

УПРАВЛЕНИЕ СИНТЕЗОМ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ТРЕНАЖЕРА ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ¹

Туровский Я.А.,

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Россия

yaroslav_turovsk@mail.ru

Тищенко В.А.

АНО ВО Московский гуманитарно-экономический университет, Воронеж, Россия

va-le-ri86@yandex.ru

Аннотация. Задачей являлась оценка психофизиологических возможностей потенциальных операторов в распознавании этих сигналов. Показано, что наибольшее значение с точки зрения психологического типажа испытуемых является личностная ситуационная тревожность, негативно влияющая на способность к распознаванию естественных и искусственных сигналов.

Ключевые слова: эргатические системы, тренажеры, психологический профиль оператора.

Введение

Системаобразования в современном мире предъявляет особые требования к подготовке специалистов различных направлений [1]. В их число входят и операторы разнообразных специфических видов деятельности, потребность в которых возрастает по причине постоянно нарастающего темпа развития эргатических систем. Под оператором, в данной статье понимается человек, управляющий машиной (любым техническим устройством) в рамках эргатической системы. Ввиду постоянной модификации и повышения сложности в управлении современными техническими устройствами, подготовка специалистов в данном направлении подразумевает под собой овладение практическими навыками, равно как и получение теоретических знаний. Очевидно, что вышеупомянутые практические навыки могут быть получены только в процессе непосредственного взаимодействия человека с программно-аппаратной частью управляемого устройства в рамках решения определенного набора задач [2]. Вдобавок новейшие эргатические системы относительно дорогостоящие, и из-за этого цена ошибки оператора в ходе работы системы в реальности может оказаться внушительной.

Исходя из всего вышеперечисленного, появляется необходимость в разработке и использовании тренажеров для обучения операторов. Тренажер – это комплекс, система моделирования и симуляции, компьютерная и физическая модель, специализированные методики, формируемые для того, чтобы подготовить личность к принятию высококачественных и стремительных решений в реальных условиях [3]. Вместе с тем, при разработке данной категории тренажеров возникает ряд определенных сложностей. Одной из них является постоянно растущий запрос на повышение иммерсивности, интерактивности и аутентичности симуляций в целевых системах [4]. Другая проблема состоит в длительности и дороговизне процесса создания одного экземпляра тренажера [5]. Еще одной серьезной проблемой разработки тренажеров является оценка с точки зрения оператора точности воспроизведения тренажером поведения управляемого объекта в реальных условиях работы [6]. Связано это с важной особенностью человеческого мозга, заключающейся в том, что чем больше информации он обрабатывает, тем в большей степени расширяются его возможности при обработке информации. Соответственно, при отсутствии напряжения мозга с целью обработки поступающей извне информации, его способности существенно снижаются. И напротив, чем большее количество данных запоминает и систематизирует человек, тем больший объем информации он способен запомнить и обработать в будущем. Этот факт свидетельствует о потенциально неограниченных способностях человеческого мозга [7]. Как следствие, человеческий мозг, являющийся развитым инструментом, в большинстве случаев способен выявлять даже минимальные различия в поведении управляемого объекта, что в реальности может повлечь за собой ошибки при прохождении обучения, которые в дальнейшем повлекут за собой ошибки оператора при работе с реальным объектом.

Соответственно, под тренажером мы можем понимать техническое устройство профессиональной подготовки оператора для формирования и совершенствования профессиональных навыков и умений управления материальными объектами путем многократного выполнения обучающимся действий,

¹ Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-19-00664, <https://rscf.ru/project/23-19-00664/>

свойственных управлению реальным объектом [8]. Очевидно, что важнейшим этапом на стадии разработки тренажера и его дальнейшего совершенствования является возможность оператора различать сигналы, сгенерированные тренажером и сигналы, сгенерированные реально работающей системой. Если тренажер некорректно отражает параметры эргатической системы, которую он имитирует, то и подготовка оператора на данном тренажере будет страдать известными изъянами.

Однако, потенциально возможна ситуация, когда оператор в ходе подготовки на сознательном или бессознательном уровне сможет учитывать именно особенности тренажера, которых нет в реально работающей системе. Из чего в эргатическом контуре управления будет сформирована ошибка, которая представляет собой потенциальные риски [9]. Поиск таких ошибок представляет собой актуальную задачу, решение которой обеспечит значительное совершенствование разрабатываемых тренажеров. Примером подобного подхода является оценка потенциальным пользователем сигналов, на основе которых он оценивает состояние системы. В случае если испытуемый окажется способным различать сигналы, генерируемые непосредственно системой и сигналы в модели, являющейся частью тренажера, то такой тренажер требует дальнейшей доработки. Для выявления у операторов способности отличать сигналы, сгенерированные системой, был выбран метод оценки диагностики энцефалограммы (электрической активности мозга). При наличии разнообразных цифровых алгоритмов обработки до сих пор представляет интерес визуальный анализ энцефалограммы.

1. Материалы и методы исследования

Для оценки возможностей синтеза сигналов, имитирующих реальный процесс была сформирована группа из 51 участника. Из них 33 юношей, 18 девушек в возрасте 19-25 лет. Исследование проходило в два этапа: психологическая диагностика личностных особенностей испытуемых и выполнение ими ключевого теста в рамках эксперимента. Для осуществления психологической диагностики с целью выявления индивидуальных свойств личности, которые могут в дальнейшем влиять на способность оператора системы к обучению или управлению машиной, применялись следующие методики: диагностика ведущей перцептивной модальности (С. Ефремцева), личностный опросник Айзенка, зрительно – пространственный тест Корси на оценку рабочей памяти, шкала тревожности Спилберга-Ханина.

Очевидно, что свойства нервной системы, влияющие на особенности работы оператора должны быть изучены с использованием нескольких, желательно ортогональных психологических шкал, максимально охватывающих возможный спектр вариативности свойств нервной системы. Так, были выбраны шкалы рабочей памяти, экстраверсии, интроверсии, шкала ведущего сенсорного канала.

В качестве теста на свойство нервной системы связанные со скоростью переключения нервных процессов, связанных со шкалой «интроверсия - экстраверсия» был выбран опросник Ганса Айзенка. При этом учитывалось, что в целом, работа оператора, будучи сосредоточенной на взаимодействии технической частью системы требует акцента не интроверсию. Другой шкалой указанного теста является нейротизм, как маркер неустойчивости психических процессов, и, в ряде случаев повышенной тревожности, которая контролировалась другим тестом.

Очевидно, что в работе оператора важную роль играет память, включая такую категорию как «рабочая память», включающую в себя кратковременную модально - специфическую память, необходимую для выполнения рабочих операций. В качестве теста был выбран зрительно – пространственный тест Корси – представляющий собой предъявление последовательных стимулов, расположенных на плоскости. В задачу испытуемого входило определение в каком порядке в пространстве были предъявлены те или иные стимулы.

Работа оператора, очевидно, связана с анализом в первую очередь зрительной информации, во вторую – слуховой, в тоже время как кинестетические модальности практически не играют значимой роли. Следовательно, доминирование того или иного сенсорного канала определяет скорость и качество усвоения получаемой информации. Для реализации этой цели была проведена диагностика ведущей перцептивной модальности (С. Ефремцева).

Важную роль в работе оператора играет оценка вероятности наступления тех или иных событий. В случае, когда указанная оценка завышает вероятность неблагоприятных событий, приводя к психоэмоциональным изменениям деятельности оператора, формируется повышенная тревожность, которая, в рамках гипотезы исследования должна негативно сказываться на его работе. С целью определить выраженность тревожности в структуре личности в исследование был включен тест Спилберга-Ханина.

С учетом того, что распределения выборок, полученных в результате исследования, нельзя было отнести к нормальной статистической обработке данных, в случае поиска корреляций, производилась

с помощью непараметрического критерия Спирмена. Критерии Колмогорова – Смирнова и Манна – Уитни использовались для выявления различий между средними значениями выборок. С учётом того, что каждый испытуемый представлял собой точку в многомерном пространстве как результатов психологического тестирования, так и результатов собственно самого эксперимента, были применены методы многомерной статистики: методы деревьев классификации (обеспечивали интерпретационный компонент исследования), методы искусственных нейронных сетей (обеспечивали прогностический компонент исследования), кластерный анализ методом К средних (обеспечивал выявление индивидуально-типологических паттернов для групп испытуемых).

Тест для оценки эффективности представления ЭЭГ в рамках разрабатываемого тренажера эргатической системы представлял собой разработанное авторами оригинальное программное обеспечение, целью которого являлось выявление способности у человека отличить реальную энцефалограмму от изображения, сгенерированного программой, на основе временной последовательности полученной в рамках моделирования. Эксперимент состоял из нескольких этапов, предварительные из которых включали генерацию временного ряда, имитирующего ЭЭГ (см ниже).

С точки зрения испытуемого на мониторе компьютера ему предъявлялись изображения графиков в одном и том же масштабе. В инструкции сообщалось, что часть графиков представляли собой реальную энцефалограмму, часть графиков представляло собой графики временного ряда, сгенерированного разными моделями. Задачей испытуемого, не имеющего опыта работ с ЭЭГ являлось определение какое из изображений представляет собой реальную ЭЭГ, а какое – искусственно сгенерированную последовательность. При этом на первом этапе эксперимента имела место обратная связь – испытуемому сообщалось правильно или неправильно он сделал выбор. На втором этапе эксперимента испытуемый выполнял задание без обратной связи. Т.о. обучение осуществлялось только на первом этапе, и не могло быть осуществлено на втором. При этом, пользователь должен был хранить «образы» полученные на этапе обучения, для применения их в ситуации, когда определить верный или не верны ответ был дан, было невозможно (этап 2). На рис. 1. приведены примеры изображений, демонстрируемых испытуемым.

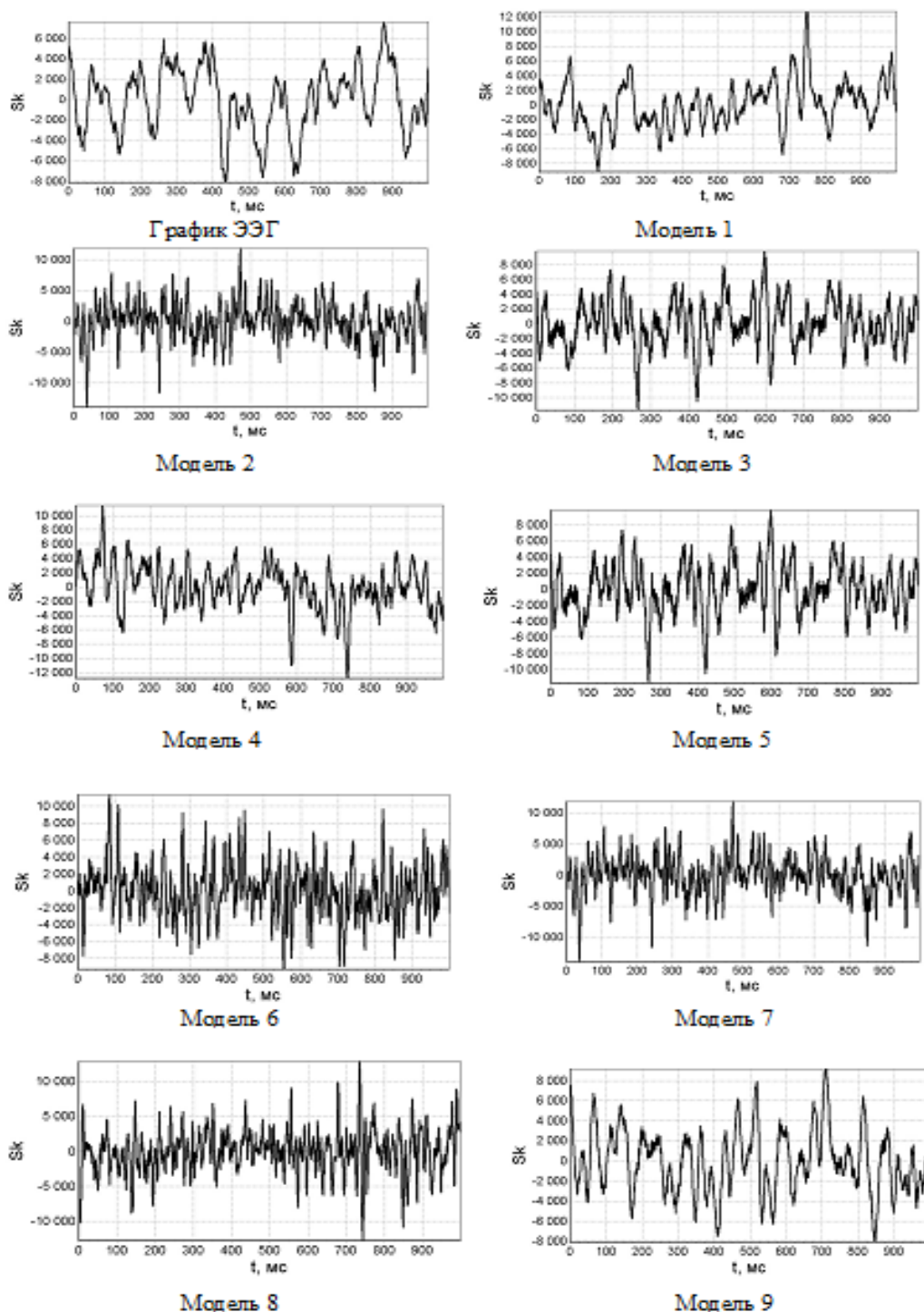


Рис. 1. Примеры изображений, демонстрируемых испытуемым

Основой ЭЭГ являются преимущественно кортикальные пре- и, в основном, постсинаптические импульсы. Таким образом, в первом приближении феноменологическое моделирование ЭЭГ заключается в представлении сигнала как сумму функций, имитирующих развитие во времени, включая суммирование постсинаптических потенциалов. В качестве таковых функций были выбраны парные функции гаусса, которые имитируют возбуждающий постсинаптический потенциал, в случае положительной амплитуды пика и тормозящий постсинаптический потенциал, в случае если значения амплитуды были отрицательны. Для получения динамики во времени функции сдвинуты друг по отношению к другу, что отражает гетерохронность генерации постсинаптических потенциалов. При этом функции имеют одинаковую ширину. Амплитуда сигналов подчиняется нормальному закону распределения с нулевым средним, а время генерации постсинаптических импульсов подчиняется равномерному распределению, имитируя фоновую ЭЭГ. После того, как сигнал был сгенерирован, он

дискретизируется и нормируется. Модельная функция гаусса имела ширину в 15, 30 и 40 мс. Общее количество функция на эпохе модели составляло 100, 250 и 400.

2. Результаты и обсуждение

В ходе оценки исследования имитации тренажера эргатической системы были получены следующие результаты, представленные на рис. 2.

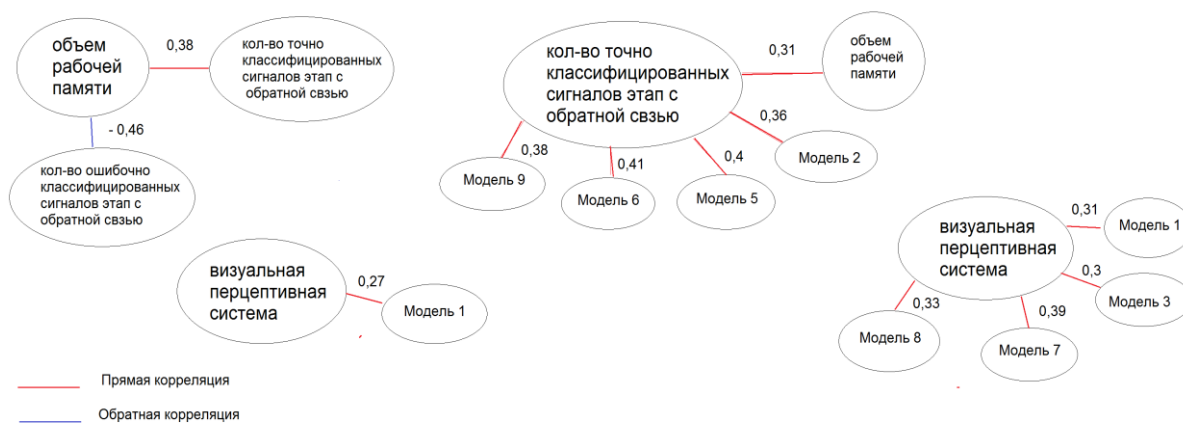


Рис. 2. Результаты эксперимента

Как можно увидеть на рис. 3, объем рабочей памяти прямо коррелирует (0,38) с количеством точно классифицируемых сигналов на этапе с обратной связью. И обратно коррелирует с количеством ошибок на этом же этапе (-0,46). Данный результат очевиден, потому что чем больше объем памяти, тем больше вариантов образов системы сохраняется у оператора и тем больше верных решений он принимает. Так же прослеживается прямая корреляция между количеством верно выбранных сигналов Модели 9 и рабочей памятью на этапе обучения (0,29) [10].

На этапе работы, когда испытуемый был лишен обратной связи установлено, что количество верно классифицируемых сигналов прямо коррелирует с показателями рабочей памяти испытуемых (0,31) (рис.2). Таким образом, предположение о том, что сохранённые на первом этапе тестирования, реализованного с обратной связью «образы» реального ЭЭГ и моделей могут воспроизводиться и после завершения эксперимента можно считать подтверждённым. Однако, результаты показывают, что корреляция прослеживается далеко для всех моделей. Наилучшие результаты показали Модели 2 (0,36), Модели 5 (0,4), Модели 6 (0,41), Модели 9 (0,38), в которых ширина модельной функции составляла 15, 15, 30, 15 мс соответственно [10]. Таким образом, видно, что ряд искусственно сгенерированных последовательностей запоминается как отличающиеся от требуемых существенно лучше, чем других. Изучение данного феномена представляет собой отдельную задачу и выходит за рамки данной статьи.

Поскольку основная предоставляемая информация является визуальной, то чем более выраженный визуальный канал восприятия у испытуемого, тем более правильные он принимает решения. Соответственно, модельные сигналы, полученные с параметрами 2, 4, 5, принимаются испытуемыми за энцефалограмму на этапе с обратной связью. Так же на первом этапе с обратной связью прослеживается прямая корреляция между Моделями 1 (0,31), 3 (0,3), 7 (0,39), 8 (0,33) и ведущей визуальной системой восприятия. Из чего следует, что чем более выраженный визуальный канал восприятия у испытуемого, тем чаще он правильно определяет ситуацию с этими моделями [10].

Так же испытуемый с ведущей визуальной системой восприятия правильно распознает сигнал Модели 1 (0,27), на этапе без обратной связи.

Результаты психологического тестирования испытуемых представлены в табл.1. Одной из первых задач в рамках исследования является определение разброса данных выборки, с целью оценки охвата испытуемыми большинства возможных вариантов психотипов, без доминирования или хотя бы присутствия выраженных маргинальных показателей, отражающих возможное преморбидное состояние оператора. Полученные результаты по всем тестам демонстрируют достаточный уровень вариативности показателей, при этом шкала «честность» теста Айзенка показывает, что в ответах

испытуемые были в целом открытвенны, что позволяет рассматривать имеющуюся выборку как достаточно репрезентативную.

Тест Спилбергера – Ханина (тест на тревожность), показывающий личностные или ситуативные особенности испытуемых в части субъективного завышения вероятности наступления неблагоприятных событий, продемонстрировал отсутствие маргинальных значений, наряду с достаточным разбросом результатов. При этом, динамика уровня тревожности за день до эксперимента и непосредственно перед экспериментом показала отсутствие значимых изменений, что указывает на то, что испытуемые работали в обычном для себя состоянии.

Таблица 1. Результаты тестирования операторов исследуемых интерфейсов и результатов их работы ($M \pm m$, Q25; Q75,)

Показатели	$M \pm m$, Q25; Q75,
Шкала экстраверсии/интроверсии по Айзенку (баллы)	$12,5 \pm 0,56$; 10; 15
Шкала нейротизма по Айзенку (баллы)	$12,6 \pm 0,67$; 9; 17
Контрольная шкала для оценки искренности испытуемого по Айзенку («шкала лжи») (баллы)	$3,27 \pm 0,28$; 2; 4
Ситуативная тревожность по Спилбергу до проведения эксперимента (баллы)	$38,1 \pm 1,54$; 29; 47
Уровень личностной тревожности по Спилбергу до проведения эксперимента (баллы)	$40,5 \pm 1,32$; 34; 45
Ситуативная тревожность по Спилбергу непосредственно пред началом эксперимента (баллы)	$37,6 \pm 1,35$; 30; 44
Уровень личностной тревожности по Спилбергу непосредственно пред началом эксперимента (баллы)	$38,76 \pm 1,34$; 31; 44
Рабочая память (баллы)	$9,03 \pm 0,19$; 9; 10
Визуальный канал восприятия (баллы)	$8,33 \pm 0,38$; 6; 10
Аудиальный канал восприятия (баллы)	$8,7 \pm 0,3$; 7; 10
Кинестетический канал восприятия (баллы)	$8,09 \pm 0,36$; 6; 10
Средняя доля правильных ответов с обратной связью	$0,57 \pm 0,01$; 0,52; 0,63
Средняя доля правильных ответов без обратной связи	$0,607 \pm 0,015$; 0,51; 0,69
Доля испытуемых превзошедших верхний 95% интервал в эксперименте с обратной связью (%)	$0,54 \pm 0,07$; 0; 1
Доля испытуемых, демонстрирующих превзошедших верхний 95% интервал в эксперименте без обратной связи (%)	$0,58 \pm 0,06$; 0; 1
Доля улучшивших свои показатели без обратной связи (%)	$0,75 \pm 0,06$; 0; 1

При корреляционном анализе установлено, что испытуемые, обеспечивающие в ходе эксперимента результаты выше верхней границы 95% доверительного интервала на эксперименте с наличием обратной связи, статистически значимо чаще показывали более высокие результаты на втором этапе без обратной связи ($\chi^2 = 18.5356$, $p = 0.000017$, $r = 0,406$, $p < 0.05$). При этом было продемонстрировано, что испытуемые, показывающие более высокие результаты на этапе с обучением, выдают более высокие показатели на втором этапе эксперимента без обратной связи [10]. Таким образом для этой части испытуемых имеющийся на первом этапе эксперимента задел в виде обучения с обратной связью оказался достаточным для того, чтобы обеспечить успешность работы без обратной связи.

Средний результат безошибочности распознавания при прохождении эксперимента, с целью выявления способности отличить реальную энцефалограмму от изображения, сгенерированного программой, на первом этапе, включающем в себя обучение, составил 57 %, на втором этапе без обратной связи 60% (Критерий Вилкоксона для парных случаев, $p = 0.008$). Иными словами, несмотря на очень небольшие различия в среднем (3%) большинство испытуемых пусть и незначительно, но увеличили точность распознавания. Количество испытуемых, которые показали результаты выше верхнего уровня доверительного интервала, составило 54% на этапе с обратной связью и 58% на этапе без обратной связи.

Обратная корреляция с аудиальной перцептивной системой ($r = -0,302$, $p < 0.05$) показывает более ограниченные возможности операторов с данной ведущей перцептивной системой по сравнению с

операторами, где ведущей системой является зрительная и кинестетическая. Если зрительная перцептивная система представляется логичной и обоснованной в преимуществе перед аудиальной системой потому, что основной канал работы оператора зрительный, то кинестетическая система не имеет, в теории, столь явных преимуществ. Можно предположить, что её доминирование в большей степени определяется сопряженностью реакций с визуальной системой.

Как и следовало ожидать, имеется выраженная положительная связь ($r=0,639, p<0.05$) между рабочей памятью и результатами эксперимента с обратной связью. Из этого следует, что участники эксперимента с лучшей рабочей памятью запоминают большее количество изображений на этапе с обратной связью и соответственно у них формируется большая база данных для принятия решения на этапе тестирования без обратной связи [10].

Кластерный анализ в данном исследовании был проведен при помощи метода К – средних. При этом увеличивалось количество кластеров от двух до четырёх. Однако, при разбиении выборки на три и четыре кластера полученные результаты только детализировали информацию, выявленную при выделении двух кластеров.

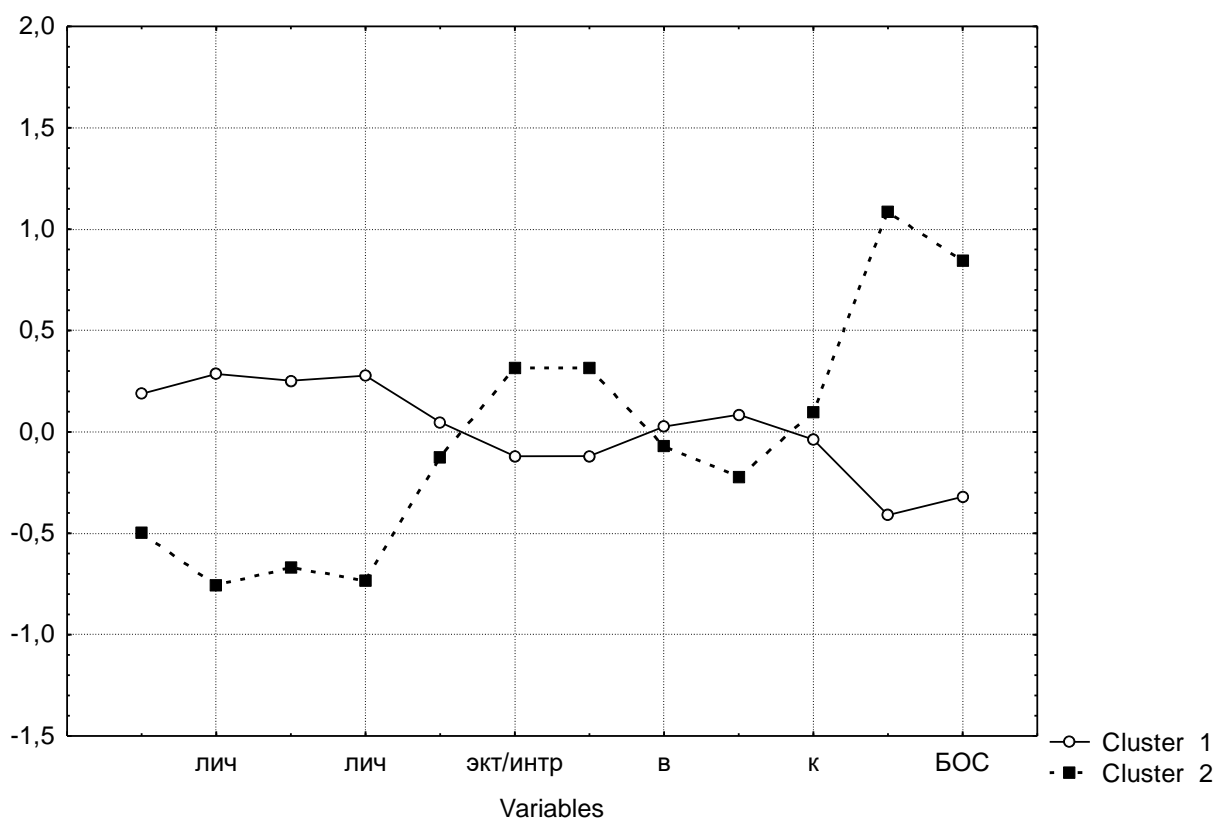


Рис. 3. Результаты кластерного анализа

Из представленного выше рисунка следует, что участники эксперимента с более низким уровнем тревожности выдают более высокие результаты в ходе эксперимента на обоих этапах. Это может быть детерминировано тем, что высокий уровень тревожности прямо коррелирует с ошибками памяти и ошибками действия. Это неудивительно, если учесть, что в целом, высокая тревожность показывает низкую прогностическую способность испытуемого в аспекте оценки вероятности наступления неблагоприятных событий. Испытуемый субъективно завышает вероятность их наступления, что в итоге сказывается на выборе ответов при выполнении итогового задания.

3. Заключение

В работе рассмотрен вопрос распознавания генерации искусственных сигналов, имитирующих работу биологической системы и реальных сигналов, генерируемых этой системой. Задачей являлась оценка психофизиологических возможностей потенциальных операторов в распознавании этих сигналов. Показано, что наибольшее значение с точки зрения психологического типажа испытуемых является личностная и ситуационная тревожность, негативно влияющая на способность к распознаванию естественных и искусственных сигналов. При этом, ожидаемо, наилучшие результаты

были получены у пользователей с доминирующей визуальной модальностью. Полученные результаты позволяют оценить влияние психофизиологического профиля испытуемых на их способность различать в рамках работы с тренажерами эргатических систем реальные сигналы, сгенерированные системой и модельные сигналы, сгенерированные для использования на тренажере.

Литература

1. Тюкалов Д.Е., Данилов А.М. Моделирование и подготовка операторов транспортных эргатических систем // Молодой ученый, 2015. №3 – С. 247-249.
2. Холодков Н.И., Гонюченко В.О., Ткачев В.И. Модели и показатели оптимизации управления профессиональной подготовкой операторов эргатической системы с применением компьютерного тренажера // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, 2015. №3 – С. 247-249.
3. Юсупов А.Х., Интерактивные тренажеры и их роль в учебном процессе. // Инновационная наука, 2019. № 1. – С. 60–62.
4. Мальцева А.П., Касаткина Н.М., Солтис В.В. Проблемы разработки и использования VR- симуляторов в системе подготовки учителей. // Поволжский педагогический поиск, 2022. №2 – С. 78-86.
5. Жабицкий М.Г., Кулак С.А., Новикова А.С. Проблема разработки VR тренажеров сборки/разборки, и вариант высокопроизводительного решения на базе технологии VRCONCEPT //INTERNFTIONALJOURNALOFOPENINFORMATIONTECHNOLOGIES. – 2022. – №8 – С. 18-29.
6. Неробкова Л.Н., Авакян Г.Г., Воронина Т.А., Авакян Г.Н. Клиническая энцефалография. Фармакоэлектроэнцефалография. –М.: ГОЭТАР-Медиа, 2020. – 288с.
7. Смирнов В.М. Физиология сенсорных систем и высшая нервная и психическая деятельность// Москва: Академия, 2013 - 98 с.
8. Дозорцев В.М. Компьютерные тренажеры для обучения операторов технологических процессов // М.: СИНТЕГ, 2009 – 365 с.
9. Литвинов В.П. Актуальность задачи Тьюринга // Философские проблемы информационных технологий и киберпространства, 2012. №1(3) – С. 93-100.
10. Туровский Я.А., Тищенко В.А., Киселев Е.А., Устименко Т.А., Адоньева А.А. Индивидуально-типологические особенности распознавания реальных и модельных сигналов электроэнцефалограммы // Эргодизайн, 2023. №4 – С. 405 - 412.