

Моделирование характеристик микровибраций головы и создание эталона психофизиологической реакции на стимулы

В. А. Акимов, В. А. Минкин

ООО «Многопрофильное предприятие «Элсис», Санкт-Петербург, Россия,
minkin@elsys.ru

Аннотация: Исследовано влияние отдельных процессов микровибрации объекта, в том числе движения по горизонтали, вертикали, угла отклонения и контраста на параметры виброизображения объекта. Созданы несколько искусственных контрастных объектов для исследования вибраций и проанализировано влияние оптических и вибрационных характеристик объектов на параметры виброизображения. Определены основные закономерности наложения моделируемых процессов микровибрации объектов и их влияние на параметры виброизображения. Разработаны варианты эталона психофизиологической реакции на периодические стимулы в виде видеофайла и аппаратно-программного решения измерительной системы, моделирующие единицу психофизиологической реакции микровибраций головы человека — 1 вибр с неопределенностью измерений 4 мвбр. Разработан режим моделирования отдельных процессов вибраций и их наложений, приведенный в установках по умолчанию Standard в программе Vibraimage PRO.

Ключевые слова: микровибрация, психофизиологическая реакция, эталон, виброизображение, вибра, метрология, характеристики личности.

Head Microvibration Characteristics Modeling and Creating Measurement Standard of Psychophysiological Response to Stimuli

Valery A. Akimov, Viktor A. Minkin

Elsys Corp, St. Petersburg, Russia, minkin@elsys.ru

Abstract: The influence of an object microvibration processes, including horizontal, vertical movement, deflection angle and contrast, on the parameters of the object's vibraimage was studied. Several artificial contrast objects were created to study vibration process and the influence of the optical and vibration characteristics of objects on vibraimage parameters was analyzed. The main patterns of various components of object microvibration superposition tied on vibraimage parameters are determined. Variants of the measurement standard (etalon) have been developed in the form of the video file and the hardware/software solution of measuring system that simulate the psychophysiological response to stimuli by human head microvibration. Unit of psychophysiological response to stimuli 1 vibra measurement standard with an associated standard measurement uncertainty of 4 mvbr was created. The mode for microvibration processes and their overlaps modeling has been developed in the default Standard settings of Vibraimage PRO program.

Keywords: *microvibration, psychophysiological response, measurement standard, etalon, vibraimage, vibra, metrology, personality traits.*

Введение

В соответствии с существующими стандартами метрологии (JCGM 200, 2012; РМГ 29, 2013; СИ, 2019; ISO/IEC 80000, 2022) эталон единицы физической величины — это средство измерительной техники (измерительной системы), предназначенное для воспроизведения, хранения и передачи единицы величины или шкалы измерений. Конструкция эталона, его свойства и способ воспроизведения единицы определяются природой данной физической величины и уровнем развития измерительной техники в данной области измерений. Эталон должен обладать, по крайней мере, тремя тесно связанными друг с другом существенными признаками — неизменностью, воспроизводимостью и сличаемостью (РМГ 29, 1999). Предложенный ранее подход к определению информационно-физических характеристик личности (Минкин, 2023) с использованием методов измерения физических величин (СИ, 2019) потребовал создания эталона, моделирующего единицу психофизиологической реакции (ПФР) вибра (сокращенно вбр). Так как используемый метод измерения ПФР основан на телевизионных измерениях микровибраций (Rohracher, 1946) головы человека с помощью технологии виброизображения (Минкин, 2007; 2020), то для создания эталона единицы ПФР — 1 вбр необходимо рассмотреть, исследовать и промоделировать основные виды микровибраций и микродвижений, присутствующих в 3d (пространственных) микродвижениях головы человека (Raja et al., 2020). При кажущейся простоте микродвижений и микровибраций головы отображение пространственных движений на плоскости с помощью одной телевизионной камеры включает наложение ряда независимых процессов микровибрации (Минкин, 2007; Balakrishnan et al., 2013; Raja et al., 2020), а именно: движение по горизонтали, вертикали, поворот, качание относительно нижней точки, лицевая мимика и изменение контраста.

Возможность создания эталона, моделирующего психофизиологическую реакцию человека на стимулы, ранее не была исследована в психофизиологии (Cacioppo, Tassinari, Berntson, 2007), измерении эмоций (Scherer, 2005), оценке характеристик личности (Matthews, Deary, Whiteman, 2003), детекции поведения (Zhang, Cao, 2019) и психологии (Biswas-Diener, Diener, 2019). Относительно похожую задачу моделирования человеческих эмоций (без создания эталона эмоций или ПФР) рассматривает современная робототехника (Cavallo et al., 2018), обычно, упрощая ее до решения задачи распознавания лицевой мимики (Rawal, Stock-Homburg, 2022).

Целью данной работы является рассмотрение отдельных и интегральных процессов микровибрации головы, определение влияния отдельных процессов микровибрации головы и их взаимного влияния на интегральный процесс микровибрации головы и параметры виброизображения для создания информационно-физического эталона единицы психофизиологической реакции на периодические стимулы с номинальным значением в 1 вбр.

Материалы и Методы

Для исследования микровибраций и моделирования эталона ПФР на периодические стимулы были разработаны искусственно созданные статические изображения (тестовые объекты) и динамические видео, которые моделировали различные виды микровибраций и микродвижений головы человека. Для разработки эталона ПФР требовалось создание изображения при микровибрации которого наблюдались параметры виброизображения, аналогичные средним значениям параметров микродвижений головы, в том числе средняя частота микровибраций M от 2 до 4 Гц, близкое к нормальному распределению микровибраций точек объекта с величиной среднеквадратического отклонения микровибраций SD от 0,3 до 2,0 Гц, период микровибраций 10 секунд при ПФР ($dP \approx 1$ вбр) на 5-секундные стимулы (Минкин, 2023), сочетание слабого, среднего и значительного контраста изображения тестовых объектов, аналогичное лицу человека, примерная горизонтальная симметрия изображения. Генерация вибраций объектов осуществлялась синусоидальной функцией \sin^p , по умолчанию $p=1$, в другом случае степень p указывается отдельно. Результат суммарных микровибраций за период 10 секунд измерялся программой Vibraimage PRO (Минкин, 2020; Акимов и др., 2019) по характеристике dP (величина изменения состояния вибраций), алгоритм его вычисления идентичен алгоритму вычисления ПФР на стимулы в программе Профайлер+ (Минкин и др., 2023; Минкин, 2023). Проведены исследования 4-х отдельных процессов — микровибрации по горизонтали (x), вертикали (y), колебания объекта относительно нижней точки (угол A), изменение контраста (C) и их взаимное влияние на общий процесс вибрации. Мимика выражения лица (вибрация формы) была исключена из моделирования вибрации из-за слабого влияния на параметры виброизображения (Минкин, 2007; 2020). Все измерения параметров виброизображения проводились при настройках по умолчанию, установленных в программе Профайлер+ ($N=25$ кадров, $f=10$ Гц и т. д.).

Результаты исследований

Ранее моделировалась микровибрация тестовых объектов различного контраста с постоянной частотой (3–7 Гц), разработанных для определения точности измерения частоты вибрации объекта программами виброизображения (Акимов и др., 2019). Такие объекты имели форму центрально симметричных окружностей с различными перепадами контраста и совершали перемещения по горизонтали с постоянной частотой вибрации. Однако измерение объектов, вибрирующих с частотой 3–7 Гц, не решает задачу измерения ПФР, т. к. ПФР отражает более низкочастотные психофизиологические процессы (Минкин, 2023), используя накопление информации о психофизиологическом состоянии (ПФС) за период времени 2,5 секунды. При высокой частоте перемещений объекта по горизонтали разность между такими ПФС (dP) всегда близка к нулю, т. к. на 2,5 секунды приходится более 10 микровибраций объекта. Мы начали

разработку эталонов ПФР с использования уже имеющихся тестовых объектов с фиксированной частотой перемещений по горизонтали, затем перешли к исследованию новых объектов с другими характеристиками вибраций. Для создания эталона ПФР были исследованы зависимости различных процессов вибраций от частоты колебаний объектов в диапазоне средних значений параметров виброизображения (M , SD , dP), соответствующие диапазонам измерений микровибраций головы человека.

Статическое изображение эталона ПФР. Горизонтальные микровибрации

Разработанные ранее статические изображения тестовых объектов, используемых для измерения частоты вибрации в программах виброизображения, представляют собой двумерные сферы различных перепадов контраста, симметричные по вертикали и горизонтали (Акимов и др., 2019), представленные на рисунке 1(а). Динамические файлы видео с расширением *avi*, представляющие собой программную реализацию микровибраций тестовых объектов, были сформированы в формате кадра 640×640 элементов изображения. Горизонтальные перемещения являются наиболее характерными при микровибрации головы, поэтому мы начнем анализ микровибраций объектов с исследования движений в горизонтальном направлении по отношению поверхности земли и кадра. Виброизображения объектов являются функцией как оптического контраста объекта, так и характеристик его вибрации (Минкин, 2007), поэтому на рисунке 1 и далее мы приводим виброизображения объектов в непосредственной привязке к его оптическому изображению.

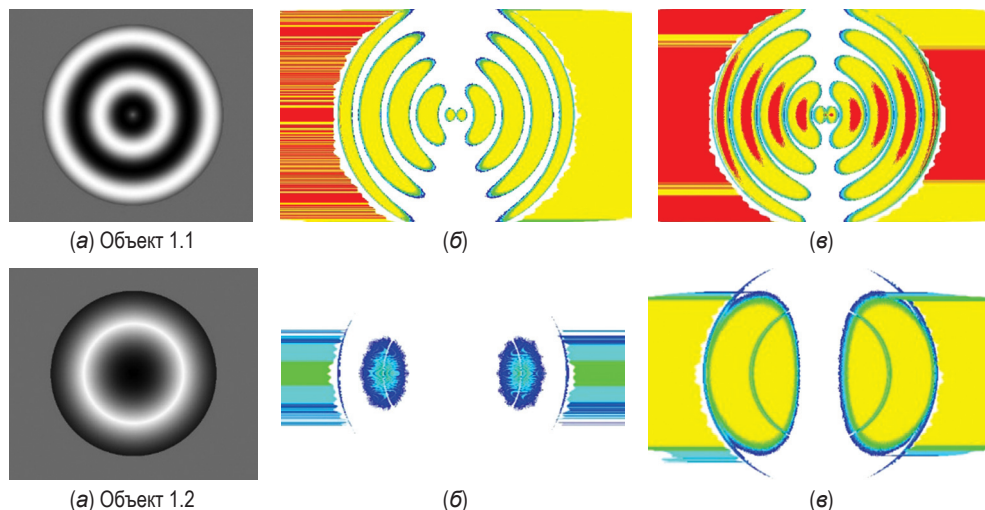


Рис. 1. Статические изображения (а) и виброизображения (б, в) тестовых объектов 1.1 и 1.2. Для виброизображений (б, в) микровибрации по горизонтали частотой 2 Гц, амплитуда перемещения объектов — 3 элемента (б), амплитуда перемещения объектов — 6 элементов (в)

Приведенные на рисунке 1 виброизображения далеки от среднестатистических параметров виброизображения микровибраций головы (Минкин, 2020). Распределение вибраций на рисунке 1 (б, в) (внешнее виброизображение определяется максимальными значениями вибраций в строках изображения, а внутреннее виброизображение определяется средней частотой вибраций в элементе изображения) является моноцветным в отличие от реального виброизображения головы человека, которое обычно охватывает весь цветовой спектр, причем распределение частоты микровибраций головы соответствует нормальному распределению (Минкин, 2007; 2020). Виброизображения, приведенные на рисунке 1, полученные при моделировании горизонтальных вибраций с частотой 2 Гц и амплитудой 3 и 6 элементов изображения, позволяют сделать следующие выводы, которые достаточно очевидны для исследователей, имеющих опыт работы с системами виброизображения:

- виброизображение является функцией не только характеристик вибрации, но и оптического контраста объекта, поэтому при одинаковых характеристиках вибрации объектов, виброизображения объектов 1.1 и 1.2, имеющих различные оптические свойства, значительно отличаются;

- виброизображение микровибраций оптически симметричного объекта может быть как симметричным (1.2), так и асимметричным (1.1).

Установив, что горизонтальные вибрации симметричных по контрасту имеющих сфер, пригодных для измерения фиксированной частоты вибрации, не подходят для моделирования реальных микродвижений головы, мы попробовали усложнить статические изображения и проанализировать горизонтальные вибрации асимметричных статических изображений, представленных на рисунке 2.

Полученные виброизображения асимметричных по контрасту статических изображений тестовых объектов, приведенные на рисунке 2, также не позволили добиться требуемых характеристик микровибрации на виброизображении. Как и на рисунке 1 частота вибраций на рисунке 2 получилась слишком дискретной, а внешнее виброизображение соответственно становится почти моноцветным. Использование изображения лица человека (объект 2.2), сгенерированное искусственным интеллектом на сайте <https://photopea.ru/ai-photo-editor-neiroset>, также не позволило получить нормальное распределение вибраций из-за одностороннего характера движений с фиксированной частотой, дающего моночастотное распределение. Поэтому мы продолжили попытки создания эталона ПФР с требуемыми параметрами виброизображения на искусственных объектах, а не на изображении лица человека, т. к. искусственные объекты позволяют более однозначно управлять виброизображением в зависимости от характеристик вибрации. Изображение и виброизображения нового, созданного нами искусственного объекта с аналогичными предыдущим (рис. 1 и 2) характеристиками вибрации, приведены на рисунке 3.

Приведенное на рисунке 3 изображение объекта имеет горизонтальную симметрию, аналогичную фронтальному изображению лица человека, при этом в отличие от искусственных изображений рисунка 1, статическое изображение на рисунке 3 имеет плавное уменьшение контраста от нижней до верхней части изображения. Виброизображения, приведенные на рисунке 3, в отличие от предыдущих виброизображений на рисунках 1 и 2, охватывают все цветовую гамму

(от фиолетового до красного цвета), а значит включают в себя большую часть исследуемого спектра вибраций в диапазоне от 0,1 до 10 Гц, присутствующих в реальных микровибрациях головы человека (Минкин, 2007). Полученные при анализе горизонтальных вибраций данные позволяют предположить, что данный тестовый объект (рис. 3) можно будет использовать для создания эталона ПФР, и в дальнейшем мы будем называть его предварительным эталоном вибраций (ПЭВ). Далее необходимо исследовать его виброизображения при вертикальных и угловых микровибрациях, а также при периодическом изменении контраста.

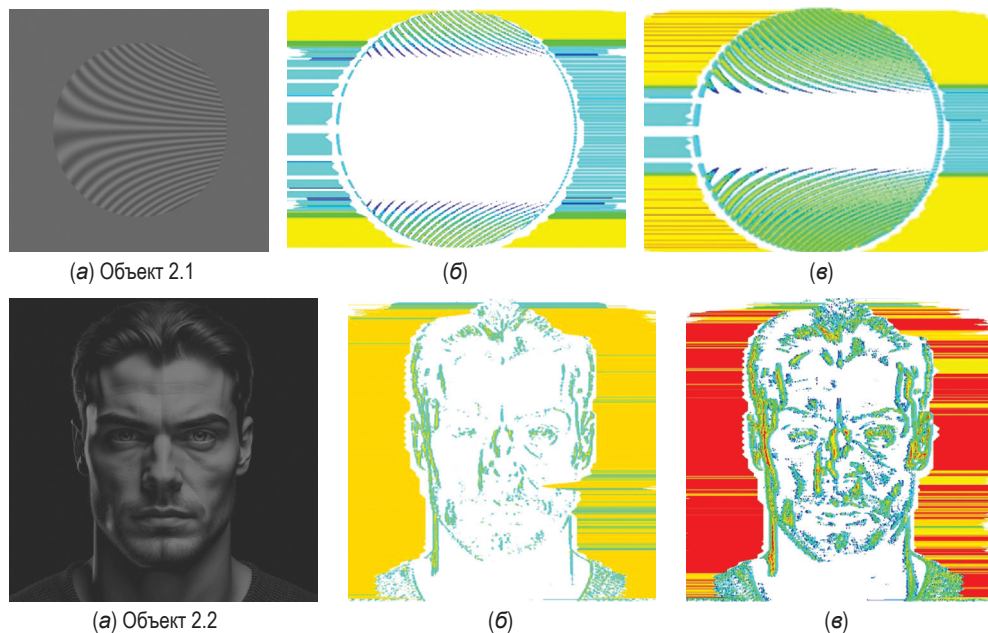


Рис. 2. Статические изображения (а) и виброизображения (б, в) тестовых объектов 2.1 и 2.2. Для виброизображений (б, в) микровибрации по горизонтали частотой 2 Гц, амплитуда перемещения объекта — 3 элементов (б), амплитуда перемещения объекта — 6 элементов (в)

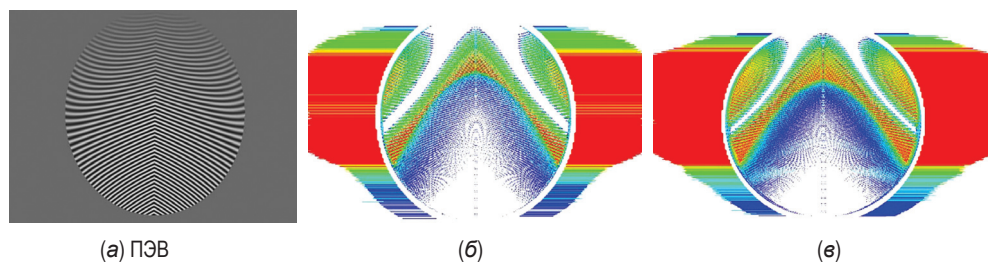


Рис. 3. Статическое изображение (а) и виброизображения (б, в) тестового объекта. Для виброизображений (б, в) микровибрации по горизонтали частотой 2 Гц, амплитуда перемещения объекта — 3 элемента (б), амплитуда перемещения объекта — 6 элементов (в)

Вертикальные микровибрации

Виброизображения ПЭВ при характеристиках вибрации по вертикали, аналогичным горизонтальным (частота — 2 Гц, амплитуда перемещения — 3 и 6 элементов), приведены на рисунке 4.

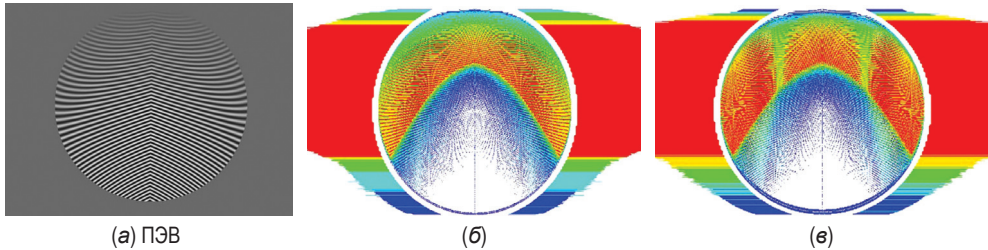


Рис. 4. Статическое изображение (а) и виброизображения (б, в) ПЭВ. Для виброизображений (б, в) микровибрации по вертикали частотой 2 Гц, амплитуда перемещения объекта — 3 элемента (б), амплитуда перемещения объекта — 6 элементов (в)

Внутренние виброизображения ПЭВ заметно различаются при горизонтальных (рис. 3) и вертикальных (рис. 4) вибрациях, при этом внешние виброизображения близки друг другу по цветовому содержанию, а значит и распределению частоты микровибраций. Отметим, что вертикальные вибрации ПЭВ дают более насыщенное внутреннее виброизображение объекта, чем горизонтальные вибрации, причем в малоконтрастной верхней части ПЭВ.

Вибрации угла наклона объекта

Виброизображения ПЭВ при параметрах вибрации по углу наклона оси объекта относительно нижней точки (частота 2 Гц, отклонение угла перемещения — 1° и 2°) приведены на рисунке 5. Уменьшение амплитуды перемещения угла наклона относительно движений по горизонтали и вертикали вызвано большим влиянием угла наклона на виброизображение и его уход в красный цвет и высокие частоты вибрации при амплитуде перемещения 3° – 6° угловых градусов.

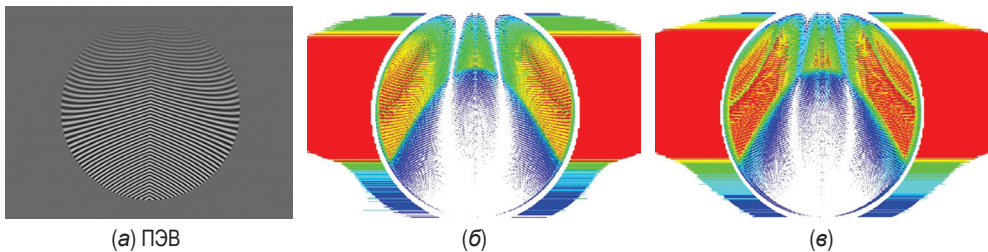


Рис. 5. Статическое изображение (а) и виброизображения (б, в) ПЭВ. Для виброизображений (б, в) микровибрации по вертикали частотой 2 Гц, амплитуда перемещения — 1 элемент (б), амплитуда перемещения — 2 элемента (в)

Отметим, что внутреннее виброизображение ПЭВ, приведенное на рисунке 5, заметно отличается от горизонтального или вертикального, при этом внешние виброизображения ПЭВ на рисунках 3, 4 и 5 достаточно похожи, и большая амплитуда вибрации дает более насыщенное виброизображение.

Вибрации контраста объекта

Виброизображения ПЭВ при характеристиках вибрации контраста ПЭВ (частота — 1 Гц, амплитуда контраста объекта относительно фона — 0,2 и 0,4; за 1 принимается максимальный контраст на объекте, за 0 — уровень фона) приведены на рисунке 6.

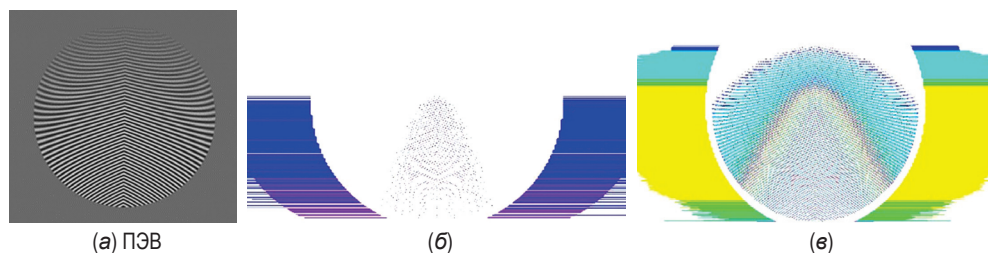


Рис. 6. Статическое изображение (а) и виброизображения (б, е) ПЭВ. Изменение контраста с частотой 1 Гц, (б) вибрации контраста — 20%, (е) вибрации контраста — 40%.

Виброизображения при изменении контраста объекта на рисунке 6 заметно отличаются от виброизображений объекта на рисунках 3–5. Большое влияние на полученные виброизображения имеет неравномерный исходный контраст ПЭВ, уменьшающийся от нижних строк ПЭВ к верхним строкам. Исходная неравномерность контраста ПЭВ приводит к тому, что вибрации контраста верхней части объекта становятся невидимыми при низкой величине изменения контраста (0,2). Увеличение амплитуды изменения контраста до 0,4 приводит к появлению виброизображения почти на всем размере ПЭВ.

Таким образом мы видим, что каждое отдельное направление вибрации на рисунках 1–6 имеет свои особенности для параметров виброизображения. Результаты исследований, представленные на предыдущих рисунках, были получены при фиксированной частоте вибрации тестовых объектов. Зависимость среднего значения виброизображения (микровибраций) M от частоты различных направлений вибрации исследуемых объектов 1.1 (ball) и ПЭВ (std) приведены на рисунке 7.

Так как среднее значение частоты микровибраций M при измерении микровибраций головы человека с настройками программы Профайлер+ ($N=25$ кадров; $f=10$ Гц) составляет примерно 2–4 Гц, то из приведенной на рисунке 7 зависимости следует, что для данного параметра возможно моделирование реальных микродвижений головы с помощью отдельно взятых процессов вибраций искусственных объектов. Поэтому мы продолжим анализ вибраций и создание эталона при исследовании одновременного наложения отдельных процессов вибрации.

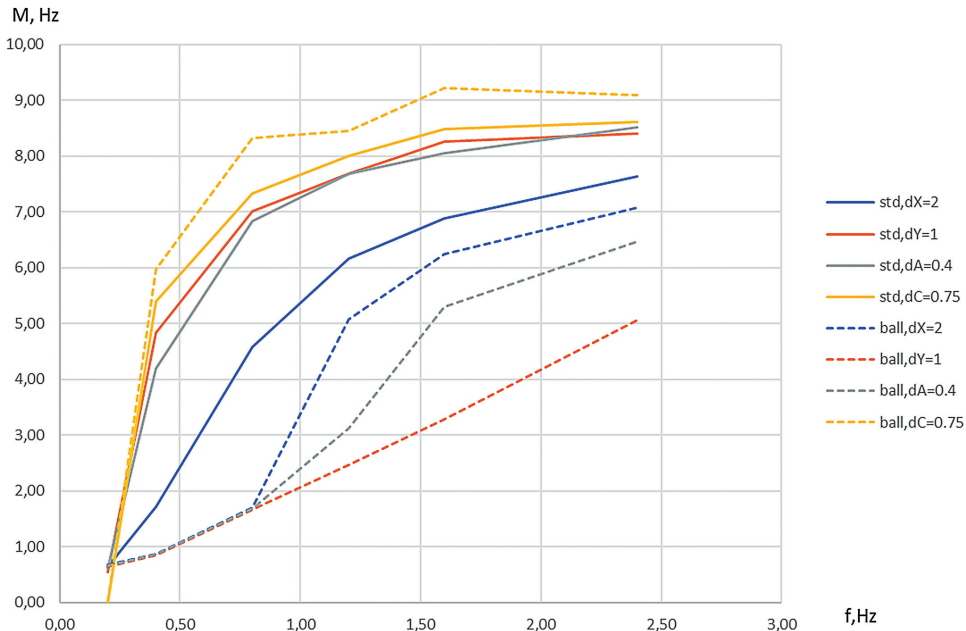


Рис. 7. Зависимость среднего значения микровибраций M от частоты различных направлений вибрации исследуемых объектов 1.1 (ball) и ПЭВ (std).

$dX=2$ — вибрация по горизонтали на 2 элемента;
 $dY=1$ — вибрация по вертикали на 1 элемент;
 $dA=0,4$ — вибрация угла наклона на $0,4^\circ$;
 $dC=75$ — вибрация контраста на 75%.

Совмещение различных процессов вибрации

Исследование отдельных процессов вибрации искусственных объектов позволяет определять связь между характеристиками вибрации объектов и параметрами виброизображения. При исследовании психофизиологической реакции человека на предъявляемые стимулы мы всегда имеем дело не с каким-то отдельным процессом вибраций, а с одновременным наложением всех перечисленных процессов, включая ассиметричную мимику человека. Основными параметрами виброизображения являются средняя частота микровибраций M и среднее квадратическое отклонение микровибраций SD (Минкин, 2020), поэтому мы исследуем зависимость этих параметров виброизображения от характеристик вибрации объектов. В таблице 1 приведены зависимости M и SD от характеристик вибрации тестового объекта 1.1 и ПЭВ.

Из описанных результатов исследований и приведенных в таблице 1 данных можно сделать следующие выводы о зависимости между параметрами виброизображения и характеристиками вибраций объектов:

– Увеличение частоты и амплитуды, а также угла наклона микровибраций и контраста объекта приводит к увеличению среднего значения M частоты микровибраций виброизображения. Значение среднее квадратическое отклонения

частоты микровибраций виброизображения SD имеет максимальные значения в середине диапазона M и спадает при минимальных и максимальных значениях M.

Таблица 1

Зависимости параметров виброизображения M и SD от характеристик отдельных процессов вибрации и общего процесса (наложения отдельных процессов) вибрации при фиксированной частоте $f = 1$ Гц (смещения по горизонтали dx, смещения по вертикали dy, угла вращения dA вертикальной оси относительно нижней точки объекта, изменения контраста dC) для тестового объекта 1.1 и ПЭВ

Процессы и характеристики микровибраций					Объект 1.1		ПЭВ	
					Параметры виброизображения объектов			
f	dx, элемент	dy, элемент	dA, градус	dC, %	M, Гц	SD, Гц	M, Гц	SD, Гц
1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,95	0,39	2,07	0,35
1,0	0,2	0,0	0,0	0,0	1,93	0,39	2,07	0,30
1,0	0,4	0,0	0,0	0,0	1,96	0,38	2,07	0,26
1,0	0,8	0,0	0,0	0,0	2,44	0,87	2,13	0,22
1,0	1,6	0,0	0,0	0,0	4,74	2,11	2,21	0,21
1,0	3,2	0,0	0,0	0,0	6,97	2,02	6,80	1,70
1,0	0,0	0,1	0,0	0,0	1,93	0,40	2,10	0,37
1,0	0,0	0,2	0,0	0,0	1,94	0,38	2,10	0,31
1,0	0,0	0,4	0,0	0,0	4,99	1,78	2,12	0,28
1,0	0,0	0,8	0,0	0,0	7,28	1,81	2,13	0,26
1,0	0,0	1,6	0,0	0,0	7,35	1,68	2,18	0,25
1,0	0,0	3,2	0,0	0,0	7,44	1,65	6,62	1,71
1,0	0,0	0,0	0,025	0,0	1,94	0,37	2,07	0,30
1,0	0,0	0,0	0,050	0,0	1,94	0,39	2,06	0,27
1,0	0,0	0,0	0,100	0,0	1,95	0,38	2,06	0,25
1,0	0,0	0,0	0,200	0,0	6,16	1,98	2,13	0,20
1,0	0,0	0,0	0,400	0,0	7,45	1,56	2,22	0,19
1,0	0,0	0,0	0,800	0,0	7,66	1,42	6,64	1,73
1,0	0,0	0,0	0,0	0,100	0,00	0,00	0,00	0,00
1,0	0,0	0,0	0,0	0,200	1,92	0,39	2,13	0,00
1,0	0,0	0,0	0,0	0,400	7,02	1,69	7,95	0,54
1,0	0,0	0,0	0,0	0,600	7,55	1,24	7,98	0,38
1,0	0,0	0,0	0,0	0,800	7,71	1,00	7,98	0,36
1,0	0,0	0,0	0,0	1,000	7,78	0,87	8,06	0,35
1,0	0,300	0,150	0,060	0,060	2,24	0,76	2,07	0,21
1,0	0,400	0,200	0,080	0,080	3,37	1,31	2,11	0,20
1,0	0,500	0,250	0,100	0,100	4,53	1,71	2,14	0,18
1,0	0,600	0,300	0,120	0,120	5,58	2,12	2,17	0,17
1,0	0,700	0,350	0,150	0,150	6,40	2,06	2,58	0,78
1,0	0,800	0,400	0,200	0,200	6,94	1,89	3,91	0,56
1,0	0,900	0,450	0,250	0,250	7,16	1,70	4,89	1,16
1,0	1,000	0,500	0,300	0,300	7,35	1,46	7,35	1,49

– Наложение различных процессов вибраций увеличивает среднее значение виброизображения M и неоднозначно влияет на среднеквадратическое отклонение виброизображения SD .

– Для создания эталона ПФР и обеспечения периода ПФС 10 секунд достаточно иметь аналогичный период изменения одного (основного) процесса микровибрации. Так как виброизображение удваивает реальную частоту микровибрации объекта (пол периода микровибрации объекта дает полный период изменения виброизображения, потому что виброизображение модульно к направлению движения), то для достижения 10-секундного периода частота модулируемых микровибраций основного процесса должна составлять 0,05 Гц. Дополнительные процессы вибрации целесообразно использовать для плавного достижения значения разности состояний вибрации соответствующего значению 1 вбр, при этом их частота должна быть выше основной и быть кратной частоте основного процесса микровибраций.

Понимание приведенных зависимостей управления параметрами виброизображения совпадает с известными принципами характеристик микродвижений при накоплении межкадровой разности (Sekine et al., 1999; Минкин, 2007) и с помощью регулирования характеристик микровибраций искусственных объектов позволяет приступить к созданию динамического эталона вибраций, частота вибраций которого идентична частоте изменения ПФС при реакции на периодические стимулы.

Моделирование динамического эталона вибраций психофизиологической реакции на стимулы в единицу вибры

В предыдущих исследованиях было показано, что период изменения ПФС испытуемого (или период изменения частоты вибраций объекта) примерно равен двойному периоду предъявления стимулов (Минкин, 2021). Характеристики вибрации головы человека являются сложной функцией как хронобиологических процессов (Минкин, Бланк, 2021), так и сознательной реакции на предъявляемые стимулы (Минкин, 2021) и автоматически подстраиваются под период предъявления внешних стимулов. Предыдущие модели фиксированных характеристик вибраций, представленные на рисунках 1–6, позволяли измерять характеристики вибраций объекта, но они не подходят для моделирования психофизиологической реакции на стимул и создания эталона вибры, т. к. для достижения значения 1 вбр характеристики вибрации объекта должны соответствовать 5–10-секундному периоду реакции человека на раздражители. Эталон ПФР является информационно-физической динамической характеристикой вибрации и не представляет собой статический привычный физический эталон в виде платинового килограмма или метра. Регулируя характеристики вибрации произвольного контрастного объекта различными методами, можно добиться требуемого перепада изменения состояния вибраций близкого к значению 1 вбр за определенный временной период. Для обеспечения перепада в 1 вбр с помощью одного процесса вибраций, необходимо чтобы выбранный процесс

микровибрации имел частоту 0,05 Гц, но при этом сложно обеспечить близость к реальному процессу микровибраций головы по остальным параметрам виброизображения. Однако, при использовании 4-х исследованных процессов вибраций частота каждого процесса вибрации может оставаться стабильной, а изменения состояния вибраций в 1 вбр достигается за счет регулирования частоты и амплитуды для разных процессов вибрации, как показано в таблице 2 (столбец dP) с достаточной близостью к параметрам реальных микровибраций головы. В таблице 2 приведены данные параметров виброизображения объектов 1.1 и ПЭВ, максимально приближенные к номинальному значению эталона вибраций 1 вбр, для различных характеристик вибрации объектов.

Таблица 2

Параметры виброизображения M, SD, dP, ΔdP объектов 1.1 и ПЭВ, приближенные к эталону вибраций 1 вбр, для различных характеристик 4-х процессов вибрации объектов

	Характеристики вибрации объектов (d/f/p) для 4 процессов вибрации (x, y, A, C)				Параметры виброизображения			
	x (d/f/p)	y (d/f/p)	A (d/f/p)	C (d/f/p)	M	SD	dP	ΔdP
Единицы измерений	Эл/Гц/sin ^ρ	Эл/Гц/sin ^ρ	°/Гц/sin ^ρ	Эл/Гц/sin ^ρ	Гц	Гц	вбр	вбр
Объекты								
ПЭВ	0,5/0,4/1	6/0,05/1	0,01/0,8/2	0,05/0,8/1	3,54	1,63	1,004	0,004
1.1	0,5/0,4/1	6/0,05/1	0,01/0,8/2	0,05/0,8/1	0,70	0,28	0,112	0
ПЭВ	0,5/0,4/1	36,9/0,05/1	0,01/0,8/2	0,05/0,8/1	8,35	2,20	0,67	0,03
1.1	0,5/0,4/1	36,9/0,05/1	0,01/0,8/2	0,05/0,8/1	2,09	1,58	1,0103	0

Приведенные в таблице 2 характеристики двух состояний вибраций различаются только одной характеристикой — максимальным сдвигом по вертикали y(d), т.к. вибрация по вертикали была выбрана нами как основной процесс вибрации для достижения 1 вбр ПФР. Установленная амплитуда вертикальных вибраций 6 элементов обеспечивает dP = 1,004 вбр для ПЭВ при неопределенности ΔdP = 0,004 вбр. При том же состоянии вибраций объекта 1.1 его изменение состояния вибраций за период 10 с заметно меньше и составляет dP = 0,112 вбр. Для достижения изменения состояния вибраций 1 вбр объекта 1.1 необходимо увеличить амплитуду изменения вибраций по вертикали примерно в 6 раз до 36,9 элемента, тогда для объекта 1.1 dP = 1,0103 вбр. В ходе данного исследования нам не удалось добиться большего приближения к значению эталона в 1 вбр для объекта 1.1, но это не означает, что такое невозможно в будущем. При этом временная стабильность изменения состояния вибраций ΔdP = 0 объекта 1.1 оказалась выше, чем ПЭВ, хотя установленная высокая амплитуда вибраций по вертикали (36,9 элемента) не позволяет считать вибрации данного объекта похожими на микровибрации головы человека. Учитывая полученные результаты, мы считаем, что динамический эталон ПЭВ, практически, удовлетворяет всем предъявляемым требованиям (близость к реальным микровибрациям головы

по всем исследованным параметрам виброизображения, высокая точность достижения единицы ПФР $dP = 1$ вбр) и, на данный момент, может быть принят за информационно-физический эталон единицы ПФР. Тем более, что погрешность измерения характеристик микровибрации головы с помощью технологии виброизображения составляет около 5% (Минкин, 2019), что заметно выше, чем достигнутая погрешность и неопределенность воспроизведения предлагаемого эталона ПФР.

Обсуждение результатов исследований

Полученные результаты подтверждают возможность создания эталонов ПФР или изменения микровибрации (Минкин, 2023) значением 1 вбр путем создания искусственных контрастных объектов с определенными характеристиками вибрации. Созданные эталоны представляют собой avi файл вибрирующего объекта (VibraStandard.avi) или программный продукт, являющийся частью эталонного режима в настройках программы Vibraimage PRO (Акимов и др., 2019). Оба разработанных варианта эталонов удовлетворяют определению эталона как средство измерительной техники в существующей системе СИ и современной метрологии (СИ, 2019; РМГ 29, 2013; JCGM 200, 2012). Вибрации файла VibraStandard.avi могут быть проанализированы любыми измерительными системами пользователей. Эталон в программе Vibraimage PRO позволяет пользователю не только оценить компьютерные ресурсы своей системы (отклонение от 1 вбр, превышающее допустимую систематическую погрешность или неопределенность 4 мвбр в режиме эталона вибраций, свидетельствует о недостаточности мощности процессора для использования системы виброизображения), но и исследовать возможности получения требуемых параметров виброизображения при изменении характеристик вибрации объекта.

В дальнейшем полученные зависимости изменения параметров виброизображения от конкретных характеристик вибрации объекта позволят исследовать различные варианты микровибрации и связать их с шаблонами изменения психофизиологического состояния, что должно позволить выявить конкретные физиологические механизмы в реакциях на стимулы. Фрейд утверждал, что у человека нет случайных движений (Freud, 1900), а Сеченов — что каждая мысль имеет свое мускульное проявление (Сеченов, 1863), значит каждый отдельный процесс микровибраций головы должен иметь свою физиологическую причину. В настоящее время параметры виброизображения не позволяют классифицировать некоторые параметры эмоций по причинам их проявления, например, отделить бытовую или семейную агрессию от террористической. Но теоретически, исходя из предположений Сеченова и Фрейда, должны быть выявлены психофизиологические маркеры движений, указывающие на конкретные источники зарождения эмоциональных состояний и выявляющие причины ПФР. Механическое моделирование параметров виброизображения должно помочь в идентификации конкретных ПФР и ПФС, т.к. если одни и те же параметры виброизображения получают с различными характеристиками вибраций

(движение по горизонтали, вертикали, качание и контраст), то в дальнейшем должны быть найдены критерии, более точно идентифицирующие разные типы микровибраций, микродвижений, эмоциональных и ПФС.

Достигнутая в текущем варианте неопределенность эталона 4 мвбр может быть уменьшена при достижении временной стабильности и большем понимании плавности механизмов регулирования параметров виброизображения. Сложно рассчитывать на большую точность эталона при его первом создании, аналогичная не очень высокая точность наблюдалась и ранее при создании первых эталонов метра и килограмма (Jabbour, Yaniv, 2001; Cardarelli, 2005). Возможно, для большей точности эталона необходимо будет перейти на большую разрешающую способность кадра и тестового объекта, при этом следует учесть, что высокое разрешение кадра повысит загрузку процессора, что может привести к обратному эффекту уменьшения точности воспроизведения эталона ПФР из-за нестабильности компьютерной обработки вибраций. Присутствие в эталоне ПФР различных низкочастотных процессов вибрации приводит к появлению низкочастотных биений, не укладывающихся в период измерения ПФР (10 секунд). Возможное уменьшение количества используемых механизмов вибрации, вероятно, позволит добиться более высокой точности воспроизведения единицы ПФР в 1 вбр, но вступает в противоречие со стремлением максимально приблизиться к реальному процессу микровибраций головы человека, включающему все возможные варианты перемещений и вибраций. Будущие исследования должны показать какой компромисс между точностью воспроизведения эталона и близостью эталона к реальным микровибрациям головы является оптимальным, мы пока остановились на достигнутом значении неопределенности эталона ПФР в 4 мвбр при анализе перечисленных 4-х процессов микровибрации.

Классификация различных процессов микровибраций и их влияние на параметры виброизображений ранее не изучались столь пристально и детально, хотя пространственные микродвижения головы анализировались для различных применений (Balakrishnan et al., 2013; Минкин, 2007; 2020). Мы считаем поставленные цели данного исследования достигнутыми, т. к. в процессе работы удалось сформулировать основные принципы наложения различных процессов вибраций и создать искусственный эталон единицы ПФР величиной 1 вбр, как это было указано в предыдущем исследовании (Минкин, 2023). Предполагается продолжить работу над повышением точности и стабильности при воспроизведении эталона ПФР для достижения неопределенности менее 1 нвбр. Также мы предполагаем, что разделение процессов микровибрации головы человека на составляющие (горизонталь, вертикаль, угол и контраст) позволит более точно характеризовать эмоциональные и психофизиологические реакции в дальнейших исследованиях, проводимых технологией виброизображения.

Одной из проблем применения технологии виброизображения для распознавания эмоций и измерения характеристик личности в режиме реального времени является сложность оценки требуемой мощности процессора для минимизации ошибок измерений (Минкин, 2019), т. к. для работы используются стандартные телевизионные камеры (веб или IP) и стандартные процессоры

(ПК с ОС Windows, Android, Linux или мобильные телефоны). Если параметры телевизионных камер традиционно оценивают с помощью тестовых таблиц (Минкин, 2007), то оценка мощности процессора достаточно затруднительна без наличия эталонного видеоизображения человека или искусственного объекта с характеристиками микродвижений, присущих обычному человеку. Мы предполагаем, что разработанный эталон ПФР позволит успешно решить указанную проблему, т. к. превышение отклонения неопределенности изменения вибраций в 4 мвбр при воспроизведении эталона на любом устройстве свидетельствует о недостаточной мощности процессора данного устройства.

Наверное, многим читателям может показаться, что предложенное создание виртуального эталона ПФР, совсем не похожего на человека, не имеет никакого отношения к психологии и физиологии. Но вспомним, что писал один из основателей современной физиологии Иван Михайлович Сеченов в далеком 1863 году: «Между действительным впечатлением с его последствиями и воспоминанием об этом впечатлении со стороны процесса, в сущности, нет ни малейшей разницы. Это тот же самый психический рефлекс с одинаковым психическим содержимым, лишь с разностью в возбудителях» (Сеченов, 1863). Перенеся мысли Сеченова на предлагаемый подход к созданному эталону ПФР, мы понимаем, что не предложили ничего принципиально нового, между процессом микровибраций головы человека при реакции на предъявляемые стимулы и процессом микровибраций созданного виртуального эталона «в сущности, нет ни малейшей разницы», что подтверждается идентичными параметрами виброизображения (M , SD , dP), измеренными для обоих процессов микровибраций.

В данном исследовании мы не уделяли достаточного внимания терминологии, основываясь на терминах и определениях единицы психофизиологической реакции, приведенных ранее (Минкин, 2023), сосредоточившись на технической стороне вопроса моделирования эталона ПФР. Поэтому для тестирования различных терминологических подходов к моделированию эталона ПФР сознательно допускалось использование различных эпитетов как виртуальный, информационно-физический, искусственный и эталон вибраций. Отработка корректной научной терминологии безусловно должна идти параллельно с достижением технических и метрологических характеристик при развитии информационно-физического подхода измерения характеристик личности человека.

Дополнительные материалы

Использованные в данном исследовании тестовые образцы вибраций и сформированный эталон ПФР доступны для скачивания на ссылке <https://psymaker.com/downloads/VibraStandard.zip> и могут быть использованы заинтересованными исследователями для разработки собственных методов и проверки сделанных выводов. Также доступно для скачивания ПО Vibraimage PRO с режимом предустановок Standard <https://psymaker.com/downloads/setupVibraPro10.exe>, позволяющее управлять описанными характеристиками вибрации созданного информационно-физического эталона ПФР.

Заключение

Мы надеемся, что проведенное исследование поможет объективизации психофизиологических измерений и является необходимым шагом по объединению процессов сознания и физического мира в единой информационно-физической модели. Моделирование отдельных процессов вибраций может быть использовано в последующих исследованиях, направленных на установление физиологических механизмов микровибрации головы человека и изучение эмоций. Разработанные информационно-физические эталоны ПФР позволяют исследователям самостоятельно оценить возможность введения новых единиц измерения психофизиологической реакции и характеристик личности в международную систему СИ, использовать полученные эталоны при проведении психофизиологических исследований и способствуют принятию единого метрологического подхода к измерению характеристик личности, объединяющего психологию, физику и кибернетику. Приведенные результаты доказывают возможность создания информационно-физического эталона ПФР номинальным значением 1 вбр, а достигнутая погрешность или неопределенность (РМГ 29-2013; JCGM 200, 2012) полученного эталона, составляющая 4 мвбр, без сомнения, может быть уменьшена в дальнейших исследованиях. Современная метрология невозможна без реализации эталонов физических величин, а психофизиология невозможна без проведения современных измерений.

Литература:

1. Акимов, В. А., Диденко, С. С., Минкин, В. А. (2019) *Сравнительный анализ различных алгоритмов получения виброизображения*. Современная психофизиология. Технология виброизображения, Тр. 2-й Международной научно-технической конференции, июнь 2019 г., Санкт-Петербург, Россия. СПб.: Элсис, No. 1 (2), С. 180–189. <https://doi.org/10.25696/ELSYS.VC2.RU.22>
2. Минкин, В. А. (2007) *Виброизображение*. СПб.: Реноме. <https://doi.org/10.25696/ELSYS.B.RU.VI.2007>
3. Минкин, В. А. (2019) *О точности технологии виброизображения*. Современная психофизиология. Технология виброизображения, Тр. 2-й Международной научно-технической конференции, июнь 2019 г., Санкт-Петербург, Россия. СПб.: Элсис, No. 1 (2), С. 167–179. <https://doi.org/10.25696/ELSYS.VC2.RU.21>
4. Минкин, В. А. (2020) *Виброизображение, кибернетика и эмоции*. СПб.: Реноме. <https://doi.org/10.25696/ELSYS.B.RU.VCE.2020>
5. Минкин, В. А. (2021) *Определение психофизиологической реакции на многофакторные стимулы в адаптивном опроснике разложения характеристик личности на независимые составляющие. Возвращение эффекта Кулешова в психофизиологию*. Современная психофизиология. Технология виброизображения, Тр. 4-й Международной научно-технической конференции, июнь 2021 г., Санкт-Петербург, Россия. СПб.: Элсис, No. 1 (4), С. 49–61. <https://doi.org/10.25696/ELSYS.VC4.RU.04>
6. Минкин, В. А., Бланк, М. А. (2021) *Психофизиология и гомеокинез. Синхронизация предьявления стимулов к хронобиологическим процессам*. Современная психофизиология. Технология виброизображения, Тр. 4-й Международной научно-технической конференции, июнь 2021 г., Санкт-Петербург, Россия. СПб.: Элсис, No. 1 (4), С. 62–75. <https://doi.org/10.25696/ELSYS.VC4.RU.05>

7. Минкин, В. А. и др. (2023) *Уточнение концепции нейролингвистического профайлинга личности и анализ статистики психофизиологических тестирований программой Профайлер+*. Современная психофизиология. Технологія виброизображення, Тр. 6-й Международной научно-технической конференции, июнь 2023 г., Санкт-Петербург, Россия. СПб.: Элсис, No. 1 (6), С. 47–69. <https://doi.org/10.25696/ELSYS.VC6.RU.04>
8. Минкин, В. А. (2024) *Введение информационно-физических характеристик личности в международную систему единиц (СИ)*. Современная психофизиология. Технологія виброизображення. Тр. 7-й Международной научно-технической конференции, июнь 2024 г., Санкт-Петербург, Россия. СПб.: Элсис, No. 1 (7), С. 9–38. https://doi.org/10.25696/Elsys_MPVT_07_ru01
9. РМГ 29–99. (1999) *Метрология. Основные термины и определения*. Межгосударственный совет по метрологии, стандартизации и сертификации. Минск.
10. РМГ 29–2013. (2013) *Метрология. Основные термины и определения*. Межгосударственный совет по метрологии, стандартизации и сертификации. Минск.
11. Сеченов, И. М. (1863) *Избранные произведения*. М.: Академия Наук СССР, 1952.
12. СИ (2019) *Международная система единиц (SI)*, изд. 9-е, Издание подготовлено Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт).
13. Balakrishnan, G. et al. (2013) *Detecting Pulse from Head Motions in Video*. IEEE Xplore: 03 October 2013. doi: 10.1109/CVPR.2013.440
14. Biswas-Diener, R., Diener, E. (2019) *General Psychology: Required Reading*. R. Biswas-Diener & E. Diener (Eds), Noba Textbook Series: Psychology. Champaign, IL: DEF Publishers. doi:nobaproject.com
15. Cacioppo, J. T., Tassinary, L. G., Berntson, G. G. (2007) *Handbook of Psychophysiology*. 3rd Edition. Cambridge University Press.
16. Cardarelli, F. (2005) *Encyclopaedia of Scientific Units, Weights and Measures: Their SI Equivalences and Origins*, 3rd Revised edition by Cardarelli, François, Springer, London, New York, Heidelberg.
17. Freud, S. (1900) *The Interpretation of Dreams, Science Odyssey: People and Discoveries*. PBS, 1998.
18. ISO/IEC 80000 (2022) ISO/IEC 80000 series Quantities and Units. Technical Committee: ISO/TC 12 Quantities and Units, ICS: 01.060.
19. Jabbour, Z. J., Yaniv, S. L. (2001) *The Kilogram and Measurements of Mass and Force*. Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, Vol. 106, No. 1, 2001, pp. 25–46.
20. JCGM 200 (2012) *International Vocabulary of Metrology. Basic and general concepts and associated terms (VIM)*.
21. Matthews, G., Deary, I. J., Whiteman, M. C. (2003) *Personality Traits*. Cambridge Press.
22. Minkin, V. A., Nikolaenko, N. N. (2008) *Application of Vibraimage Technology and System or Analysis of Motor Activity and Study of Functional State of the Human Body*. Biomedical Engineering, Vol. 42, No. 4, pp. 196–200. <https://doi.org/10.1007/s10527-008-9045-9>
23. Raja, M. et al. (2020) *3D Head Motion Detection Using Millimeter-Wave Doppler Radar*. IEEE Access, Vol. 8, 2020, pp. 32321–32331.
24. Rawal, N., Stock-Homburg, R. M. (2022) *Facial Emotion Expressions in Human–Robot Interaction: A Survey*. International Journal of Social Robotics, 14, pp. 1583–1604. <https://doi.org/10.1007/s12369-022-00867-0>
25. Rohracher, H. (1946) *Schwingungen des Menschlichen Organismus*. Anz. d. Wissench, Vol. 3, p. 230.
26. Sekine, M. et al. (1999) *Apparatus for Detecting Using a Difference between First and Second Image Signals*. US Patent No. 5579045.
27. Scherer, K. R. (2005) *What Are Emotions? And How Can they be Measured?* Social Science Information, Vol. 50, 3–4, pp. 330–350.
28. Zhang, Cao (2019) *Real-Time Human Motion Behavior Detection via CNN Using mmWave Radar*. IEEE Sensors Letters, Vol. 3, No. 2. doi: 10.1109/LENS.2018.2889060