УДК 615.047:612.014

DOI: 10.17277/voprosy.2016.01.pp.009-018

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА НА ОСНОВЕ ТЕСТОВЫХ СИСТЕМ

М. К. Ахлаков, М. А. Мунассар

*ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В. И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург*

Рецензент д-р физ.-мат. наук, профессор П. Г. Назаров

Ключевые слова: биологический объект; диагностика; кодирование информации; матрица; минимизация; таблица функций изменения состояния.

Аннотация: Рассмотрены методы преобразования информации, используемой в процессах подготовки и проведения диагностического эксперимента по критериям, связанным с основными параметрами биологических объектов. Оптимизация процессов проверки состояния биологического объекта связывается с уменьшением длины теста при сохранении глубины и полноты обнаружения отклонений параметров объекта от нормированных значений.

Для оптимизации процессов проверки состояния биологического объекта важным моментом является уменьшение длины теста при сохранении глубины и полноты обнаружения отклонений параметров объекта от нормированных значений. В процессе выполнения диагностического эксперимента необходимо минимизировать время поиска отклонений путем сокращения диагностической информации и представления ее в форме, удобной для реализации алгоритмов диагностирования [1, 2].

Задача минимизации диагностической информации определяется возможностью выбора из общей таблицы функций изменения состояния биообъекта той ее части, которая позволяет сохранить качество диагностической информации при значительном сокращении объема. Оценкой глубины диагностирования служит его разрешающая способность.

Ахлаков Махмудгаджи Камелович – кандидат технических наук, доцент кафедры биотехнических систем; Мунассар Мохаммед Али – аспирант кафедры биотехнических систем, ФГАОУ ВО СПбГЭТУ «ЛЭТИ»; e-mail: al-munassar@yandex.ru, г. Санкт-Петербург.

Цель исследования: нахождение пути оптимизации объема диагностической информации при комплексной оценке состояния биологического объекта.

Материалы и методы исследования: При переходе от таблицы функций изменения состояния биообъекта к таблице минимальных векторов изменения состояний, являющейся таблицей меньшего объема диагностической информации, можно успешно решать задачи минимального кодирования этой информации.

Для построения тестов проверки нормированных значений и поиска отклонений используется таблица функций отклонений [3]. Обозначим $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ – множество всех возможных элементарных проверок биологического объекта. При этом будем полагать, что выходная реакция объекта на каждую из элементарных проверок не зависит от того, в какой последовательности элементарные проверки подаются биологическим объектом. Пусть $S = \{s_0, s_1, s_2, \dots, s_r\}$ – множество всех возможных функциональных состояний биологического объекта; s_0 – нормальное состояние исследуемого объекта. Множество контролируемых выходных параметров биологического объекта $W = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}$.

Таблица функций изменений состояния объекта содержит матрицу нормального состояния M_0 и матрицы $M_1, M_2, \dots, M_r$ биологического объекта с отклонениями от нормированных значений из множества S . Строки матриц соответствуют элементарным проверкам из множества E , а столбцы – контролируемым выходам из множества W . На пересечении i строки и j столбца k матрицы проставляется значение $a_{i,j,k}$ сигнала на выходе w_j объекта с отклонением s_k при элементарной проверке e_i [4].

Структура таблицы приведена на рис. 1.

Для задания информации о поведении объекта рассмотрим следующие типы таблиц функций изменения состояний:

- двоичные таблицы без запоминания данных;
- троичные таблицы с запоминанием данных.

В двоичных таблицах функций изменения состояний $a_{i,j,k}$ может принимать только значение 0 или 1.

Проверку нормального состояния и поиск отклонений с использованием двоичных таблиц выполняем следующим образом:

1. На биологический объект воздействуем элементарными проверками из множества E .

E	S						
	M_0	M_1	...	M_k			M_r
E_1				$a_{1,1,k}$	...	$a_{1,m,k}$	
E_2							
...							
E_n				$a_{n,1,k}$		$a_{n,m,k}$	

Рис. 1. Структура таблицы функций изменения состояний биологического объекта

2. Фиксируется результат проверки в виде матрицы M_r . Так же как в матрицах $M_0, M_1, \dots, M_r$, строки M_x соответствуют элементарным проверкам, а столбцы – контролируемым выходам. При этом предполагаем, что сигналы, измеренные на выходах проверяемого объекта, могут иметь значение только 0 или 1, т.е. M_x , так же как $M_0, M_1, \dots, M_r$ является двоичной матрицей.

3. Если $M_x = M_0$, то объект находится в нормальном состоянии. В противном случае выполняется сравнение M_x с матрицами $M_1, \dots, M_r$.

4. Отклонения, матрицы которых совпадают с M_x , составляют список подозреваемых отклонений (СПО). Соответственно фактические отклонения показателей объекта содержатся в СПО.

Сформулированный порядок выполнения проверки нормального состояния объекта и поиска его отклонений состояния предполагает, что все состояния проверяются (обнаруживаются) на множестве элементарных проверок E .

Пусть $T \subseteq E$ – некоторое подмножество элементарных проверок из E . Обозначим $M(T)$ матрицу, получаемую из M путем исключения строк, соответствующих элементарным проверкам, не принадлежащим T .

С учетом этого сформулируем следующие определения:

1) отклонение $s_i \in S$ проверяется на множестве элементарных проверок $T \subseteq E$, если

$$M_0(T) \neq M_i(T);$$

2) отклонения s_i и s_j различаются на множестве элементарных проверок $T \subseteq E$, если

$$M_i(T) \neq M_j(T);$$

3) отклонения s_i и s_j называются различимыми, если

$$M_i \neq M_j,$$

и неразличимыми, если

$$M_i = M_j;$$

4) множество $T_k \subseteq E$ элементарных проверок называется проверяющим тестом объекта, если

$$M_0(T_k) \neq M_i(T_k), \quad i = 1, 2, \dots, r;$$

5) множество $T_d \subseteq E$ элементарных проверок называется тестом поиска отклонений параметров объекта, если для любой пары i, j ($i, j = 0, 1, 2, \dots, r, i \neq j$), где $M_i \neq M_j$ выполняется условие

$$M_i(T_d) \neq M_j(T_d);$$

6) множество $T_d \subseteq E$ элементарных проверок, удовлетворяющих условиям любого из двух последних определений, называется тупиковым тестом, если удаление из T любой элементарной проверки приводит к тому, что T перестает быть тестом;

7) минимальным тестом называется тупиковый тест минимальной длины.

Таблица 1

Двоичная таблица с тремя выходами w_1, w_2, w_3

E	M_0	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7
e_1	010	010	111	010	100	010	101	010
e_2	101	011	101	000	101	000	101	000
e_3	110	110	001	110	110	010	110	010
e_4	010	111	010	010	111	010	111	010
e_5	001	001	110	100	001	001	001	001

Проверяющий тест (табл. 1) представляет собой совокупность строк таблицы, различающих матрицу M_0 от всех остальных. Тестом поиска отклонений является совокупность строк, различающих каждую пару матриц таблицы.

Сравним поочередно матрицу M_0 со всеми остальными и результаты сравнения сведем в табл. 2. На пересечении i строки и j столбца проставляется 1, если отклонение s_i проверяется на элементарной проверке e_j . В противном случае клетка не заполняется.

Рассмотрим общий подход к определению тупиковых тестов на примере построения проверяющих:

1) для каждого i столбца таблицы отклонений (ТО) определим множество строк L_i , в которых в i столбце имеется 1;

2) затем составим выражение $\Pi \Sigma_i$ (обозначаемое далее $\Pi \Sigma$), где Σ_i – логическая сумма элементов из множества L_i ; $\Pi \Sigma_i$ – логическое произведение логических сумм Σ_i ;

3) полученное выражение $\Pi \Sigma$ приведем к выражению $\Sigma \Pi$ с применением операций алгебры логики. При этом с элементами из L_i (номера строк) используем преобразования вида:

$$AA = A; A \vee A = A; A \vee AB = A; (A \vee B)(A \vee C) = A \vee BC;$$

4) элементы, входящие в одну конъюнкцию $\Sigma \Pi$, образуют тупиковый тест. Конъюнкции с наименьшим числом элементов определяют минимальные тесты.

Для таблицы 2 имеем:

$$\Sigma_1 = 2 \vee 4; \Sigma_2 = 1 \vee 3 \vee 5; \Sigma_3 = 2 \vee 5; \Sigma_4 = 1 \vee 4; \Sigma_5 = 2 \vee 3; \Sigma_6 = 1 \vee 4;$$

$$\Pi \Sigma = (2 \vee 4)(1 \vee 3 \vee 5)(2 \vee 5)(1 \vee 4)(2 \vee 3)(1 \vee 4) = 1 - 2 \vee 2 - 3 - 4 \vee 2 - 4 - 5 \vee 3 - 4 - 5 = \Sigma \Pi.$$

Таблица 2

Таблица отклонений

	1	2	3	4	5	6
1		1		1		1
2	1		1		1	
3		1			1	
4	1			1		1
5		1	1			

Каждая конъюнкция последнего выражения определяет тупиковый тест. Конъюнкция 1–2 соответствует минимальному проверяющему тесту $T_k = \{e_1, e_2\}$. Для определения тупиковых тестов поиска отклонений построим табл. 3, где столбцы соответствуют парам матриц i, j ($i, j = 0, 1, \dots, 6; i \neq j$) табл. 1, строки – элементарным проверкам.

Таблица 3

Определение тупиковых тестов поиска отклонений

E	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1		1		1		1	1		1		1
2	1		1		1		1	1	1	1	1
3		1			1		1			1	
4	1			1		1	1	1		1	
5		1	1				1	1			

E	2,3	2,4	2,5	2,6	3,4	3,5	3,6	4,5	4,6	5,6
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	1	1	1	1	1		1	1	1	1
2	1		1		1		1	1		1
3	1	1	1	1		1		1		1
4		1		1	1		1	1		1
5	1	1	1	1	1	1	1			

На пересечении k строки и i столбца (см. табл. 3) проставляется 1, если i пара матриц таблицы 1 различается на k элементарной проверке.

По табл. 3 (так же как по табл. 2) составим выражение $\Pi\Sigma$ и переведем его в выражение $\Sigma\Pi$. Опустив промежуточные выкладки, получим:

$$\Sigma\Pi = 1 - 2 \vee 1 - 3 - 4 - 5.$$

Для задания информации о поведении биологического объекта с запоминанием данных во всех его состояниях используются троичные таблицы. Они включают в себя матрицы нормального и отклоненного состояний объекта. Элемент матрицы может принимать значение 0, 1 или x .

Введем операцию пересечения троичных матриц ($\cap$ -операцию). Пусть имеются матрицы A и B одинаковой размерности. Результатом пересечения матриц A и B является матрица C ($C = A \cap B$), где элементы $c_{i,j}$ определяются $\cap$ -операцией над $a_{i,j}$ и $b_{i,j}$, заданной в табл. 5.

Будем говорить, что:

1) $C = \emptyset$ если существует $c_i = \emptyset$;

2) $A \subset B$ (A включено в B), если A может быть получена из B путем фиксации всех или некоторых символов x матрицы B константами 0 и 1, например:

$$C = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & x \end{pmatrix} \cap \begin{pmatrix} 1 & x \\ 1 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \emptyset & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} = \emptyset,$$

Таблица 4

Троичная таблица

E	M_0	M_1	M_2	M_3	M_4
e_1	101	xx0	1x1	100	x0x
e_2	0x1	1x1	01x	01x	01x
e_3	x10	11x	101	1x0	1x0
e_4	010	0x0	0x1	x1x	0x1
e_5	10x	1x0	x	x11	x11

Таблица 5

Значения элементов c_{ij}
для определения
 $\cap$ -операции над a_{ij} и b_{ij}

	0	1	x
0	0	$\emptyset$	0
1	$\emptyset$	1	1
x	0	1	x

$$A \subset B, \text{ где } A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & x \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} x & 1 \\ 1 & x \end{pmatrix}.$$

Отклонение $s_1 \in S$ проверяется на множестве элементарных проверок $T \subseteq E$, если $M_0(T) \cap M_i(T) = \emptyset$.

Рассмотрим проверку отклонений s_i табл. 4 множеством $E = \{e_1, \dots, e_5\}$

$$M_0 \cap M_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & x & 1 \\ x & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & x \end{pmatrix} \cap \begin{pmatrix} x & x & 1 \\ 1 & x & 1 \\ 1 & 1 & x \\ 0 & x & 0 \\ 1 & x & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \emptyset \\ \emptyset & x & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \emptyset.$$

Так как $M_0 \cap M_1 = \emptyset$, то отклонение S_1 проверяется на множестве E . При этом оно проверяется на первой элементарной проверке по выходу ω_3 и на второй элементарной проверке по выходу ω_1 . Пусть на множестве E элементарных проверок проверяются все отклонения объекта. Такому условию удовлетворяет табл. 4. Тогда проверку нормального состояния и поиск отклонений с использованием троичной таблицы естественно организовать следующим образом:

1) объект проверяется множеством E и результат фиксируется в виде матрицы $\tilde{M}_x = M_x$, если $\tilde{M}_x \subseteq M_0$, то биологический объект находится в нормальном состоянии;

2) в противном случае выполняется поиск отклонений от нормы. Для этого поочередно определяется включение матрицы $\tilde{M}_x$ в матрицы $M_1, \dots, M_r$. Отклонения, в матрицы которых включена матрица $\tilde{M}_x (\tilde{M}_x \subseteq M_i)$, включаются в СПО.

1. Допустим, что в результате проверки получена матрица

$$\tilde{M}_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

так как $\tilde{M}_x \subset M_0$, то объект находится в нормальном состоянии.

2. Пусть результатом проверки объекта является матрица

$$\tilde{M}_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}.$$

3. Так как $\tilde{M}_x \subseteq M_0$, то параметры объекта отклонены от нормальных значений.

Определяя включение $\tilde{M}_x$ в M_i ($i = 1, 2, 3, 4$), получаем: $\tilde{M}_x \subset M_3$, $\tilde{M}_x \subset M_4$. Следовательно, в биологическом объекте имеются отклонения S_3 или S_4 .

4. Предположим, в объекте примера имеются отклонения S_3 . Если при этом в результате проверки объекта будет получена матрица, то в СПО войдут только отклонения S_3 . Если в результате проверки будет получена матрица

$$\tilde{M}_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix},$$

то СПО составят отклонения S_3 и S_4 .

Отклонения S_i и S_j различаются на множестве элементарных проверок $T \subseteq E$, если $M_i(T) \cap M_j(T) = \emptyset$.

Отклонения s_i и s_j называются различными, если $M_i \cap M_j = \emptyset$, и неразличимыми, если $M_i = M_j$.

Отклонения s_i и s_j называются условно различными, если $M_i \neq M_j$ и $M_i \cap M_j = \emptyset$. Примером различных отклонений являются s_2 и s_3 , условно различных – s_3 и s_4 .

Пусть на множестве E проверяются все отклонения объекта. Для этого случая введем следующее определение.

Множество $T \subseteq E$ называется проверяющим тестом объекта, если $M_0(T_k) \cap M_i(T_k) = \emptyset$, для каждого $i = 1, 2, \dots, r$. Обозначим через таблицы функций изменения состояния биологического объекта (ТФИСБО) T часть таблицы, получаемую из строк, соответствующих элементарным проверкам и множествам $T \subseteq E$.

Множество $T_d \subseteq E$ называется тестом поиска отклонений объекта, если при любом результате проверки списки подозреваемых отклонений, получаемые по ТФИСБО T и ТФИСБО T_d , совпадают.

Обозначим через $M_{0,i}$ результат – операции над матрицами M_0 и M_i . Построим таблицу, содержащую все матрицы $M_{0,i}$. Для рассматриваемого примера такая таблица приведена в виде табл. 6.

Таблица 6

Матрицы $M_{0,i}$

E	$M_{0,1}$	$M_{0,2}$	$M_{0,3}$	$M_{0,4}$
1	1 0 $\emptyset$	1 0 1	1 0 $\emptyset$	1 0 1
2	$\emptyset$ x 1	0 1 1	0 1 1	0 1 1
3	1 1 0	1 $\emptyset$ $\emptyset$	1 1 0	1 1 0
4	0 1 0	0 1 $\emptyset$	0 1 0	0 1 $\emptyset$
5	1 0 0	1 0 0	1 $\emptyset$ 1	1 $\emptyset$ 1

Исходя из табл.6, построим ТО объекта: в клетке на пересечении i строки и j столбца проставляется 1, если в i строке матрицы $M_{0,i}$ есть символ $\emptyset$. В противном случае клетка не заполняется. Таблица отклонений объекта, рассматриваемого в качестве примера, приведена в табл. 7.

Таблица 7
Отклонения объекта

	1	2	3	4
1	1		1	
2	1			
3		1		
4		1		1
5			1	1

Далее задача построения тупиковых проверяющих тестов решается так же, как и для двоичных ТФИСБО:

$$\Sigma_1 = 1 \vee 2; \Sigma_2 = 3 \vee 4; \Sigma_3 = 1 \vee 5; \\ \Sigma_{41} = 4 \vee 5;$$

$$\Pi\Sigma = (1 \vee 2)(3 \vee 4)(1 \vee 5)(4 \vee 5) = (1 \vee 2 - 5) \times \\ \times (4 \vee 3, 5) = 1 - 4 \vee 1 - 3 - 5 \vee 2 - 4 - 5 \vee 2 - 3, 5 = \Sigma\Pi.$$

Задача построения тупиковых тестов поиска отклонений решается несколько сложнее. Прежде чем перейти к методу ее решения, рассмотрим более простую задачу, которая заключается в определении множества элементарных проверок, на котором пара отклонений s_i и s_j различается так же как и на множестве всех элементарных проверок.

Обозначим через $S_1, S_2, \dots, S_r$ списки подозреваемых отклонений, получаемые в результате диагностирования объекта при наличии в нем отклонений $s_1, s_2, \dots, s_r$ соответственно. Тогда необходимым и достаточным условием того, что $T_d \subseteq E$ есть тест поиска отклонений, является включение s_i в S_i ($i, j = 1, 2, \dots, r$) по ТФИСБО T_d лишь в тех случаях, когда s_i включается в S_j по ТФИСБО.

Формализуем процесс определения $\Sigma_{i,j}(\Sigma_{j,i})$. Для этого введем $\cap$ -операцию над матрицами A и B . Матрица $C = A \cap B$, где элементы c_{ij} определяются $\cap$ -операцией над $a_{i,j}$ и $b_{i,j}$, заданной табл. 8. Результат $M_i \cap M_j$ обозначим через $M_{i,j}$ ($i, j = 1, 2, \dots, r, i \neq j$). Результат применения $\cap$ -операции над матрицами $M_{i,j}$ таблице 4 приведен в табл. 9.

Введем обозначения: $N_{i,j}$ – множество номеров строк в $M_{i,j}$, имеющих 1; $L_{i,j}$ – множество номеров строк в $M_{i,j}$, имеющих y ; $P_{i,j}$ – множество номеров строк в $M_{i,j}$, имеющих z .

Тогда:

$$\Sigma_{i,j} = \Sigma_{j,i} = \vee e_k, \text{ если } N_{i,j} = \emptyset;$$

$$\Sigma_{i,j} = \wedge e_k, \text{ если } N_{i,j} = \emptyset; \quad \Sigma_{j,i} = \wedge e_k, \text{ если } N_{i,j} = \emptyset,$$

где $k \in N_{i,j}; k \in L_{i,j}; k \in P_{i,j}$.

Анализируя табл. 9, получаем:

$$\Sigma_{1,2} = \Sigma_{2,1} = 1 \vee 2 \vee 3 \vee 4; \Sigma_{1,3} = \Sigma_{3,1} = 2 \vee 5; \Sigma_{2,4} = \Sigma_{4,2} = 3 \vee 5; \Sigma_{3,4} = 1, 4;$$

Таблица 8

Значения элементов c_{ij}
для определения
 $\cap$ -операции над a_{ij} и b_{ij}

	0	1	x
0	0	1	y
1	1	0	Y
X	Z	z	0

Таблица 9

Результаты $\cap$ -операции
над матрицами $M_i M_j$ (табл. 4)

E	$M_{1,2}$	$M_{1,3}$	$M_{1,4}$	$M_{2,3}$	$M_{2,4}$	$M_{3,4}$
1	$z01$	$zz0$	$0zy$	$0z1$	$yz y$	$Y0 y$
2	$1zy$	$1zy$	$1zy$	000	000	000
3	$01z$	$0yz$	$0yz$	$0y1$	$0y1$	000
4	001	$yz y$	001	$yz y$	000	$Zy z$
5	$yz0$	$yz1$	$yz1$	011	011	000

$$\Sigma_{1,4} = \Sigma_{4,1} = 2 \vee 4 \vee 5; \Sigma_{4,3} = 4;$$

$$\Sigma_{2,3} = \Sigma_{3,2} = 13 \vee 5;$$

$$\Pi \Sigma = (2 \vee 5)(3 \vee 5)1 \cdot 4 = 1 \cdot 4 \cdot 5 \vee 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4.$$

Задачи построения тестов относительно множества T элементарных проверок решаются следующим образом:

1) определяются с использованием $\cap$ -операций все матрицы $M_{ij} = (i, j = 0, 1, \dots, r, i \neq j)$;

2) выражение $\Sigma_{0,j} \Sigma_{i,0}$ задает все тупиковые проверяющие тесты относительно T ;

3) выражение $\Pi \Sigma_{i,j} (i, j = 0, 1, \dots, r, i \neq j)$ определяет все тупиковые тесты поиска отклонений относительно T .

В таблице 10 представлены функции отклонений объекта для множества T , результаты $\cap$ -операции над матрицами ТФИСБО – в табл. 11:

$$\Sigma_{0,1} = 1; \Sigma_{1,0} = 3; \Sigma_{0,2} = \Sigma_{2,0} = 2 \vee 4; \Sigma_{0,3} = \Sigma_{3,0} = 1 \vee 5;$$

$$\Sigma_{0,4} = \Sigma_{4,0} = 1 \vee 2 \vee 5; T_k = 1 \cdot 3(2 \vee 4) = 1 \cdot 2 \cdot 3 \vee 1 \cdot 3 \cdot 4; \Sigma_{1,2} = \Sigma_{2,1} = 2 \vee 3 \vee 4;$$

$$\Sigma_{1,3} = \Sigma_{3,1} = 5; \Sigma_{1,4} = \Sigma_{4,1} = 2 \vee 5; \Sigma_{2,3} = \Sigma_{3,2} = 3; \Sigma_{2,4} = \Sigma_{4,2} = 3; \Sigma_{3,4} = \emptyset;$$

$$\Sigma_{4,3} = 2; T_d = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 5.$$

Таким образом, при минимизации тестовой информации процессов диагностирования биологического объекта необходимо стремиться к тому, чтобы основные показатели качества принимаемых решений приближались к наилучшим параметрам, характеризующим исходную информацию в виде тестовой информации состояния биологического объекта.

В статье предложены пути оптимизации объема диагностической информации при комплексной оценке состояния биологического объекта и представленного в виде таблицы функций изменения его параметров. В качестве критерия оценки глубины диагностирования рассматривается его разрешающая способность. При этом, формализованной моделью таблицы функций изменения состояния биообъекта становится таблица минимальных векторов изменения состояний. Для реализации данного подхода определяется оператор кодирования.

Таблица10

Функции отклонений объекта для множества T

E	M_0	M_1	M_2	M_3	M_4
1	0	x	x	1	1
2	1	1	0	X	0
3	x	0	1	0	0
4	0	0	1	X	X
5	1	1	x	0	0

Таблица11

Результаты $\cap$ -операций над матрицами ТФИСБО

E	$M_{0,1}$	$M_{0,2}$	$M_{0,3}$	$M_{0,4}$	$M_{1,2}$	$M_{1,3}$	$M_{1,4}$	$M_{2,3}$	$M_{2,4}$	$M_{3,4}$
1	y	y	1	1	0	Z	z	z	z	0
2	0	1	y	1	1	Y	1	y	0	Z
3	z	z	z	z	1	0	0	1	1	0
4	0	1	y	y	1	Y	y	y	y	0
5	0	y	1	1	y	1	1	z	z	0

Список литературы

1. Ахлаков, М. К. Активизация регуляторных способностей организма человека информационной обратной связью / М. К. Ахлаков, М. А. Мунассар // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2015. – Т. 2. – С. 59 – 64.
2. Ахлаков, М. К. Методы минимизации тестовой информации процессов диагностики состояния биологического объекта / М. К. Ахлаков, К. А. Щербаков // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2006. – № 1. – С. 57 – 67.
3. Computer-Aided Diagnostic System to Characterize CT Focal Liver Lesions: Design and Optimization of a Neural Network Classifier / M. A. Gletsos [et. al.] // IEEE Transactions, on Information Technology in Biomedicine. – 2003. – Vol. 7. No. 3. – P. 153 – 162.
4. Diagnosis: A Telematics Enabled System for Medical Image Archiving, Management and Diagnosis Assistance / S. G. Mougiakakou [et. al.] // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2009. – No. 58. – P. 1265 – 1290.

References

1. Akhlakov M.K., Munassar M.A. [Activation of the human body of regulatory powers of information feedback], *Izvestiya SPbGETU «LETI»* [News ETU “LETI”], 2015, vol. 2, pp. 59-64. (In Russ.)
2. Akhlakov M.K., Shcherbakov K.A. [Methods of minimizing textual information processes diagnose the state of a biological object], *Izvestiya SPbGETU «LETI»* [News ETU “LETI”], 2006, no. 1, pp. 57-67. (In Russ.)
3. Gletsos M.A., Mougiakakou S.G., Matsopoulos G.K., Nikita K.S., Nikita A.S. Computer-Aided Diagnostic System to Characterize CT Focal Liver Lesions: Design and Optimization of a Neural Network Classifier, *IEEE Transactions, on Information Technology in Biomedicine*, 2003, vol. 7, no. 3, pp. 153-162.
4. Mougiakakou S.G., Valavanis I.K., Mouravliansky N.A., Nikita A.S., Nikita K.S. Diagnosis: A Telematics Enabled System for Medical Image Archiving, Management and Diagnosis Assistance, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2009, no. 58, pp. 1265-1290.

Mathematical Model of Evaluating Functional State of Organism Using Test Systems

M. K. Akhlakov, M. A. Munassar

St. Petersburg State Electrotechnical University “LETI”, St. Petersburg

Keywords: biological object; diagnostics; function state change table; information encoding; matrix; minimization.

Abstract: The authors considered methods of transforming information used in preparation and realization of diagnostic experiments by the criteria related to basic characteristics of biological objects. Optimization of the biological object checkup process is achieved by shortening the test while preserving its depth and completeness of detecting object parameter deviations from normalized values.

© М. К. Ахлаков, М. А. Мунассар, 2016