

Микродвижения головы человека как отражение его психофизиологического состояния

В.А.Минкин, Н.Н.Николаенко

Великие ученые прошлого (Аристотель, Ч.Дарвин, И.М. Сеченов, К.Лоренц) декларировали неразрывную связь между движением и жизнью биологических объектов, в том числе связь между движением и психофизическим состоянием.

Метод виброизображения регистрирует микродвижения и пространственные колебания объекта, путем определения параметров вибрации (частоты и амплитуды) для каждого элемента (пикселя) исследуемого изображения [1]. С помощью этого метода удалось установить, что параметры виброизображения отражают (количественно характеризуют) эмоции и физиологическое состояние организма человека [2]. Известны также теории психодинамики и термодинамики людей, объясняющие поведение человека [3] на основе классической физической химии и законов термодинамики.

ВВЕДЕНИЕ

Движения и микроколебания головы человека в пространстве, классически определяемые вестибулярной системой и сенсорной физиологией, изучаются и обсуждаются в сопоставлении с проявлением вестибулярных рефлексов (в том числе вестибулярно-окулярного, шейно-окулярного рефлекса) [4, 5, 6].

В данной статье предпринята попытка рассмотрения движения головы с точки зрения биохимических превращений и законов термодинамики при помощи технологии виброизображения. Мы предположили, что голова человека, находящаяся в равновесии и не совершающая «осознанных движений», может рассматриваться как квазиравновесная термодинамическая система, и определенная часть внутренней энергии, изменяющая равновесие этой квазизакрываемой системы, расходуется на совершение движения в виде механических колебаний (вибрации). Каждое эмоциональное состояние характеризуется неким расходом энергии, и работа, осуществляемая системой, преобразуется в микровибрации, если человек стоит или сидит без движения. Параметры вибрации головы (частота в диапазоне 0,1-10,0 Гц и амплитуда в пределах 10-1000 мкм.) для стабильного эмоционального состояния человека стабильны во времени. Параметры вибрации изменяются только после изменения эмоционального состояния. Технология виброизображения позволяет бесконтактно регистрировать параметры вибрации головы человека и определять эмоции в соответствии с накопленной статистикой сравнительных испытаний с ЭЭГ, КГР, психологического тестирования и теоретическими предположениями.

Оборудование, параметры и результаты исследований движения головы с помощью технологии виброизображения приведены ниже.

Оборудование для получения виброизображения

Для регистрации виброизображения использовались стандартные видео системы, такие как веб - камера или цифровой камкодер, или аналоговая камера с оцифровщиком. Установленная разрешающая способность камеры составляла 640×480 , причем качество виброизображения значительно зависело от шумовых характеристик камеры. Лучшие результаты по качеству виброизображения были получены с простой веб - камерой AVerCam и датчиком изображения 1/3 дюйма КМОП с разрядностью 8 бит (256 градаций серого).

В качестве компьютера был использован стандартный ноутбук Samsung P40 TV001 с процессором Pentium M2000 и программным обеспечением VibraImage 6.1 от компании Элсис. Веб - камера устанавливалась на расстоянии около 0,5 метра напротив исследуемого лица (головы) человека так, чтобы голова была видна на мониторе компьютера достаточно крупно.

Параметры виброизображения

Значения амплитуды и частоты вибраций головы человека различаются в каждой точке пространства и выводятся на экран в виде псевдо цветового изображения. Интегральная обработка значений параметров вибрации в каждой точке может предоставить общую информацию о параметрах движения человека. Виброизображения головы человека, отображающие амплитудное (рис.1) и частотное (рис.2) распределения вибраций, модулированные цветовой шкалой (рис. 3), приведены ниже:



Рис.1 Амплитудное виброизображение человека



Рис.2 Частотное виброизображение человека

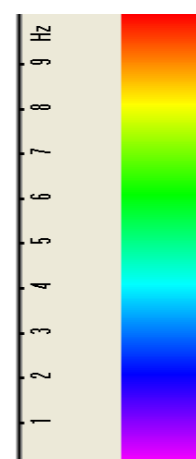


Рис. 3 Псевдо цветовая шкала частотного виброизображения

Каждая точка (пиксель) амплитудного виброизображения (рис.1) отражает накопленное за определенное время относительное перемещение элемента изображения, так как известно, что при незначительных перемещениях межкадровая разность пропорциональна движению объекта [7]. Для превращения этого относительного перемещения в абсолютное необходимо иметь точную информацию о расстоянии до объекта и рабочем угле объектива камеры, тогда цветовая шкала (рис.3) может быть отградуирована в миллиметрах или микронах. Однако, при примерно одинаковом расположении лиц на экране монитора, автоматически выполняется условие единой относительной шкалы амплитудного виброизображения. Это позволяет сравнивать полученную информацию о перемещении изображения для различных людей.

В отличие от амплитудного, каждая точка частотного виброизображения имеет физическую размерность частоты (Гц), так как реально отображает частоту изменения сигнала в каждом элементе изображения. Поэтому приведенная цветовая шкала (рис.3) отградуирована в Гц, т.е. фиолетовый цвет частотного виброизображения отображает диапазон вибраций (0-1) Гц, синий отображает диапазон вибраций (1-4) Гц, зеленый отображает диапазон вибраций (4-8) Гц, красный отображает диапазон вибраций (8-10) Гц.

На основе данных двух первичных изображений методика предполагает определение более 20 интегральных параметров виброизображения, отражающих различные виды движения и вибрации, и разделенных на 4 основные группы параметров виброизображения:

А – параметры амплитуды;

В – параметры частоты;

С – параметры симметрии;

Р – пространственные и временные параметры обработки.

Полное описание этих параметров приведено в Техническом описании системы VibraImage (<http://www.elsys.ru/news.php#05052701>). Краткое описание принципов построения и расчета основных параметров виброизображения, характеризующих психоэмоциональное состояние человека, приведены ниже.

Аура – Виброизображение

Внешнее (вокруг головы) построочное отображение максимальной частоты и средней амплитуды виброизображения выглядит как аура и более информативно отображает состояние человека, чем внутреннее виброизображение. Цвет ауры кодируется той же цветовой шкалой, что и виброизображение (рис. 3), и отображает максимальную частоту в каждой строке. Размер ауры определяется средней амплитудой для данной строки.

Любая неравномерность в цвете и размере ауры характеризует движения объекта и психофизиологическое состояние. Примеры ауры человека в нормальном состоянии и состоянии стресса приведены на рис. 4 и рис. 5, соответственно. Нормальное состояние человека характеризуется более равномерным внешним виброизображением (аурой), а для напряженного состояния человека характерны большая пространственная и цветовая неравномерность ауры.

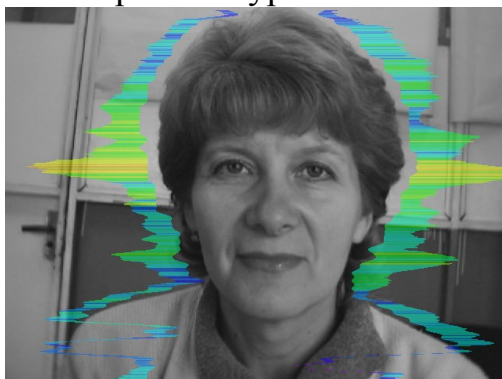


Рис. 4 Внешнее виброизображение (аура) человека в спокойном состоянии



Рис. 5 Внешнее виброизображение (аура) человека в тревожном состоянии

Явные различия между изображениями на рис. 4 и рис. 5 иллюстрируют преимущества визуального анализа состояния человека по внешней ауре по сравнению с визуальным анализом исходного виброизображения.

Аура, построенная по виброизображению, не содержит “религиозного смысла”. При этом данный термин, по мнению авторов, достаточно удобен и понятен при анализе и отображении психофизиологического состояния человека.

Частотная гистограмма

Частотная гистограмма показывает распределение частоты движения головы для всех точек изображения за определенный временной период (по умолчанию этот период равен 20 секундам). Примеры реальных гистограмм для соответствующих эмоциональных состояний приведены в данном разделе.

На рис. 6 показана гистограмма (программное окно) распределения частоты вибраций для человека в нормальном психофизиологическом состоянии, оба графика приблизительно выглядят как нормальное (Гауссовское) распределение. На рис. 7 мы наблюдаем экстремальные психофизиологические состояния, верхний график отражает очень уставшего человека с минимальным уровнем расходуемой энергии, а нижний график показывает высокоэнергетическое состояние человека (ярость).

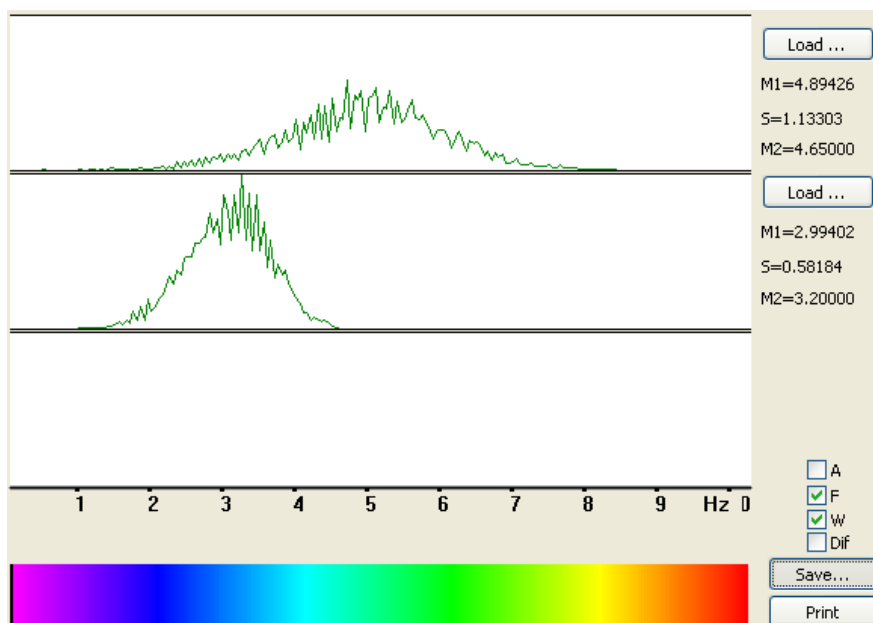


Рис. 6 Гистограмма (программное окно) распределения частоты вибраций для человека в нормальном психофизиологическом состоянии.

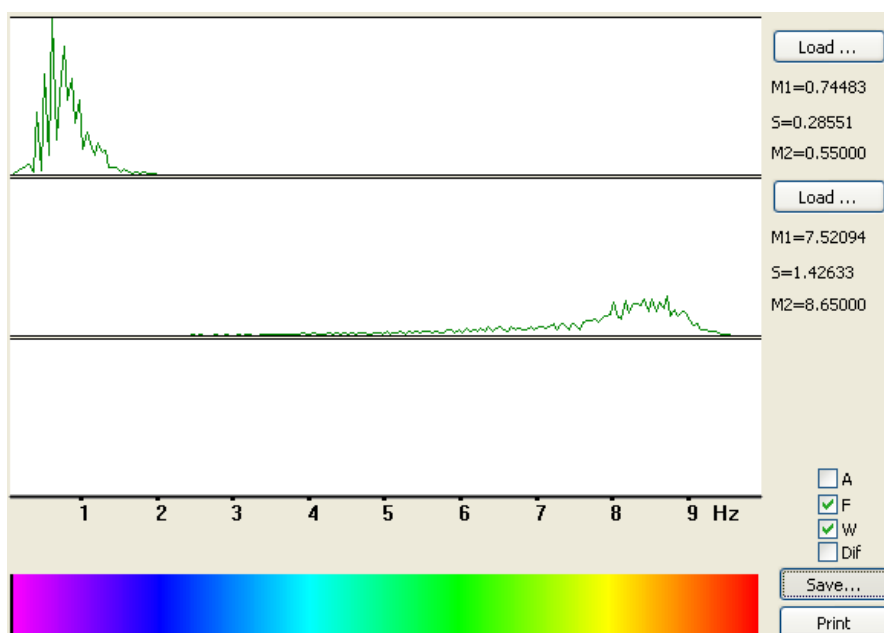


Рис. 7 Гистограмма (программное окно) распределения частоты вибраций для человека в экстремальном психофизиологическом состоянии, верхний график характеризует усталость, нижний график характеризует ярость.

Каждое распределение (частотная гистограмма) предлагается характеризовать следующими основными математическими характеристиками, M1- математическое ожидание (среднее арифметическое значение по распределению), S - среднеквадратическое отклонение (СКО характеризует ширину распределения), M2 - значение частоты, соответствующее максимуму распределения. Из приведенных рисунков

следует, что предложенные математические характеристики частотного распределения значительно зависят от состояния человека, что, однако, не исключает возможность введения новых информативных математических характеристик для отображения частотного распределения.

Спектральный анализ

Спектральный анализ временной зависимости высокоскоростных сигналов виброизображения (анализ межкадровой разности по двум соседним кадрам) также может информативно отображать эмоции человека.

Человек в нормальном состоянии имеет в несколько раз больше низкочастотную составляющую в спектре вибраций, чем человек в тревожном или агрессивном состоянии. На рисунке 8 (программное окно) представлен пример спектра сигнала виброизображения для человека в нормальном состоянии на верхнем графике и в тревожном состоянии на нижнем графике.

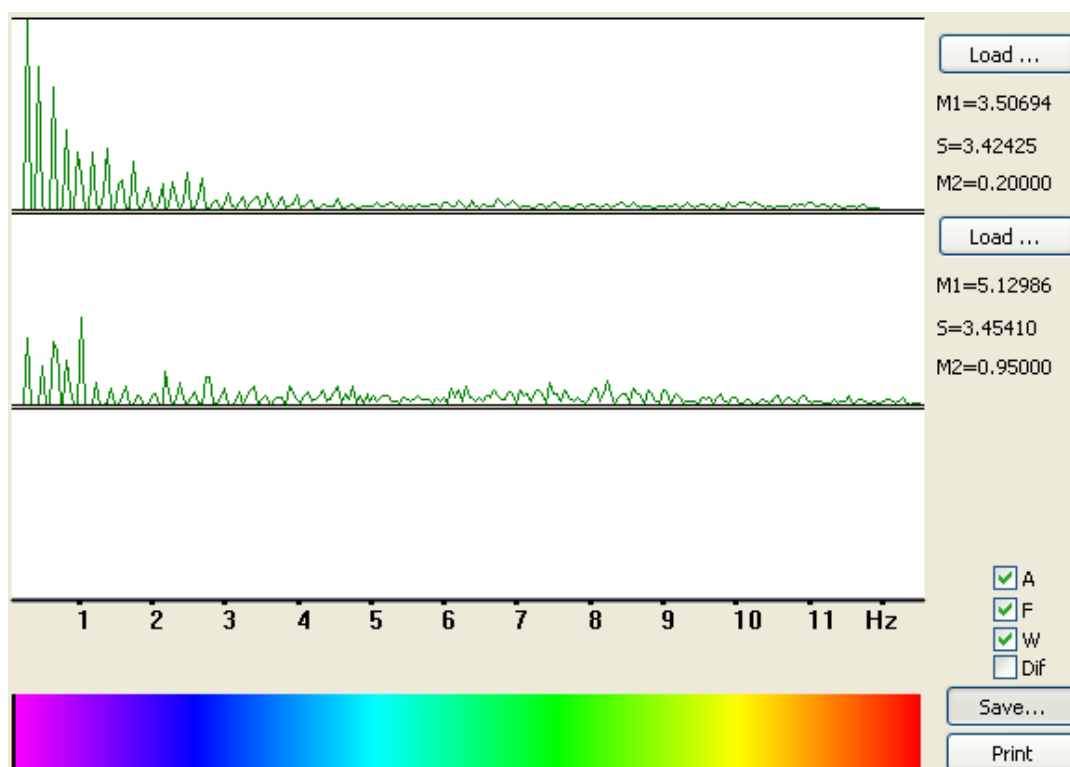


Рис. 8 Спектр сигнала виброизображения (программное окно) человека в нормальном состоянии на верхнем графике и в тревожном состоянии на нижнем графике.

Из приведенных на рис.8 графиков следует, что спектр частоты вибрации человека в спокойном состоянии может быть аппроксимирован экспонентой, в то время как спектр частоты вибрации человека в возбужденном состоянии представляет собой более сложную комбинацию из нескольких различных распределений.

Корреляция ЭЭГ и виброизображения

Технология электроэнцефалографии (ЭЭГ) является наиболее известной и информативной для психофизиологического тестирования. Естественно, что именно ЭЭГ была выбрана как базовая технология для сравнительного тестирования виброизображения. Разработанная система VibraEEG осуществляет совместную синхронную регистрацию и обработку сигналов электрической активности (ЭЭГ) и двигательной активности (виброизображения). Следует сразу отметить, что регистрируемые сигналы виброизображения из-за механической инерционности являются более низкочастотными, чем ЭЭГ сигналы, поэтому корректное определение корреляции между сигналами следует осуществлять в частотном диапазоне до 10 Гц.

Меню программы VibraEEG с записанной информацией приведено на рис. 9.

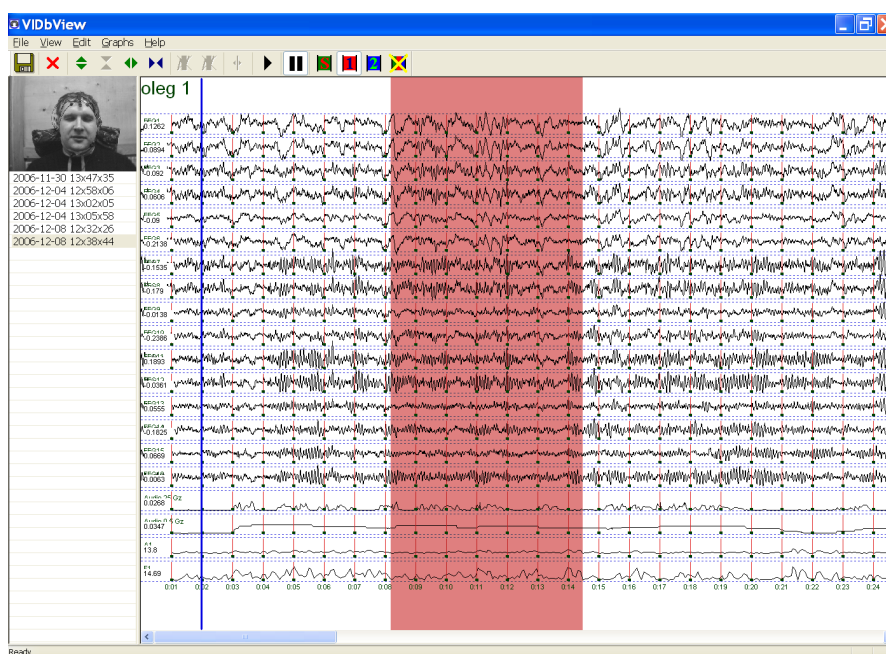


Рис. 9 Меню программы VibraEEG с записанной информацией.

Ниже приведен пример расчета корреляция (в виде программного окна) между ЭЭГ сигналами и сигналами виброизображения в частотном диапазоне θ (тета) 4–8 Гц для человека, находящегося в спокойном состоянии (рис. 10) и агрессивном состоянии (рис. 11).

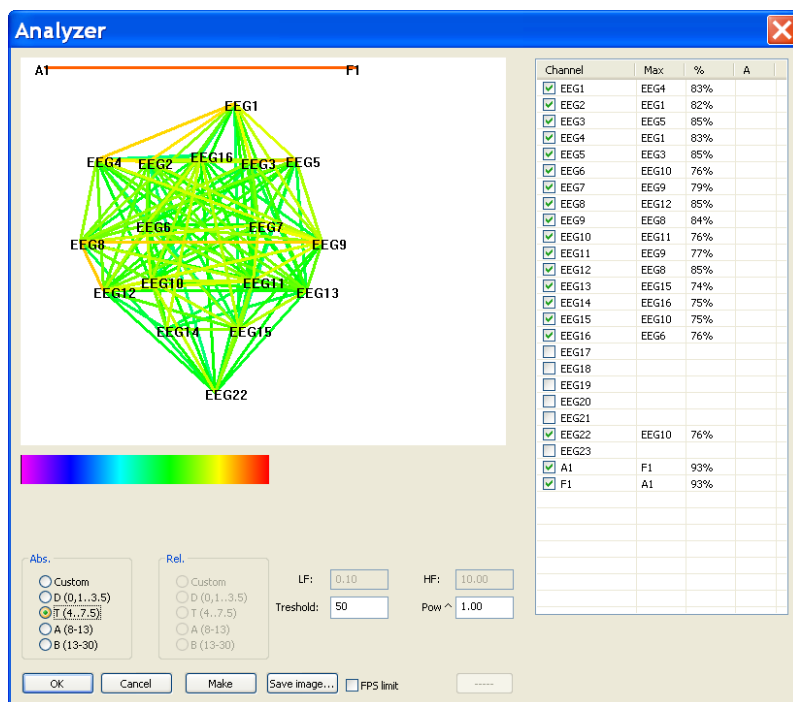


Рис. 10 Визуализация корреляционных связей (в виде программного окна) между ЭЭГ сигналами и сигналами виброизображения в частотном диапазоне θ (тета) 4–8 Гц для человека, находящегося в спокойном состоянии.

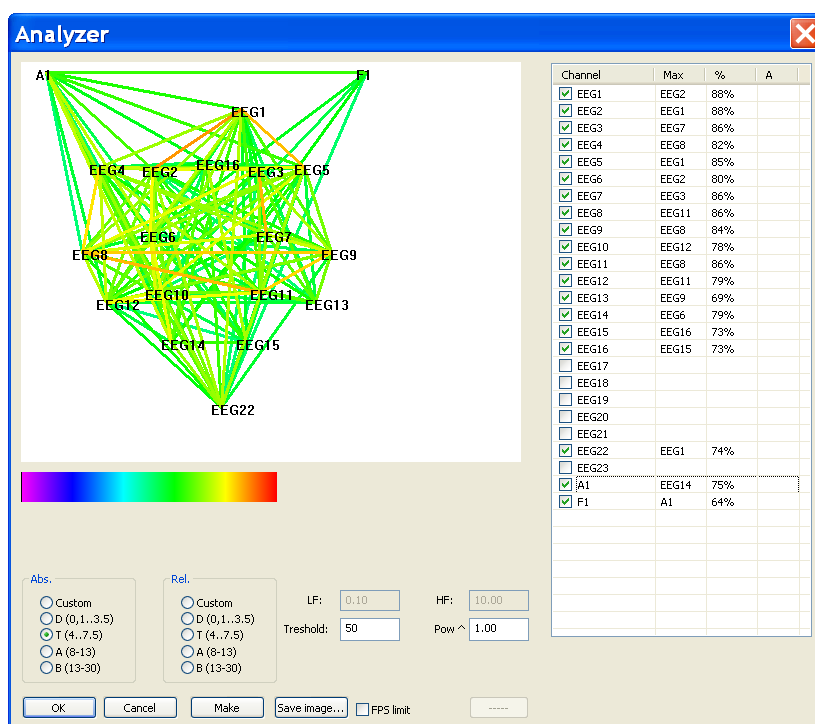


Рис. 11 Визуализация корреляционных связей (в виде программного окна) между ЭЭГ сигналами и сигналами виброизображения в частотном диапазоне θ (тета) 4–8 Гц для человека, находящегося в агрессивном состоянии.

Приведенные на рисунках 10 и 11 связи между электродами ЭЭГ (EEG1-EEG16) условно (цвет связи кодирует коэффициент корреляции) отображают корреляцию между сигналами электрической активности для стандартно расположенных на голове человека электродов ЭЭГ. Нижняя точка EEG22 отображает корреляцию сигналов с кожно-гальванической реакцией человека (электрод на руке). Верхние точки (A1, F1) отображают корреляционные связи с быстрыми сигналами виброизображения (A1- межкадровая разность по двум кадрам, F1- характеристика изменения частоты по двум кадрам). Таблица в правой части рисунков 10 и 11 отражает максимальный коэффициент корреляции для каждого регистрируемого сигнала.

Из приведенных рисунков следует, что сигналы виброизображения имеют существенную корреляцию с сигналами ЭЭГ для агрессивного состояния и не имеют корреляции с ЭЭГ, когда человек спокоен. Это, по-видимому, значит, что движения головы зависят от мышления, когда человек активен и энергичен, но движения головы не зависят от активности мозга, когда человек спокоен, отдыхает и ни о чем не думает. Так же вывод о более сложном характере движений головы для человека, находящегося в тревожном состоянии, был получен при спектральном анализе сигнала виброизображения (рис. 8).

Определение эмоций

Первый закон термодинамики определяет преобразование энергии. Изменение внутренней энергии закрытой термодинамической системы равно сумме количества теплоты, переданной системе, и работе, совершенной системой. Математически первый закон можно сформулировать в виде:

$$dU = \delta Q - \delta W,$$

где dU представляет изменение внутренней энергии системы, δQ представляет количество теплоты, полученное системой, и δW представляет количество работы, совершенной системой относительно окружающей среды. В соответствии с иерархической термодинамикой Гладышева [8] можно утверждать, что человек, находящийся в состоянии механического равновесия, одновременно находится и в состоянии биохимического квазиравновесия, и δW представляет собой количество работы, осуществляемой системой, в виде микровибраций. Система терморегулирования человека поддерживает стабильной температуру человеческого тела, следовательно, можно считать, что эмоциональная энергия должна быть пропорциональна движениям и микровибрациям головы.

Психология различает более 200 типов эмоций, что соответствует различному временному и пространственному распределению энергии, потому что каждый тип эмоции характеризуется собственными особенностями и энергетикой. Таким образом, можно предложить

следующую общую функциональную зависимость для определения любого эмоционального состояния:

$$E_i = f_i \left(\frac{\delta W}{dt}; \frac{\delta W}{d(x, y, z)} \right), \text{ где}$$

E_i – i -ая эмоция (агрессия, стресс, тревожность и т.д.);

$\frac{\delta W}{dt}$ – временное изменение количества работы, совершенной головой человека, в виде микродвижений и микровибраций;

$\frac{\delta W}{d(x, y, z)}$ – пространственное распределение количества работы, совершенной головой человека, в виде микродвижений и микровибраций.

Предложенная функциональная зависимость определения эмоций носит общий характер и может быть конкретизирована в дальнейшем. При этом большой интерес представляют формулы для определения конкретных эмоциональных состояний по пространственному и временному распределению вибраций головы человека. Для примера и обсуждения ниже приводится формула для определения уровня агрессивности человека.

$$Agr = \frac{F_m + 4 * \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})^2}}{512}, \text{ где}$$

Agr – уровень агрессивности;

F_m – частота максимума в частотной гистограмме плотности распределения (M_2 на рис. 6 и 7);

F_i – количество отсчетов с i -той частотой в гистограмме плотности распределения частоты, полученное за время N кадров;

n – число отсчетов с межкадровой разностью выше пороговой в N кадрах.

Первая составляющая числителя формулы расчета уровня агрессивности ($F_m=M_2$) определяет смещение распределения по оси частоты, причем, более высокая частота колебаний соответствует увеличению уровня агрессивности. Вторая составляющая числителя определяется СКО (S на рис. 6 и 7) и характеризует ширину частотного распределения. Более широкое распределение соответствует повышению уровня агрессивности человека. При получении исходных отсчетов с помощью 8 битовой камеры

коэффициент знаменателя 512 позволяет измерять коэффициент агрессивности в относительных единицах, изменяющийся от 0 (нулевая агрессивность) до 1 (максимальная агрессивность). Приведение остальных расчетных параметров эмоций к диапазону от 0 до 1 (или 0-100%) является предпочтительным и в дальнейшем.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали возможность определения эмоционального состояния человека с помощью дистанционного и бесконтактного сканирования микродвижений головы человека системой виброизображения.

Предлагаемая технология виброизображения позволяет оценить и измерить распределение количества движения объекта в пространстве, а значит провести количественные измерения психоэмоционального состояния объекта. Полученные данные дополняют имеющиеся знания о работе вестибулярной сенсорной системы человека для поддержания механического равновесия.

В будущем предполагается исследовать статистические закономерности связи эмоционального состояния с пространственным распределением энергии, определенным по микродвижениям головы человека, и определить формулы расчета для каждого эмоционального состояния. Таким образом, виброизображение предлагает возможность определения эмоций на основе энергетики микродвижений человека, что позволит реально связать психологию и физиологию единой физической теорией.

Литература:

1. RU 2187904 приоритет 19.12.200г. «Способ преобразования изображения», В.А.Минкин, А.И.Штам.
2. RU 2289310 приоритет 16.02.2004г. «Способ получения информации о психофизиологическом состоянии живого объекта», В.А.Минкин, А.И.Штам.
3. Libb Thims, Human Thermodynamics, VI IoHT Publications, Ltd. 2002 (1st Ed.).
4. Signal Processing in the Vestibular System During Active Versus Passive Head Movements, Kathleen E. Cullen and Jefferson E. Roy Aerospace Medical Research Unit, Department of Physiology, McGill University, Montreal, Quebec H3G 1Y6, Canada Submitted 14 October 2003; accepted in final form 9 January 2004.
5. Effects of Unilateral Vestibular Deafferentation on the Linear Vestibulo-Ocular Reflex Evoked by Impulsive Eccentric Roll Rotation S. T. Aw, M. J. Todd, L. A. McGarvie, A. A. Migliaccio, and G. M. Halmagyi, Neurology Department, Royal Prince Alfred Hospital, Sydney NSW 2050, Australia, J Neurophysiol (February 1, 2003). 10.1152/jn.00819.2002.
6. The Journal of Neurophysiology Vol. 79 No. 4 April 1998, pp. 2025-2039 Copyright ©1998 by the American Physiological Society
Off-Centric Rotation Axes in Natural Head Movements: Implications for Vestibular Reafference and Kinematic Redundancy W. P. Medendorp¹, B.J.M. Melis², C.C.A.M. Gielen¹, and J.A.M. Van Gisbergen¹

- ¹ Department of Medical Physics and Biophysics, University of Nijmegen, NL 6525 EZ Nijmegen; and ² Visio, Regionale Instelling Noord, NL 9752 AC Haren, The Netherlands.
7. US 5579045 Apparatus for detecting using a difference between first and second image signals. Sekine, et al.
 8. Г.П. Гладышев «Иерархическая термодинамика – общая теория существования и развития живого мира» <http://www.endeav.org/evolut/age/evol.htm>