

УДК 681.3

ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К СИНТЕЗУ И АНАЛИЗУ БИОИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Муха Ю.П., Авдеюк О.А.

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»,
Волгоград, e-mail: oxal2@mail.ru

В настоящей статье сформулирован биоинструментальный подход к созданию информационно-измерительных систем медицинского назначения. Указано, что процесс исследования состояния биообъекта – это специализированный экспериментальный процесс. Отмечено, что биоинструментальная информационно-измерительная система должна способствовать получению врачом достаточно полной и корректной информации для синтеза концептуальной модели состояния пациента и выбора метода лечения и лекарственных средств. Только при этом условии возможно построение достоверной модели пространства состояния и состава диагностических признаков; создание алгоритмов обработки информации в биотехнических измерительно-вычислительных системах и анализа конкретных состояний. Сделан вывод, что решение задач анализа и синтеза биотехнических систем требует чрезвычайно специфических, принципиально новых подходов.

Ключевые слова: биотехнические системы, биообъект, информационно-измерительная система

GENERAL APPROACHES TO THE SYNTHESIS AND ANALYSIS OF BIOINSTRUMENTATION INFORMATION-MEASURING SYSTEMS

Mukha Yu.P., Avdeyuk O.A.

Volgograd State Technical University, Volgograd, e-mail: oxal2@mail.ru

In this article formulated bioinstrumentation approach to creation of information-measuring systems for medical purposes. Indicated that the process of research of a condition of a biological object is a specialized experimental process. It is noted that bioinstrumentation information-measuring system should contribute to obtain a doctor fairly complete and accurate information for synthesizing the conceptual model of the patient's condition and choice of treatment and medicines. Only under this condition it is possible to construct a reliable model of the state space and the composition of diagnostic features; creation of algorithms of information processing in biotechnical measuring – computing systems and analysis of specific conditions. It is concluded that for the solution of problems of analysis and synthesis of bioengineering systems requires extremely specific, fundamentally new approaches.

Keywords: biotechnical system, biological object, information-measuring system

Процесс исследования состояния биообъекта – это специализированный экспериментальный процесс. Как было указано в [3–6], проблема биомедицинских измерений сопряжена с решением последовательных задач, которые можно назвать в следующем порядке: задача структурирования, задача наблюдаемости, задача измеряемости, задача управляемости. Под структурируемостью понимают 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. Под наблюдаемостью понимается возможность выделения в многокомпонентной системе многосвязного типа некоторых фундаментальных параметров, т.е. параметров, входящих во все отображения входных величин в выходные. Под измеряемостью понимаются

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. Задача управляемости является базой для проведения измерительных испытаний, измерительного эксперимента, для создания измерительной экспериментальной установки. В общем случае, в соответствии с четверкой «структурируемость – наблюдаемость – измеряемость – управляемость», структуру экспериментального процесса можно представить следующим образом:

В [1, 2] приведена блок-схема оперативного врачебного контроля, которая является интерпретацией медицинского эксперимента с помощью биотехнической системы (БТС). Она имеет следующий вид, изображенный на рис. 2.

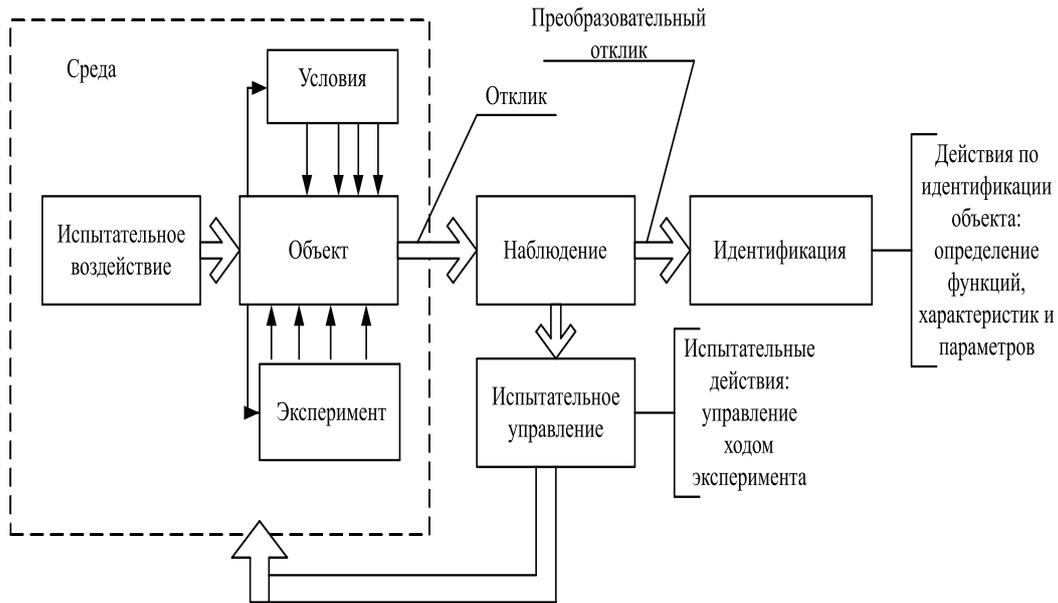


Рис. 1. Структура эксперимента

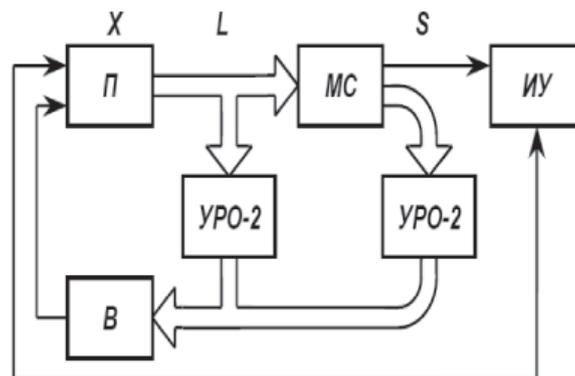


Рис. 2. Блок-схема БТС оперативного врачебного контроля:
 MC – мониторинговая система; П – «пациент» (биообъект); УРО-1, УРО-2 – устройства регистрации и отображения физиологических процессов и результатов обработки измерительной информации соответственно; ИУ – исполнительное устройство в контуре управления экспериментом; В – врач (специалист-наблюдатель)

При этом через $X = \{x_i\}_{i=1, \overline{N_x}}$ обозначается множество состояний пациента, которое считается конечным, достигаемых пациентом или в естественном (начальном) состоянии ($i = 1$), или под воздействием врача, реализующим $F = \{f_j\}_{j=1, \overline{N_y}}$ – множество управляющих воздействий на некотором временном интервале. В этом случае $L = \{f_{ji}(x_i)\}$ – множество физиологических процессов на временном интервале наблюдения Δt , вызванных управляющими воздействиями врача на пациента, возникающих при реакции пациента при смене состояний $\{x_i\}$, а $S = \{S_n\}_{n=1, \overline{N_n}}$ – множество

состояний объекта, представляемых средствами MC. Если L достаточно полно характеризует множество состояний пациента X , т.е. всегда существует отображение $L: x_i \xrightarrow{f_{ij}} x_j$, то «задача синтеза идеальной медицинской системы (MC) сводится к построению такого алгоритма обработки множества L , соответствующего некоторому отображению $L \rightarrow S$, которое обеспечивает взаимную однозначность отображения $S \rightarrow F$. Выбор воздействия f_j при данном x_i определяется оптимальным планом лечения, который составляется врачом на основании его знания реакции пациента на f_j и цели приведения в заданное подмножество состояний $X' \subset X$, называемых нормальными».

Отмечая высокий уровень сложности описания элементов X, Y (Y – подмножество воздействий F : $Y \subset F$, состоящее из элементов $y_j \in Y$, определяющихся в соответствии с выбором оптимального плана лечения) и S и степень трудности представления алгоритмов обработки, реализуемых в МС, авторы [1, 2] обосновывают отказ от изучения поведения пациента в L^n фазовом пространстве и переход к порождающим грамматиком G в $L(G)$: «объект при этом описывается цепочкой символов, каждый из которых может соответствовать некоторому медицинскому понятию. Учет иерархической соподчиненности и логической значимости между признаками, описывающими состояние больного, приводит к синтезу списковых грамматик, посредством которых объект описывается сложным списком».

В этих условиях авторы [1, 2] полагают, что рассмотрение МС как биотехнической системы (БТС) связано с определением следующей совокупности шагов при синтезе МС: формирование множества $Y' = \{y'_j\}$, составление множества S , синтез функций $Q(S'_m) = F[Q(S_1), Q(S_2), \dots, Q(S_n)]$, определяющих алгебра-логическое представление условий выбора элементов множества $S' \subset S$ в соответствии с S_1, S_2, \dots, S_n – классами патологических состояний организма при обработке на МС. Далее осуществляется проверка взаимной однозначности отображения $f'_2: S' \rightarrow Y'$, и, наконец, синтезируются алгоритмы обработки для получения множества S с учетом вариабельности индивидуальных данных.

Таким образом, очевидно, что решение задач анализа и синтеза БТС требует чрезвычайно специфических, принципиально новых подходов. Действительно, биологические параметры БТС не детерминированы и исключают возможность исследования их методом «черного ящика»; нелинейны и многосвязны, что затрудняет организацию и проведение экспериментов, обладающих высокой достоверностью; осложняет синтез структуры функциональных моделей живого организма.

В [1, 2] авторы предложили метод поэтапного моделирования биологического объекта как к ограниченно-детерминированному при условии стабилизации процессов во внешней среде. Ясно, что метод не является всеобщим, но позволяет решать конкретные задачи. Он предусматривает поэтапный переход от смешанной биотехнической модели к математической модели БТС за счет накопления экспериментальных данных биообъекта. Несмотря на то, что в каждом конкретном случае модель мо-

дифицируется, можно выделить некоторые этапы, которые каждый раз повторяются. Они состоят в следующем.

Подготовительный этап (этап I)

В рамках этого этапа «разрабатывается структурно-функциональная схема БТС, конкретизируется ее целевая функция и возможные режимы работы. Определяется биологический объект и предварительный алгоритм его функционирования в БТС. На основании априорных данных создается модель БТС с математической моделью биологического элемента».

Управленческое согласование характеристик элементов БТС (этап II)

«Осуществляются итерационные процедуры согласования характеристик элементов БТС в едином контуре управления». В этом случае осуществляется моделирование на ЭВМ всех технических элементов, все воздействующие внешние факторы, и используется модель биологического звена. За счет комплексного исследования БТС осуществляется оптимизирующий подбор характеристик технических звеньев, что позволяет определить комплекс характеристик-требований для биологического звена при условии нормального функционирования БТС в заданном диапазоне режимов.

Информационное согласование (этап III)

«Исследуются информационные процессы, обеспечивающие соблюдение принципов адекватности и идентификации информационной среды». Для БТС с человеком-оператором в качестве управляющего звена на этом этапе осуществляется исследование возможностей минимизации входной осведомительной информации, создание методов ее преобразования и представления для формирования концептуальной модели, на основании которой можно сформировать правильное решение. Выполняются статистические испытания на откорректированной модели. Уточняются решающие правила о состоянии биологического объекта. Разрабатываются требования к согласующим устройствам связи между технической и биологической частями БТС.

Заключительный этап (этап IV)

«Проводится исследование БТС в полунатурных (модельных) и натуральных условиях». На основе обработки экспериментальных данных совершается окончательная корректировка математической модели. Формируется техническое задание на создание БТС.

Структурная схема [1, 2] современных диагностических медицинских и исследовательских БТС может быть представлена следующим образом (рис. 3).

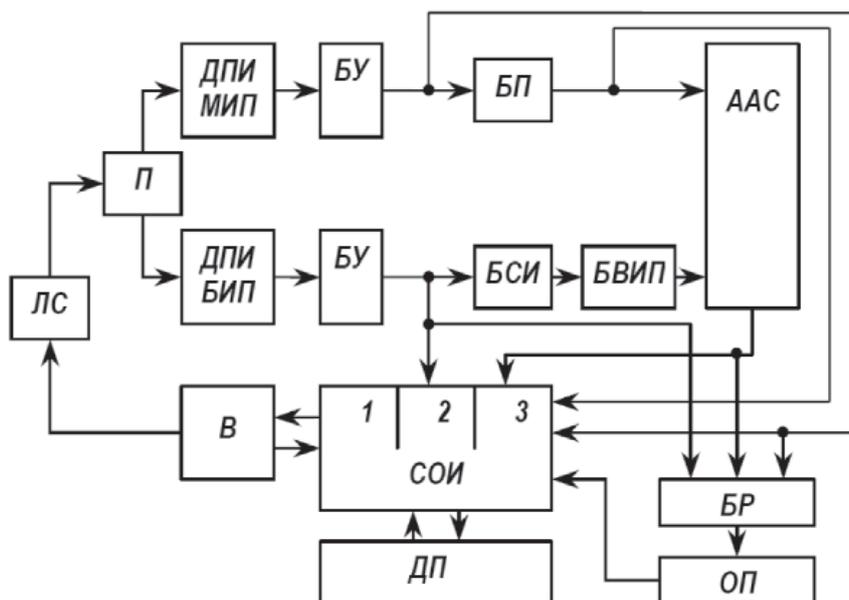


Рис. 3. Структурная схема измерительно-информационной БТС-М.

Здесь приняты следующие обозначения:

- ДПИ МИП – датчики-преобразователи информации медленно изменяющихся процессов;
 БУ – блок усиления; БП – блок преобразования; ААС – автоматический анализатор состояния;
 БР – блок регистрации; СОИ – система отображения информации;
 БСИ – блок сжатия информации; БВИП – блок выделения информативных признаков;
 П – пациент; В – врач; ДП – блок долговременной памяти; ОП – блок оперативной памяти;
 ДПИБИП – датчики-преобразователи информации быстроизменяющихся процессов;
 ЛС – лекарственные средства

Блок-схема медицинской информационно-измерительной и управляющей медицинской биотехнической системы, представленная на рис. 3, – это типичная схема. Она используется при разработке систем для решения многих прикладных задач, связанных с поддержанием работоспособности человека-оператора в сложных экстремальных условиях; с осуществлением стимуляции отдельных физиологических систем или органов для устранения различной патологии в их деятельности; с компенсацией вредных воздействий внешней среды; с использованием технических устройств в рамках систем временного замещения функций физиологических систем организма.

Таким образом, биоинструментальная информационно-измерительная система должна способствовать получению врачом достаточно полной и корректной информации для синтеза концептуальной модели состояния пациента и выбора метода лечения и лекарственных средств. Только при этом условии возможно построение достоверной модели пространства состояния и состава диагностических признаков; создание алгоритмов обработки информации в биотехнических измерительно-вычислительных системах и анализа конкретных состояний.

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. Биоинструментальные информационно-измерительные системы: монография / Ю.П. Муха, О.А. Авдеюк, Л.Г. Акулов, А.В. Бугров, В.Ю. Наумов, В.М. Мухин; под ред. Ю.П. Мухи.– М.: Радиотехника, 2015. – 309 с.
4. Муха Ю.П. Современные проблемы медицинских измерений: структурируемость, наблюдаемость, измеримость и управляемость [Электронный ресурс] / Ю.П. Муха, О.А. Авдеюк // Современные проблемы науки и образования: электрон. науч. журнал / РАЕ. – 2015. – № 1. – С. 1–7.
5. Муха Ю.П. Алгебраическая теория синтеза сложных систем: монография / Ю.П. Муха, О.А. Авдеюк, И.Ю. Королева; ВолгГТУ. – Волгоград: РПК «Политехник», 2003. – 320 с.
6. Муха Ю.П. Информационно-измерительные системы с адаптивными преобразованиями. Управление гибкостью функционирования: монография / Ю.П. Муха, О.А. Авдеюк, И.Ю. Королева; ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – 303 с.
7. Муха Ю.П. Общий подход к биомедицинским измерениям / Ю.П. Муха, О.А. Авдеюк // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий (ИНФО-2015): матер. XII междунар. науч.-практ. конф. (г. Сочи, 1–10 окт. 2015 г.) / НИУ ВШЭ [и др.]. – М., 2015. – С. 118–119.