АНАЛИЗ ВИБРОИЗОБРАЖЕНИЙ: ИННОВАЦИОННЫЙ СПОСОБ ДИАГНОСТИКИ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА

В.А. Минкин, А.Ф. Бобров

Сведения об авторах:

Минкин Виктор Альбертович, заместитель директора ООО «Многопрофильное предприятие «ЭЛСИС», г. Санкт-Петербург, Россия

тел.: +7(921) 962-77-53; e-mail: minkin@elsys.ru

Бобров Александр Федорович, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И.Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия

тел.: +7 (910) 444-81-45; e-mail: baf-vcmk@mail.ru

Ключевые слова: психофизиология, виброизображение, энергия, информация, психофизиологическое обследование, предсменный контроль, персонал предприятий электроэнергетики.

Аннотация

В статье описывается инновационный способ диагностики психофизиологического состояния человека, связанный с технологией виброизображения. Рассматриваются теоретические, методологические и методические вопросы технологии виброизображения, критерии оценки психофизиологического состояния по его параметрам. Приводятся результаты сравнительной оценки психофизиологической адаптации по известным психодиагностическим, психофизиологическим и физиологическим методикам и параметрам виброизображения. Показана высокая корреляция параметров виброизображения с параметрами электрофизиологических сигналов при тренировке/тестировании на психофизиологическом тренажере, реализованном в виде интерактивной имитационной обучающей игры с биологической обратной связью в виртуальной среде. Описаны перспективные направления использования технологии виброизображения в электроэнергетике.

Введение

Дискуссии об информативности движения ведутся, начиная от Аристотеля, который декларировал неразрывную связь между движением и жизнью биологических объектов, в том числе связь между двигательной активностью и психофизиологическим состоянием. Тезис Ивана Михайловича Сеченова, сформулированный им в 1863 году в классической работе «Рефлексы головного мозга», что: «Все внешние проявления

мозговой деятельности могут быть сведены на мышечное движение», наиболее наглядно устанавливает связь между процессом мышления и движением. Великий Чарльз Дарвин на основе теории эволюции в книге «О выражении эмоций у человека и животных» (1872 год) утверждал, что «рефлекторные действия характеризуют выражение эмоций». Выдающийся биолог и психолог 20 века, нобелевский лауреат Конрад Лоренц в книге «Агрессия» (1966 год) заявил, что тот, кто сумеет измерить амплитуду и интенсивность рефлекторных движений, тот сможет определить уровень агрессивности.

Несмотря на эти прямые рекомендации по определению психофизиологического состояния (ПФС) через параметры рефлекторных движений, до недавнего времени не удавалось количественно и информативно характеризовать (измерить) движения человека. Прежде всего, потому, что большинство исследователей физиологии движения (Н.А. Бернштейн [1], Мира-И-Лопес [2]) пытались анализировать макро перемещения человека, что является чрезвычайно сложной математической задачей.

В работе [3] было установлено, что поддержание вертикального равновесия головы человека, осуществляемое вестибулярной системой, может быть рассмотрено как функция, характеризующая вестибулярный рефлекс и, одновременно, как частный случай двигательной активности, характеризующийся микродвижениями головы. Анализ микро перемещений головы имеет целый ряд преимуществ по сравнению с анализом других рефлексных движений человека. Прежде всего, движения головы являются одним из самых часто повторяющихся движений, которые совершает человек в течение жизни. Ребенок начинает держать голову, начиная со второго месяца жизни, далее вестибулярная система постоянно поддерживает вертикальное состояние головы, перемещая ее в пространстве на сотни микрон несколько раз в секунду, отдыхая, только когда человек спит, или его голова прислонена к какому-то предмету. Данное явление получило название вестибулярно-эмоциональный рефлекс (ВЭР), так как практически связывает параметры движения головы человека и его психоэмоциональное состояние [4].

Технология вибризображения. Основные принципы.

С физической точки зрения, механические колебания головы представляют собой вибрационный процесс, параметры которого количественно характеризуют взаимосвязь энергии и движения объекта. Для получения интегральной информации о параметрах движения головы используется технология виброизображения [5], которая позволяет количественно определять параметры периодических перемещений каждой точки объекта. Виброизображение представляет собой первичный вид изображения, каждая точка которого отражает параметры движения объекта. Оно аналогично другим

биомедицинским видам изображений человека (УЗИ, ЯМР, ИК или рентгеновское изображение), каждое из которых отражает определенные физические свойства. При этом виброизображение позволяет получать также информативные сигналы, аналогичные точечным методам считывания биомедицинской информации – электроэнцефалографии (ЭЭГ), кожно-гальваническая реакции (КГР), электрокардиограмме (ЭКГ).

Анализ траектории движения головы своей физиологической основой существенно отличается от анализа эмоций человека на основе мимики лица, различные модели которого были предложены Экманом [6] и Фридландем [7]. Мимика лица хорошо отражает яркие и локальные проявления эмоций, однако малоэффективна при проведении автоматизированного анализа эмоций, так как не является постоянным психофизиологическим процессом, таким как измерение артериального давления (АД), КГР, ЭКГ, т.е. физиологических процессов, традиционно применяющихся при детекции лжи [6].

Технология виброизображения: 20 лет спустя.

Использование накопленной кадровой разности для получения биометрической информации о человеке было впервые предложено при разработке технологии объемного пульса в компании Элсис в 1996 году [8]. Полученное контактное изображение при прижатии пальца к дактилоскопическому сканеру отражало интенсивность пульсаций крови в зависимости от расположения капилляров и использовалось для защиты от поддельных носителей дактилоскопического изображения [9]. Так как дактилоскопический датчик представлял собой телевизионную матрицу, то было несложно использовать написанную для получения контактного изображения программу для работы с обычной телевизионной камерой и наблюдать псевдоцветные изображения человека и других движущихся предметов. Авторам такого способа преобразования изображения потребовалось несколько лет (2000 г.), чтобы понять, что получаемые цветные картинки зависят от эмоционального и психофизиологического состояния человека [10]. Наиболее востребованными в мире направлениями психофизиологической детекции традиционно являются направления детекции лжи и выявления потенциально опасных людей, поэтому естественно, что разработчики технологии виброизображения обратили внимание на данные направления. В 2005 году компания Элсис выиграла конкурс в ФАНИ на разработку НИР «Создание системы дистанционного бесконтактного сканирования и идентификации психофизиологического состояния человека» а в 2007 году составную часть ОКР «Разработка технологии и создание средств обнаружения скрытно переносимых человеком опасных предметов и контроля его психоэмоционального состояния». С 2008 года системы виброизображения

рекомендованы МВД РФ [11] и используются в аэропортах РФ (Пулково, Домодедово, Шереметьево) для бесконтактного контроля пассажиропотока и выявления потенциально опасных и неадекватных пассажиров. С помощью систем виброизображения осуществлялся 100% контроль психоэмоционального состояния посетителей Олимпийских игр в Сочи [12].

В настоящее время технология виброизображения является одной из самых известных технологий безопасности в мире [13]. Она используются службами безопасности различных государств для проведения детекции лжи и выявления потенциально опасных и террористически настроенных людей на различных объектах и мероприятиях. Технология виброизображения защищена 5 патентами РФ, патентами США и Кореи.

Проведенные исследования по применению технологии виброизображения для диагностики онкологии простаты [14] позволяют предположить, что данная технология может быть использована для диагностики широкого ряда патологий и заболеваний за счет функциональной связи контролируемой вестибулярной системы с другими физиологическими системами организма человека.

Существенным преимуществом технологии виброизображения является то, что она изначально (с момента открытия вестибулярно-эмоционального рефлекса) разрабатывается для контроля психофизиологического состояния человека, а не использует известные параметры физиологических систем для контроля психологического состояния. Это позволяет использовать последние достижения науки и техники для того, чтобы перейти от общей оценки ПФС к реальному измерению параметров ПФС.

Методологические возможности технологии виброизображения

Основным преимуществом технологии виброизображения является то, что она дополнительно к временным зависимостям физиологических параметров позволяет получать многомерные психофизиологические зависимости. Анализ временных и пространственных параметров микродвижений головы имеет свои шаблоны для любых изменений эмоций и психофизиологического состояния. Физический подход к человеку, как к сложной кибернетической системе, можно выразить, отобразив любое изменение ПФС человека в простейшей Декартовой или прямоугольной системе координат, по горизонтальной оси которой откладывается значение энергии, потребляемое человеком на данный момент времени и обычно измеряемое в ккал/мин, а по вертикальной оси – уровень психологического комфорта или настроения, который можно отразить как

показатель информационного совершенства исследуемого человека. Понимание информации в кибернетике, введенное в работах Норберта Винера [15], Клода Шенона [16] и Николая Бернштейна [1], основано на общих закономерностях процессов управления и передачи информации в машинах, живых организмах и обществе, и, на взгляд авторов, незаслуженно мало используется при оценке ПФС. В то время, как энергия и информация являются основными и определяющими понятиями современной науки, следовательно, именно этими величинами необходимо характеризовать ПФС человека, как сложной кибернетической системы. Если с точки зрения измерения выделяемой человеком энергии, все достаточно просто и понятно, так как кроме технологии виброизображения существует множество других методов измерения выделяемой человеком энергии, то задача определения информационной комфортности человека совсем не проста. При этом каждый взрослый человек, на уровне самооценки, может легко сказать, насколько хорошо он себя чувствует в данный момент и насколько счастливым в данный момент он является. Самооценку комфортности своего ПФС (или информационного совершенства) проще всего выразить в процентах, поэтому выберем проценты или относительные единицы для измерения информационной комфортности состояния человека. Уровнем 100 % или 1 обозначим состояние полного счастья или нирваны, а уровню 0 будет соответствовать смерть человека, т.е. остановка обмена информацией между физиологическими системами человека.

Актуальное ПФС может быть выражено в предложенной системе координат в виде точки, а изменение ПФС человека во времени будет выражено в виде прямой или кривой между двумя точками. Рассмотрим условный пример изменения ПФС из состояния 0 в различные состояния 1, 2, 3, 4, 5, приведенный на рисунке 1.

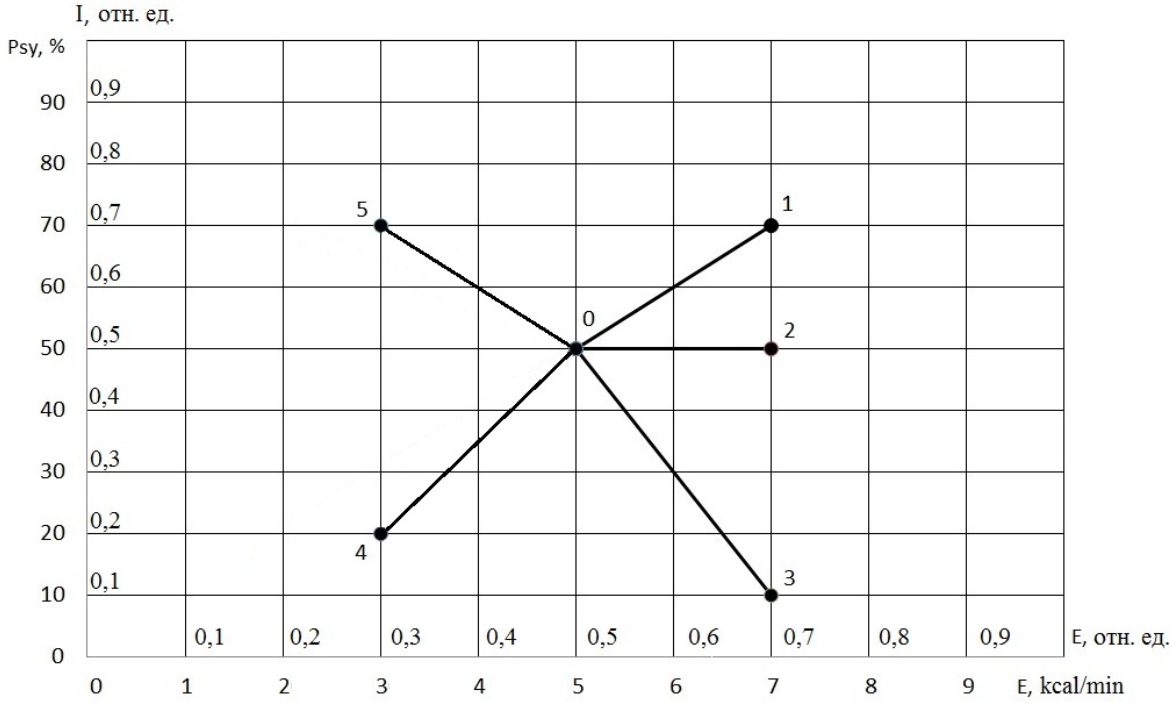

Рисунок 1 - Психо-энергетическая (информационно-энергетическая) диаграмма изменения ПФС.

В приведенной на рисунке 2 информационно-энергетической диаграмме переход из начального ПФС (точка 0) в другие состояния характеризуется одним изменением потребляемой энергии, но в разные состояния психологического комфорта. Опишем указанные переходы ПФС, хотя бы кратко.

Переход 0 – 1 характеризуется увеличением потребляемой энергии и улучшением психологического состояния. Причиной данного изменения ПФС может быть хорошая или приятная новость (стимул), которая приводит к более интенсивным обменным процессам (увеличение потребляемой энергии), при этом психологическое состояние и настроение заметно улучшилось (уменьшилась энтропия обменных процессов, а информативность обмена выросла).

Переход 0 – 2 характеризуется увеличением потребляемой энергии и ровным уровнем психологического состояния. Причиной может быть, например увеличение умственной или физической активности, которые приводят к более интенсивным обменным процессам (увеличение потребляемой энергии), при этом психологическое состояние и настроение остается без изменений, так как проведенное воздействие не вызвало эмоциональных изменений.

Переход 0 – 3 характеризуется увеличением потребляемой энергии и ухудшением психологического состояния. Причиной может быть неприятная информация, которая приводит к более интенсивным обменным процессам (увеличение потребляемой энергии),

при этом психологическое состояние и настроение заметно ухудшилось (ухудшилось энтропия обменных процессов, а информативность обмена упала).

Переход 0 – 4 характеризуется уменьшением потребляемой энергии и ухудшением психологического состояния. Причиной может быть неприятная новость, которая приводит к замедлению обменных процессов (уменьшение потребляемой энергии), при этом психологическое состояние и настроение заметно ухудшилось (ухудшилось энтропия обменных процессов, а информативность обмена упала).

Переход 0 – 5 характеризуется уменьшением потребляемой энергии и улучшением психологического состояния. Причиной может быть приятная новость, которая успокаивает и приводит к замедлению обменных процессов (уменьшение потребляемой энергии), при этом психологическое состояние и настроение заметно улучшилось (уменьшилась энтропия обменных процессов, а информативность обмена выросла).

Во всех приведенных примерах изменение потребляемой человеком энергии из состояния 0 в другое ПФС составило 2 ккал/мин, при этом каждый переход имеет свой эмоциональный и психофизиологический смысл, однако определить этот смысл по временной зависимости физиологического параметра (КГР, ЧСС, ЭЭГ, ВИ и т.д.) физически невозможно. Именно это делает классический полиграф искусством, зависящим от оператора, проводящего исследование, а не воспроизводимыми научными исследованиями.

Технология виброизображения позволяет получать многомерные зависимости характеристик ПФС и измерять не только изменение энергетики, но и направление этого изменения. Конечно, реальное изменение потребляемой энергии при предъявлении стимулов далеко не всегда прямолинейно, так как энергетическое потребление и психоэмоциональный комфорт являются функциями от множества факторов. Однако результат сдвига ПФС после предъявления стимула на психо-энергетическом графике легко вычислять, например, с помощью предлагаемого алгоритма программы Виброложь+.

Текущий алгоритм предполагает равную значимость энергии (физики) и психологии (информации) при анализе изменения ПФС. Возможно, для решения конкретных задач следует выбирать различную значимость для указанных параметров ПФС.

Практика оценки психофизиологического состояния человека по данным виброизображения

Оценка психофизиологического состояния (ПФС) человека лежит в основе психофизиологических обследований (ПФО) работников различных отраслей народного хозяйства. ПФО проводится в соответствии с нормативными документами, утвержденными соответствующими организациями и ведомствами. В электроэнергетике таким документом является Методическое руководство по организации и проведению психофизиологических обследований персонала энергетических предприятий [19], в атомной отрасли – Методические рекомендации «Организация и проведение психофизиологических обследований работников организаций, эксплуатирующих особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты в области использования атомной энергии, при прохождении работниками медицинских осмотров в медицинских организациях ФМБА России» [20]. В этих документах регламентированы порядок и методики проведения ПФО.

Использование любой новой методики оценки ПФС требует проведения научных исследований по верификации ее параметров существующими критериями оценки психофизиологического состояния человека. С этой целью было проведено ПФО работников одного из предприятий атомной отрасли. В обследовании приняло участие 72 человека. В соответствии с [20] методики обследования включали в себя: психодиагностические тесты ММИЛ, 16 ФЛО Кеттелла, Равена, УСК, психофизиологические методики оценки простой (ПЗМР) и сложной (СЗМР) зрительно-моторной реакции, реакции на движущийся объект (РДО), физиологические методики оценки вариабельности сердечного ритма (ВСР), измерение артериального давления. Регистрировались антропометрические характеристики обследованного. Целью проведения ПФО являлась оценка уровня психофизиологической адаптации работника, под которой понимается системный ответ человека на действие внешних и внутренних стимулов и факторов, направленный на достижение полезного приспособительного результата [20]. Обследования проводились с использованием аппаратно-программного комплекса для группового психофизиологического обследования (АПК ПФС-КОНТРОЛЬ), разработанного в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И.Бурназяна ФМБА России. Время обследования одного работника занимало в среднем 2,5 часа.

Регистрация параметров виброизображения осуществлялась с использованием программы ВибраМЕД. Время обследования одного работника составляло 1 минуту.

Результаты проведенных исследований анализировались с использованием метода иерархической стратификации функциональных состояний [21].

Визуализация виброизображения в программе ВибраМед дана в виде «виброауры» (рисунок 2).

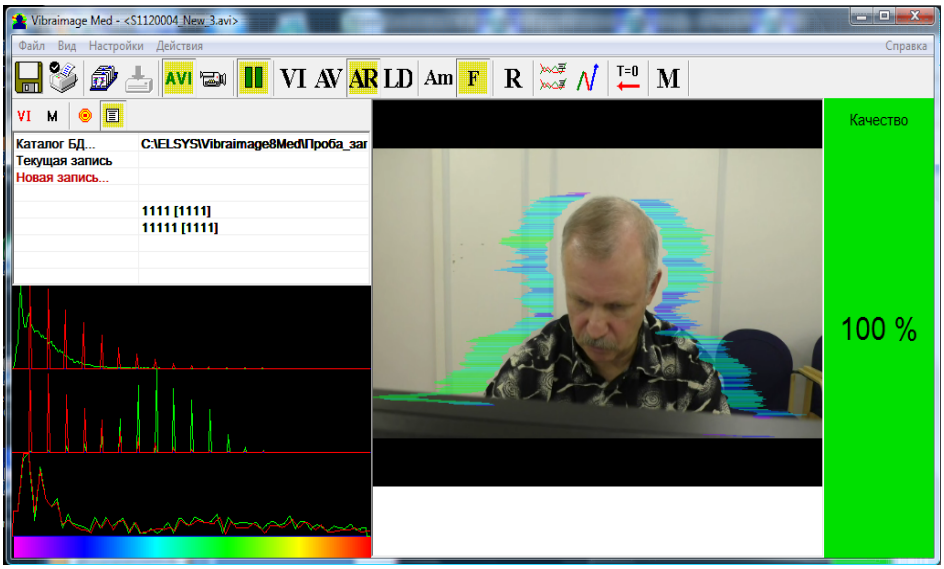

Рисунок 2 – Визуализация виброизображения в программе ВибраМЕД.

Вычисляемые параметры по данным виброизображения включают в себя [18]:

T1 – параметр Агрессия (P7);

Параметр определяется по частотной гистограмме и отражает максимум распределения частоты и СКО частоты вибраций лица человека. Чем выше значение максимума распределения и чем выше значение СКО, тем больше значение параметра T1.

T2 – параметр Стресс (P6);

Параметр определяется по степени асимметричности внешнего виброизображения, а значит асимметричности микродвижений левой и правой части головы человека. Большая разница амплитуды и частоты движений левой и правой части лица (головы) характеризует повышенный уровень параметра T2.

T3 – параметр Тревожность (F5X);

Параметр определяется по отношению высокочастотной части спектра вибраций к общей мощности в спектре частоты микродвижений головы человека. Высокое значение плотности высокочастотных вибраций характеризует высокое значение параметра T3.

T4 – параметр Опасность (P19);

Параметр определяется как среднее значение суммы первый трех условно негативных эмоций (T1,T2,T3), показывает уровень потенциальной опасности, которую представляет человек для окружающих, и характеризует общий уровень условно негативных эмоций в состоянии человека.

T5 – параметр Уравновешенность (P16);

Параметр определяется по частотной гистограмме и характеризует уровень подобия текущей частотной гистограммы нормальному закону распределения. Высокий уровень подобия частотной гистограммы нормальному закону характеризуется высоким уровнем уравновешенности, а значительное отклонение от нормального закона распределения характеризуется низким уровнем параметра T5.

T6 – параметр Харизматичность (Шарм) (P17);

Параметр определяется симметрией микродвижений головы и лица, максимальная симметрия движений (частота и амплитуда) характеризует высокий уровень харизматичности.

T7 – параметр Энергичность (P8);

Параметр определяется по частотной гистограмме и характеризует разность значений максимума плотности частоты вибраций и СКО частоты вибраций лица и головы человека. Чем выше значение максимума плотности и ниже СКО или разброс вибраций, тем выше значение энергичности.

T8 – параметр Саморегуляция (P18);

Параметр определяется как среднее значение суммы условно положительных эмоций (T5, T6) и характеризует общий уровень условно положительных эмоций у человека на данный момент времени.

T9 – параметр Торможение (F6);

Единственный из измеряемых параметров психофизиологического состояния (T1-T10) имеет реальную физическую размерность (время в секундах) и характеризует минимальное время реакции человека на предъявляемое событие (стимул). Значение параметра T1=0,1 (10%) означает, что время реакции человека составляет 0,1 с. Большее время реакции соответствует более высокому уровню торможения.

T10 – параметр Невротизм (F9).

Параметр характеризует разброс (СКО) измеренных значений уровня торможения за время измерения (по умолчанию 60 с). Высокий уровень разброса торможения характеризует нестабильность психофизиологического состояния и соответственно высокий уровень невротизма T10.

Как следует из названия перечисленных параметров, они, в первую очередь, связаны с задачей выявления лиц с преступными намерениями. Отсюда такие названия параметров как «агрессия», «опасность» (для окружающих). Поэтому первой задачей, которую было необходимо решить, являлась разработка на основе выше указанных параметров интегрированных характеристик, соответствующих задаче оценки психофизиологического состояния профессиональных групп.

В таблице 1 приведена факторная структура параметров T1–T10 виброизображения.

Таблица 1 – Факторная структура параметров ВибраМед

Параметры ВибраМед	**F1**	**F2**	**F3**	**F4**
Агрессия	- 0,21	- 0,05	0,85	- 0,35
Стресс	- 0,90	- 0,10	- 0,09	- 0,18
Тревожность	0,02	0,84	0,18	0,13
Опасность	- 0,52	0,47	0,62	- 0,22
Уравновешенность	0,09	0,04	- 0,11	0,98
Харизматичность	0,84	- 0,07	- 0,08	0,16
Энергичность	0,45	- 0,17	0,79	0,14
Саморегуляция	0,47	0,00	- 0,13	0,85
Торможение	0,07	- 0,75	0,24	- 0,02
Невротизм	- 0,03	- 0,72	0,02	0,07

Построенные факторы описывают 81% общей дисперсии.

С фактором F1 отрицательно коррелируют параметры Агрессия, Опасность. Положительно – параметр Харизматичность, и, с меньшими значениями, Энергичность и Саморегуляция.

Построенная новая интегрированная характеристика является отражением уровня стрессированности человека. Её низким значениям соответствует низкий уровень стрессированности и наоборот. При этом, чем ниже уровень стрессированности, тем выше параметры Энергичность и Саморегуляция. В связи с описанным параметр Харизматичность характеризует свойство, противоположное стрессу, и усиливается при его отсутствии. Такой характеристикой является уровень внутреннего психофизиологического комфорта.

Со вторым фактором F2 положительно коррелирует параметр Тревожность, отрицательно – параметры Торможение и Невротизм.

Высокий уровень разброса торможения характеризует нестабильность психофизиологического состояния и соответственно высокий уровень невротизма. То есть высокие значения Торможения и Невротизма являются неблагоприятной психофизиологической характеристикой, свидетельствующей о нестабильности актуального психофизиологического состояния. Поэтому фактор F2 характеризует, уровень стабильности психофизиологического состояния.

С третьим F3 фактором положительно коррелируют параметры Агрессия, Опасность и Энергичность. Сочетание данных параметров характеризует уровень

активации психофизиологических функций человека. Это характеристика уровня мобилизации психофизиологических функций, психофизиологических затрат организма.

С последним четвертым фактором F4 положительно коррелируют параметры Уравновешенность и Саморегуляция. Данный фактор характеризует самообладание человека, способность регулировать внутреннее состояние в соответствии с изменяющимися условиями жизнедеятельности.

Таким образом, по результатам факторного анализа получены четыре новых показателя оценки актуального психофизиологического состояния по данным виброизображения: уровень стрессированности человека (УР_СТРЕС), уровень стабильности психофизиологического состояния (УР_СТАБ), уровень активации психофизиологических функций (УР_АКТ) и уровень психофизиологического самообладания (УР_САМ).

Для удобства практического использования перечисленные показатели были переведены в Т-бальную шкалу: среднее значение равно 50 баллов, среднеквадратичное отклонение – 10 баллам.

Анализ результатов психофизиологических обследований с использованием АПК ПФС-КОНТРОЛЬ показал, что 18% обследованных имеют сниженный уровень психофизиологической адаптации.

В таблице 2 приведены средние значения достоверно ($p < 0,05$) различающихся характеристик психических, психофизиологических и физиологических функций у лиц с нарушениями (код 1) и без нарушений (код 0) психофизиологической адаптации. Оценка достоверности различия проводилась с использованием Т-критерия Стьюдента.

Таблица 2 – Средние значения достоверно (p < 0,05) различающихся характеристик психических, психофизиологических и физиологических функций у лиц с нарушениями (код 1) и без нарушений (код 0) психофизиологической адаптации.

Показатели	**Код подгруппы**		**Величина Т-критерия Стьюдента t-value**	**Уровень доверительной вероятности p**
	0	**1**		
Достоверные показатели теста MMPI				
M7, баллы	48,6	54,8	- 2,058	0,043336
Достоверные показатели теста Кеттелла				
KTL_B, стены	7,4	5,5	3,104	0,003
KTL_C, стены	7,5	5,8	2,520	0,0143
KTL_N, стены	6,8	5,8	1,701	0,05338
KTL_Q3, стены	8,3	7,1	2,147	0,03533
KTL_F3, стены	6,2	4,9	2,268	0,0263
Q4/F3, усл.ед.	0,8	1,5	- 2,677	0,0093
F1-F3, стены	- 3,0	- 0,4	- 2,156	0,0343
Достоверные показатели теста Равена				
Число правильно выполненных заданий	41,5	35,7	2,121	0,0373
% правильно выполненных заданий	70,4	60,3	2,154	0,0343
% правильно B	82,5	72,9	1,832	0,0513
% правильно C	64,3	52,8	2,110	0,0383
% правильно D	73,6	56,3	2,935	0,00453
Достоверные показатели теста УСК				
Ид, стены	6,8	5,3	2,129	0,0363
Достоверные показатели методики СЗМР				
Преждевременные реакции, %	0,0	0,2	- 2,303	0,0243
Достоверные показатели методики РДО				
Попадания, %	68,8	57,3	2,18147	0,0323
Недолёты, %	23,2	31,6	- 1,74632	0,0853
СКО Точность, усл.ед.	3,2	3,9	- 2,09397	0,0393
Достоверные показатели физиологического состояния				
Диастолическое артериальное давление, мм.рт.ст.	84,3	91,8	- 2,13325	0,0363
Индекс функциональных изменений ИФИ, усл.ед.	2,9	3,2	- 1,93119	0,0543
Уровень физического состояния УФС, усл.ед.	0,5	0,4	2,02909	0,0463
Амплитуда моды, %	54,2	63,7	- 2,07368	0,0413
СКО, мс	32,1	22,6	1,98423	0,0513
Суммарная мощность спектра, TP	1101,7	468,5	2,01909	0,0463
Индекс напряжения ИН регуляторных систем, усл.ед.	331,1	547,3	- 2,48688	0,0153

Из приведенных данных следует, что лица с признаками нарушения психофизиологической адаптации имеют сниженный уровень интеллекта, склонны к медленному обучению, с трудом усваивают новую информацию, всё понимают буквально и конкретно. Они мягкие, романтичные с многообразием оттенков эмоций, развитым воображением и образности в восприятии мира. Переживание внутреннего беспокойства, озабоченности, взбудораженности окрашивают отрицательно. Поведение может быть нестабильным и плохоориентированным. Имеют повышенное фрустрационное напряжение, сниженный уровень реализованной лабильности. Снижен уровень субъективного контроля. В особенности в производственных отношениях, что отражается в перекладывании своих неудач на руководство, товарищей по работе. Имеют сниженный уровень операторской работоспособности. Функциональное состояние ЦНС характеризуется преобладанием тормозных процессов.

Функционирование системы кровообращения характеризуется неудовлетворительной адаптацией. Вегетативный гомеостаз характеризуется преобладанием симпатических реакций вегетативной нервной системы, что отражает высокий уровень напряжения регуляторных механизмов целостного организма. Физическая работоспособность вследствие этого снижена.

Использование дискриминантного анализа [22] показало высокую точность идентификации лиц с нарушениями психофизиологической адаптации по интегрированным параметрам виброизображения. Это следует из классификационной матрицы (таблица 3).

Таблица 3 – Классификационная матрица идентификации работников с различным уровнем психофизиологической адаптации (ПФА) по интегрированным параметрам виброизображения

	% правильной классификации	Группа код 0 (число наблюдений)	Группа код 1 (число наблюдений)
Лица без нарушения ПФА (код 0)	100,0	60	0
Лица с нарушениями ПФА (код 1)	91,7	1	11
Средний % правильной классификации	98,6	61	11

Средний процент правильной классификации равен 98,8 %. Точность распознавания лиц без признаков нарушения психофизиологической адаптации 100 %, лиц с признаками нарушения – 91,2 %.

Оценка информативности показателей виброизображения, проведенная с использования Лямбда-критерия Уилкса показала, что на первом месте по информативности стоит показатель УР_САМ (ЛЯМБДА = 0,82, p = 0,000000), на втором – УР_СТРЕС (ЛЯМБДА = 0,54, p = 0,000000), на третьем – УР_СТАБ (ЛЯМБДА = 0,38, p = 0,035). Показатель УР_АКТ достоверно в сравниваемых группах не изменяется (ЛЯМБДА = 0,35, p = 0,52).

Полученные результаты позволяют утверждать, что показатели виброизображения отражают системную реакцию человека на внешние и внутренние стимулы и факторы, проявляющуюся на психическом, психофизиологическом и физиологическом уровнях. Поэтому методику оценки виброизображения можно использовать в качестве метода экспресс-оценки наличия у работника нарушений психофизиологической адаптации. Время тестирования при этом занимает всего одну минуту.

В соответствии с методом иерархической стратификации функциональных состояний в качестве формализованного критерия оценки может быть использована каноническая дискриминантная функция. С геометрических позиций это многомерная плоскость, оптимальным образом разделяющая лиц с отсутствием и наличием признаков нарушения психофизиологической адаптации по интегрированным показателям виброизображения. Ее можно условно назвать «риск-индексом» (R-инд), формула вычисления которого имеет следующий вид:

R_инд = 0.8608*УР_СТРЕС + 0,333*УР_СТАБ + 0,104*УР_АКТ+1,129* УР_САМ, усл.ед.

Стандартизованные коэффициенты в приведённой формуле формализовано определялись с использованием канонического дискриминантного анализа.

Для практического проведения оценки разработана вероятностная номограмма (рисунок 3), позволяющая по значению R-инд вычислить у работника вероятность нарушения психофизиологической адаптации.

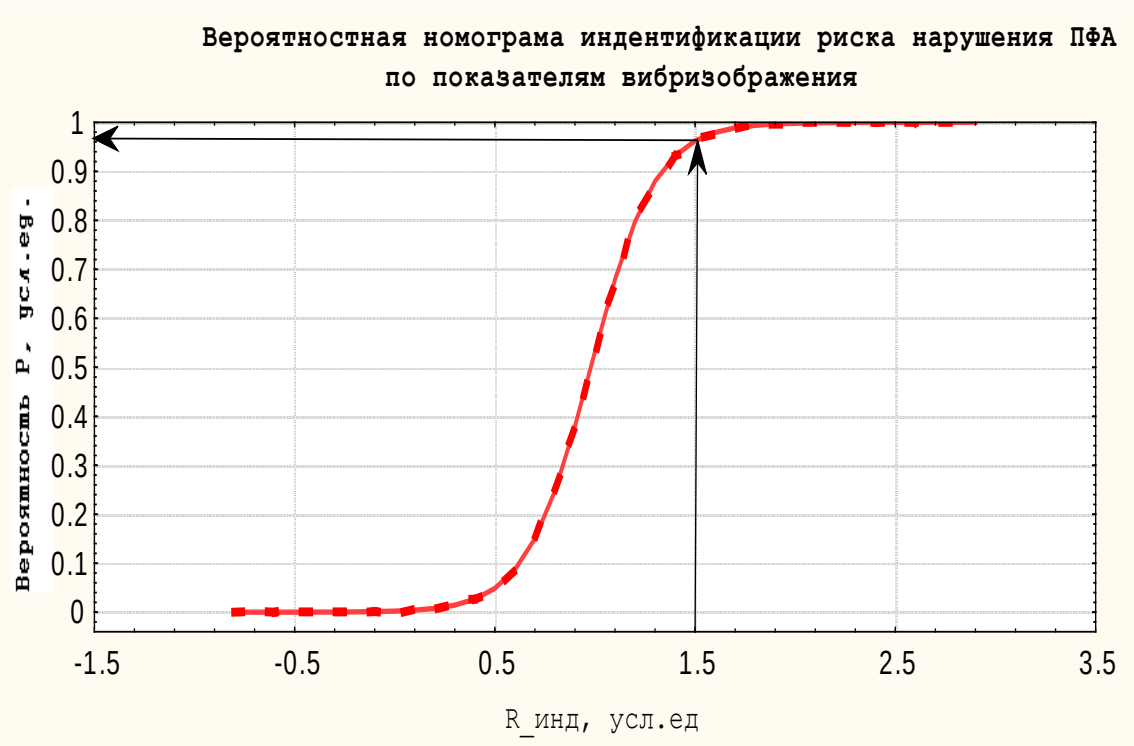

Рисунок 3 - Номограмма оценки вероятности наличия нарушений психофизиологической адаптации по интегрированным показателя виброизображения.

По оси ординат отложены значения риск-индекса, по оси абсцисс – вероятность идентификации психофизиологических нарушений. Правило принятия решения заключается в следующем. Вычисленное для конкретного работника значение риск-индекса наносится на ось абсцисс. Из полученной точки восстанавливается перпендикуляр до пересечения с кривой принятия решения. Точка пересечения проецируется на ось ординат, по которой оценивается вероятность наличия риска нарушений психофизиологической адаптации.

Например, при R_инд = 1,5 усл.ед. вероятность наличия нарушений ПФА составляет 0,95 (95 %).

Наиболее сложной задачей практической психофизиологии является оценка ПФС работника в процессе реальной производственной деятельности или в процессе тренажерной подготовки в учебно-тренировочных центрах. Уникальные возможности реализованного в программе ВибраМЕД способа регистрации и оценки виброизображения – оперативность и дистанционность – позволяют с успехом решать и эту задачу.

Рассмотрим результаты оценки параметров виброизображения работников предприятия по утилизации отработавшего ядерного топлива и радиоактивных отходов ОАО «Росатом» при тренировке/тестировании на разработанном специалистами ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И.Бурназяна ФМБА России аппаратно-программном комплексе. Он включает в себя интерактивные имитационные обучающие игры с биологической

обратной связью в виртуальной среде с параллельной регистрацией точностных и скоростных параметров моделируемой деятельности и электрофизиологических сигналов: электрокардиограммы, дыхания, электромиограммы и кожно-гальванической реакции. Регистрация указанных сигналов требует накладывания большого числа датчиков.

Для оценки взаимосвязи показателей виброизображения с параметрами электрофизиологических сигналов использовался канонический корреляционный анализ. В отличие от корреляционного анализа, данный метод позволяет оценивать взаимосвязь между двумя многомерными наборами показателей. Сила взаимосвязи оценивается путём вычисления коэффициента канонической корреляции. Характер взаимосвязи оценивается, аналогично факторному анализу, по величинам факторных нагрузок сравниваемых показателей в соответствующие математические конструкции, называемые каноническими переменными [22]. Для анализа используются канонические переменные, имеющие наибольший коэффициент канонической корреляции. Достоверность коэффициента канонической корреляции оценивается с использованием критерия ХИ-квадрат.

Установлено, что интегрированные параметры виброизображения имеют высокий (0,85) коэффициент канонической корреляции с параметрами электрофизиологических сигналов.

В таблице 4 приведена факторная структура канонических переменных (Root1) параметров виброизображения и параметров электрофизиологических сигналов, соответствующая данному коэффициенту канонической корреляции.

Таблица 4 – Факторная структура канонических переменных (Root 1) параметров виброизображения и параметров электрофизиологических сигналов.

Параметры виброизображения	**Root 1**
УР_СТРЕС, баллы	0,984
УР_СТАБ, баллы	0,246
УР_АКТ, баллы	-0,243
УР_САМ, баллы	-0,088
Параметры электрофизиологических сигналов	**Root 1**
Стандартное отклонение RR интервалов ЭКГ,мсек	- 0,60
Частота сердечных сокращений (ЧСС), уд/мин	0,33
Дыхательная синусовая аритмия (ДАС), мс	- 0,50
Кожная проводимость (КПр), мкС	0,71
Логарифм кожной проводимости (Ln КПр)	0,60
Частота спонтанных реакций кожно-гальванической реакции (ЧСП_КГР) 1/мин	0,66
Амплитуда спонтанных реакций КГР (АСР_КГР), мкС	0,10
Частота дыхания (ЧД), дых/мин	- 0,39
Длительность дыхательного цикла (ДДЦ), сек	0,23
Отношение длительности вдоха к длительности выдоха (Rio)	- 0,19
Частота моды дыхания (ЧМД), Гц	- 0,32
Число RR интервалов на дыхательном цикле (NNbc), шт.	0,40
Значение интегральной величины электромиограммы (ЭМГинт)1,мкв	- 0,11

Из таблицы следует, что ведущим в формировании взаимосвязи параметров виброизображения и электрофизиологических сигналов является уровень стрессированности (УР_СТРЕС) тренируемого/тестируемого: величина факторной нагрузки равна 0,984. Увеличение этого показателя отражается, прежде всего, в увеличении показателей кожно-гальванической реакции (высокие положительные нагрузки на показатели КПр (0,71), Ln КПр (0,6)), что является известным признаком увеличения психоэмоционального напряжения человека. Высокая отрицательная нагрузка (- 0,6) на СКО RR интервалов показывает, что при этом повышается уровень централизации управления ритмом сердца, свидетельствующий о повышении напряжения регуляторных механизмов организма. Выраженной реакции дыхательной системы, состояния мышечного тонуса не отмечается.

Полученные результаты показывают возможность использования параметров виброизображения для оценки динамики психофизиологического состояния работника в условиях реальной производственной деятельности или тренажерной подготовки оперативно, дистанционно и без накладывания датчиков. По параметрам виброизображения может быть вычислена психофизиологическая «цена» деятельности.

Заключение

На данный момент технология виброизображения проходит естественный процесс становления и развития. Безусловно доказанным является информативность микродвижений головы для характеристики психофизиологического состояния человека, при этом происходит отработка наиболее информативных параметров виброизображения для различных ПФС и применений.

Преимуществом использования технологии виброизображения для определения ПФС является высокая чувствительность и информативность вестибулярной системы по сравнению с другими физиологическими системами человека, позволяющая измерять незначительные изменения ПФС.

В качестве перспективных направлений практического применения указанной технологии в электроэнергетике следует выделить:

1) Предсменный контроль психофизиологического состояния персонала электроэнергетических предприятий. В настоящее время такая система контроля (система VibraStaff) разработана и проходит апробацию на одном из предприятий атомной промышленности. Критерии допуска к работе в VibraStaff строятся с использованием самоадаптивного алгоритма вычисления 80 % и 95 % доверительных границ индивидуальной нормы. Решение о не допуске к работе принимается в случае выхода показателей виброизображения за 95 % границу индивидуальной нормы. Время для проведения предсменного контроля одного работника – 1 минута. В случае необходимости обеспечения большей пропускной способности системы число видеокамер может быть увеличено.

В системе предусмотрена возможность использования биологической обратной связи (БОС) для оптимизации психофизиологического состояния. В качестве параметра управления выступает форма и цветовая гамма виброауры. БОС – режим целесообразно использовать для лиц, не рекомендованных к допуску к работе по данным предсменного контроля.

2) Дистанционная и бесконтактная оценка психофизиологического состояния тестируемых в режиме реального времени с передачей видео информации в аналитический центр с использованием средств Интернет с последующей её обработкой и выдачей заключений.

3) Психофизиологическое сопровождение тренажерной подготовки с использованием данных виброизображения лица тренируемых/тестируемых с оценкой психофизиологической "цены" деятельности как основного критерия степени освоения

профессиональных навыков с целью оптимизации режимов тренировки (выявление наиболее сложных элементов деятельности, индивидуальная оценка достаточности/недостаточности длительности программы подготовки для достижения требуемых навыков и др.).

4) Психофизиологическое сопровождение тренажерной подготовки с использованием данных виброизображения контуров тела с оценкой проявления психофизиологических состояний в поведенческих реакциях тренируемых/тестируемых.

5) Текущий контроль психофизиологического состояния оперативного персонала в условиях производства с оценкой особенностей психофизиологического состояния по данным виброизображения лица работника и поведенческих реакций по данным виброизображения контуров тела.

Список литературы:

1. Н.А.Бернштейн. Физиология движений и активность. М.: Наука, 1990.
2. Е. Мира-и-Лопес. Графическая методика исследования личности. СПб.: Речь, 2002.
3. В. А. Минкин. Виброизображение. СПб.: Реноме, 2007.
4. V. A. Minkin, N. N. Nikolaenko. Application of Vibraimage Technology and System for Analysis of Motor Activity and Study of Functional State of the Human Body, Biomedical Engineering, Vol. 42, No. 4, 2008, pp. 196-200. 2008 Springer Science+Business Media, Inc.
5. В.А.Минкин, А.И.Штам. RU 2187904 Способ преобразования изображения.
6. Пол Экман. Психология лжи. Изд. Питер, 2003.
7. A. J. Fridlund, Human facial expression. An evolutionary view. San Diego, CA, Academic Press
8. В.А.Минкин, С.С. Татаурщиков, А.И.Штам. Нетрадиционное телевидение. 4-я научно-техническая конференция «Современное телевидение», Москва, 1996 г.
9. RU 2199943, приоритет от 16.01.2001 Способ, устройство регистрации пульсовой волны и биометрическая система. Минкин В.А. и др.
10. RU 2187904, приоритет от 19.12.2000. Способ и устройство преобразования изображения. Минкин В.А. и др.
11. Инновационные технологии в сфере транспортной безопасности, «Всероссийский институт повышения квалификации сотрудников МВД России», экспресс-информация, выпуск 2, декабрь 2007.
12. В.А.Минкин, А.В.Целуйко, Практические результаты применения систем технического профайлинга для обеспечения безопасности на транспорте, Транспортное право, N3, 2014.
13. The New York Times, Heightened Security, Visible and Invisible, Blankets the Olympics By David M. Herszenhorn, Feb. 13, 2014.
14. RU 2515149, В.А.Минкин, М.А.Бланк, О.А.Бланк, Способ скрининг-диагностики рака простаты, приоритет от 06 .02.2012.
15. Н. Винер. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. М.: Советское радио, 1958.
16. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. — М.: Изд. иностр. лит., 1963. — 830 с.

17. Психофизиологический бесконтактный детектор лжи, Многопрофильное Предприятие «ЭЛСИС» http://www.psymaker.com/downloads/VibraLieCRu.pdf , май, 2016.
18. Система контроля психоэмоционального состояния человека. Версия 8.1. Многопрофильное Предприятие «ЭЛСИС, http://www.psymaker.com/downloads/VI8_1ManualRus.pdf май, 2016.
19. РД 153-34.0-033.504-00 Методическое руководство по организации и проведению психофизиологических обследований персонала энергетических предприятий. Утверждено первым заместителем председателя Правления РАО «ЕЭС России» О.В. Бритвиным, первым заместителем Министра здравоохранения Российской Федерации Г.Г.Онищенко. Введено в действие 19.06.2000 г.
20. Организация и проведение психофизиологических обследований работников организаций, эксплуатирующих особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты в области использования атомной энергии, при прохождении работниками медицинских осмотров в медицинских организациях ФМБА России. Методические рекомендации. Р ФМБА России 2.2.8.84-2015. Утверждены 29.12.2015 Заместителем руководителя ФМБА Е.Ю.Хавкиной.
21. Бобров А.Ф. Информационные технологии в медицине труда. Медицина труда и промышленная экология, №9, 2013.
22. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / пер. с англ.; Дж.-О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клекка и др.; под ред. И.С. Енюкова. — М.: Финансы и статистика, 1989. — 215 с.