

## Анализ структуры модели управления кроветворной функциональной системы организма

*В.Ю. Наумов, Ю.П. Муха, О.А. Авдеюк, И.В. Приходькова, Л.В. Дружинина*

*Волгоградский государственный технический университет, Волгоград*

**Аннотация:** В статье проведен детальный анализ структуры модели управления кроветворной функциональной системой организма в различных физиологических ситуациях, в которых активизируется деятельность определенного адаптивного контура, характеризующего функциональное состояние. Подробно рассмотрено первое состояние и включающийся в работу адаптационный подконтур функциональной кроветворной системы организма. Составлено структурное уравнение адаптации первого контура. Сделан вывод о том, что уравнение адаптации составлено для гипотетической модели управления адаптацией организма, в реализуемой модели возникает ряд несоответствий с гипотетической реализацией, связанных с отклонениями от идеальных параметров функционирования: вегетативной нервной системы, внутренней среды организма, метаболического состояния, процессов передачи управляющих воздействий. Все эти отклонения сказываются на наблюдаемой реализации множества форменных элементов крови (МФЭК).

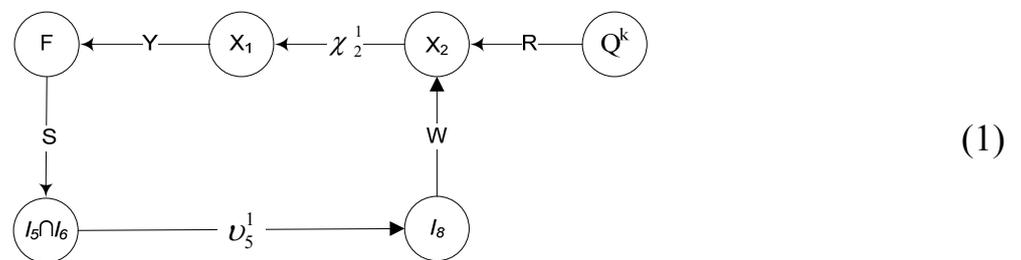
**Ключевые слова:** физиологическая модель, кроветворная функциональная система, адаптивный контур, пространство внешних воздействий, категорная диаграмма, адаптационные процессы, геномно-ядерный уровень, функторное отображение, гомоморфное отображение, уравнение адаптации.

**Введение.** В описанной в [1-5] физиологической модели определены четыре уровня управления, которые можно выделить из категорной диаграммы информационных потоков [1]. Проанализируем структуру модели управления кроветворной функциональной системой организма в различных физиологических ситуациях, в которых активизируется деятельность определенного адаптивного контура, характеризующего функциональное состояние. При отсутствии патологий активизация каждого из контуров определяется внешними воздействиями на организм в полном соответствии с законами нормальной физиологии. В зависимости от типа внешнего воздействия могут включаться только некоторые уровни управления, отвечающие за адаптационные процессы в организме. В нормальной физиологии существует следующая классификация состояний по степени напряжения регуляторных систем организма [6]: I состояние — пограничное

---

с нормой при минимальном напряжении регуляторных механизмов, обусловленное полной или частичной адаптацией организма к неадекватным факторам среды; II состояние — напряжение, проявляющееся мобилизацией защитных механизмов, в том числе повышением активности симпатико-адреналовой системы, при котором приспособление к неадекватным условиям среды может быть только кратковременным; III состояние — перенапряжение, для которого характерны недостаточность адаптационных защитно-приспособительных механизмов, их неспособность обеспечить оптимальную адекватную реакцию организма на воздействие факторов внешней среды; IV состояние — срыв механизмов адаптации, или состояние предболезни.

**Постановка задачи.** Рассмотрим первое состояние и включающийся в работу адаптационный подконтур функциональной кроветворной системы организма. Представим такое внешнее воздействие, при котором основные адаптационные процессы проходят на внутриклеточном уровне. Регуляция при этом происходит без существенного включения механизмов глубокой обратной связи. Такое внешнее воздействие определяется конкретным элементом  $Q^k = \{Q_1^k, Q_2^k, \dots, Q_m^k\} \in Q$  пространства внешних воздействий на организм, при этом в полном соответствии нормальной физиологии происходит активация первого адаптивного контура, диаграмма (1).



Контур представляет собой самый нижний уровень управления, реализующий адаптационные процессы, включающие управление кроветворной системой на внутриклеточном и геномно-ядерном уровне,

влияющие на состав периферической крови, который через систему внутренних органов и метаболические реакции организма замыкает адаптационный контур. Внешнее воздействие формируется таким образом, чтобы регуляция адаптацией организма не перешла под контроль более сложного межклеточного или организменного уровня. Активация первого контура может быть задана незначительными колебаниями количеств клеток в периферической крови, изменениями конституции организма или возрастными изменениями.

**Анализ адаптационной модели I контура управления функциональной кроветворной системы.** Проанализируем диаграмму (1). Рассмотрим функторное отображение [7,8]  $\mathbf{R}$  категории внешних воздействий на клеточный уровень управления: отображение  $Q^k \mapsto \mathbf{R}(Q^k)$ , сопоставляющее каждому объекту  $Q^k$  из категории  $Q$  объект  $\mathbf{R}(Q^k)$  из  $X$ ; отображение  $\mathbf{R}(Q_j^k, Q_l^k): \text{Hom}_Q(Q_j^k, Q_l^k) \rightarrow \text{Hom}_X(\mathbf{R}(Q_j^k), \mathbf{R}(Q_l^k)), j \neq l$ .

В рассматриваемом случае происходит отображение объекта  $Q^k \in Q$  в один объект  $X_2$  категории  $X$ , которое можно представить в виде:  
 $\mathbf{R}: \text{Hom}(Q^k, h), h \in X = \{X_2\}$ .

Гомоморфное отображение  $\chi_2^1: X_2 \rightarrow X_1$  категории уровней управления представляет собой отображение управляющих воздействий с внутриклеточного на геномно-ядерный уровень управления. Рассмотрим функторное отображение  $\mathbf{Y}$  категории уровней управления  $X$  на МФЭК  $F$ : отображение  $X_j^l \mapsto \mathbf{Y}(X_j^l)$ , сопоставляющее каждому объекту  $X_j^l$  из  $X$  объект  $\mathbf{Y}(X_j^l)$  из  $F$ , где  $l, j$  – индексы, однозначно определяющие объект; отображение  $\mathbf{Y}(X_j^l, X_p^k): \text{Hom}_X(X_j^l, X_p^k) \rightarrow \text{Hom}_F(\mathbf{Y}(X_j^l), \mathbf{Y}(X_p^k))$ .

В рамках рассматриваемой модели адаптивного контура вышеопределенный функтор  $\mathbf{Y}$  осуществляет отображение объектов  $X_1 \in X$  в моноид  $F$ :  $\mathbf{Y}: \text{Hom}(X_1, F)$ .

Таким образом,  $X_1 \mapsto \mathbf{Y}(X_1)$  отражает воздействие геномной ядерного уровня управления на МФЭК, а  $\mathbf{Y}(X_1^1, X_2^1): \text{Hom}_X(X_1^1, X_2^1) \rightarrow \text{Hom}_F(\mathbf{Y}(X_1^1), \mathbf{Y}(X_2^1))$  – отражает баланс воздействия геномно-ядерного и внутриклеточного уровней управления на состав периферической крови. Изменение сердечного ритма приводит к изменению состояния внутренней среды организма, что можно представить функторным отображением  $\mathbf{S}$  моноида  $F$  в категорию  $I$ : отображение  $F^k \mapsto \mathbf{S}(I_5 \cap I_6)$ , сопоставляющее каждому объекту  $F^k \in F$  объект  $\mathbf{S}(F^k)$  из  $I$ ; отображение  $\mathbf{S}(F^k, F^k): \text{Hom}_F(F^k, F^k) \rightarrow \text{Hom}_I(\mathbf{S}(F^k), \mathbf{S}(F^k))$ .

То есть происходит отображение всей категории  $F$ , одного объекта, в категорию  $I$ , которое можно представить в виде:  $\mathbf{S}: \text{Hom}(h, I), h \in F$ .

В соответствии с законами нормальной физиологии одновременно с воздействием на МФЭК происходит воздействие и на внутренние органы, имеющие непосредственную иннервацию [9,10]. Гомоморфное отображение  $v_5^1: I_5 \cap I_6 \rightarrow I_8$  категории внутренней среды организма дано во второй главе и представляет собой отображение всех параметров состояния организма в метаболизм. Метаболизм замыкает контур управления, то есть осуществляется функторное отображение  $\mathbf{W}$  объекта  $I_8$  на объект  $X_2$  категории  $X$ : отображение  $I_8 \mapsto \mathbf{W}(X_2)$ , сопоставляющее каждому объекту  $I_8^j \in I_8$  объект  $\mathbf{W}(I_8^j)$  из  $X$ ; отображение  $\mathbf{W}(I_8^j, I_8^k): \text{Hom}_I(I_8^j, I_8^k) \rightarrow \text{Hom}_X(\mathbf{W}(I_8^j), \mathbf{W}(I_8^k))$ .

Обобщая представленные отображения, запишем структурное уравнение адаптации первого контура:

$$AD^I = \mathbf{W} \left( v_5^1 \left( \mathbf{S} \left( \mathbf{Y} \left( \chi_2^1 \left( \mathbf{R} \left( Q^k \right) \right) \right) \right) \right) \right), Q^k \in Q \quad (2)$$

где  $k$  – номер комплексного внешнего воздействия.

В этом уравнении дополнительно приняты следующие обозначения:  $\mathbf{R}(Q^k)$  - функция адаптационного отклика внутриклеточного уровня управления на внешнее воздействие;

$\chi_2^1(\mathbf{R}(Q^k))$  – функция передачи управляющих воздействий с внутриклеточного на геномно-ядерный уровень управления;  $\mathbf{Y}(\chi_2^1(\mathbf{R}(Q^k))) = F$  – функция, определяющая состояние периферической крови, рассматриваемая как наблюдаемый системный параметр.

**Заключение.** В результате сделан вывод о том, уравнение адаптации (2) составленное для гипотетической модели управления адаптацией организма, формализует и структурируемый процесс кроветворения, что позволяет синтезировать алгоритм лечебных воздействий на этот процесс. Вместе с тем физиологическая система имеет ряд отличий от гипотетической, связанных с отклонениями от идеальных параметров функционирования: вегетативной нервной системы, внутренней среды организма, метаболического состояния, процессов передачи управляющих воздействий. Это создает предпосылки для дальнейшего совершенствования сформированной модели, а значит и алгоритма терапевтического процесса.

### Литература

1. Наумов В.Ю., Муха Ю.П., Авдеюк О.А., Шевчук В.П., Авдеюк Д.Н. Структурная модель адаптационных контуров биоинструментальной



информационно-измерительной системы // Инженерный вестник Дона, 2017, № 4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4391](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4391).

2. Наумов В.Ю., Муха Ю.П., Авдеюк О.А., Скворцов М.Г., Дружинина Л.В. Анализ категорной диаграммы адаптационного контура биоинструментальной информационно-измерительной системы //Инженерный вестник Дона, 2018, №1 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4672](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4672).

3. Муха Ю.П., Наумов В.Ю. Синтез категорной модели информационных потоков биоинструментальной ИИС при гематологических измерениях // Биомедицинская радиоэлектроника. 2010. № 6. С. 38 – 42.

4. 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.

5. 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](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1476)

6. Судаков, К.В. Общая теория функциональных систем. Москва: Медкнига. 1984. 224 с.

7. Муха Ю. П., Авдеюк О.А., Королева И.Ю. Алгебраическая теория синтеза сложных систем. Волгоград: ВолгГТУ, 2003. 320с.

8. Baez J., Dolan J. Higher dimensional algebra and topological quantum field theory // Meth. Phys, 1995. V. 36. pp. 60-105.

9. Наумов В.Ю. Модели и методы метрологического анализа сложного информационно-измерительного комплекса для аналитических измерений в гематологии// Автореферат дис. канд. техн. наук, 05.11.16, 05.11.17. Волгоград: ВолгГТУ, 2013. 16 с

10. Schneppenheim R. Current aspects of diagnosis and treatment. 2008. 88 p.

## References

1. Naumov V.Yu., Mukha Yu.P., Avdeyuk O.A., Shevchuk V.P., Avdeyuk D.N. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2017. №4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4391](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4391)
  2. Naumov V.Yu., Mukha Yu.P., Avdeyuk O.A., Skvorcov M.G., Drazhinina L.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2018. №1 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4672](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4672).
  3. Mukha Yu.P., Naumov V.Yu. Biomedicinskaya radioelektronika (Rus). 2010. № 6. pp. 38 – 42.
  4. 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.
  5. Akulov L.G., Budko R.YU., Vishneveckij V.YU., Ledyayeva V.S. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2012. № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine /archive /n4p2y2012/1476](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1476).
  6. Sudakov K.V. Obshchaya teoriya funkcional'nyh system [The General theory of functional systems]. Moskva: Medkniga, 1984. 224 p.
  7. 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.
  8. Baez J., Dolan J. Meth. Phys, 1995. V. 36. pp. 60-105.
  9. Naumov V.YU. Modeli i metody metrologicheskogo analiza slozhnogo informacionno-izmeritel'nogo kompleksa dlya analiticheskikh izmerenij v gematologii [Models and methods of metrological analysis of complex information-measuring complex for analytical measurements in Hematology]. Volgograd: VolgGTU, 2013. 16 p.
  10. Schneppenheim R. Current aspects of diagnosis and treatment. 2008. 88 p.
-