

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КАК ОСНОВА СИСТЕМНОГО НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Ксения Сапожникова¹⁾, Рюль Тайманов²⁾, Юлия Бакшеева³⁾

^{1) 2)} ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, 190005 Санкт-Петербург, Московский пр., 19

¹⁾ *k.v.s@vniim.ru*, ²⁾ *taimanov@vniim.ru*

3) Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 190000 Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 67

baksheeva@rambler.ru

Резюме: Отмечена актуальность разработки представления об алгоритмах решений, принимаемых в мозгу человека и животного, связанных с регуляцией физиологических функций и мотивацией поведения. Показано, как метрологически строгое определение измеряемой многопараметрической величины, разработка модели и методики ее измерений, а затем анализ результатов измерений позволяют определить искомые алгоритмы и оценить динамические характеристики их реализации. Приведены примеры.

Ключевые слова: многопараметрическая величина, модель изменений, измерение эмоций

1. Введение

Постиндустриальная стадия развития общества отличается от прежних качественным смещением акцентов при выборе приоритетных направлений в развитии научного знания. Интерес к свойствам и закономерностям, присущим миру неживой природы, все более уступает место быстро растущему интересу к свойствам и закономерностям, отличающим мир живых существ, включая человечество. Особенно актуальными становятся исследования алгоритмов процессов, происходящих в мозгу человека и животного, связанных с регуляцией физиологических функций и мотивацией поведения. Многие работы посвящены изучению возможности переноса эффективных решений, реализованных у рыб, животных и птиц, в технические системы, поиску путей воспроизведения процессов, характерных для творческого мышления, в компьютерных технологиях.

В метрологии, которую можно трактовать как науку о методах и средствах познания, этот процесс не мог не отразиться. Метрологическая прослеживаемость результатов измерений, необходимая для их признания в мире, требуется не только при физических измерениях. Именно по этой причине законы метрологии постепенно становятся основой измерений в химии, в медицине, психологии, социологии, экономике, искусствознании и т.д. Естественно, что все это приводит к развитию метрологии, эволюции ее терминологии и методологии, к «переводу» на язык метрологии, (а при необходимости, - и к переработке) правил выполнения измерений,

принятых в областях знаний, только осваиваемых метрологией. К числу вопросов, касающихся измерения нефизических величин, нуждающихся в методической разработке в «новых главах» метрологии и в выпуске сопутствующих нормативных документов, следует, в первую очередь, отнести:

- методы построения моделей измерения многопараметрических величин (именно такие величины характеризуют здоровье и способности человека, процессы его развития, свойства и эволюцию общества и т.д.);
- методы измерения величин, на оценку которых может влиять состояние исследуемого объекта (субъекта) – настроение, отношение к эксперименту, здоровье и т.д.;
- методы обеспечения метрологической прослеживаемости количественных оценок многопараметрических величин, полученных по результатам экспертных оценок и выборочных опросов.

2. Пример разработки модели измерений

Новизну метрологических задач, возникающих при измерении свойств мира живых существ, можно иллюстрировать на опыте, полученном авторами при проведении нейрофизиологических исследований, направленных на измерение эмоций, которые возникают при прослушивании определенного музыкального фрагмента. Но выводы из этого опыта могут быть отнесены к измерению нефизических величин и из других областей знаний.

Термин «величина» определен в Междуна-

родном словаре по метрологии [1] как «свойство явления, тела или вещества, которое может быть выражено количественно в виде числа с указанием отличительного признака как основы для сравнения». Однако для многих свойств, характеризующие человека и общество, их проявления в ответ на некое воздействие разнообразны.

Например, рождение эмоции может быть замечено по изменению выражения лица или интонации речи, по выделению пота или напряжению мышц. Соответственно, в различных публикациях время формирования эмоции оценивают и в 0,2 – 0,3 сек, и в 3 сек. Даже реакции мозга на эмоционально значимое воздействие могут иметь различную форму и длительность. Одно и то же воздействие, например, аромат заплесневевшего сыра, может вызвать у людей из различных социо-культурных групп, устойчивую и существенно различающуюся реакцию.

Как следствие, при разработке метода количественной оценки рассматриваемого свойства измеряемая величина и идентифицирующий ее признак должны быть строго определены, а в методике эксперимента должны быть учтены факторы, оказывающие предсказуемое и неодинаковое влияние на результат у различных групп населения.

Далее, для этой величины должна быть построена модель измерения, она же, модель механизма формирования избранного проявления свойства на предполагаемое воздействие. Известный нейрофизиолог К.В.Анохин отметил [2], что для понимания механизмов работы мозга и выполняемых им функций необходим теоретический каркас, позволяющий осмыслить массив экспериментальных данных. Роль такого каркаса и выполняет модель измерения, причем не только при изучении мозга.

Обычно такая модель строится на основании ряда гипотез и расчетов, корректируется и уточняется по результатам ее экспериментального исследования.

Опыт разработки модели измерения эмоций, возникающих при слушании музыки, как пример создания модели измерения нефизической многопараметрической величины, авторы изложили на аналогичной конференции в 2014 г. [3]. (Позднее модель измерения эмоций была развита и дополнена [4, 5]). Далее рассматривается методика проведения ее экспериментальной проверки.

В качестве признака, идентифицирующего рождение эмоции, была определена реакция, которая – согласно принятой модели измерений, - должна регистрироваться на электроэнцефало-

грамме (ЭЭГ), приблизительно, через 0,2 с после эмоционально значимого звукового воздействия. Основные параметры этой реакции должны известным образом зависеть от сочетания звуков в трезвучии.

Следует подчеркнуть, что на ЭЭГ, кроме реакций на звуковые воздействия, фиксируются процессы, обусловленные физиологическими функциями, в частности, дыханием, а также какими-то ощущениями и мыслями, что создает помехи выявлению реакции. Для получения статистически достоверных результатов измерений в условиях помех методика должна предусматривать многократное повторение воздействия, а затем статистическую обработку полученного ряда значений измеряемой величины. Но здесь есть определенные ограничения.

3. Экспериментальные исследования

С целью подтверждения разработанной ранее модели измерений были начаты нейрофизиологические исследования. На первом ее этапе предусмотрено выявление на электроэнцефалограмме (ЭЭГ) предсказанных моделью реакций на воздействия простейших эмоционально окрашенных музыкальных элементов.

Как известно, произведения мажорных тоналностей в большинстве случаев слушатели определяют как бодрящие, в отличие от минорных, хотя встречаются и отклонения от этого правила, обусловленные спецификой артикуляции, агогики, тембра и т.д.

Лад, в принципе, можно идентифицировать при звучании аккордов базовых элементов тоналностей, соответственно, тонических терций и трезвучий, причем в последнем случае более уверенно. На этом основании в качестве звукового воздействия было решено использовать тонические трезвучия.

В [6, 7] путем расчетов было показано, что мажорный лад качественно отличается от минорного по характерным особенностям спектра нелинейно преобразованных музыкальных фрагментов. Иными словами, если тонические трезвучия подвергнуть нелинейному преобразованию, а затем отфильтровать компоненты в инфразвуковом и нижней части звукового диапазона частот (далее ИД), то, как оказалось, преобразованные мажорные трезвучия средней части звукоряда, в отличие от минорных, содержат ИД компоненты заметного уровня.

Задачей начальной стадии первого этапа исследований являлось доказательство предсказанного отличия воздействия на мозг мажорных и

минорных тонических трезвучий и проверка активации биоритмов мозга на частотах компонентов ИД, выявленных расчетом, или вблизи них.

Учитывая, что эмоциональная окраска тонических трезвучий выражена слабо, интенсивность реакции на них, по-видимому, также должна быть мала.

Поиск реакции мозга на определенное воздействие проводился в частотной и временной областях, предсказанных моделью.

Первые эксперименты предусматривали несколько серий повторяющихся воздействий, причем каждая серия отличалась по тональности и ладу тонического трезвучия, воспроизводимого в форме аккорда. Далее предполагалось усреднение результатов.

Чтобы избежать влияния специфики исполнения (различия в запаздывании и силе удара), аккорды были синтезированы с помощью компьютера из гармонических колебаний.

Результаты показали, что при изучении нейрофизиологических реакций на эмоционально значимые воздействия, такой подход не эффективен. Мозг всегда ищет новую информацию и быстро «теряет интерес» к тому, что уже известно. Ожидаемая (предсказанная моделью измерений) реакция в мозгу возникала после первого воздействия, практически отсутствовала после очередных, но иногда возникала в ответ на более позднее воздействие.

Для ослабления эффекта «потери новизны» восприятия, было предложено включать в одну серию различные воздействия, в частности, тонические трезвучия, воспроизводимые в неизвестном испытуемому квазислучайном порядке, а статистическую обработку проводить для реакций на воздействия одного вида. В серию воздействий были включены трезвучия мажор-

ных тональностей, для которых ИД компоненты существенно различаются: си бемоль мажор малой октавы (5 Гц), соль мажор первой октавы (8,45 Гц) и ре мажор второй октавы (12,65 Гц). Дополнительно включены колебания на частотах тоник, модулированные с индексами модуляции 0,1 и 0,7 по частоте или по амплитуде колебаниями 5; 8,45 либо 12,65 Гц. В качестве фона использованы трезвучия тональностей минора, параллельных мажорным тональностям, причем количество минорных аккордов существенно больше мажорных.

К сожалению, длительность эксперимента при этом увеличивается, вследствие чего внимание испытуемого может рассеиваться, отвлекаться на не связанные с экспериментом ощущения, мысли и т.д. Ожидаемый эффект напоминает «потерю новизны», но все же иной.

Воздействия, как и последующие паузы, длились по 2 с, фронты воздействий - по 0,1 с.

Для экспериментов приглашали людей молодых, посторонние шумы сводили к минимуму. Результаты показали, что чувствительность мозга к восприятию звучаний периодически изменяется, причем в области ее минимума падает активность большей части биоритмов. Не исключено, что этот эффект связан с выдохами и его позднее можно учесть в методике. Чувствительность нерегулярно меняется и по диапазону частот в связи с локальным возбуждением мозга, которое эпизодически возникает по сторонним причинам. Такое возбуждение способствует росту чувствительности в соответствующей области частот.

Реакции на ожидаемых частотах ИД компонентов (или в близлежащей зоне с повышенной чувствительностью) при соответствующем звучании любого типа, как правило, возникали (Рис. 1).

Дальнейшее развитие реакций отличалось:

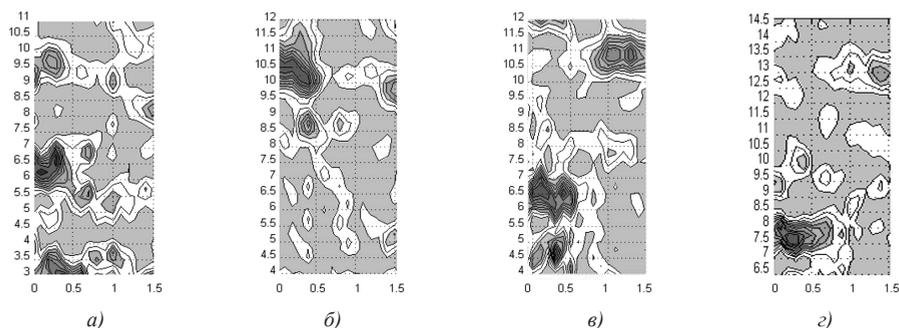


Рис. 1. Пример реакции мозга на предъявления трезвучий (ось x — время, с; ось y — частота, Гц)
Начало реакции — приблизительно, 0,5 с; задержка относительно начала аккорда — 0,2-0,3 с
а) си бемоль мажор - 5 Гц; б), в) соль мажор - 8,45 Гц; з) ре мажор - 12,65 Гц

иногда реакция гасла за доли секунды, иногда вливалась в другую – близкую по частоте, но более мощную, но всегда изменялась. Эта особенность заставляет уточнить определение простейшей эмоции как нейрофизио-логической реакции, рождающейся через 0,2 секунды после эмоционально значимого звукового воздействия, и продолжающейся 0,2 секунды (оба значения приблизительные), а дальнейшее ее развитие рассматривать как следствие многих факторов. Это уточнение открывает возможность для статистической обработки результатов нейрофизиологических исследований эмоций. Увеличить длительность возникающих эмоций, помогло бы, возможно, формирование серии воздействий, в которой была бы скрыта некая загадка, позволяющая сохранить чувство новизны при восприятии звучаний.

Результаты выполненных работ подтверждают обоснованность структуры первой ступени принятой модели, наличие в ней нелинейного преобразования и задержки, подчеркивают динамизм процессов рождения эмоций.

4. Заключение

Изложенный выше материал иллюстрирует особенности метрологических исследований, связанных с измерением многопараметрических нефизических величин, характеризующих, в частности, процессы, происходящие в мозгу человека и животного.

5. Благодарность

Работа поддержана грантом РГНФ 15-04-00565.

6. Литература

[1] *International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms, 3rd edn., 2008 version with minor corrections*, BIPM, JCGM 200, 2012.

[2] **К. В. Анохин**. Основания расширенной теории функциональных систем. 2-я Международная конференция “Современные проблемы системной регуляции физиологических функций”, Бодрум, Турция, 22-29 июня 2012, с. 5-6.

[3] **Р. Е. Тайманов, К. В. Сапожникова**. Новые грани метрологии, *Сборник докладов XXIII Национален Научен Симпозиум с международно участие «Метрология и метрологично*

осигуряване», 9-13 Септемвру 2014, Созопол, Болгария, с. 20-25.

[4] **R. Taymanov, K. Sapozhnikova**. Measurement of Multiparametric Quantities at Perception of Sensory Information by Living Creatures, *EPJ Web of Conferences*, 77, 00016, (2014). Available at: <http://dx.doi.org/10.1051/epjconf/20147700016>.

[5] **Y. Baksheeva, K. Sapozhnikova K., R. Taymanov**. Model for Emotion Measurements in Acoustic Signals and It's Analysis, *Advances in Mathematical and Computational Tools in Metrology and Testing X, Series on Advances in Mathematics for Applied Sciences*, vol. 86. World Scientific, Singapore, 2015, pp. 90-97.

[6] **R. Taymanov, K. Sapozhnikova K.** Improvement of Traceability of Widely-Defined Measurements in the Field of Humanities. *Measurement Science Review*, vol. 10 (3), (2010), pp. 78-88.

[7] **K. Sapozhnikova, R. Taymanov**, About a Measuring Model of Emotional Perception of Music. *Proceedings of the XVII IMEKO World Congress*, June 22-27, 2003, Dubrovnik, Croatia, pp. 2049-2053.

Сведения об авторах:

Роальд Евгеньевич Тайманов – рук. лаб. ВНИИМ, дейст. член Метрологической академии, член Международного комитета по измерениям СИМІ. Научный руководитель многих разработок для наукоемких отраслей промышленности. Области научных интересов - измерения неэлектрических величин, метрологический самоконтроль, а также измерения многопараметрических величин в гуманитарной сфере. Д-р Тайманов- автор около 290 статей, докладов и патентов.

Ксения Всеволодовна Сапожникова – зам. рук. лаб. ВНИИМ, член Международного комитета по измерениям СИМІ. Основные области научных интересов: измерения в тяжелых условиях эксплуатации, метрологический самоконтроль датчиков, измерения в гуманитарной сфере. Д-р Сапожникова – автор более 200 научных публикаций и патентов.

Юлия Витальевна Бакшеева – доцент ГУАП. Основные области научных интересов: компьютерное моделирование, исследования параметров сред с помощью ультразвука, метрологический самоконтроль датчиков, измерения в гуманитарной сфере. Д-р Бакшеева – автор более 30 научных публикаций и патентов.

METROLOGICAL ANALYSIS AS THE BASIS FOR SYSTEMIC NEUROPHYSIOLOGICAL INVESTIGATION

Ronald Taymanov¹⁾, **Kseniia Sapozhnikova**²⁾, **Yulia Baksheeva**³⁾

¹⁾²⁾ D.I.Mendeleyev Institute for Metrology, 190005 St.Petersburg, 19 Moskovsky pr.

¹⁾ taymanov@vniim.ru ²⁾ k.v.s@vniim.ru

³⁾ Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 190005 St.Petersburg, ul. Bol'shaja Morskaja, baksheeva@rambler.ru

Abstract: At present, development of the concept related to the algorithms of solutions which are made in the human or animal brain and concern physiological function regulation and behavior motivation, is actual. It is shown that the strict (in the context of metrology) definition of a multidimensional measurand, development of a measurement model and measurement procedure, as well as analysis of measurement results enable determination of the algorithms required. It is also possible to evaluate dynamic characteristics of their realization. Examples are given.

Keywords : multidimensional quantity, measurement model, measurement of emotions

References

[1] *International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms, 3rd edn., 2008 version with minor corrections*, BIPM, JCGM 200, 2012.

[2] **K. V. Anohin.** Osnovaniya rasshirenoy teorii funkcional'nyh sistem. 2-ja Meezhdunarodnaja konferencija "Sovremennye problemy sistemnoj reguljaccii fiziologicheskikh funkcij", Bodrum, Turcija, 22-29 ijunja 2012, s. 5-6.

[3] **R. E. Tajmanov, K. V. Sapozhnikova.** Novye granicy metrologii, *Sbornik dokladi XXIII Nacioanlen Nauchen Simpozium s mezhdunarodno uchastie «Metrologija i metrologichno osigurjavane»*, 9-13 Septemvru 2014, Sozopol, Bolgarija, s. 20-25.

[4] **R. Taymanov, K. Sapozhnikova.** Measurement of Multiparametric Quantities at Perception of Sensory Information by Living Creatures, *EPJ Web of*

Conferences, 77, 00016, (2014). Available at: <http://dx.doi.org/10.1051/epjconf/20147700016>.

[5] **Y.Baksheeva, K. Sapozhnikova K., R. Taymanov.** Model for Emotion Measurements in Acoustic Signals and It's Analysis, *Advances in Mathematical and Computational Tools in Metrology and Testing X, Series on Advances in Mathematics for Applied Sciences*, vol. 86. World Scientific, Singapore, 2015, pp. 90-97.

[6] **R. Taymanov, K. Sapozhnikova.** Improvement of Traceability of Widely-Defined Measurements in the Field of Humanities. *Measurement Science Review*, vol. 10 (3), (2010), pp. 78-88.

[7] **K. Sapozhnikova, R. Taymanov.** About a Measuring Model of Emotional Perception of Music. *Proceedings of the XVII IMEKO World Congress*, June 22-27, 2003, Dubrovnik, Croatia, pp. 2049-2053.

МЕТРОЛОГИЧНИЯТ АНАЛИЗ КАТО ОСНОВА НА СИСТЕМНО НЕВРОФИЗИОЛОГИЧНО ИЗСЛЕДВАНЕ

Ксения Сапожникова¹⁾, Роальд Тайманов²⁾, Юлия Бакшеева³⁾

^{1) 2)} ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, 190005 Санкт-Петербург, Московский пр., 19

¹⁾ *k.v.s@vniim.ru*, ²⁾ *taimanov@vniim.ru*

³⁾ Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
190000 Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 67

baksheeva@rambler.ru

Резюме: В доклада се отбелязва актуалността на разработването на представата за алгоритми на решения, вземани в мозъка на човека и животните, свързани с регулирането на физиологичните функции и мотивацията за поведението. Показва се, как метрологично строгото определяне на измерваната многопараметрична величина, разработването на модел и на методика за неговите измервания, а след това и анализ на резултатите от измерванията ни позволяват да се определят необходимите алгоритми и да се оценят динамичните характеристики на тяхната реализация. Привеждат се примери.

Ключови думи: многопараметрична величина, модел на измерванията, измерване на емоциите.