

Структурная модель адаптационных контуров биоинструментальной информационно-измерительной системы

В.Ю. Наумов¹, Ю.П. Муха¹, О.А. Авдеюк¹, В.П. Шевчук², Д.Н. Авдеюк¹

¹Волгоградский государственный технический университет, Волгоград
²ВПИ(филиал) Волгоградского государственного технического университета,
г. Волжский Волгоградской области

Аннотация: В статье рассматривается вопрос построения аналитической модели при оценке функционального состояния человека. Указано, что для сложных измерительных задач целесообразно использовать принципы построения измерительных систем, сформулированные в терминах системных функций с использованием фрактально-категориального подхода; методика применима при проектировании и анализе сложных медицинских комплексов, а полученная в результате системная функция сложного медицинского комплекса является основой для дальнейшего анализа в рамках выбранного метода; структурно-аналитический метод построения сложных систем дает возможность, анализируя требования и ограничения системы, оптимизировать функции передачи управляющих воздействий, строить на их основе блоки, части структуры и оптимизировать межблочные связи. Описанный в статье подход к процессу гематологического исследования позволяет анализировать адаптационный ответ гемопозитической системы организма на внешние воздействия различного характера и интенсивности.

Ключевые слова: структурно-аналитический метод, информационно-измерительная система, информационные потоки, гемопозитическая система, категорная диаграмма, функторы, адаптационный контур, биоинструментальная информационно-измерительная система, управляющий сигнал, измерения.

Введение. Построение аналитической модели при оценке функционального состояния человека без использования системного подхода является весьма громоздкой задачей, поскольку многоуровневые обратные связи имеют сложное аналитическое представление. Во многих работах по физиологии организм рассматривается как сложная динамическая система, взаимодействующая с внешней средой, поэтому необходимо изучение связи элементов внешней среды, биологического объекта и измерительной системы в рамках единого системного подхода. Исследование и построение измерительных систем в рамках такого направления является актуальным при изучении сложных биологических систем, поскольку устанавливает однозначную связь объекта и инструмента измерения, обеспечивает необходимую точность и достоверность при анализе и принятии решения.

Постановка задачи. Как показано в работах [1-3], для сложных измерительных задач целесообразно использовать принципы построения измерительных систем, сформулированные в терминах системных функций, т.е. в функциях состояния объектов системы, с использованием фрактально-категориального подхода. Такая методика применима при проектировании и анализе сложных медицинских комплексов, а полученная в результате системная функция сложного медицинского комплекса является основой для дальнейшего анализа в рамках выбранного метода.

Структурный метод построения сложных систем в соответствии с принципами, изложенными в [1-5], дает возможность, анализируя требования и ограничения системы, оптимизировать функции передачи управляющих воздействий, строить на их основе блоки, части структуры и оптимизировать межблочные связи. Таким образом, структурно-аналитическое уравнение - это аналитическая запись преобразования информационного потока под воздействием управляющих сигналов, записанная в соответствии с определенной ранее структурой метрологического анализа.

В данном случае рассматривается задача измерений параметров процесса кроветворения в человеческом организме. Ежечасно в крови здорового человека среднего возраста разрушаются, заканчивая свой жизненный цикл, и вновь образуются около 20 млрд. тромбоцитов, 10 млрд. эритроцитов и 5 млрд. лейкоцитов. В результате количество этих клеток в крови является постоянным, оно изменяется в зависимости от возраста, пола, конкретного места организма, из которого берется анализируемая биопроба, но в среднем остается в постоянном диапазоне, характеризующем нормальное состояние гемопоэтической системы организма, а, следовательно, можно говорить о множестве форменных элементов крови (МФЭК) кроветворной системы [6,7].

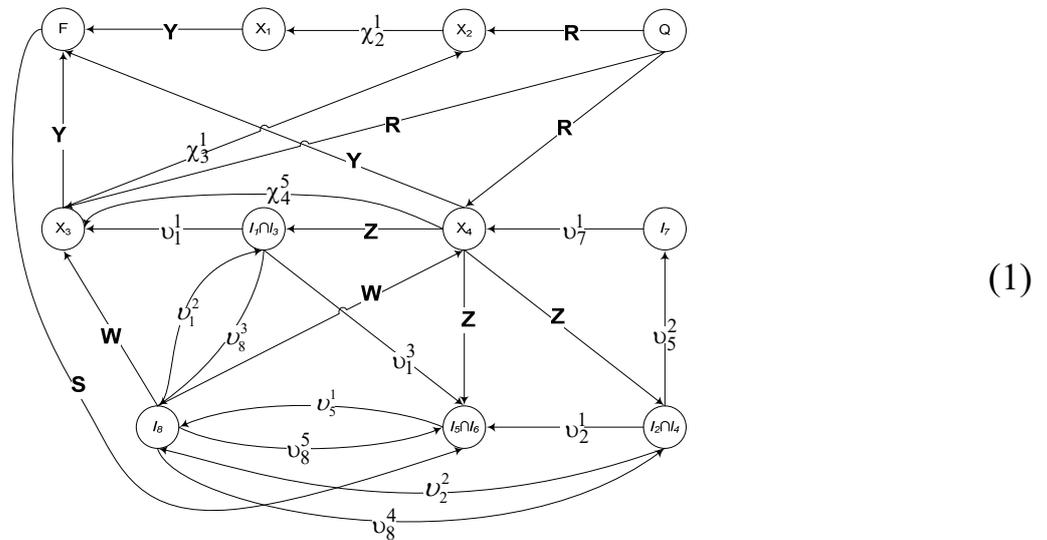
Процесс пролиферации полипотентной стволовой кроветворной клетки соответствует геномно-ядерному уровню управления X_1 , и связан с воспроизводством нужного количества форменных элементов крови в зависимости от поступающих управляющих воздействий. В ядре кроветворных клеток, в их геноме заложена программа развития, реализация которой приводит к образованию специфических клеток крови. С этим уровнем в конечном итоге связаны все остальные регуляторные механизмы.

Синтез структурной модели. Полученная в работе [8] структура информационных потоков представляет собой структурное описание состояния объекта измерений в произвольно заданный момент времени. Его функциональность определяется правилами его переходов из одного состояния в другое, заданных функторными и категорными отображениями. Таким образом, синтезированная структура делает анализ регуляции процесса кроветворения более полным и наглядным, а возможность декомпозиции позволяет исследователю проводить более детальное исследование, наглядно отображает процессы адаптации организма при внешних воздействиях и естественным образом поддается построению автоматизированных систем.

Взаимнооднозначное соответствие категорий и функторов реальным объектам и их отношениям определяет достоверность сопоставляемой модели.

Определим категорную диаграмму информационных потоков процесса управления кроветворной системой [9,10] как «навязанную» структуру информационно-измерительной системы диагностического профиля. То есть представим системный параметр, количество форменных элементов крови, в рамках формализованной структуры. Это обеспечит нам, с одной стороны, однозначное исследование заданных моделью свойств по исходному сигналу, а, с другой, детализацию модели объекта и переход к проектированию автоматизированной измерительной системы.

Представим внешнее воздействие, определяемое сочетанием конкретных элементов $Q^k = \{Q_1^k, Q_2^k, \dots, Q_m^k\} \in Q$ пространства внешних воздействий на организм, то есть, формируя элементы $Q_j^k = \{q_j^l\}$, мы задаем условия исследования. При этом в полном соответствии нормальной физиологии происходит активация адаптивного контура, диаграмма (1). Синтез категорной модели информационных потоков БИИС подробно описан нами ранее [2].



Список использованных обозначений: Q - пространство внешних воздействий, X - пространство уровней управления, I - пространство внутренней среды организма, F - множество форменных элементов крови, R , Y , Z , W , S - функторные отображения из категории в категорию; морфизмы между объектами категорий представлены стрелками с малыми греческими буквами, при этом нижний индекс морфизма указывает направление, с которого начинается информационный поток, верхний – обозначает порядковый номер информационного потока с объекта.

Адаптационный контур представляет собой интегральный уровень управления гомеопэтической системы организма, направленный на оптимальное поддержание метаболизма организма в целом. В ответ на внешнее воздействие включаются локальные и дистантные механизмы

регуляции категории X , позволяющие поддерживать МФЭК F в пределах, соответствующих норме.

Например, внешнее воздействие $Q^k = \{q_j^i\} \in Q$ может формироваться следующим образом: $Q^k = \{q_1^5, q_2^2, q_3^5, q_4^1, q_5^1, q_6^3, q_7^1\}$, где нижний индекс указывает множество ранее определенных значений, влияющих на организм человека, а верхний индекс указывает на конкретный объект этого множества, то есть в данном случае показатели внешнего воздействия могут быть такими: проводится исследование при комфортной для пациента температуре $q_1^5 = 22^\circ C \in Q_1$, нормальной геомагнитной обстановке $q_2^2 = \text{«норма»} \in Q_2$, во время физиологического баланса обоих отделов ВНС $q_3^5 = \text{«10»} \in Q_3$, в момент соответствия психоэмоционального состояния первому регламентированному типу $q_4^1 = \text{«1»} \in Q_4$ и при первой типовой нагрузке $q_5^1 = \text{«1»} \in Q_5$, возраст пациента и конституция организма определяются антропометрическими характеристиками и записываются: $q_6^3 = \text{«18»} \in Q_6$ и $q_7^1 = \text{«1»} \in Q_7$ соответственно.

Кроме того, возможно определить управляющее воздействие так, что одни из объектов $q_j^i \in Q$ представляют собой константы, в соответствии с задачей исследователя, а другие варьируются: $Q^k = \{q_j^i, q_l^i\} \in Q$, где $j \neq l$, j – номера варьируемых параметров, l – номера постоянных.

Заключение. Используя такой подход к процессу гематологического исследования, мы можем анализировать адаптационный ответ гомеостатической системы организма на внешние воздействия различного характера и интенсивности, рамках которого организм человека представляет собой биологическую часть биоинструментальной информационно-измерительной системы (БИИС), осуществляющую преобразование входной

информации, представленной внешним воздействием, в выходную информацию – состояние МФЭК, выраженного в количестве форменных элементов крови, которая непосредственно передается на вход инструментальной части системы – гематологического анализатора.

Литература

1. Муха Ю. П., Авдеюк О.А., Королева И.Ю. Алгебраическая теория синтеза сложных систем. Волгоград: ВолгГТУ, 2003. 320с.
 2. Муха Ю.П., Наумов В.Ю. Синтез категорной модели информационных потоков биоинструментальной ИИС при гематологических измерениях // Биомедицинская радиоэлектроника. 2010. № 6. С. 38 – 42.
 3. Baez J., Dolan J. Higher dimensional algebra and topological quantum field theory // Meth. Phys, 1995. V. 36. pp. 60-105.
 4. Акулов Л.Г., Будко Р.Ю., Вишневецкий В.Ю., Ледяева В.С. Структурное проектирование измерительных систем для исследования биопотенциалов// Инженерный вестник Дона, 2012, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1476.
 5. Муха Ю.П., Авдеюк О.А., Акулов Л.Г., Бугров А.В., Наумов В.Ю., Мухин В.М. Биоинструментальные информационно-измерительные системы. Москва: Радиотехника, 2015. 309 с.
 6. Судаков К.В. Общая теория функциональных систем . Москва: Медкнига, 1984. 224 с.
 7. Рябоконт А.С. Моделирование при разработке ультразвукового мобильного монитора скорости кровотока// Инженерный вестник Дона, 2012, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/907
 8. Наумов В.Ю., Муха Ю.П. Биоинструментальная измерительная система в гематологических исследованиях // Миллиметровые волны в биологии и медицине. 2010. № 4. С. 27 – 32.
-

9. Муха Ю.П., Королева И.Ю., Наумов В.Ю., Акулов Л.Г. Свойства фрактально-категорной модели динамической схемы физиологической функциональной системы // Биомедицинская радиоэлектроника. 2012. № 11. С. 61 – 65.
10. Schneppenheim R. Current aspects of diagnosis and treatment. 2008. 88 p.

References

1. Mukha Yu. P., Avdeyuk O.A., Koroleva I.YU. Algebraicheskaya teoriya sinteza slozhnyh system [An algebraic theory of synthesis of complex systems]. Volgograd: VolgGTU, 2003. 320 p.
 2. Mukha Yu.P., Naumov V.Yu. Biomedicinskaya radioelektronika (Rus). 2010. № 6. pp. 38 – 42.
 3. Baez J., Dolan J. Meth. Phys, 1995. V. 36. pp. 60-105.
 4. Akulov L.G., Budko R.YU., Vishneveckij V.YU., Ledyayeva V.S. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine /archive /n4p2y2012/1476](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1476)
 5. Mukha Yu.P., Avdeyuk O.A., Akulov L.G., Bugrov A.V., Naumov V.Yu., Muhin V.M. Bioinstrumental'nye informacionno-izmeritel'nye sistemy [Bioinstrumentation information-measuring system]. Moskva: Radiotekhnika, 2015. 309 p.
 6. Sudakov K.V. Obshchaya teoriya funkcional'nyh system [The General theory of functional systems]. Moskva: Medkniga, 1984. 224 p.
 7. Ryabokon' A.S. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №3 URL: [URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/907](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/907)
 8. Naumov V.Yu., Mukha Yu.P. Millimetrovye volny v biologii i medicine (Rus). 2010. № 4. pp. 27 – 32.
 9. Mukha Yu.P., Koroleva I.Yu., Naumov V.Yu., Akulov L.G. Biomedicinskaya radioelektronika (Rus). 2012. № 11. pp. 61 – 65.
 10. Schneppenheim R. Current aspects of diagnosis and treatment. 2008. 88 p.
-