

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕДИЦИНСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ: СТРУКТУРИРУЕМОСТЬ, НАБЛЮДАЕМОСТЬ, ИЗМЕРЯЕМОСТЬ И УПРАВЛЯЕМОСТЬ

Муха Ю.П.¹, Авдеюк О. А.¹

¹ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Россия (400005, г. Волгоград, Проспект Ленина, 28), e-mail: oxal2@mail.ru.

Рассматриваются теоретические и практические вопросы создания биотехнических инструментальных средств. Сформулирован биоинструментальный подход к созданию информационно-измерительных систем медицинского назначения. Дано определение биомедицинских измерений. Показано, что проблема биомедицинских измерений сопряжена с решением последовательных задач, которые можно назвать в следующем порядке: задача структурирования, задача наблюдаемости, задача измеряемости, задача управляемости. Указано, что БТИВС – это всегда специализированное измерительное средство, позволяющее подстраивать его под объект измерения. Наиболее полно такой процесс измерения представляется с помощью категории интегральных измерений. Сделан вывод, что процесс исследования состояния биообъекта – это специализированный экспериментальный процесс, структуру которого можно представить в общем случае в соответствии с четверкой «структурируемость—наблюдаемость—измеряемость—управляемость».

Ключевые слова: биотехнические информационно-измерительные системы, биомедицинские измерения.

MODERN PROBLEMS OF MEDICAL MEASUREMENTS: STRUCTURED, OBSERVABLE, MEASURABLE AND CONTROL

Mukha Y.P.¹, Avdeuk O.A.¹

¹"Volgograd State Technical University", Volgograd, Russia (400005, Volgograd, Lenin Avenue, 28), e-mail: oxal2@mail.ru

The article discusses the theoretical and practical issues of creating biotechnical tools. Bioinstrumentalny formulated approach to the creation of information-measuring B-tems for medical purposes. The definition of biomedical measurements. It is shown that the problem of biomedical measurement involves the solution of sequential tasks that can be called in the following order: the task of structuring the problem of observability, measurability problem, the problem of handling. Stated that BTIVS - it's always special measuring tool, make it possible to adjust it, those reflected by the measurement object. The most complete such a measurement process is presented, using the category of integral measurements. It is concluded that the process of studying the state of the bioobject - a specialized experimental process, whose structure can be represented, in general, in accordance with the four «structured- - observable - measurability-controllability».

Keywords: biotechnical information-measuring of system, biomedical measurements.

Биотехнические системы (БТС), такие, какими их определил Ахутин В.М. [1], давно и прочно заняли свое место среди всех известных научно-технических направлений, связанных с созданием инструментальных средств, обеспечивающих любые технологии, участником которых является человек. Это относится в полной мере и к медицинским технологиям.

В настоящее время существует обширная публикационная база, в которой содержатся сведения о теоретических и практических результатах создания биотехнических инструментальных средств. При этом многие авторы отмечают, что биообъекты, являющиеся частью биотехнической системы и служащие либо источником измерительной информации, либо элементом, подвергающимся целевому воздействию, приносят ряд методических трудностей. В основном эти трудности связаны с подключением измерительных преобразователей к

биообъекту, что в большинстве случаев изменяет параметры объектов и приводит к появлению систематических погрешностей измерений. Сюда же следует отнести и трудности формирования эталонов для измерений. Поэтому совершенствование инструментальных средств и технологий с их использованием является, несомненно, актуальным. Таким образом, названное совершенствование измерительно-вычислительных комплексов (ИВК), безусловно, следует считать целью их дальнейшего развития в рамках решения задач по разработке методов единого подхода к анализу биологической и технической подсистем, образующих БТС типа ИВК, и синтезу на основе этого подхода специализированных биоинструментальных измерительных систем (БИИС).

В этом случае биообъект входит в состав БИИС в качестве биологической преобразующей подсистемы. При этом новым с теоретической точки зрения является синтез математической модели биопреобразующей подсистемы в терминах информационно-измерительных систем, что позволяет оценивать БИИС с единых позиций измерительной техники и снять ряд проблем чисто биотехнического подхода к созданию ИВК.

Профессор Ахутин В.М. [2] так определил биотехническую систему (БТС), которая в данном случае является предметной областью: «Биотехническая система представляет собой совокупность биологических и технических элементов, объединенных в единую функциональную систему целенаправленного поведения». При этом в рамках разнообразных вариантов создания и использования БТС выделяется класс биотехнических измерительно-вычислительных систем (БТИВС) [9]. В [9] отмечается, что среди возможных задач, которые решаются с помощью БТИВС, есть задачи:

- 1) апостериорного анализа и представления медико-биологических данных в виде синтезированных сюжетных изображений, т.е. физических полей, которые непосредственно воздействуют на биологический объект (например, оптических, акустических, механических и иных полей, на которые у биообъекта есть сенсорные системы). Очевидно, что сюжетное изображение при этом есть совокупность данных, связанных с состоянием биообъекта;
- 2) системного диагностирования и коррекции отклонений от нормы для некоторых функциональных систем организма;
- 3) тестирования и стимулирования, позволяющие изучать, тренировать и стимулировать интеллектуальные особенности человека.

Таким образом, биомедицинские измерения – это процесс, осуществляемый с помощью биотехнических элементов в рамках единой функциональной системы для решения задач апостериорного анализа, системного диагностирования, тестирования или стимулирования интеллектуальных особенностей человека.

В то же время в соответствии с ГОСТ 16263-70 [5] измерение – это нахождение значений физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств. В соответствии с этим определением можно выделить четыре признака этого понятия [8].

1. Измерить можно только физические величины (т.е. свойства материальных объектов, явлений или процессов).
2. Измерение – это оценивание величины опытным путем, т.е. это всегда эксперимент.
3. Измерение осуществляется с помощью специальных технических средств – носителей размеров единиц или шкал, называемых средствами измерений.
4. Измерение – это определение значения величины. Следовательно, измерение – это сопоставление величины с ее единицей или шкалой.

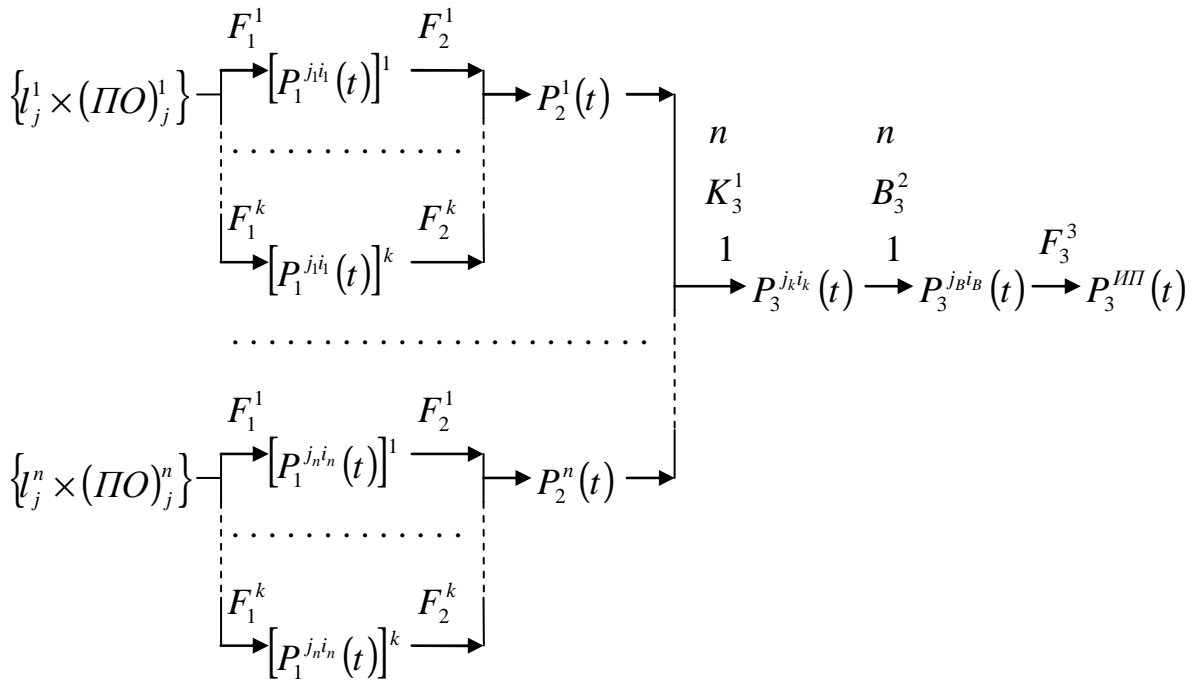
Таким образом, ИИС – это измерительное средство, которое реализует процесс измерения и его (средства) функционирование должно обеспечивать деятельность в соответствии с описанными признаками процесса измерения.

В связи с приведенными соображениями [9] с помощью БТИВС должны выполняться измерения с последующей обработкой экспериментальных данных. Однако следует обратить внимание на особенности медицинских измерений [9], которые связаны с использованием «сюжетных изображений» (т.е. содержащих информацию) как основного вида воздействия на человека, на которое возникает его реакция. Это обстоятельство определяет, что БТИВС – это всегда специализированное измерительное средство, позволяющее подстраивать его под объект измерения. Наиболее полно такой процесс измерения представляется с помощью категории интегральных измерений, представленной в [6].

В формуле (1.1) приняты следующие обозначения:

PO_i – i -й параметр объекта наблюдения, несущий измерительную информацию;

$I_j (I_j \in L)$ – это мера измерительной информации, существующая на множестве мер $\{L\}$, которое в модельном (математическом) смысле понимается как множество, определяющее существование операции интегрирования на подмножествах, адекватных PO_i , обеспечивающих сходимость процесса измерения, а в физическом смысле соответствует физической размерности, т.е. позволяет сформировать шкалу измерений;



$$(1.1)$$

$F_1^i(t)$ – i -е отображение на начальном этапе множества параметров объекта, переводящее измеряемый параметр в форму, удобную для дальнейших отображений с целью измерений;

$P_1^{j_i i_m}(t)$ – множество результатов начального отображения в рамках j_m -го измерительного эксперимента по i_m -му информативному параметру;

$F_2^j(t)$ – j -е отображение на промежуточном этапе множества параметров объекта, осуществляемых одновременно или в некоторой последовательности, что дает возможность анализировать измерительный процесс по структуре косвенных измерений;

$P_2^m(t)$ – множество результатов промежуточных отображений;

$F_3 \subseteq K_3^1 \cup B_3^2 \cup K_3^3$ – выходное отображение, реализующее эталонирование измеряемого параметра, формирование цифрового представления и масштабирование в виде шкального изображения по требуемой форме (документ, видеоизображение и т.д.);

K_3^1 – подоператор оператора F_3 ($K_3^1 \subset F_3$), осуществляющий коммутирование подмножеств $P_2^{j_i i_m}(t)$ ($P_2^{j_i i_m}(t) \subset P_2^m(t)$), число переключений определяется содержанием оператора K_3^1 , поэтому индексы j и i ($P_3^{j_k i_k}(t)$) получили нумерацию k ;

B_3^2 – подоператор оператора $F_3 (B_3^2 \subset F_3)$, осуществляющий аналитические или численные отображения подмножеств $P_2^{j_k i_k}(t)$; число отображений определяется содержанием оператора B_3^2 , поэтому j и i получили индексы B ;

F_3^3 – подоператор оператора $F_3 (F_3^3 \subset F_3)$, осуществляющий отображение подмножеств $P_2^{j_B i_B}(t)$, во множество индикации интегрального параметра;

$P_3(t)$ – множество результатов конечного (шкального) отображения.

В соответствии с измерительной категорией (1.1) интегральный результат измерений в форме множества $\{P_3(t)\}$ есть системный параметр, отражающий функционирование некоторой системы через соотношение

$$S: \text{Hom}([U\{e_j^m \times (ПО)_i^m\}]_{m=1,n}, P_3^{kn}(t)), \quad (1.2)$$

здесь $\text{Hom}(\cdot)$ – системная категория, адекватная измерительной категории (1). В соответствии с этой категорией множество $[U\{e_j^m \times (ПО)_i^m\}]_{m=1,n}$ – есть структурное параметрическое представление наблюдаемого объекта. При этом очевидно, что не все параметры $(ПО)_i^m$ могут быть «видны», т.е. подвергнутые измерительным преобразованиям и управляющим воздействиям с целью заполнения всей области существования системы S , а, значит, всей области возможных состояний системы (например, организма человека).

Таким образом, проблема биомедицинских измерений сопряжена с решением последовательных задач, которые можно назвать в следующем порядке: задача структурирования, задача наблюдаемости, задача измеряемости, задача управляемости.

Существует очень большое число определений структуры. Остановимся на том, что структура – это совокупность некоторых функциональных элементов и связей между ними. В этом случае функция структуры в целом полностью определяется набором функциональных элементов и их взаимосвязями. Тогда структурируемость – это возможность определения в системе множества функциональных элементов и назначения отношений между ними таким образом, что внешняя функция системы остается неизменной, т.е. независимой от выбора множеств элементов и связей между ними. Очевидно, что выбор системного параметра существенно определяется эффективной процедурой назначения структуры. В связи с этим под наблюдаемостью понимается возможность выделения в многокомпонентной системе

многовязного типа некоторых фундаментальных параметров, т.е. параметров, входящих во все отображения входных величин в выходные. Таким образом, если подобное условие не выполняется, то система становится не полностью наблюдаемой по отношению к выделенной совокупности фундаментальных параметров. Так как структурируемость многокомпонентной многовязной системы решает задачу выбора системного параметра, то наблюдаемость обращается в критерий подбора системного параметра и, значит, позволяет корректировать, направлять процесс структурируемости в рамках своеобразной обратной связи.

Выбор системного параметра при решении задачи структуризации, скорректированный на этапе решения задачи наблюдаемости создает базу для решения задачи измеряемости, т.е. задачи выбора системы эталонов для (измеряемых) системного параметра (чаще всего вектора) и совокупности алгоритмов обработки измерительной информации, позволяющих осуществить процесс метрологического анализа и выполнить оценку достоверности полученных результатов измерений.

Наконец, измерительный процесс должен отличаться управляемостью. В [4] приводится такое определение управляемости: если система характеризуется некоторым состоянием, представляемым положением изображающей точки в пространстве состояний, то под управляемостью понимается возможность перевода изображающей точки из любой области пространства состояний в начало координат. Другими словами, задача управляемости является базой для проведения измерительных испытаний, измерительного эксперимента, для создания измерительной экспериментальной установки.

Таким образом, процесс исследования состояния биообъекта – это специализированный экспериментальный процесс, структуру которого можно представить, в общем случае, в соответствии с четверкой «структурируемость—наблюдаемость—измеряемость—управляемость».

Список литературы

1. Ахутин В.М. Биотехнические аспекты синтеза биотехнических систем.– М.: Кибернетика. – 1976. – № 4. – С.3–26.
2. Ахутин В.М. Биотехнические системы: теория и проектирование: Учебное пособие/ В.М. Ахутин, А.П. Немирко, Н.Н. Першин, А.В. Пожаров, Е.П. Попечителей, С.В. Романов. – ГОУ ОГУ, 2008. – 204 с.
3. Акулов Л.Г. Муха Ю.П., Наумов В.Ю. Модели ядра биоинструментальных измерительных каналов в электрофизиологии // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2013. № 4. С. 39–47.

4. Бессекерский В.А. Теория автоматического регулирования / В.А. Бессекерский, Е.П. Попов.—М.: Наука, 1975.— 768 с.
5. ГОСТ 16263-10. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Термины и определения. – М.: изд-во Стандартов, 1972. – 52 с.
6. Муха Ю.П., Авдеюк О.А., Королева И.Ю. Алгебраическая теория синтеза сложных систем. Волгоград: РПК «Политехник», 2003. – 280 с.
7. Муха Ю.П. Принцип системной организации эксперимента для исследования динамики функциональных систем в биологии и медицине / Ю. П. Муха, Л. Г. Акулов, В. Ю. Наумов//Биомедицинская радиоэлектроника. 2010. № 6. — С. 43–52.
8. Баевский Р.М. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения / Р.М. Баевский, Г.Г. Иванов.— М.: Медицина, 2000. – 320 с.
9. Попечителей Е.П. Человек в биотехнической системе: учебное пособие.— СПб: изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2006. – 158 с.
10. Фридман А.Э. Основы метрологии. Современный курс. – СПб.: НПО «Профессионал», 2008. – 284 с.

Рецензенты:

Мелентьев В.С., д.т.н., профессор, заведующему кафедрой информационно-измерительной техники ФГБОУ ВПО «Самарский государственный технический университет» Министерства образования и науки РФ, г. Самара;

Нестеров В.Н., д.т.н., профессор, заместитель генерального директора — начальник НТЦ Самарского электромеханического завода, г. Самара.