

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА АЛГОРИТМИ



Адаптивная модель системы оценки психофизиологического состояния человека

*А.В. КОВАЛЕНКО**, *С.К. МЕЩАНИНОВ*, *А.И. ТРИКИЛО*, *Е.М. ГУЛЕША*,
Е.А. КОПЫТОВА, *А.В. ЛЬДОВСКАЯ*

*Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара,
Днепродзержинский государственный технический университет

В статье рассматриваются проблемы повышения точности и достоверности биомедицинской информации о психофизиологическом состоянии организма человека на основе адаптивной компьютерной модели системы оценки. Модель учитывает неоднородность физических и метрологических характеристик биометрических параметров организма человека.

В статті розглядаються проблеми підвищення точності та достовірності біомедицинської інформації про психофізіологічний стан організму людини на основі адаптивної комп'ютерної моделі системи оцінки. Модель враховує неоднорідність фізичних і метрологічних характеристик біометричних параметрів організму людини.

The article deals with the problem of improving the accuracy and reliability of information about biomedical psychophysiological condition of the human body based on adaptive computer model evaluation system. The model takes into account the heterogeneity of physical and metrological characteristics of biometric parameters of the human body.

Введение. С точки зрения теории управления, организм человека является сложной многоуровневой иерархической системой, степень согласованности работы всех подсистем которой позволяет судить о его психофизиологическом состоянии (ПС) в целом. При действии на такую систему внутренних или внешних факторов она формирует соответствующую реакцию путем изменения в работе определенных органов или подсистем. При получении информации об этих изменениях или же предпосылках возникновения таких изменений, можно своевременно диагностировать либо возникновение определенной патологии, либо, о начале процесса отказа человеческого организма адекватно функционировать в определенной технологической или социальной системе.

Постановка задачи исследований. Применительно к анализу и прогнозированию ПС человека, на сегодняшний день существует достаточно много методов, позволяющих в той или иной степени оценивать это состояние и принимать допустимые меры для его своевременной коррекции. Обзор этих подходов не входит в задачу данной работы, однако следует сказать о том, что они имеют, на наш взгляд, ряд существенных недостатков:

1. Организм человека является непрерывно меняющейся (адаптирующейся и самообновляющейся) системой, что имеет своим следствием неопределенность биометрической информации снимаемой с человека по отношению к последующим моментам времени после интервала съема такой информации.

2. Организм человека является сложной самонастраивающейся иерархической системой, прогнозирование надежного (адекватного в данных конкретных условиях) его ПС может быть лишь приближенно определено с учетом взаимовлияния всех его органов и подсистем в совокупности с влиянием всех внешних факторов.

3. Всю совокупность биометрической информации, характеризующей ПС человека можно условно разбить на группу параметров изменяющихся дискретно и группу непрерывно изменяющихся параметров. Учет тех и других параметров представляет определенные трудности, однако главной трудностью здесь, как нам представляется, является то, что, в силу различия в своей физической природе, методах измерения и различию в целом ряде физических характеристик, эти сигналы не могут быть зарегистрированы с одной и той же точностью. Таким образом, достоверность измерительной информации, получаемой от одного органа или системы организма, не может быть сравнима с достоверностью измерительной информации, полученной от другой системы или органа.

Повысить точность и достоверность получаемой биометрической информации о ПС организма человека можно, по нашему мнению, путем создания адаптивной модели ПС, которая бы учитывала неоднородность физических и метрологических характеристик биометрической информации человеческого организма.

В связи с этим, **целью настоящей работы** является создание адаптивной модели компьютерной систе-

мы оценки ПС человека.

Основная часть. Для учёта сложности и иерархичности строения и организации человеческого организма предложено использовать синергетический подход к оценке его ПС.

Синергетика организма человека позволяет с единых энергетических представлений выявить влияние структурных свойств подсистем человека: влияние антропометрических, физиологических, обменных и психических систем на здоровье человека [1]. Надежность функционирования организма человека, как самонастраивающаяся система в условиях неопределенности биометрической информации определяется величиной вероятности функционирования отдельных его органов, подсистем и систем. При сравнительно малой надежности функционирования организма для поддержания здоровья человека в хорошем состоянии предусматривается активная деятельность, направленная на восстановление и сохранение работоспособности его органов, систем путем устранения физиологических нарушений, а также путем адаптации к реальным условиям функционирования. Это позволяет выбрать восстанавливающие стратегии и способы обеспечения здоровья человека.

Анализу, разработке и оценке надежности здоровья человека как системы «Здоровье - Человек - Среда» посвящен ряд работ, например, [2—7]. Характерным примером использования идей синергетики в медицине становится исследование процессов взаимодействия частей человеческого организма с геокосмическими факторами. И геокосмические системы, и человек представляют собой системы диссипативные (открытые, т.е. взаимодействующие и обменивающиеся веществом и энергией с внешней средой). Комплекс геокосмических факторов способен влиять на систему человеческого организма: среднемесячные суммы корреляции лейкограмм, электролитного баланса, ферментного статуса крови синергетичны (соответственны, связаны) со среднемесячной динамикой космических лучей. Исследования показали, что биологические системы имеют свойства экстренной самоорганизации и динамической приспособляемости к изменениям факторов среды. Возникающий хаос компенсируется процессом самоорганизации, упорядочивающим систему [5].

Биологические системы характеризуются большим числом изменяющихся параметров. При экспериментальном исследовании обычно встречаются случаи или со многими входами и одним выходом (многомерно-одномерный случай), или с одним входом и многими выходами (одномерно-многомерный случай). Самый общий случай (многомерно-многомерный) практически всегда можно свести к одному из предыдущих. На этапе предварительного анализа выходы и входы биосистем можно рассматривать как систему случайных величин. Свойства системы нескольких случайных величин не исчерпываются свойствами отдельных величин, ее составляющих. Они включают также взаимные связи — зависимости между случайными величинами.

При изучении биологических систем и процессов очень часто необходимо исследовать влияние нескольких факторов на один показатель. При этом, прежде чем приступить к построению многофакторной нелинейной регрессионной модели, необходимо решить задачу выбора наиболее существенных влияющих фак-

торов [7]. После этого зависимость изучаемого показателя от основных влияющих факторов можно представить в линейном приближении следующим образом:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_mx_m, \quad (1)$$

где y — величина, определяющая значение показателя системы; x_i — основные влияющие факторы; b_i — неизвестные коэффициенты.

Соотношение (1), в соответствии с данными работы [7], в стандартизированном виде имеет вид:

$$t_0 = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_mx_m, \quad (2)$$

где t_0 — стандартизованное значение величины показателя системы; t_i — стандартизованное значение основных влияющих факторов;

$\beta_i = \frac{b_i\sigma_{xy}}{\sigma_y}$ — неизвестные коэффициенты, определяемые с помощью метода наименьших квадратов; σ_{xy} — среднеквадратическое отклонение переменных x и y .

Коэффициенты β_i регрессионного уравнения показывают, на какую часть σ изменилось бы среднее значение функции, если бы соответствующий аргумент увеличился бы на σ , а остальные аргументы остались бы без изменения. Следовательно, коэффициенты β_i иллюстрируют сравнительную силу влияния изменения каждой переменной на изменение изучаемого показателя. Коэффициенты b_i (коэффициенты множественной регрессии) указывают, на сколько именно изменяется зависимая переменная, когда соответствующая независимая переменная изменяется на единицу, разумеется, при условии, что другие независимые переменные при этом сохраняют свои значения неизменными. Последние условия в случае исследования такой сложной системы, как человеческий организм, вряд ли могут быть выполнены, так человеческий организм можно рассматривать только как сложную многоуровневую стохастическую систему, функционирующую в соответствии со схемой последовательного соединения элементов [8].

Применительно к анализу ПС человека, основываясь на результатах работ [9], можно предложить следующий подход. Весь набор параметров, которые в совокупности образуют, пакет данных биометрической информации о ПС человека условно разбивается на 3 подгруппы: Неизменные биометрические параметры, которые не меняют своих значений (индексов) на протяжении всей жизни конкретного человека. Примерный их перечень приведен в таблице 1.

Таблица 1. Неизменные биометрические параметры (α -параметры)

№ п/п	Наименование	Значение (индекс)	Примечания
1	Пол	Мужской/ женский	Относительные показатели максимального потребления кислорода у представителей мужского пола достоверно уменьшаются в постпубертатный пе-

			риод с дальнейшей тенденцией к снижению в период I зрелого возраста. У представительниц женского пола достоверное снижение относительных показателей максимального потребления кислорода наблюдается в постпубертатный и период I зрелого возраста.
2	Наследственные особенности	Врожденные особенности (генетические отклонения)	Наличие наследственных болезней, характеристика места жительства с экологической точки зрения и т.п.
3	Антропометрические факторы	Гиперстенники; нормостенники; гипостенники.	Телосложение (кружность запястья), форма позвоночника, грудной клетки, ног, осанка
4	Группа крови	0 (I), A (II), B(III) и AB(IV)	Являющаяся четким генетическим оттиском
5	Тип нервной системы	Нормотоники, пимпатоники, парасимпатоники	Основным принципом оптимизации физической трудоспособности студентов основной группы с разным типом автономной нервной системы есть принцип индивидуализации физических нагрузок, не исключая систематичность и постепенность

Далее следует вторая группа квазипостоянных биометрических параметров, которые характеризуют ПС человека — таблице 2.

Таблица 2. Квазипостоянные биометрические параметры, которые характеризуют ПС человека (β -параметры)

№ п/п	Наименование	Значение (индекс)
1	Место жительства	<u>Геоэкологическую составляющую</u> определяют по геоэкологическим факторам, которые влияют как на физическое состояние человека, так и на моральное. Так, на физическое состояние человека влияют такие геоэкологические факторы, как загрязнение атмосферного воздуха, загрязнение водных объектов, радиационное и акустическое загрязнения. К геоэкологическим факторам, которые

		определяют моральное состояние человека в городской среде, можно отнести наличие зеленых насаждений, а также наличие мест для отдыха.
2	Вид трудовой деятельности	Рациональный режим работы; оптимальная двигательная активность; рациональное питание
3	Материальное состояние	Минимально гарантируемая, средняя и выше средней зарплаты
4	Семейное положение	Холост, женат, вдовец
5	Наличие детей	0, 1, 2, 3
6	Медицинское обеспечение	I – уровень - бесплатное II – уровень - ведомственное III – уровень - платное
7	Антропометрические факторы	Длина тела (рост), окружность головы и грудной клетки, жизненный объем легких
8	Социальное положение	Социальная составляющая качества жизни человека выражает такие стороны, как уровень экономического развития и цивилизованности общества, политические отношения, особенности экономики и идеологии, степень социальной и духовной свободы, уровень материального благосостояния населения.
9	Уровень образования	Общее среднее образование, профессионально-техническое образование, высшее образование
10	Уровень физической нагрузки	Уровень риска разных заболеваний падает по-разному с ростом уровня повседневных физических нагрузок человека. Очень заметное различие наблюдается между сидячими людьми и теми, кто бегает в медленном темпе по 15 минут трижды в неделю. Это полагает в выводах исследований воздержанной физической активностью человека. Заметный, но для некоторых заболеваний кое-что меньший, прогресс наблюдается и при увеличении продолжительности пробежки до 30 мин все те же 3 раза на неделю.

Третья группа — непрерывно меняющиеся биометрические параметры представлены в таблице 3.

Таблица 3. Непрерывно меняющиеся биометрические параметры, которые характеризуют ПС человека (δ -параметры)

№ п/п	Наименование	Значение (индекс)	Примечания
1	Возраст	I – до 12 лет; II – до 25 лет; III – до 50 лет; IV – 75 лет; V – старше 75 лет	У детей периоды до 1, 3, 7 лет

2	Наличие заболеваний	Морбидность — совокупность всех приобретенных болезней человеком. Например, морбидное ожирение является причиной возникновения артериальной гипертонии; сахарного диабета; заболеваний суставов, позвоночника, нижних конечностей; ишемической болезни сердца; бесплодия; онкологических и других заболеваний.	Острые, хронические, наследственные, приобретенные в результате вредных привычек, экологической ситуации, несчастных случаев и т.п.
3	Вид трудовой деятельности	Рациональный режим работы; оптимальная двигательная активность; рациональное питание	
4	Наличие вредных привычек	Курение, пьянство, потребление наркотических веществ	

Диапазоны изменений этих параметров, а также их набор могут изменяться в зависимости от цели и условий данного конкретного исследования.

Исходя из выше изложенного и принимая во внимание, что у человека имеется 12 систем, его модель можно представить в виде сечения (см. рис.1) взаимно пересекающихся трех сфер α , β и δ .

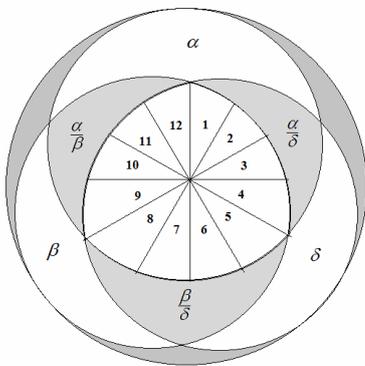


Рис. 1. Схема модели человека

- α — группа параметров $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$;
- β — группа параметров $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m)$;
- δ — группа параметров $\delta = (\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_k)$;
- 1 — сердечно-сосудистая система;
- 2 — опорно-двигательный аппарат;
- 3 — центральная нервная система;
- 4 — пищеварительная система;
- 5 — эндокринная система;
- 6 — система органов кроветворения;
- 7 — дыхательная система;
- 8 — иммунная система;
- 9 — мочеполовая система;
- 10 — периферическая нервная система;
- 11 — кожный покров;
- 12 — система органов зрения, слуха и осязания.

Из схемы видно, что все вышеперечисленные параметры, влияющие на ФС человека, воздействуют и на его системы, а это указывает на то, что влияние внешних параметров на ФС можно контролировать по физиологическим параметрам систем.

Следует обратить внимание на то, что и сочетание тех или иных параметров тоже сказывается на функционировании систем.

ПС человека — болезнь можно рассматривать как конфликт организма и внешней среды так и конфликты между системами организма человека.

Из сказанного следует, что синергетическая модель ПС человека состоит из трех уровней, как бы вложенных один в другой. Первый уровень определяет биофизиологические показатели систем организма, второй оценивает функциональное состояние каждой из систем и третий уровень модели уже в целом определяет ФС человека.

Обобщенно, состояние всех систем человека характеризуются основными 12-ю показателями здоровья (x_1, \dots, x_{12}): артериальным давлением; числом дыхательных движений; числом сердечных сокращений (ЧСС) в покое; содержанием гемоглобина, билирубина, сахара, холестерина, количеством лейкоцитов в крови и кислотно-щелочным показателем (РН) её; характеристикой мочи; росто-весовым индексом; температурой тела [9,10].

Таким образом, синергетическую модель ПС человека можно представить в виде нейронной сети (см. рис. 2).

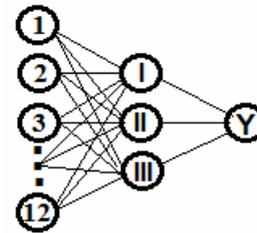


Рис. 2. Схема синергетической модели ПС человека

1, ..., 12 — основные 12-ть показателей здоровья (x_1, \dots, x_{12});
 I, II, III — функциональные показатели здоровья;
 Y — интегральный показатель здоровья.

Под функциональными показателями здоровья (I, II, III) принимаем: физическое здоровье, психическое здоровье и субъективное самочувствие.

Интегральный показатель здоровья (Y) представляет собой аддитивную модель функциональных показателей с соответствующими весовыми коэффициентами.

Выводы. Предложены информативные параметры контроля психофизиологического состояния человека.

Предложенные информативные параметры условно разбиты на 3 подгруппы, в зависимости от периодичности их изменяемости во времени.

Выбраны основные 12-ть показателей здоровья.

Предложена графическая схема модели человека.

Предложена схема синергетической модели ФС человека в виде нейронной сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лысенко О. В., Лысенко В. М. Системно-синергетический подход в медицинских исследованиях. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/14559/1/Lysenko.pdf>
2. Маренко В. А. Информационно-синергетический подход к анализу медицинских данных / В. А. Маренко. — Медицинская информатика. 2009. — № 2 (20). — С. 33—40.
3. Хакен Г. Синергетика: Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах / Г. Хакен. — М.: Мир. 1985. — 419 с.
4. Хакен Г. Тайны природы. Синергетика: учение о взаимодействии / Г. Хакен. — Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований. 2003. — 320 с.
5. Николис Г. Познание сложного / Г. Николис, И. Пригожин. — М.: Мир. 1990. — 344 с.
6. Болдачев А. В. Новации. Суждения в русле эволюционной парадигмы. — Спб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та. 2007. — 256 с.
7. Методы математической биологии / под ред. А. А. Стогния, А. М. Ключкова. Книга 2. Методы синтеза алгебраических и вероятностных моделей биологических систем. — К.: Вища шк. 1981. — 312 с.
8. Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10 т. Т. 2. Математические методы в теории надежности и эффективности / Под ред. Б. В. Гнеденко. — М.: Наука. 1987. — 280 с.
9. Адаптивно-синергетическая модель системы оценки состояния здоровья человека / Мещанинов С. К., Трикило А. И., Волошин Р. В. и др. // Сб. научных тр. Днепродзержинского государственного технического университета (технические науки). — Вып. 1 (21). — 2013. — С. 131—137.
10. Основные показатели здоровья [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://obovsemponemnogu.ru/1109>.

пост. 23.07.2015

Алгоритмы повышения быстродействия базовой немодульной операции в модулярной системе остаточных классов

Ю.Д. ПОЛИЦКИЙ

НИИ автоматизации черной металлургии

Рассмотрены алгоритмы повышения быстродействия в системе остаточных классов базовой немодульной операции определения принадлежности числа данной половине диапазона. Предложенные алгоритмы используют оценки вариантов каждой итерации с выбором наиболее предпочтительного варианта.

Розглянуті алгоритми підвищення швидкодії в системі залишкових класів базової немодульної операції визначення приналежності числа даній половині діапазону. Запропоновані алгоритми використовують оцінки варіантів кожної ітерації з вибором найбільш переважного варіанту.

The algorithms of increase of fast-acting in the system of residual classes of base unmodule operation of determination of belonging of number are considered to this half of range. The offered algorithms are used by the estimations of variants of every iteration with the choice of the most preferable variant.

Введение. Определение принадлежности числа данной половине диапазона является базовой немодульной операцией в модулярной системе остаточных классов. На её основе могут быть получены решения остальных немодульных операций [1]. В связи с этим актуальны вопросы разработки алгоритмов повышения быстродействия данной операции.

Состояние вопроса. При изложении материалов статьи будем использовать обозначения и определения [2].

Алгоритм определения принадлежности числа данной половине диапазона включает итерации двух видов. Итерация первого вида состоит в переходе от данного числа к меньшему числу, в котором остатки по одному или нескольким модулям равны нулю. Достигается это вычитанием из всех остатков значения одного из них. Таким образом, полученное число становится кратным этим модулям. Итерация второго вида состоит в переходе от данного числа к меньшему числу за счёт исключения модулей, остатки по которым равны нулю,

путём деления данного числа на произведение этих модулей. В результате получаем число, в котором остатки по одному, всем или некоторым модулям из m_1, m_2, \dots, m_n равны нулю, а остальные модули из m_1, m_2, \dots, m_n исключены, т.е.

$$N = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) \rightarrow \tilde{N}(0, \times, \tilde{\alpha}_n). \text{ При этом } \pi_n = \tilde{\alpha}_n.$$

В соответствии с [3] критерием принадлежности числа первой R1 или второй R2 половине диапазона служит значение π_n .

$$N \in \begin{cases} R1, 0 \leq N < \frac{M}{2}, \\ R2, \frac{M}{2} \leq N < M. \end{cases}$$

В табл. 1 представлена работа данного алгоритма определения принадлежности числа $N = 12821 = (2, 3, 1, 6, 4, 1)$ первой или второй половине