

будет происходить увеличение частоты. В процессе работы пользователю необходимо будет выполнить определенные инструкции, отображенные на дисплее. Прежде всего, это подстройка и калибровка добротности контура регулятором «Калибровка Q», установка катушки в соответствии с рабочей частотой и выбор правильного диапазона в соответствии с заданной частотой. По окончании каждого измерения программа выдает данные на дисплей вместе с отправкой этой информации на ЭВМ.

**Выводы.** Представлено разработанное программно управляемое устройство измерения частотных зависимостей адмитанса на базе промышленного измерителя добротности и микроконтроллеров ATMEL. Апробация устройства показала его работоспособность и пригодность для применения в адмитансной и диэлектрической спектроскопии неоднородных твердых телах и других материалов современной техники.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bueno P.R. Admittance and dielectric spectroscopy of polycrystalline semiconductors / Bueno P.R., Varela J.A., Longo E. // J. European ceramic Society. – 2007. – V. 27. – P.4313-4320.
2. Kremer F. Broadband Dielectric Spectroscopy / Kremer F., Schonhals A. – Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, 2003. – 729p.
3. Гребнев В.В. Микроконтроллеры семейства AVR фирмы Atmel / Гребнев В.В. – М.: ИП РадиоСофт, 2002. – 176с.
4. Кушнир Ф.В. Электрорадиоизмерения: уч. пос. для вузов / Ф.В.Кушнир, В.Г.Савенко. – Ленинград: Энергия, 1975 – 368с.

*Поступила в редколлегию 08.01.2013.*

УДК 539.4

МЕЩАНИНОВ С.К., д.т.н., профессор  
ТРИКИЛО А.И., к.т.н. доцент  
ВОЛОШИН Р.В., соискатель  
ВИНОГРАДОВА В.П. зав. лаб.  
НАЗАРЕНКО Д.О., студент

Днепродзержинский государственный технический университет

### **АДАПТИВНО-СИНЕРГЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА**

**Введение.** Надежность функционирования организма человека как сложной самонастраивающейся системы (СНС) в условиях неопределенности физиологической 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 поддержание и восстановление работоспособности ее органов и систем путем устранения физиологических нарушений и адаптации к реальным условиям функционирования. Это позволяет выбрать восстанавливающие стратегии и способы обеспечения здоровья человека.

Оценка состояния здоровья человека по известным функциональным показателям здоровья его органов и подсистем предполагает переход от показателей здоровья по органам и подсистемам к показателю здоровья всего организма человека в целом. Основная трудность такого перехода состоит в адекватном учете взаимодействия орга-

нов подсистемы на саму систему, в которую они входят, на подсистему более высокого уровня, составной частью которой она является, и в конечном счете на состояние организма в целом [1]. Сущность синергетического подхода, как нам представляется в данном случае, состоит в определении надежности поддержания уровня здоровья как функции влияния и взаимовлияния всех подсистем и их органов. На основе данных медицинских исследований могут быть разработаны меры по поддержанию уровня здоровья человека, соответствующего среднестатистическому показателю, а также созданы более достоверные по сравнению с существующими методы его контроля и диагностики заболеваний.

**Постановка задачи.** В связи с этим целью данной работы является разработка синергетической модели оценки здоровья человека как надежно функционирующей СНС.

На сегодняшний день, несмотря на привлекательность новых идей синергетического подхода, возникает естественный вопрос, что можно от этого практически ожидать, преодолевая соответствующие методологические и математические трудности. Пока на этот вопрос дать исчерпывающий ответ затруднительно. Однако уже сейчас синергетика организма человека позволяет с единых энергетических представлений выяснить влияние структурных свойств подсистем человека: влияние антропометрических, физиологических, обменных и психических систем на здоровье человека [2].

Аналізу, розробці та оцінці надійності здоров'я людини як системи «*Здоров'я – Человек – Среда*» посвящен ряд работ, например, [3-7].

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].

*Различают три ступени диагностирования заболевания:*

- установление фактора заболевания,
- установление вида заболевания (идентификация),
- прогнозирование степени развития опасности (оценка).

При традиционном медицинском подходе, реализуемом сетью поликлиник, чаще всего возможно обнаружение только запущенной болезни. Таким образом, современная структура и организация медицинского обслуживания населения не позволяет осуществлять диагностику заболевания, прогнозирование его развития, и тем самым предупреждать ее развитие до хронического состояния.

Нарушения функционирования отдельных взаимосвязанных систем организма человека, являясь случайными и чаще всего неконтролируемыми, в совокупности образуют последовательность зависимых и независимых событий. Это происходит в том случае, когда нарушение функционирования отдельного элемента (органа подсистемы организма) вызывает неуправляемое взаимодействие многих подсистем организма человека: значительное увеличение веса, увеличение сахара и холестерина в крови, нарушение функционирования сердечнососудистой системы и т.п. Эти неуправляемые отклонения, вызванные отказом одного элемента, оказывают воздействие на другие системы в качестве внешних воздействий (возмущения). Если их величины превышают

предельно допустимый уровень для последующего элемента (*клетки, ткани, органа*), то происходит его отказ. Так проявляется зависимость нормального функционирования одного элемента системы от надежности функционирования другого. При этом нарушения функционирования подсистем и систем организма приобретают лавинообразный характер, вовлекая все системы организма человека.

**Результаты работы.** Обобщенный вероятностный показатель здоровья человека можно оценить мультипликативной функцией, состоящей из локальных вероятностных показателей отдельных периодов жизни как в прошедшем времени, так и в момент времени определения обобщенного показателя здоровья, он может быть выражен следующим соотношением [1, 3]:

$$P(t) = P_p(\tau_p) \cdot P_o(\tau_o) \cdot P_t(t) \cdot P_{ож}(\tau_{ож}), \quad (1)$$

где  $P(t)$  – обобщенный вероятностный показатель здоровья человека на момент времени  $t$ ;  $P_p(\tau_p)$  – вероятность того, что в момент времени  $\tau_p$  (например, периода беременности и родов) не было никаких патологических отклонений;  $P_o(\tau_o)$  – вероятность того, что за время  $\tau_o$  (например, периода детства и юношества) не возникало серьезных отклонений состояния здоровья, повлекших за собой необратимые последствия для здоровья;  $P_t(t)$  – вероятность состояния здоровья в момент времени  $t$  определения обобщенного вероятностного показателя;  $P_{ож}(\tau_{ож})$  – вероятность отклонения образа жизни от образа жизни, не приводящего к нарушению здоровья за период времени  $\tau_{ож}$ . Обозначив вероятность  $[P_p(\tau_p) \cdot P_o(\tau_o)]$  постоянным коэффициентом  $K_0$  запишем обобщенный показатель надежности (1) в виде:

$$P(t) = K_0 \cdot P_t(t) \cdot P_{ож}(\tau_{ож}). \quad (2)$$

Предположим, что на организм человека действует  $n$  видов опасных для его здоровья факторов с параметрами  $q_1(t), q_2(t), \dots, q_n(t)$ , которые являются некоторыми нестационарными случайными функциями времени. Предположим, что реакция на их действие – это линейная функция вида  $R = c_1q_1 + c_2q_2 + \dots + c_nq_n$ . Отказ организма человека произойдет, когда величина  $R$  превысит некоторое критическое значение  $R^*$ . То есть условие определения состояния здоровья имеет следующий вид:

$$R[Q(t)] \geq R^*, \quad (3)$$

где  $Q(t) = f(q_1, q_2, \dots, q_n, t)$ .

Вероятность развития заболевания  $P_a$  можно представить как совмещение двух независимых событий:  $P_1$  и  $P_2$  – вероятности выздоровления и активизации процесса развития болезни соответственно [2]:

$$P_a = P_1 \cdot P_2. \quad (4)$$

Проанализируем изменение состояния организма человека при изменении какого-либо параметра, определяющего его функционирование, как СНС. Обозначим через  $S_i$   $i$ -й фактор, вызывающий  $j$ -е изменение надежности функционирования организма. Количественно влияние  $i$ -го фактора на  $j$ -е изменение состояния здоровья человека характеризуется информационной мерой – количеством информации, содержащимся в  $S_i$  относительно состояния надежности:

$$a_{\psi_i, S_i} = \lg \frac{P(\delta_i / S_i)}{P(\delta_i)}, \quad (5)$$

где  $P(\delta_i / S_i)$  – вероятность изменения состояния здоровья человека при наличии фактора  $S_i$ ;  $P(\delta_i)$  – априорная вероятность изменения состояния  $\delta_j$ .

Для системы факторов  $\varphi_k(S_1, S_2, \dots, S_k)$

$$a_{\psi_i, S_i} = \lg \frac{P(\varphi_k / \delta_i)}{P(\varphi_k)}. \quad (6)$$

Существенной является возможность вычисления информационной меры системы факторов  $\varphi_k(S_1, S_2, \dots, S_k)$  по информационным мерам отдельных параметров:

$$a_{\delta_j, \varphi_k} = a_{\delta_j, S_1} + a_{\delta_j, S_2} + a_{\delta_j, S_2 / S_1} + \dots + a_{\delta_j, S_k / S_1, \dots, S_{k-1}}, \quad (7)$$

где  $a_{\delta_j, S_k / S_1, \dots, S_{k-1}} = \lg \frac{P(\delta_j / S_1 \dots S_k)}{P(\delta_j / S_1, \dots, S_{k-1})}$ .

Формированию каждого  $\Phi_i$ -го процесса предшествует возникновение необходимого и достаточного условий. Первое – вложенность потенциальных зон  $\Omega(\varphi_i)$  одновременного протекания всех процессов:

$$\Omega(\varphi_i) = \Omega_0(\varphi_0) \subset \Omega_1(\varphi_1) \subset \dots \subset \Omega_{i-1}(\varphi_{i-1}). \quad (8)$$

Это условие означает, что энергетический источник для формирования  $\Phi_i$ -го процесса должен обеспечиваться изменением потенциалов  $(i-1)$  уровней процессов.

Достаточное условие ограничивает пространственные размеры и определяет местоположение формирования  $\Phi_i$ -го процесса; возникновение нового процесса возможно только в такой зоне, в которой значения  $\varphi_i$   $(i-1)$  потенциалов процессов находятся в определенных пределах:

$$\Omega_i(\varphi_i) = \bigcap_{i=0}^{i-1} \Omega_i, \left( \overset{\vee}{\varphi_i} < \varphi_i < \overset{\wedge}{\varphi_i} \right), \quad (9)$$

где  $\overset{\vee}{\varphi_i}$  и  $\overset{\wedge}{\varphi_i}$  – соответственно верхняя и нижняя границы значений потенциалов процессов. Нарушение этого условия неизбежно сопровождается затуханием  $\Phi_i$ -го процесса. Источник  $g_i$  формирования  $\Phi_i$ -го процесса определяется как разность энергий (8) и характеризует внутреннюю самоорганизацию термодинамического ансамбля процессов:

$$g_i = - \sum_{k, j=0}^n \left[ \tau_{jn}^* \frac{\partial \varphi_i}{\partial t} - \tau_{ki}^* \frac{\partial \varphi_k}{\partial t} \right], \quad i = \overline{1, n}. \quad (10)$$

Из условия (10) следует, что при отсутствии  $k$ -х процессов ( $k > i$ ), источник протекания  $\Phi_i$ -го процесса положителен (формирование ядра  $i$ -го процесса – возникновение очага болезни). При ликвидации  $j$ -х процессов ( $j < i$ ) источник протекания  $i$ -го процесса отрицателен (затухание процесса – процесс выздоровления). В случае  $g_i > 0$  при условии существования  $j$ -х и  $k$ -х процессов наступает стадия устойчивого

протекания  $\Phi_i$ -го процесса. Одновременно положительность всех источников  $g_i > 0$  для термодинамического ансамбля процессов возможна только в изолированной системе. В открытых системах возможен противоположный процесс, связанный с самоликвидацией термодинамических потенциалов при отрицательных значениях источников энергии  $g_i < 0$ . Такой процесс носит название самодезорганизации (хаотизации) [7]. Термодинамические модели отражают зависимости между внешними и внутренними параметрами объектов [8]. В качестве внутренних параметров могут использоваться термодинамические силы, а в качестве внешних – энтропия или энергия взаимодействия объекта с внешней средой. В таких моделях интегральной характеристикой индивидуальной ненадежности является величина накопленной энтропии физической структуры объекта. Изменение энтропии  $\frac{d_i S}{dt}$  может служить интегральным по объему и механизмам физико-химических процессов базовым термодинамическим критерием потенциальной ненадежности. Эта величина может быть интерпретирована как скорость необратимого изменения интегрального состояния или интегральных параметров объекта для реальных условий его взаимодействия с внешней средой:

$$\frac{d_i S}{dt} \sim \frac{dy}{dt}, \quad (11)$$

где  $y$  – интегральные параметры или термодинамические функции состояния объекта.

Интегральный процесс изменения во времени энтропии может быть представлен в виде:

$$\frac{d_i S}{dt} = \sum_k B_k \exp\left(-\frac{t}{\tau_k}\right), \quad (12)$$

где  $B_k$  – коэффициенты, определенные для данного объекта из заданных внешних условий;  $\tau_k$  – время релаксации необратимых процессов.

В неравновесной термодинамике существует так называемый принцип «мозаичности», который состоит в разделении системы на составляющие ее физические или химические элементы и соответствующие элементарные процессы [7]. Для каждого «мозаичного» элемента устанавливается соотношение между скоростью протекания процесса и контролирующими термодинамическими силами. Затем скорости различных элементарных процессов различным образом комбинируют друг с другом. Простейшим эволюционным уравнением является выражение вида [8]

$$q = \alpha \cdot \frac{dq}{dt}, \quad (13)$$

которое используется в химии для описания автокаталитических реакций, когда скорость  $\frac{dq}{dt}$  образования некоторого вещества пропорциональна его концентрации  $q$ . В биологии коэффициенту  $\alpha$  придают смысл параметра порядка, представляя его как разность между скоростью продуцирования и скоростью распада клеток. Применительно к СНС, к которым можно отнести и организм человека, в качестве скорости  $\frac{dq}{dt}$  следует понимать скорость изменения конкретного параметра, непосредственно определяющего уровень надежности его функционирования. Очевидно, что таких параметров в каждой из подсистем организма человека достаточно много, и они оказывают непосредственное влияние не только на функционирование самой подсистемы, но и влияют друг на друга и в целом на весь организм.

Синергетическим системам свойственна стохастичность, то есть их временную зависимость нельзя предсказать с абсолютной точностью. Поэтому вводится член  $f(t)$ , учитывающий флуктуацию сил [8]:

$$\frac{dq}{dt} = \alpha \cdot q + f(t). \quad (14)$$

В случае СНС предлагаемый подход требует введения многих переменных – *переменных состояний*  $q_1, q_2, \dots, q_n$ . Рассмотрим множество  $\Omega_n$  всех  $2^n$  возможных состояний  $\omega = (p_1, \dots, p_i, \dots, p_n)$  системы  $S$ , характеризующих нормальное состояние организма (состояние здоровья) и нарушение функционирования элементов (подсистем) организма человека. Функцию  $p_i$  представим как бернуллиеву переменную, которая в соответствии с двумя возможными исходами может принимать только 2 значения:  $p_i = 1$ , если  $S_i$  находится в состоянии  $A_i^p$ , и  $p_i = 0$ , если  $S_i$  находится в состоянии  $A_i^o$ . Разобьем  $\Omega_n$  на две части:  $\Omega_1$  и  $\Omega_0$ . Пусть  $\Omega_1$  представляет собой множество «здоров», а  $\Omega_0$  – множество «болен». Тогда человек «здоров», если  $\omega \in \Omega_1$  и «болен» при  $\omega \in \Omega_0$ .

Пусть состояния  $\omega_i$  во времени представляют собой последовательность независимых состояний с вероятностью исходов  $p_i = P(p_i = 1)$ ;  $p_i' = 1 - p_i = P(p_i = 0)$ ;  $i = (\overline{1, n})$  каждого  $i$ -го состояния. Тогда, в общем случае, вероятность «здоров» или «болен»  $P'$  состояний человека в момент времени  $t$  будет иметь вид [8]:

$$P = P(\omega \in \Omega_1) = \sum_{\omega \in \Omega_1} \prod_{i=1}^n P_i^{P_i} \cdot P_i'^{(1-P_i)}. \quad (15)$$

Для оценки надежности подсистемы организма человека  $m$ -го порядка нет необходимости анализировать структуру взаимодействия ее подсистем и определять их изменения в течение всего периода прошедшей жизни. Достаточно проанализировать поведение соотношения (15) при условии  $n \rightarrow \infty$ :

$$\begin{cases} P > 1 - \exp(-\bar{k}_n n) \text{ при } k_p > \bar{p}, \\ P < 1 - \exp[-\underline{k}_n n + 0 \cdot (\ln n)] \text{ при } k_p > \underline{p}, \\ P < \exp(-\bar{k}_n n) \text{ при } k_p < \bar{p} \end{cases} \quad (16)$$

где  $k_n$  – коэффициент надежности;  $k_p = m/n$  – коэффициент работоспособности;  $m$  – число работоспособных подсистем (элементов),  $n$  – общее число подсистем организма человека;  $\bar{p}$  – средняя вероятность надежного функционирования подсистем (элементов); выражение « $0 \cdot (\ln n)$ » означает величину высшего порядка малости по отношению к другим членам уравнения;

$\underline{p} = p / \left( 1 + \underset{\vee}{p - \hat{p}} \right)$  – граничная вероятность безотказной работы подсистем;  $\bar{k} = k(k_p / \bar{p})$  – функции, определяемые соотношением

$$k = k_p \ln(k_p / p) + (1 - k_p) \cdot \ln(1 - k_p) \cdot (1 - p) \geq 0. \quad (17)$$

Выражение (16) является синергетической моделью состояния здоровья человека как СНС. Очевидно, что функционирование организма человека будет надежным, если значение коэффициента работоспособности  $k_p$  превышает некоторую среднюю вероятность работоспособного состояния ее подсистем ( $k_p \geq \bar{p}$ ). Если  $k_p < \bar{p}$  и ситуация в окружающей среде и жизни изменяется независимо от человека, то надежность и эффективность функционирования организма человека стремится к «*болезни*» и наоборот. Определение приемлемого значения коэффициента работоспособности  $k_p$  – достаточно сложная задача, решение которой возможно только после детального исследования организма конкретного человека и взаимодействия его с окружающей средой.

#### **Выводы.**

1. Организм человека в современном представлении является СНС, функционирование которой происходит при непосредственном и активном участии его самого и окружающей среды. Вследствие этого организм человека – это психоинформационная система, обладающая положительными и отрицательными обратными связями, а также стохастичностью и непредсказуемостью.

2. Организм человека рассматривается как нелинейная диссипативная СНС, состоящая из подсистем и отдельных органов, которые формируют их структурные кластеры.

3. Отказы подсистем организма человека, являясь случайными, в совокупности образуют последовательность зависимых и независимых событий. Это происходит в том случае, когда нарушение функционирования элемента (подсистемы) вызывает неуправляемое движение материальных потоков. Это неуправляемое движение, вызванное отказом первого элемента, оказывает воздействие на другие элементы в качестве внешней нагрузки (возмущения). Если ее величина превышает предельно допустимый уровень для следующего элемента, то происходит его отказ. Так проявляется зависимость надежности одного элемента от надежности другого. При этом отказы приобретают лавинообразный характер, вовлекая все новые элементы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Червоный А.А. Надежность сложных систем / Червоный А.А., Лукьященко В.И. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1976. – 288с.
2. Лысенко О.В. Системно-синергетический подход в медицинских исследованиях / Лысенко О.В., Лысенко В.М. – ЦНИЛ НМАПО им. Шупика, г, Киев, (essuir.sumdu.edu.ua / bitstream / 123456789 / 14559 / 1 / Lysenko.pdf).
3. Марченко В.А. Информационно-синергетический подход к анализу медицинских данных / В.А.Марченко // Медицинская информатика – 2009. – №2 – С.20-22, ([http://ics.ru/media/2010/N20\\_06.pdf](http://ics.ru/media/2010/N20_06.pdf)).
4. Хакен Г. Синергетика: Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах / Г.Хакен. – М.: Мир, 1985. – 419с.
5. Хакен Г. Тайны природы. Синергетика: учение о взаимодействии / Г. Хакен — Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. – 320с.
6. Николис Г. Познание сложного / Николис Г., Пригожин И.Н. – М.: Мир, 1990. – 248с.
7. Надежность и эффективность в технике: справочник в 10 т. / [под ред. И.В.Апполонова]. – Т. 7: Качество и надежность в производстве. – М.: Машиностроение, 1989. – 280с.
8. Флейшман Б.С. Основы системологии / Б.С.Флейшман. – М.: Радио и связь, 1982. – 368с.

*Поступила в редколлегию 21.02.2013.*