Pz**

Ковариационные спектры при ФС 8 Гц, рассчитанные в окрестности частоты фотостимуляции, затылочные отведения. Кластер 1 обозначен серыми маркерами, кластер 2 – черными маркерами. Стрелками между двумя вертикальными маркерами обозначена область статистически значимых различий между значениями двух ковариационных спектров

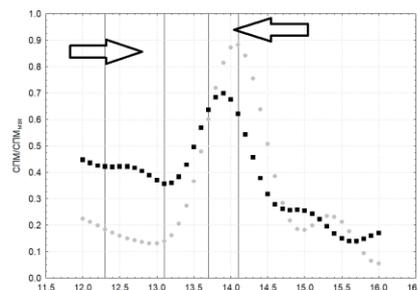
Ковариационные спектры при ФС 8 Гц, рассчитанные в окрестности частоты фотостимуляции, теменные отведения.



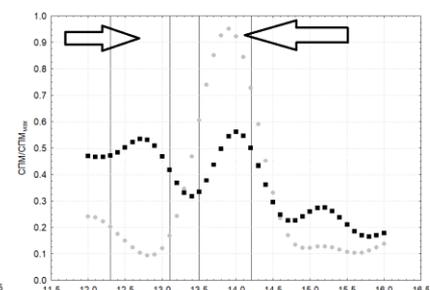
O1



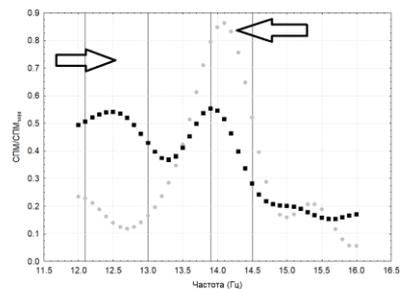
O2



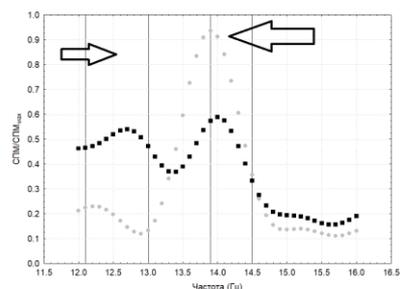
P3



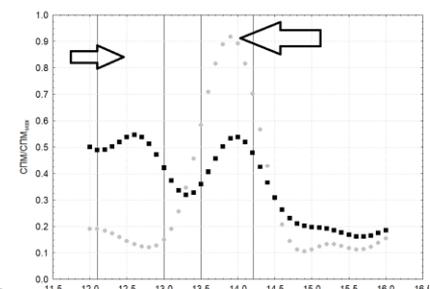
P4



Oz



Pz

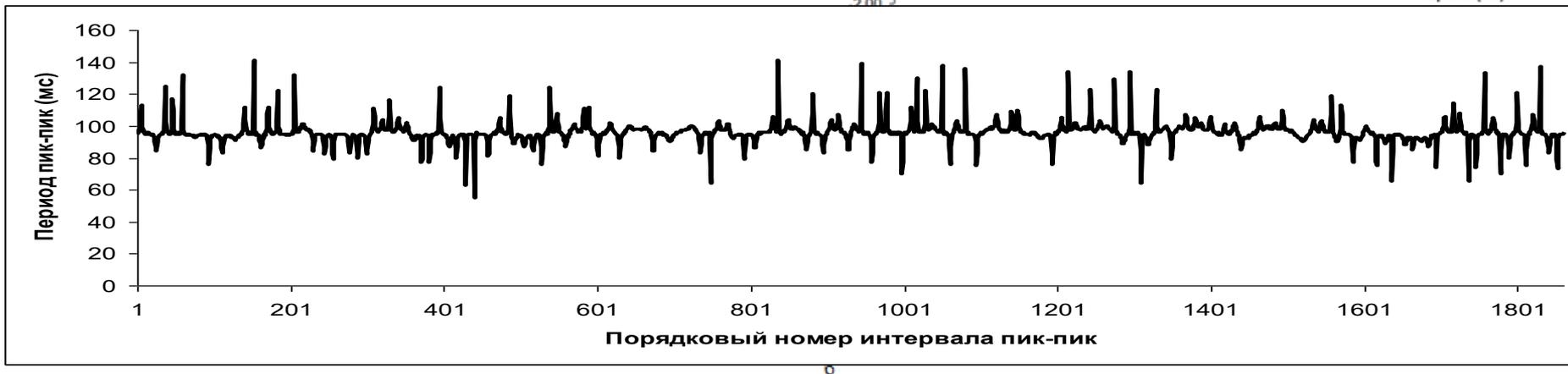


Ковариационные спектры при
ФС 14 Гц, рассчитанные в
окрестности частоты
фотостимуляции, затылочные
отведения.

Ковариационные спектры при ФС 14 Гц,
рассчитанные в окрестности частоты
фотостимуляции, теменные отведения.

Ковариационные спектры при ФС 14 Гц, рассчитанные в окрестности частоты фотостимуляции, теменные отведения. Обознач

Модуляция Мю ритма



Корреляции общего числа случаев частотной модуляции
в зависимости от успешного выполнения команды

Correlations of the total number of frequency modulation cases depending
on a successful command execution

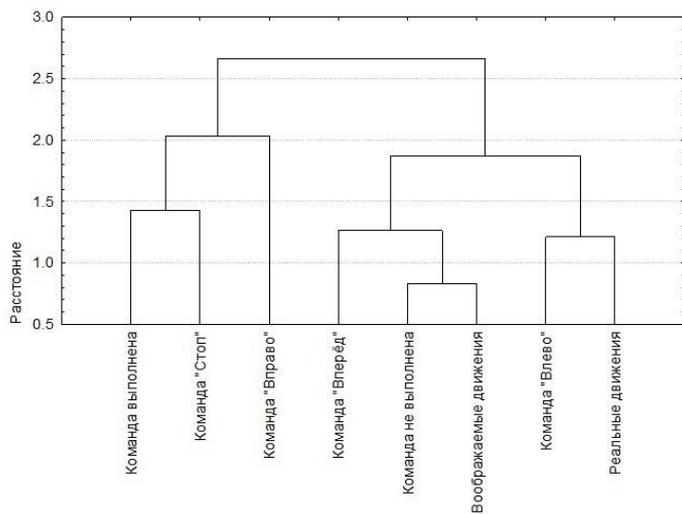
		7-10 Гц Hz		9-12 Гц Hz		12-15 Гц Hz		15-20 Гц Hz		20-25 Гц Hz	
		НЧ LF	ВЧ HF	НЧ LF	ВЧ HF	НЧ LF	ВЧ HF	НЧ LF	ВЧ HF	НЧ LF	ВЧ HF
7-10 Гц Hz	НЧ LF		♦		■						
	ВЧ HF	▼		■	♦					■	
9-12 Гц Hz	НЧ LF		•		♦						
	ВЧ HF			▼		■		■			
12-15 Гц Hz	НЧ LF				•	♦		♦			
	ВЧ HF			•		▼		♦		■	
15-20 Гц Hz	НЧ LF				•		▼	♦			
	ВЧ HF			•		▼		▼		■	
20-25 Гц Hz	НЧ LF					•		•			♦
	ВЧ HF	▼	•		•					▼	

Примечания: 1. Выше главной диагонали таблицы располагаются данные, полученные при невыполнении команды, ниже – при выполнении.

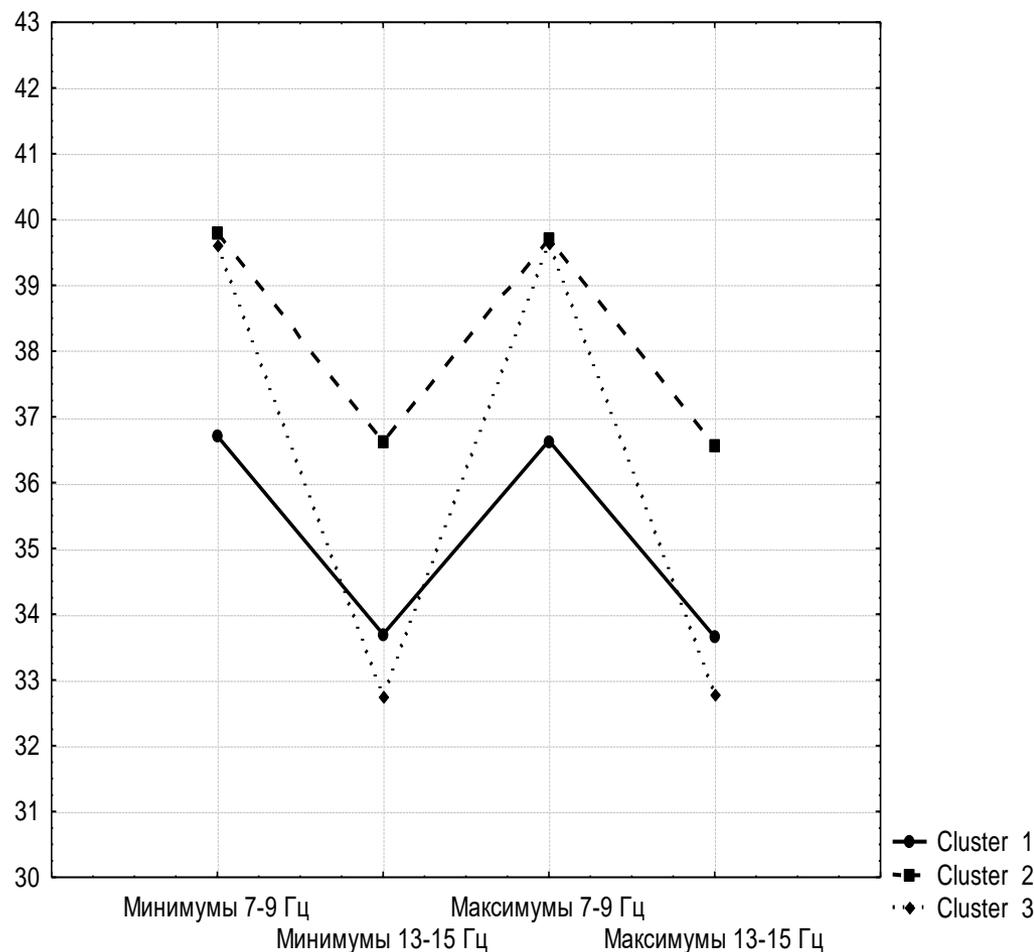
2. Отмечены только статистически значимые коэффициенты корреляции: ▼ – отрицательный для успешного выполнения команд, • – положительный для успешного выполнения команд, ♦ – отрицательный для невыполненной команды, ■ – положительный для выполненной команды.

Notes: 1. Above the main diagonal there are data obtained when the command was not executed, below – when it was executed.

2. Only statistically significant correlation coefficients are marked: ▼ – negative for a successful command execution, • – positive for a successful command execution, ♦ – negative for an unexecuted command, ■ – positive for an executed command.



Результаты кластерного анализа относительных значений СПМ в диапазоне 1-3 Гц.



- Сравнение между реальным и воображаемым движением показали, что различия касаются только состояния, когда испытуемый не достигал цели.
- При этом, в большей степени различия затрагивали эксперименты, где испытуемый должен был производить реальные, а не воображаемые движения.
- Чем большее число высокочастотных перестроек наблюдается на электроэнцефалограмме, тем меньшее число низкочастотных перестроек происходит на этой же эпохе анализа.

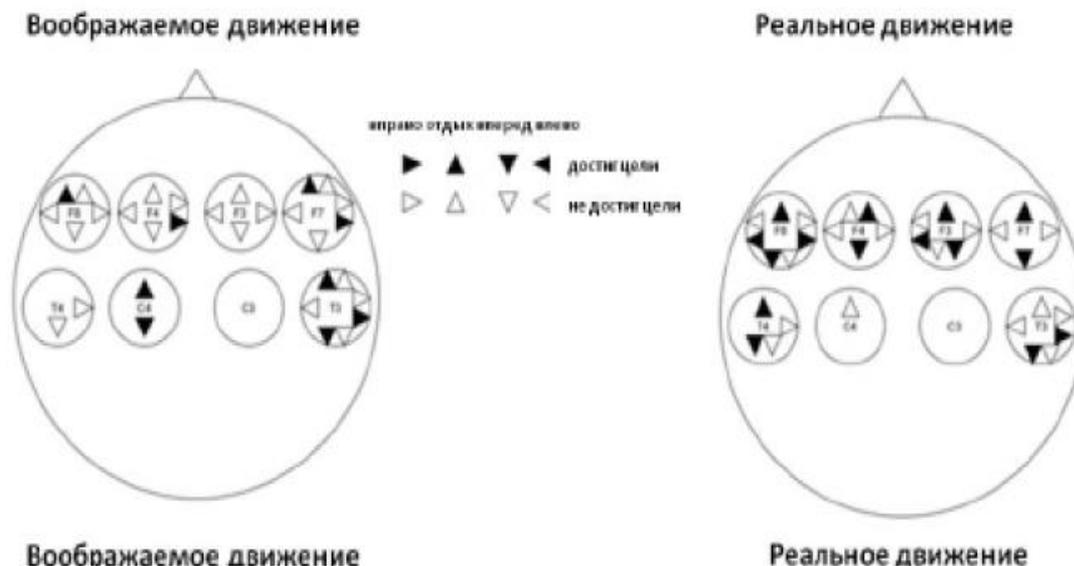
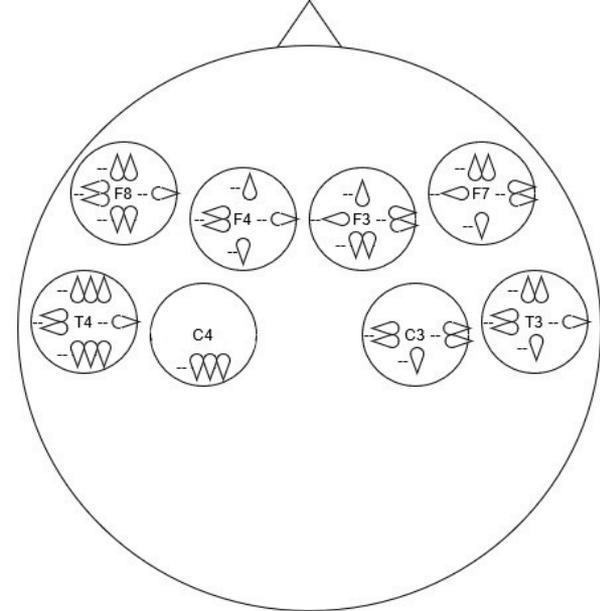
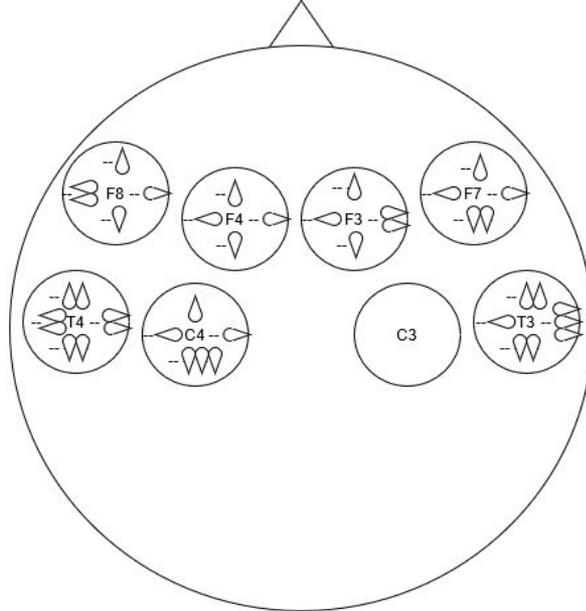


Рис.5. Различия между числом случаев низкочастотной и высокочастотной модуляции.

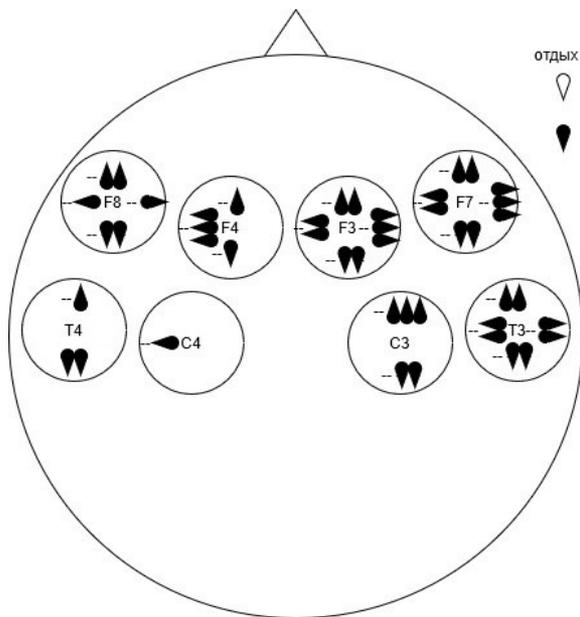
Примечание: критерий Вилкоксона для парных случаев; отмечены значения для $p < 0,05$.



реальное движение

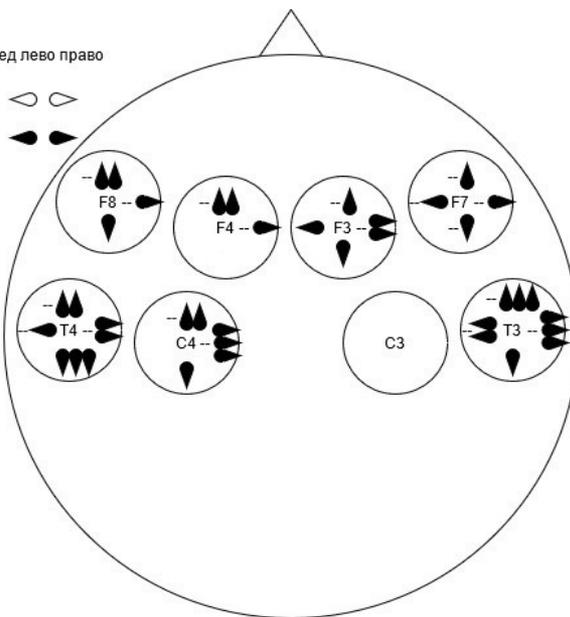


мысленное движение



реальное движение

отдых вперед лево право

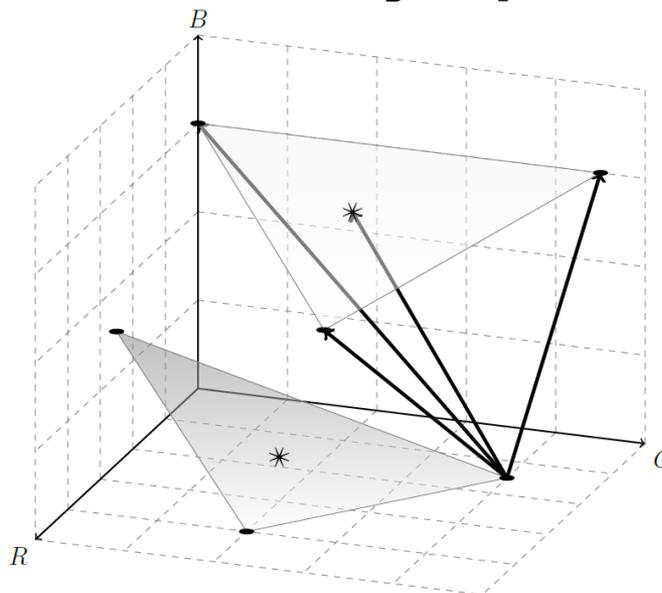


мысленное движение

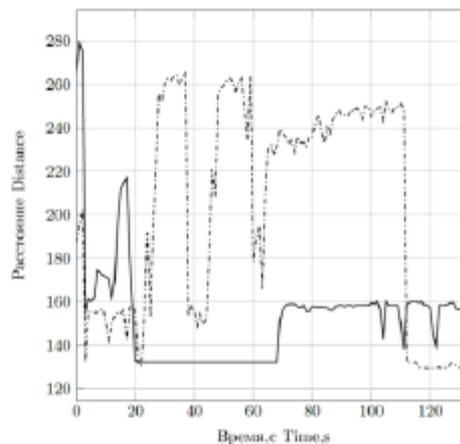
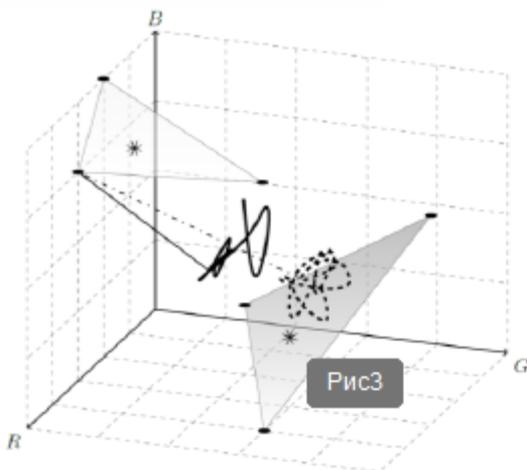
- Статистически значимые коэффициенты корреляции по Спирмэну между числом ВЧ (сверху) и НЧ (снизу) модуляций.
- *Примечание:* Один символ – $p < 0,05$, символа $p < 0,01$, $p < 0,001$. Наличие «-» обозначает отрицательную корреляцию, отсутствие – положительную. Черный маркер соответствует выполнению команды, контурный маркер – невыполнению команды.

Непроизвольно управляемые

Точка Торричелли (S) треугольника ABC и поостренные оси между предпочитаемыми и избегаемыми цветами.



-  Треугольник, вершинами которого являются предпочитаемые цвета
-  Треугольник, вершинами которого являются избегаемые цвета
-  Точки Ферма-Торричелли
-  Субъективные оси



-  Треугольник, вершинами которого являются предпочитаемые цвета
Triangle whose vertices are preferred colors
-  Треугольник, вершинами которого являются избегаемые цвета
Triangle whose vertices are avoidable colors
-  Точки Торричелли
Torricelli Points
-  С нарушенем обратной связи
Without feedback
-  Расстояния до предпочитаемого цвета (без обратной связи)
Distances to preferred color (without feedback)
-  С обратной связью
With feedback
-  Расстояния до предпочитаемого цвета (с обратной связью)
Distances to preferred color (with feedback)

Рис. 3. Оценка расстояния от траектории изменения цвета на экране монитора до одного из предпочитаемых цветов

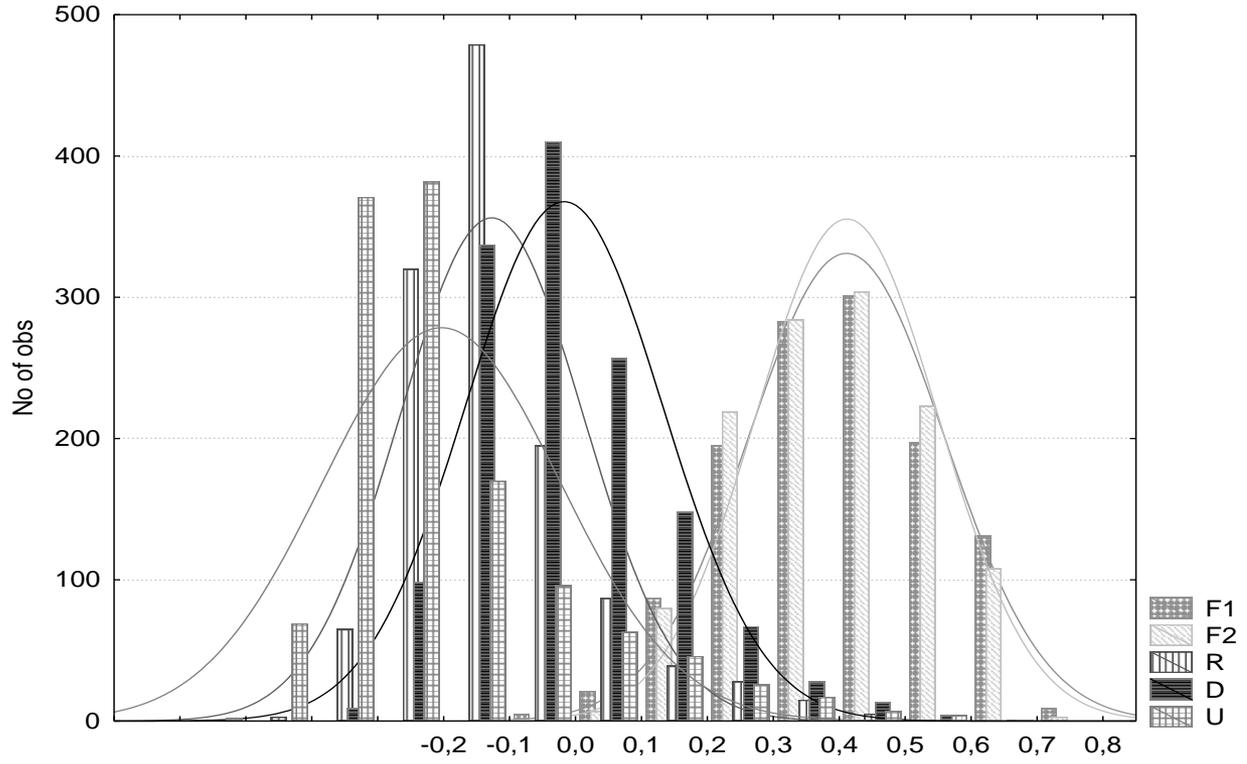
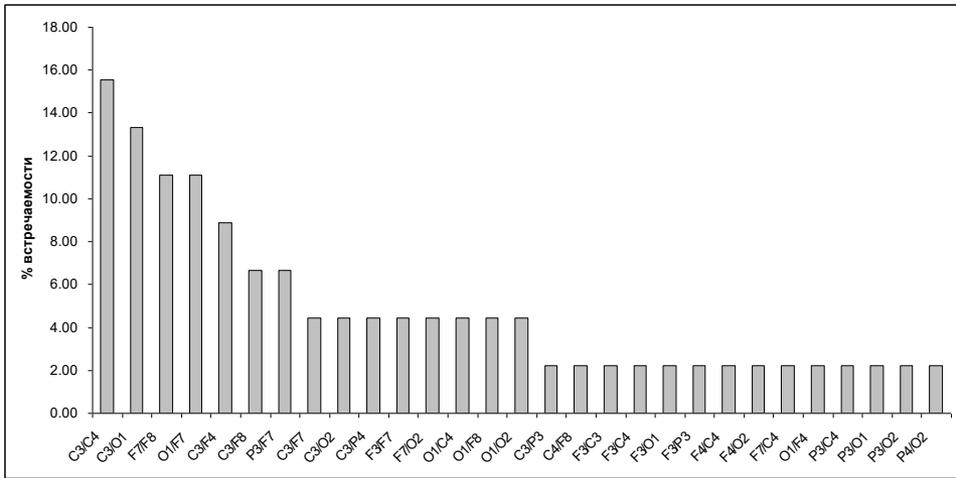
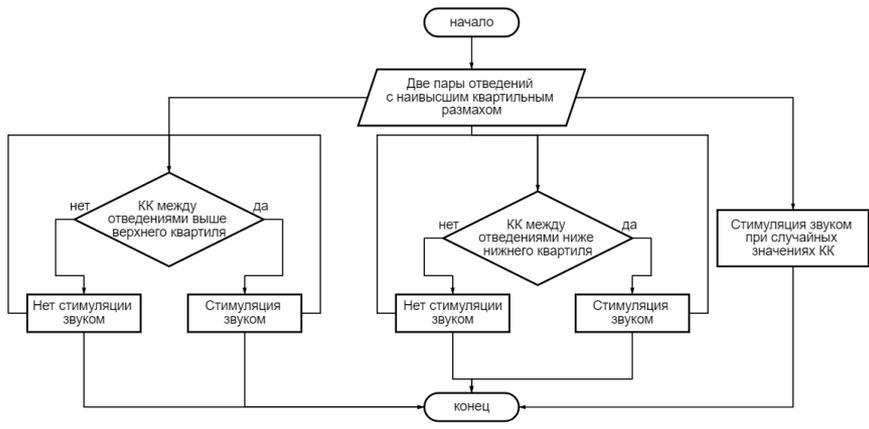
Группа траекторий в зависимости от увеличения или приближения к точкам в трехмерном пространстве RGB, соответствующим предпочитаемым цветам

Group of trajectories depending on zoom or approximation to the points in three-dimensional RGB space corresponding to the preferred colors

		Q1		Q4	
		M (M±m)	SD (M±m)	M (M±m)	SD (M±m)
Увеличение расстояния (n=36) Increase in distance (n=36)	Наличие обратной связи With feedback	196±11	15,3±2,1	215±11***	8,6±1,6***
	Отсутствие обратной связи Without feedback	208±11●●●	16,2±2,4	213±12	11,1±1,9*
Уменьшение расстояния (n=43) Decrease in distance (n=43)	Наличие обратной связи With feedback	235±14◆	14,3±1,9◆◆◆	220±14***	6,9±1,6***
	Отсутствие обратной связи Without feedback	223±15●	14,7±2,0	220±16	10,8±1,7●

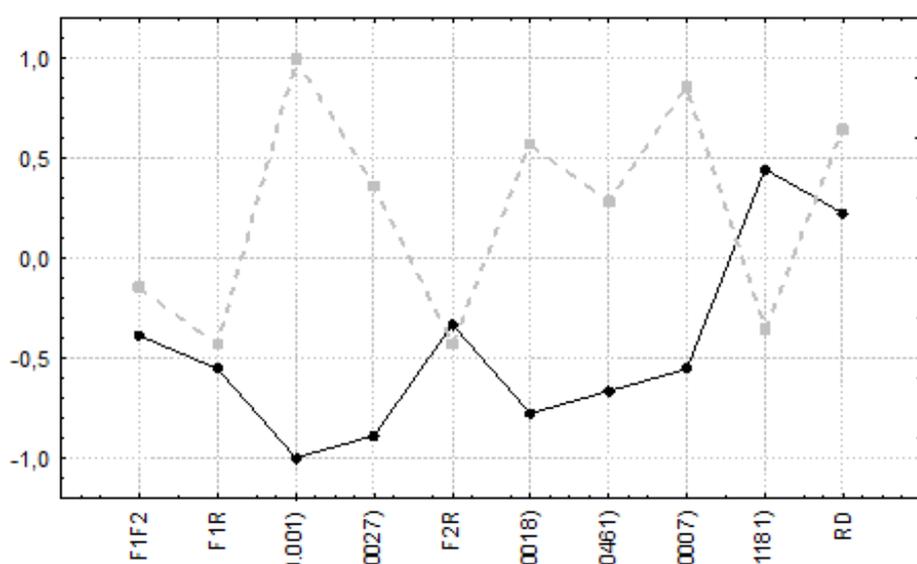
Примечание. * – $p < 0,05$, *** – $p < < 0,001$ для сравнения между квантилями; ● – $p < 0,05$, ●●● – $p < < 0,001$ для сравнения групп с отсутствием и наличием обратной связи; ◆ – $p < 0,05$, ◆◆◆ – $p < < 0,001$ для сравнения между группами уменьшивших и увеличивших расстояние до точек, соответствующих предпочитаемым цветам.

для 33 испытуемых было получено 132 наблюдения, из которых только 79 продемонстрировали статистически значимые изменения от первого к четвертому квантилю.

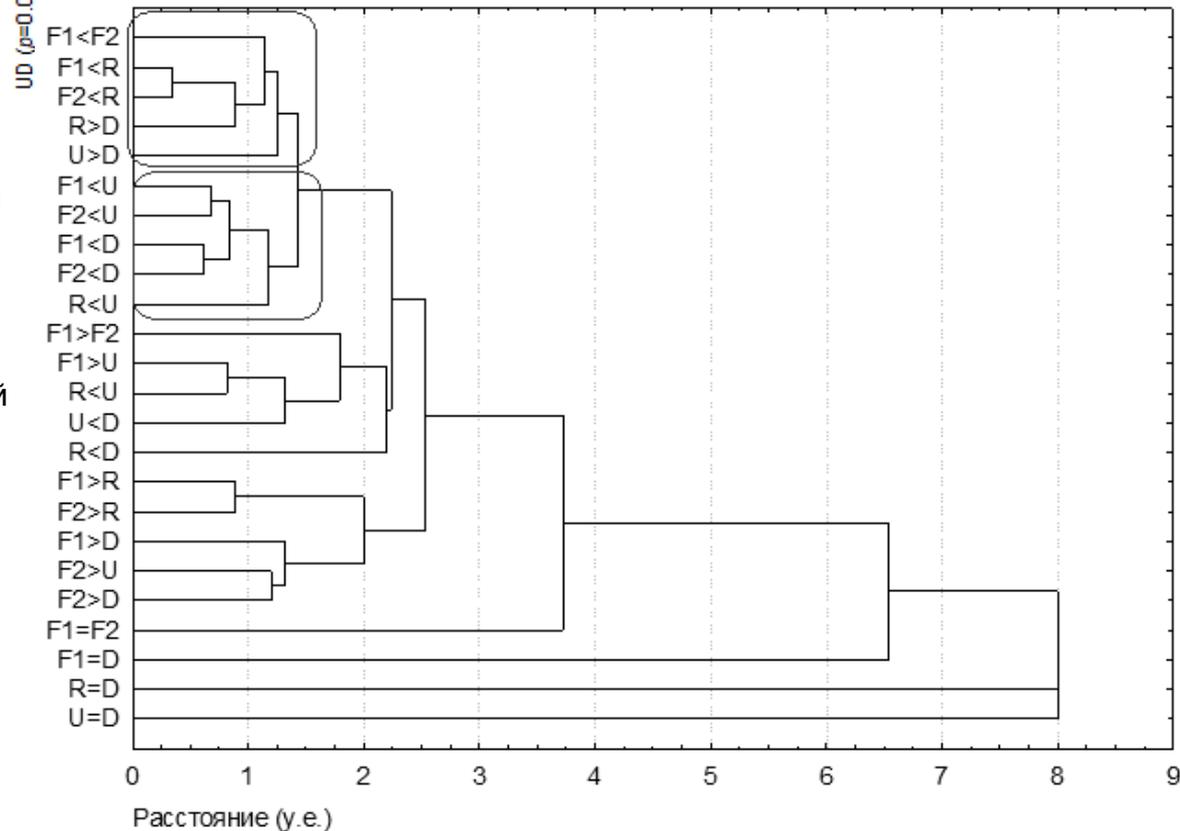


Примечание: F1, F2 – фоновая запись, R – случайная звуковая стимуляция, U – звуковая стимуляция выше верхнего квартиля, D – звуковая стимуляция ниже нижнего квартиля.

Определение ОС



- Выявлены изменение распределения КК приводящее к увеличению средних показателей при звуковой стимуляции, при этом, в случае ОС направленной на увеличение КК таковые превосходят значения КК в эксперименте, направленном на уменьшение КК.
- наличие изначально относительно высокой связи между двумя пулами нейронов по двум отведениям для ЭЭГ приводят к реакции на звуковую стимуляцию в виде четкой дифференциации между случайными сигналами в канале обратной связи, и упорядоченными сигналами, связанными с текущим уровнем корреляции.



- По итогам факторного анализа было выявлено, что общий итог точности работы с мио интерфейсом коррелирует со шкалами: RE - (Role-Emotional) Ролевое функционирование, обусловленное эмоциональным состоянием и MH2 — (MentalHealth) психологический компонент здоровья (MH+RE+SF+VT) по оп роснику sf-36. Из чего следует, что чем больше у испытуемого ограничена повседневная деятельность его физическим состоянием и 70 ниже показатели общего психологического здоровья, тем хуже освоение интерфейса.

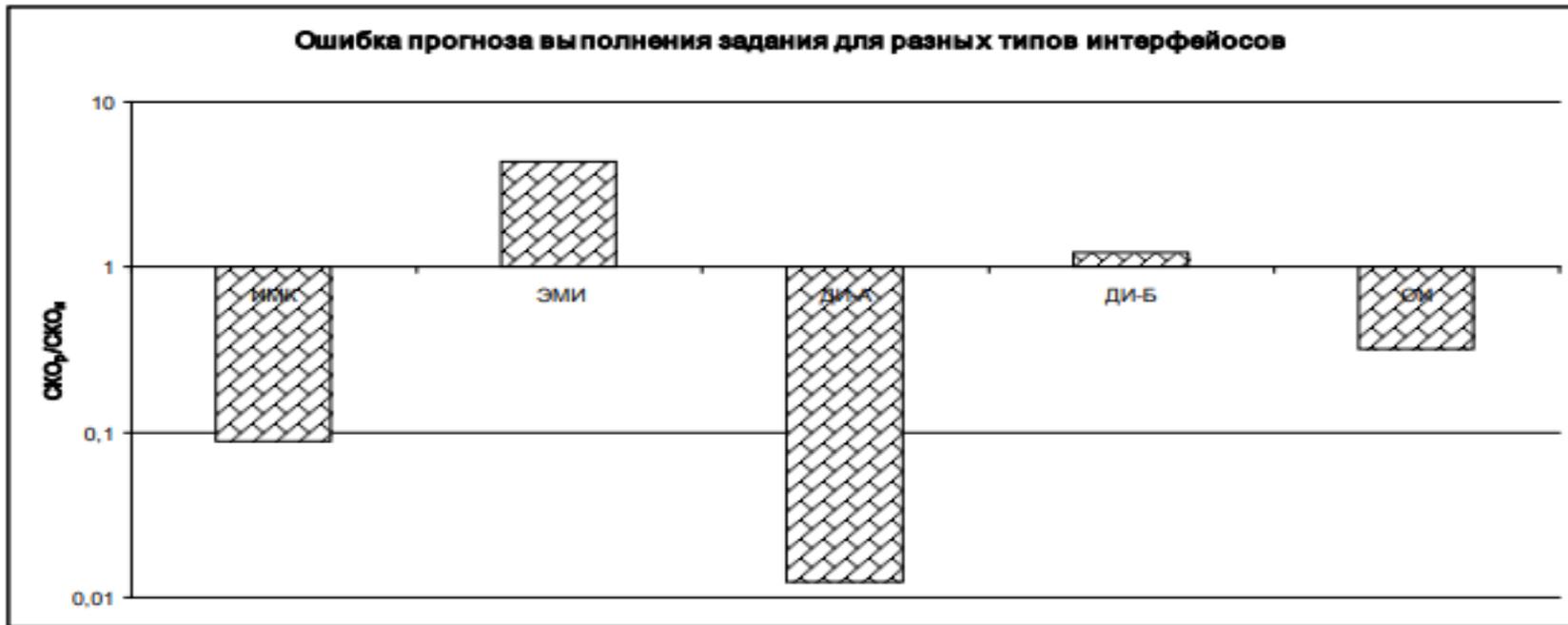


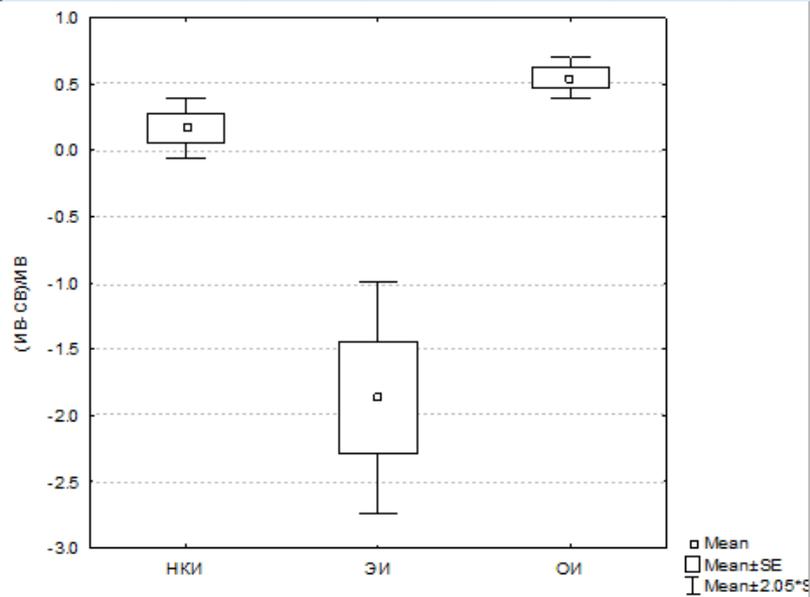
Рис.1. Ошибка прогноза выполнения задания для разных типов интерфейсов

Шкалы времени

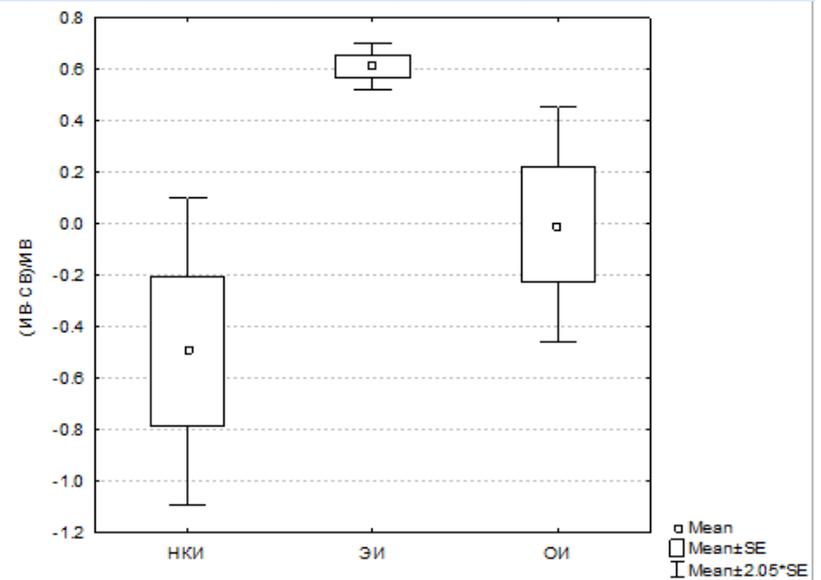
Объективные и субъективные показатели времени набора одной команды для исследуемых человеко-машинных интерфейсов.

		Объективное время выполнения одной команды (с)	Субъективное время выполнения одной команды (с)
НКИ (ИМК)	Среднее	16.91±0.90	13.92±1.76
	Медиана	13.50±0.64	-
	Минимум	6.53±0.35	8.98±1.21
	Максимум	46.18±4.16	23.50±3.27***
ЭМИ	Среднее	7.21±0.40	6.05±0.74*
	Медиана	4.85±0.40	-
	Минимум	1.70±0.18	2.88±0.37
	Максимум	36.11±3.53	10.79±1.37****
ОИ	Среднее	12.01±0.73	7.72±1.61****
	Медиана	7.93±0.50	-
	Минимум	3.94±0.04	3.58±0.62
	Максимум	44.92±2.96	15.33±3.01***

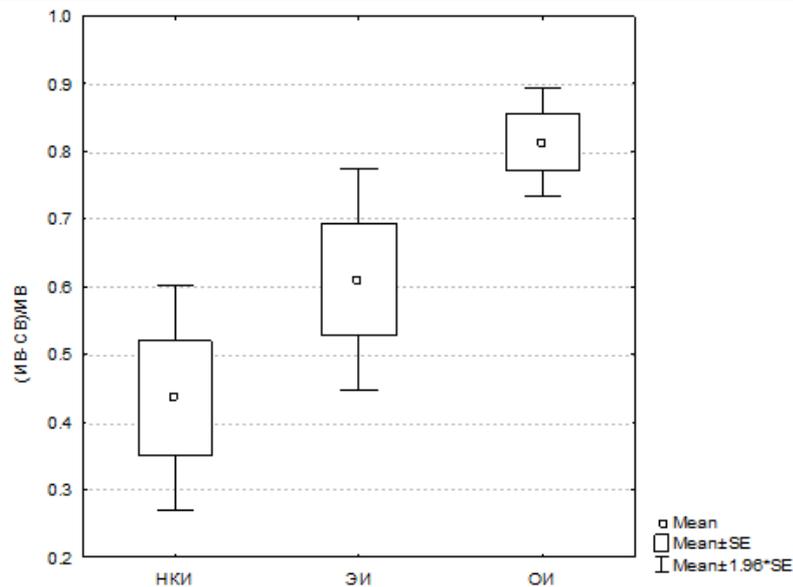
Примечание: * $p < 0.05$, *** $p < 0.001$, **** $p < 0.001$



а

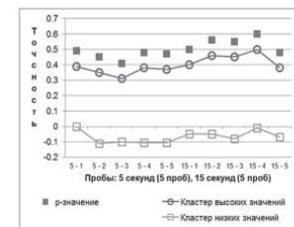


б

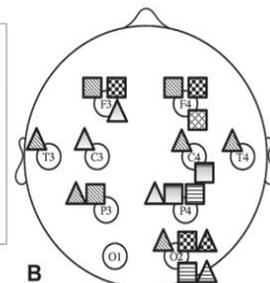


в

Значения $(IB-SB)/IB$. а – средние значения IB и SB , б – минимальные значения IB и SB , в – максимальные значения IB и SB



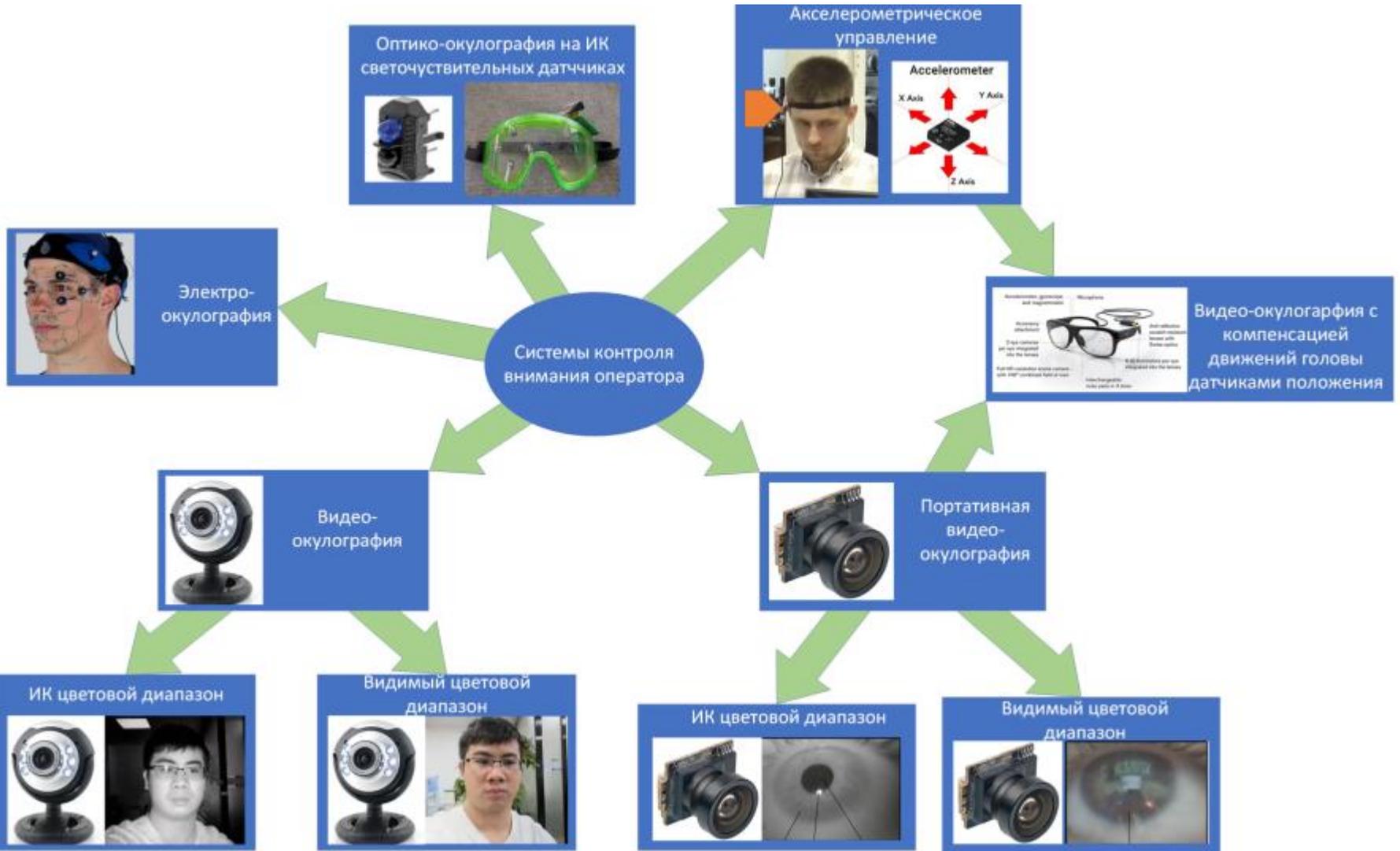
А



В

Рисунок 1. А - кластеры высоких и низких значений при шкалировании коротких интервалов времени. * - $p < 0,001$. В - различия СПМ между кластерами: \blacksquare - проба 5 секунд, тета-ритм; \triangle - проба 15 секунд, тета-ритм; \square - проба 5 секунд, альфа-ритм; \triangle - проба 15 секунд, альфа-ритм; \blacksquare - проба 5 секунд, бета-нижний; \triangle - проба 15 секунд, бета-нижний; \square - проба 5 секунд, бета-верхний; \triangle - проба 15 секунд, бета-верхний; \square - проба 5 секунд, бета-верхний; \triangle - проба 15 секунд, бета-верхний. Различия достоверны: $p < 0,01$.

Окулоинтерфейсы



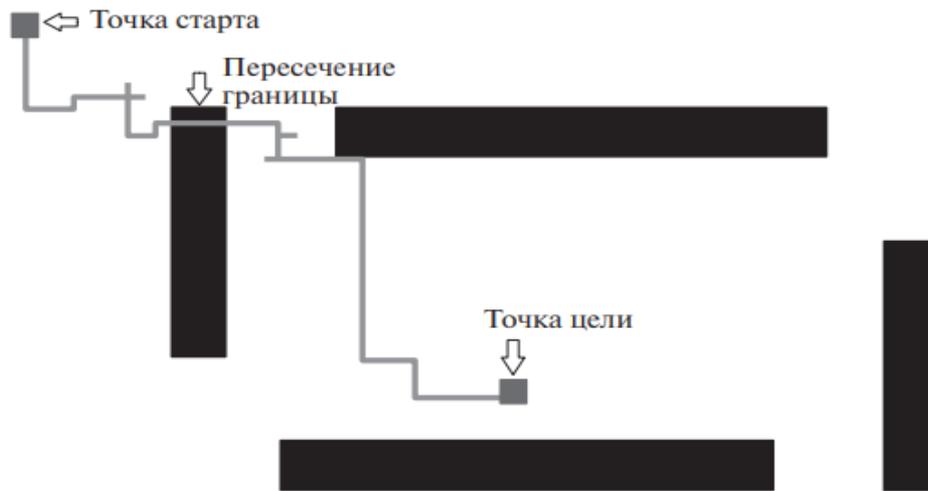


Рис. 1. Пример траектории движения пользователя от точки старта к точке финиша с ошибкой в виде попадания в области черных прямоугольников.

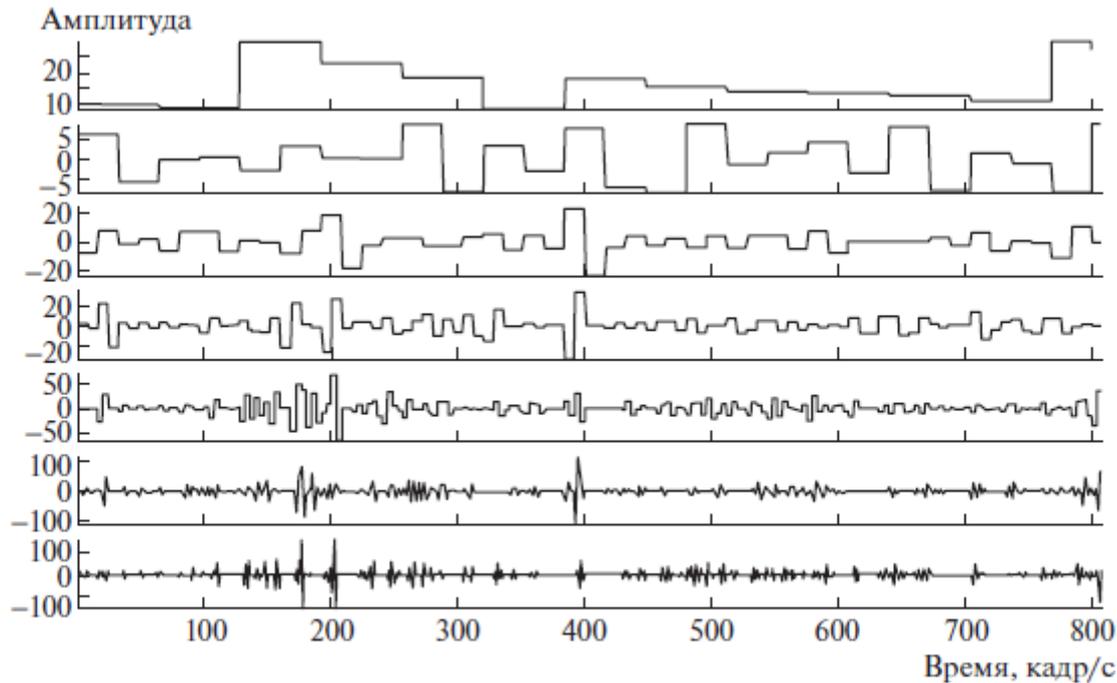


Рис. 2. Результаты вейвлет-преобразования расстояния перемещения зрачка. Пояснения в тексте.

высокие значения рабочей памяти оператора приводят к высоким значениям среднеквадратического отклонения расстояний, на которые перемещался зрачок. установлено, что высокоамплитудные движения глаз являются маркерами неуспешного овладения окулографическим интерфейсом, то становится понятной связь большого числа ошибок и низкой точности работы окулографического интерфейса для операторов с высокими показателями рабочей памяти.

Таблица 2. Различия *b*-последовательностей в зависимости от характеристик рабочей памяти

Значения памяти	Уровни ВП									
	<i>b1</i>		<i>b2</i>		<i>b3</i>		<i>b4</i>		<i>b5</i>	
	М*	СКО**	М	СКО*	М	СКО***	М	СКО**	М	СКО**
Средние (8)	-0.09 ± 0.11	11.62 ± 0.63	0.11 ± 0.12	9.63 ± 0.55	-0.10 ± 0.17	7.31 ± 0.45	0.16 ± 0.17	6.01 ± 0.35	-0.33 ± 0.21	4.33 ± 0.24
Низкие (6,7)	-0.01 ± 0.10	11.60 ± 0.56	-0.24 ± 0.16	10.57 ± 0.80	0.06 ± 0.15	7.81 ± 0.61	0.06 ± 0.20	6.66 ± 0.54	-0.10 ± 0.29	4.87 ± 0.44
Высокие (9,10)	-0.19 ± 0.06	13.63 ± 0.37	0.03 ± 0.08	11.74 ± 0.35	0.005 ± 0.11	9.68 ± 0.30	-0.06 ± 0.14	7.32 ± 0.21	-0.04 ± 0.11	5.78 ± 0.19

Примечание: критерий Краскела–Уоллиса (*** – $p \ll 0.001$, ** – $p < 0.01$, * – $p < 0.05$). М – среднее значение ряда, СКО – среднеквадратическое отклонение ряда.

Таблица 3. Проекция движения зрачка на ортогональные оси

Горизонталь		Вертикаль	
Среднее <i>b1</i>	-0.03 ± 0.09	Среднее <i>b1</i>	-0.02 ± 0.05
СКО <i>b1</i>	16.46 ± 0.46	СКО <i>b1</i>	10.06 ± 0.33***
Среднее <i>b2</i>	-0.07 ± 0.07	Среднее <i>b2</i>	-0.08 ± 0.05
СКО <i>b2</i>	9.84 ± 0.25	СКО <i>b2</i>	6.36 ± 0.19***
Среднее <i>b3</i>	-0.04 ± 0.07	Среднее <i>b3</i>	-0.02 ± 0.05
СКО <i>b3</i>	5.94 ± 0.15	СКО <i>b3</i>	3.88 ± 0.11***
Среднее <i>b4</i>	-0.08 ± 0.05	Среднее <i>b4</i>	-0.05 ± 0.04
СКО <i>b4</i>	3.29 ± 0.09	СКО <i>b4</i>	2.23 ± 0.07***
Среднее <i>b5</i>	-0.07 ± 0.04	Среднее <i>b5</i>	0.03 ± 0.03*
СКО <i>b5</i>	1.78 ± 0.05	СКО <i>b5</i>	1.25 ± 0.04***
Среднее <i>a6</i>	-0.05 ± 0.01	Среднее <i>a6</i>	-0.01 ± 0.01***
СКО <i>a6</i>	0.66 ± 0.02	СКО <i>a6</i>	0.54 ± 0.02***
Среднее <i>b6</i>	-0.02 ± 0.03	Среднее <i>b6</i>	0.02 ± 0.02
СКО <i>b6</i>	0.92 ± 0.03	СКО <i>b6</i>	0.71 ± 0.02

Примечание: критерий Краскела–Уоллиса (*** – $p \ll 0.001$, ** – $p < 0.01$, * – $p < 0.05$).

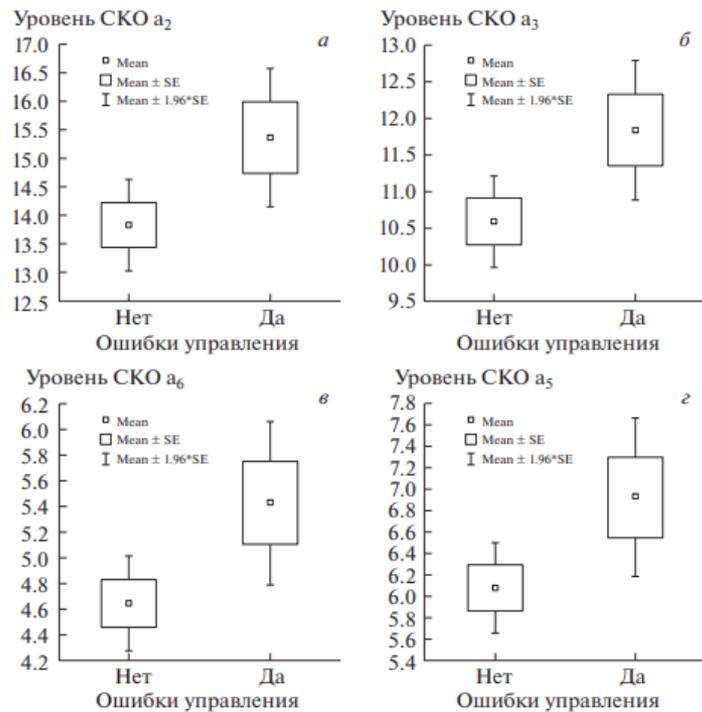


Рис. 3. Различия среднеквадратического отклонения для аппроксимирующих значений (а-последовательность) в зависимости от наличия ошибок в управлении. Различия статистически значимы для: а – $p = 0.0466$; б – $p = 0.0368$; в – $p = 0.0090$; г – $p = 0.0232$.

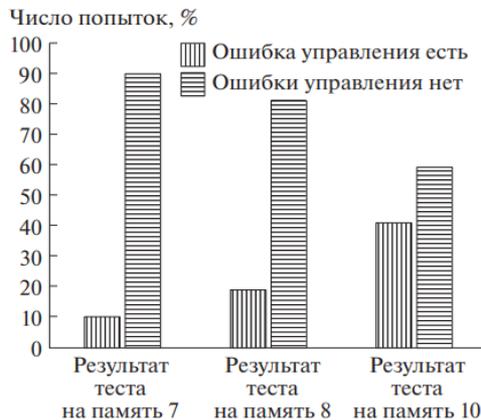


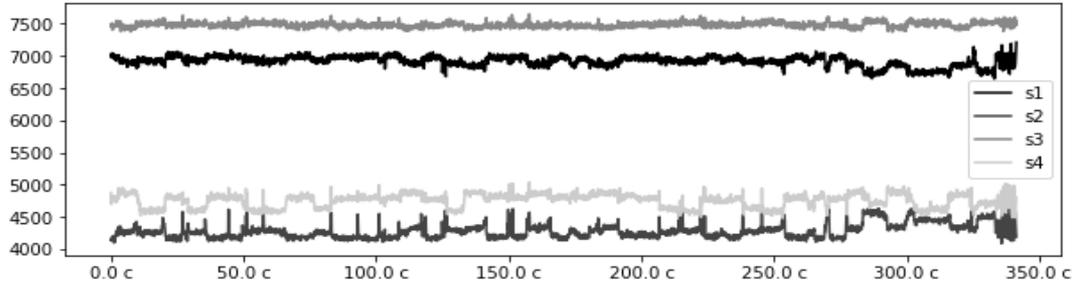
Рис. 4. Доля достигнувших цели в зависимости от показателей рабочей памяти ($p < 0.01$).

взаимосвязь между результатами теста на экстраверсию (тест Айзенка) и результатами успешного выполнения испытания ($p < 0.05$, $r = -0.39$), что свидетельствует о том, что экстраверты хуже достигают цели, вероятно, это обусловлено большей концентрацией внимания интровертов.

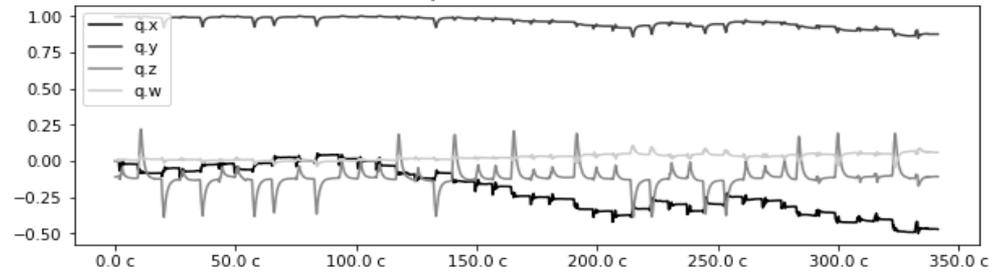
ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕРАЦИИ КОМАНД ДЛЯ ОКУЛОГРАФИЧЕСКИХ

ИНТЕРФЕЙСОВ В УСЛОВИЯХ ВЕСТИБУЛЯРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

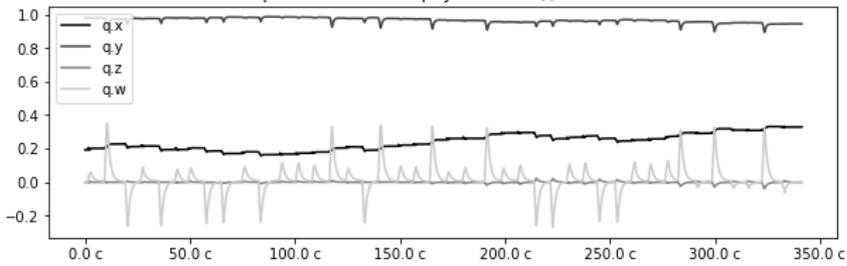
Уровень подсвеченности сенсоров окулографических очков



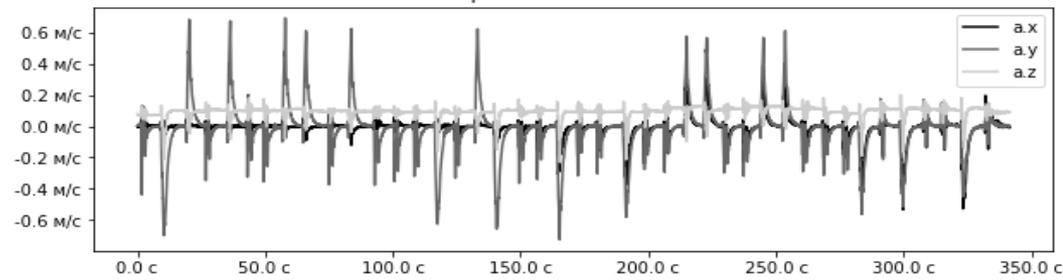
Компоненты кватерниона вращения датчика, закрепленного на голове



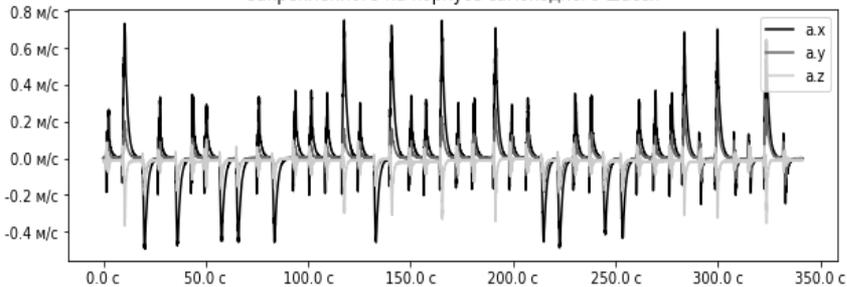
Компоненты кватерниона вращения датчика, закрепленного на корпусе самоходного шасси



Компоненты линейного ускорения датчика, закрепленного на голове

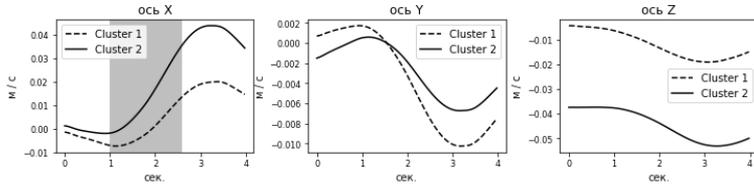


Компоненты линейного ускорения датчика, закрепленного на корпусе самоходного шасси

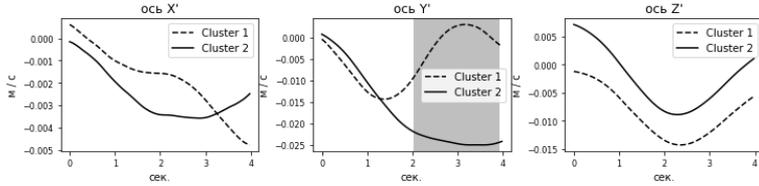


Вперед

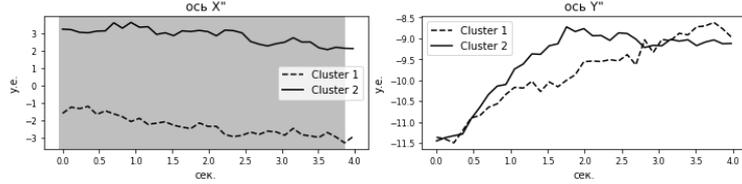
Движение самоходного шасси



Движение головы

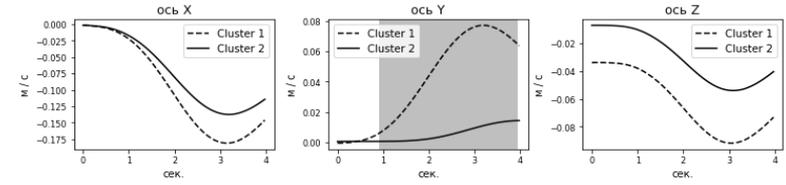


Углы отклонения глаза

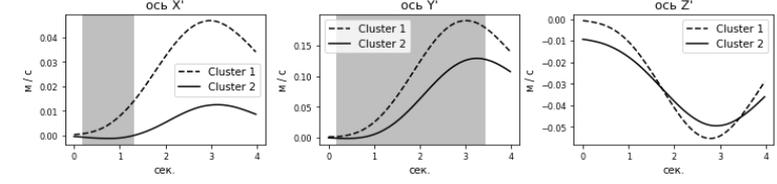


Влево

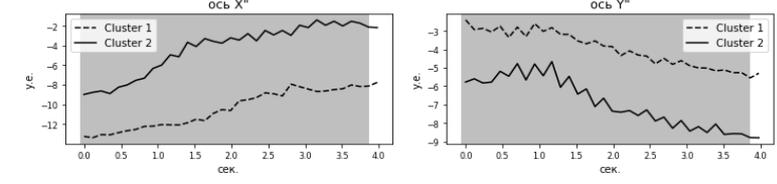
Движение самоходного шасси



Движение головы

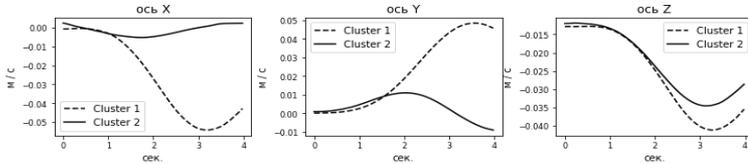


Углы отклонения глаза

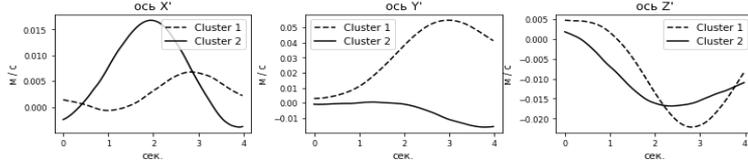


Назад

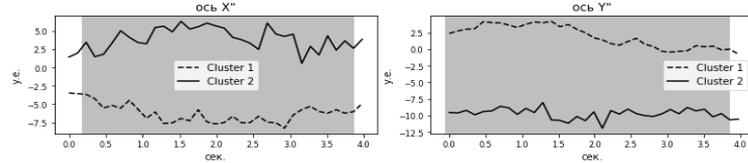
Движение самоходного шасси



Движение головы

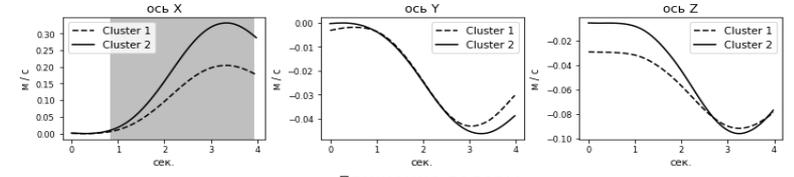


Углы отклонения глаза

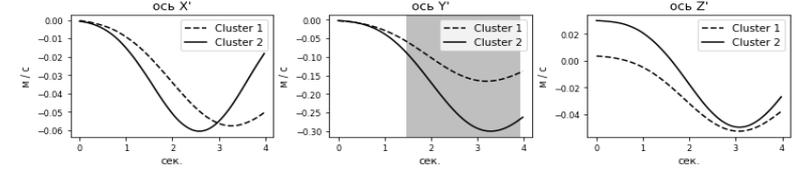


Вправо

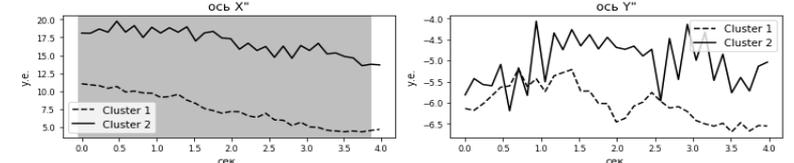
Движение самоходного шасси



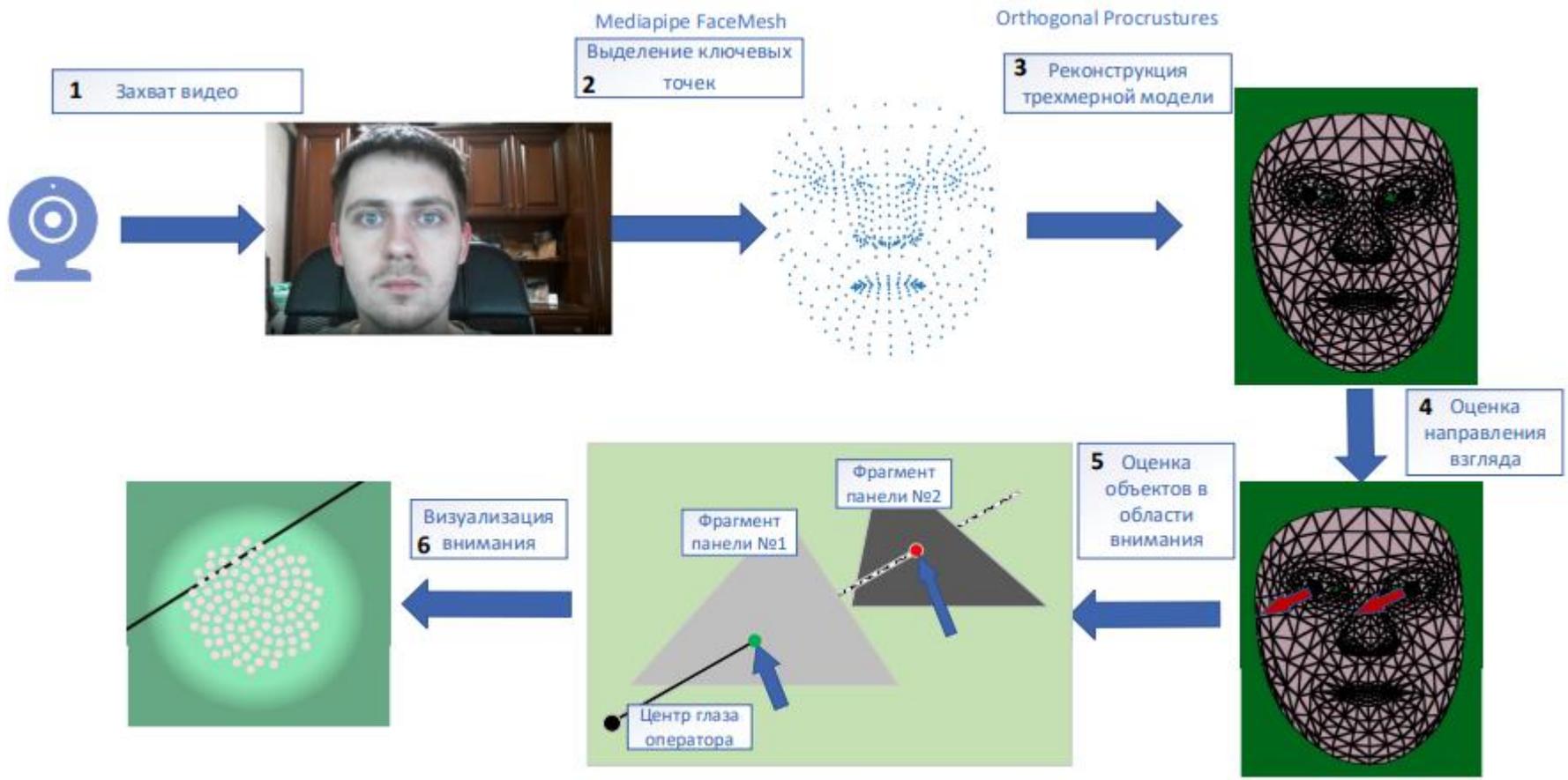
Движение головы



Углы отклонения глаза

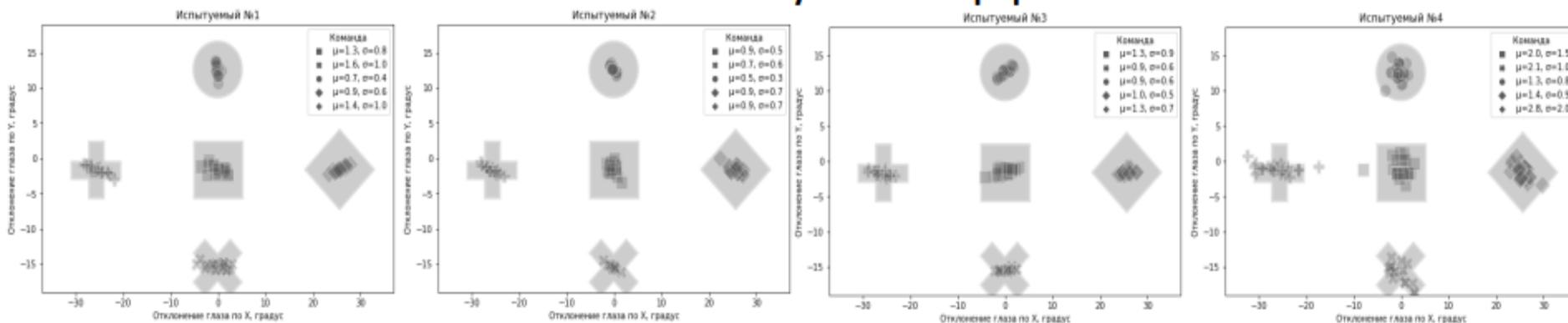


Привязка движения глаз к лицу

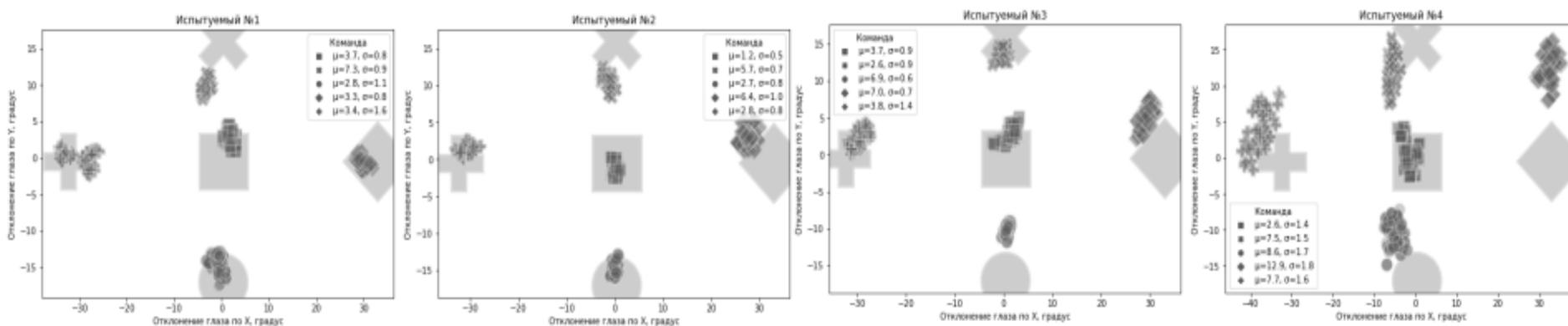


Пример результатов тестирования

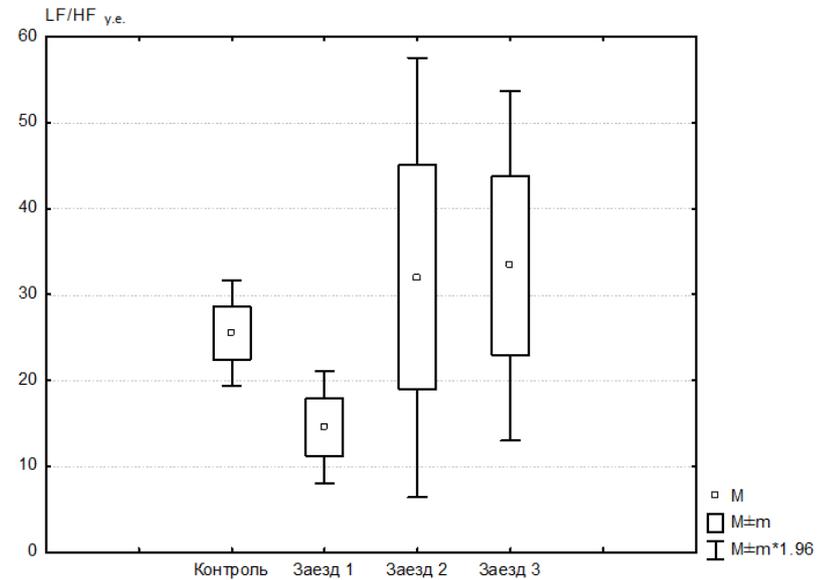
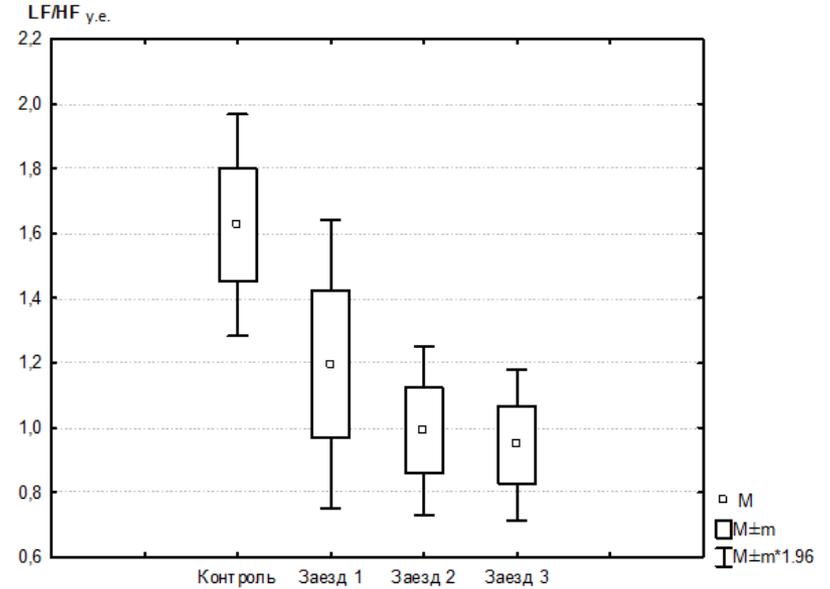
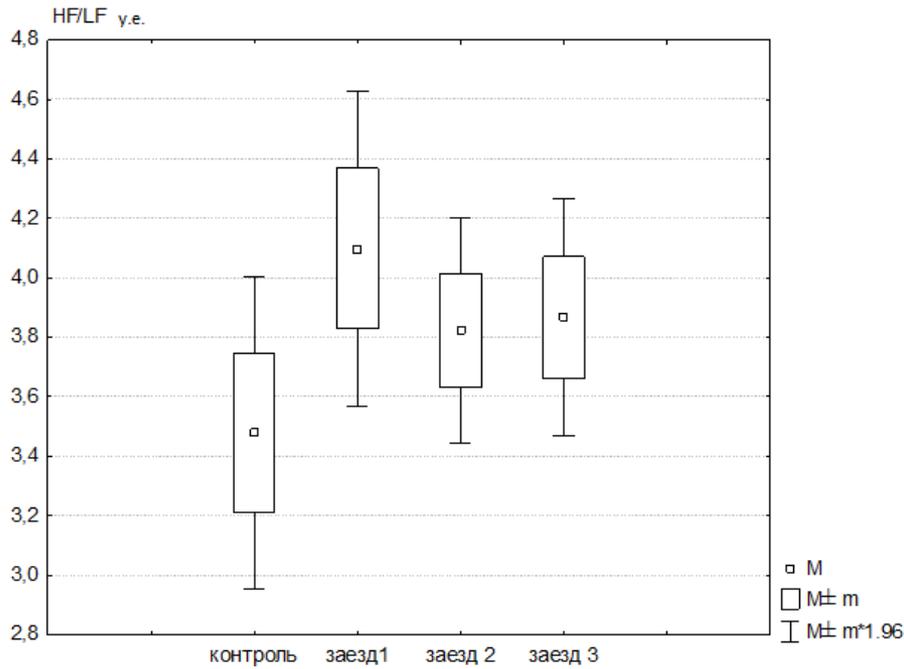
ИК оптико-окулоинтерфейс

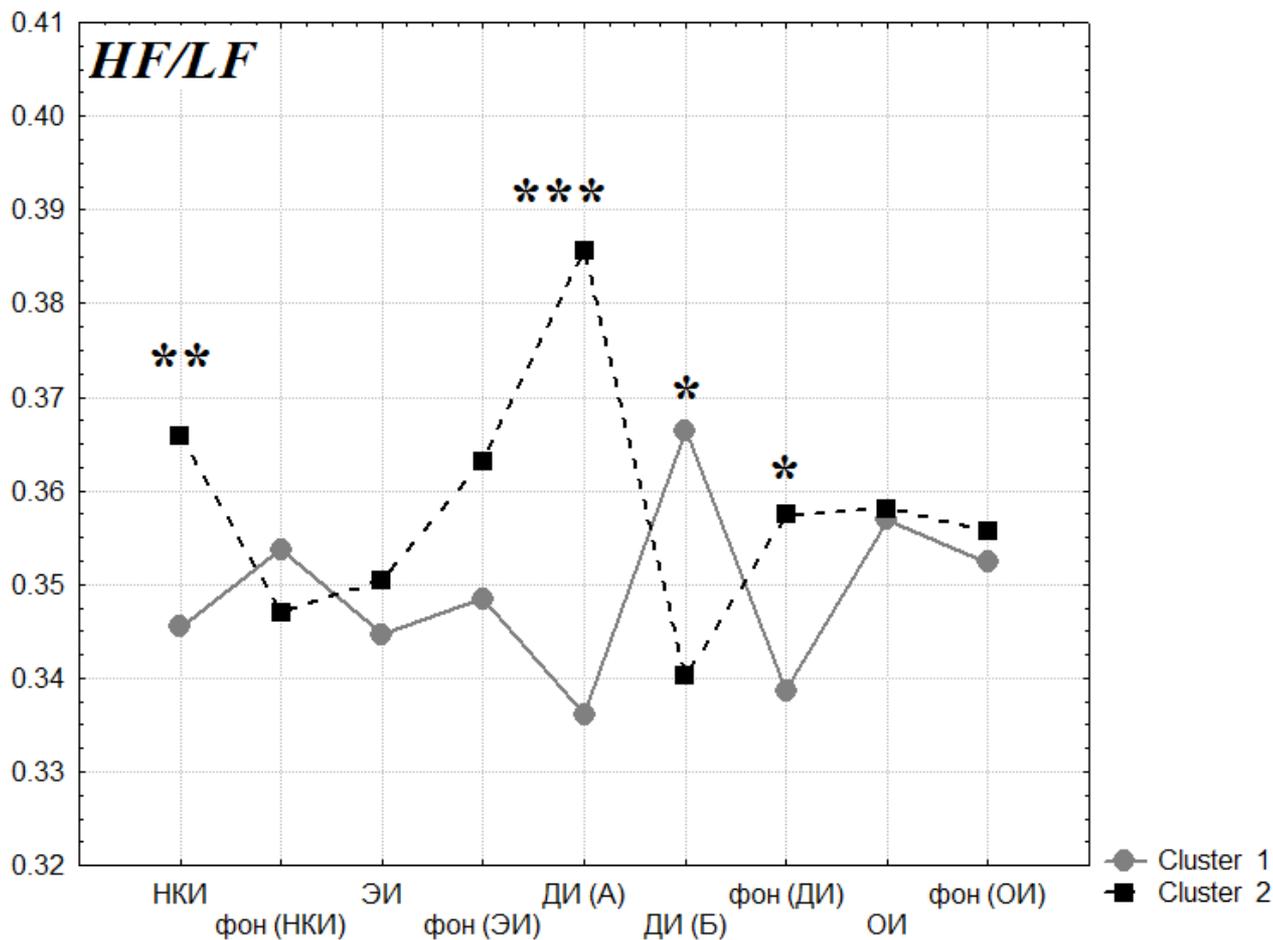


3D видео-окулоинтерфейс



Вегетативное обеспечение ОИ



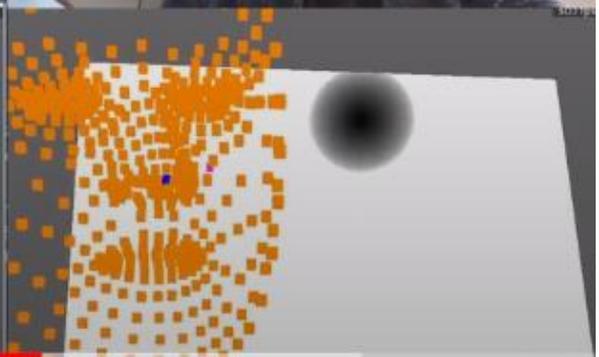
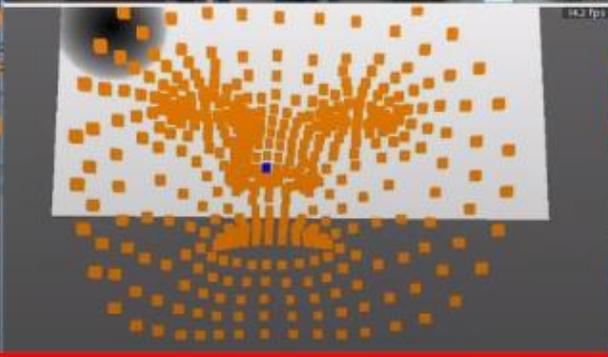


- наименьшее влияние на вегетативное обеспечение variability сердечного ритма оказывает ОИ. Дыхательный интерфейс, являясь простым в реализации и точным в применении, он требует изменение режима дыхания пользователя, что сказывается на его вегетативном статусе.
- Нейрокомпьютерный интерфейс подобно ОИ не продемонстрировал
- ЭИ так же достаточно выражено влияет на вегетативное управление ВСР в первую очередь, видимо, за счёт упреждающей регуляции при физической нагрузке.

Кластеры испытуемых полученных на основе оценки отношения СПМ в HF и LF диапазонах. ***

- $p < 0.001$, ** - $p < 0.01$, * - $p < 0.05$

Чтобы выйти из полноэкранного режима, нажмите Esc



Миоинтерфейсы

Камера дрона



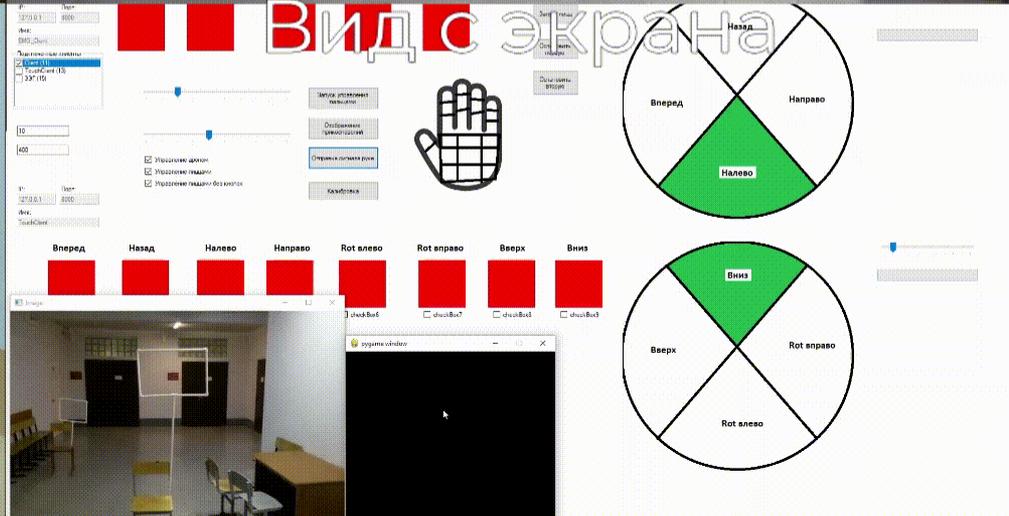
Дрон



Оператор



Вид с экрана



Классификация на основе диаграммы Воронова

- Диаграмма воронова строится по методу форчуна. Основная идея рекурсивного алгоритма заключается в использовании метода динамического программирования. Исходное множество точек S разбивается на два подмножества S_1 и S_2 для каждого из них строится диаграмма Вороного, а затем полученные диаграммы объединяются в одну.

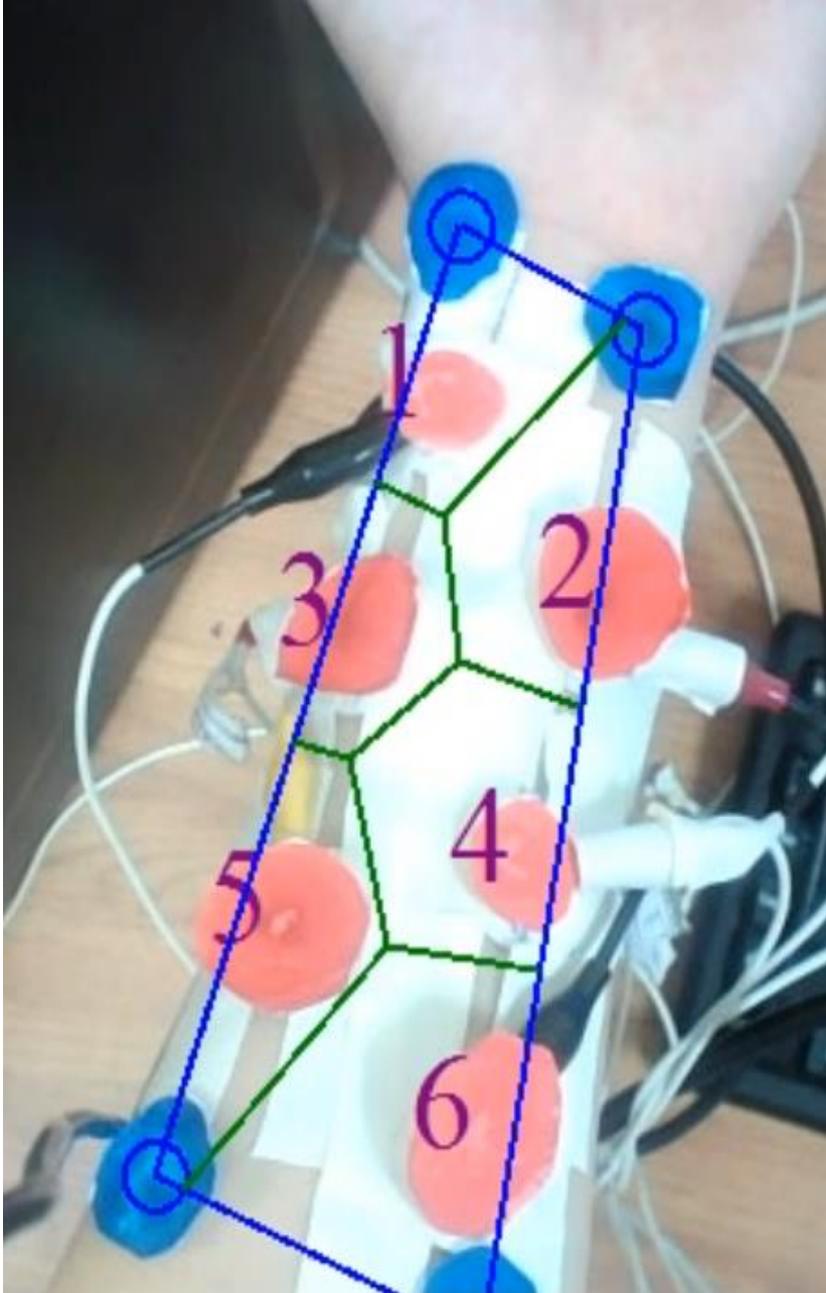


Рис 8. Пример визуализации

Внешний вид программы:

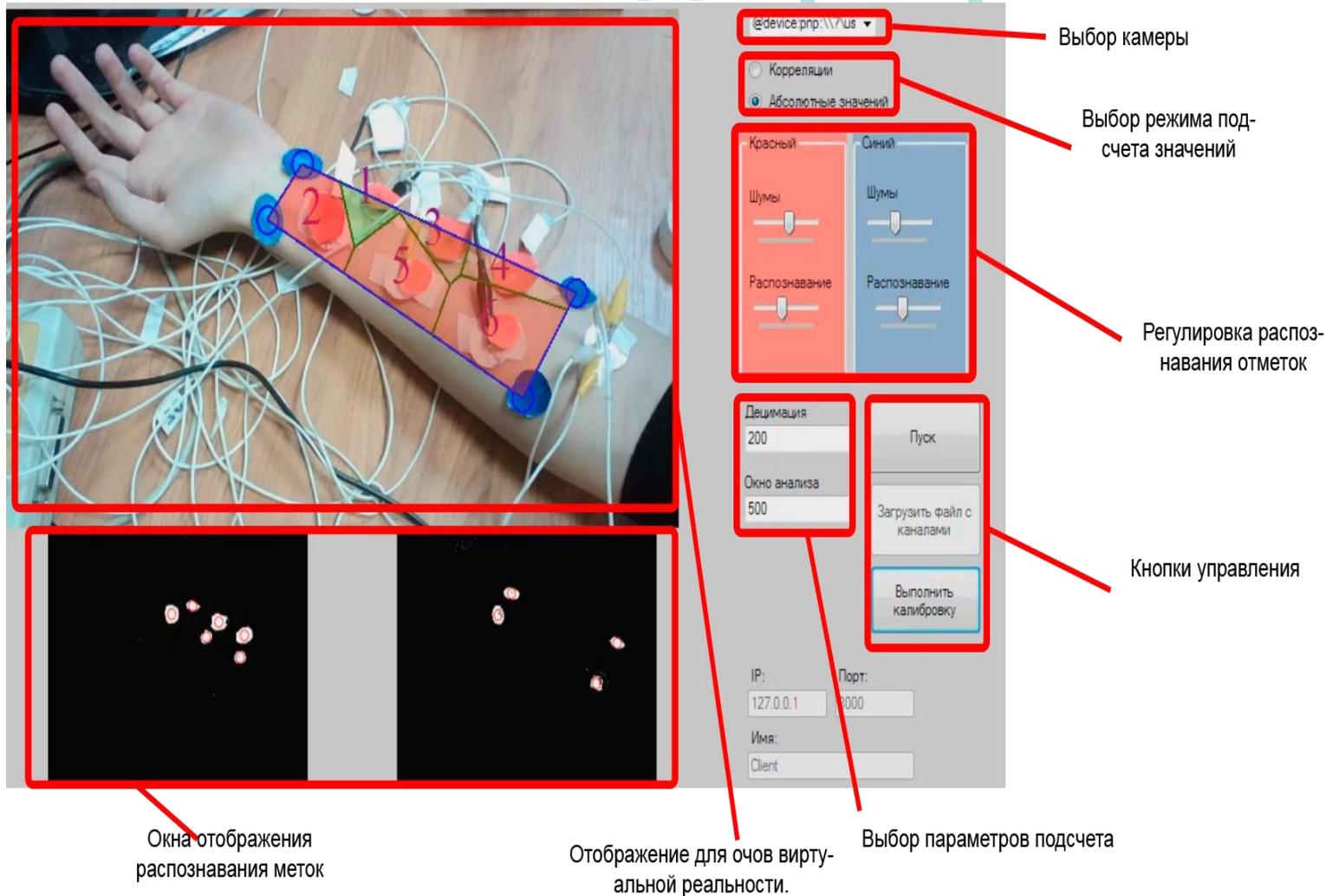


Рис 9. Интерфейс программы с визуализацией мышечной активности

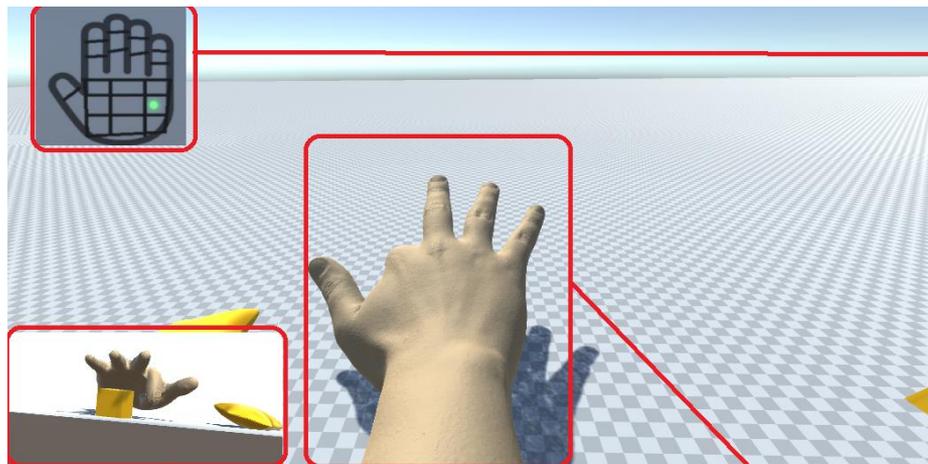
Вид из очков



Вид со стороны



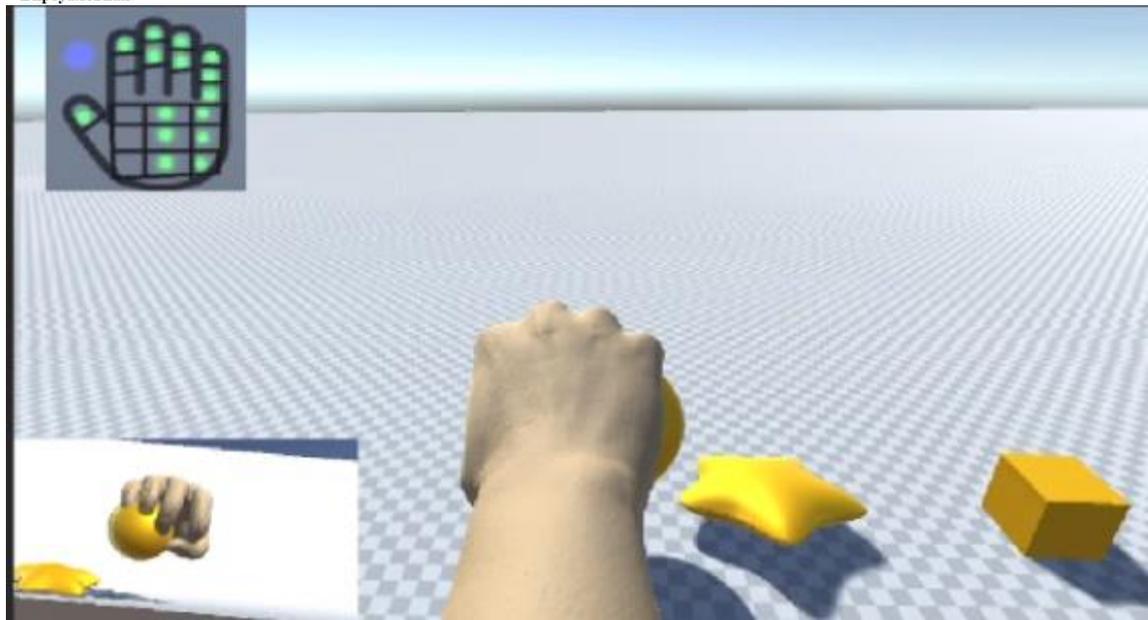
Рука обратная связь

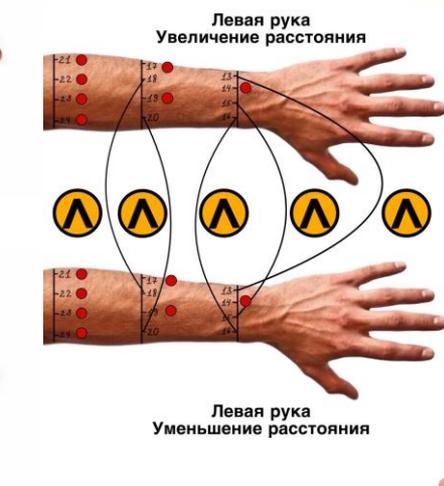
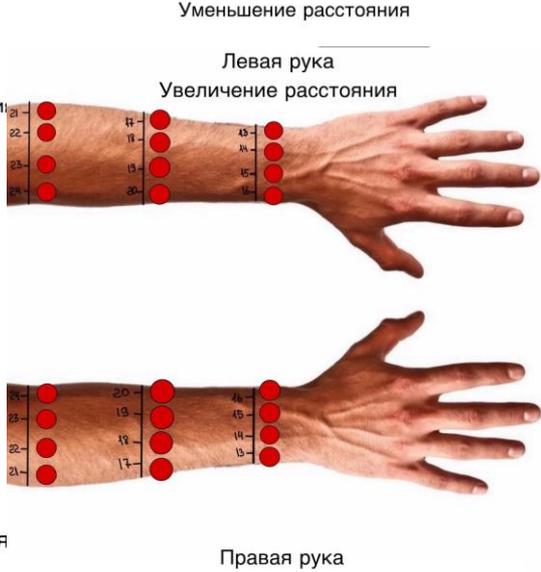
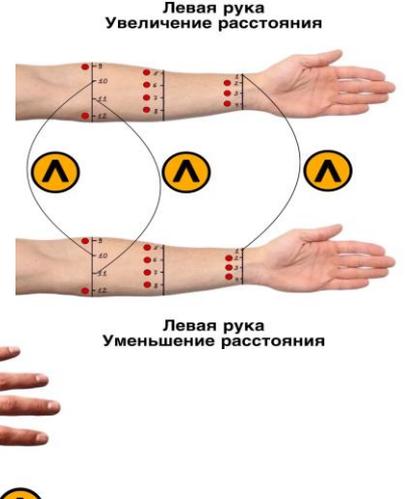
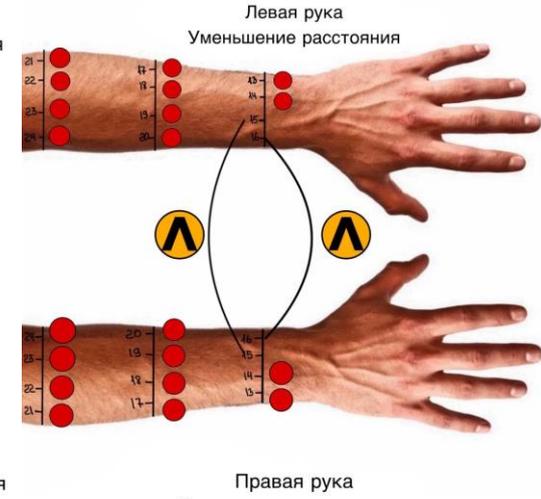
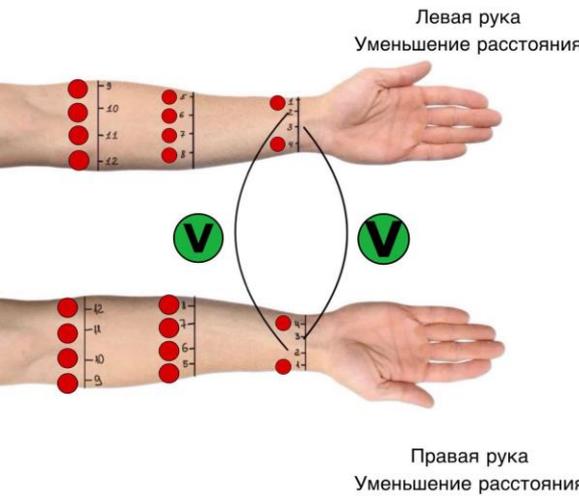


Индикатор
прикосновений

Вид спереди

Виртуальная





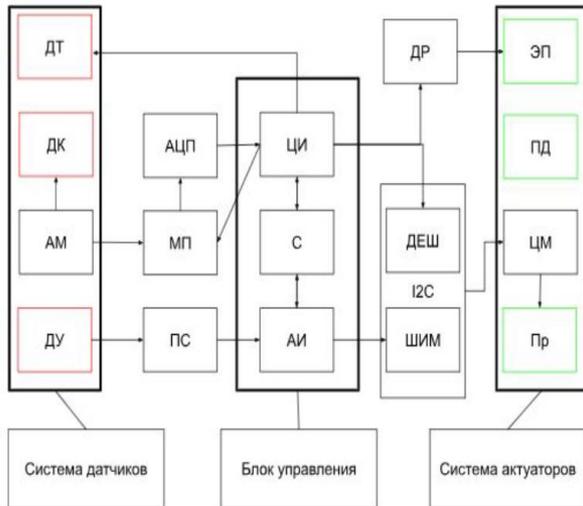
• Различия тактильной чувствительности на предплечье здорового человека

Из 96 экспериментов в различных точках предплечья распределение результатов по 100 испытуемым только в 4-х случаях было нормальным.

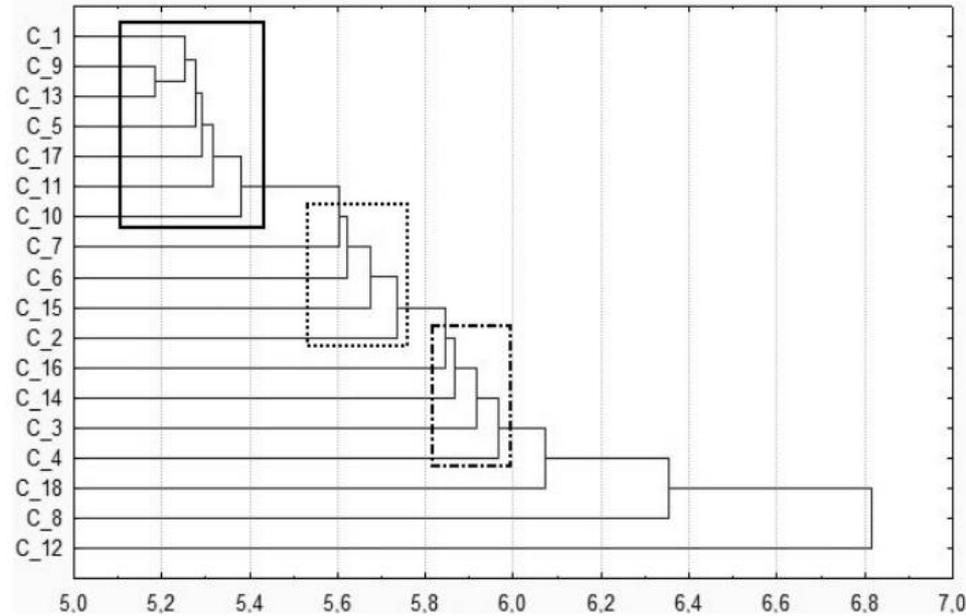
УСПЕШНОСТЬ ЛОКАЛИЗАЦИИ ИСПЫТУЕМЫМИ АКТИВНОСТИ ВИБРОСТИМУЛЯТОРОВ МИОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРОТЕЗА

Этап эксперимента	Количество определений, шт. (%)	
	ложных	верных
1	319 (59,1)	221 (40,9)
2	306 (56,7)	234 (43,3)
3	278 (51,5)	262 (48,5)
<i>Итого</i>	903 (55,7)	717 (44,3)

Блок-схема системы обратной связи



ДЕШ - дешифратор задающий адрес, ДР - драйвер питания, ЦИ - цифровой интерфейс, АИ - аналоговый интерфейс, ДУ - датчик угла, ПС - преобразователь сопротивления, С - сумматор, ЦМ - цифровой мультиплексор, АМ - аналоговый мультиплексор, МП - мостовой преобразователь Пр - электромеханический привод ПД - привод давления



Результаты кластерного анализа, проведенного по данным выполненных испытаний. Различными маркерами (сплошная, пунктирная и штрих-пунктирная линии) ограничены группы датчиков, которые субъективно воспринимаются пользователем как генерирующие похожие сигналы

Система тактильной, температурной и проприоцептивной чувствительности

Датчик нажатия АЦП

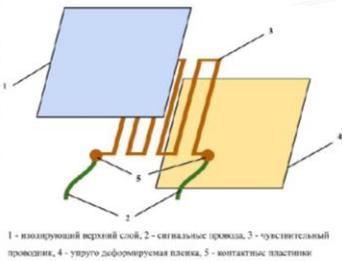


Рисунок 8 - тензорезистор

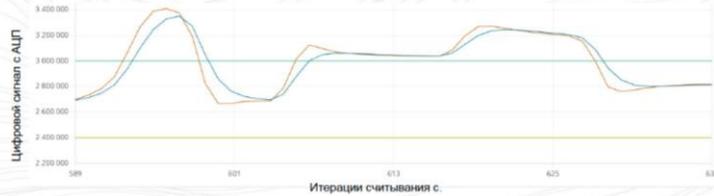


Рисунок 9 - установка на протезе

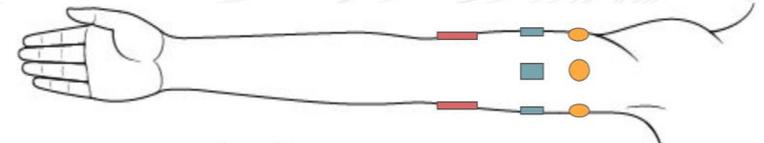
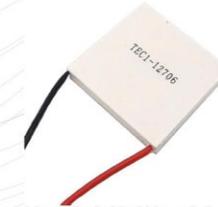


Рисунок 14 - схема расположения датчиков на протезе



- сервоактуаторы обозначаются на схеме:



- термоактуатор обозначается на схеме:



- соленоиды обозначаются на схеме:



Комплекс датчики



- гибкий переменный резистор обозначается на схеме:



- тензодатчиков обозначается на схеме:



- термодатчик обозначается на схеме:

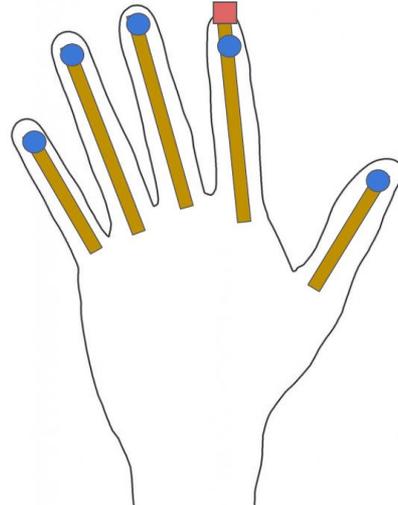
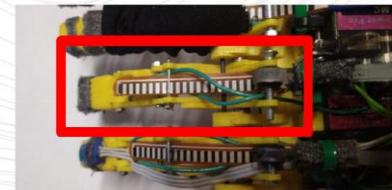


Рисунок 3 - датчик изгиба



Рисунок 4 - блок-схема датчиков изгиба



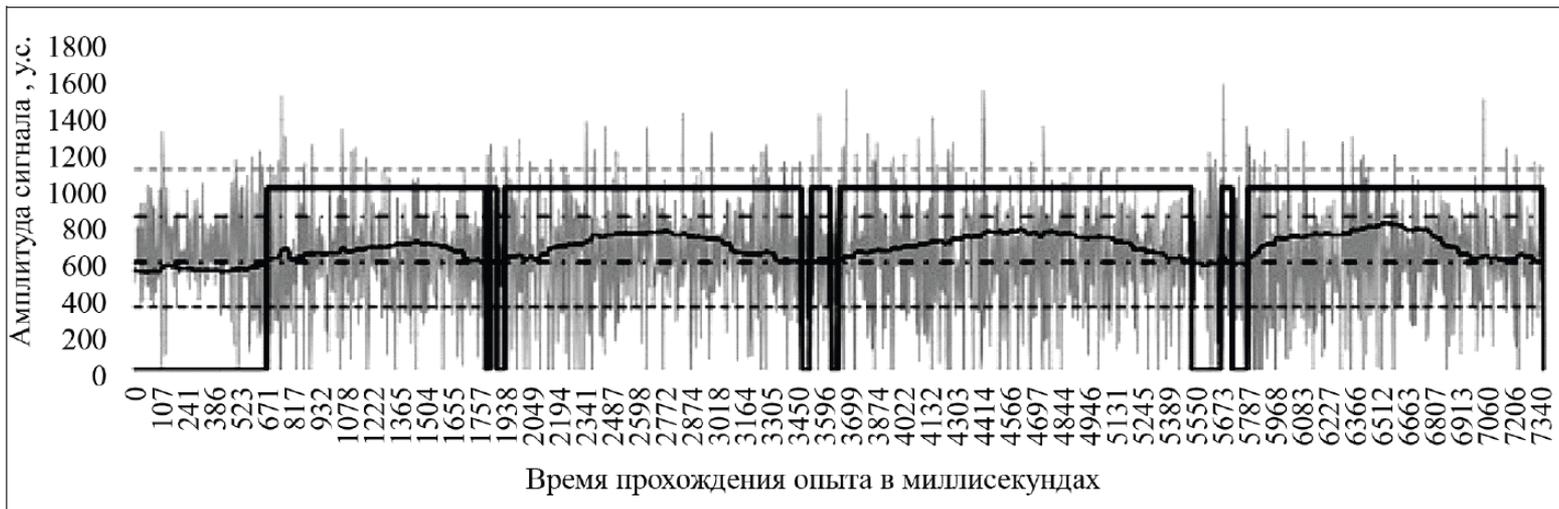
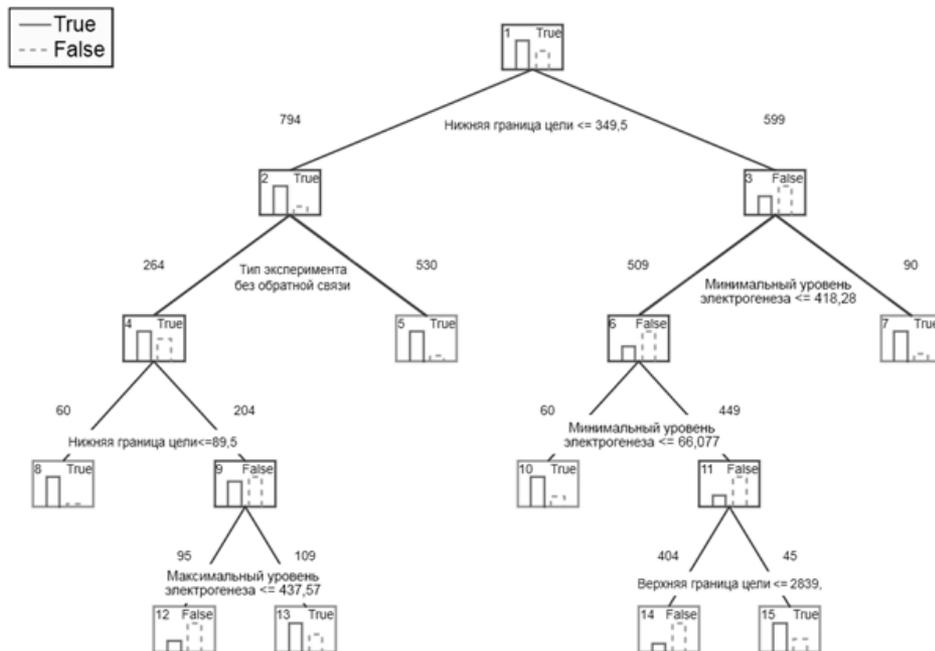
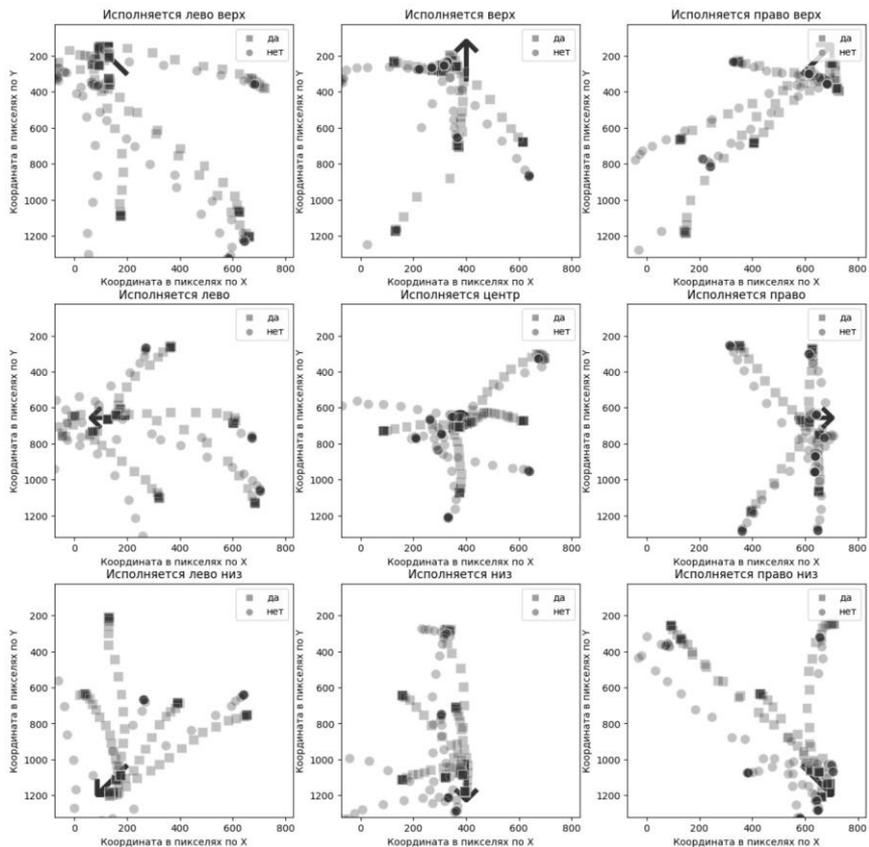


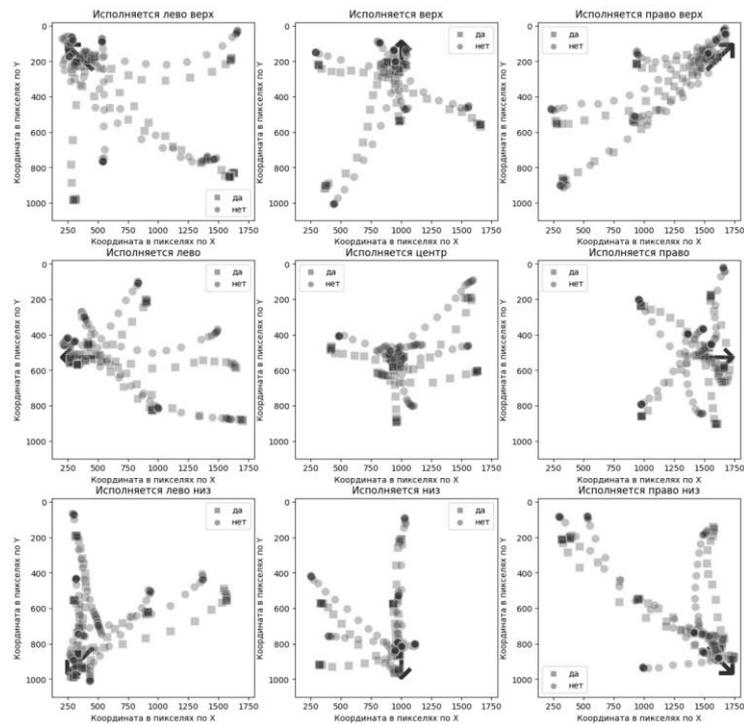
Рис. 1. Схема проведения опыта генерации электрической активности в заданном диапазоне



- что наличие обратной связи или её отсутствие не влияет на время генерации команд. Точность попадания в заданную цель на этапах тренировки и с наличием обратной связи не имеют значимых различий, но отсутствие обратной связи сказывается на точности попадания в заданную цель, из-за чего она значительно снижается. Было выявлено, что точность генерации команд так же снижается и при увеличении требуемого уровня электрогенеза на всех этапах эксперимента. Это связано со снижением точности обеспечения заданного уровня электрогенеза мышц. Эффект наблюдается как на этапе тренировки, так и на этапах проведения опытов.



Визуализация карты траектории курсора управляющей команды, генерируемой рукой пользователя. Квадратный маркер – области, где рука пользователя останавливалась более чем на 2 сек при наличии обратной связи по зрительному каналу; круглый маркер – без контроля зрения. Черная стрелки и надписи над каждым из девяти рисунков показывают область куда должен быть перемещён курсор для формирования команды



Визуализация карты траектории курсора управляющей команды, генерируемой движениями головы пользователя. Остальные обозначения – см. рис. 6

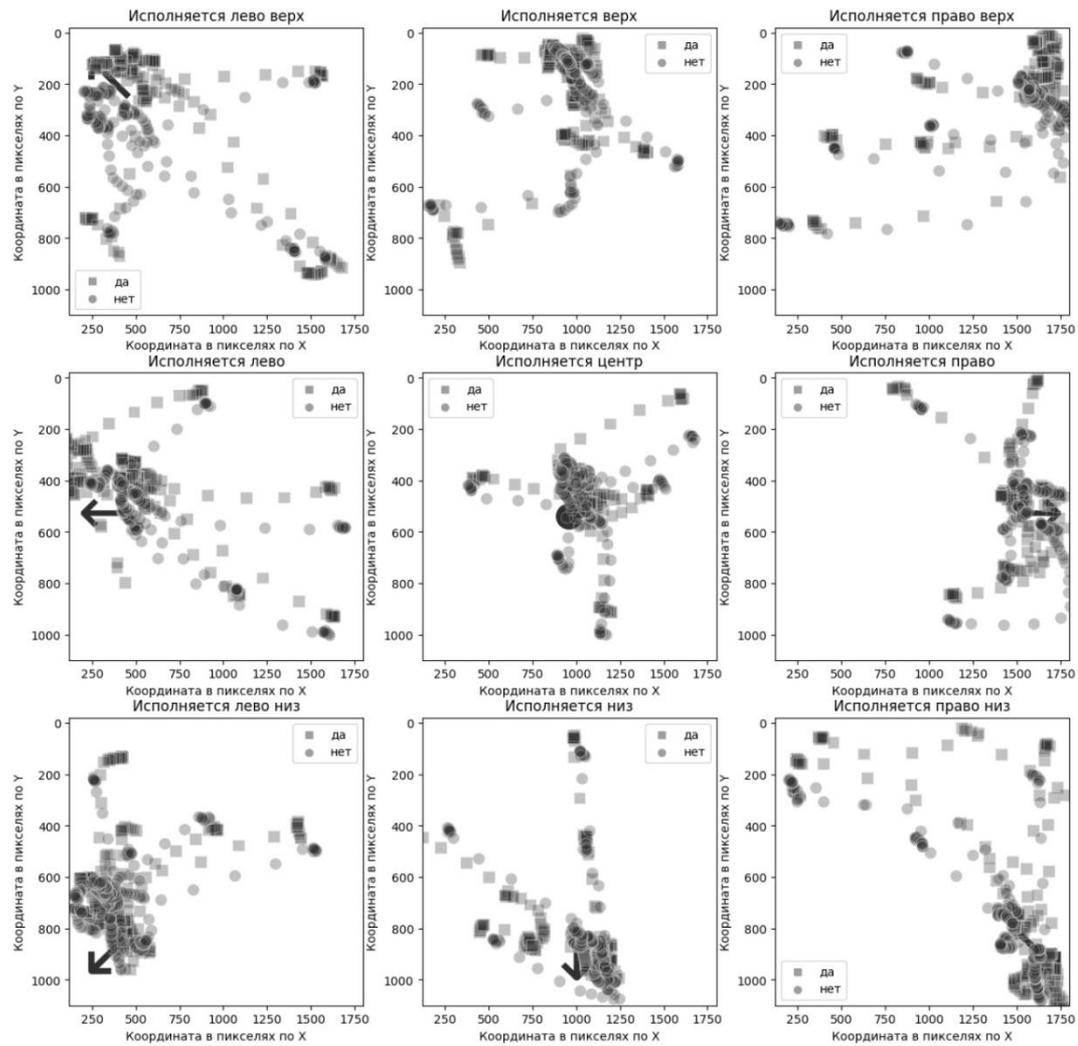
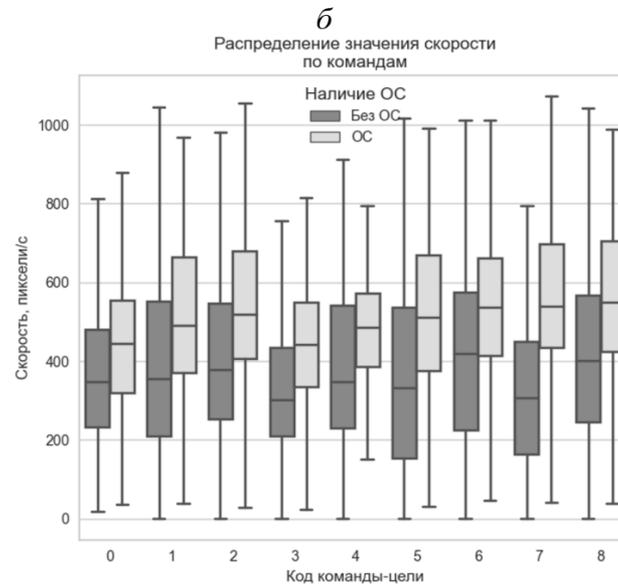
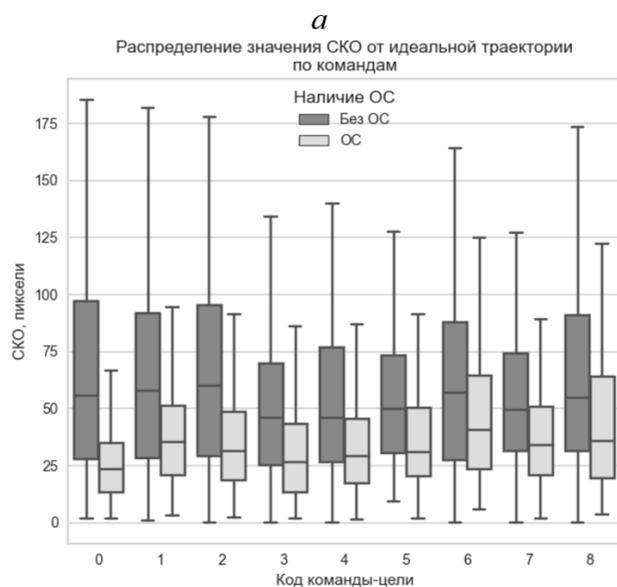
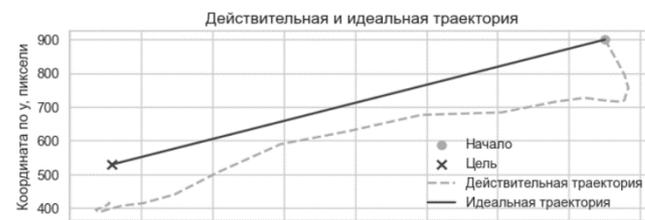
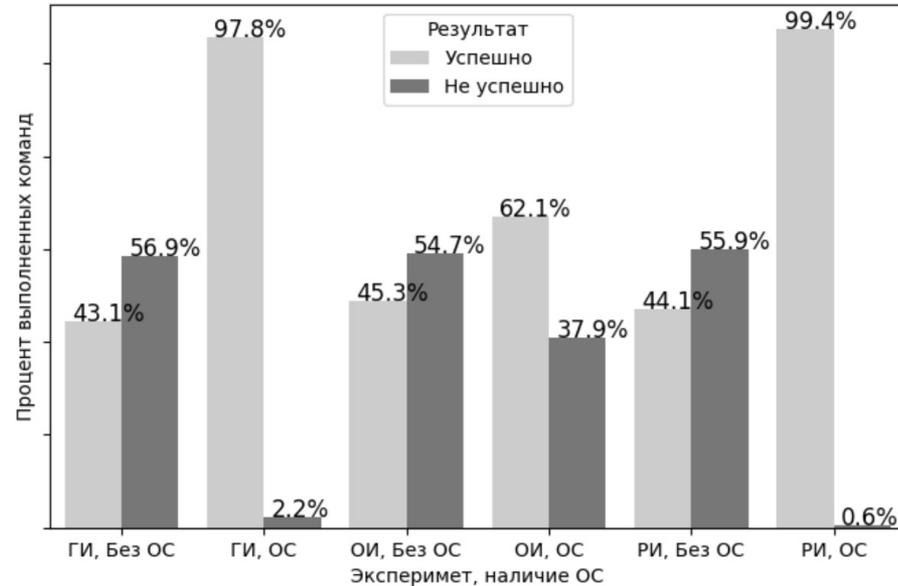
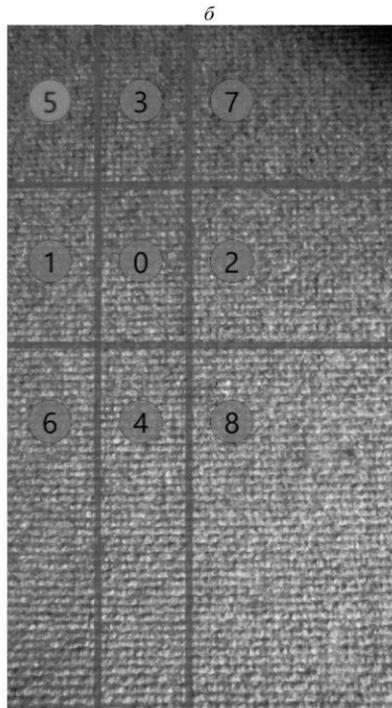
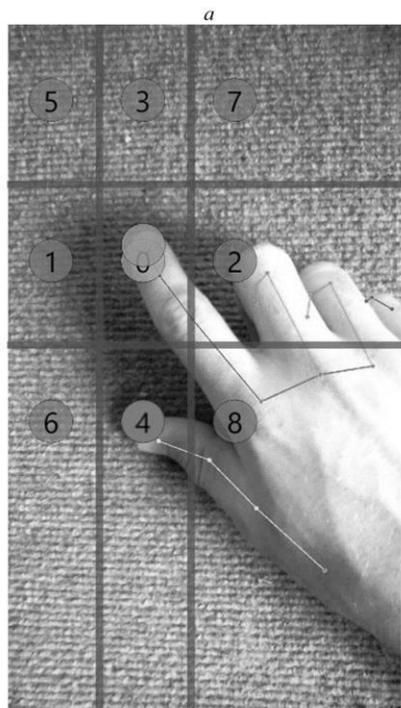


Рис. 8. Визуализация карты траектории курсора управляющей команды, генерируемой движениями глаз пользователя.



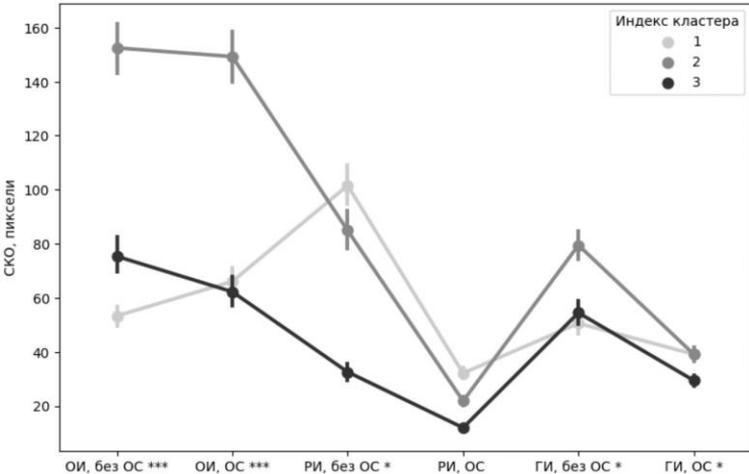


Табл. 2 Распределение успешных экспериментов по кластерам

		ОС		Без ОС	
	№ кластера	неуспешно	успешно	неуспешно	успешно
ОИ	1	30.54%***	69.45%	47.83%*	52.16%
	2	56.75%**	43.25%	68.31%***	31.68%
	3	25.94%***	74.06%	47.83%*	52.1%
РИ	1	0.81%	99.19%	61.08%*	38.92%
	2	0.83%	99.17%	58.68%*	41.32%
	3	0%	100%	48.70%*	51.30%
ГИ	1	2.43%*	97.57%	51.89%*	48.11%
	2	3.58%*	96.41%	65.56%*	34.44%
	3	0.57%*	99.42%	59.37%*	40.63%

Разделение реальных и модельных ЭЭГ

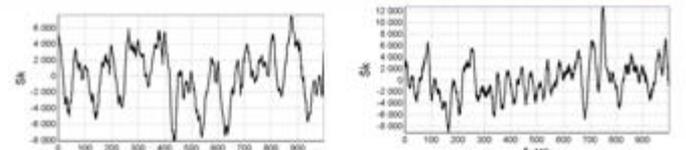
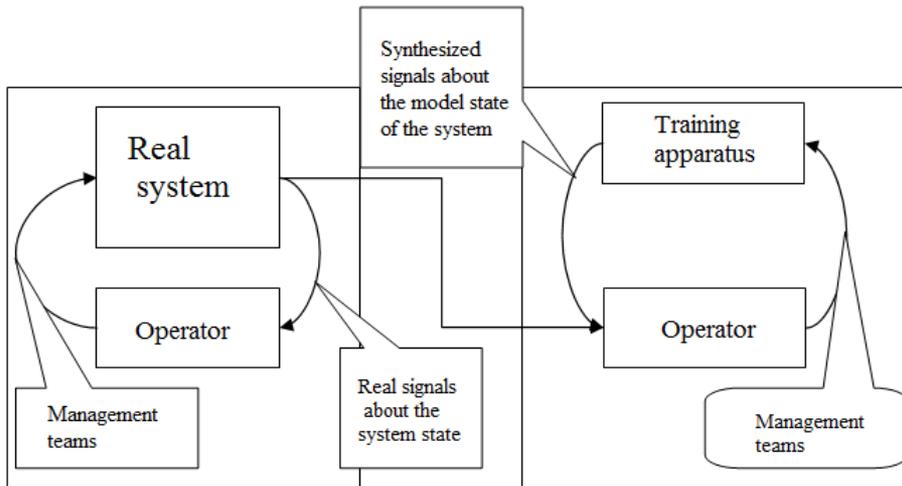
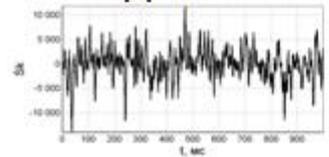
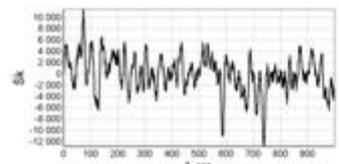


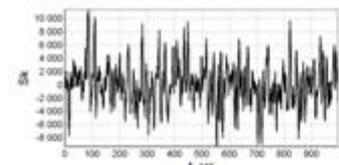
График ЭЭГ



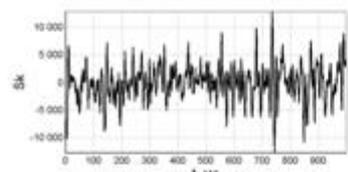
Модель 2



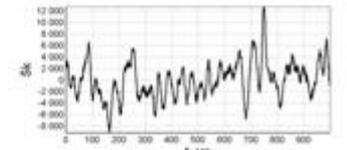
Модель 4



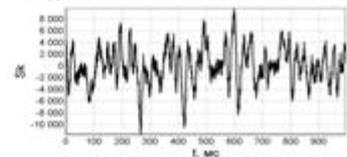
Модель 6



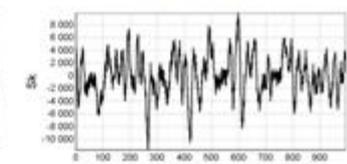
Модель 8



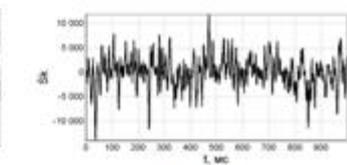
Модель 1



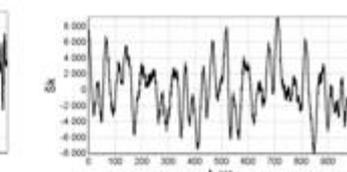
Модель 3



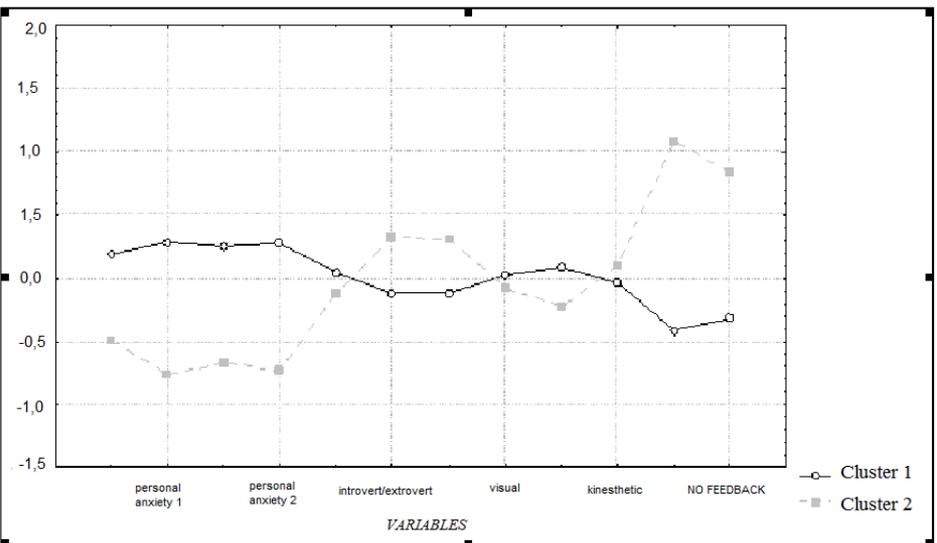
Модель 5



Модель 7



Модель 9



VARIABLES

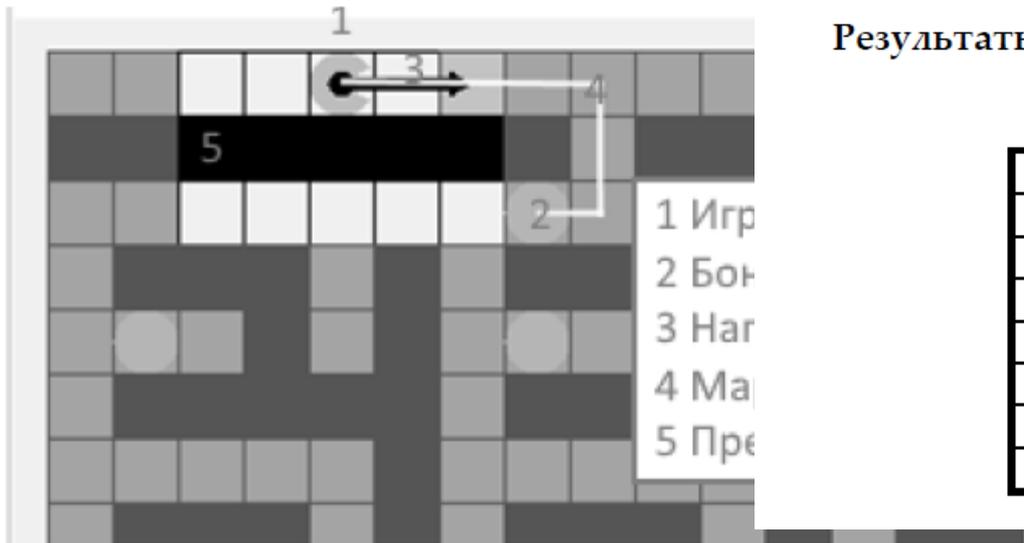
○ Cluster 1
■ Cluster 2



- испытуемые с более низким уровнем тревожности выдают более высокие показатели в ходе прохождения эксперимента на обоих этапах. Это может быть обусловлено тем, что высокая тревожность прямо коррелирует с ошибками памяти и ошибками действия. Эмоциональное состояние человека тесно связано с его когнитивными процессами. Проявление тревожности в свою очередь провоцируют повышенную возбудимость нервной системы, мышечную зажатость, нарушение внимания.

Таблица 1. Сравнительные результаты распознавания нативных и сгенерированных ЭЭГ различными моделями машинного обучения.

Модель	Средняя точность [%]	Стандартное отклонение [%]	Минимальная точность [%]	Максимальная точность [%]
LSTM	78.71	22.03	13.1	95.8
Логистическая регрессия	90.35	0.61	89.45	91.45
Случайный лес	90.84	1.92	86.65	92.9
Градиентный бустинг	90.58	0.81	89.25	91.7



Результаты сбора бонусов в лабиринте людьми и переобученными ИНС

№ испытуемого	Люди	ИНС
1	1206	1216
7	838	913
8	1098	1141
11	1091	1212
15	1092	1189
22	1252	1395
28	1103	1191

Рис. Элементы лабиринта реализованного в программном пакете для проведения тестирования

- Относительно высокая точность моделирования направления хода человека, не обеспечивала столь же высокой точности моделирования сбора игровых бонусов.

для качественного обучения ИНС в качестве учителя необходим не индивидуальный паттерн поведения человека и не паттерн, порождаемый «оптимальным» алгоритмом, а комбинация этих двух паттернов в виде отклонения поведения человека от «оптимального».

Анализируемые SNP

	SNP	Ген	Эндонуклеаза рестрикции	Размеры продукта
1	rs6265	<i>BDNF</i>	HpySE526 I A↑CGT TGC↓A	G/G – 207 A/A – 124; 78 A/G – 78, 207; 124
2	rs2030324	<i>BDNF</i>	HpySE526 I A↑CGT TGC↓A	T/T – 188 C/C – 134; 54 C/T – 188; 134; 54
3	rs6313	<i>HTR2A</i>	Msp I C↑CGG GGC↓C	T/T – 172 C/C – 99; 72 C/T – 172; 99; 72
4	rs10119	<i>TOMM40</i>	Msp I C↑CGG GGC↓C	A/A – 155 G/G – 134; 32 A/G – 166; 134; 32
5	rs429358	<i>TOMM40</i>	HspA I G↑CGC CGC↓G	T/T – 72 C/C – 45; 27 T/C – 72; 45; 27
6	rs4570625	<i>TPH2</i>	Psi I TTA↑TAA AAT↓ATT	G/G – 301 T/T – 89; 212 G/T – 89; 212; 301
7	rs4290270	<i>TPH2</i>	EauND I	T/T – 209

Генетика (вегетативное обеспечение)

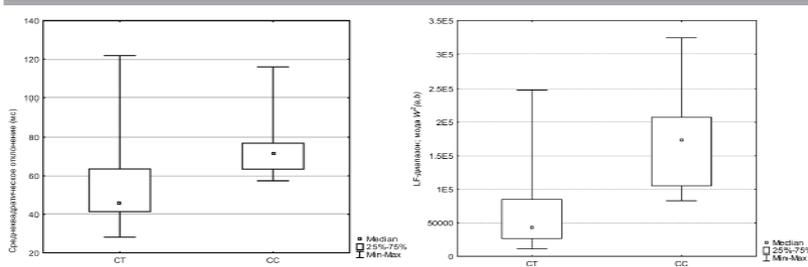


Рис. 3. Показатели средневладратического отклонения-RR интервалов при работе с окулографическим интерфейсом ($p=0.033$, критерий Манна–Уитни)

Рис. 4. Выраженность тонических (Фоновых) воздействий (мода квадратов коэффициентов вейвлет-преобразования в LF-диапазоне) на ВСР при работе с окулографическим интерфейсом ($p=0.01$, критерий Манна–Уитни)

Таблица 2

Значения результатов вейвлет-преобразования HF ВСР при работе с окулографическим интерфейсом ($M \pm m$; Q25, Me, Q75, ms^2)

Генотип	мода ($W^2(a,b)$) ($p=0,026$)	Средневладратическое отклонение ($W^2(a,b)$) ($p=0,035$)	«Выбросы» ($W^2(a,b)$) ($p=0,035$)
A/T	1685,99±690,53; 368; 1004; 1575	1218,85±536,14; 352; 686; 1385	2430,66±1275,28; 727; 1138; 1778
T/T	10127,84±6527,050 1101; 3334; 5804	26029,40±22586,53 862; 3000; 4453	63098,64±55741,16; 1790; 4836; 10131

Примечание: сравнение проведено по критерию Манна–Уитни.

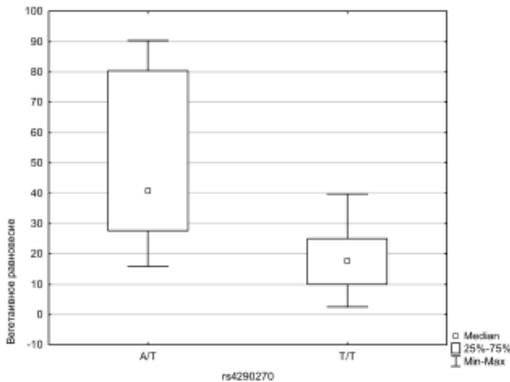
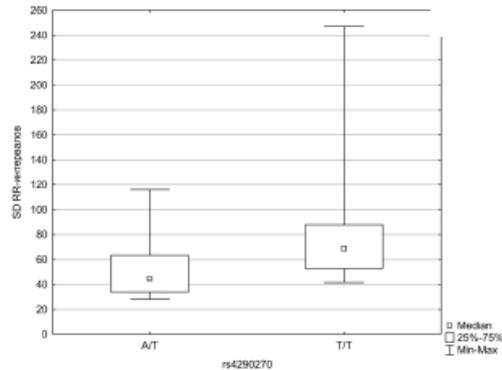


Рис. 5. Значения индекса вегетативного равновесия ($p<0,002$, критерий Манна–Уитни) и средневладратического отклонения RR интервалов ($p=0,03$, критерий Манна–Уитни) при работе с окулографическим интерфейсом



Разность показателей вейвлет-анализа ВСР в фоновом состоянии пользователя и при его работе с ДИ (эксперимент А) в зависимости от мутации rs 4290270. ($M \pm m$; Q25, Me, Q75; ms^2)

Генотип	HF диапазон		
	мода ($W^2(a,b)$)	σ ($W^2(a,b)$)	«Выбросы» ($W^2(a,b)$)
A/T	-729±717 -2084; -472; -25	-708±991 -1265; -273; 21	-1219± 2303 -1845; -404; -23
T/T	-12891±6888-10413; -4450; -1990 ($p=0,007$)	-24281±19549 -9362; -2310; -276 ($p=0,03$)	-57297± 48223 -18504; -4853; -1028 ($p=0,046$)

Примечание: сравнение по критерию Манна–Уитни.

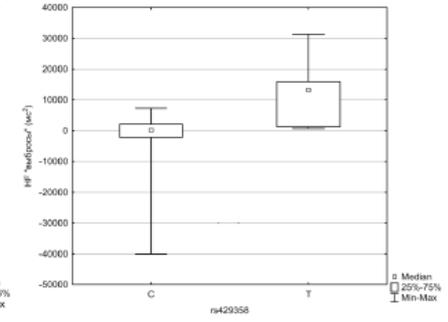
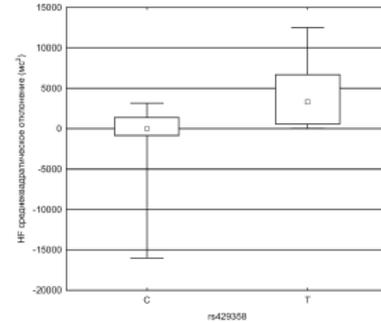


Рис. 7. Значения разности показателей вейвлет-анализа в HF-диапазоне ВСР в фоновом состоянии и при работе пользователя ОИ. Различия статистически значимы ($p=0,01$; $p=0,007$ соответственно; критерий Манна–Уитни)

**Значения результатов вейвлет-преобразования ВСП при работе
с дыхательным интерфейсом ($M \pm m$; $Q25$, Me , $Q75$; ms^2)**

rs 4290270		Эксперимент А		Эксперимент Б	
		А/Т	Т/Т	А/Т	Т/Т
HF-диапазон	мода ($W^2(a,b)$)	2354±652; 950; 1452; 3734 ($p=0,003$)	16168±6830; 2375; 8694; 13421	2574±948; 580; 1051; 4244($p=0,016$)	9576±2565; 3042; 5935; 15234
	σ ($W^2(a,b)$)	2821±919; 687; 1613; 5962($p=0,03$)	28520±19372 2049; 7396; 15841	3301±1559; 550; 871; 4406 ($p=0,016$)	11988±3466; 2639; 5608; 21755
	«Выбросы» ($W^2(a,b)$)	5946±2151; 1226; 3095; 10180 ($p=0,04$)	66639±47761; 3851; 15422; 30833	7157±3807 1165; 1496; 8667 ($p=0,01$)	25550±7924; 5318; 11355; 31530
LF-диапазон	мода ($W^2(a,b)$)	133902±25201; 92481; 106347; 207698 ($p=0,03$)	284038±53946135308; 208708; 358422	84010±16012** 38834; 77606; 135284 ($p=0,0006$)	224072,7± 28722,36; 160350; 198282; 263004
	σ ($W^2(a,b)$)	100088±17082; 60029; 96225; 163338 ($p=0,008$)	320693±97157121506; 168163; 410315	72446± 1647324772; 63143; 125536($p=0,0004$)	225033,7± 35693,52; 157895; 181485; 204559
	«Выбросы» ($W^2(a,b)$)	173234± 35103; 87216; 145774; 264184 ($p=0,005$)	721502± 228108; 244895; 324878; 927691	137834±36412 48731; 109861; 208617 ($p=0,001$)	441853±80579; 279109; 320384; 418179

Примечание: сравнение проведено по критерию Манна–Уитни

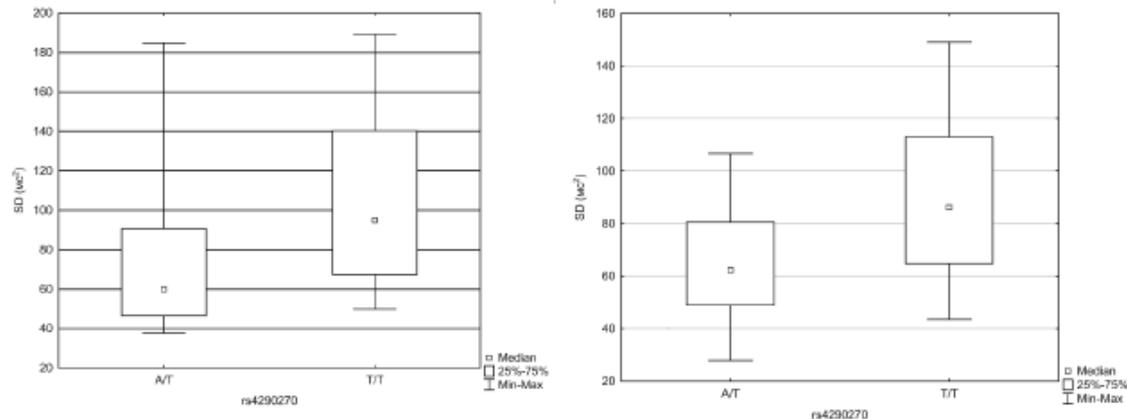


Рис. 6. Среднеквадратическое отклонение последовательности RR-интервалов при работе с ДИ (эксперимент А слева, эксперимент Б справа); различия значимы ($p=0,0465$, критерий Манна–Уитни)

ГЕНЕТИКА (Мю-ритм)

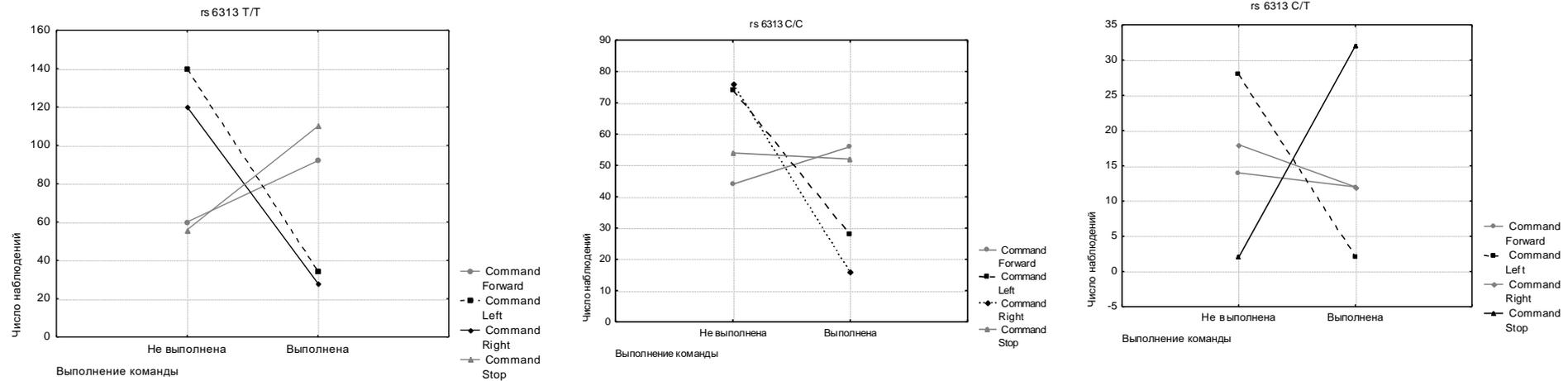


Таблица 1. Сравнение команд, выполненных пользователями с различными вариантами аллеля rs 4290

	T/A p<<0.001		A/A p<0.05		T/T p<<0.001	
	Не выполнено	Выполнено	Не выполнено	Выполнено	Не выполнено	Выполнено
Forward	98	132	10	8	10	20
	42.61%	57.39%	55.56%	44.44%	33.33%	66.67%
Left	198	56	18	2	26	6
	77.95%	22.05%	90.00%	10.00%	81.25%	18.75%
Right	192	32	12	10	10	14
	85.71%	14.29%	54.55%	45.45%	41.67%	58.33%
Stop	102	150	10	10	0	34
	40.48%	59.52%	50.00%	50.00%	0.00%	100.00%

Таблица 3. Сравнение команд, выполненных пользователями с различными вариантами аллея rs 6313

	T/T (p>0.05)		C/C (p<<0.0001)		C/T (p > 0.05)	
	Не выполнено	Выполнено	Не выполнено	Выполнено	Не выполнено	Выполнено
Forward	108	40	76	20	22	4
	72.97%	27.03%	79.17%	20.83%	84.62%	15.38%
Left	136	38	94	2	26	8
	78.16%	21.84%	97.92%	2.08%	76.47%	23.53%
Right	116	34	66	36	22	6
	77.33%	22.67%	64.71%	35.29%	78.57%	21.43%
Stop	144	24	92	14	30	2
	85.71%	14.29%	86.79%	13.21%	93.75%	6.25%

Сравнение команд, выполненных пользователями с различными вариантами аллея rs 4290

	T/A p<<0.001		A/A p>0.05		T/T p>0.05	
	Не выполнено	Выполнено	Не выполнено	Выполнено	Не выполнено	Выполнено
Forward	170	50	14	6	22	8
	77.27%	22.73%	70.00%	30.00%	73.33%	26.67%
Left	212	46	22	0	22	2
	82.17%	17.83%	100.00%	0.00%	91.67%	8.33%
Right	170	64	12	6	22	6
	72.65%	27.35%	66.67%	33.33%	78.57%	21.43%
Stop	220	28	16	4	30	8
	88.71%	11.29%	80.00%	20.00%	78.95%	21.05%

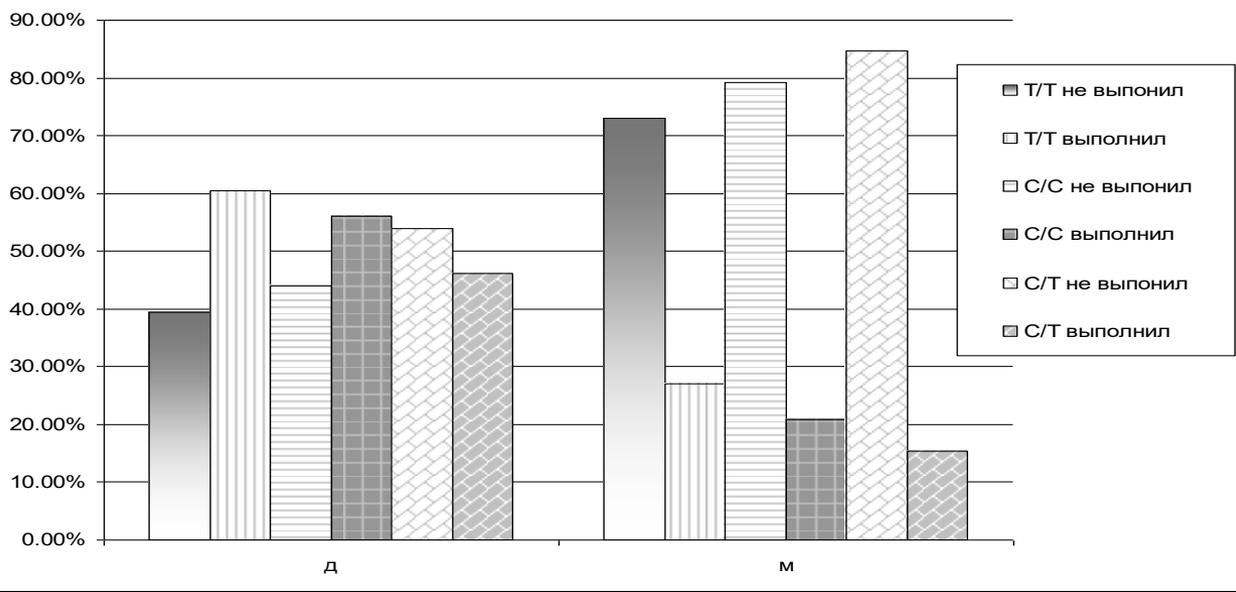
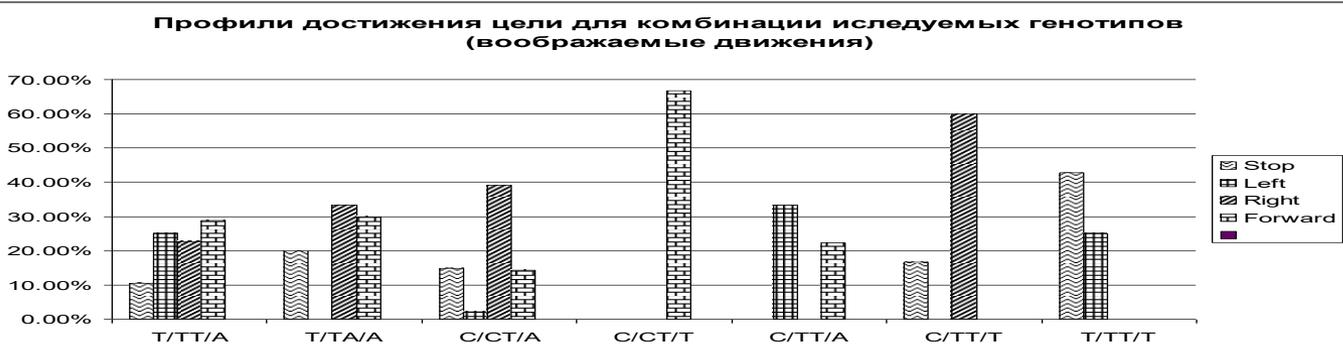
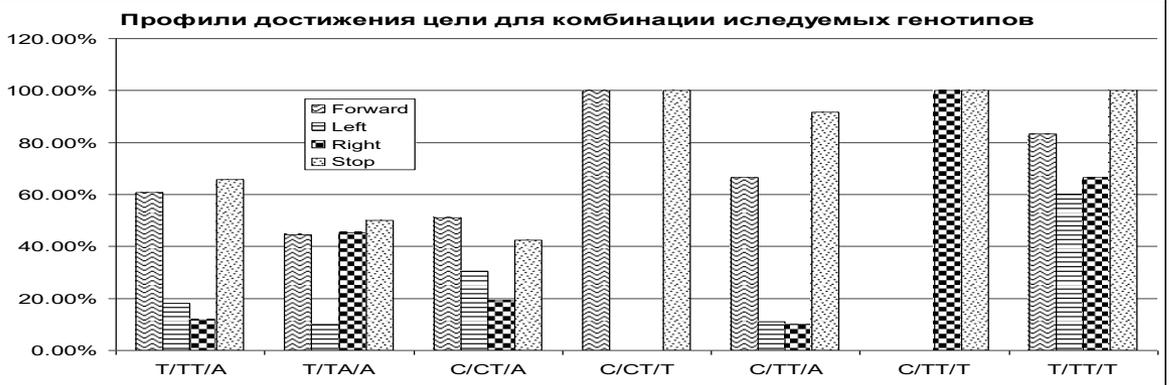
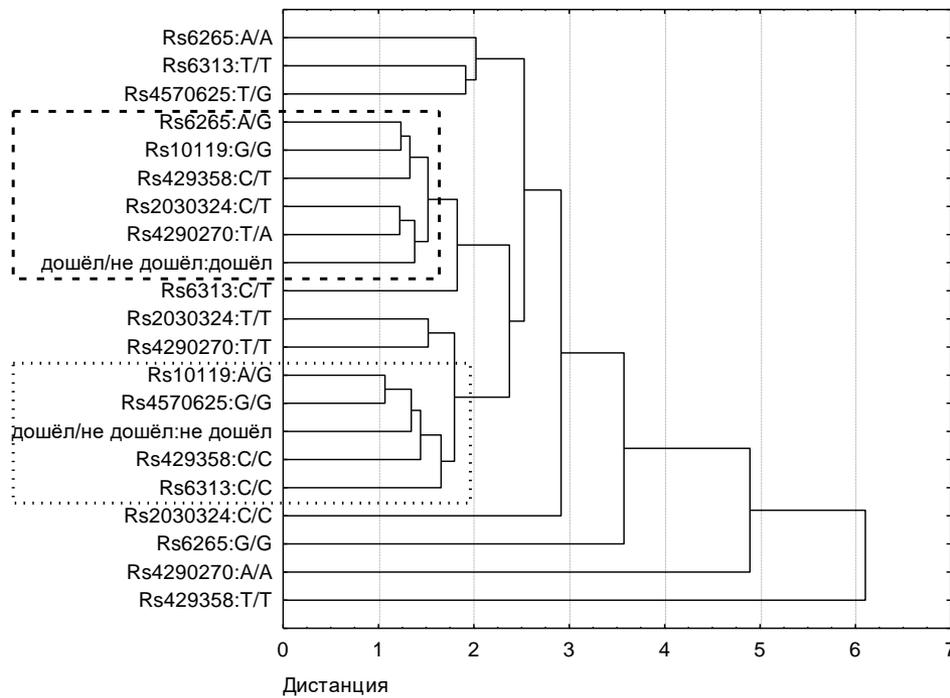
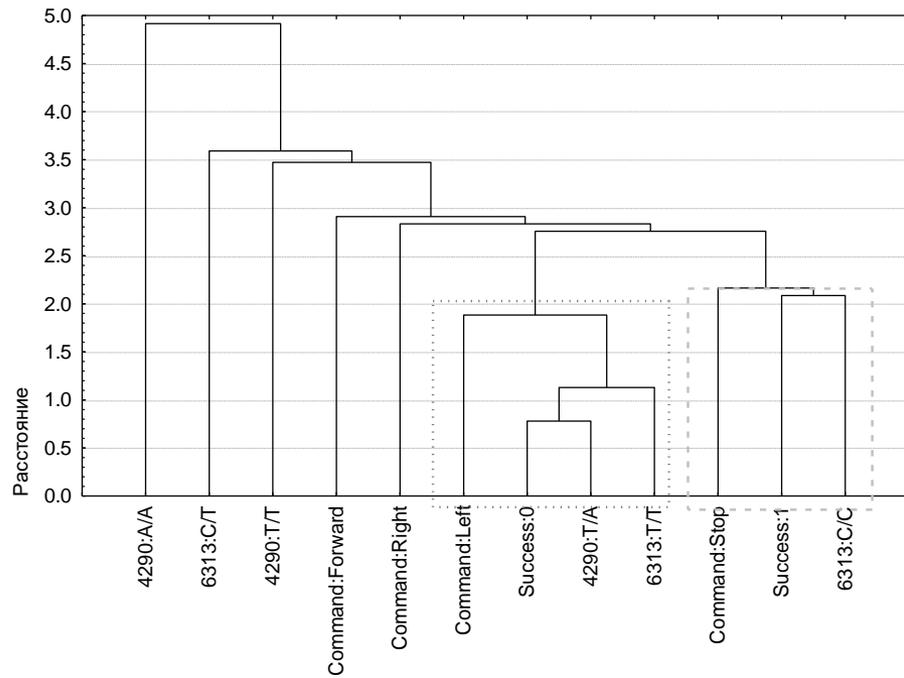
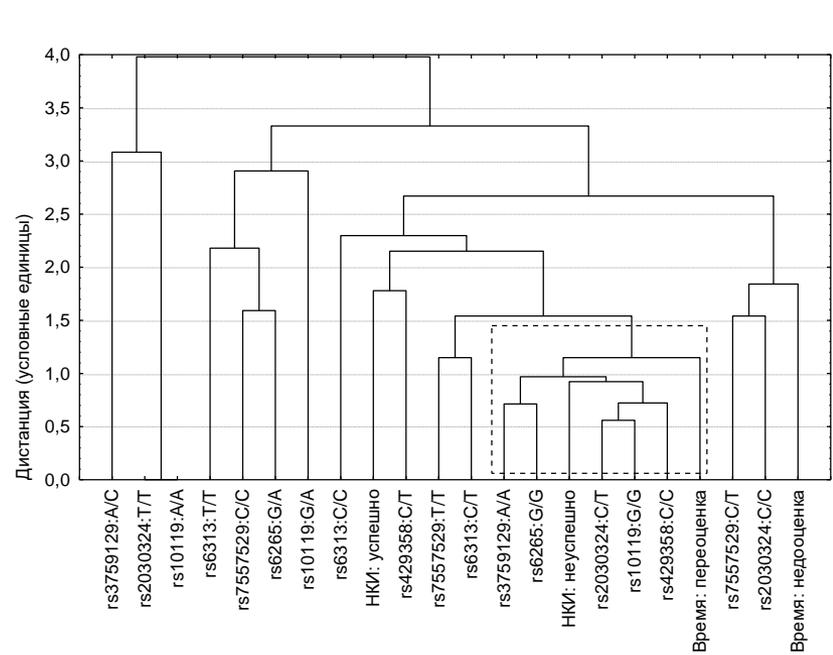
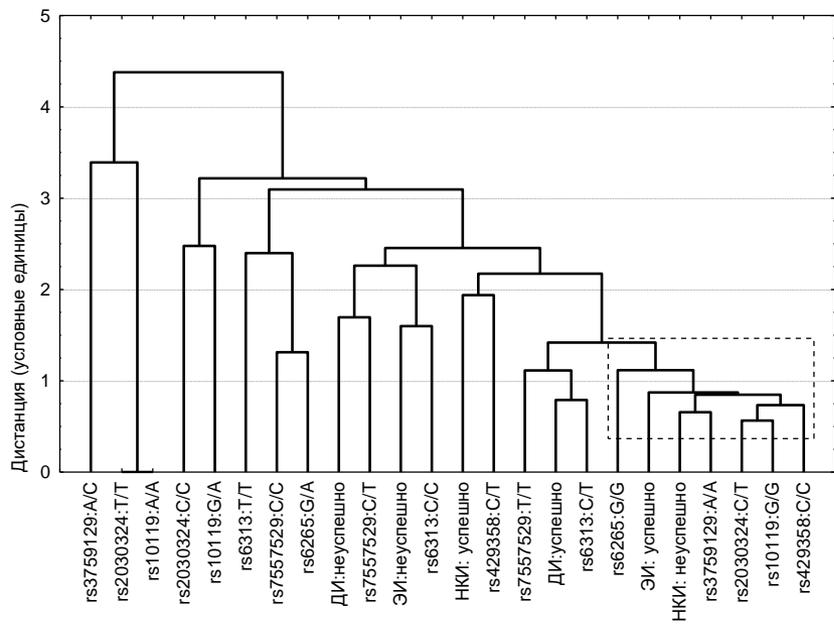


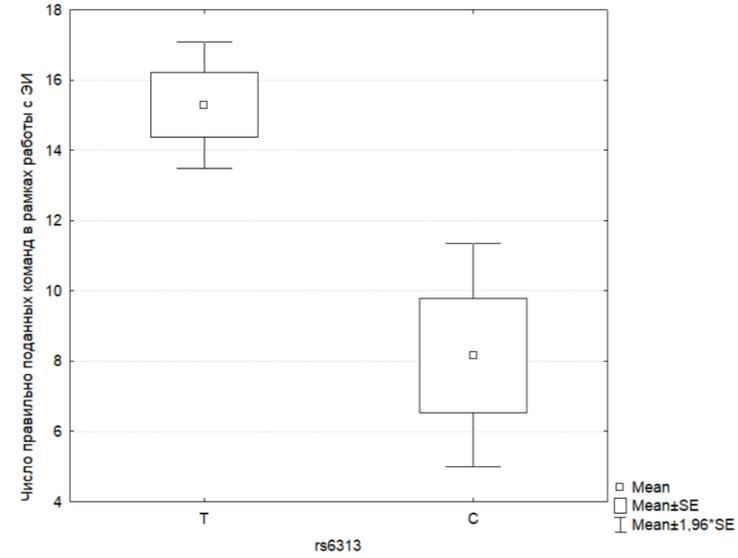
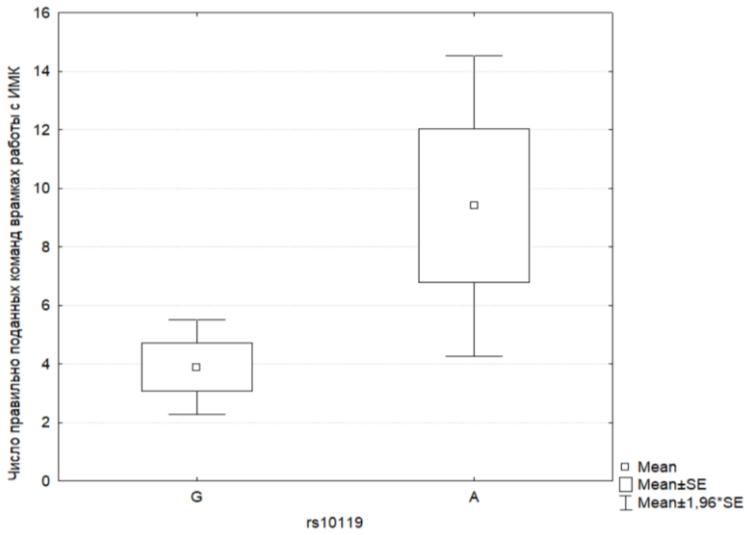
Рис. 3. Структура различий для rs 6313 в достижении цели в зависимости от реального и воображаемого движения.



Процент правильно выполненных команд при комбинации исследуемых аллелей для реально воображаемого движения. Первые две буквы – rs6313 вторые - rs 4290

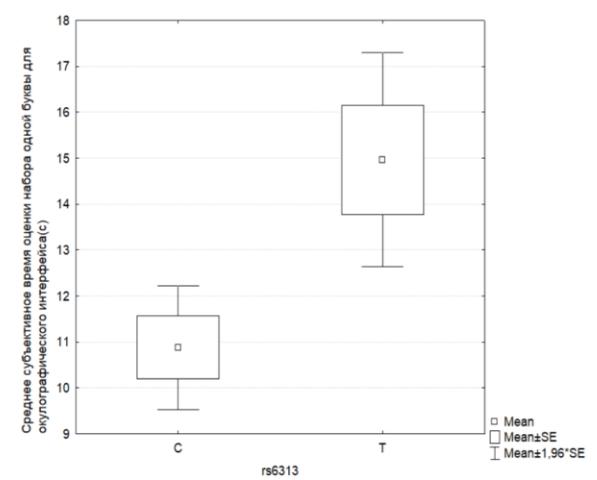
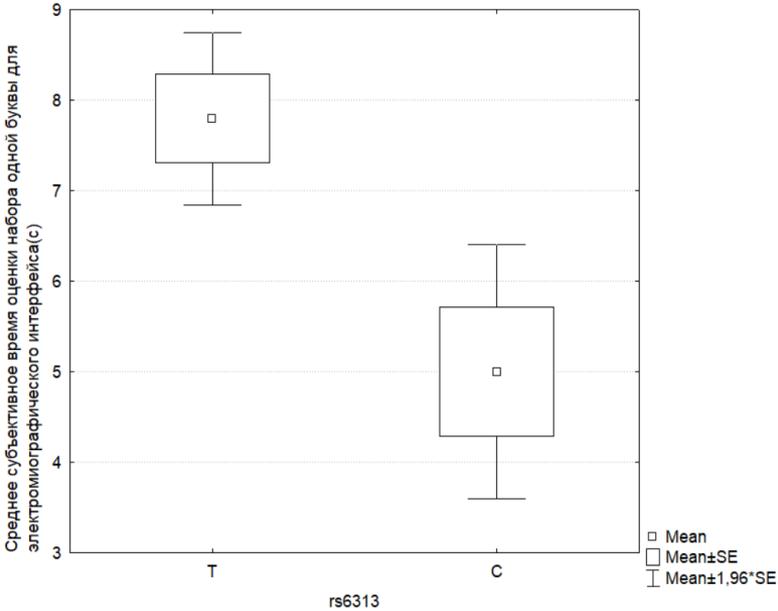






Влияние точечной мутации rs10119 в локусе 19q13.32 на число правильно поданных команд в рамках ИМК на основе SSVEP.

Влияние точечной мутации rs6313 в локусе 13q14.2 на число правильно поданных команд в рамках ЭИ.



Среднее субъективное время оценки выполнения задания по набору букв с окулографическим интерфейсом.

Среднее субъективное время оценки выполнения задания по набору букв с электромиографическим интерфейсом.

Общие закономерности

SNP	Ген	Достижение цели			Особенности сигналов			Вегетативное обеспечение			Субъективные шкалы времени		
		НКИ	ОИ	ЭМИ	НКИ	ОИ	ЭМИ	НКИ	ОИ	ЭМИ	НКИ	ОИ	ЭМИ
rs6265	<i>BDNF</i>	-	A/A<G/G	-	-	A/A>G/G*	-	-	-	-	-	-	-
rs2030324	<i>BDNF</i>	C/T>C/C T/T	-	-	-	-	-	-	-	-	C/C>C/T	-	-
rs6313	<i>HTR2A</i>	-	C/C C/T>T/T	T>C	-	-	-	C/C>C/T	C/C>C/T	-	C<T	C<T	C<T
rs10119	<i>TOMM40</i>	A>G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
rs429358	<i>TOMM40</i>	-	-	-	-	-	-	-	C<T	-	-	C/C>C/T	-
rs4570625	<i>TPH2</i>	-	-	-	-	T/G>G/G	-	-	-	-	-	-	-
rs4290270	<i>TPH2</i>	-	-	T/T>A/T	-	-	-	-	T/T>A/T	-	-	-	-

SNP rs6313 ген *HTR2A*

С-аллель rs6313 → 5'-нетранслируемая области гена *HTR2A* → Увеличение эффективности трансляции

Увеличение концентрации белка 5-HT_{2A}-рецептора

Racine et al., 2009

Увеличение импульсивности носителей С-аллели

Cao et al., 2014

Склонность к алко- и наркозависимости

Изменение вазоконстрикции

Nichols, 2009

Снижение когнитивных способностей

Gong et al., 2011

Увеличение variability сердечного ритма

Меньшая успешность в освоении интерфейсов

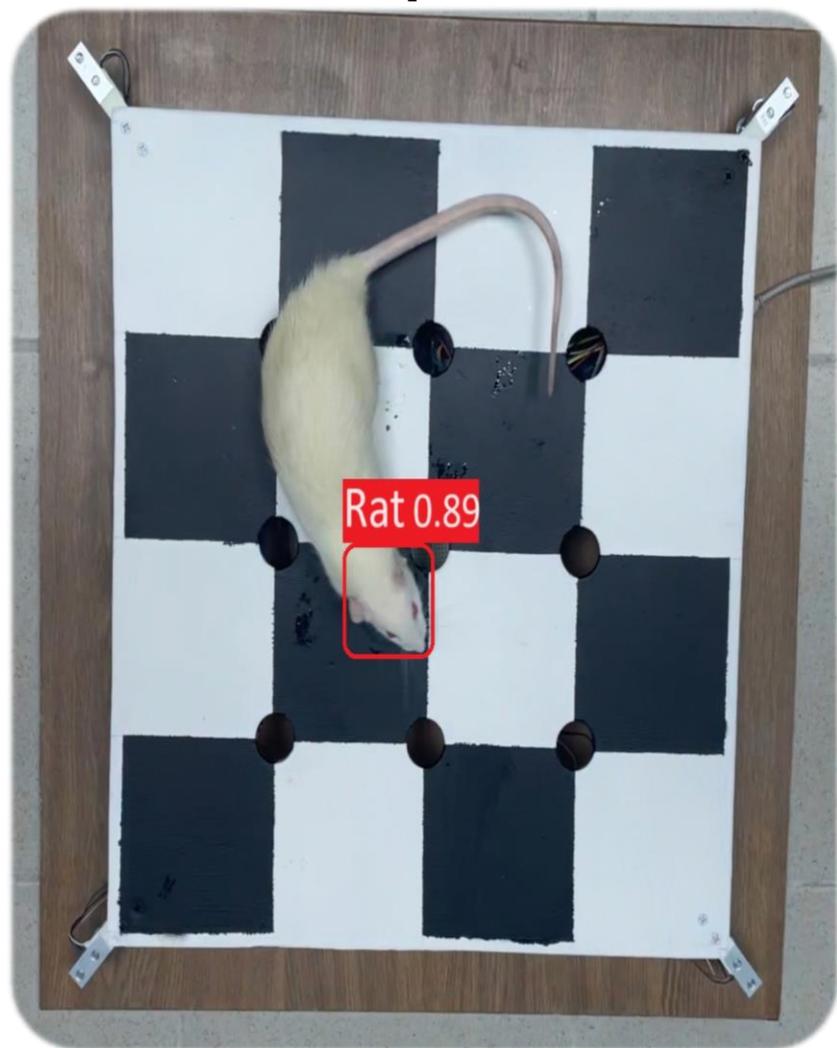
Отслеживание траектории движения головой крысы с камеры

Для реализации была

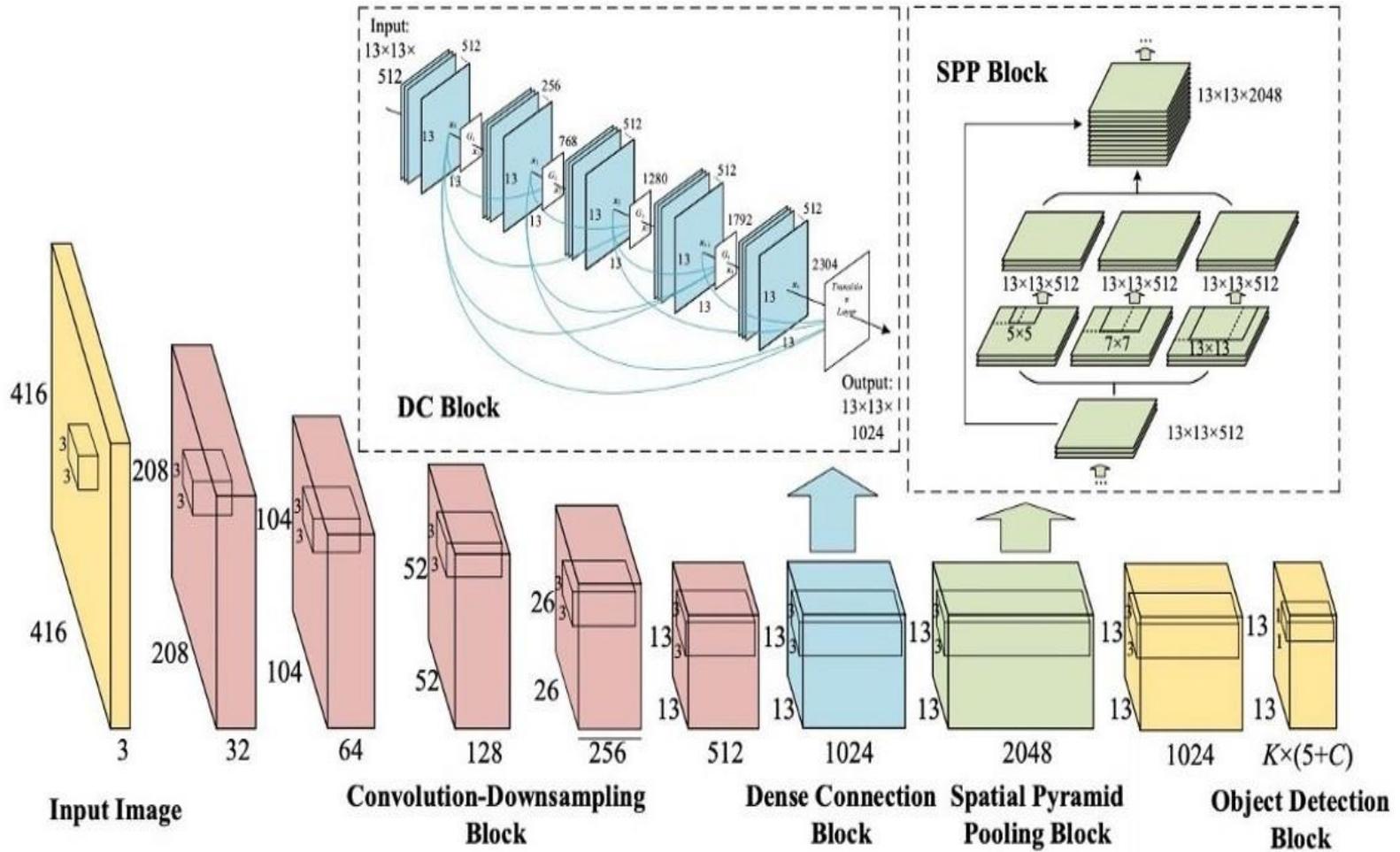
- использована нейронная сеть YOLO-v8 обученная на авторских видеозаписях

Результат работы можно
сохранить в виде:

- 1) Текстового файла с набором точек
- 2) Изображения с траекторией
- 3) Исходное видео с обводкой головы крысы



Архитектура нейронной сети YOLO object detection



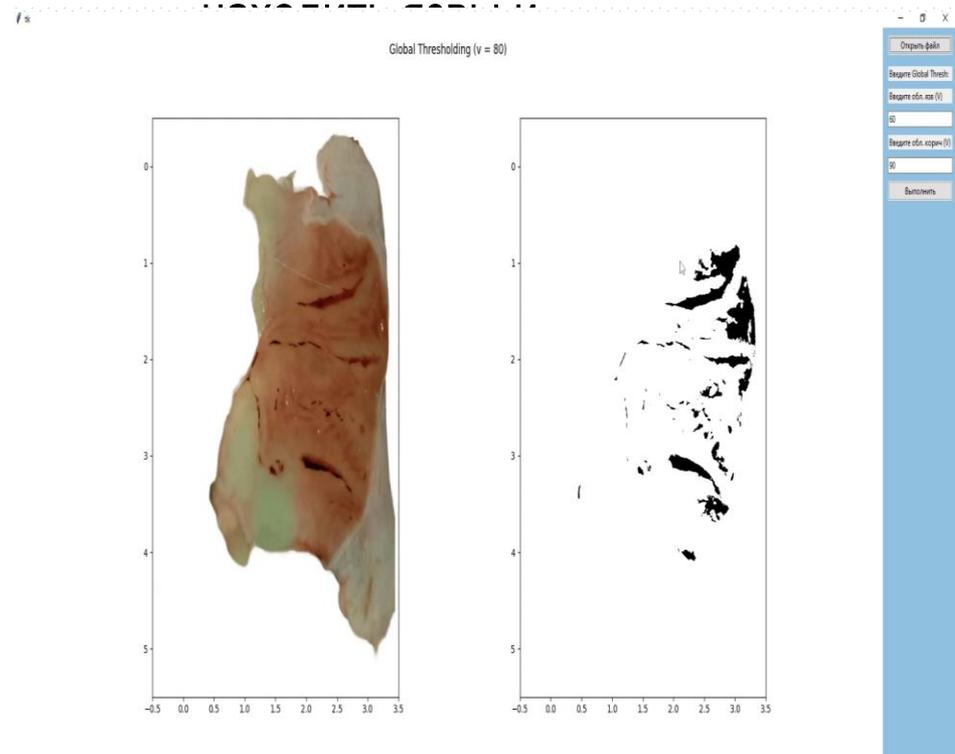
Анализ изображений язвенных желудков крыс

- Программа реализована с помощью методов Computer Vision(CV)

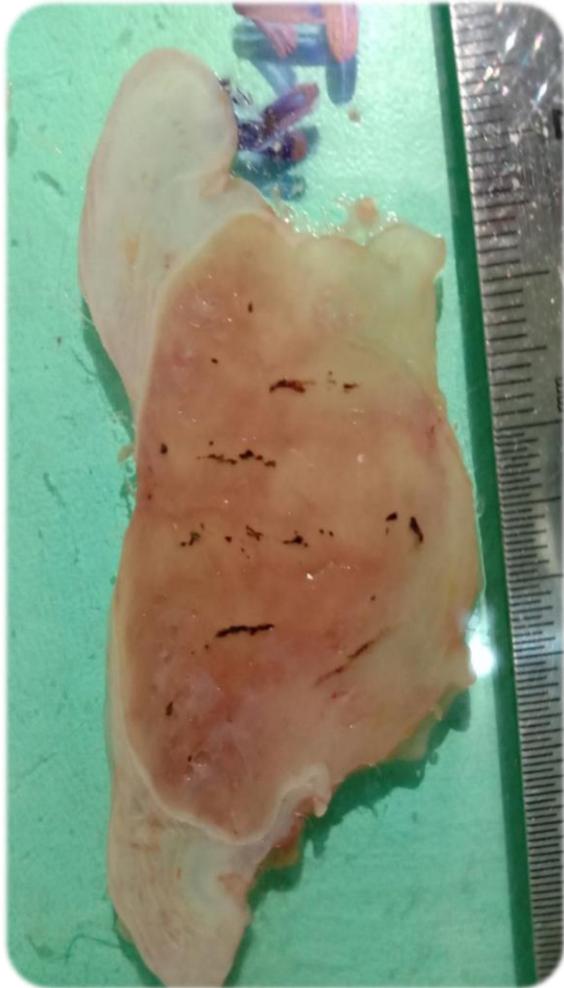
- Вычислять площадь, длину и ширину всех найденных язв

- Необходимо визуально подобрать подходящие пороговые значения, используя ползунок в программе

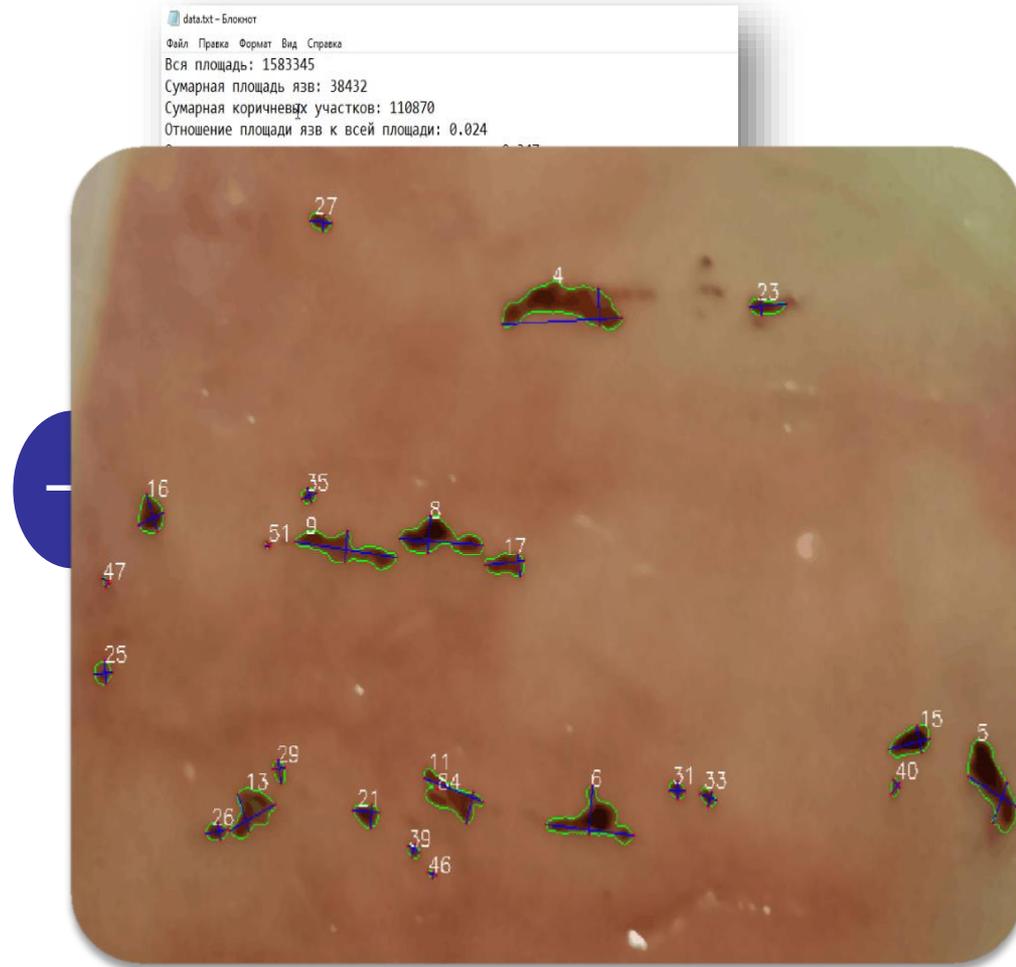
Позволяет автоматический



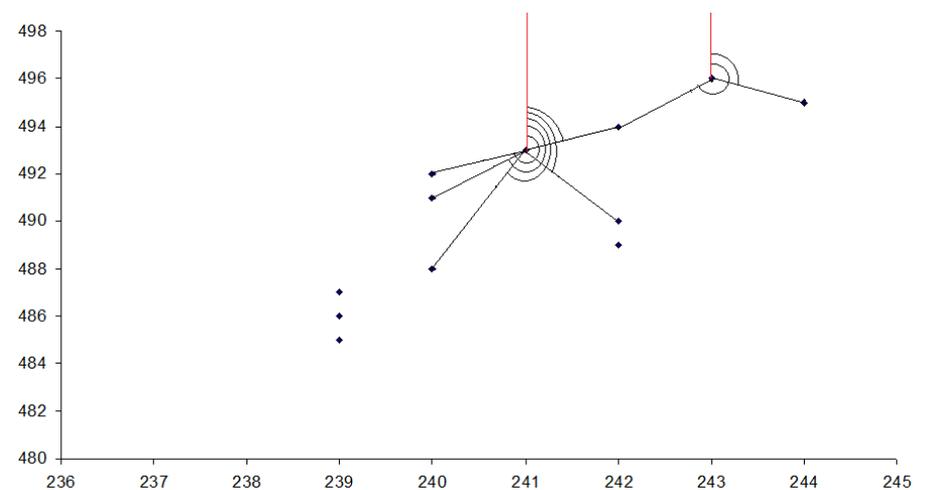
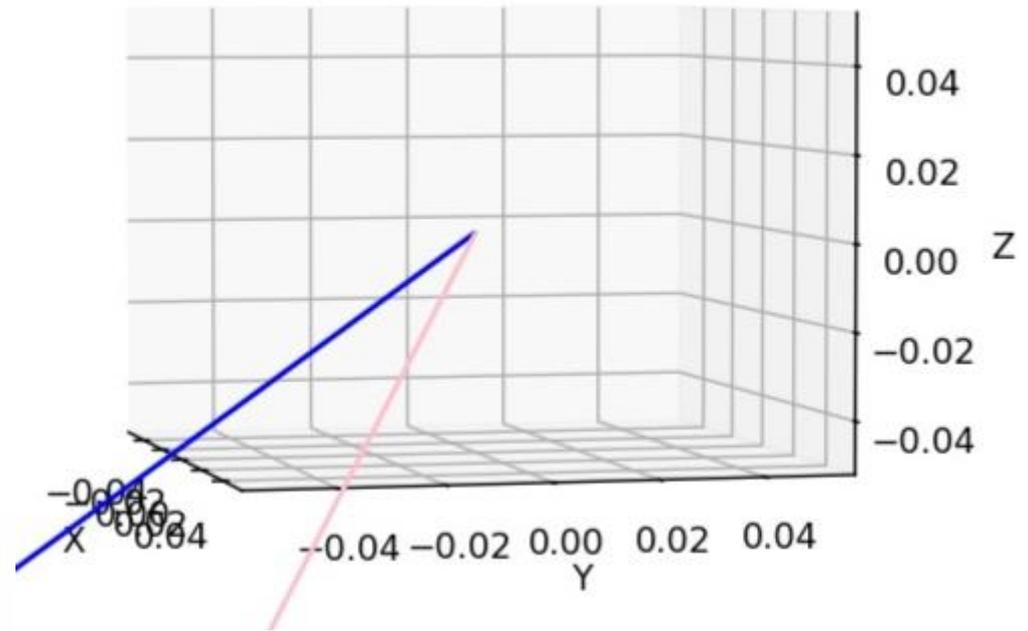
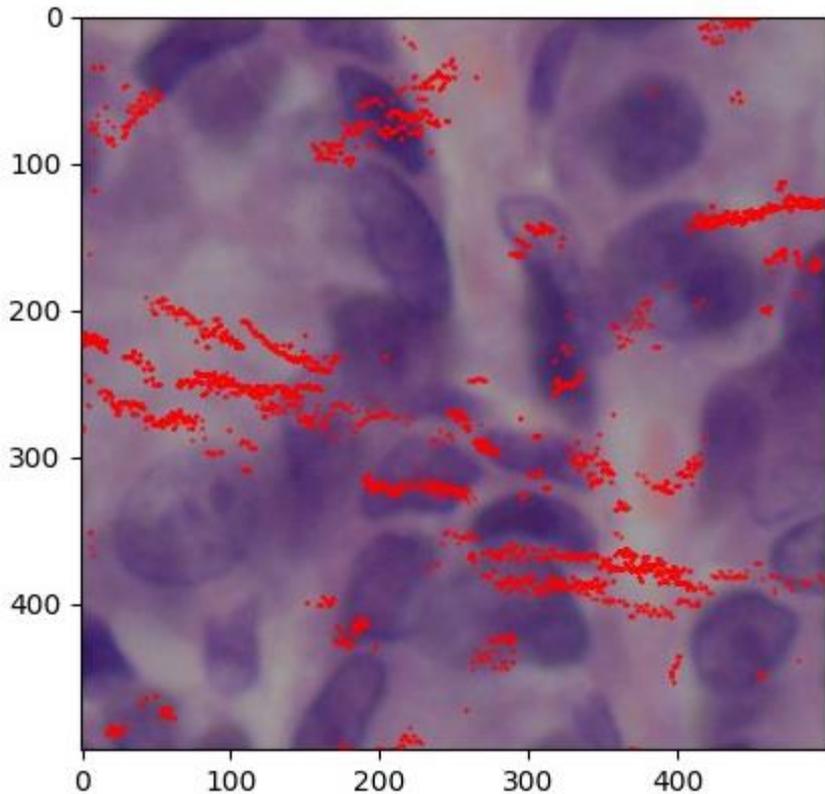
Исходное изображение

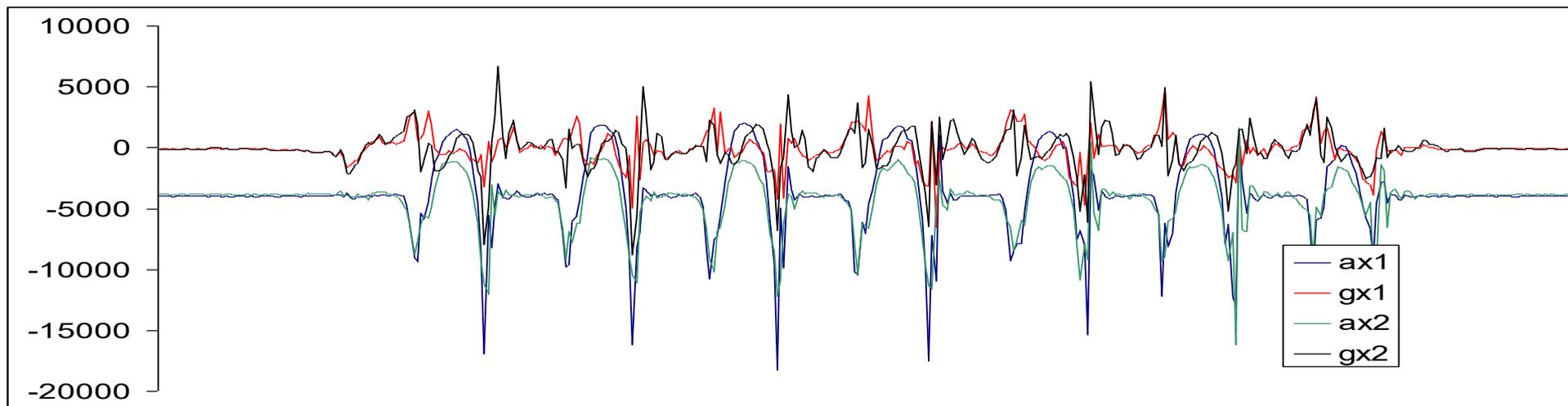


Результат анализа



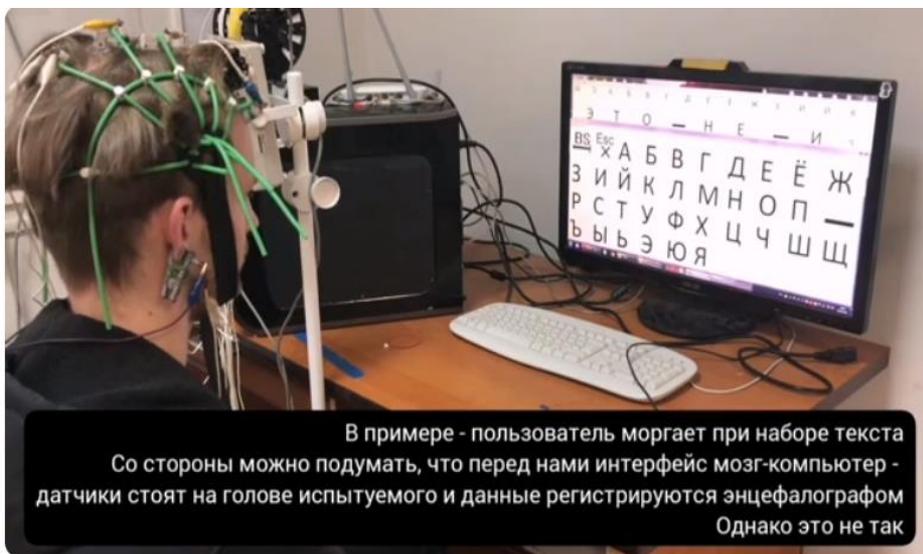
Обработка гистологическ их изображений



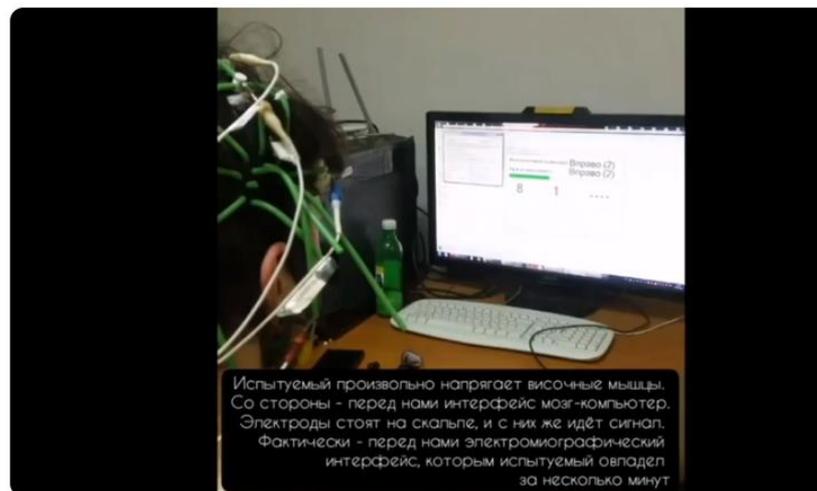


Имитация технологий

Может ли одна, более простая технология, имитировать другую, более сложную?



этоНЕимк



Испытуемый активностью височных мышц имитирует интерфейс мозг-компьютер на основе мю-ритма.

[Нейроинтерфейс и робо-рука - YouTube](#)

Благодарю за внимание

Yaroslav_turovsk@mail.ru

8904 213 82 95

Ютуб-канал: goo.gl/QueQq7f

