DOI: 10.25696/ELSYS.VC2.RU.21

О ТОЧНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОИЗОБРАЖЕНИЯ

В. А. Минкин

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

Аннотация: *Проведено теоретическое исследование по выявлению наиболее значимых погрешностей в технологии виброизображения. Проведен ряд экспериментальных исследований погрешностей виброизображения, включающий исследование случайных, систематических, методических и инструментальных погрешностей виброизображения. Разработаны и исследованы методы оценки точности измерений психофизиологических параметров испытуемого с помощью технологии виброизображения. Определена средняя результирующая погрешность проведенных измерений в пределах ±6,1%.*

Ключевые слова: *виброизображение, психофизиология, погрешность, точность, измерение.*

ABOUT THE ACCURACY OF VIBRAIMAGE TECHNOLOGY

Viktor Minkin

ELSYS Corp., St. Petersburg, Russia (minkin@elsys.ru).

Abstract: *A theoretical study was conducted to identify the most significant errors of the vibraimage technology. A number of experimental studies of vibraimage errors, including the study of random, systematic, methodological and instrumental errors, have been carried out. Developed and researched methods for assessing the accuracy of the psychophysiological parameters measurements of the subject using the vibraimage technology. The average resulting error of the vibraimage measurements within ±6,1% was shown.*

Keywords: *vibraimage, psychophysiology, error, accuracy, measurement.*

Точность измерения изучает наука метрология. В каждой стране приняты свои метрологические стандарты, которые относительно мало отличаются между собой. Современная метрология ориентирована на измерение физических величин. Под физической величиной понимается одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса) общее в качественном отношении для многих физических объектов, которое может определяться количественно [Metrology, 1999; JCGM 200, 2008]. Точностью измерения называют одну из характеристик измерения, отражающую близость к нулю погрешности результата измерения [Новицкий, 1975, Guide 99, 2007]. Таким образом корректно говорить о точности следует только для измерения, сама постановка вопроса о точности технологии звучит не совсем корректно. Это примерно тоже, что спросить «какая точность у закона Ома или преобразования Фурье?» При этом вопрос — «какая точность у технологии виброизображения?» задается практически каждым пользователем, поэтому я предпочитаю оставить научно некорректное название данной статьи, так как оно должно быть наиболее близко и понятно пользователям систем виброизображения. Процесс измерения — это всегда сравнение с мерой [Новицкий, 1975]. Однако стандартизованных мер

(эталонов) для измерения психофизиологического состояния (ПФС) в настоящее время не существует, что делает вопрос о точности технологии виброизображения ещё более сложным. Кроме того, не совсем корректно говорить о точности всей технологии, так как виброизображение включает в себя измерение более сотни различных параметров, которые измеряются с различными погрешностями [ГОСТ 34400.1, 2017; JCGM 100, 2008]. Несмотря на эти неопределенности, мы попробуем разобраться с точностью технологии виброизображения в рамках данной статьи.

Из приведенного определения точности измерений следует, что точность определяется различными погрешностями измерений. Для части технических применений технологии виброизображения точность измерений вибраций механических объектов зависит от погрешностей определения параметров механических перемещений физических объектов. Однако, большинство вопросов по точности связано не с техническими применениями, а с применениями технологии виброизображения, связанными с определением параметров ПФС или других характеристик личности человека. Следует отметить, что современная наука, в основном, избегает термина «измерение» при определении характеристик личности человека. Большинство исследователей говорят об «оценке» [Wilhelm, 2006], «детекции» [Gunavan et al., 2018] или «распознавании» [Chavan, Kulkarni, 2012] в случае, когда речь идет об эмоциях, поведении, способностях или ПФС человека, хотя термин измерение также используется в психологии [Maus, 2009] и психофизиологии [Meiselman, 2016]. Для этого есть определенные основания, так как большая часть психологических исследований ориентирована на качественную оценку характеристик личности, в то время как для измерения необходим переход к количественным свойствам объекта. Однако большинство психофизиологических технологий, использующих измерение физиологических параметров человека для определения параметров личности, измеряют физические величины (электрический сигнал для ЭЭГ, ЭКГ, КГР, параметры механического перемещения для виброизображения), а значит допустимо говорить и о измерении параметров личности.

Целью данной работы было исследование и определение основных погрешностей технологии виброизображения при прямом преобразовании измеряемой величины [Новицкий, 1975].

Погрешности измерений, влияющие на точность измерения ПФС технологией виброизображения

Рассмотрим основные виды погрешностей [Новицкий, 1975], влияющие на точность получения результата технологии виброизображения, и постараемся их оценить. Инструментальная погрешность технологии виброизображения (погрешность средств измерений) включает в себя погрешности измерения механических перемещений головы человека или любого механического предмета. Параметры погрешности определения механических перемещений (частота, амплитуда) зависят от точности средств измерений и условий измерений.

В основном они определяются параметрами используемой телевизионной камеры (динамический диапазон, временной шум, четкость), которые, в свою очередь, зависит от освещенности объекта и параметров процессора (производительность). Большая часть этих технических параметров включена в расчет показателя качества при измерениях [VibraMed, 2019]. При показателе качества близком к 100% погрешность средств измерений обычно не превышает ±5%, что может быть проверено при измерении параметров движения тестового механического объекта, имеющего известные параметры движения, например, фиксированную частоту перемещения. Также для проверки погрешности механических перемещений были разработаны и использованы тестовые программные объекты, совершающие перемещение с заданной дискретной частотой 2, 4, 5, 6 и 10 Гц [Vibraimage PRO, 2019]. Закон распределения погрешности механических перемещений близок к нормальному при показателе качества 100%. Основными способами снижения указанной погрешности являются использование рекомендованной аппаратуры, соблюдение рекомендованных условий измерения и контроль за показателем качества измерений, который реализован в большинстве программ.

Дополнительная погрешность при измерении ПФС человека связана с нестабильностью самих измеряемых психофизиологических параметров. Физиологические параметры человека изменяются во времени в силу естественных причин, а также при воздействии различных внешних факторов и стимулов. Все программы виброизображения можно разделить на две группы по принципу анализа ПФС человека. Первая группа программ предназначена для прямого измерения квазистационарного ПФС без воздействия внешних стимулов. С точки зрения теории измерений — это измерительные устройства прямого преобразования. К ним относятся программы VibraMed [VibraMed, 2019] и VibraMid [VibraMid, 2019], соответственно режимы Микро и Макро в Vibraimage PRO версии [Vibraimage PRO, 2019]. Вторая группа программ [VibraMI, 2019; VibraPA, 2019] предназначена для сравнительного измерения изменений ПФС под воздействием предъявляемых стимулов. По теории измерений — это измерительные устройства уравновешенного преобразования [Новицкий, 1975]. Если эмоциональная нестабильность является проблемой и дополнительной погрешностью для программ первой группы, то для параметров второй группы эмоциональная нестабильность испытуемого приводит к увеличению измеряемого перепада ПФС и снижению данной погрешности [Минкин, Николаенко, 2017]. Проведенные исследования показывают значимую нестабильность большинства физиологических параметров [Minkin, Myasnikova, 2018] и возможность их изменения в пределах 10–20% даже в ходе короткого тестирования от одной до семи минут. Погрешность нестабильности измеряемой величины напрямую влияет на результирующую погрешность, особенно для программ первой группы. Наиболее эффективным методом снижения этой погрешности и других случайных погрешностей является усреднение результатов. Среднее медианное значение более устойчиво к значительным выбросам, поэтому эта оценка используется в программе VibraMed для определения измеренного

значения параметра за время измерения. Погрешность нестабильности ПФС имеет случайный закон распределения, если нет одностороннего тренда изменения ПФС во время измерения. Экспериментально было установлено [Minkin, Myasnikova, 2018], что 1 минуты достаточно для отсутствия одностороннего тренда в изменении ПФС, однако уменьшение времени тестирования может приводить к значительному увеличению погрешности от нестабильности ПФС.

Методологическая погрешность технологии виброизображения определяется, прежде всего, корректностью предложенной модели преобразования механических параметров перемещения головы человека в психофизиологические или личностные параметры человека. Модели преобразования были исследованы в процессе разработки технологии виброизображения [Minkin, Shtam, 2000; Minkin, 2018; VibraStat, 2019] и основаны на предыдущих исследованиях в физиологии активности [Darvin, 1872; Wiener, 1948; Sechenov, 1965; Pavlov, 1927; Bernstein, 1967; Lorenz, 1966]. В настоящее время оценка точности моделирования параметров ПФС представляет значительную сложность, потому что отсутствуют альтернативные общепринятые и стандартизованные методы измерения ПФС. Однако открытость и воспроизводимость методик определения параметров ПФС технологией виброизображения для всех исследователей позволяет оперативно корректировать разработанные методы. Например, для множественного интеллекта модель Гарднера-Минкина-Николаенко [Gardner, 1983; Minkin, Nikolaenko, 2017] была скорректирована после набора статистики на более чем 500 испытуемых [Minkin et al., 2019]. Несмотря на кажущуюся полную неопределенность методологической погрешности, её также можно оценить, зная другие погрешности измерений, общую погрешность измерения и известные законы распределения погрешностей измерения.

Экспериментальные данные

В процессе данного исследования точности технологии виброизображения были проведены два эксперимента. В первом эксперименте было проведено 100 измерений ПФС одного человека с помощью программы VibraMed10 [VibraMed10, 2019], установленной на компьютере HP EliteBook 840 G2 с процессором i7–5600 CPU 2,60 GHz с внешне подключенной веб-камерой MS LifeCam Cinema. Измерения проводились 30 января 2019 года, в течение 2 часов с 11.00 до 13.00 часов. Настройки программы VibraMed10 установлены Микро по умолчанию, разрешающая способность веб камеры установлена 640×480 элементов. Испытуемый находился на расстоянии 40–50 см от камеры, размер головы испытуемого на изображении составлял примерно 200 элементов. Освещённость испытуемого была равномерна, стабильна и составляла 600 лк во время тестирования. Камера LifeCam Cinema была расположена напротив лица испытуемого. Во втором эксперименте было проведено 50 измерений ПФС того же человека с помощью программы VibraMA [VibraMA, 2019], установленной на мобильном телефоне Samsung Galaxy S8 с процессором Snapdragon 835 со встроенной основной камерой. Измерения проводились 4 февраля 2019 года,

в течение 2 часов с 11.00 до 13.00 часов. Настройки программы VibraMA установлены по умолчанию, разрешающая способность камеры установлена 800 × 480 элементов. Испытуемый находился на расстоянии 40–50 см от камеры, размер головы испытуемого на изображении составлял примерно 200 элементов. Освещённость испытуемого была равномерна, стабильна и составляла 600 лк во время тестирования.

Результаты измерений

Рассмотрим полученные результаты компьютерного тестирования ПФС (табл.1), выбрав за основную оценку погрешностей среднюю квадратическую погрешность измерений (СКПИ) [Новицкий, 1975] (experimental standard deviation) [JCGM 100, 2008], тем более, что она совпадает со среднеквадратическим отклонением (СКО), которое автоматически определяется программой VibraMed10 для каждого основного параметра виброизображения (T1–T10).

Таблица 1

Результаты 100 измерений параметров T1–T10 и I-E ПФС, разделенные на группу 1 (первые 50 измерений), группу 2 (последующие 50 измерений) и объединенные в одну группу. M — среднее значение параметров, б avg — среднее значение СКО в группе измерений, б(M) — СКПИ

var	M1 avg	б1 avg	б1(M)	M2 avg	б2 avg	б2(M)	M avg	б avg	б(M)
T1	33,21	4,24	3,98	32,06	3,95	2,94	32,63	4,09	3,55
T2	31,24	3,76	3,28	29,28	3,69	2,43	30,26	3,72	3,05
T3	26,30	9,74	6,66	20,83	10,07	3,07	23,57	9,91	5,86
T4	30,69	4,05	3,60	27,82	3,86	1,56	29,25	3,95	3,12
T5	62,31	7,87	6,22	65,87	7,67	5,84	64,09	7,77	6,29
T6	72,21	2,01	1,91	70,75	2,14	1,34	71,48	2,08	1,81
T7	18,42	2,83	2,51	18,74	2,94	2,49	18,58	2,89	2,51
T8	67,28	4,28	3,49	68,32	4,17	3,12	67,80	4,23	3,35
T9	14,37	3,85	2,47	15,92	4,65	1,53	15,14	4,25	2,20
T10	38,45	14,23	11,29	46,46	18,35	10,67	42,46	16,29	11,69
E	28,81	2,46	3,14	28,35	2,75	3,05	28,58	2,61	3,05
I	47,95	6,10	5,67	51,66	5,47	5,14	49,81	5,79	5,14
dP	–0,02	0,00	0,09	–0,01	0,00	0,09	–0,01	0,00	0,09

Приведенные в таблице 1 данные показывают, что разброс СКПИ между различными параметрами составляет от 1,34 для параметра Т6 группы 2 до 11,29 для параметра Т10 в группе 1. Среднее значение СКПИ по 100 измерениям параметров Т1–Т10 составило 4,34%. При этом разброс СКПИ для одинаковых параметров между группами 1 и 2 значительно меньше, чем разброс параметров СКПИ в каждой группе.

Рассмотрим аналогичные сравнительные результаты компьютерного и телефонного тестирования ПФС (табл. 2), выбрав за основную оценку погрешностей среднеквадратическую погрешность измерений.

Таблица 2

Результаты 150 измерений параметров Т1-Т10 и I-E ПФС, разделенные на группу 1 (50 мобильных измерений), группу 2 (100 компьютерных измерений) и объединенные в одну группу. М — среднее значение параметров, М — среднее значение параметров, б avg — среднее значение СКО в группе измерений, б(М) — СКПИ

var	M1 avg	б1 avg	б1(M)	M2 avg	б 2 avg	б2(M)	M avg	б avg	б(M)
T1	49,00	3,54	5,04	32,63	4,09	3,55	38,09	3,91	8,74
T2	23,67	1,92	2,26	30,26	3,72	3,05	28,07	3,12	4,19
T3	21,59	7,97	3,75	23,57	9,91	5,86	22,91	9,26	5,33
T4	31,43	2,85	1,72	29,25	3,95	3,12	29,98	3,59	2,92
T5	71,56	3,76	2,92	64,09	7,77	6,29	66,58	6,43	6,45
T6	75,76	4,38	4,91	71,48	2,08	1,81	72,91	2,85	3,78
T7	36,99	2,94	5,52	18,58	2,89	2,51	24,72	2,90	9,47
T8	73,62	3,28	2,06	67,80	4,23	3,35	69,74	3,91	4,06
T9	22,15	3,12	1,71	15,14	4,25	2,20	17,48	3,87	3,89
T10	31,15	6,56	8,18	42,46	16,29	11,69	38,69	13,05	11,91
E	48,65	2,35	10,46	28,58	2,61	3,05	35,27	2,52	10,39
I	41,29	2,67	6,46	49,81	5,79	5,14	46,97	4,75	6,48
S	–0,01	0,00	0,08	–0,01	0,00	0,09	–0,01	0,00	0,08

Приведенные в таблице 2 данные показывают, что разброс СКПИ между различными параметрами составляет от 1,71 для параметра Т9 группы 1 до 11,69 для параметра Т10 в группе 2. При этом разброс СКПИ для одинаковых параметров между группами 1 и 2 значительно меньше, чем разброс параметров СКПИ, а объединение групп 1 и 2 дает большую погрешность (среднее значение СКПИ = 6,1%), за счет добавления инструментальной погрешности.

Для корректной оценки погрешностей необходимо знать закон изменения измеряемой величины [Новицкий,1975]. Большинство измеряемых параметров Т1–Т10 основаны на вычислении среднего значения частоты виброизображения (энергетическая характеристика) и среднеквадратического отклонения частоты виброизображения (информационная характеристика). Рассмотрим плотности распределения этих величин (рис. 1 и рис. 2) для компьютерного и мобильного измерения ПФС.

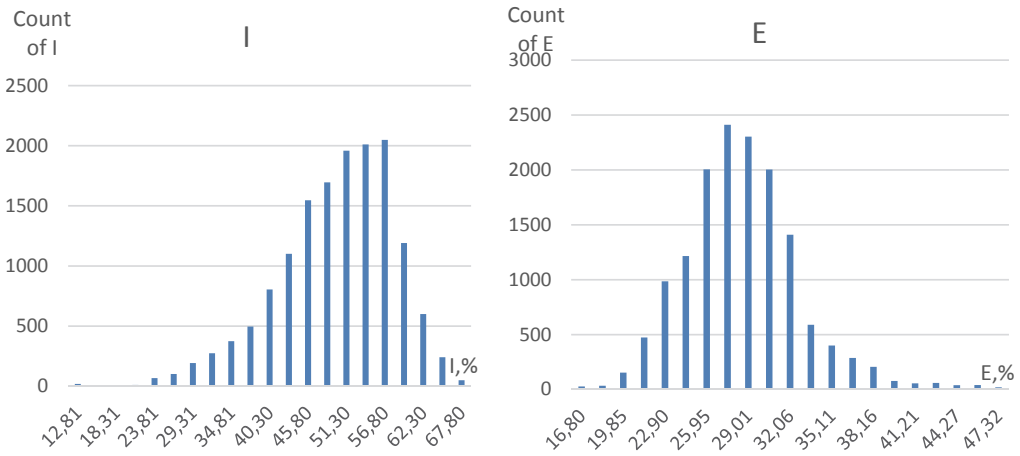

Рис. 1. Распределение информационной и энергетической характеристики при компьютерных измерениях

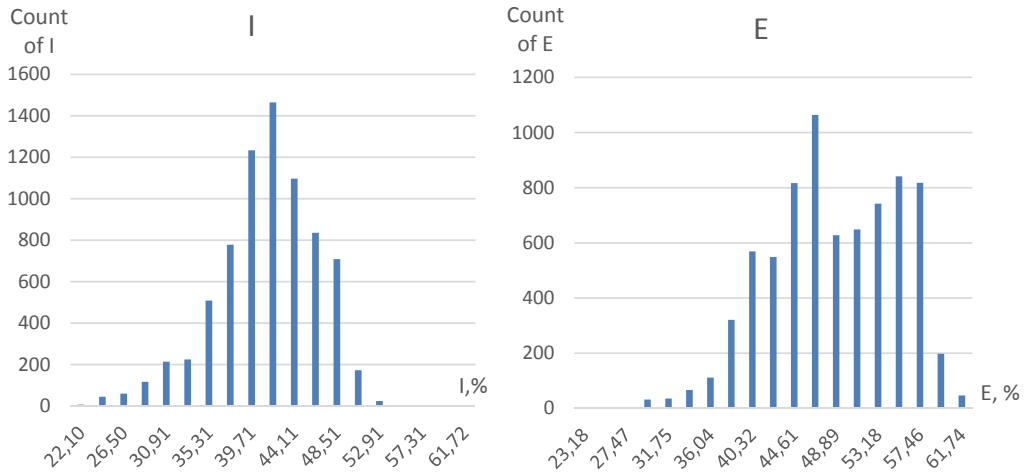

Рис. 2. Распределение информационной и энергетической характеристики при мобильных измерениях

Приведенные распределения далеки от нормального закона распределения, что, скорее всего, свидетельствует о наличии не только случайной погрешности в измерениях, но и присутствии систематических погрешностей в проведенных выборках.

Обсуждение приведенных результатов измерений

Постараемся понять, насколько точно мы можем определить погрешность измерений по проведенному эксперименту. Основным достоинством оценки погрешностей по СКО измеряемой величины является то, что суммарная СКО включает в себя сумму всех погрешностей СКО [Новицкий, 1975, Shanon, 1946], причем это справедливо для любого закона распределения измеряемой величины при отсутствии корреляции между анализируемыми погрешностями. Наличие корреляции между анализируемыми инструментальной, дополнительной и методологической погрешностями предположить достаточно сложно, поэтому для оценки погрешностей следует использовать формулы 1 и 2.

$$\boldsymbol{\sigma}_{\boldsymbol{\Sigma}}^2 = \sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{\sigma}_i^2. \tag{1}$$

Из этого следует, что при наличии трех основных погрешностей, каждая отдельная из них будет меньше суммарной и определяется по формуле:

$$\boldsymbol{\sigma}_1 = \sqrt{\boldsymbol{\sigma}_{\boldsymbol{\Sigma}}^2 - \boldsymbol{\sigma}_2^2 - \boldsymbol{\sigma}_3^2} \tag{2}$$

Проведенное количество измерений каждой измеряемой величины составляет примерно 150 отсчетов при каждом тестировании ПФС, а для 100 тестирований составляет 15000 отсчетов, что позволяет оценивать погрешность проведенных измерений с доверительной вероятностью не ниже 0,997. При этом в теории измерений принято оценивать предельную погрешность измерений $\Delta = 2\sigma = \pm\sigma$ [Новицкий, 1975].

Рассмотрим результаты таблицы 2 сравнительных тестирований ПФС на мобильном устройстве (М1) и ПК (М2) в виде гистограммы на рисунке 3, обратив внимание на значимые различия в величине измеренных средних значений параметров М.

Приведенные значения М показывают значимые различия, превышающие погрешность измерения параметров внутри каждой группы, прежде всего для параметров Т1, Т7 и Т10, т. е. свидетельствуют о заметной инструментальной погрешности. Для понимания причин данного явления следует отойти от теории измерений к технологии виброизображения. Основным отличием в сравниваемых группах является различия фотоприемников, используемых в данном эксперименте. Мобильный телефон Samsung S8 использует малошумящую КМОП матрицу, изготовленную по технологии backside, основным достоинством которой является повышенная чувствительность и пониженный уровень собственных шумов. Вебкамера LifeCam Cinema оснащена обычным

КМОП (frontside), чувствительность которого примерно в 4 раза ниже, чем у backside [Lesser, 2015]. Технология виброизображения основана на вычислении элементов, имеющих разный уровень сигнала [Минкин, 2007], поэтому пороговая чувствительность фотоприемника имеет первоочередное значение при расчете исходного виброизображения. Для контрастного объекта различия в пороговой чувствительности фотоприемников могут быть не столь значимы, как при анализе малоконтрастного лица человека. Для малоконтрастного объекта его виброизображение при вибрации прямо пропорционально пороговой чувствительности фотоприемника, т. е. если низкочувствительный фотоприемник с чувствительностью S видит N изменившихся элементов, то высокочувствительный фотоприемник с чувствительностью 4 S видит 4 N изменившихся элементов. Теоретически такое увеличение количества элементов не обязано влиять на изменение среднего значения, но судя по проведенному эксперименту формы распределений (гистограмма частоты вибраций) оказываются разными, лучшая камера видит больше вибраций, и среднее значение вибраций, определенное камерой с высокой чувствительностью и четкостью, оказывается выше, что согласуется с одним из основных принципов получения идеального виброизображения [Минкин, 2008]. Под идеальным виброизображением понималось виброизображение, в котором определяются ВСЕ точки с изменившимся сигналом. Естественно, что лучшая камера видит больше точек, чем камера с худшими параметрами.

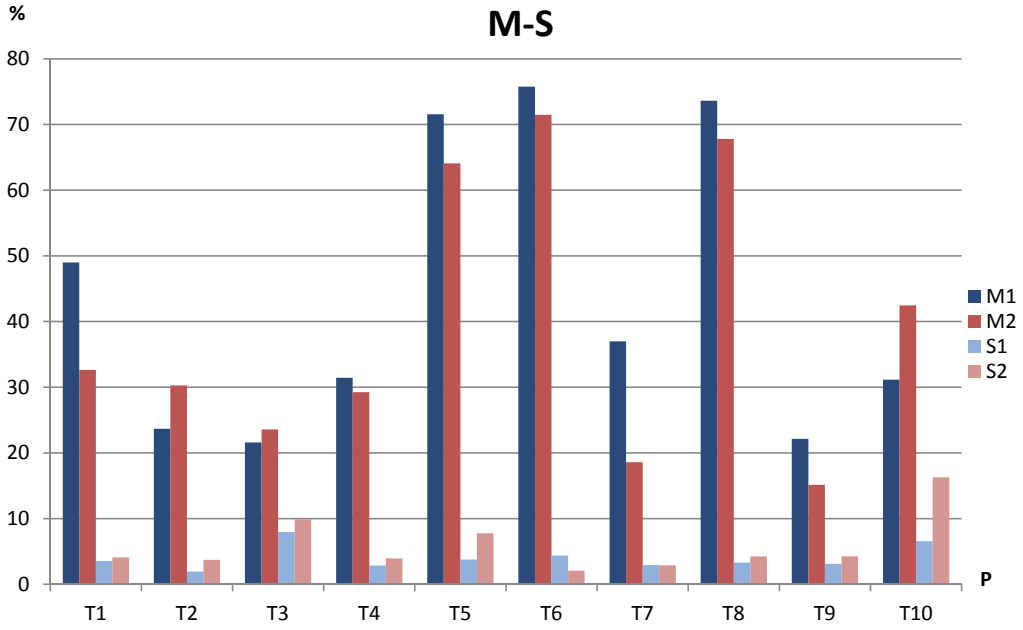

Рис. 3. Результаты M и СКО 150 измерений параметров T1–T10 ПФС, разделенные на группу 1 (50 мобильных измерений) и группу 2 (100 компьютерных измерений). M — среднее значение параметров, S — среднеквадратическая погрешность измерения

Именно поэтому параметры T1 и T7, расчет которых основан на среднем значении частоты вибраций, оказываются выше в группе мобильных измерений с лучшей камерой. Обратная картина наблюдается для параметра T10, который связан с определением разброса периода сигнала виброизображения. Лучшая по параметрам (чувствительность, четкость) камера стабильней и точнее измеряет значение сигнала виброизображения, поэтому параметр T10, определенный на мобильном устройстве показывает меньшее значение. Остальные параметры виброизображения характеризуют пространственные и временные характеристики вибраций, они оказываются не столь чувствительны к общему количеству выявленных точек вибраций. Например, параметр T3 характеризует соотношение высоких и низких частот вибрации. Это соотношение достаточно стабильно и не зависит от общего числа элементов виброизображения.

Что касается методической погрешности параметров виброизображения, то оценить ее достаточно сложно в настоящее время, так как отсутствуют другие общепринятые методы и эталоны для определения психофизиологических параметров и психофизиологического состояния человека. Существующие методы оценки психофизиологических параметров дают только качественные характеристики [Chavan, 2015], а методы измерений не приводят никаких показателей точности [Mauss, 2009; Meiselman, 2016]. Стандарт по оценке точности психологических данных [Standard, 2014] основан только на обработке сознательной реакции человека и никак не включает в себя психофизиологическую реакцию, поэтому декларируемые в нём точности не имеют практического отношения к реальному поведению и измерению психофизиологических параметров человека. Технология виброизображения, по заявлению разработчиков, является первой открытой технологией психофизиологической детекции, позволяющей вычислять ЛЮБЫЕ психофизиологические параметры по открытым алгоритмам [Minkin, 2000; Minkin, 2018; VibraStat, 2019]. Такой подход позволяет корректировать алгоритмы измерения ПФС и минимизировать методологическую погрешность по мере набора статистических результатов.

Заключение

Данная работа является, практически, первой комплексной попыткой профессионального анализа погрешностей систем виброизображения прямого преобразования. Отдельные исследования на тему погрешностей виброизображения проводились ранее, хотя и не были выделены в самостоятельные работы. Например, в работе [Минкин, 2007] был проведен анализ шумов различных камер (аналогично анализу инструментальной погрешности), а в работе [Минкин, Николаенко, 2017] было проведено исследование стабильности измеряемых параметров при сравнительном тестировании (аналогично анализу погрешностей метода уравновешенного преобразования в метрологии). Основными задачами данной работы была метрологическая экспертиза технологии, поиск путей повышения точности для разработчиков и выработка предложений по

уменьшению погрешностей для пользователей. Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Среднее значение предельной погрешности измерений психофизиологических параметров составило ±6,1% (без инструментальной погрешности ±4,3%). Эта величина является достаточно низким значением для погрешностей измерений психофизиологических параметров по сравнению с данными от аналогов [Шмелев, 2010; Kosti, 2017], считающими хорошими результатами результирующую погрешность (20–50)%, что говорит о высокой информативности вестибулярно-эмоционального рефлекса [Minkin, Nikolaenko, 2008] как индикатора ПФС.

2. Значительный вклад в погрешности виброизображения может вносить инструментальная погрешность. Параметры телевизионной камеры (чувствительность, четкость, динамический диапазон, временной шум) оказывают существенное влияние на получаемый результат, для отдельных параметров инструментальная погрешность может достигать ±4%. Однако, при наборе статистики и получении проверенных зависимостей ПФС от исследуемого фактора на одном железе, инструментальная погрешность оказывает только минимальное влияние на результат. Поэтому пользователям систем виброизображения следует набирать собственную статистику на конкретном аппаратном обеспечении и использовать ее при определении параметров ПФС, это позволяет значительно уменьшить инструментальную погрешность.

3. Систематическая погрешность в основном определяется дополнительной погрешностью, связанной с односторонним трендом от изменения ПФС под действием внешних факторов (время, стимулы), она не устраняется усреднением результатов измерений, используемым при каждом тестировании. Однако односторонний тренд изменения психофизиологических параметров при квазистационарном состоянии испытуемого не превышает ±3% в час и достаточно редко может быть длительным во времени. При этом свободные колебания параметров ПФС за короткое время (в пределах минуты) заметно превышают медленный тренд и могут составлять до ±10% для отдельных параметров ПФС (параметр тревожность в таблице 2), что не позволяет заметно снижать время измерений без потери точности.

Проведенные исследования показали, что в настоящее время технология виброизображения имеет минимальные погрешности измерения параметров ПФС по сравнению с известными аналогами [Полонников, 2013; Gunavan, 2018]. При этом существуют значительные ресурсы для повышения точности при измерении отдельных параметров ПФС, эти резервы касаются доработки как аппаратного, так и программного обеспечения виброизображения.

Литература:

1. *Bernstein N. A.* The co-ordination and regulation of movements. Oxford: Pergamon Press, 1967.
2. *Chavan U. B., Kukarni D. B.* Facial expression recognition — review // IJLTET. 2015. Vol. 3, Iss. 1. P. 237–243.

3. *Darwin Ch.* The Expression of the Emotions in Man and Animals. London: John Murray, 1872.
4. *Gardner H.* Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences. New York, 1983.
5. ISO/IEC Guide 98-1:2009 (JCGM/WG1/104) Uncertainty of measurement. Part 1: Introduction to the expression of uncertainty in measurement. 2009.
6. JCGM 100. Evaluation of measurement data — Guide to the expression uncertainty in measurement. 2008.
7. JCGM 200. International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM). 2008.
8. Guide 99. International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM). 2007.
9. *Gunavan et al.* A review on emotion recognition algorithms using speech analysis // IJEEI, 2018. Vol. 6, No 1. DOI:10.11591/ijeei.v6 i1.409.
10. *Kosti R. et al.* The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) [Electronic resource]. 2017. P. 1667–1675. URL: http://openaccess.thecvf.com/content_cvpr_2017/papers/Kosti_Emotion_Recognition_in_CVPR_2017_paper.pdf (access date: 06.05.2019).
11. *Lesser M.* A summary of Charge-Coupled Devices for astronomy // Astronomical Society of the Pacific. 2015. Vol. 127. P. 1097–1104.
12. *Mauss I. B., Robinson M. D.* Measures in emotion: A review // Cogn. Emot. 2009. Feb. 1. P. 209–237. DOI:10.1080/02699930802204677.
13. *Meiselman H. R.* (ed.). Emotion measurement, Navigating the Science of Emotion. Woodhead publishing, 2016.
14. Metrology. Basic terms and definition. State system for ensuring the uniformity of measurements, РМГ 29–99. 1999.
15. *Minkin V. A., Nikolaenko N. N.* Application of Vibraimage Technology and System for Analysis of Motor Activity and Study of Functional State of the Human Body. Biomedical Engineering, 2008. Vol. 42, No. 4. P. 196–200. DOI: 10.1007/s10527-008-9045-9.
16. *Minkin V., Myasnikova E.* Using Vibraimage Technology to Analyze the Psychophysiological State of a Person During Opposite Stimuli Presentation // Journal of Behavioral and Brain Science. 2018. Vol. 8. P. 218–239.
17. *Minkin V., Myasnikova E., Nikolaenko Y.* Conscious and Unconscious Responses as Independent Components of a Person's Current Psychophysiological State // Current Psychiatry Reviews. 2019. Vol. 15.
18. *Pavlov I. P.* Conditioned Reflexes: An Investigation of the Physiological Activity of the Cerebral Cortex / Transl. and Ed. by G. V. Anrep. London: Oxford University Press., 1927.
19. *Sechenov I.* Reflexes of the Brain. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1965. 230 p.
20. *Shannon C. E.* A Mathematical Theory of Communication // Bell System Technical Journal. 1948. Vol. 27. P. 379–423. P. 623–656.
21. Standards for Educational and Psychological Testing. Edition Developed jointly by: American Educational Research Association (AERA), American Psychological Association (APA), National Council on Measurement in Education (NCME). 2014.
22. VibraMA. Emotion Recognition and Behavior Detection System for Android phones [Electronic resource]. Saint Petersburg: Elsys Corp. publishing, 2019. URL: http://www.psymaker.com/downloads/VibraMA.apk (access date: 06.05.2019).
23. VibraMed. Emotion Recognition and Behavior Detection system. Version 10 [Electronic resource]. Saint Petersburg: Elsys Corp. publishing, 2019. URL: http://www.psymaker.com/downloads/VibraMedEng10.pdf (access date: 06.05.2019).
24. VibraMI. Psychophysiological profiling system. Version 10 [Electronic resource]. Saint Petersburg: Elsys Corp. publishing, 2019. URL: http://www.psymaker.com/downloads/VibraMIEng10.pdf (access date: 06.05.2019).

25. VibraMid. Suspicious Behavior Detection System Manual [Electronic resource]. Saint Petersburg: Elsys Corp. publishing, 2019. URL: http://www.psymaker.com/downloads/VIManualEngMid10.pdf (access date: 06.05.2019).
26. VibraPA. Diagnostic Program of Personality Accentuation [Electronic resource]. Saint Petersburg: Elsys Corp. publishing, 2019. URL: http://www.psymaker.com/downloads/PsyAccentEng.pdf (access date: 06.05.2019).
27. Vibraimage PRO. Emotion Recognition and Behavior Detection System Manual [Electronic resource]. Saint Petersburg: Elsys Corp. publishing, 2019. URL: http://www.psymaker.com/downloads/VI10_ManualEng.pdf (access date: 06.05.2019).
28. VibraStat Manual. Vibraimaging analysis of MED psychophysiological parameters statistics [Electronic resource]. Saint Petersburg: Elsys Corp. publishing, 2019. URL: http://www.psymaker.com/downloads/VibraStatAdvEng.pdf (access date: 06.05.2019).
29. *Wilhelm F. H.* Clinician's Handbook of Child Behavioral Assessment. Practical Resources for the Mental Health Professional. 2006. P. 201–231
30. *Wiener N.* Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine. Paris: Hermann & Cie; Cambridge, Mass.: MIT Press, 1948.
31. ГОСТ 34400.1. Неопределенность измерения. Ч. 1: Введение в руководства по выражению неопределенности измерения. 2017.
32. *Лоренц К.* Агрессия. М.: Римис, 2009. 352 с.
33. *Минкин В. А.* Виброизображение. СПб.: Реноме, 2007. 108 с.
34. *Минкин В. А., Николаенко Я. Н.* Виброизображение и множественный интеллект. СПб.: Реноме, 2017. 156 с.
35. *Новицкий П. В.* Электрические измерения неэлектрических величин. Л.: Энергия, 1975.
36. Пат. RU 2187904, МПК H04N 5/14. Способ и устройство преобразования изображения / *В. А. Минкин, А. И. Штам*, ООО «МП «Элсис». Заявл. 19.12.2000; Опубл. 20.08.2002.
37. *Полонников Р. И.* Избр. тр. СПб.: «Анатолия», 2013.
38. *Шмелев А. Г., Кононова В. Н.* ДДО и «Профориентатор»: приемственность отечественных профоирентационных методик // Вестн. Моск. ун-та (Сер. 14: Психология). 2010. № 2.