

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

ISSN 0135-1710

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ  
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И  
ПРИБОРЫ АВТОМАТИКИ**

**Всеукраинский межведомственный  
научно-технический сборник**

**Основан в 1965 г.**

**Выпуск 164**

Харьков  
2013

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ХАХАНОВ В.И., BAGHDADI AMMAR AWNI ABBAS, ЛИТВИНОВА Е.И., ХАХАНОВА И.В., ВРУБЛЕВСКИЙ Н.Н.</b> КУБИТНЫЕ СТРУКТУРЫ ДАННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ.....	4
<b>ГУБНИЦКАЯ Ю.С.</b> МОДЕЛИ ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ СТАТЕЙ И ОЦЕНИВАНИЯ КОМПОНОВОК ДЛЯ МЕТОДА ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛОС ИЗДАНИЯ НА ДОПЕЧАТНОЙ СТАДИИ.....	20
<b>ОКСАНИЧ А.П., КОГДАСЬ М.Г.</b> АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС «МИКРОН-1» ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СЛОЖНЫХ ФОРМ ДЕФОРМАЦИЙ ПЛАСТИН АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ.....	25
<b>БАРАННИК В.В., ТУРЕНКО С.В.</b> КОМБИНАТОРНАЯ МОДЕЛЬ ВЕКТОРА ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ КОРТЕЖЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИНФОРМАТИВНОСТИ УСЕЧЕННОЙ ЛИНЕАРИЗИРОВАННОЙ ТРАНСФОРМАНТЫ.....	33
<b>РЯБУХА Ю.Н.</b> ТРЕХМЕРНОЕ РАВНОМЕРНОЕ КОДИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕННОЙ ДЛИНОЙ КОДА.....	38
<b>КРИВОДУБСКИЙ О.А., ТЕРЕЩУК И. В.</b> МНОЖЕСТВЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И АЛГЕБРА ЛОГИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ СППР БЮДЖЕТИРОВАНИЯ.....	42
<b>РОГОЗА В.С., СЕРГЕЕВ-ГОРЧИНСКИЙ А.А.</b> ВЫБОР МЕРЫ ПОДОБИЯ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ СТОХАСТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА.....	50
<b>СТАСЮК В.В.</b> ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛІ. ІСНУЮЧІ РІШЕННЯ.....	58
<b>РЯБЦЕВ В.Г., УТКИНА Т.Ю.</b> СРЕДСТВА СЖАТИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ САМОТЕСТИРОВАНИИ И РЕМОНТЕ МИКРОСХЕМ ПАМЯТИ.....	63
<b>ЛИТВИН В.В.</b> МЕТОД ВИДОБУВАННЯ ЗНАНЬ З ПРИРОДОМОВНИХ ТЕКСТІВ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ РОЗБУДОВИ ОНТОЛОГІЙ.....	67
<b>ЧАЛЬИЙ С.Ф., БОГАТОВ Е.О.</b> МОДЕЛЬ МНОГОУРОВНЕВОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ С НАБОРАМИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРАВИЛ.....	72
<b>ЧАЛЬИЙ С.Ф., БУЦУКИНА И.Б.</b> ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ В ФОРМЕ ПРОЦЕССОВ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ В ЗАДАЧАХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ.....	76
<b>ЧАЛЬИЙ С.Ф., ШАБАНОВА-КУШНАРЕНКО Л.В.</b> РЕЛЯЦИОННАЯ МЕТАСЕТЬ ВЫДЕЛЕНИЯ НЕЯВНЫХ ЗНАНИЙ.....	80
<b>БОНДАРЕНКО М.А.</b> ОПТИМІЗАЦІЯ АНІМАЦІЙНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ПРИ РОБОТІ З WEB- ГРАФІКОЮ.....	84
<b>ШТУКИН М.В.</b> ТЕХНОЛОГИЯ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ.....	89
<b>РЕФЕРАТИ.....</b>	96
<b>ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ ДЛЯ АВТОРОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СБОРНИКА.....</b>	102

## **КУБИТНЫЕ СТРУКТУРЫ ДАННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ**

---

Предлагаются кубитные модели и методы повышения быстродействия программных и аппаратных средств анализа цифровых устройств за счет увеличения размерности структур данных и памяти. Вводятся основные понятия, термины и определения, необходимые для имплементации квантовых вычислений в практику анализа виртуальных компьютеров. Описываются результаты исследований, касающихся проектирования и моделирования компьютерных систем в киберпространстве на основе использования двухкомпонентного автомата <память, транзакции>.

### **1. Введение**

Рыночная привлекательность эмуляции квантовых методов вычислений при создании виртуальных (облачных) компьютеров (ВК) в киберпространстве основывается на использовании кубитных моделей данных, ориентированных на параллельное решение задач дискретной оптимизации за счет существенного повышения затрат памяти. Здесь не рассматриваются физические основы квантовой механики, касающиеся недетерминированного взаимодействия атомных частиц [1-4], но используется понятие кубита как двоичного или многозначного вектора для совместного и одновременного задания булеана состояний дискретной области киберпространства на основе линейной суперпозиции унитарных кодов, ориентированных на параллельное исполнение методов анализа и синтеза компонентов киберпространства.

Мотивация нового подхода для проектирования ВК связана с появлением облачных сервисов, которые представляют собой специализированные и рассредоточенные в пространстве виртуальные компьютерные системы, инвариантные по отношению к реализации в аппаратуре или в программном продукте. Иначе, сегодня уже не всегда интересно программисту как и куда имплементируются коды программных приложений, равно как и нет необходимости знать теорию проектирования цифровых автоматов на уровне вентилей, регистровых передач и использовать специфические компоненты вычислительной техники (триггеры, регистры, счетчики, мультиплексоры). Любой компонент функциональности покрывается векторной формой таблицы истинности, реализуемой с помощью памяти. Логические функции в традиционном исполнении здесь исключены из рассмотрения. От этого частично страдает быстродействие, но учитывая, что 94 процента SoC-кристалла сегодня есть память, то остальные 6 процентов также можно реализовать на памяти, что не будет критичным для большинства программных и аппаратных приложений. Поэтому для программирования эффективных виртуальных компьютеров практически полезной будет теория, основанная на двух, более высокого уровня абстракции, компонентах: память и транзакция.

Особенность организации данных в классическом компьютере заключается в том, что каждый бит, байт или другой компонент имеет свой адрес. Поэтому существует проблема в эффективной обработке ассоциации (конечного алфавита символов) равных по значимости элементов, которые не имеют порядка по определению, например, множество всех подмножеств. Решением может быть процессор, где элементарной ячейкой служит образ или шаблон универсума из  $n$  унитарно кодированных примитивов, которые используют

суперпозицию для формирования булеана  $Q = 2^n$  всех возможных состояний такой ячейки в виде множества всех подмножеств [5,6]. Прослеживается определенная аналогия по структурам данных с квантовым компьютером, где понятию кубита в классическом компьютере можно поставить во взаимно-однозначное соответствие четыре состояния:

$\{10, 01, 11, 00\}$  [7] векторного задания булеана примитивов Кантора  $A^k = \{0, 1, X, \emptyset\}$ , где  $X$  –

описывает «перепутанное», одновременно суперпозиционирующее состояние двух уровней сигналов 0 и 1. Большинство работ, в частности [1-4], рассматривает возможность эмуляции классических вычислительных процессов на квантовых компьютерах, но учитывая «реверсность» или обратимость упомянутого соответствия, далее предлагается обратное преобразование – эмуляция некоторых преимуществ квантовых вычислений на классических процессорах.

На рынке электронных технологий существует конкуренция между базами имплементации идеи [8]: 1) Гибкая (мягкая) реализация проекта связана с синтезом интерпретативной модели программной реализации устройства или в аппаратном исполнении программируемых логических устройств на основе FPGA, CPLD. Здесь преимущества заключаются в технологичности модификации проекта, недостатки – в невысоком быстродействии функционирования цифровой системы. 2) Жесткая реализация имеет ориентацию на использование компилятивных моделей при разработке программных приложений или на имплементацию проекта в кристаллах VLSI. Преимущества и недостатки жесткой реализации инверсны по отношению к мягкому исполнению проектов: высокое быстродействие и невозможность модификации. С учетом четырех изложенных базовых вариантов для реализации идеи ниже предлагаются квантовые структуры данных, ориентированные на повышение быстродействия гибких моделей программного или аппаратного исполнения проекта.

## 2. Квантовые структуры описания цифровых систем

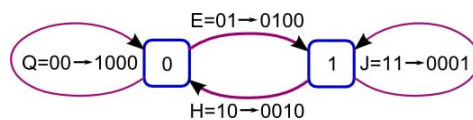
n-Кубит есть векторная форма унитарного кодирования универсума из n примитивов для задания булеана состояний  $2^{2^n}$  с помощью  $2^n$  двоичных переменных. Например, если  $n=2$ , то 2-кубит задает 16 состояний с помощью 4-х переменных. Если  $n=1$ , то кубит задает 4 состояния на универсуме из двух примитивов с помощью 2-х двоичных переменных (00,01,10,11) [1,8]. При этом допускается суперпозиция (одновременное существование) в векторе  $2^n$  состояний. Кубит (n-кубит) дает возможность использовать логические операции вместо теоретико-множественных для существенного ускорения процессов анализа дискретных систем. Далее кубит отождествляется с n-кубитом или вектором, если это не мешает пониманию излагаемого материала. Поскольку квантовые вычисления связаны с анализом кубитных структур данных, то далее частично эксплуатируется определение «квантовый» для идентификации технологий, использующих два свойства квантовой механики: параллелизм обработки и суперпозицию состояний. Синонимом кубита при задании логической функциональности является Q-покрытие (Q-вектор) [7], как унифицированная векторная форма суперпозиционного задания выходных состояний, соответствующих унитарным кодам адресов входных переменных любой логической функции.

Кубит в цифровой системе выступает в качестве формы задания структурного примитива, инвариантной к технологиям реализации функциональности (hardware, software). Более того, «квантовый» синтез цифровых систем на основе кубитных структур уже не привязан жестко к теореме Поста, определяющей условия существования функционально-полного базиса. На предлагаемом уровне абстракции n-кубит дает исчерпывающие и более широкие возможности для векторного задания любой функции из множества  $\beta(f) = 2^n$ . Формат структурного кубитного компонента цифровой схемы  $Q^* = (X, Q, Y)$  включает интерфейс (входные и выходную переменные), а также кубит-вектор Q, задающий функциональность  $Y = Q(X)$ , размерность которого определяется степенной функцией от числа входных линий  $k = 2^n$ .

Практически ориентированная новизна кубитного моделирования заключается в замене таблиц истинности компонентов цифрового устройства векторами состояний выходов. Достаточно просто можно продемонстрировать такие преобразования применительно к логическому элементу. Пусть функциональный примитив имеет следующее двоичное покрытие:

$$P = \begin{array}{|c|c|c|} \hline X_1 & X_2 & Y \\ \hline 0 & 0 & 1 \\ \hline 0 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 0 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 0 \\ \hline \end{array},$$

которое можно трансформировать путем унитарного кодирования входных векторов на основе использования двухтактного алфавита [8,9]. Изначально он был предназначен для компактного описания всех возможных переходов автоматных переменных, что иллюстрируется на рис. 1 соответствующим графом и интерпретацией символов.



Q = 00 → 1000	E = 01 → 0100	H = 10 → 0010	J = 11 → 0001
O = {Q, H} = = {00, 10} → 1010	I = {E, J} = = {01, 11} → 0101	A = {Q, E} = = {00, 01} → 1100	B = {H, J} = = {01, 11} → 0101
S = {Q, J} = = {00, 11} → 1001	P = {E, H} = = {01, 10} → 0110	C = {E, H, J} = = {01, 10, 11} → 0111	F = {Q, H, J} = = {00, 10, 11} → 1011
L = {Q, E, J} = = {00, 01, 11} → 1101	V = {Q, E, H} = = {00, 01, 10} → 1110	Y = {Q, E, H, J} = = {00, 01, 10, 11} → 1111	□ = 00 → 0000

Рис. 1. Двухтактный алфавит автоматных переменных

Здесь представлены: символы, их двоичные и унитарные коды (например, Q = 00 – 1000), предназначенные для описания двух соседних состояний автоматных переменных. Структурно алфавит представляет собой булеан (множество всех подмножеств) состояний на универсуме из четырех примитивов  $Y = \{Q, E, H, J\}$ . Унитарный код соответствует формату вектора, содержащего два кубита, с помощью которых формируются 16 символов двухтактного алфавита. Используя последний, любое покрытие функционального двухвходового логического примитива можно представить двумя кубитами или даже одним, учитывая, что они взаимно инверсны:

$$P = \begin{bmatrix} 00 & 1 \\ 01 & 1 \\ 10 & 1 \\ 11 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q & 1 \\ E & 1 \\ H & 1 \\ J & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V & 1 \\ J & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1110 & 1 \\ 0001 & 0 \end{bmatrix} \rightarrow \boxed{1110}$$

Здесь сначала кодируются все пары символами двухтактного алфавита, затем выполняется объединение первых трех кубов по правилу оператора сограней [5]: векторы отличающиеся в одной координате, минимизируются в один. Далее полученное покрытие из двух кубов кодируется соответствующими данным символам кубитными векторами. Для моделирования исправного поведения достаточно иметь только один куб (нулевой или единичный), поскольку второй всегда является дополнением к первому. Следовательно, ориентируясь, например, на единичный куб, формирующий на выходе 1, можно убрать бит состояния выхода примитива, что уменьшит размерность куба или модели примитива до количества адресуемых состояний элемента, где адрес есть вектор, составленный из двоичных значений входных переменных, по которому определяется состояние выхода примитива. Ввиду тривиальности нет смысла показывать, что по аналогии любую таблицу истинности можно привести к кубитной функциональности в форме вектора выходных состояний логического элемента, имеющего n входов.

Процедура моделирования на Q-векторе функциональности сводится к записи в выходную переменную Y состояния бита, адрес которого сформирован на основе конкатенации значений входных переменных:  $Y = Q(X) = Q(X_1 * X_2 \dots * X_j \dots * X_k)$ . Для моделирования цифровых систем, где компонентами выступают взаимосвязанные на основе M-вектора эквипотенциальных линий Q-примитивы, процедура обработки последних определяется выражением:  $M(Y) = Q[M(X)] = Q[M(X_1 * X_2 \dots * X_j \dots * X_k)]$ . С учетом сквозной нумерации Q-примитивов универсальная процедура моделирования текущего i-элемента будет иметь формат:  $M(Y) = Q[M(X)] = Q[M(X_1 * X_2 \dots * X_j \dots * X_k)]$ . В данном случае существенно упрощается алгоритм анализа цифровой системы и в  $2^n$  раза повышается быстродействие интерпретативного моделирования за счет увеличения объема памяти для описания функциональности схемной структуры.



рые рассматриваются в качестве примитивов второго уровня. Затем – векторы-примитивы выходных переменных (16 столбцов от 0000 до 1111) формируют уже  $k = 2^{2^4} = 2^{16}$  функциональных примитивов, входящих в состав более сложной дискретной системы, которые можно анализировать параллельно! Далее можно экстраполировать создание более сложной системы кубитов, где вектор  $Q=0111110000001100$ , представленный нижней строкой, будет рассматриваться как один из  $k = 2^{2^{16}}$  примитивов третьего уровня иерархии. В каждом уровне иерархии кубитов количество или булеан состояний экспоненциально зависит от числа примитивов-векторов  $k = 2^{2^n}$ . Если вектор  $Q$  имеет все единичные значения  $Q=1111111111111111$ , то он одновременно определяет пространство, содержащее 16 символов двухтактного алфавита, которые соответствуют булеану на универсуме из четырех примитивов [9].

Основная инновационная идея квантовых вычислений по сравнению с машиной фон Неймана заключается в переходе от вычислительных процедур над байт-операндом, определяющим в дискретном пространстве одно решение (точку), к квантовым параллельным процессам над кубит-операндом, одновременно формирующим булеан решений. В этом тезисе сформулировано будущее всех высокопроизводительных компьютеров для параллельного нецифрового анализа структур и сервисов дискретного киберпространства. Иначе, вычислительная сложность выполнения процедуры обработки множества из  $n$  элементов в «квантовом» процессоре и одного в машине фон Неймана равны между собой из-за соответствующего  $n$ -кратного повышения аппаратной сложности «квантовой» структуры.

### 3. Графовые структуры описания цифровых схем

Несколько отличная модельная схемотехника, не привязанная непосредственно к транзисторам, может быть представлена графовыми структурами, где каждая вершина (дуга) отождествляется с функциональным преобразованием, которое задается  $Q$ -вектором. Тогда дуга (вершина) определяет взаимосвязи между функциональными  $Q$ -покрытиями, а также входные и выходные переменные. Вопрос реализации таких структур изначально привязан к ячейкам памяти (LUT FPGA), которые способны хранить информацию в виде  $Q$ -вектора, где каждый бит или разряд имеет свой адрес, отождествляемый со входным словом. Тем не менее, программная реализация таких структур становится конкурентоспособной по быстродействию на рынке промышленных систем проектирования цифровых систем на кристаллах за счет адресной реализации процессов моделирования функциональных примитивов. Кроме того, аппаратная поддержка систем проектирования в виде Hardware Embedded Simulator (HES, Aldec) [10] приобретает новую мотивацию на системном уровне проектирования цифровых изделий, когда программные и аппаратные решения имеют один и тот же кубитный формат. Далее для рассмотрения предлагается комбинационная схема (рис. 2), содержащая 6 примитивов и три различных логических элемента.

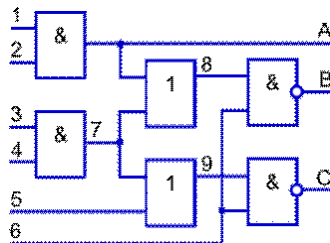


Рис. 2. Комбинационная структура логических примитивов

Данной схеме соответствуют три универсальные графовые формы цифровой функциональности (рис. 3), использующие  $Q$ -векторы для задания поведения логических примитивов.

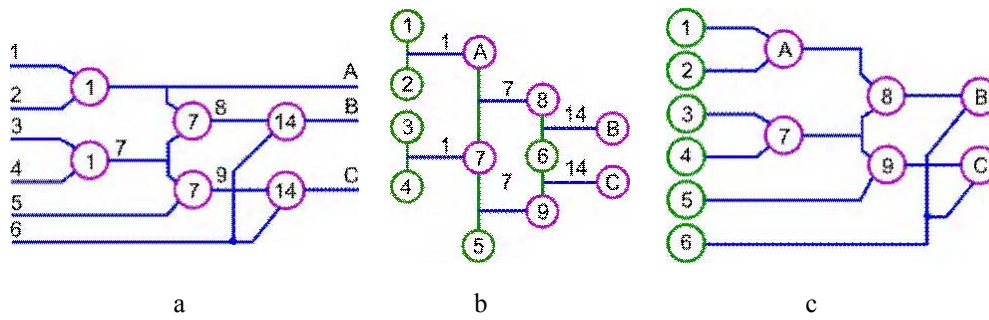


Рис. 3. Графовые формы квантовых функциональностей

Структура, представленная на рис. 3,а, содержит 12 линий (дуг), нагруженных на квантовые функциональности ( $1 = 0001$ ,  $7 = 0111$ ,  $14 = 1110$ ). Она подобна традиционной структурно-функциональной модели комбинационной схемы. Граф на рис. 3,б напоминает модель регистровых передач С.Г. Шаршунова [11], который является обратным по отношению к первой структуре. Здесь горизонтальные синие дуги отождествляются с функциональностями, а вершины – с группами входных для функциональностей линий, объединенных в регистровые переменные посредством зеленых вертикальных дуг, состояния которых образуют двоичный вектор, используемый в качестве адреса для вычисления состояния логического элемента или более сложного функционала. Переменные, участвующие в формировании адреса для Q-вектора функциональности, можно объединить в одну вершину с указанием всех идентификаторов линий, создающих вектор-адрес. Регистровый граф комбинационной схемы является ранжированным по уровням формирования входных сигналов, что обеспечивает условия параллелизма обработки элементов одного уровня и выполнимости итераций Зейделя [5,9], повышающих быстродействие алгоритмов исправного моделирования цифровых систем. Структура на рис. 3,б интересна своей регистровой реализацией, что можно использовать для формализации как программных, так и аппаратных моделей вентильного, регистрового и системного уровней. Такое представление трудно воспринимается человеком, но оно технологично и легко понимается компьютером для автоматического создания программных систем анализа вычислительных структур и сервисов киберпространства. Таким образом, регистровый граф цифровой схемы представляет собой разрывную по гальваническим связям, а потому гибкую систему взаимосвязанных адресных примитивов для формирования функциональной структуры любой сложности, прежде всего в масштабах PLD, где все комбинационные примитивы представлены постоянными запоминающими устройствами (LUT), что обеспечивает высокое быстродействие функционирования и ремонт логических модулей в режиме online.

Одномерный Q-вектор описания функциональности можно привязать к выходной (внутренней) линии устройства, состояние которой формируется в процессе моделирования рассматриваемого Q-покрытия. Тогда регистровая реализация комбинационного устройства может быть представлена вектором моделирования M, на невходные линии которого нагружена функциональность с дугами, идущими от входных переменных, значения которых задают адрес бита Q-вектора, формирующего состояние рассматриваемой невходной линии (рис. 3,с). Иначе, если функциональности описываются одновыходовыми примитивами, то каждый из них можно отождествить или идентифицировать номером или координатой невходной линии, на которую нагружен данный элемент. Если функциональность многовыходовая, то Q-покрытие уже представляется матрицей с количеством строк, равным числу выходов. Эффект от такого примитива заключается в параллелизме одновременного вычисления состояний нескольких выходов за одно обращение к матрице по текущему адресу! Данное обстоятельство является существенным аргументом в пользу синтеза обобщенных кубитов для фрагментов цифрового устройства или всей схемы в целях их параллельной обработки в одном временном такте. Близкой к идеальной по компактности и времени обработки структурой данных, где Q-векторы функциональностей и номера входных переменных привязаны к невходным линиям устройства, является следующая таблица:

L	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C
M	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	
X	.	.	.	.	.	.	34	A7	75	12	86	96
Q	.	.	.	.	.	.	0	0	0	0	1	1
	.	.	.	.	.	.	0	0	1	1	1	1
	.	.	.	.	.	.	0	0	1	1	1	1
	.	.	.	.	.	.	1	1	1	1	0	0

Она дает представление о том, какие переменные цифровой схемы являются внешними, сколько функциональных примитивов имеется в структуре, а также какие входы нагружены на каждый Q-вектор. Достоинством таблицы является отсутствие вектора номеров выходов для каждого примитива, но при этом сохраняется необходимость иметь номера входных переменных для формирования адресов, манипулирование которыми есть достаточно времязатратный процесс. Модель анализа схемной структуры упрощается до вычисления двух адресов (!) при формировании вектора моделирования:  $M_i$   $BQ_i[M(X_i)]$  путем исключения сложного адреса выхода примитива в процессе записи состояний выходов в координаты M-вектора.

Кубитно-регистровый граф из рис. 3,с может быть представлен в виде матрицы  $\Delta\Delta|\Delta_{ij}|$ ,  $i\Delta 1,p$ ;  $j\Delta 1,q$  параллельно-последовательной обработки логических примитивов:

$\mu_{ij}$	1	2	3
1	$\begin{array}{ c c } \hline 1 & 1A \\ \hline 2 & \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c c } \hline A & 78 \\ \hline 7 & \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c c } \hline 8 & 14B \\ \hline 6 & \\ \hline \end{array}$
2	$\begin{array}{ c c } \hline 3 & 17 \\ \hline 4 & \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c c } \hline 7 & 79 \\ \hline 5 & \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c c } \hline 6 & 14C \\ \hline 9 & \\ \hline \end{array}$
3	$\begin{array}{ c c } \hline X & 1X \\ \hline X & \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c c } \hline X & 7X \\ \hline X & \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c c } \hline X & 14X \\ \hline X & \\ \hline \end{array}$

который отображает взаимодействие Q-покрытий по трем уровням срабатывания относительно формата (X-Q-Y) входы- Q-вектор -выход каждого примитива: [(1,2-1-A), (3,4-1-7)], [(A,7-7-8), (7,5-7-9)], [(8,6-14-B), (6,9-14-C)]. Чтобы корректно отработала функциональность примитива, необходимо к рассматриваемому моменту сформировать все его входные переменные. Поэтому кубитно-регистровый граф разделен на уровни срабатывания, где все примитивы внутри одного уровня могут обрабатываться параллельно, а сами уровни – последовательно друг за другом. Кубитная матрица своей регулярной структурой ориентирована на решение задач: 1) Ремонт логических примитивов в процессе функционирования за счет переадресации дефектных элементов на примитивы из запаса (строка 3) [12], подобно тому, как это делается в матричной памяти. 2) Индексная адресация каждого кванта матрицы  $\mu_{ij} \in \mu$ ,  $\mu_{ij} = (X_{ij}, Q_{ij}, Y_{ij})$  для оперативного ремонта отказавших примитивов (в примере можно заменить три дефектных примитива, по одному из каждого слоя). 3) Обеспечение высокого быстродействия прототипа комбинационного устройства, реализованного на основе кубитных примитивов, которые имплементируются на кристалле PLD в LUT-элементы [8], за счет параллельной обработки элементов одного слоя. 4) Создание матричного кубитного мультипроцессора, ориентированного на анализ аппаратных прототипов комбинационных устройств большой размерности, позволяющих существенно ускорить процессы тестирования и верификации цифровых систем на кристаллах, как это делает HES компании Aldec [10]. 5) Разработка методов анализа комбинационных схем, ориентированных на матричное исполнение кубитных структур логических элементов путем их имплементации в элементы памяти кристаллов PLD. 6) Создание генератора кода для масштабируемого синтеза квантовых матриц комбинационных схем на основе использования структур схемотехнических примитивов кристаллов PLD. 7) Проектирование управляющего автомата для функциональной обработки и сервисного обслуживания (восстановления работоспособности) кубитной матрицы комбинационного устройства, имплементированного в PLD структуру.

Модель управляющего автомата для симулирования кубитной структуры комбинационной схемы укладывается в три пункта:

- 1) Инициирование очередного входного воздействий для комбинационного устройства.
- 2) Выбор очередного слоя (столбца матрицы) с номером  $i$  для параллельной обработки кубитных примитивов  $Q$  в целях формирования состояний выходов по адресу входного слова, представленного вектором  $M(X_{ij})$ , где  $X_{ij}$  – вектор номеров входных переменных для примитива  $Q_{ij}$ ,  $M$  – вектор моделирования всех линий комбинационного устройства:  $M(Y_{ij}) = Q_{ij}[M(X_{ij})]$ ,  $j = 1, q$ .

3) Приращение индекса столбца  $i=i+1$  и переход к пункту 2 обработки очередного слоя кубитных примитивов. По окончании анализа всех столбцов матрицы  $i$  в  $R$  выполняется инкремент индекса очередного входного воздействия  $t=t+1$  с последующим переходом на пункт 1. При достижении конечного числа входных наборов  $t \leq n_{\max}$  цикл обработки теста для кубитной матрицы заканчивается.

#### 4. Автоматная структура MQT-процессора

Основой процесс-модели функционирования вычислителя (комбинационной схемы), представленного в форме кубитной матрицы, является операция транзакции (считывания-записи) двоичной информации на LUT-элементах памяти структуры PLD:  $M(Y) = Q[M(X)]$ , которая формирует сколь угодно сложные функциональности и сервисы. Иначе, все вычислительные процессы в компьютерных системах, сетях и в киберпространстве можно свести к одной операции транзакции на любой структуре, способной хранить информацию. Все технологические и схмотехнические узлы, на которых реализуются аппаратные и программные продукты, можно не принимать во внимание, чтобы синтезировать виртуальные информационные сервисы, где следует использовать только операцию запись-считывание, как базовую процедуру над  $Q$ -покрытиями, которые своей гибкой универсальностью поглощают все конструктивы вычислительной техники для синтеза и анализа объектов, процессов и явлений в киберпространстве. Появляется новая MQT-модель «мягкого» кубитного виртуального компьютера, основанная на транзакции (Transaction) между компонентами памяти  $Q$  (Qubit), объединенными в систему с помощью вектора моделирования  $M$  (Memory). Естественно, что любые логические функции реализуются путем считывания битов  $Q$ -вектора  $Q = (q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n), q_i \in \{0, 1\}$ . Но при этом становится несколько избыточной теорема Поста, формирующая условия в виде математического функционального базиса логических функций, необходимо и достаточно полного для создания любой вычислительной системы, поскольку  $Q$ -вектор есть универсальная, гибкая и компактная форма описания как простой, так и сложной функциональности киберпространства. Транзакция может существовать только при наличии заданных отношений на компонентах памяти, число которых должно быть не менее одного. Цикличность транзакции

$M \xleftarrow{Y_i} Q_i \xleftarrow{X_i} M$  (рис. 4, a, b), представленной Read-Write операциями  $M(Y_i) = Q_i[M(X_i)]$  в MQT-структуре, определяется использованием вектора  $M$  взаимных связей компонентов, который образует «мягкую», адресно ориентированную и гальванически разорванную автоматную модель, где главным компонентом вычислительной системы фигурирует кубит-память:

$$\begin{cases} A = \langle M, Q, f, g, X, Y \rangle, \\ M(t+1) = f[X(t), Q(t), M(t)]; \\ Y(t) = g[X(t), Q(t), M(t)]; \\ M(Y_i) = Q_i[M(X_i)]. \end{cases}$$

Данные выражения подходят под классическое определение автомата Мура, но здесь равенство  $M(Y_i) = Q_i[M(X_i)]$  задает основную и единственную процедуру анализа адресуемых  $Q$ -компонентов цифровой системы для формирования координат вектора состояния  $M$ . Последний представляет собой адресно вычисляемые реакции  $Q$ -примитивов уст-

ройства на входные воздействия, полученные конкатенацией координат вектора M, адреса которых соответствуют номерам входных переменных рассматриваемого примитива. Автомат имеет входную регистровую переменную X, вектор выходных сигналов Y, который, являясь подмножеством переменных вектора M, может быть исключен из рассмотрения. Адресные регистровые переменные  $Y_i, X_i$  каждого примитива дают возможность формировать состояние вектора M путем моделирования структуры квантовых примитивов Q.

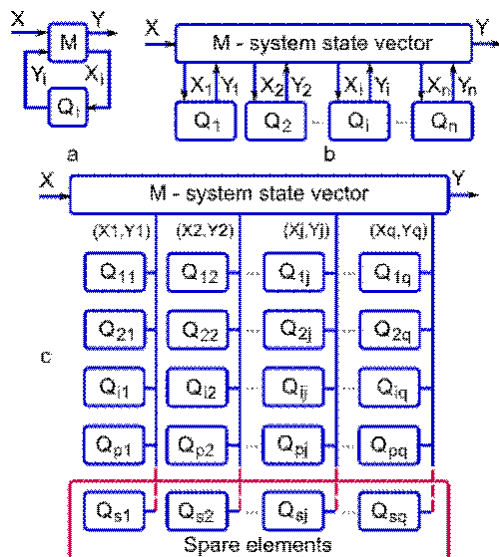


Рис. 4. Битовая, векторная и матричная структуры кубитных примитивов

Здесь (рис. 4) модель цифрового изделия в виде структурного MQT-автомата включает вектор моделирования или состояния системы, который объединяет и «мягко» структурирует все кубитные примитивы для формирования функциональности, заданной спецификацией. При этом цикл обработки каждого Q-элемента заключается в транзакционном взаимодействии между собой пары компонентов M–Q (см. рис. 4,а), которые в совокупности реализуют универсальную функциональность  $M(Y_i) = Q_i[M(X_i)]$  с помощью двух транзакций

$$M \xleftarrow{Y_i} Q_i \xleftarrow{X_i} M$$

Обработка всех кубитных элементов на входном воздействии X дает возможность сформировать вектор M состояния цифровой системы (System State Vector – SSV), который при необходимости имеет и выходные переменные Y (см. рис. 4,б) для управления другими компонентами вычислительной структуры. Быстродействие анализа (запись-считывание) векторной (линейной) структуры из  $n = p \times q$  примитивов имеет оценку:  $\gamma = (R + W) \times n$ . Строго последовательный характер обработки упорядоченных по возрастанию номеров выходов квантовых примитивов можно усовершенствовать в сторону уменьшения времени анализа схемы. Для этого необходимо построить уже двумерную структуру – матрицу Q-элементов, ранжированных по уровням параллельной обработки групп примитивов, оформленных в столбцы (см. рис. 4,с). Быстродействие такой структуры, по сравнению с линейной повышается в q раз, что становится уже соизмеримым со временем обработки комбинационной схемы на основе жестко заданных гальванических

связей  $\gamma = \frac{1}{q} (R + W) \times p$ . Но главное преимущество матрицы «мягких» связей компонен-

тов – наличие нижней строки запасных примитивов для ремонта в режиме online, что делает любой проект, содержащий комбинационную логику, тестопригодным, благодаря оперативной переадресации отказавшего Q- примитива на элемент из ремонтного запаса. Для этого желательно при синтезе такой двумерной структуры располагать в одном столбце однотипные примитивы, что уменьшит издержки на количество запасных элементов.

Инновационная идея матрицы кубитных примитивов характеризуется реализацией комбинационных Q-покрытий на адресуемых координатах кубита и элементах памяти, мягко соединенных в цифровую схему с помощью вектора состояний линий, что дает возможность ремонтировать отказавшие логические примитивы в реальном времени с помощью их переадресации на запасные компоненты при достаточно высоком быстродействии функционирования вычислительного устройства. Платой за такие преимущества является существенная аппаратная избыточность по сравнению с жесткой комбинационной схемой, которая заключается в добавлении следующих компонентов (рис. 5): CU – устройство управления; Q-ADC – дешифратор адресов примитивов; M-SSV – вектор состояния цифровой системы; X-ADC – дешифратор адресов входов; X-M – память входов; Y-ADC – дешифратор адресов выходов; Y-M – память выходов.

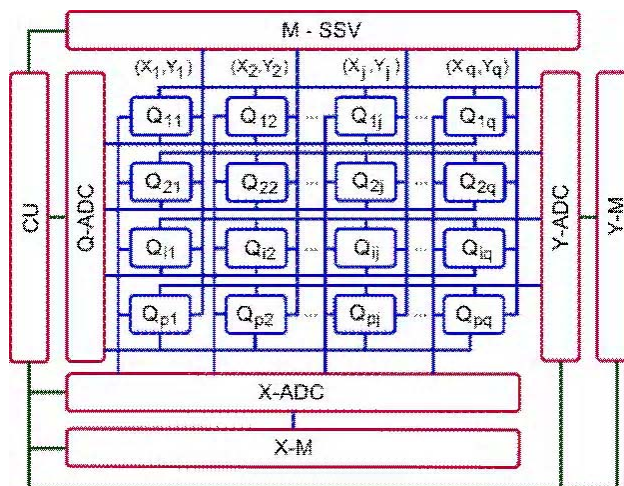


Рис. 5. Матричная структура операционного устройства

Упрощение автомата Мура до пары транзакционно взаимодействующих компонентов на основе M-вектора моделирования, адресно структурирующего элементы, привело к тривиальной модели MQT-автомата:

$$\begin{cases} A = \langle M, Q, X, Y \rangle, \\ M(Y_i) = Q_i[M(X_i)]. \end{cases}$$

Привязка идентификаторов функциональных Q-примитивов к номеру (адресу) выходной линии цифровой системы дает возможность упростить MQT-автомат управления еще на одну транзакционную операцию, связанную с формированием адреса состояния выхода примитива Y:

$$\begin{cases} A = \langle M, Q, X \rangle, \\ M_i = Q_i[M(X_i)]. \end{cases}$$

Здесь уже нет системы выходных переменных, которые заменяются координатами M-вектора моделирования линий цифрового устройства. Представленный MQT-автомат имеет особенности: 1) Отсутствие жестких гальванических связей между элементами, формирующими комбинационную логику. 2) Наличие «мягких» или гибких связей Q-примитивов, формируемых с помощью M-вектора (моделирования) состояния цифровой системы (System State Vector – SSV). 3) Частичное уменьшение быстродействия вычислительной структуры за счет устранения гальванических связей. 4) Обеспечение новой возможности комбинационной структуры, которая заключается в восстановлении работоспособности системы в случае возникновения отказов в примитивных элементах. 5) Инвариантность реализации MQT-компьютеров по отношению к среде использования (виртуальное пространство, критические объекты) и субстанции имплементации (твердые кристаллы и материалы, жидкие, газообразные и плазменные формы существования материи). 6) Структура адресного взаимодействия Q-компонентов памяти между собой посредством M-вектора моделирования (сосредоточение входов и выходов цифровой системы) напоминает технологию

использования всех устройств компании Apple, когда входом и выходом любого гаджета является киберпространство (интернет или облака данной компании). Иначе, можно сделать вывод – как на макро-, так и на микроуровне среды применения автоматов уже нет необходимости использовать внешние входы и выходы цифровой системы, которая уже сегодня ориентирована на жесткое взаимодействие с киберпространством и не представляет особого интереса как автономное вычислительное изделие. Вместо входов и выходов существует единое адресное пространство, в данном случае вектор  $M$ , откуда вычислительная система берет входные данные, а после преобразований она записывает туда же результаты или выходные данные:

$$\begin{cases} A = \langle M, Q \rangle, \\ M_i = Q_i(M_j). \end{cases}$$

Поэтому MQT-модель системного описания структур данных подобна отношениям между вычислительными устройствами (Q-компоненты) и интернетом (M-память). По-видимому, это есть настоящее и будущее технологической культуры, когда компьютер (гаджет) связывается с киберпространством, которое является входом и выходом для любого вычислительного устройства. 7) Что касается обработки кубитных вычислительных MQT-структур более низкого уровня, то здесь работает простая и эффективная транзакционная процедура – кубит функциональности берет данные из адресного пространства  $M$ , а затем туда же записывает результат преобразования:  $M_i = Q_i(M_j)$ . 8) Иначе, предлагаемая MQT-модель вычислительной ячейки киберпространства включает структурный MQ-автомат адресной мягкой организации взаимодействия функциональных примитивов  $MQ = \{M, Q, [(M \times Q) \rightarrow M] \times [M_y = Q(M_x)]\}$  посредством M-вектора моделирования и MT-автомат управления обработкой кубитных примитивов на основе использования единственной операции транзакции, регламентируемой характеристическим выражением  $M_i = Q_i(M_j)$ , определяющим взаимосвязи адресуемых компонентов и процедуру их транзакционной обработки. Таким образом, предложенный MQT-автомат, используя только элементы памяти и единственную операцию транзакции, дает возможность системно проектировать высоконадежные вычислительные и информационные сервисы как в реальном, так и в виртуальном мире.

В качестве примера далее предлагается анализ цифровой схемы на одном тестовом наборе, для которой вектор моделирования и кубитная структура представлены ниже:

$$M = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & A & B & C \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ \hline \end{array}$$

Q <sub>ij</sub>	1		2		3	
1	$\begin{array}{ c } \hline 1 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c c } \hline 0001 & A \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline A \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c c } \hline 0111 & 8 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline 8 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c c } \hline 1110 & B \\ \hline \end{array}$
2	$\begin{array}{ c } \hline 3 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c c } \hline 0001 & 7 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline 7 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c c } \hline 0111 & 9 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline 6 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c c } \hline 1110 & C \\ \hline \end{array}$

Здесь сущность анализа цифровой структуры заключается в заполнении вектора моделирования по всем координатам: 1) Запись в вектор моделирования  $M$  по шести координатам входных переменных двоичного набора 000111. 2) Обработка примитива с номером  $Q_{11}$ , который имеет входные переменные 1 и 2, а выход, обозначенный символом А. Для этого формируется адрес 00 путем конкатенации содержимого ячеек 1 и 2 вектора  $M$ . Применяя данный адрес к Q-вектору 0111, можно определить содержимое нулевой ячейки, равное нулю, которое записывается в вектор  $M$  по адресу А выходной переменной обрабатываемого кубита. 3) Повторение процедуры анализа, описанной в пункте 2, ко всем Q-примитивам дает возможность полностью определить двоичными сигналами координаты вектора моделирования: 000111001010.

Аппаратная имплементация приведенного и масштабируемого примера кубитной структуры цифрового устройства на основе использования элементов памяти представлена на рис. 6.

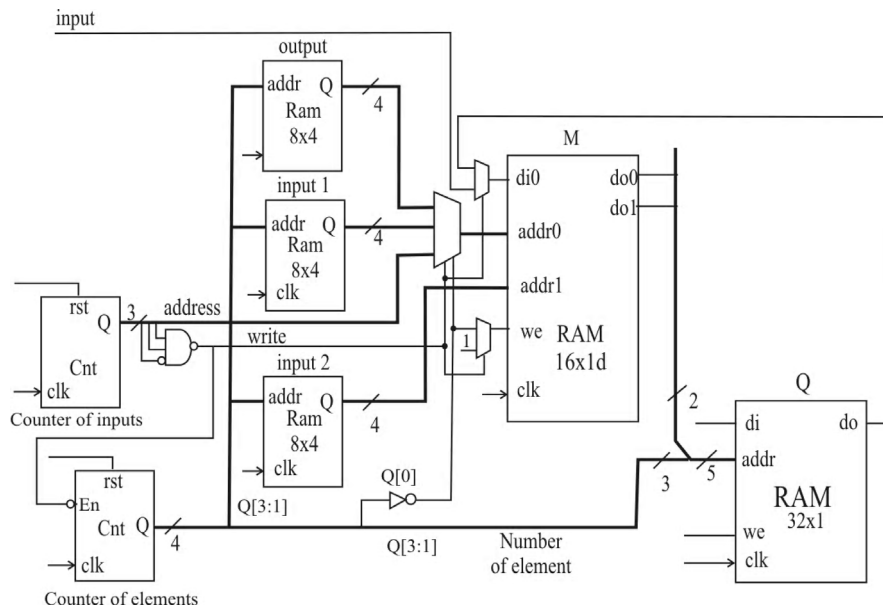


Рис. 6. Аппаратная реализация кубитной структуры комбинационной схемы

Структура схемной реализации содержит переменные и функциональные элементы, имеющие следующее назначение: *input* – вход для последовательного занесения входных значений вектора *M*; *rst* – общий сброс системы, в данном случае счетчиков; *clk* – вход синхронизации; *counter of inputs* – счетчик заполнения входных координат вектора *M*; *counter of element* – счетчик номера обрабатываемого примитива, который предоставляет два такта для считывания входного набора из двух координат вектора *M*; *Q[3:1]* – шина номера обрабатываемого примитива; *Q[0]* – переменная режима считывания входных значений из вектора *M* или записи результата в *M*. Блоки памяти: *Ram 8x4 output* – хранит номера выходных линий примитивов; *Ram 8x4 input 1* и *Ram 8x4 input 2* – сохраняют номера входных линий примитивов; *Ram 16x1d* – двухпортовая память хранения вектора моделирования *M*, где *addr0* – адрес входа 1 при значении 00 на входах управления мультиплексора, адрес записи результата при значении 01 на входах управления мультиплексора, адрес для инициализации входных данных при значении 1X на входах управления мультиплексора; *addr1* – адрес входа 2 обрабатываемого примитива; *di0* – вход данных памяти при обработке примитива (*MUX=1*) или внешний вход *input* при инициализации входных данных (*MUX=0*); *we* – разрешение записи в вектор *M*; *do0* – выход, соответствующий входу *addr0*; *do1* – выход, соответствующий входу *addr1*. Компонент *RAM 32x1* предназначен для хранения *Q*-векторов задания функциональностей комбинационной схемы: *di* – вход данных, может быть использован для инициализации (записи) структуры кубитов; *addr* – [4:0]; *addr[4:2]* – номер элемента, *addr[1:0]* – входной набор для примитива. Сложность аппаратной реализации примера комбинационной схемы составляет 150 вентилей, включающих 20 LUT системы элементов компании Xilinx Spartan 3E. Быстродействие функционирования или формирования вектора моделирования равно 180 ns.

### 5. MQT-структуры для будущих исследований

Введение MQT-автомата для синтеза и анализа вычислительных сервисов позволяет сделать и более общие выводы. Мир имеет дуализм материально-информационной целостности, а значит детерминированной воспроизводимости объектов, процессов и явлений. Любой материальный объект способен хранить информацию, следовательно, его можно использовать для записи и считывания, а значит – для создания вычислительной системы, пусть даже в некоторой степени специфической. Человек есть биологический компьютер с заданной программой функционирования (жизнедеятельности) всех его органов во времени. Как любую программу, код (геном) функционирования человека можно считать-записать, а значит – можно и скорректировать. Любые объекты на планете имеют свои программы существования во времени – информационные геномы. Процессы и явления на

планете также имеют свои программы развития, но более высокого уровня иерархии в управлении. Вселенная также имеет собственный геном – информационную программу развития. Естественно, что любую программу можно считать-записать, а значит скорректировать – это оптимистическая нота информационной модели объектов, процессов и явлений материального мира! Декодировать программу, как и дизассемблировать двоичный код, сложно, но возможно. Для этого нужно определить место – носитель кода и способ шифрования каждого объекта, процесса или явления природы. Можно предположить, что геном биологического объекта имеет форму, подобную структуре многозначных кубит-векторов, когда каждый из них  $Q = (q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n), q_i \in \{a_1, a_2, \dots, a_j, \dots, a_k\}$  может быть трансформирован в двоичную матрицу, где символ алфавита описания разрядов кванта может быть развернут в двоичный вектор или код-столбец. Многозначность функциональности достаточно распространена в природе, удобна для восприятия глазом человека, но для компьютера символы любого алфавита пока трансформируются в двоичные векторы или коды. Геном человека с позиции компьютерной инженерии есть структура данных, записанная в биопамять, компактная программа развития и существования во времени и пространстве белковых конструктивов, которая имеет аппарат управления-мониторинга (чтения-записи) без существования жестких гальванических связей. Такие принципы биоинженерии следует применять и к объектам киберпространства, чтобы обеспечить их надежность, ремонтпригодность, восстанавливаемость на микро- и макроуровнях.

Таким образом, кубитные структуры дают возможность сделать из комбинационной схемы простейший автомат (интегрирующая память, кванты функциональностей, операция транзакции) и перейти от программного моделирования цифровых систем к аппаратной эмуляции структур и процессов, составляющей уже пользовательские функции компьютера, инвариантные по отношению к технологиям имплементации. Показательным аналогом и прообразом служит аппаратный ускоритель процессов моделирования PRUS [7] доктора Stanley Hyduke, Aldec Inc., ориентированный на уменьшение времени проектирования и верификации цифровых систем на кристаллах. Но в сравнении с [7] здесь предлагается использовать по прямому функциональному назначению процессор «мягкого» адресно ориентированного аппаратного моделирования кубитных структур в качестве вычислительного изделия, доставляющего сервисы потребителю. При этом сохраняется высокое быстродействие функционирования устройства, дополненное существенной для критических систем возможностью восстановления работоспособности в режиме реального времени.

Технологическая сингулярность (Вернор Виндж) – взрыв в понимании законов вселенной на коротком промежутке времени и создание кибермозга человечества в целях повышения качества жизни очевидно произойдет благодаря развитию трех компонентов: биоинженерии, искусственного интеллекта киберпространства и нанотехнологий проектирования. Здесь имеется в виду: 1) встроенная и непосредственная интеграция человека с компьютером (киберпространством) путем устранения языковых барьеров и интерфейсов между ними; 2) создание искусственного интеллекта для самообучения, во-первых, и самосовершенствования, во-вторых, когда компьютеры и киберпространство будут способны к самовоспроизводству более совершенных моделей, структур и процессов; 3) «нано-выращивание» компьютера путем структурирования атомов. Одним из главных условий достижения данной точки развития технологической культуры является создание принципиально нового компьютера (вычислительного процесса), инвариантного по отношению к любой точке пространства или его субстанции, которую можно структурировать и использовать вместо кремния. Пространственный параллелизм существующих компьютеров и точечная одновременная многозначность – два пути в развитии интеллектуального киберпространства. Иначе, компьютер можно сделать на чем угодно, что способно сохранять во времени и/или в пространстве не менее двух управляемых и мониторируемых состояний. Регистр или память, как основа для хранения данных и выполнения вычислительных процедур, представляет собой несколько физических точек или триггеров, к которым можно применить параллельную операцию, разнесенную в пространстве. При этом повышение производительности цифрового устройства сегодня осуществляется только за счет расширения субстанции вычислительной структуры. Вопрос – можно ли объединить упомянутые точки

пространства в одну для выполнения параллельных операций над совокупностью данных, сосредоточенных в одной материальной точке? Возможно, так и ставился практическими учеными вопрос, который предсказал появление квантового компьютера. Несомненно, что будущее компьютерной индустрии должно быть связано с многовариантностью физической точки пространства как примитива структур данных, которая должна иметь возможность хранения булеана состояний в качестве операнда для реализации вычислительных процедур. Но здесь возникает только одно решение, заслуживающее внимания. Все, что физически является стабильным во времени, может иметь только одно состояние в каждый конкретный момент времени, включая цифровые дискретные автоматы, устройства и системы. Решение совершенно очевидно – дуализм частицы и волны на всем спектре электромагнитного излучения обладает искомыми свойствами пространственной точки: 1) Каждая точка пространства может иметь в конкретный момент времени множество волн или квантов из известных и неизвестных человечеству диапазонов. 2) Это означает возможность наличия в точке пространства множества частиц соответствующих диапазонов, которые формируют совокупность информационных состояний данной точки. 3) Неопределенность (многовариантность) во времени процессов и явлений есть ключ к созданию принципиально новых компьютеров, которые можно называть как квантовыми, так и электромагнитными, учитывая дуализм электродинамики в отношении носителя (частица или волна). 4) На каждой стадии развития технологической культуры необходимо выбирать подходящую точку пространства или субстанции (газообразная, жидкая, твердая, плазменная), которую можно использовать для мониторинга и управления ее многозначных состояний с помощью существующих технологий. Предсказания фантаста Станислава Лема и ученого В.И. Вернадского о возможности существования разума в жидкой (океан Солярис) и газообразной среде (ноосфера) сегодня уже близки во времени к созданию глобального искусственного разума киберпространства, который мы должны получить к 2050 году. 5) Дискретизация спектра частот в каждой точке пространства может служить основой для кодирования как примитивов (двоичных, многозначных), так и более сложных ассоциаций, например, булеана состояний. Иначе, 8-разрядный регистр, имеющий 256 состояний, можно представить одной точкой в пространстве для последующей обработки на основе мониторинга и управления соответствующими квантами или спектром частот. 6) Если предположить, что кванты существуют во всех диапазонах непрерывного и бесконечного спектра, то вопрос заключается в том, какой диапазон частот в точке пространства или субстанции будет освоен первым для создания новых как мощных, так и простых квантовых электродинамических вычислителей на основе экономически приемлемых технологий мониторинга и управления (атомными примитивами) частицами или волнами. 7) Рыночная привлекательность «зеленых» нанотехнологий («восходящее» проектирование) – построение или выращивание вычислителя (квантового компьютера) путем структурирования атомов – заключается в безотходности, микроминиатюрности, сверхнизком энергопотреблении, абсолютно минимальной затратности материалов, а в будущем и стоимости, сверхвысоком быстродействии и требуемой (по принципу разумной достаточности) масштабируемости, соизмеримой с классом доставляемых сервисов. Микротехнологии («нисходящее» проектирование), суть которых: взять заготовку и отсечь все лишнее, становятся все менее привлекательными для рынка ввиду несовершенства качества и сверхзатратности создаваемых изделий.

Ученые научились сегодня не только сканировать атомные структуры, но и последовательно строить или выращивать их. Однако на пути решения проблемы нанотехнологического направления разработки квантового компьютера на рынке имеется три привлекательных пункта: 1) Открытие технологий с высоким быстродействием выращивания требуемых гетерогенных атомных структур в соответствии с заданной программной спецификацией вычислителя. 2) Создание эффективного транзакционного механизма для реализации простого мониторинга и управления квантовыми состояниями выращенных атомных вычислительных структур с адресуемыми компонентами. 3) Обеспечение требуемой стабильности во времени состояний компонентов атомной структуры, реализующей память. Для решения проблемы необходимо объединить достижения и усилия ученых, работающих в областях: квантовой физики атомных взаимодействий, биоинженерии, микроэлектроники, электрохимии и компьютерной инженерии.

## 6. Заключение

1. Предложены кубитные модели описания цифровых систем и компонентов, которые характеризуются компактностью описания таблиц истинности в форме Q-покрытий благодаря унитарному кодированию входных состояний, что дает возможность повысить быстродействие программных и аппаратных средств интерпретативного моделирования вычислительных устройств за счет адресной реализации анализа логических примитивов.

2. Представлена матричная модель кубитных примитивов для реализации комбинационных схем, которая характеризуется адресным объединением Q-покрытий на элементах памяти, «мягко» соединенных в цифровую схему с помощью вектора состояний линий, что дает возможность ремонтировать отказавшие логические примитивы в реальном времени с помощью их переадресации на запасные компоненты при достаточно высоком быстродействии функционирования вычислительного устройства.

3. Введена гибкая автоматная MQT-модель компьютера, которая характеризуется использованием только адресуемых структур памяти и операции транзакции для программной и аппаратной реализации комбинационных и последовательностных функциональностей, что дает возможность создавать быстродействующие и надежные вычислители для создания сервисов киберпространства на основе параллельных логических операций и ремонта неисправных адресуемых функциональных примитивов.

4. Описана инновационная идея квантовых вычислений, которая характеризуется переходом от вычислительных процедур над байт-операндом, определяющим в дискретном пространстве одно решение (точку), к логическим регистровым параллельным процессам над кубит-операндом, одновременно формирующим булеан решений, что дает возможность определить новые перспективы на пути создания высокопроизводительных компьютеров параллельного анализа и синтеза структур и сервисов дискретного киберпространства.

5. Представлена концепция системного проектирования программных и аппаратных облачных сервисов киберпространства на основе MQT-автомата, которая характеризуется применением транзакций на кубитных адресно связанных компонентах вычислителя с помощью вектора состояний (моделирования), что дает возможность программировать логические функциональности в кубитных примитивах интерпретативной структуры цифрового устройства.

6. Рыночная привлекательность MQT-компьютера определяется: примитивизмом его реализации в программном и аппаратном исполнении; высоким уровнем использования памяти в структуре современных вычислителей, достигающим 94% от площади кристалла; и как следствие – уменьшением влияния комбинационной логики на быстродействие системы в целом; повышением надежности компьютеров за счет онлайн-ремонта адресуемых элементов памяти, включая логические примитивы. Существующее неприятие MQT-компьютера рынком связано с лоббированием вычислителей на основе жесткой комбинационной логики в VLSI-проектах со стороны компаний, разрабатывающих процессоры на основе технологий reusable logic.

7. Направления будущих исследований: Синтез кубитных моделей цифровых систем на основе использования Q-покрытий, а также разложение (анализ) функциональностей на кубитные компоненты. Моделирование неисправностей и синтез тестов на основе применения Q-покрытий компонентов цифровых систем. Разработка специализированных программных приложений для решения задач синтеза комбинационных устройств на основе использования матричной модели MQT-процессора, ориентированного на высокий параллелизм решения практических задач и восстановление работоспособности устройства в реальном времени.

**Список литературы:** 1. *Michael A. Nielsen & Isaac L. Chuang.* Quantum Computation and Quantum Information. Cambridge University Press. 2010. 676p. 2. *Stig Stenholm, Kalle-Antti Suominen.* Quantum approach to informatics. John Wiley & Sons, Inc., 2005. 249p. 3. *Mark G. Whitney.* Practical Fault Tolerance for Quantum Circuits. PhD dissertation. University of California, Berkeley. 2009. 229p. 4. *Mikio Nishihara.* Quantum Computing. An Overview. Higashi-Osaka. Kinki University, 2010. 53p. 5. *Горбатов В.А.* Основы дискретной математики. М.: Высш. шк. 1986. 311 с. 6. *Hahanov V.I., Litvinova E.I., Chumachenko S.V., Baghdadi Ammar Awni Abbas, Eshetie Abebech, Mandefro.* Qubit Model for solving the coverage problem

// Proc. of IEEE East-West Design and Test Symposium. IEEE. USA. Kharkov. 14-17 September 2012. P. 142 - 144. **7.** *Хаханов В.И., Мурад Али Аббас, Литвинова Е.И., Гузь О.А., Хаханова И.В.* Квантовые модели вычислительных процессов // Радиоэлектроника и информатика. 2011. №3. С.35-40. **8.** Проектирование и тестирование цифровых систем на кристаллах / В.И. Хаханов, Е.И. Литвинова, О.А. Гузь. Харьков: ХНУРЭ. 2009. 484 с. **9.** *Хаханов В.И.* Техническая диагностика цифровых и микропроцессорных структур. К.: ИСИО. 1995. 242 с. **10.** *Бондаренко М.Ф., Хаханов В.И., Литвинова Е.И.* Структура логического ассоциативного мультипроцессора // Автоматика и телемеханика. 2012. № 10. С. 71-92. **11.** *Борисовец Б. Э., Шаршунов С. Г.* Общая модель и синтез тестов для механизмов управления межрегистровым обменом данными в микропроцессорах // Автоматика и телемеханика, 1992. № 8. С. 142–149. **12.** *Koal T., Scheit D., Vierhaus H.T.* A comprehensive scheme for logic self repair // Conf. Proc. on Signal Processing Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications. 2009. P. 18.

*Поступила в редколлегию 22.09.2013*

**Хаханов Владимир Иванович**, декан факультета КИУ ХНУРЭ, д-р техн. наук, профессор кафедры АПВТ ХНУРЭ. IEEE Senior Member. IEEE Computer Society Golden Core Member. Научные интересы: проектирование и тестирование вычислительных систем, сетей и программных продуктов. Увлечения: баскетбол, футбол, теннис, горные лыжи. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. +380 57 70-21-326. E-mail: hahanov@kture.kharkov.ua.

**Baghdadi Ammar Awni Abbas**, аспирант кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: проектирование и тестирование вычислительных систем. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. +380 57 70-21-326. E-mail: hahanov@kture.kharkov.ua.

**Литвинова Евгения Ивановна**, IEEE Member, д-р техн. наук, профессор кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: проектирование и тестирование цифровых систем и сетей на кристаллах. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. +380 57 70-21-421. E-mail: kiu@kture.kharkov.ua.

**Хаханова Ирина Витальевна**, д-р техн. наук, профессор кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: проектирование и тестирование цифровых систем и сетей на кристаллах. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. +380 57 70-21-326. E-mail: hahanova@mail.ru.

**Врублевский Николай Николаевич**, студент факультета КИУ ХНУРЭ. Научные интересы: проектирование и тестирование цифровых систем и сетей на кристаллах. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. +380 57 70-21-326.

## МОДЕЛИ ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ СТАТЕЙ И ОЦЕНИВАНИЯ КОМПОНОВОК ДЛЯ МЕТОДА ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛОС ИЗДАНИЯ НА ДОПЕЧАТНОЙ СТАДИИ

На основе исследования процесса допечатной подготовки издания разрабатываются математическая модель задачи размещения статей на полосе издания и модель оценивания компоновок статей по экономическим, информационным и композиционным критериям. Эти модели положены в основу метода формирования структур полос издания и реализованы в информационной технологии допечатной подготовки изданий.

### Введение

Неотъемлемым этапом изготовления полиграфической продукции, в частности книг, газет, журналов является допечатная подготовка изданий (ДПИ), которая в значительной мере определяет не только качество, но и себестоимость конечного продукта.

На основе анализа различных технологических процессов допечатной подготовки создана модель редакционного этапа ДПИ [1], охватывающая четыре технологических передела: 1) перенос авторских рукописей статей на электронные носители информации редакции; 2) корректировка текстовых и графических фрагментов статей; 3) формирование структур полос издания; 4) верстка издания.

Важной частью этого этапа является формирование структур полос издания (СПИ), где принимаются те или иные планировочные и компоновочные решения, которые определяют качество отдельных полос издания. Исходя из этого, целью исследования является создание моделей, метода и информационной технологии допечатной подготовки, обеспечивающих повышение качества СПИ, а следовательно, и всего издания в целом. Задачами исследования являются разработка математической модели задачи размещения статей на полосе издания и разработка модели оценивания качества компоновок, реализованных в методе формирования структуры полосы издания. Эти модели и метод являются основным содержанием последующих разделов статьи.

### 1. Математическая модель задачи размещения статей на полосе издания

Задачу размещения статей на полосе издания, относящуюся к классу задач геометрического проектирования и охватывающую две взаимосвязанные подзадачи, решаемые на третьем технологическом переделе, — «сборка фрагментов в статью» и «раскладка статей на полосе» — сформулируем так. Имеем  $m$  прямоугольных  $G$ -объектов  $O_G^{(\varphi)}$ , несущих геометрическую информацию  $s = (P, w, h, x, y)$ , с заданными размерами. Здесь:  $P$  — форма;  $w$  и  $h$  — ширина и высота прямоугольника;  $x$  и  $y$  —  $x$ -координата и  $y$ -координата базовой точки размещенного объекта. Заданы размеры прямоугольной области  $Z \subset R_2$ , в которой размещаются  $G$ -объекты  $O_G$ . Найти такое множество  $K$  рациональных компоновок  $G$ -объектов, осуществляемых в области размещения  $Z$ , что для каждой компоновки  $k_i \in K$  функционал ее качества  $F_{k_i} \geq F_{k_i}^*$  при выполнении множества ограничений  $D$ .

Математическую модель этой задачи представим в виде:

$$\Psi_G = (\Psi^{(O)}, \Psi^{(K)}, \Psi^{(F)}, \Psi^{(r)}, \Psi^{(D)}, \Psi^{(\varphi)}).$$

$\Psi^{(O)}$  характеризует размещаемые объекты:

$$O_G = \{o_i\} = O_G^{(\varphi)} \cup O_G^{(\alpha)} = \{o_j^{(\varphi)}\} \cup \{o_k^{(\alpha)}\}, \quad i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}; k = \overline{1, l}; n = m + 1; n, m, l \in \mathbb{N};$$

$$o_i^{(\alpha)} \leftrightarrow \{o_{1,1}^{(\varphi)}, \dots, o_{1,p_1}^{(\varphi)}\}, \quad 1 \leq p_1 \leq b < m,$$

$$o_2^{(\alpha)} \leftrightarrow \{ o_{2,1}^{(\varphi)}, \dots, o_{2,p_2}^{(\varphi)} \}, 1 \leq p_2 \leq b < m,$$

.....

$$o_l^{(\alpha)} \leftrightarrow \{ o_{l,1}^{(\varphi)}, \dots, o_{l,p_n}^{(\varphi)} \}, 1 \leq p_n \leq b < m, \text{ где } p_1 + p_2 + \dots + p_n = m.$$

$\Psi^{(K)}$  характеризует иерархию компоновок:

$K = K^{(\varphi)} \cup K^{(\alpha)}$ ;  $K^{(\varphi)} \succ K^{(\alpha)}$ , где  $K^{(\varphi)}$  и  $K^{(\alpha)}$  – подмножества компоновок фрагментов и компоновок статей:

$$\forall_p w_p^{(\alpha)} = w_p^{(\alpha)}(k_p^{(\varphi)}), \quad \forall_p h_p^{(\alpha)} = h_p^{(\alpha)}(k_p^{(\varphi)}).$$

$\Psi^{(F)}$  характеризует функционалы для оценки качества компоновок:

$$F_{k_i}^{(\varphi)} = \sum_u q_u^{(\varphi)} t_u^{(\varphi)}; \quad F_{k_i}^{(\alpha)} = \sum_v q_v^{(\alpha)} t_v^{(\alpha)}, \text{ где } t_u^{(\varphi)} \text{ и } t_v^{(\alpha)} \text{ — показатели качества компоновки}$$

фрагментов и компоновки статей;  $q_u^{(\varphi)}$  и  $q_v^{(\alpha)}$  — весовые коэффициенты.

$\Psi^{(r)}$  характеризует метрику и расстояние между однотипными объектами  $o_i$  и  $o_j$ :

$$\rho_{M_2}(o_i, o_j) = \min\{ \rho(x, y) | x \in o_i, y \in o_j \} = \min |x_{o_i} - x_{o_j}| + \min |y_{o_i} - y_{o_j}|; r_{i,j} = \inf_{x \in o_i, y \in o_j} \rho_{M_2}(x, y),$$

$$r_{i,j} = r_{i,j}(w_i, h_i, x_i, y_i, w_j, h_j, x_j, y_j).$$

$\Psi^{(D)}$  характеризует ограничения на размещение объектов:

$$0 \leq d_1 \leq r_{i,j}^{(x)}(o_i^{(\varphi)}, o_j^{(\varphi)}); \quad 0 \leq d_2 \leq r_{i,j}^{(y)}(o_i^{(\varphi)}, o_j^{(\varphi)});$$

$$0 < d_3 \leq r_{i,j}^{(x)}(o_i^{(\alpha)}, o_j^{(\alpha)}); \quad 0 < d_4 \leq r_{i,j}^{(y)}(o_i^{(\alpha)}, o_j^{(\alpha)});$$

$$r_{i,j}^{(x)}(o_i^{(\tilde{\alpha})}, o_j^{(\tilde{\alpha})}) \leq w_c; \quad r_{i,j}^{(y)}(o_i^{(\tilde{\alpha})}, o_j^{(\tilde{\alpha})}) \leq h_c,$$

где  $w_c$  и  $h_c$  — ширина и высота тематической подобласти  $Z_c \subset Z$ .

$\Psi^{(\varphi)}$  характеризует допустимость преобразований текстовых фрагментов:

$$\forall_{o_{(t)}^{(\varphi)} \in O_G^{(\varphi)}} O_{(t)}^{(\varphi)}(w_1, h_1) \xrightarrow{\Delta_1} O_{(t)}^{(\varphi)}(w_2, h_2), \text{ при этом } w_1 h_1 = w_2 h_2, \text{ где } \Delta_1 \text{ — преобразование, изменяющее линейные размеры фрагмента:}$$

$$\forall_{o_{(t)}^{(\varphi)} \in O_G^{(\varphi)}} O_{(t)}^{(\varphi)} \xrightarrow{\Delta_2} \{ O_1^{(\sigma)}, O_2^{(\sigma)}, \dots, O_g^{(\sigma)} \}, \quad 2 \leq g \leq M, \text{ при этом } S_{o_{(t)}^{(\varphi)}} = \sum_{i=1}^g S_{o_i^{(\sigma)}},$$

$S_{o_i^{(\sigma)}} \geq S_{\min}$ , где  $\Delta_2$  — преобразование, разбивающее текстовый фрагмент на сегменты  $\sigma$ ;

$M$  — максимально допустимое количество сегментов;  $S_{o_i^{(\sigma)}}$  — площадь объекта  $o_i^{(\sigma)}$ ;

$S_{\min}$  — минимально допустимая площадь сегмента.

## 2. Модель оценивания качества компоновки статей

Для конкретизации функционалов  $F_\varphi$  и  $F_\alpha$  введем модель оценивания качества компоновки статей:

$$\tau = (K_\alpha, Y, T, P, f_s),$$

где  $K_\alpha$  — множество оцениваемых компоновок статей;  $Y$  — множество частных критериев, на основе которых оцениваются компоновки;  $T$  — множество показателей, однознач-

но соответствующих критериям;  $P$  – множество правил отбора актуальных критериев  $\check{v} \in \check{Y}$  ( $\check{Y} \subset Y$ );  $f_s$  – функция обрыва вычислительного процесса.

Каждой из трех основных глобальных целей издательства  $\chi_j$  (прибыльность выпускаемого издания, информативность издания, визуальная привлекательность издания) поставлена в соответствие группа частных критериев, на основе которых оцениваются компоновки статей для каждого вида издания из множества видов изданий  $\{\delta_i\}$ ,  $i = \overline{1, 12}$ :  $\chi_1 \rightarrow Y^{(E)}$ ,  $\chi_2 \rightarrow Y^{(I)}$ ,  $\chi_3 \rightarrow Y^{(C)}$ , где  $Y^{(E)}$  – группа экономических критериев,  $Y^{(I)}$  – группа информационных критериев,  $Y^{(C)}$  – группа композиционных критериев. Для каждого вида издания (книга, журнал, газета, буклет, листовка и др.) сформирован набор, состоящий из одной, двух или трех упорядоченных по приоритету групп частных критериев.

Разработаны 5 экономических критериев (массовость, покрытость, заполненность, рейтинговость, доходность), 2 информационных критерия (значимость для издателя, значимость для читателя) и 8 эстетических критериев (рекламность, текстографичность, центрированность, сбалансированность, линейная пропорциональность, пропорциональность площадей, цветность, симметричность).

В формальном представлении:

$$Y = Y^{(E)} \cup Y^{(I)} \cup Y^{(C)} = \{v_i^{(E)}\} \cup \{v_j^{(I)}\} \cup \{v_k^{(C)}\};$$

$$T = T^{(E)} \cup T^{(I)} \cup T^{(C)} = \{t_i^{(E)}\} \cup \{t_m^{(I)}\} \cup \{t_n^{(C)}\};$$

$$v_i^{(E)} \rightarrow t_1^{(E)}; v_j^{(I)} \rightarrow t_m^{(I)}; v_k^{(C)} \rightarrow t_n^{(C)}; i, 1 = \overline{1, 5}; j, m = \overline{6, 7}; k, n = \overline{8, 15}.$$

Разработаны процедуры вычисления значений показателей для каждого из указанных частных критериев [2].

Для упрощения процесса оценивания компоновок из множества  $Y$  формируется (с учетом зависимостей набора групп критериев от вида издания) набор актуальных критериев на основе правил  $P = \{p_i\}$ ,  $i = \overline{1, 3}$ :

$p_1$ :  $i \leq m \leq 6$ , где  $i = 1$  для изданий видов  $\delta_2, \delta_9, \delta_{11}, \delta_{12}$ ;  $i = 2$  для изданий видов  $\delta_3, \delta_4, \delta_6, \delta_7, \delta_8, \delta_{10}$ ;  $i = 3$  для изданий видов  $\delta_1, \delta_5$ ;  $m$  — количество выбранных актуальных критериев;

$p_2$ : если количество групп для какого-либо вида издания больше 2, то в соответствующий набор актуальных критериев должны входить критерии, представляющие каждую из групп. Для  $k = 3$ :  $\check{Y} = \check{Y}^{(E)} \cup \check{Y}^{(I)} \cup \check{Y}^{(C)} = \{\check{v}_i^{(E)}\} \cup \{\check{v}_j^{(I)}\} \cup \{\check{v}_1^{(C)}\}$ ,  $i, 1 = \overline{1, 4}$ ,  $j = \overline{1, 2}$ , где  $k$  — количество групп критериев для конкретного вида издания;

$$\check{Y}^{(E)} \neq \emptyset \wedge \check{Y}^{(I)} \neq \emptyset \wedge \check{Y}^{(C)} \neq \emptyset;$$

$p_3$ : все актуальные критерии должны быть попарно совместимы в границах каждой из групп. Совместимость каждой пары актуальных критериев зафиксирована в трех матрицах:  $A = [a_{ij}]$  ( $i = j = 5$ ),  $B = [b_{mn}]$  ( $m = n = 2$ ) и  $C = [c_{kl}]$  ( $k = l = 8$ );

$$\forall_{(\check{v}_i^{(E)}, \check{v}_j^{(E)})} a_{ij} = 1, \quad \forall_{(\check{v}_m^{(I)}, \check{v}_n^{(I)})} b_{mn} = 1, \quad \forall_{(\check{v}_k^{(C)}, \check{v}_l^{(C)})} c_{kl} = 1, \text{ где элементы матриц со значением}$$

1 означают совместимость пары актуальных критериев.

В функции обрыва вычислительного процесса  $f_s$  учтены: удовлетворительное значение обобщенного показателя, максимальное количество вариантов в серии размещений и максимальная длительность вычислительного процесса.

### 3. Метод формирования структуры полосы издания

Разработанный метод формирования структуры полосы издания, предназначенный для решения задачи размещения статей на полосе издания, базируется на моделях, представленных в предыдущих разделах. Этот метод предполагает последовательное выполнение семи этапов.

Этап 1. Сборка фрагментов всех статей. На этом этапе используются алгоритмы сборки фрагментов в статью без сегментирования текстового фрагмента и с его сегментированием, а также комплект диалоговых процедур.

Этап 2. Формирование набора окончательных компоновок фрагментов.

Этап 3. Формирование линейных размеров каждой статьи.

Этап 4. Распределение всех статей по полосам издания.

Этап 5. Размещение статей на каждой полосе издания. На этом этапе используются алгоритмы размещения несвязанных статей на полосе издания [3] и размещения тематически связанных статей, а также комплект диалоговых процедур.

Этап 6. Формирование набора окончательных компоновок статей.

Этап 7. Преобразование данных о структурах полос издания для передачи на верстку.

Указанные автоматические алгоритмы генерируют серии вариантов компоновок, а диалоговые процедуры обеспечивают специалисту возможность генерировать единичные компоновки.

Таким образом, впервые разработан метод формирования структуры полосы издания, который включает этапы сборки фрагментов в статьи с возможностью сегментирования текстового фрагмента и укладки статей на странице с возможностью размещения тематически связанных статей в выделенной подобласти, что дает возможность сократить сроки создания рациональных компоновок фрагментов и статей при многовариантной проработке структуры полосы издания.

#### **4. Информационная технология допечатной подготовки изданий**

Предложена информационная технология ДПИ, в которой реализован метод формирования структуры полосы издания. Эта технология предполагает использование разработанной автоматизированной системы допечатной подготовки изданий G1.

Применение системы G1 в издательстве предполагает изменение существующей в нем информационной технологии ДПИ. При этом модификация касается не всех этапов применяемой информационной технологии, а лишь некоторых.

Предложенная информационная технология позволяет компоновать статьи и по типовым шаблонам, и на основе авторской идеи размещения материалов на полосе издания. Эта технология предусматривает создание набора перспективных компоновок с последующим выбором из них окончательных компоновок. При этом все перспективные и окончательные компоновки сохраняются в базе данных издания (БДИ).

На рисунке представлена модифицируемая часть информационной технологии ДПИ, инвариантная относительно конкретных информационно-технологических процессов планирования и макетирования страниц в издательствах.

#### **5. Выводы**

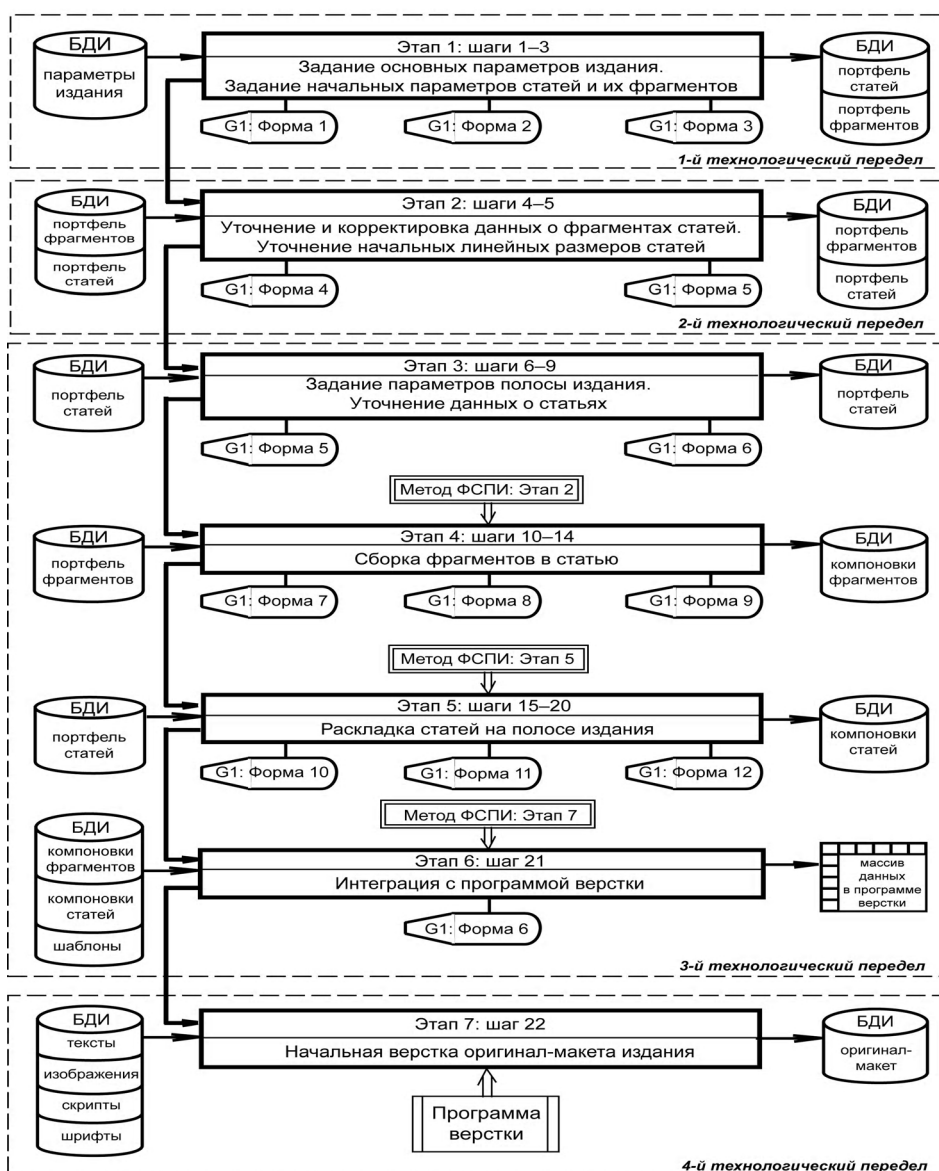
Разработаны модели, метод и информационная технология допечатной подготовки, предназначенные для быстрого создания оригинал-макета издания высокого качества.

*Научная новизна* заключается в:

предложенной математической модели задачи размещения статей на полосе издания, учитывающей логическую взаимосвязь фрагментов и статей, двухуровневую иерархию компоновок, технологические ограничения на зоны размещения, а также допустимость разбиения текстовых фрагментов, что позволяет увеличить прибыль издательства и престиж издания;

предложенной комплексной модели оценивания компоновок статей, учитывающей экономическую цель выпуска издания, информационную значимость статей и композиционно целостное восприятие потребителем полос с размещенными на них статьями, что позволяет повысить эффективность оценки качества полос издания.

*Практическая значимость* заключается в усовершенствовании информационной технологии допечатной подготовки газетных и книжно-журнальных изданий с использованием разработанной автоматизированной системы. Применение предложенной информационной технологии обеспечивает повышение качества оригинал-макета издания и при этом сокращает срок его изготовления.



#### Модифицируемая часть информационной технологии ДПИ

**Список литературы:** 1. Губницкая Ю. С., Гурьева Н. С. Методы управления потоками данных при обработке текстовой и графической информации // Системы обробки інформації. Т. 1. № 3. 2012. С. 127–133. 2. Губницкая Ю. С. Информационные модели данных и критерии качества компоновки статей на полосе при допечатной подготовке изданий // АСУ и приборы автоматики. 2012. № 161. С. 81–88. 3. Губницкая Ю. С. Постановка задачи и алгоритм рационального размещения статей на полосе издания // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2010. № 4/2(46). С. 12–19.

Поступила в редколлегию 07.09.2013

**Губницкая Юлия Семеновна**, аспирантка кафедры МСТ ХНУРЭ. Научные интересы: автоматизация допечатной подготовки изданий. Адрес: Украина, 61166, Харьков, просп. Ленина, 14, тел. 0503028627. E-mail: julgub@ukr.net.

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС «МИКРОН-1» ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СЛОЖНЫХ ФОРМ ДЕФОРМАЦИЙ ПЛАСТИН АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

Рассматриваются вопросы по разработке метода и аппаратуры измерения сложных форм деформаций пластин арсенида галлия. Показывается, что существующие методы измерения форм деформаций не удовлетворяют современным требованиям как по точности, так и по производительности. Решением задачи явилась разработка автоматизированного комплекса для измерения сложных форм деформаций «Микрон-1» на основе телевизионного метода. Определяется абсолютная погрешность комплекса, значение которой не превышает 0,75 мкм.

### Введение

Полупроводниковые приборы широко используются в радиотехнике, автоматике и микросхемотехнике. Миниатюризация и повышение надежности электронных систем возрастающей сложности требуют совершенствования технологии их изготовления. Все это побуждает искать новые пути построения измерительной аппаратуры для определения параметров полупроводниковых материалов.

Деформация в полупроводниках проявляется как непреднамеренный процесс, приводящий к релаксации напряжений, вызванных градиентом температур или сил трения, разностью коэффициентов термического расширения и удельных объемов фаз.

В настоящее время существует достаточно много экспериментальных методов измерения деформации в различных материалах. К ним относятся тензометрические методы электротензометрии, а также методы, основанные на оптических эффектах, такие как метод оптически чувствительных покрытий, голографическая интерферометрия и т.д.

Для изучения геометрических параметров поверхностей твердых тел существуют методики, применяемые в зависимости от поставленной задачи [1]. Однако они либо не обеспечивают требуемой точности измерения, либо являются контактными.

*Цель* данного исследования – разработка бесконтактного метода и аппаратуры для измерения деформаций пластин арсенида галлия.

Для достижения поставленных целей необходимо решить следующие *задачи*:

- разработать метод бесконтактного определения сложных форм деформаций пластин арсенида галлия диаметром до 100 мм, позволяющий автоматизировать процесс измерения;
- разработать автоматизированный комплекс, реализующий предложенный метод;
- определить причины возникновения сложных форм деформаций полупроводниковых пластин GaAs.

### 1. Анализ проблемы и постановка задачи

Известно [2], что если пластина деформируется малыми механическими напряжениями, то по достижении определенного критического значения  $\sigma_{кр}$  ее форма является единственно возможной. При превышении этого порога ( $\sigma_{кр}$ ) пластина перейдет к новой устойчивой форме с искривленной поверхностью в виде изгиба или с двумя радиусами кривизны в противоположном направлении (антиклассический изгиб) [4]. Переход пластины в это состояние может произойти в результате воздействия  $\sigma_{кр}$ .

С учетом того, что в полупроводниковых материалах кристаллическая структура имеет анизотропный характер, величина изгиба непосредственно зависит от модуля Юнга и коэффициента Пуассона [3].

Из перечисленного выше можно сделать вывод, что разрабатываемый метод должен обеспечивать возможность измерения различных видов деформаций поверхности пластин

GaAs диаметром до 100 мм с учетом кристаллографических направлений в плоскости пластины.

Измерения деформаций, особенно в микрометровом диапазоне, представляют серьезную задачу, требующую прецизионного оборудования и соответствующего метрологического обеспечения.

Известно, что точные измерения в вертикальном направлении можно осуществить интерференционным методом путем обработки интерференционных изображений поверхности образца, полученных при освещении лазерным излучением или белым светом [10].

В целом измерения деформаций в микродиапазоне ставят серьезные метрологические задачи, а эталонные измерительные комплексы представляют собой дорогостоящее оборудование. Однако в ряде случаев для быстрого измерения возможно использовать интерференционный микроскоп с высоким расширением. При этом измерения в вертикальном направлении осуществляются методом обработки интерференционных изображений поверхности образца при его освещении белым светом [7].

Использование каких-либо контактных датчиков для определения деформации пластины не дает высокой точности измерения из-за погрешности самих устройств. Поэтому для решения этой проблемы нами был выбран бесконтактный метод измерения интерференционной картины.

Данный метод заключается в следующем: получаемая интерференционная картина поверхности образца обрабатывается с помощью ССD камеры и центрируется по средней белой линии интерференционной картины, измерение отклонения от плоскости осуществляется при помощи индуктивного датчика.

Такой подход к решению задачи по автоматизации процесса измерения деформации, позволил повысить точность получаемых результатов, но также поставил и новые задачи, связанные с обработкой получаемых изображений, получаемых при помощи ССD камеры (выделение контуров, бинаризация и т.д.).

На качество видеоизображения влияет запыленность объектива, изменение яркости освещения и т.д. Для минимизации этих факторов необходимо провести обработку полученного видеоизображения, которая заключается в контрастировании, фильтрации и выделении границ [8].

Для контрастирования изображения обычно применяется линейная фильтрация или нелинейный оператор преобразования. Учитывая характер изображения, наиболее оптимальным является метод повышения контрастности изображения нелинейным оператором преобразования, который представляется в виде степенной функции:

$$v_1 = (G - 1) \left[ \frac{k^r}{s^{r-1}} \right] \text{ для } 0 \leq k \leq s, \quad (1)$$

$$v_2 = (G - 1) \left[ 1 - \frac{(1-k)^r}{(1-s)^{r-1}} \right] \text{ для } s \leq k \leq 1, \quad (2)$$

где  $G$  – значение уровня изображения, равное 255 для полутонового изображения;  $k = f(x, y)/(G - 1)$  – нормированное значение функции входного изображения;  $v = f(x, y)/(G - 1)$  – нормированное значение функции выходного изображения;  $s = S/(G - 1)$  – нормированное значение точки перегиба характеристики изображения;  $S$  – точка перегиба характеристики изображения, равная 112 (определена экспериментальным путем);  $r$  – показатель степенной функции, равный 3.

Для выделения границ используется операция взятия градиента. Проведенные исследования показали, что наилучшие результаты удалось добиться путем вычисления второй производной оператором Лапласа, который представляется в виде

$$\Delta^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} \cos \theta + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} \sin \theta \quad (3)$$

и вычисляется по приближенной формуле

$$\Delta^2 f(x, y) = f(x, y) + 4\{f(x, y) - 0,25[f(x + 1, y) + f(x - 1, y) + f(x, y + 1) + f(x, y - 1)]\}. \quad (4)$$

Применение этого оператора (4) усиливает границы, прибавляя к ним высокочастотные компоненты и вычитая лапласиан из исходного изображения, улучшает фокусировку изображения.

После этих задач к изображению применяется бинаризация, которая позволяет окончательно выделить линии интерференции от фона. Существуют различные реализации бинаризации изображений, которые описаны в работах [4-6]. Нашей же задачей является выделение линий интерференции, которые не обладают высоким уровнем контрастности по сравнению с окружающей областью.

Сформируем задачу бинаризации. Введем понятие изображения.

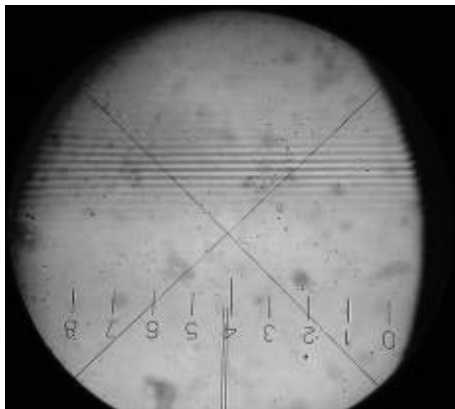
Изображение – нормальная функция  $f : D \rightarrow [0,1]$ , где  $D \subset M^2, M \subset N$  – область определения изображения.

Требуется найти функцию  $g(x, O(x), f, p) \rightarrow [0,1]$ , где  $x \in D; O(x) \in D$  – некоторая окрестность  $x$ ,  $f$  – изображение,  $p$  – некоторый параметр или группа параметров.

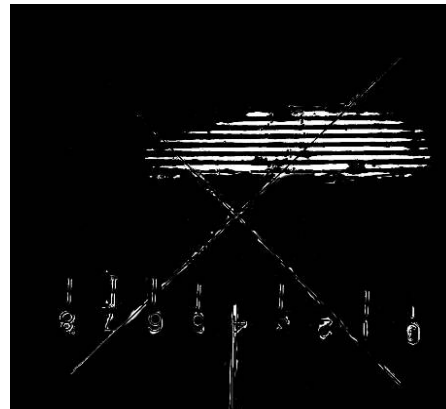
Для выделения линий интерференции можно использовать глобальную пороговую бинаризацию. Ее можно описать функцией вида

$$h(O(x), f) = \frac{\sum_{y \in O(x)} f(y)}{\|O(x)\|}. \quad (5)$$

Данная функция показывает, насколько область вокруг выбранного пикселя отличается от его цвета и корректирует заранее заданный порог отсекающего. На рис. 1,а показано получаемое изображение линий интерференции, а на рис. 1,б – результат работы метода глобальной пороговой бинаризации.



а – изображение, полученное с CCD камеры



б – изображение после обработки глобальной пороговой бинаризацией

Рис. 1. Изображения линий интерференции до и после бинаризации

Видеоизображение вводится в компьютер и преобразуется в видеомассив, после чего проводится исследование изображения по строкам, определяются базовые уровни яркости и зоны интереса.

На рис. 2 приведен результат работы программы по выделению изображения интерференционных полос.

## 2. Разработка автоматического комплекса измерения сложных форм деформаций пластин арсенида галлия

Функциональная схема разработанного нами автоматизированного комплекса «Микрон-1» представлена на рис. 3. В основе данного комплекса лежит микроинтерферометр «МИИ-4».

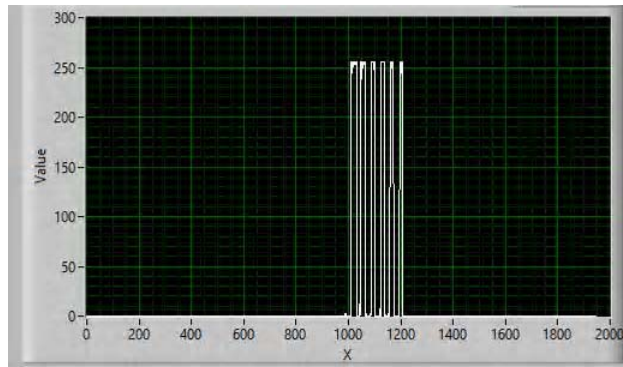


Рис. 2. Профиль изображения линий интерференции

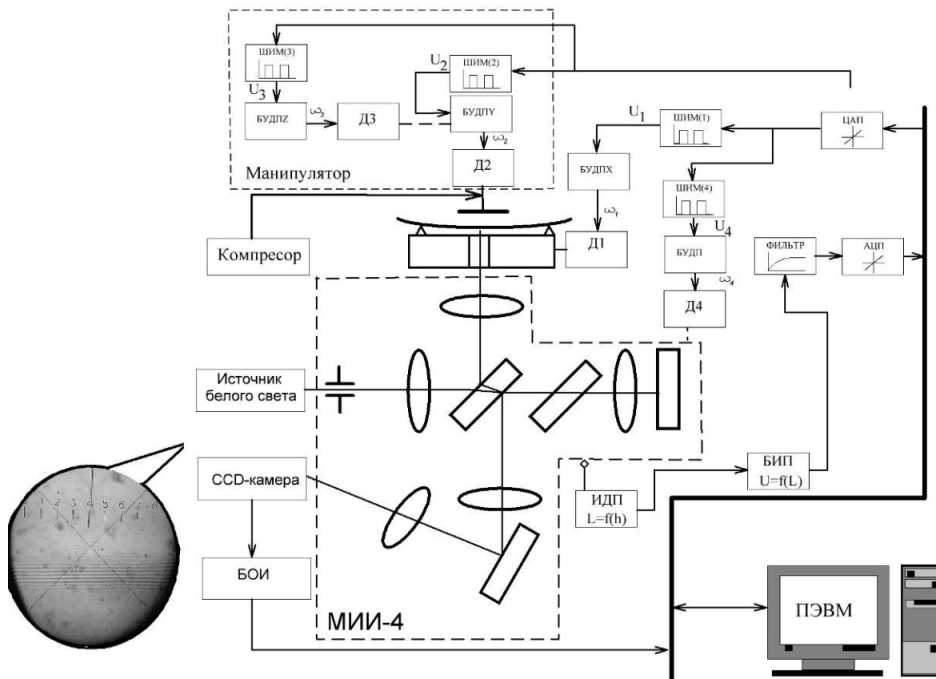


Рис. 3. Функциональная схема автоматизированного комплекса «Микрон-1»: Д1 – двигатель перемещения координатного столика по оси X; Д2 – двигатель вращения манипулятора по оси Y; Д3 – двигатель для поднятия и опускания манипулятора; Д4 – двигатель для вращения микрометрического винта; БУДПУ – блок управления двигателем вращения манипулятора; БУДПХ – блок управления двигателем перемещения координатного столика по оси X; БУДПЗ – блок управления двигателем поднятия / опускания манипулятора; БУДП – блок управления двигателем для вращения микрометрического винта; ШИМ1, 2, 3, 4 – широтно-импульсные модуляторы, служат для задания скорости вращения двигателей; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ИДП – индуктивный датчик перемещения; БИП – блок измерения показаний с индукционного датчика перемещения; ВК – видеокамера; БОИ – блок обработки изображений; ПЭВМ – промышленная ЭВМ. Обрабатывает данные, получаемые с датчика перемещения и видеокамеры

Для измерения сложных форм деформации пластин арсенида галлия по кристаллографическим направлениям нами был разработан координатный столик, общий вид которого представлен на рис. 4.

Основание 1 устанавливается вместо штатного столика МИИ-4. Исследуемая пластина помещается на корундовые наконечники 4, которые установлены на столике 3 в одной плоскости, вдоль одного кристаллографического направления.

Разработанная нами установка может работать в двух режимах: ручном и автоматическом.

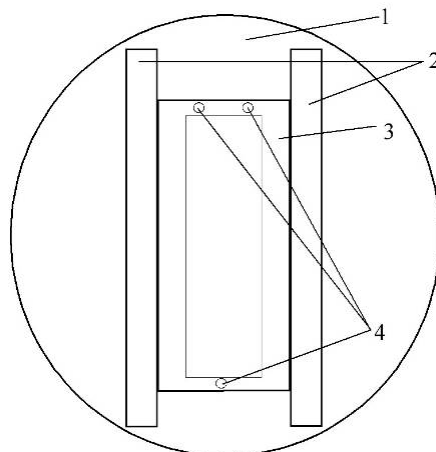


Рис. 4. Координатный столик для снятий деформаций вдоль одного кристаллографического направления: 1 – основание столика, 2 – направляющие, 3 – передвигающийся столик, 4 – корундовые наконечники

В ручном режиме перемещение столика, с пластиной, оператор осуществляет при помощи двигателя Д1, контроль перемещения интерференционной картины от центра изображения осуществляется при помощи CCD камеры ВК, вертикальное перемещение линий интерференции по экрану оператор может осуществлять при помощи Д4, который вращает микрометрический винт. Перемещение головки МИИ-4 контролируется при помощи индуктивного датчика ИДП; значения, получаемые с БИП, оператор может записать в файл и отобразить на мониторе ПЭВМ в виде 3D изображения или топограммы. Поворот пластины на  $45^0$  оператор может выполнять как вручную, так и при помощи «манипулятора с вакуумным захватом».

Для измерений в автоматическом режиме оператору достаточно задать диаметр исследуемой пластины, а также шаг измерения по оси X в миллиметрах. Перемещение пластины осуществляется в автоматическом режиме при помощи двигателя Д1, который перемещает столик, где расположена пластина. Программа обрабатывает данные, получаемые с CCD камеры, и при помощи двигателя Д4 контролирует положение линий интерференции в центре изображения. Данные с индуктивного датчика ИДП записываются в файл и выводятся на экран в виде 3D изображения. После сканирования вдоль одного кристаллографического направления столик перемещается в исходное положение. Поворот на  $45^0$  осуществляется при помощи манипулятора.

Интерфейс пользователя представлен на рис. 5, также здесь представлен и результат программы в виде 3D изображения.

Нами была проведена метрологическая аттестация установки «Микрон-1», измерения проводились на двух поверочных интерференционных пластинах типа ПИ-120. Было проведено измерение деформации с помощью индуктивного датчика перемещения и CCD камеры. Абсолютная погрешность при использовании разработанного нами метода составила 0,75 мкм.

Были проведены измерения пяти пластин арсенида галлия с ориентацией (100), легированных хромом, с концентрацией примесей  $5 \cdot 10^{14}$  см<sup>-3</sup>, удельным сопротивлением  $10^7$  Ом·см, диаметром 92 мм, толщиной 1,5 мм. По результатам измерений были построены эпюры изгибов в зависимости от кристаллографического направления (рис. 6).

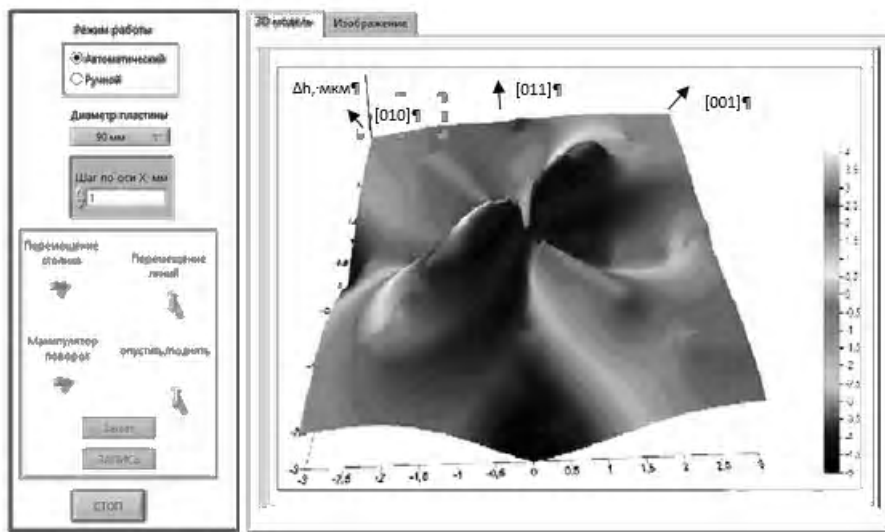


Рис. 5. Интерфейс пользователя

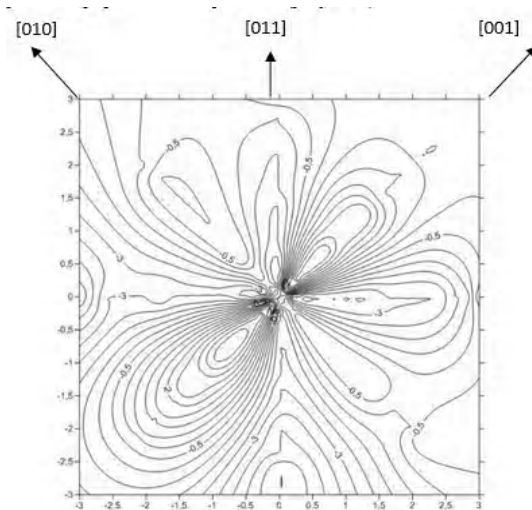


Рис. 6. Эпюры изгиба в плоскости пластины (100) в зависимости от кристаллографического направления

Чтобы установить влияние внутренних напряжений на деформацию пластины, можно использовать следующие формулы [2]:

$$\sigma_1 = \frac{E_{\langle 011 \rangle (100)}}{1 - \nu_{\langle 011 \rangle (100)}^2} (\epsilon_1 - \nu_{\langle 011 \rangle (100)} \epsilon_2), \quad \sigma_2 = \frac{E_{\langle 011 \rangle (100)}}{1 - \nu_{\langle 011 \rangle (100)}^2} (\epsilon_2 - \nu_{\langle 011 \rangle (100)} \epsilon_1), \quad (6)$$

где  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  – главные напряжения;  $\nu$  – коэффициент Пуассона;  $E_{\langle 011 \rangle (100)}$  – модуль Юнга;  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$  – деформация.

Ниже приведены значения  $E$  и  $\nu$ , рассчитанные при помощи упругих постоянных  $c_{11}$ ,  $c_{12}$  и  $c_{44}$  в плоскости пластины (100), расчет производился с шагом  $5^\circ$ . В таблице представлены только результаты для направлений  $\langle 010 \rangle$ ,  $\langle 010 \rangle$  и  $\langle 010 \rangle$ .

В теории пластин и оболочек «жесткость» пластин равна [2]

$$G = \frac{Eh^3}{12 - (1 - \nu^2)}, \quad (7)$$

где  $G$  – жесткость пластины;  $E$  – модуль Юнга;  $h$  – толщина пластины;  $\nu$  – коэффициент Пуассона.

Рассчитанные значения жесткости, модуля Юнга и коэффициента Пуассона занесены в таблицу.

Таблица 1

	Плоскость (100)		
	$\langle 010 \rangle$	$\langle 011 \rangle$	$\langle 001 \rangle$
$E \cdot 10^{12} \text{дин/см}^2$	0,85	1,21	0,85
$\nu$	0,315	0,01	0,315
$G \cdot 10^9 \text{дин/см}^2$	0,265	0,324	0,265

На рис. 7 представлены значения  $E$ ,  $\nu$  и  $G$ , рассчитанные для плоскости (100).

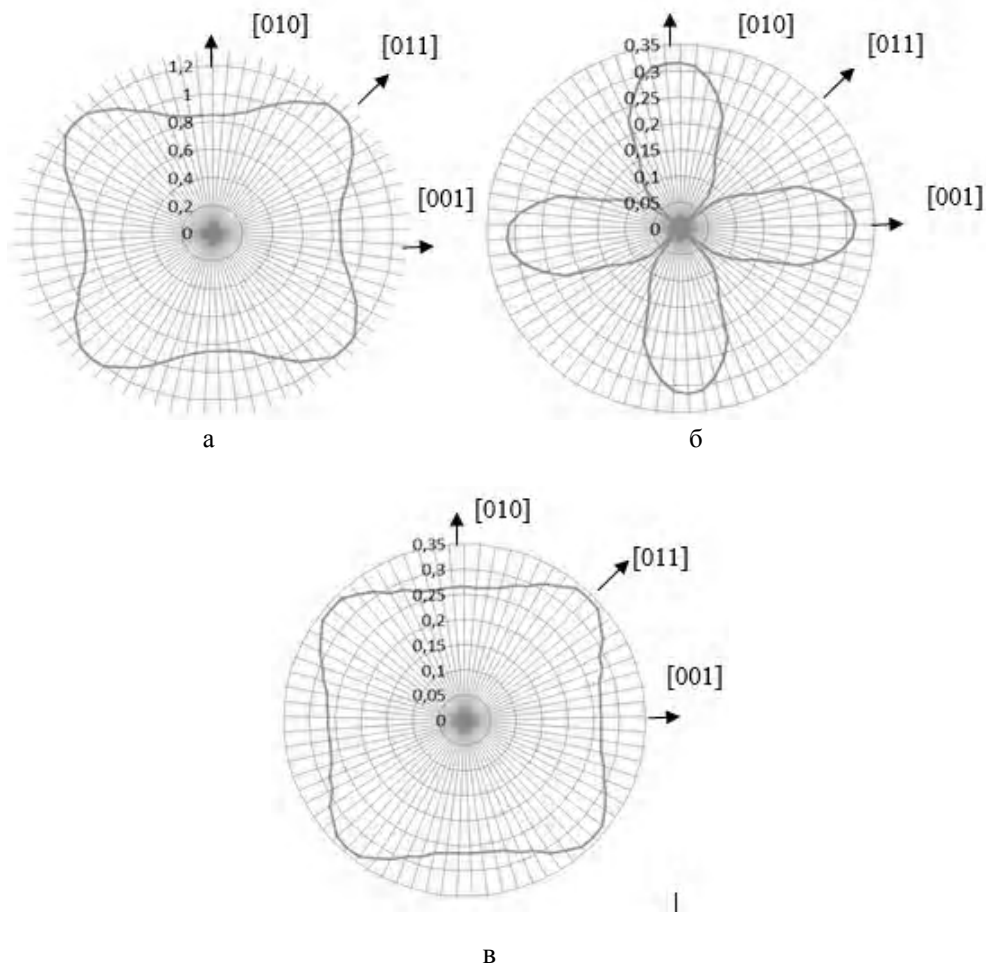


Рис. 7. Графики рассчитанных значений  $E$ ,  $\nu$  и  $G$ :

а – модуль Юнга ( $E$ ) в плоскости пластины (100);

б – коэффициент Пуассона ( $\nu$ ) в плоскости пластины (100);

в – жесткость ( $G$ ) в плоскости пластины (100)

Из рис. 7, в видно, что в плоскости (100) пластина является более «жесткой» по направлению  $\langle 011 \rangle$  в сравнении с направлением  $\langle 001 \rangle$  и  $\langle 010 \rangle$ . Из соотношений (6) и таблицы становится понятным, почему изгиб в плоскости (100) происходит по одному из направлений  $[100]$  и, как правило, не происходит по направлениям  $[110]$ .

Под действием главных напряжений  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  пластина теряет устойчивость в одном из слабых направлений  $[100]$ , например, в направлении  $\langle 100 \rangle$ . При этом вследствие высокого значения коэффициента Пуассона при возникновении деформации  $\epsilon_1$  действующее напря-

жение в перпендикулярном направлении уменьшается и пластина устойчива в этом направлении не теряет. При дальнейшем росте напряжения пластине выгодно потерять устойчивость, изогнувшись в другую сторону, так как при этом напряжения, возникающие из-за действия коэффициента Пуассона, складываются с приложенными напряжениями, тогда как при изгибе в одну сторону напряжение, возникающее за счет коэффициента Пуассона, вычитается из приложенного напряжения. При этом возникает “антикластический” изгиб.

По направлениям [110] пластина является более “жесткой”, чем по направлениям [100]. Кроме того, вследствие чрезвычайно малого коэффициента Пуассона изгиб или потеря устойчивости не влияет на потерю устойчивости по другому, перпендикулярному направлению. Вследствие этого, “антикластический” изгиб не должен возникать и в действительности нами не наблюдался по направлениям [110], что подтверждается измеренными результатами (см. рис. 5,6), а также рассчитанными значениями  $E$ ,  $\nu$  и  $G$  (см. рис. 7).

### 3. Выводы

1. Разработан бесконтактный метод измерения сложных форм деформаций пластин арсенида галлия с учетом кристаллографических направлений. Данный метод основан на определении смещения линий интерференционных полос, формирующихся на поверхности пластины, при отклонении пластины от плоскости. Метод позволил автоматизировать процесс измерения.

2. Разработан автоматизированный комплекс «Микрон-1», который позволяет измерять деформацию пластин арсенида галлия диаметром до 100мм в диапазоне  $\pm 50\mu\text{м}$  как в ручном, так и в автоматическом режиме. Абсолютная погрешность при использовании данного комплекса составила  $0,75\mu\text{м}$ .

3. Впервые показано что пластина арсенида в плоскости (100) является более жесткой по направлению  $\langle 011 \rangle$  в сравнении с направлением  $\langle 001 \rangle$  и  $\langle 010 \rangle$  из-за действующих в пластине главных напряжений  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ , а также вследствие чрезвычайно малого коэффициента Пуассона.

**Список литературы:** 1. *Финк К., Порбах Х.* Измерение напряжений и деформаций: Пер. с нем. М: Машгиз, 1961. 374 с. 2. *Тимошенко С.П., Гудьер Дж.* Теория упругости: Пер. с англ. под ред. Шапиро Г.С. М.: Наука, 1979. С. 34-53. 3. *Wortman J.J., Evans R.A.* Young's modulus, shear's modulus and poisson's ratio in silicon and germanium // J. Appl. Phys. 1965. Vol. 36, №1. P. 153. 4. *Yamagishi S.* Anticlastic Bending of Silicon wafers induced during thermal cycling // J. Appl. Phys. 1973. Vol. 12, №11. P. 1748-1752. 5. *Tsai Iting, Wu Enboa, S. F. Yen and T. H. Chuang* Mechanical properties of intermetallic compounds on lead-free solder by moire techniques // Journal of Electronic Materials. 2006. Vol. 35, № 5. P. 1059–1066. 6. *Bernsen J.* Dynamic thresholding of gray-level images // Int. Conf. Pattern Recognition. 1986. Vol.2. P. 1251—1255. 7. *Chan F. H. Y., Lam F. K., Zhu H.* Adaptive thresholding by variational method // IEEE Transactions on Image Processing 7. 1998. 3 (March). P. 468—473. 8. *Shapiro L. G., Stockman G. C.* Computer Vision // Prentice Hall, 2002. 9. *Ogava H., Suzuki K., Kaneko S.* Tensile testing of microfabricated thin films // Microsystem Technologies. 1996. Vol. 3, №3. P. 117–121. 10. *Steel W.H.* Interferometry, second Edition: Cambridge Studies in Modern Optics // Cambridge University Press, 1986. 308 p.

*Поступила в редколлегию 12.09.2013*

**Оксанич Анатолий Петрович**, д-р техн. наук, профессор, директор НИИ технологии полупроводников и информационно-управляющих систем КрНУ им. М. Остроградского, заведующий кафедрой информационно-управляющих систем. Научные интересы: методы и аппаратура контроля структурно-совершенных полупроводниковых монокристаллов. Адрес: Украина, 39600, Кременчуг, ул. Первомайская, 20, тел. (05366) 30157. E-mail: oksanich@kdu.edu.ua.

**Когдась Максим Григорьевич**, аспирант кафедры информационно-управляющих систем КрНУ им. М. Остроградского. Научные интересы: автоматизация процессов управления производством полупроводниковых материалов. Адрес: Украина, 39600, Кременчуг, ул. Первомайская, 20, тел.: (05366) 30157. E-mail: kogdasMax@yahoo.com.

## **КОМБИНАТОРНАЯ МОДЕЛЬ ВЕКТОРА ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ КОРТЕЖЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИНФОРМАТИВНОСТИ УСЕЧЕННОЙ ЛИНЕАРИЗИРОВАННОЙ ТРАНСФОРМАНТЫ**

---

Обосновывается необходимость развития технологий компрессии трансформированных изображений с использованием платформы JPEG. Показывается, что преимущество для развития имеет направление, базирующееся на формировании двухкомпонентного кортежа линеаризированной трансформанты в компонентном представлении. Излагается разработка модели оценки количества информации в усеченной линеаризированной трансформанте в случае формирования вектора двухкомпонентных кортежей и выявления структурных ограничений на динамический диапазон. Оценивается информативность усеченного вектора двухкомпонентных кортежей.

### **1. Введение**

Предоставление видеoinформационных услуг с использованием беспроводных инфокоммуникационных технологий имеет ряд критических сторон. Критичность предоставления таких услуг связана с проблематичностью относительно обеспечения заданных характеристик по задержке на узле доступа, задержке от источника до получателя; вероятности потери пакетов на узле доступа [1; 2].

Ключевой составляющей решения возникающих трудностей являются технологии компрессии видеок кадров. Сжатие видеоданных позволяет сократить время передачи данных в сети, уменьшить интенсивность поступления пакетов в сеть. В основе наиболее часто используемых на практике кодеков для обработки подвижных и статических видеок кадров лежит технология сжатия на базе JPEG платформы [2 – 4].

Стратегия компонентного кодирования квантизированной трансформанты строится с учетом таких свойств: концентрация основной энергии исходного сигнала в ограниченном количестве низкочастотных компонент трансформанты; выделение области высокочастотных компонент; появление компонент трансформанты с нулевыми значениями. Такие свойства предопределили развитие базовых стратегий кодирования компонентного представления трансформанты. Здесь осуществляется выделение длин цепочек, состоящих из компонент трансформанты, которые имеют после квантизации нулевые значения. В результате формируются двухкомпонентные кортежи (ДК).

### **2. Анализ недостатков технологий компонентного кодирования квантизированных трансформант**

Рассмотрим обработку двухкомпонентных кортежей. Между компонентами кортежей существует взаимосвязь. Во-первых, это обусловлено позициями значимых компонент в трансформанте. Во-вторых, для значимых компонент в связи с процессами трансформирования и квантизации будет характерен неравномерный закон распределения значений. Такие свойства определяют обработку двухкомпонентных кортежей. Здесь технологии кодирования разделяются на два подхода [3 – 5]:

1. Для первого подхода организуется динамическое статическое кодирование, где используется контекстное моделирование. Но в то же время требуются дополнительные битовые затраты на представление служебной составляющей, содержащей информацию о вероятностях распределения компонент. Кроме того, недостаток такого подхода заключается в увеличении временных задержек на обработку, связанных с пересчетом вероятностей появления компонент.

2. Второй подход связан со статистическим кодированием с фиксированными таблицами. Однако снижается адаптированность статистической модели к изменяющимся характеристикам трансформант. Это приводит к увеличению длины кода информационной составляющей кодовой конструкции.

Отсюда следует, что технология статистического кодирования компонентного представления трансформанты может обеспечить снижение битовой скорости ценой потери информации в изображениях и повышения времени их обработки. Значит, *научно-прикладной задачей* является совершенствование технологии компрессии изображений на базе JPEG-платформы для обеспечения требуемой битовой скорости сжатых видеопотоков при заданном уровне визуального качества восприятия изображений после декомпрессии.

Одним из эффективных подходов для развития технологий кодирования трансформант в компонентном описании является направление, основанное на устранении структурно-комбинаторной избыточности [5]. Здесь в первую очередь необходимо обосновать и оценить потенциальные характеристики структурно-комбинаторных закономерностей, которые допустимо выявить для вектора двухкомпонентных кортежей линейризованной трансформанты (ЛТ). Поэтому *цель исследований* заключается в построении модели для оценки информативности ЛТ на основе формирования вектора двухкомпонентных кортежей.

### 3. Разработка модели для оценки информативности вектора двухкомпонентных кортежей

В результате выявления цепочек нулевых компонент, предшествующих значимым компонентам, получим следующее описание линейризованной трансформанты  $Y^{(1)} = \{\ell_1; c_1, \dots, \ell_\alpha; c_\alpha, \dots, \ell_{n_{\text{крт}}}; c_{n_{\text{крт}}}\}$ . Это позволяет сократить количество повторяющихся коэффициентов трансформанты ДКП.

Под вектором  $p$  двухкомпонентных кортежей  $\Theta_\alpha^{(2)}$  линейризованной трансформанты  $Y^{(1)}$  понимается последовательность пар  $\{\ell_\alpha; c_\alpha\}$  структурного описания, составленная из значимой компоненты  $c_\alpha$  трансформанты и предшествующей ей длины  $\ell_\alpha$  цепочки компонент с нулевыми значениями.

Рассмотрим свойства такого структурного описания трансформанты. Свойства первых компонент кортежа зависят от значения фактора потери качества и степени когерентности сегментов изображений. Для длин  $\ell_\alpha$  цепочек элементов трансформанты характерны следующие закономерности:

1. Максимально возможное значение  $\ell_{\text{max}}$  длины цепочки нулей ограничено величиной  $n^2 - 1$ , т.е.  $\ell_\alpha \rightarrow \ell_{\text{max}} = n^2 - 1$ .

2. Значения длин цепочек компонент с нулевыми значениями, кроме длины последней цепочки, имеют ограниченный динамический диапазон  $\lambda(\ell)$ , т.е.  $\ell_\alpha \leq \lambda(\ell) \ll \ell_{\text{max}}$  для  $\alpha = 1, n_{\text{крт}} - 1$ .

Значит, динамический диапазон длин нулевых компонент трансформант, образующих вектор  $L$ , задается следующей системой:

$$\ell_\alpha \leq \begin{cases} \lambda(\ell) = 1, & \rightarrow \alpha = 1; \\ \lambda(\ell) \leq n^2 - \ell_{n_{\text{крт}}} - 1, & \rightarrow 2 \leq \alpha \leq n_{\text{крт}} - 1; \\ \lambda(\ell) = \max_{1 \leq \alpha \leq n_{\text{крт}}} \{\ell_\alpha\}, & \rightarrow \alpha = n_{\text{крт}}. \end{cases} \quad (1)$$

Рассмотрим теперь свойства вторых компонент кортежа, а именно значимых компонент  $c_\alpha$  линейризованной трансформанты. В соответствии со структурными особенностями *линейризованной по диагональному зигзагу* трансформанты ее значимые компоненты, кроме компоненты на позиции  $\alpha = 1$ , имеют ограниченный динамический диапазон  $\lambda(c)$ , т.е. [3; 4]

$$1 \leq c_\alpha \leq \lambda(c) < c_{\text{max}}, \quad \alpha = \overline{2, n_{\text{крт}} - 1}. \quad (2)$$

Здесь величина  $\lambda(c)$  определяется как  $\lambda(c) = \max_{2 \leq \alpha \leq n_{\text{крт}} - 1} \{c_\alpha\}$ .

Рассмотрим теперь обобщенное описание вектора  $P$  двухкомпонентных кортежей. Размерность такого массива составляет  $2 \times (n_{\text{крт}} - 2)$ . С позиции выявления ограничений наибольший интерес представляет не весь вектор ДК, а только та его часть  $P'$ , которая не содержит первый и второй кортежи, т.е.  $P' = \{(\ell_2; c_2), \dots, (\ell_\alpha; c_\alpha), \dots, (\ell_{n_{\text{крт}}-1}; c_{n_{\text{крт}}-1})\}$ . Такой вектор кортежей называется *усеченным*. В соответствии с этим сформулируем следующее определение.

*Определение 1.* Составляющая  $\bar{Y}^{(1)}$  линеаризованной трансформанты, которой соответствует усеченный двухкомпонентный кортеж, называется *усеченной линеаризованной трансформантой* (УЛТ).

УЛТ будет иметь следующую комбинаторную интерпретацию.

*Определение 2.* Усеченная линеаризованная трансформанта, структурно описанная в виде двухкомпонентного кортежа, представляет собой двумерный комбинаторный объект размерностью  $(2 \times (n_{\text{крт}} - 2))$ , строками которого являются перестановки с повторениями по  $(n_{\text{крт}} - 2)$  элементов, для которых выполняются следующие ограничения:

- первая компонента кортежа имеет ограничение на динамический диапазон, равный  $\lambda(\ell) \leq n^2 - \ell_{n_{\text{крт}}} - 1$ ;
- динамический диапазон второй компоненты кортежа ограничен сверху величиной, равной  $\lambda(c) < c_1$ .

Для оценки информативности такого представления трансформанты требуется определить количество усеченных векторов ДК, для компонент которого выполняются ограничения, задаваемые формулами (1) и (2). Для этого сформулируем и докажем следующую теорему.

**Теорема о количестве усеченных векторов ДК.** *Количество  $W(P')$  усеченных векторов двухкомпонентных кортежей, для компонент которого выполняются ограничения, задаваемые выражениями (1) и (2), определяется по формуле*

$$W(P') = (\lambda(\ell) \cdot \lambda(c))^{n_{\text{крт}}-2}. \quad (3)$$

*Доказательство.* Рассмотрим сначала отдельный кортеж  $\{\ell_\alpha; c_\alpha\}$  усеченного вектора ДК. Каждая компонента такого кортежа независимо друг от друга может принимать значения соответственно в следующих диапазонах:

$$1 \leq \ell_\alpha \leq \lambda(\ell) = \max_{2 \leq \alpha \leq n_{\text{крт}}-1} \{\ell_\alpha\} \leq n^2 - \ell_{n_{\text{крт}}} - 1; \quad (4)$$

$$1 \leq c_\alpha \leq \lambda(c) = \max_{2 \leq \alpha \leq n_{\text{крт}}-1} \{c_\alpha\} < c_1; \quad \alpha = \overline{2, n_{\text{крт}}-1}. \quad (5)$$

Значит, такой кортеж является перестановкой с повторениями с двумя спецификациями относительно динамических диапазонов элементов. Количество  $W(\Theta_\alpha^{(2)})$  таких перестановок определяется как  $W(\Theta_\alpha^{(2)}) = \lambda(\ell) \cdot \lambda(c)$ .

Поскольку выбор комбинации  $\alpha$ -го кортежа  $\{\ell_\alpha; c_\alpha\}$  не зависит от выбора комбинаций предшествующих  $(\alpha-2)$  и последующих  $(n_{\text{крт}} - \alpha)$  кортежей, то суммарное количество комбинаций по всем  $(n_{\text{крт}} - 2)$  кортежам определяется как произведение количества комбинаций для каждого отдельного кортежа (в соответствии с комбинаторной теоремой о произведении), т.е.  $W(P') = \prod_{\alpha=2}^{n_{\text{крт}}} W(\Theta_\alpha^{(2)})$ . В итоге получаем следующую формулу для определения количества усеченных векторов ДК:  $W(P') = (\lambda(\ell) \cdot \lambda(c))^{n_{\text{крт}}-2}$ . Теорема доказана.

На основе доказанной теоремы вытекает следствие относительно верхней границы количества усеченных векторов ДК.

*Следствие.* Количество усеченных векторов ДК, компоненты которых изменяются в пределах, описанных соотношениями (4) и (5), не будет превышать величины, заданной следующим выражением:

$$W(P') < ((n^2 - \ell_{\text{крг}} - 1) \cdot c_1)^{n_{\text{крг}} - 2}. \quad (6)$$

Доказательство. Действительно, подставим в соотношение (3) верхние пределы для величин  $\lambda(\ell)$  и  $\lambda(c)$  и получим  $W(P') < ((n^2 - \ell_{\text{крг}} - 1) \cdot c_1)^{n_{\text{крг}} - 2}$ .

Для известного количества допустимых усеченных векторов ДК информативность  $V(P')$  усеченной линеаризированной трансформанты определяется по следующей формуле:  $V(P') = (n_{\text{крг}} - 2) \log_2(\lambda(\ell) \cdot \lambda(c))$ . При этом в силу свойства (6) количество двоичных разрядов на представление УЛТ будет ограничено сверху следующей величиной:

$$V(P') < (n_{\text{крг}} - 2) \log_2((n^2 - \ell_{\text{крг}} - 1) \cdot c_1). \quad (7)$$

Среднее количество  $\bar{V}(P')$  информации, приходящееся на один двухкомпонентный кортеж, оценивается как  $\bar{V}(P') = \log_2(\lambda(\ell) \cdot \lambda(c))$ . Соответственно количество  $S(P')$  избыточности в УЛТ как разница информативности до и после ее описания в виде усеченного вектора  $P'$  двухкомпонентных кортежей будет равно

$$S(P') = (n_{\text{крг}} - 2) \log_2(\ell_{\text{max}} \cdot c_{\text{max}}) - (n_{\text{крг}} - 2) \log_2(\lambda(\ell) \cdot \lambda(c)).$$

При этом  $S(P') > 0$ , поскольку по условию формирования усеченных векторов ДК выполняются условия  $\lambda(\ell) < \ell_{\text{max}}$  и  $\lambda(c) < c_{\text{max}}$ .

С учетом соотношения (7) получим следующую нижнюю оценку количества избыточности:

$$S(P') > (n_{\text{крг}} - 2) \log_2 \frac{\ell_{\text{max}}}{(n^2 - \ell_{\text{крг}} - 1)}.$$

Среднее количество  $\bar{S}(Y^{(1)}/P')$  избыточности, содержащееся в последовательности компонент ЛТ в случае его исходного представления относительно представления в виде двухкомпонентного кортежа с выявленными ограничениями на динамический диапазон, оценивается с помощью следующего выражения:

$$\bar{S}(Y^{(1)}/P') = \left( 1 - \frac{(n_{\text{крг}} - 2) \log_2(\lambda(\ell) \cdot \lambda(c))}{(n^2 - \ell_{\text{крг}} - 1) \log_2 c_{\text{max}}} \right) \times 100\%, \quad (8)$$

где  $\log_2 c_{\text{max}}$  – количество разрядов на представление компоненты ЛТ до формирования кортежей.

Оценка количества  $\bar{S}(Y^{(1)}/P')$  избыточности, в среднем приходящейся на один двухкомпонентный кортеж в зависимости от степени насыщенности исходного сегмента изображения, представлена в виде диаграмм на рисунке.

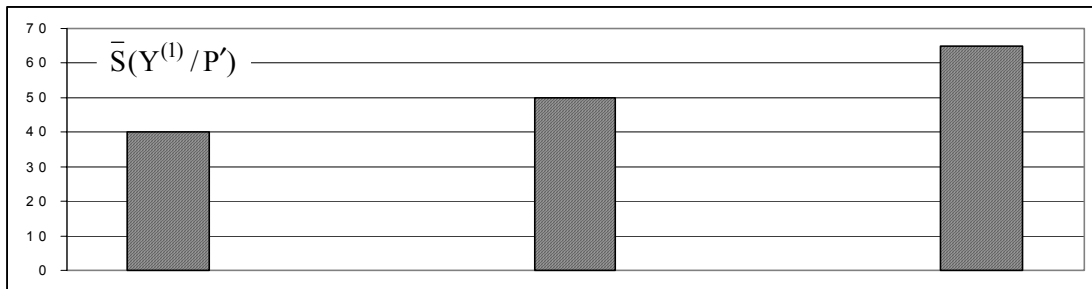


Диаграмма зависимости величины  $\bar{S}(Y^{(1)}/P')$  от степени насыщенности сегмента изображения

Как следует из анализа диаграмм на рисунке, количество сокращаемой избыточности изменяется в среднем от 40 до 60% в зависимости от степени насыщенности сегмента изображения. Увеличение количества потенциально сокращаемой избыточности соответствует случаю обработки слабонасыщенных изображений. Это достигается в результате сокращения количества кортежей.

### 3. Выводы

В результате изложенного можно заключить, что:

1) разработана модель оценки количества информации в усеченной линейаризированной трансформанте в случае формирования вектора двухкомпонентных кортежей и выявления структурных ограничений на динамический диапазон;

2) обосновано, что в результате построения вектора двухкомпонентных кортежей достигается сокращение комбинаторной избыточности, обусловленной: неравномерными значениями компонент в линейаризированной трансформанте; остаточной взаимной корреляцией между компонентами ДКП; взаимозависимостью компонент ДКП; неравномерностью распределения значений компонент ДКП;

3) показано, что среднее количество потенциально сокращаемой избыточности, приходящееся на один двухкомпонентный кортеж, изменяется в пределах от 40 до 60% в зависимости от степени насыщенности сегмента изображения.

*Научная новизна.* Впервые разработана математическая модель для оценки информативности линейаризированной трансформанты. Отличительные характеристики модели состоят в том, что вектор двухкомпонентных кортежей представляет собой двумерный комбинаторный объект. Это позволяет оценить нижнюю границу эффективности компрессии сегментов изображений.

**Список литературы:** 1. *Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебное пособие.* / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. СПб.: Питер, 2006. 958 с. 2. *Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений* / Р. Гонсалес, Р. Вудс. М.: Техносфера, 2005. 1072 с. 3. *Баранник В.В. Структурно-комбинаторное представление данных в АСУ* / В.В. Баранник, Ю.В. Стасев, Н.А. Королева. Х.: ХУПС, 2009. 252 с. 4. *Баранник В.В. Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах* / В.В. Баранник, В.П. Поляков. Х.: ХУПС, 2010. 212 с. 5. *Баранник В.В. Обоснование проблемных недостатков технологии компонентного кодирования трансформированных изображений для средств телекоммуникаций* / В.В. Баранник, Ю.В. Стасев, С.В. Туренко // Сучасна спеціальна техніка. 2013. № 4. С. 17–26.

*Поступила в редколлегию 11.09.2013*

**Баранник Владимир Викторович**, д-р техн. наук, профессор, начальник кафедры боевого применения и эксплуатации АСУ Харьковского университета Воздушных Сил. Научные интересы: обработка и передача информации. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79.

**Туренко Сергей Викторович**, аспирант ХНУРЭ. Научные интересы: обработка и передача информации. Адрес: Украина, 61023, Харьков, пр. Ленина, 14.

## ТРЕХМЕРНОЕ РАВНОМЕРНОЕ КОДИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕННОЙ ДЛИНОЙ КОДА

Обосновывается необходимость совершенствования теоретической базы и технологий обработки видеоданных (кадров, видеопотока) в направлении формирования кодов для трехмерных структур данных. Разрабатывается трехмерное кодирование данных в режиме равномерных трехмерных полиадических чисел и переменной длины кодового слова на представление их кодового значения. Созданное кодирование обеспечивает построение компактного представления видеоданных в трехмерном пространстве для случаев, когда нет жестких ограничений на длину кодограммы, а код должен строиться для установленного количества элементов в кадре или в потоке. Ключевые слова: трехмерные структуры видеоданных, полиадическое число.

### Введение

На данный момент развития общества как информационного пространства становится актуальным предоставление возможности доступа к видеоинформационным ресурсам, распределенным в трехмерном пространстве. Здесь необходимо считаться со значительными нагрузками на инфокоммуникационные системы [1; 2]. Причиной является резкий рост объемов видеоданных. В свою очередь это требует коренной модернизации существующих технологий кодирования и обработки видеопотоков и кадров. Становится очевидным наличие проблемного аспекта относительно дальнейшего развития теоретической базы и технологий обработки и кодирования видеоданных [1 – 3].

Как показывает анализ работ [4 – 8], ключевым звеном в создании новых технологий обработки видеокadres является подход, базирующийся на разработке технологий трехмерного кодирования данных. Такое направление излагается в работах [9; 10]. Здесь нерешенными остаются вопросы, связанные с порядком обработки трехмерных структур данных, выбором режима обработки, формируемых трехмерных полиадических чисел (ТПЧ).

### 1. Анализ режимов обработки трехмерных структур данных

Весовой коэффициент элемента полиадического числа (ПЧ) равен количеству перестановок с повторениями, составленных из младших элементов [9]. Значение весового коэффициента зависит от направления обхода элементов полиадического числа и от их количества. Поскольку величина произведения имеет положительное значение  $a_{jiz} \omega_{jiz} \geq 0$ , то с увеличением количества элементов значение кода-номера  $N^{(3)}$  также будет повышаться  $N^{(3)} \sim m$ . Значит, исключить потери информации из-за переполнения разрядной сетки, отводимой на представление величины  $N^{(3)}$ , можно, если [9]:

1) для фиксированного количества элементов ПЧ (равномерная длина полиадического числа) использовать переменную длину разрядной сетки на представление кода-номера, т.е.

$$m = \text{const}; S(N^{(3)}) = \text{var}, \quad (1)$$

где  $S(N^{(3)})$  – количество разрядов, затрачиваемое на представление кода-номера  $N^{(3)}$ ;

2) в случае равномерной (постоянной) длины разрядной сетки формировать код-номер для переменного количества элементов ПЧ (переменная длина полиадического числа):

$$m = \text{var}; S(N^{(3)}) = \text{const}. \quad (2)$$

В случае вычисления кода-номера в условиях (1) количество элементов полиадического числа известно заранее. Поэтому в качестве направления обхода элементов ПЧ предлагается выбирать направление «от старших к младшим» разрядам. Данное направление обхода реализуется также в условиях (2). Понятно, что общими условиями полиадического

кодирования являются условия (2). Условия (1) получаются из условий (2) путем наложения ограничений на длину  $m$  ПЧ. Вывод выражения для определения весового коэффициента будем проводить с учетом выполнения условий, заданных соотношением (2). Это обеспечит сокращение комбинаторной избыточности и исключение потери информации. В связи с этим *цель исследований* состоит в разработке кодирования равномерных составляющих трехмерных структур данных переменной длиной кода.

## 2. Разработка трехмерного равномерного кодирования переменной длиной кода

Допустим, что количество элементов ТПЧ равно  $m = n_{\text{стб}} \times n_{\text{стр}} \times n_c$  и известно заранее. Рассмотрим построение полиадического нумератора в случае, когда количество элементов ТПЧ фиксировано, а длина разрядной сетки на представление кода-номера является переменной, т.е.  $m = \text{const}$ ;  $S(N^{(3)}) = \text{var}$ .

Условие  $S(N^{(3)}) = \text{var}$  позволяет выбирать необходимое количество разрядов на представление кода-номера  $N^{(3)}$ . Тогда создание нумератора трехмерных полиадических чисел сводится к выводу соотношения для определения величины весового коэффициента  $\omega_{jiz}$ . Для этого сформулируем и докажем следующую теорему.

**Теорема о весовом коэффициенте ТПЧ.** Для известной длины трехмерного полиадического числа и переменной длины кодограммы значение весового коэффициента  $\omega_{jiz}$  для  $(j; i; z)$ -го элемента находится по формуле

$$\omega_{j; i; z} = \prod_{\gamma=z+1}^{n_c} \Psi_{j; i; \gamma} \prod_{k=i+1}^{n_{\text{стр}}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \Psi_{j; k; \gamma} \prod_{\eta=j+1}^{n_{\text{стб}}} \prod_{k=1}^{n_{\text{стр}}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \Psi_{\eta; k; \gamma}. \quad (3)$$

Доказательство. Вывод выражения (3) будем проводить на основе рекуррентного соотношения

$$N^{(3)} = N^{(n_{\text{стб}}, n_{\text{стр}}, n_c)} = N^{(n_{\text{стб}}-1, n_{\text{стр}}, n_c)} V_{n_{\text{стб}}}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + N_{n_{\text{стб}}}^{(n_{\text{стр}}, n_c)},$$

где  $N^{(n_{\text{стб}}-1, n_{\text{стр}}, n_c)}$  – значение кода-номера для  $((n_{\text{стб}}-1) \times n_{\text{стр}} \times n_c)$  элементов ТПЧ.

Для этого последовательно распишем значения предыдущих кодов-номеров предыдущих шагов обработки:

$$\begin{aligned} N^{(3)} &= N^{(n_{\text{стб}}, n_{\text{стр}}, n_c)} = N^{(n_{\text{стб}}-1, n_{\text{стр}}, n_c)} V_{n_{\text{стб}}}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + N_{n_{\text{стб}}}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} = \\ &= N_1^{(n_{\text{стр}}, n_c)} \prod_{\eta=2}^{n_{\text{стб}}} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + \dots + N_{\xi-1}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} \prod_{\eta=\xi}^{n_{\text{стб}}} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + \dots + \\ &+ N_{n_{\text{стб}}-1}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} V_{n_{\text{стб}}}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + N_{n_{\text{стб}}}^{(n_{\text{стр}}, n_c)}. \end{aligned} \quad (4)$$

Преобразуем формулу (4) с учетом соотношений для величин  $N_{\xi}^{(n_{\text{стр}}, n_c)}$ ,  $\xi = \overline{1, n_{\text{стб}}}$ :

$$\begin{aligned} N^{(3)} &= (N_{11}^{(n_c)} \prod_{i=2}^{n_{\text{стр}}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \Psi_{1i\gamma} + \dots + N_{1k}^{(n_c)} \prod_{i=k+1}^{n_{\text{стр}}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \Psi_{1i\gamma} + \dots + \\ &+ N_{1, n_{\text{стр}}-1}^{(n_c)} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \Psi_{1, n_{\text{стр}}, \gamma} + N_{1, n_{\text{стр}}}^{(n_c)}) \prod_{\eta=2}^{n_{\text{стб}}} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + \dots + \\ &+ (N_{j1}^{(n_c)} \prod_{i=2}^{n_{\text{стр}}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \Psi_{ji\gamma} + \dots + N_{jk}^{(n_c)} \prod_{i=k+1}^{n_{\text{стр}}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \Psi_{ji\gamma} + \dots + \\ &+ N_{j, n_{\text{стр}}-1}^{(n_c)} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \Psi_{j, n_{\text{стр}}, \gamma} + N_{j, n_{\text{стр}}}^{(n_c)}) \prod_{\eta=j+1}^{n_{\text{стб}}} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + \dots + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + (N_{n_{\text{стрб}}-1,1}^{(n_c)} \prod_{i=2}^{n_{\text{стрб}}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \Psi_{n_{\text{стрб}}-1,i\gamma} + \dots + N_{n_{\text{стрб}}-1,k}^{(n_c)} \prod_{i=k+1}^{n_{\text{стрб}}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \Psi_{n_{\text{стрб}}-1,i\gamma} + \dots + \\
& + N_{n_{\text{стрб}}-1,n_{\text{стр}}-1}^{(n_c)} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \Psi_{n_{\text{стрб}}-1,n_{\text{стр}}\gamma} + N_{n_{\text{стрб}}-1,n_{\text{стр}}}^{(n_c)} ) V_{n_{\text{стрб}}}^{(n_{\text{стр}},n_c)} + \\
& + (N_{n_{\text{стрб}},1}^{(n_c)} \prod_{i=2}^{n_{\text{стрб}}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \Psi_{n_{\text{стрб}},i\gamma} + \dots + N_{n_{\text{стрб}},k}^{(n_c)} \prod_{i=k+1}^{n_{\text{стрб}}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \Psi_{n_{\text{стрб}},i\gamma} + \dots + \\
& + N_{n_{\text{стрб}},n_{\text{стр}}-1}^{(n_c)} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \Psi_{n_{\text{стрб}},n_{\text{стр}}\gamma} + N_{n_{\text{стрб}},n_{\text{стр}}}^{(n_c)} ).
\end{aligned}$$

Свернув слагаемые в последнем выражении под знак суммы, получим

$$N^{(3)} = \left( \sum_{j=1}^{n_{\text{стрб}}} \sum_{i=1}^{n_{\text{стр}}} N_{ji}^{(n_c)} \prod_{k=i+1}^{n_{\text{стр}}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \Psi_{jk\gamma} \right) \prod_{\eta=j+1}^{n_{\text{стрб}}} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}},n_c)}. \quad (5)$$

Заменим в формуле (5) величины  $N_{ji}^{(n_c)}$  для  $1 \leq j \leq n_{\text{стрб}}, 1 \leq i \leq n_{\text{стр}}$  на соотношение

$$\begin{aligned}
N_{ji}^{(n_c)} & = N_{ji}^{(n_c-1)} \Psi_{jin_c} + a_{jil} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \Psi_{ji\gamma} + \dots + a_{ji,z-1} \prod_{\gamma=z}^{n_c} \Psi_{ji\gamma} + \dots + \\
& + a_{ji,n_c-1} \Psi_{jin_c} + a_{jin_c} = \sum_{z=1}^{n_c} a_{jiz} \prod_{\gamma=z+1}^{n_c} \Psi_{ji\gamma}.
\end{aligned}$$

После этого значение кода-номера  $N^{(3)}$  будет равно

$$\begin{aligned}
N^{(3)} & = \left( \sum_{j=1}^{n_{\text{стрб}}} \sum_{i=1}^{n_{\text{стр}}} \sum_{z=1}^{n_c} a_{jiz} \prod_{\gamma=z+1}^{n_c} \Psi_{ji\gamma} \prod_{k=i+1}^{n_{\text{стр}}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \Psi_{jk\gamma} \right) \prod_{\eta=j+1}^{n_{\text{стрб}}} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}},n_c)} = \\
& = \sum_{j=1}^{n_{\text{стрб}}} \sum_{i=1}^{n_{\text{стр}}} \sum_{z=1}^{n_c} a_{jiz} \prod_{\gamma=z+1}^{n_c} \Psi_{ji\gamma} \prod_{k=i+1}^{n_{\text{стр}}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \Psi_{jk\gamma} \prod_{\eta=j+1}^{n_{\text{стрб}}} \prod_{i=1}^{n_{\text{стр}}} \prod_{z=1}^{n_c} \Psi_{\eta iz}.
\end{aligned}$$

Анализируя сомножитель при элементе  $a_{jiz}$ , приходим к выводу, что

$$\omega_{jiz} = \prod_{\gamma=z+1}^{n_c} \Psi_{ji\gamma} \prod_{k=i+1}^{n_{\text{стр}}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \Psi_{jk\gamma} \prod_{\eta=j+1}^{n_{\text{стрб}}} \prod_{k=1}^{n_{\text{стр}}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \Psi_{\eta k\gamma}.$$

Следовательно, выражение (3) доказано. Теорема доказана.

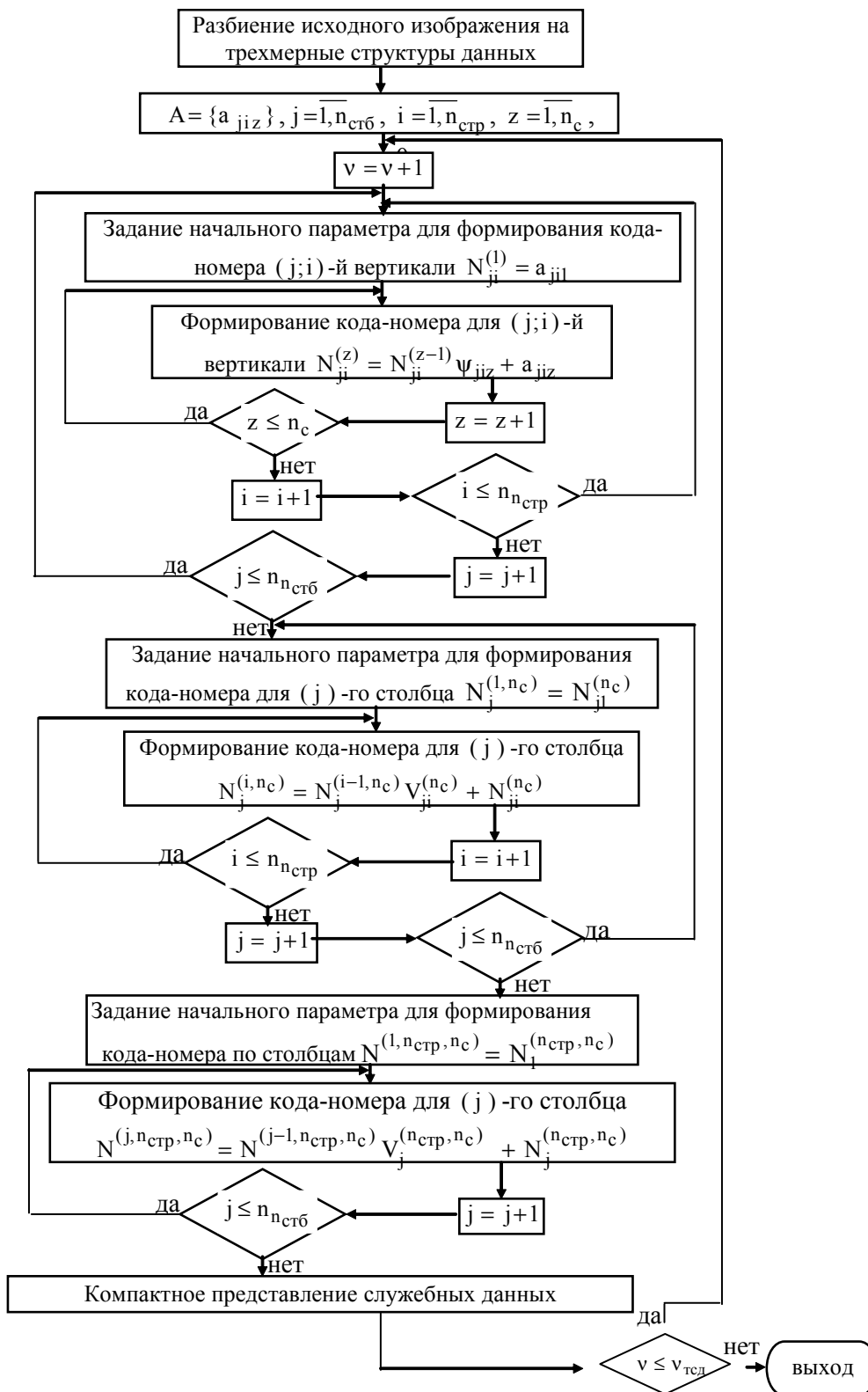
Значит, соотношение (3) позволяет сформировать код-номер переменной длины для трехмерного полиадического числа фиксированной длины.

Граф-схема метода трехмерного равномерного полиадического кодирования переменной длиной кода приводится на рисунке.

## Выводы

1. Разработано трехмерное кодирование данных на основе трехмерной полиадической нумерации. Разработанное кодирование обеспечивает исключение избыточности одновременно по трем координатам трехмерных структур данных. При этом обработка трехмерных структур данных осуществляется в режиме равномерных трехмерных полиадических чисел и переменной длины кодового слова на представление их кодового значения.

Созданное кодирование обеспечивает построение компактного представления видеоданных в трехмерном пространстве для случаев, когда: нет жестких ограничений на длину кодограммы; формирование длины кодового слова зависит от динамически меняющихся характеристик по вычислительному ресурсу; для передачи по каналам связи используется пакетирование переменной длины; код должен строиться для установленного количества элементов в кадре или в потоке.



Граф-схема трехмерного кодирования

2. Сжатие обеспечивается за счет исключения структурной избыточности, обусловленной ограниченностью и неравномерностью динамических диапазонов элементов видеоданных одновременно по трем координатам трехмерных структур данных. Значение выигрыша в коэффициенте сжатия за счет дополнительного учета закономерностей в динамичес-

ком диапазоне по третьей координате будет тем больше, чем меньше значения оснований трехмерного полиадического числа относительно значений оснований двумерного полиадического числа.

**Список литературы:** 1. *Гонсалес Р.* Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. М.: Техносфера, 2005. 1072 с. 2. *Баранник В.В.* Структурно-комбинаторное представление данных в АСУ / В.В. Баранник, Ю.В. Стасев, Н.А. Королева. Х.: ХУПС, 2009. 252 с. 3. *Barannik V.V.* Method of the 3-D Image Processing / V.V. Barannik, S.V. Karpenko // Modern problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Proceedings of the International Conference TCSET'2008, Lviv-Slavsko, Ukraine, February 20 – 24, 2008. P. 115 – 117. 4. *Беляев Е.А.* Сжатие видеоинформации на основе трехмерного дискретного псевдо-косинусного преобразования для энергоэффективных систем видеонаблюдения / Е.А. Беляев, Т.М. Сухов, Н.Н. Шостацкий // Компьютерная оптика. Том 34, 2. 2010. С. 260 – 272. 5. *Glen P. Abousleman, Michael W. Marcellin, Bobby R. Hunt.* Compression of hyperspectral imagery using the 3-D DCT and hybrid DPCM-DCT, IEEE Transactions on geoscience and remote sensing. 1995. Vol. 33. No. 1. 6. *Yui-Lam Chan and Wan-Chi Siu.* Variable temporal-length 3-D discrete cosine transform coding // IEEE Transactions on image processing. ,1997. Vol. 6. No. 5. 7. *B. Furht, Ken Gustafson, Hesong Huang and Oge Marques,* An Adaptive Three-Dimensional DCT Compression Based on Motion Analysis // Proceedings of the 2003 ACM symposium on Applied computing, 2003. 8. *T. Mekky,* On the computation of the 3-D DCT // IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems. 2003. Vol. 3. P. 1141 – 1143. 9. *Баранник В.В.* Трехмерное полиадическое кодирование в направлении, начиная с младших элементов / В.В. Баранник, Ю.Н. Рябуха // Сучасна спеціальна техніка. 2013. №3. С. 15 – 20.

*Поступила в редколлегию 09.09.2013*

**Рябуха Юрий Николаевич**, канд. техн. наук, соискатель кафедры “Боевого применения и эксплуатации АСУ” Харьковского университета Воздушных Сил. Научные интересы: кодирование и защита информации для передачи в телекоммуникационных сетях. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79. E-mail: barannik\_v\_v@mail.ru.

УДК 519.876.2

*О.А. КРИВОДУБСКИЙ, И.В. ТЕРЕЩУК*

## **МНОЖЕСТВЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И АЛГЕБРА ЛОГИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ СППР БЮДЖЕТИРОВАНИЯ**

Производится группировка и формализация множеств показателей бюджетов и их характеристик трехуровневой СППР бюджетирования. Осуществляется классификация переменных. Описывается структура каждого из уровней в виде графа. Формализуются взаимосвязи между показателями различных уровней.

### **Введение**

*Актуальность.* Одной из отличительных особенностей работы промышленных предприятий группы «А» (производство средств производства) Украины в современных условиях является потребность в постоянном контроле финансового состояния, что реализуется с помощью трехуровневой СППР бюджетирования. Поэтому разработка математического обеспечения СППР является особенно актуальной проблемой. Разработка математических моделей процесса бюджетирования позволит повысить качество и эффективность планирования и оперативного управления процессом на предприятии.

*Анализ исследований.* Процессы формирования и движения материальных и соответствующих денежных потоков на предприятиях группы «А» рассмотрены в работе [3]. Аппарат дискретной математики, а также основы теории множеств, используемые при формализации взаимосвязей между переменными, изложены в [1, 2].

*Целью данного исследования* является формализация структуры бюджетирования предприятия группы «А». Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи: на каждом из трех уровней системы выполнить группировку и формализацию множеств показателей финансирования производственной программы, а также их характеристик; осуществить классификацию переменных; представить структуру каждого из уровней в виде ориентированных графов; формализовать взаимосвязи между показателями различных уровней.

ком диапазоне по третьей координате будет тем больше, чем меньше значения оснований трехмерного полиадического числа относительно значений оснований двумерного полиадического числа.

**Список литературы:** 1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. М.: Техносфера, 2005. 1072 с. 2. Баранник В.В. Структурно-комбинаторное представление данных в АСУ / В.В. Баранник, Ю.В. Стасев, Н.А. Королева. Х.: ХУПС, 2009. 252 с. 3. Barannik V.V. Method of the 3-D Image Processing / V.V. Barannik, S.V. Karpenko // Modern problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Proceedings of the International Conference TCSET'2008, Lviv-Slavsko, Ukraine, February 20 – 24, 2008. P. 115 – 117. 4. Беляев Е.А. Сжатие видеоинформации на основе трехмерного дискретного псевдо-косинусного преобразования для энергоэффективных систем видеонаблюдения / Е.А. Беляев, Т.М. Сухов, Н.Н. Шостацкий // Компьютерная оптика. Том 34, 2. 2010. С. 260 – 272. 5. Glen P. Abousleman, Michael W. Marcellin, Bobby R. Hunt. Compression of hyperspectral imagery using the 3-D DCT and hybrid DPCM-DCT, IEEE Transactions on geoscience and remote sensing. 1995. Vol. 33. No. 1. 6. Yui-Lam Chan and Wan-Chi Siu. Variable temporal-length 3-D discrete cosine transform coding // IEEE Transactions on image processing. ,1997. Vol. 6. No. 5. 7. B. Furht, Ken Gustafson, Hesong Huang and Oge Marques, An Adaptive Three-Dimensional DCT Compression Based on Motion Analysis // Proceedings of the 2003 ACM symposium on Applied computing, 2003. 8. T.Mekky, On the computation of the 3-D DCT // IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems. 2003. Vol. 3. P.1141 – 1143. 9. Баранник В.В. Трехмерное полиадическое кодирование в направлении, начиная с младших элементов / В.В. Баранник, Ю.Н. Рябуха // Сучасна спеціальна техніка. 2013. №3. С. 15 – 20.

*Поступила в редколлегию 09.09.2013*

**Рябуха Юрий Николаевич**, канд. техн. наук, соискатель кафедры “Боевого применения и эксплуатации АСУ” Харьковского университета Воздушных Сил. Научные интересы: кодирование и защита информации для передачи в телекоммуникационных сетях. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79. E-mail: barannik\_v\_v@mail.ru.

УДК 519.876.2

*О.А. КРИВОДУБСКИЙ, И.В. ТЕРЕЩУК*

## **МНОЖЕСТВЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И АЛГЕБРА ЛОГИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ СППР БЮДЖЕТИРОВАНИЯ**

Производится группировка и формализация множеств показателей бюджетов и их характеристик трехуровневой СППР бюджетирования. Осуществляется классификация переменных. Описывается структура каждого из уровней в виде графа. Формализуются взаимосвязи между показателями различных уровней.

### **Введение**

*Актуальность.* Одной из отличительных особенностей работы промышленных предприятий группы «А» (производство средств производства) Украины в современных условиях является потребность в постоянном контроле финансового состояния, что реализуется с помощью трехуровневой СППР бюджетирования. Поэтому разработка математического обеспечения СППР является особенно актуальной проблемой. Разработка математических моделей процесса бюджетирования позволит повысить качество и эффективность планирования и оперативного управления процессом на предприятии.

*Анализ исследований.* Процессы формирования и движения материальных и соответствующих денежных потоков на предприятиях группы «А» рассмотрены в работе [3]. Аппарат дискретной математики, а также основы теории множеств, используемые при формализации взаимосвязей между переменными, изложены в [1, 2].

*Целью данного исследования* является формализация структуры бюджетирования предприятия группы «А». Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи: на каждом из трех уровней системы выполнить группировку и формализацию множеств показателей финансирования производственной программы, а также их характеристик; осуществить классификацию переменных; представить структуру каждого из уровней в виде ориентированных графов; формализовать взаимосвязи между показателями различных уровней.

## 1. Формализация показателей бюджетов первого уровня

Структура показателей первого уровня (денежных потоков по каждому виду продукции) отображается в операционных бюджетах. Поэтому формализация множеств показателей денежных потоков на первом уровне основана на структуре данных документов.

Из определения структуры доходов, расходов и запасов каждого вида продукции следует, что соответствующие операционные бюджеты можно представить в виде объединения непересекающихся подмножеств статей:

$$Ob_{kj} = \bigcup_{s=1}^S Oc_{kjs}, Oc_{kjs} \cap Oc_{kjq} = \emptyset, s \neq q, k = \overline{1,3}, \quad (1)$$

где  $Oc_{1js}$  – множество статей доходов  $j$  – го вида продукции  $s$  – го ЦФО;  $Oc_{2js}$  – расходов  $j$  – го вида продукции  $s$  – го ЦФО;  $Oc_{3js}$  – запасов  $j$ -го вида продукции  $s$  – го ЦФО;  $Ob_{1j}, Ob_{2j}, Ob_{3j}$  – бюджет доходов, расходов и запасов  $j$ -го вида продукции соответственно.

В соответствии со структурой поступлений денежных средств:

$$Ob_{4j} = Oc_{1j} \cup Oc_{2j} \cup Oc_{3j}, (Oc_{1j} \cap Oc_{2j} = \emptyset) \wedge (Oc_{1j} \cap Oc_{3j} = \emptyset) \wedge (Oc_{2j} \cap Oc_{3j} = \emptyset), \quad (2)$$

здесь  $Oc_{1j}, Oc_{2j}$  – множество статей поступлений от реализации и погашения дебиторской задолженности  $j$ -го вида продукции;  $Oc_{3j}$  – авансы  $j$ -го вида продукции,  $Ob_{4j}$  – бюджет поступлений  $j$ -го вида продукции.

Бюджет выплат по каждому виду продукции формируется следующим образом:

$$Ob_{5j} = Oc_{4j} \cup Oc_{5j}, Oc_{4j} \cap Oc_{5j} = \emptyset, \quad (3)$$

где  $Oc_{4j}, Oc_{5j}$  – множество статей выплат и погашения кредиторской задолженности  $j$ -го вида продукции,  $Ob_{5j}$  – бюджет выплат  $j$ -го вида продукции.

Из определения структуры дебиторской задолженности получаем следующие соотношения:

$$Oc_{8j} = Ob_{1j} \setminus Oc_{4j}, \quad (4)$$

$Oc_{8j}$  – статьи дебиторской задолженности  $j$ -го вида продукции;

$$Ob_{6j} = (Oc_{1j} \cup Oc_{6j}) \setminus Oc_{2j}, \quad (5)$$

$Oc_{2j}$  – статьи дебиторской задолженности на начало периода  $j$ -го вида продукции;  $Ob_{6j}$  – бюджет дебиторской задолженности на конец периода  $j$ -го вида продукции.

Из определения структуры кредиторской задолженности получаем соотношения:

$$Oc_{10j} = (Oc_{4j} \cup Oc_{7j}) \setminus Oc_{5j}, \quad (6)$$

$Oc_{7j}$  – статьи кредиторской задолженности на начало периода  $j$ -го вида продукции;  $Oc_{10j}$  – кредиторская задолженность на конец периода  $j$ -го вида продукции;

$$Ob_{7j} = Oc_{10j} \cup Oc_{3j}, Oc_{10j} \cap Oc_{3j} = \emptyset, \quad (7)$$

$Ob_{7j}$  – бюджет кредиторской задолженности на начало периода  $j$ -го вида продукции;  $Oc_{3j}$  – авансы  $j$ -го вида продукции.

Таким образом, множество операционных бюджетов имеет вид:

$$Ob = \bigcup_{k=1}^7 \bigcup_{j=1}^J Ob_{kj}, \quad (8)$$

где  $Ob_{kj}$  – операционный бюджет  $k$  - го вида по  $j$ -му виду продукции.

Согласно (8) множество  $Ob_j$  конечно (каждому элементу множества можно поставить в соответствие натуральное число: номер). Кроме того, очевидно:

$$Ob_{kj} \cap Ob_{k'j} \subset Ob_j, k \neq k', j = \overline{1, J}, \quad (9)$$

$$Ob_{kj} \Delta Ob_{k'j} \subset Ob_j, k \neq k', j = \overline{1, J}, \quad (10)$$

Тогда согласно (9), (10) система  $\mathfrak{X}(Ob_j)$  всех подмножеств множества  $Ob_j$  представляет собой кольцо множеств.

Характеристикой каждого из подмножеств множества  $Ob_j$  является его оценка в денежном измерении  $\mu$  за плановый период – месяц, которую обозначим:

$$\mu(Oc_{kjs}), Oc_{kjs} \in \mathfrak{X}(Ob_j), k = \overline{1,3}, j = \overline{1,J}, s = \overline{1,S}, \quad (11)$$

$$\mu(Oc_{ls}), Oc_{lj} \in \mathfrak{X}(Ob_j), l = \overline{1,10}, j = \overline{1,J}, \quad (12)$$

$$\mu(Ob_{kj}), Ob_{kj} \in \mathfrak{X}(Ob_j), k = \overline{1,8}, j = \overline{1,J}. \quad (13)$$

Обозначим:

$$X_1 = \{\mu(Oc_{kjs}), \mu(Oc_{lj})\}, l = \overline{1,7}, \quad (14)$$

$$Z_1 = \{\mu(Oc_{lj})\}, l = \overline{8,10}, \quad (15)$$

$$Y_1 = \{\mu(Ob_{kj})\}, k = \overline{1,8}, \quad (16)$$

где  $X_1$  – множество входных переменных первого уровня;  $Z_1$  – множество внутренних переменных первого уровня;  $Y_1$  – множество выходных переменных первого уровня.

Структура первого уровня представляется ориентированным графом  $G_1(V_1, M_1)$ , где  $V_1$  – множество вершин графа,  $M_1$  – множество дуг графа,

Вершины представляют собой входные, промежуточные и выходные показатели моделируемых явлений первого уровня.

Множество дуг  $M_1 = M_{11} \cup M_{12}$ , где  $M_{11}$  – множество дуг графа, соответствующих направлению денежных средств от входных источников,  $M_{12}$  – множество дуг графа, соответствующих направлению денежных средств от промежуточных источников.

Множество вершин  $V_1 = X_1 \cup Z_1 \cup Y_1$ , где  $X_1$  – множество внешних узлов графа, соответствующих входам подсистемы первого уровня,  $Z_1$  – множество узлов графа, соответствующих промежуточным показателям первого уровня из  $M_{11}$  или  $M_{12}$ ,  $Y_1$  – множество узлов графа, соответствующих выходам подсистемы первого уровня из  $M_{11}$  или  $M_{12}$ .

Выходные переменные первого уровня поступают на вход второго уровня. Таким образом, формализация структуры системы первого уровня позволяет перейти к формализации структуры системы второго уровня.

## 2. Формализация показателей второго уровня

Структура показателей второго уровня (денежных потоков по операционной деятельности) отображается в функциональных бюджетах. Поэтому формализация множеств показателей денежных потоков на втором уровне основана на структуре данных документов.

При этом операционные бюджеты (первого уровня) являются статьями функциональных. Кроме того, бюджеты второго уровня содержат другие статьи, отображающие доходы и расходы операционной деятельности, а также себестоимость каждого вида продукции.

Из определения структуры запасов, дебиторской и кредиторской задолженностей операционной деятельности следует, что соответствующие функциональные бюджеты можно представить в виде объединения непересекающихся подмножеств статей:

$$Fb_k = \bigcup_{j=1}^J Ob_{kj}, Ob_{kj} \cap Ob_{kj'} = \emptyset, j \neq j', k = 3, 6, 7, \quad (17)$$

где  $Ob_{3j}, Ob_{6j}, Ob_{7j}$  – статьи запасов, дебиторской и кредиторской задолженностей  $j$ -го вида продукции соответственно;  $Fb_3$  – бюджет запасов;  $Fb_6$  – бюджет дебиторской задолженности;  $Fb_7$  – бюджет кредиторской задолженности.

В соответствии со структурой доходов, расходов, поступлений и выплат от реализации продукции формируются следующие статьи:

$$Fc_k = \bigcup_{j=1}^J Ob_{kj}, k = 1, 2, 4, 5, \quad (18)$$

где  $Ob_{1j}, Ob_{2j}, Ob_{4j}, Ob_{5j}$  – статьи доходов, расходов, поступлений и выплат  $j$ -го вида продукции соответственно;  $Fc_1, Fc_2, Fc_4, Fc_5$  – статьи доходов, расходов, поступлений и выплат от реализации продукции соответственно.

Тогда получим соотношения (19) – (22), отображающие формирование доходов, расходов, поступлений и выплат по операционной деятельности:

$$Fb_1 = Fc_1 \cup Fc_6, Fc_1 \cap Fc_6 = \emptyset, \quad (19)$$

$$Fb_2 = Fc_2 \cup Fc_7, Fc_2 \cap Fc_7 = \emptyset, \quad (20)$$

$$Fb_4 = Fc_4 \cup Fc_6, Fc_4 \cap Fc_6 = \emptyset, \quad (21)$$

$$Fb_5 = Fc_5 \cup Fc_7, Fc_5 \cap Fc_7 = \emptyset, \quad (22)$$

здесь  $Fc_6, Fc_7$  – статьи других доходов и расходов;  $Fb_1, Fb_2, Fb_4, Fb_5$  – бюджеты доходов, расходов, поступлений и выплат по операционной деятельности соответственно.

Для формирования бюджета валовой прибыли вначале необходимо представить статьи себестоимости производимой продукции:

$$Fc_8 = \bigcup_{j=1}^J Fc_{1j}, Fc_{1j} \cap Fc_{1j'} = \emptyset, j \neq j', \quad (23)$$

где  $Fc_8$  – статьи себестоимости;  $Fc_{1j}$  – статьи себестоимости  $j$ -го вида продукции.

Тогда бюджет валовой прибыли имеет вид:

$$Fb_8 = Fc_1 \setminus Fc_8, \quad (24)$$

$Fb_8$  – бюджет валовой прибыли;  $Fc_1$  – статьи доходов операционной деятельности.

Таким образом, множество функциональных бюджетов имеет вид:

$$Fb = \bigcup_{m=1}^8 Fb_m, \quad (25)$$

где  $Fb_m$  – функциональный бюджет  $m$ -го вида.

Согласно (25) множество  $Fb$  конечно (каждому элементу множества можно поставить в соответствие натуральное число: номер). Кроме того, очевидно:

$$Fb_m \cap Fb_{m'} \subset Fb, m \neq m', \quad (26)$$

$$Fb_m \Delta Fb_{m'} \subset Fb, m \neq m', \quad (27)$$

Тогда согласно (26), (27) система  $\mathfrak{R}(Fb_m)$  всех подмножеств множества  $Fb$  представляет собой кольцо множеств.

Характеристикой каждого из подмножеств множества  $Fb$  является его оценка в денежном измерении  $\mu$  за плановый период – месяц, которую обозначим:

$$\mu(Fc_{1j}), Fc_{1j} \in \mathfrak{R}(Fb_m), m = \overline{1, 8}, j = \overline{1, J}, \quad (28)$$

$$\mu(Fc_n), Fc_n \in \mathfrak{R}(Fb_m), m = \overline{1, 8}, n = \overline{1, 7}, \quad (29)$$

$$\mu(Fb_m), Fb_m \in \mathfrak{R}(Fb_m), m = \overline{1, 8}. \quad (30)$$

Обозначим:

$$X_2 = \{\mu(Ob_{kj}), \mu(Fc_{1j}), \mu(Fc_n), n = \overline{6, 7}\}, \quad (31)$$

$$Z_2 = \{\mu(Fc_n), n = 1, 2, 4, 5, 8\}, \quad (32)$$

$$Y_2 = \{\mu(Fb_m)\}, \quad (33)$$

где  $X_2$  – множество входных переменных второго уровня;  $Z_2$  – множество внутренних переменных второго уровня;  $Y_2$  – множество выходных переменных второго уровня.

*Структура второго уровня* представляется ориентированным графом  $G_2(V_2, M_2)$ , где  $V_2$  – множество вершин графа;  $M_2$  – множество дуг графа,

Вершины представляют собой входные, промежуточные и выходные показатели моделируемых явлений второго уровня.

Множество дуг  $M_2 = M_{21} \cup M_{22}$ , где  $M_{21}$  – множество дуг графа, соответствующих направлению денежных средств от входных источников,  $M_{22}$  – множество дуг графа, соответствующих направлению денежных средств от промежуточных источников.

Множество вершин  $V_2 = X_2 \cup Z_2 \cup Y_2$ , где  $X_2$  – множество внешних узлов графа, соответствующих входам подсистемы второго уровня,  $Z_2$  – множество узлов графа, соответствующих промежуточным показателям второго уровня из  $M_{21}$ ,  $Y_2$  – множество узлов графа, соответствующих выходам подсистемы второго уровня из  $M_{21}$  или  $M_{22}$ .

Выходные переменные второго уровня поступают на вход третьего уровня. Формализация структуры системы второго уровня позволяет перейти к формализации структуры системы третьего уровня.

### 3. Формализация показателей третьего уровня

Структура показателей третьего уровня (по трем видам деятельности) отображается в итоговых бюджетах. Поэтому формализация множеств показателей денежных потоков на третьем уровне основана на структуре данных документов.

При этом функциональные бюджеты (второго уровня) являются статьями итоговых. Кроме того, бюджеты третьего уровня содержат другие статьи, отображающие результаты по трем видам деятельности (основной, инвестиционной и финансовой).

Из определения структуры валовых доходов следует, что соответствующий бюджет можно представить в виде объединения множеств непересекающихся статей:

$$Ib_1 = Fb_1 \cup Ic_1, Fb_1 \cap Ic_1 = \emptyset, \quad (34)$$

где  $Ib_1$  – бюджет валовых доходов;  $Fb_1$  – статьи доходов по операционной деятельности;  $Ic_1$  – статьи доходов по инвестиционной деятельности;

$$Ib_2 = Fb_2 \cup Ic_2, Fb_2 \cap Ic_2 = \emptyset, \quad (35)$$

здесь  $Ib_2$  – бюджет валовых расходов;  $Fb_2$  – статьи расходов по операционной деятельности;  $Ic_2$  – статьи расходов по инвестиционной деятельности.

Тогда первый бюджет прибыли имеет вид:

$$Ib_3 = Ib_1 \setminus Ib_2, \quad (36)$$

$Ib_3$  – первый бюджет прибыли;  $Ib_1$  – бюджет валовых доходов;  $Ib_2$  – бюджет валовых расходов.

Доходы и расходы предприятия с учетом валовой прибыли формируются так:

$$Ic_9 = (Fb_7 \cup Ic_1) \setminus Ic_2, Fb_7 \cap Ic_1 = \emptyset, \quad (37)$$

где  $Ic_9$  – бюджет доходов предприятия;  $Fb_7$  – статья валовой прибыли;  $Ic_1$  – статьи доходов по инвестиционной деятельности;  $Ic_2$  – статьи расходов по инвестиционной деятельности.

Тогда второй бюджет прибыли имеет вид:

$$Ib_4 = Ic_9 \setminus Ic_{10}, \quad (38)$$

$Ib_4$  – второй бюджет прибыли;  $Ic_9$  – статьи доходов предприятия;  $Ic_{10}$  – статьи расходов предприятия.

Выплаты по основной деятельности:

$$Ic_{11} = Fb_5 \cup Ic_{10}, Fb_5 \cap Ic_{10} = \emptyset, \quad (39)$$

где  $Ic_{11}$  – статьи выплат по основной деятельности;  $Fb_5$  – статьи поступлений по операционной деятельности;  $Ic_9$  – статьи доходов предприятия;  $Ic_{10}$  – статьи расходов предприятия;

$$Ic_{12} = Fb_4 \setminus Ic_{11}, \quad (40)$$

здесь  $Ic_{12}$  – статьи сальдо по основной деятельности;  $Fb_4$  – статьи поступлений по операционной деятельности;  $Ic_{11}$  – статьи выплат по основной деятельности;

$$Ic_{13} = Ic_1 \setminus Ic_2, \quad (41)$$

$Ic_{13}$  – статья сальдо инвестиционной деятельности;  $Ic_1$  – статьи доходов по инвестиционной деятельности;  $Ic_2$  – статьи расходов по инвестиционной деятельности;

$$Ic_{14} = Ic_3 \cup Ic_4, Ic_3 \cap Ic_4 = \emptyset, \quad (42)$$

$Ic_{14}$  – статья сальдо финансовой деятельности;  $Ic_3$  – собственный капитал;  $Ic_4$  – кредит.

Сальдо на конец периода:

$$Ib_5 = Ic_5 \cup Ic_{12} \cup Ic_{13} \cup Ic_{14}, \quad (43)$$

где  $Ib_5$  – сальдо на конец периода;  $Ic_5$  – статья сальдо на начало периода;  $Ic_{12}$  – статьи доходов по финансовой деятельности;  $Ic_{13}$  – статьи доходов по инвестиционной деятельности;  $Ic_{14}$  – статьи расходов по инвестиционной деятельности;

$$Ic_{15} = Ic_6 \setminus Ic_{13}, \quad (44)$$

$Ic_{15}$  – необоротные активы на конец планового периода;  $Ic_6$  – необоротные активы на начало планового периода;  $Ic_{13}$  – необоротные активы за плановый период;

$$Ib_6 = Ic_{15} \cup Ib_5 \cup Fb_3 \cup Fb_6, \quad (45)$$

$Ib_6$  – актив баланса;  $Ic_{15}$  – необоротные активы на конец планового периода;  $Ib_5$  – сальдо на конец периода;  $Fb_3$  – запасы;  $Fb_6$  – дебиторская задолженность;

$$Ic_{16} = Ic_7 \cup Ic_3, Ic_7 \cap Ic_3 = \emptyset, \quad (46)$$

где  $Ic_{16}$  – собственный капитал на конец периода;  $Ic_3$  – собственный капитал;  $Ic_7$  – собственный капитал на начало периода;

$$Ic_{17} = Ic_8 \cup Ic_4, Ic_8 \cap Ic_4 = \emptyset, \quad (47)$$

$Ic_{17}$  – кредит на конец периода;  $Ic_8$  – кредит на начало периода;  $Ic_4$  – кредит;

$$Ib_7 = Ic_{16} \cup Ic_{17} \cup Ib_3 \cup Fb_7, \quad (48)$$

здесь  $Ib_7$  – пассив баланса;  $Ic_{16}$  – собственный капитал на конец периода;  $Ic_{17}$  – кредит на конец периода;  $Ib_3$  – первый бюджет прибыли;  $Fb_7$  – кредиторская задолженность.

Таким образом, множество итоговых бюджетов имеет вид:

$$Ib = \bigcup_{p=1}^7 Ib_p, \quad (49)$$

где  $Ib$  – множество итоговых бюджетов предприятия;  $Ib_1$  – бюджет доходов и расходов;  $Ib_2$  – бюджет движения денежных средств;  $Ib_3$  – актив баланса.

Согласно (49) множество  $Ib$  конечно (каждому элементу множества можно поставить в соответствие натуральное число: номер). Кроме того, очевидно:

$$Ib_p \cap Ib_{p'} \subset Ib, p \neq p', \quad (50)$$

$$Ib_p \Delta Ib_{p'} \subset Ib, p \neq p', \quad (51)$$

Тогда согласно (50), (51) система  $\mathfrak{X}(Ib_p)$  всех подмножеств множества  $Ib$  представляет собой кольцо множеств.

Характеристикой каждого из подмножеств множества  $Ib$  является его оценка в денежном измерении  $\mu$  за плановый период – месяц, которую обозначим:

$$\mu(Ic_h), Ic_h \in \mathfrak{R}(Ib_p), p = \overline{1,7}, h = \overline{1,17}, \quad (52)$$

$$\mu(Ib_p), Ib_p \in \mathfrak{R}(Ib_p), p = \overline{1,7}. \quad (53)$$

Обозначим:

$$X_3 = \{\mu(Fb_m), \mu(Ic_h)\}, h = \overline{1,8}, \quad (54)$$

$$Z_3 = \{\mu(Ic_h)\}, h = \overline{9,17}, \quad (55)$$

$$Y_3 = \{\mu(Ib_p)\} \quad (56)$$

где  $X_3$  – множество входных переменных третьего уровня;  $Z_3$  – множество внутренних переменных третьего уровня;  $Y_3$  – множество выходных переменных третьего уровня.

Структура третьего уровня представляется ориентированным графом  $G_3(V_3, M_3)$ , где  $V_3$  – множество вершин графа,  $M_3$  – множество дуг графа.

Вершины представляют собой входные, промежуточные и выходные показатели моделируемых явлений третьего уровня.

Множество дуг  $M_3 = M_{31} \cup M_{32} \cup M_{33}$ , где  $M_{31}$  – множество дуг графа, соответствующих направлению денежных средств от входных источников,  $M_{32}$  – множество дуг графа, соответствующих направлению денежных средств от промежуточных источников,  $M_{33}$  – множество дуг графа, соответствующих направлению денежных средств от выходных источников.

Множество вершин  $V_3 = X_3 \cup Z_3 \cup Y_3$ , где  $X_3$  – множество внешних вершин графа, соответствующих входам подсистемы третьего уровня,  $Z_3$  – множество вершин графа, соответствующих промежуточным показателям третьего уровня из  $M_{31}$  или  $M_{32}$ ,  $Y_3$  – множество вершин графа, соответствующих выходам подсистемы третьего уровня из  $M_{31}$ ,  $M_{32}$  или  $M_{33}$ .

Полученная формализация и классификация переменных системы планирования является основной составляющей построения математических моделей бюджетирования.

#### 4. Формализация взаимосвязей показателей трех уровней

Взаимосвязи между показателями первого и второго уровней сформулируем в виде теоремы 1.

**Теорема 1.** Пусть задано кольцо  $\mathfrak{R}(Ob_j)$  бюджетов первого уровня с заданной на нем мерой  $\mu(Ob_{kj}), Ob_{kj} \in \mathfrak{R}(Ob_j), k = \overline{1,8}, j = \overline{1, J}$ , а также кольцо  $\mathfrak{R}(Fb_m)$  бюджетов второго уровня с заданной на нем мерой  $\mu(Fb_m), Fb_m \in \mathfrak{R}(Fb_m), m = \overline{1,8}$ .

Тогда 
$$\mu\left(Fb_k \setminus \bigcup_{j=1}^J Ob_{kj}\right) = \mu(Fb_k) - \mu\left(\bigcup_{j=1}^J Ob_{kj}\right). \quad (57)$$

Доказательство. Доказательство теоремы 1 проведем методом математической индукции.

Докажем утверждение (57) при  $k = 1$ :

$$\mu\left(Fb_1 \setminus \bigcup_{j=1}^J Ob_{1j}\right) = \mu(Fb_1) - \mu\left(\bigcup_{j=1}^J Ob_{1j}\right). \quad (58)$$

Учитывая (17), запишем:

$$Ob_{1j} \subset Fb_1, j = \overline{1, J}, \quad (59)$$

где  $Ob_{1j}$  – операционный бюджет 1-го вида по  $j$ -му виду продукции;  $Fb_1$  – функциональный бюджет 1-го вида операционной деятельности.

Используя свойства меры и множеств, получаем:  $Fb_1 = \bigcup_{j=1}^J Ob_{1j} + Fb_1 \setminus \bigcup_{j=1}^J Ob_{1j}$ . Отсюда имеем (58).

$$\text{Докажем утверждение (57) для } k+1: \mu\left(Fb_{k+1} \setminus \bigcup_{j=1}^J Ob_{k+1,j}\right) = \mu(Fb_{k+1}) - \mu\left(\bigcup_{j=1}^J Ob_{k+1,j}\right).$$

В силу свойства аддитивности меры:

$$\mu\left(Fb_k \setminus \bigcup_{j=1}^J Ob_{kj}\right) + \mu\left(Fb_1 \setminus \bigcup_{j=1}^J Ob_{1j}\right) = \mu(Fb_k) - \mu\left(\bigcup_{j=1}^J Ob_{kj}\right) + \mu(Fb_1) - \mu\left(\bigcup_{j=1}^J Ob_{1j}\right).$$

Из последнего равенства, а также в силу (58) имеем:

$$\mu\left(Fb_k \setminus \bigcup_{j=1}^J Ob_{kj}\right) = \mu(Fb_k) - \mu\left(\bigcup_{j=1}^J Ob_{kj}\right).$$

Теорема 1 доказана.

Взаимосвязи между показателями второго и третьего уровней сформулируем в виде теоремы 2.

**Теорема 2.** Пусть задано кольцо  $\mathfrak{X}(Fb_m)$  бюджетов второго уровня с заданной на нем мерой  $\mu(Fb_m)$ ,  $Fb_m \in \mathfrak{X}(Fb_m)$ ,  $m = \overline{1,8}$ , а также кольцо  $\mathfrak{X}(Ib_p)$  бюджетов третьего уровня с заданной на нем мерой  $\mu(Ib_p)$ ,  $Ib_p \in \mathfrak{X}(Ib_p)$ ,  $p = \overline{1,7}$ .

Тогда:

$$\mu(Ib_1 \setminus Fb_1) = \mu(Ib_1) - \mu(Fb_1), \quad (60)$$

$$\mu(Ib_2 \setminus Fb_2) = \mu(Ib_2) - \mu(Fb_2), \quad (61)$$

$$\mu(Ib_4 \setminus Fb_7) = \mu(Ib_4) - \mu(Fb_7), \quad (62)$$

$$\mu(Ib_5 \setminus Fb_4) = \mu(Ib_5) - \mu(Fb_4), \quad (63)$$

$$\mu(Ib_5 \setminus Fb_5) = \mu(Ib_5) - \mu(Fb_5), \quad (64)$$

$$\mu(Ib_6 \setminus Fb_3) = \mu(Ib_3) - \mu(Fb_6), \quad (65)$$

$$\mu(Ib_6 \setminus Fb_6) = \mu(Ib_6) - \mu(Fb_6), \quad (66)$$

$$\mu(Ib_7 \setminus Fb_7) = \mu(Ib_7) - \mu(Fb_7). \quad (67)$$

Доказательство. Учитывая (34), (35), (43), (45), (48), множественные отношения между бюджетами второго и третьего уровней имеют вид:

$$Fb_1 \subset Ib_1, Fb_7 \subset Ib_4, Fb_4 \subset Ib_5, Fb_5 \subset Ib_5, Fb_3 \subset Ib_6, Fb_6 \subset Ib_6, Fb_7 \subset Ib_7.$$

На основании полученных соотношений, а также используя свойства меры, получим формулы (60) – (67).

Проведенные рассуждения, обосновывающие взаимосвязи между характеристиками показателей финансирования производственной программы различных уровней, являются инструментарием СППР управления бюджетированием.

### Выводы

*Научная новизна.* Приведена формализация трехуровневой бюджетной структуры предприятия. Представлены и доказаны теоремы, обосновывающие взаимосвязи между характеристиками показателей различных уровней. *Практическая значимость* состоит в том, что установленные взаимосвязи позволят построить математические модели прогноза деятельности предприятия, а также разработать информационную технологию управления бюджетированием.

**Список литературы:** 1. Dummit D. S. Abstract algebra / Dummit D. S., Foote R. M. Wiley, 2004. 945 p. 2. Иванов Б. Н. Дискретная математика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 408 с. 3. Терещук И. В. Задачи бюджетирования в управлении финансовой деятельностью предприятия / И. В. Терещук // Системный анализ, управление та інформаційні технології. Харків: НТУ «ХП», 2013. Вип. 2 (976). С. 149–158.

Поступила в редколлегию 11.09.2013

**Криводубский Олег Александрович**, канд. техн. наук, доц. кафедры прикладной математики (ПМИ), ДонНТУ. Адрес: Украина, 83001, Донецк, ул. Артема, 58.

**Терещук Ирина Викторовна**, аспирантка кафедры ПМИ, ДонНТУ. Адрес: Украина, 83001, Донецк, ул. Артема, 58. E-mail: Irena\_Tervik@mail.ru.

## **ВЫБОР МЕРЫ ПОДОБИЯ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ СТОХАСТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА**

---

Рассматривается вопрос выбора меры подобия сигналов для расчета оптимального порядка фильтра нижних частот, который предназначен для выделения низкочастотной составляющей стационарного сигнала, представленного набором дискретных зашумленных значений. Описываются эксперименты по генерированию сигналов с различными характеристиками. Выбранная мера позволяет повысить вероятность стохастического расчета оптимального порядка фильтрации стационарных сигналов.

### **1. Введение**

В различных технических задачах требуется сравнение данных, которые в общем случае могут иметь различное представление. Одной из моделей является представление данных в виде временных рядов. В цифровой обработке сигналов при проектировании адаптивных фильтров, осуществляющих подстройку по образцовым сигналам, требуется расчет меры подобия временных рядов, составленных из дискретных значений сигналов [1].

В статье [2] расчет параметров фильтра осуществлялся при сравнении сглаженного и аппроксимированного временных рядов. Для оценки подобия временных рядов было использовано значение среднеквадратичной ошибки (СКО). Следует отметить, что в прикладных методах анализа данных применяются и другие численные показатели подобия временных рядов, которые называются «мерами подобия» [3] либо «мерами близости» [4].

Чтобы проверить целесообразность использования СКО для оценки оптимальности фильтрации [2], была создана программная библиотека для цифровой обработки сигналов. Для оценки подобия были сгенерированы исходные сигналы различной формы и их модифицированные копии, полученные путем добавления к исходным сигналам случайных составляющих (шума) и последующего их сглаживания. Информация о модулях, вошедших в разработанную программную библиотеку, приведена в разделе 2.

В разделе 3 описаны выбранные математические отношения, которые определяют меру подобия двух временных рядов.

В разделе 4 описаны эксперименты, которые были проведены в целях выбора меры, позволяющей повысить вероятность стохастического расчета оптимального порядка фильтрации стационарных сигналов.

В разделе 5 авторы обобщают результаты, полученные в разделе 4.

### **2. Создание тестовой среды**

В процессе исследований была создана библиотека программ для генерирования цифровых сигналов с различными характеристиками и обработки сгенерированных сигналов. Структура библиотеки изображена на рис. 1.

Функции основных модулей библиотеки программ следующие. «Модуль генерирования сигнала» предназначен для генерирования стационарных сигналов и включает генерирование сигнала и шумовой составляющей.

«Модуль генерирования сигнала по функции» реализует программное генерирование сигналов следующих форм: синусоидального, прямоугольного, пилообразного, треугольного. Программная реализация (программный метод) предоставляет возможность настройки амплитуды, частоты и фазы сигнала.

«Модуль генерирования шумовой составляющей» добавлен для приближения формы сигнала к форме возникающей в реальных (естественных) условиях передачи. В модуле реализован метод генерирования случайных чисел с нормальным распределением и

возможностью задания значений математического ожидания и среднеквадратичного отклонения.



Рис. 1. Структура созданной библиотеки для цифровой обработки сигналов

Для минимизации шума был создан «Модуль нерекурсивной фильтрации сигнала». В модуле реализован программный метод фильтрации простым скользящим средним (ПСС), который используют для фильтрации шума с нормальным распределением [5]. В фильтре ПСС обработанное значение  $y(t)$  в момент времени  $t$  определяется соотношением [2]:

$$y(t) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x(t-i), \quad (1)$$

где  $n$  — порядок фильтрации (количество предыдущих исходных значений сигнала, принятых для расчета выходного сигнала в текущей временной точке);  $x(t-i)$  — значение исходного сигнала в момент (точка) времени дискретизации  $t-i$ ;  $y(t)$  — сигнал на выходе фильтра в текущий момент времени.

В компоненте «Модуль оценки фильтрации» были реализованы программные методы оценки подобию сигналов (меры подобию): коэффициент корреляции Пирсона, расстояние Евклида, косинусная мера, среднеквадратичная ошибка. Перечисленные методы были объединены в «Модуль оценки подобию сигналов». Для дополнительной оценки значений числовых последовательностей был реализован «Модуль статистической оценки».

Созданная программная библиотека была использована для формирования зашумленных сигналов и их последующей цифровой обработки. Цель выполненных экспериментов была направлена на определение меры подобию сигналов, которая позволяла бы повысить вероятность стохастического расчета оптимального порядка фильтрации стационарных сигналов.

### 3. Выбор мер подобию

Как было отмечено во введении, при решении технических задач часто возникает необходимость сравнения временных рядов в целях определения степени их близости. Такая близость может быть оценена на основе использования тех или иных мер подобию анализируемых сигналов. Например, к задачам, при решении которых применяются упомянутые меры близости, относятся задачи адаптивной фильтрации, классификации по образцу, обучения по образцу и некоторые другие.

В публикациях, касающихся обсуждаемой в данной статье тематики, предложены различные математические соотношения для расчета меры подобия числовых последовательностей, которые можно разделить на такие группы: меры расстояния, угловые меры, корреляционные меры.

Для каждой из трех упомянутых групп мер существует множество вариантов расчета, из которых авторами были выбраны следующие [6, 7]:

1. Коэффициент корреляции Пирсона (Pearson Correlation Coefficient)
2. Расстояние Евклида (Euclidean Distance)
3. Косинусная мера (Cosine Similarity)
4. Среднеквадратичная ошибка (Mean Square Error)

Математические соотношения для перечисленных мер приведены в табл. 1. Все из перечисленных выше мер подобия были реализованы программно.

Расчет математического ожидания для последовательностей значений  $x(t)$ ,  $y(t)$  может быть выполнен с использованием следующих соотношений:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{t=1}^n x(t), \quad (2)$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{t=1}^n y(t), \quad (3)$$

где  $t$  – момент (точка) времени дискретизации;  $n$  – общее количество точек дискретизации сигналов  $X$ ,  $Y$ .

Таблица 1. Математические соотношения для расчета мер подобия двух числовых последовательностей (временных рядов)

Коэффициент корреляции Пирсона	$C(X, Y) = \frac{\sum_{t=1}^n (x(t) - \bar{X}) \cdot (y(t) - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (x(t) - \bar{X})^2} \cdot \sqrt{\sum_{t=1}^n (y(t) - \bar{Y})^2}}$	(4)
Расстояние Евклида	$D(X, Y) = \sqrt{\sum_{t=1}^n (x(t) - y(t))^2}$	(5)
Косинусная мера	$S(X, Y) = \frac{\sum_{t=1}^n x(t) \cdot y(t)}{\sqrt{\sum_{t=1}^n x(t)^2} \cdot \sqrt{\sum_{t=1}^n y(t)^2}}$	(6)
Среднеквадратичная ошибка	$E(X, Y) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{t=1}^n (x(t) - y(t))^2$	(7)

С помощью разработанной программной библиотеки был сгенерирован тестовый зашумленный синусоидальный сигнал. В табл. 2 приведены характеристики тестового сигнала.

Таблица 2  
Характеристики тестового сигнала

Форма сигнала	Синусоида
Амплитуда сигнала	3
Частота сигнала	0.1
Распределение шумовой составляющей	Нормальное
Среднеквадратичное отклонение	5
Частота дискретизации	0.025
Продолжительность регистрации сигнала	20 с

Отношение сигнал-шум для сгенерированного сигнала было равным 7.809 дБ. Сгенерированный сигнал был сглажен с помощью фильтра ПСС для порядка фильтра  $n$ , принимающего значение от 1 до  $N = 800$ , где  $N$  – выбранное в экспериментах максимальное количество отсчетов (моментов времени дискретизации) зашумленного сигнала. Были рассчитаны значения мер подобия для двух временных рядов (проведено  $N$  сравнений): временных рядов исходного незашумленного сигнала и временных рядов зашумленного сглаженного сигнала (при  $n$  от 1 до  $N = 800$ ).

Поскольку косинусная мера и коэффициенты Пирсона принимают значения на отрезке  $[-1, 1]$ , а значения расстояния Евклида и среднеквадратичной ошибки лежат вне отрезка  $[-1, 1]$ , для приведения всех мер к одному диапазону значений, к мерам расстояния Евклида и среднеквадратичной ошибки было применено деление на максимальное значение (из возможных) для каждой меры подобия.

Значения нормированных мер подобия изображены на рис. 2. По оси абсцисс отложены значения порядков фильтрации  $n$ , по оси ординат – значения мер подобия (рассчитанные при сравнении исходного незашумленного и зашумленного сглаженного временных рядов).

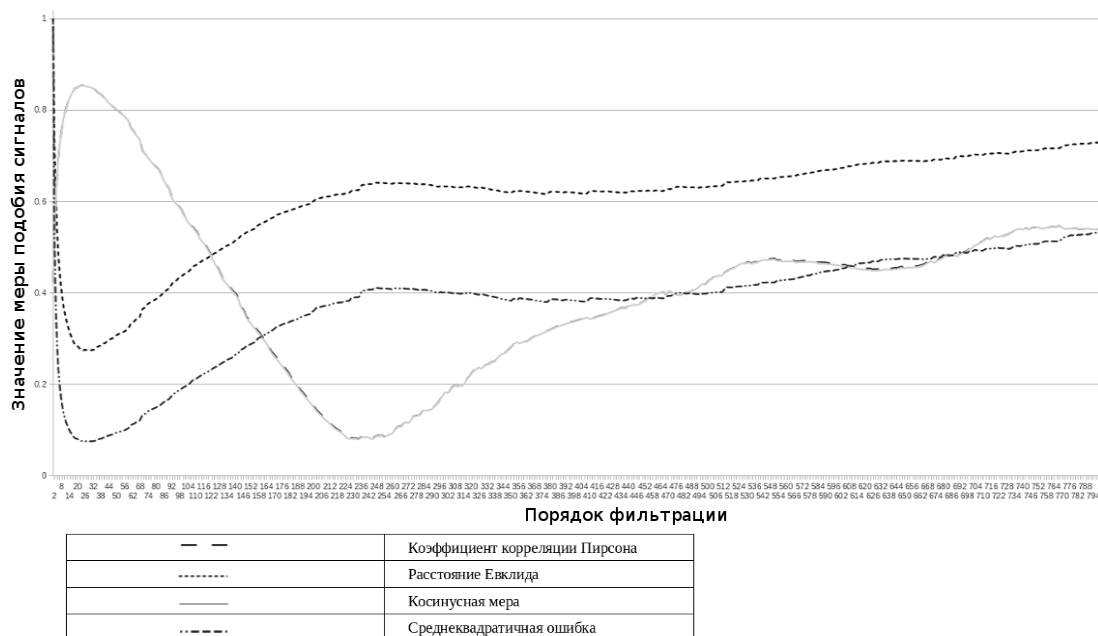


Рис. 2. Значения мер подобия сигналов (ось ординат) для разных порядков фильтрации ( $n$  от 1 до  $N=800$ ) (ось абсцисс)

Поскольку среди мер, анализируемых в экспериментах, было использовано расстояние Евклида, для которого оптимальным является наименьшее значение, то за основу было принято следующее общее условие оптимума: для выбранных мер подобия оптимальным является минимальное возможное значение. Для того чтобы привести все меры к одному условию оптимума, значения меры корреляции Пирсона (допустимые на отрезке [-1, 1]) и косинусной меры (допустимые на отрезке [-1, 1]) вычитались из единицы.

После приведения мер к общему условию оптимума и выполнения необходимых расчетов были построены графики, отображающие нормированные значения мер подобия сигналов (рис. 3). По оси абсцисс отложены значения порядков фильтрации  $n$ , по оси ординат – нормированные значения мер.

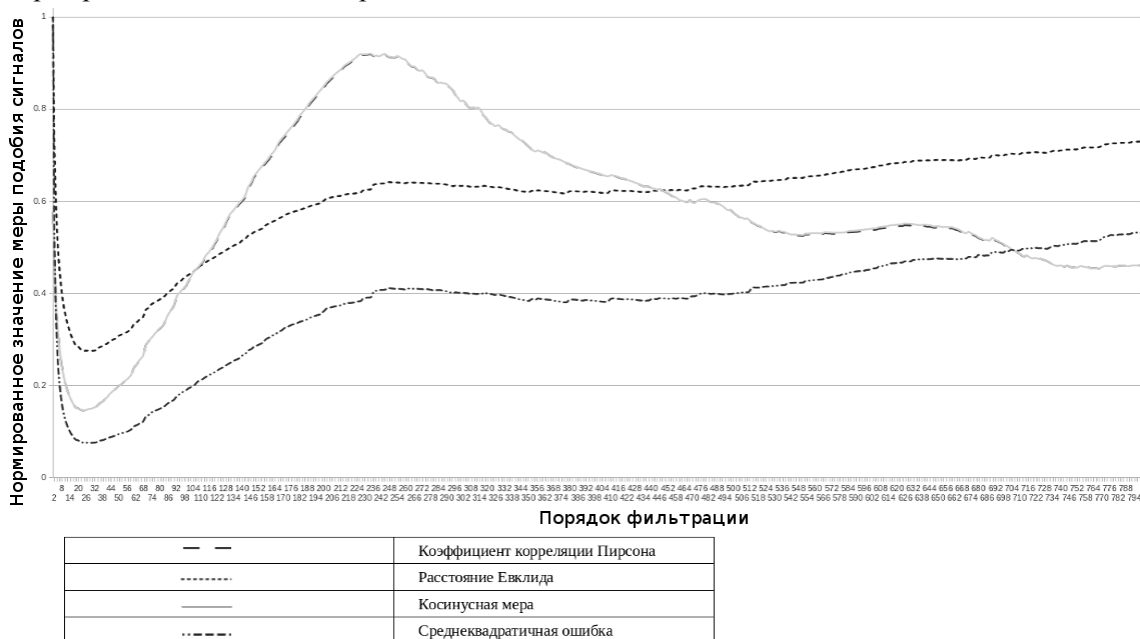


Рис. 3. Значения мер подобия сигналов (ось ординат) для разных порядков фильтрации ( $n$  от 1 до  $N=800$ ) (ось абсцисс)

Из рис. 3 видно, что значения выбранных мер подобия имеют по одному глобальному оптимуму, т. е. могут быть рассмотрены в качестве целевых функций.

На рис. 4 изображены гистограммы, которые построены для количества порядков фильтрации из рис. 3. По оси абсцисс отложены значения нормированных мер подобия [0, 1], а по оси ординат – количества порядков фильтрации, при которых было получено значение меры.

Из рис. 4 видно, что отношение оптимальных и неоптимальных порядков фильтрации ПСС варьируется для разных мер подобия.

Для оценки распределения последовательности значений в теории вероятностей используется мера эксцесса, определяемая вторым из приведенных ниже соотношений:

$$\bar{M} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^N M(n), \quad (8)$$

$$\varepsilon_{\square} = \frac{N \cdot \sum_{n=1}^N (M(n) - \bar{M})^4}{\left( \sum_{n=1}^N (M(n) - \bar{M})^2 \right)^2}, \quad (9)$$

где  $N$  – общее количество моментов времени дискретизации исходного (сгенерированного) сигнала;  $M(n)$  – значение меры подобия для порядка фильтрации  $n$ .

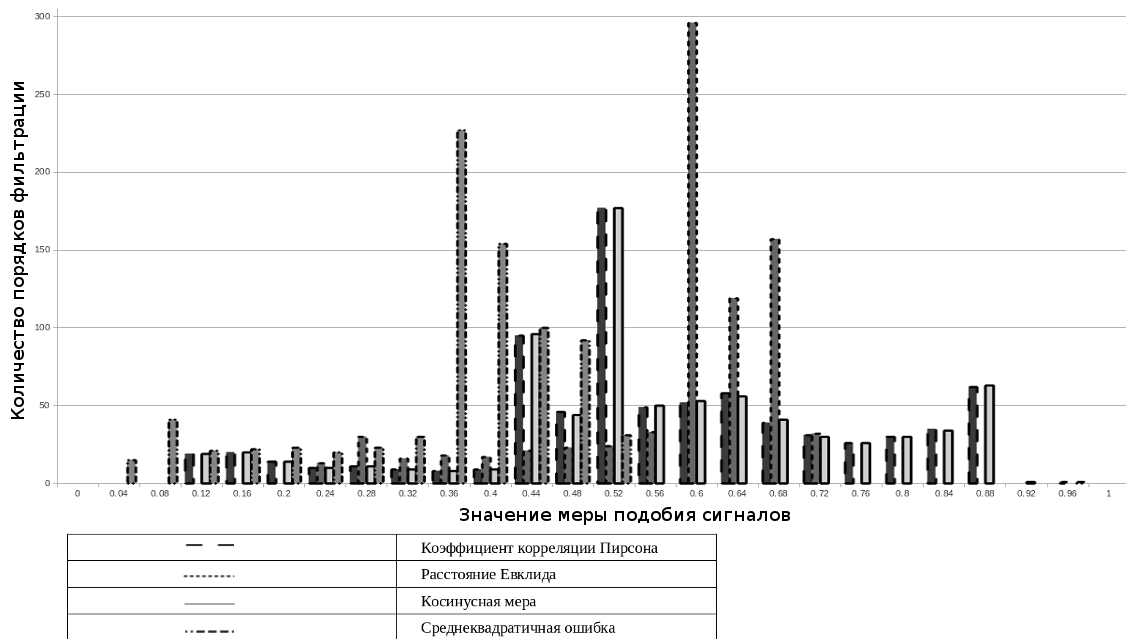


Рис. 4. Количество порядков фильтрации (n от 1 до N = 800) (ось ординат) с равным значением мер подобия (ось абсцисс)

Экссесс позволяет измерить остроту пика распределения значений ряда, а в нашем случае – значений мер подобия для порядков фильтрации от 1 до N = 800.

В [2] при расчете оптимальных параметров цифрового фильтра были выделены два лучших алгоритма: рой частиц и генетический алгоритм. В обоих алгоритмах поиск начинался с генерирования заданного количества начальных значений n (порядка фильтрации) и m (порядка аппроксимации). В контексте текущей статьи может быть выбрано 800 значений n (порядка фильтрации), каждое с вероятностью 0.00125.

Как отмечено выше, эксцесс позволяет численно определить остроту пика распределения значений порядков фильтрации. Можно сделать вывод, что при увеличении значения эксцесса будет увеличиваться количество порядков фильтрации с одинаковым значением меры подобия (их вероятность будет увеличиваться), при этом вероятность нахождения глобального оптимума будет уменьшаться.

Приведем далее результаты вычисления значений эксцесса для сигналов разной формы и разных уровней шумовой составляющей.

#### 4. Сравнение мер подобия

Выше мы предложили использовать значение эксцесса для оценки мер подобия при разных порядках n фильтрации. Рассмотрим этот вопрос более внимательно. В результате выполненных нами экспериментов были сгенерированы сигналы имеющие шумовую составляющую с различной величиной среднеквадратичного отклонения  $\sigma$ . На рис. 5 приведены значения эксцесса мер подобия сигналов: исходного незашумленного и зашумленного сглаженного (для значений  $\sigma$ , выбранных в пределах от 1 до 50). По оси абсцисс отложены значения  $\sigma$ , по оси ординат – значения эксцесса мер подобия для разных порядков фильтрации от 1 до N = 800.

В целях полноты экспериментов количество форм тестовых сигналов было расширено до четырех: синусоидального, прямоугольного, треугольного и пилообразного. Для всех этих форм сигналов в табл. 3 приведены значения математического ожидания эксцесса для мер подобия сигналов: исходного незашумленного и зашумленного сглаженного ( $\sigma = 1 \dots 50$ ).

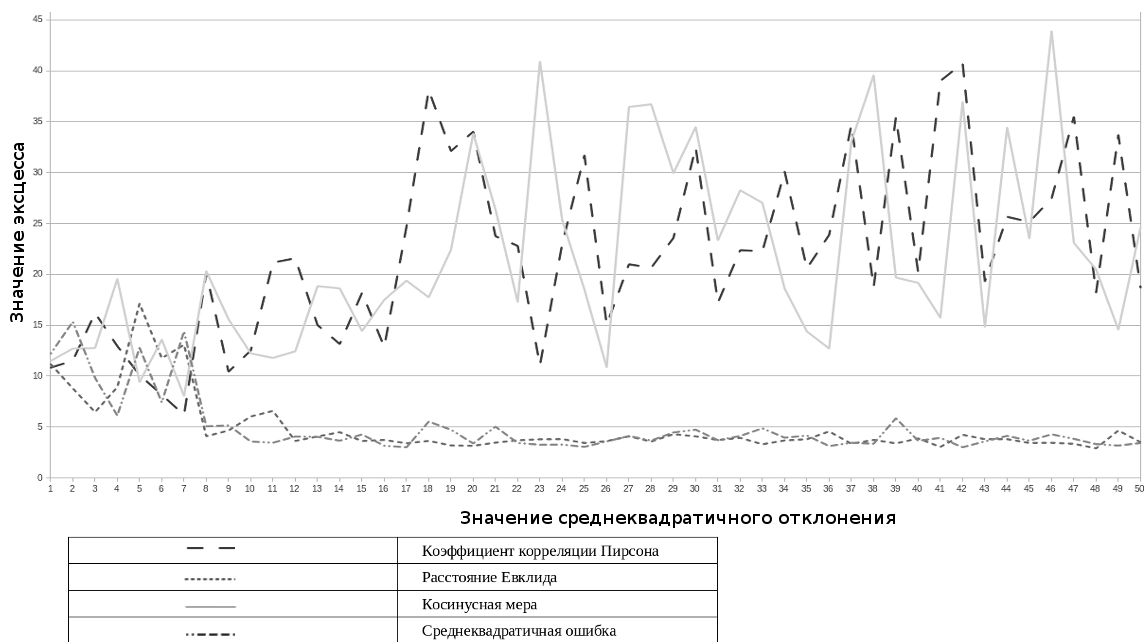


Рис. 5. Значения эксцесса (ось ординат) для мер подобия сигналов: исходного незашумленного и зашумленного сглаженного ( $\sigma = 1 \dots 50$ ) – ось абсцисс

Таблица 3

Мера подобия	Значения математического ожидания эксцесса для мер подобия сигналов			
	Форма сигнала			
	Синусоидальная	Прямоугольная	Треугольная	Пилообразная
Коэффициент корреляции Пирсона	25.73	22.69	28.71	26.51
Расстояние Евклида	3.98	4.18	4.11	4.01
Косинусная мера	26.16	25.03	27.34	28.31
Среднеквадратичная ошибка	3.77	4.03	3.73	3.85

Оценив средние значения эксцесса для мер подобия, приведенные в таблице 2 и на рис. 5, можно сделать следующие выводы:

1. Среднеквадратичная ошибка как мера подобия сигналов имеет наименьшее среднее значение эксцесса, следовательно, позволяет повысить вероятность стохастического расчета оптимального порядка фильтрации.

2. По среднему значению эксцесса рассмотренные меры подобия можно разделить на две группы:

- расстояние Евклида и среднеквадратичная ошибка;
- коэффициент корреляции Пирсона и косинусная мера.

## 5. Выводы

Сравнение сигналов требуется при решении различных технических задач, в том числе при проектировании адаптивных цифровых фильтров. Формальной оценкой степени близости сигналов может служить мера подобия, определенная тем или иным способом. От выбора меры подобия зависит то, насколько оптимальным будет решение вопроса о порядке фильтра.

Для того чтобы исследовать данный вопрос, была создана тестовая среда (программная библиотека), включающая в себя модули, генерирующие сигналы разной формы, и модули анализирующие эти сигналы. Основными компонентами библиотеки являются: модуль генерирования сигнала (генерирования сигнала по функции, генерирования шумовой

составляющей), модуль нерекурсивной фильтрации, модуль оценки качества фильтрации (оценки подобия сигналов и статистической оценки).

Для оценки изменения значений мер подобия для разных сигналов с помощью разработанной библиотеки были сгенерированы сигналы следующих форм: синусоидальный, прямоугольный, треугольный и пилообразный. К сгенерированным значениям была добавлена случайная составляющая (шум), после чего полученный сигнал был сглажен с помощью нерекурсивного фильтра. Показано, что применяя к зашумленному сигналу фильтрацию с разным порядком, можно найти порядок, при котором мера подобия принимает наименьшее значение (при этих условиях порядок фильтрации можно считать оптимальным).

Для сравнения мер подобия предложено использовать эксцесс. В результате оценки значений эксцесса при различных уровнях шума было установлено, что: 1) рассмотренные меры по среднему значению эксцесса можно разделить на две группы; 2) мера среднеквадратичной ошибки имеет наименьшее значение эксцесса. Кроме того, из результатов экспериментов следует, что среднеквадратичная ошибка позволяет повысить вероятность стохастического расчета оптимального порядка фильтрации стационарных сигналов.

Реализованная библиотека может быть использована для экспериментальной обработки цифровых сигналов в различных технических задачах.

**Список литературы:** 1. *Сергиенко А.* Цифровая обработка сигналов. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2011. С. 593-595. 2. *Rogoza V., Sergeev A.* The Comparison of the Stochastic Algorithms for the Filter Parameters Calculation, Springer, Advances in Systems Science. Switzerland, 2014. Vol. 240. P. 241-250. 3. *Cha S.*, Comprehensive Survey on Distance / Similarity Measures between Probability Density Functions, MZAS, Issue 4. Singapore, 2007. Vol. 1. P. 300-307. 4. *Загоруйко Н.* Прикладные методы анализа данных и знаний. Новосибирск, 1999. С. 195-199. 5. *Wang D., Ronsin J., Veronique H.* Compared performances of morphological, median type and running mean filters, SPIE, Vol. 1818, 1992. P. 384-391. 6. *Xu R., Wunsch D.* Survey of Clustering Algorithms, IEEE Transactions on Neural Networks. 2005. Vol. 16. No. 3. P. 645-678. 7. *Окунь Я.* Факторный анализ. Москва, 1974. С. 52-57. 8. *Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В.* Курс теории вероятностей и математической статистики. М.: Наука, 1969. С. 85-94.

*Поступила в редколлегию 20.10.2013*

**Рогоза Валерий Станиславович**, д-р техн. наук, профессор кафедры системного проектирования института прикладного системного анализа НТУУ “КПИ”. Адрес: Украина, 03056, Киев, ул. Панаса Мирного, 19, тел./факс: +380688100428. E-mail: alexey.horchynskiy@yahoo.com.

**Сергеев-Горчинский Алексей Александрович**, аспирант кафедры системного проектирования института прикладного системного анализа НТУУ “КПИ”. Адрес: Украина, 03056, Киев, ул. Панаса Мирного, 19. E-mail: alexey.horchynskiy@yahoo.com.

## ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛІ. ІСНУЮЧІ РІШЕННЯ

Описуються характеристики та елементи магнітного поля Землі, вказуються причини їх варіації та визначається необхідність їх моніторингу. Проводиться огляд класичних та інноваційних методів і засобів для вимірювання характеристик магнітного поля Землі. Вказується на необхідність забезпечення якості магнітних вимірювань, зменшення похибок, покращення метрологічних характеристик та параметрів засобів вимірювання, а також забезпечення єдності метрологічних вимірювань у даній галузі. Ключові слова: магнітне поле Землі, варіація елементів земного магнетизму, засіб вимірювання, напруженість магнітного поля, магнітна індукція, магнітний потік, магнітна проникність.

**Постановка проблеми.** Інформація про магнітне поле Землі та його варіаційну мінливість є достатньо важливою для багатьох галузей науки та техніки. На це вказує значна кількість обсерваторій по всьому світу, що виконують моніторинг магнітного поля Землі. Зокрема для виконання цієї функції понад 70 країн світу мають більше 200 обсерваторій [1], дані яких є основними при дослідженні магнітного поля Землі, його варіаційної мінливості, внутрішньої будови Землі і при їх глобальному моделюванні.

**Аналіз відомих джерел і публікацій** [3, 7, 8, 9, 10] показав, що потреба у результатах магнітних спостережень визначає актуальність робіт по забезпеченню вимірювань параметрів магнітного поля Землі в різних галузях.

**Постановка завдання.** Сьогодні магнітне поле Землі широко вивчається з метою його використання в навігації, для пошуку родовищ залізних руд та інших корисних копалин, що проявляють магнітні властивості, а також для вивчення внутрішньої будови Землі і встановлення геологічного віку гірських порід. Вказане стимулює енергійний розвиток засобів та методів вимірювання магнітного поля Землі, що безперечно базуються на класичних методах.

**Основний матеріал.** Земне магнітне поле, як унікальне явище природи, використовувалося в людській практиці для вирішення ряду важливих практичних завдань ще з давніх часів. Наприклад, спостереження і використання магнітних явищ на практиці відомо ще з III ст. до н. е., коли в Китаї виготовлялися і використовувалися перші магнітні компаси, що являли собою круглі ложки з короткою ручкою, зробленою з магнітного залізняка, які розташовувалися на відполірованій мідній поверхні з нанесеними поділками для визначення напрямку магнітного поля Землі.

На сучасному етапі наукового розвитку магнітне поле на поверхні Землі вивчено досить добре [5, 6]. Його особливістю є подібність до диполя – двополюсника або магніту, що має два полюси, які розташовані на малій відстані один від одного (рис. 1, а). Величина магнітного поля Землі на полюсах приблизно в два рази більша, ніж на екваторі. Магнітні полюси Землі не збігаються з географічними. Магнітна вісь нахилена до осі обертання на  $11,5^\circ$ . Тому виникає розбіжність магнітних меридіанів з географічними. Магнітний полюс в Північній півкулі знаходиться біля берегів Північної Америки ( $71^\circ$  півд. ш.,  $96^\circ$  з. д.), а магнітний полюс в Південній півкулі – близько берегів Антарктики, на довготі Австралії ( $70^\circ$  півд. ш.,  $150^\circ$  с. д.). Як можна помітити, полюси не є діаметрально протилежними точками земної кулі. Магнітна вісь не тільки не збігається з віссю обертання за напрямком, але і не проходить через центр Землі; крім того, величина поля в Північній півкулі дещо більша, ніж у Південній.

Магнітне поле Землі є векторною величиною та характеризується положенням вектора  $T$  в просторі (рис. 1, б), який можна розкласти на горизонтальну  $h$  та вертикальну  $z$  складові. Кут  $J$  між горизонтальною складовою  $h$  та повним вектором  $T$  називають *магнітним нахилом*, а кут  $D$  – між напрямками на магнітний ( $M.P.$ ) та географічний ( $G.P.$ ) полюси – *магнітним схиленням* [2].

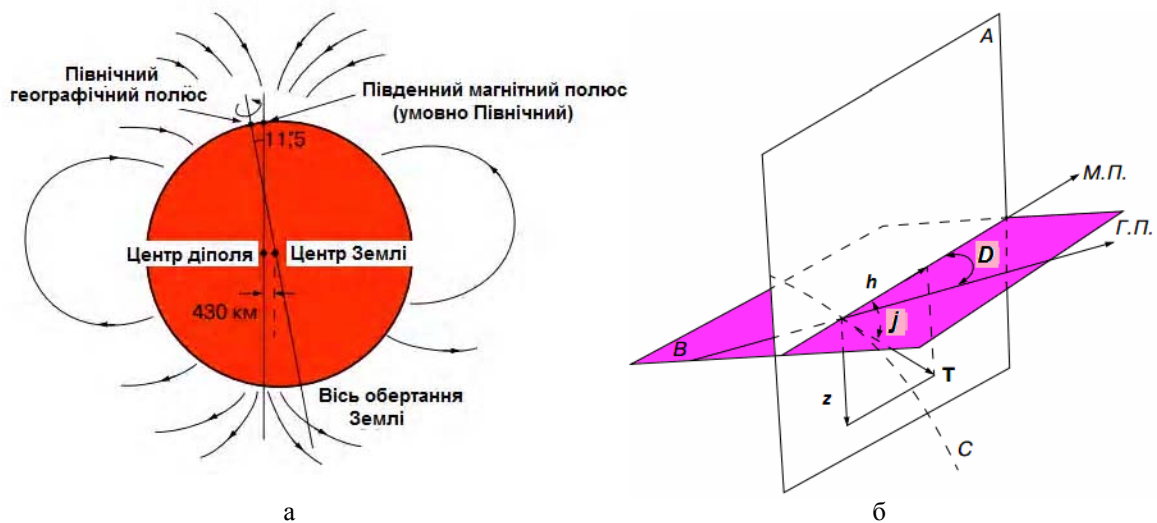


Рис. 1. Схематичне зображення магнітного поля Землі у вигляді магнітного диполя (а) та його основних компонентів (б) [2]:  $B$  – поверхня Землі на деякій обмеженій ділянці;  $A$  – вертикальна площина;  $C$  – магнітна силова лінія;  $T$  – повний вектор магнітного поля;  $h$  – горизонтальна складова вектора  $T$ ;  $z$  – вертикальна складова вектора  $T$ ;  $j$  – магнітний нахил;  $D$  – магнітне схилення;  $M.П.$  – напрямком на магнітний полюс Землі;  $G.П.$  – напрямком на географічний полюс Землі

Напрямок магнітного поля Землі визначається щодо географічних координат Землі і задається двома кутами: схиленням і нахилом. Схилення – це кут  $D$  між географічним і магнітним меридіанами, тобто між істинним напрямком на північ і тим, яке вказує магнітна стрілка компаса. Нахил – кут  $J$  між напрямком магнітної стрілки компаса, що обертається навколо горизонтальної осі, і горизонтальною площиною (див. рис. 1, б) [6]. Схилення  $\gamma$ , нахил  $\alpha$ , горизонтальна складова  $h$ , вертикальна складова  $z$  носять назву елементів земного магнетизму [12] та є динамічними величинами, які разом з іншими його фізичними характеристиками постійно змінюються і в просторі, і в часі [5, 6, 12]. Варіації елементів земного магнетизму пов'язані з джерелами, які знаходяться всередині земної кулі і викликаються тими ж причинами, що і саме магнітне поле Землі, а також електричними струмами у високих шарах атмосфери [12].

Фізичними характеристиками магнітного поля Землі, як і будь-якого іншого магнітного поля, є магнітна індукція  $B$ , магнітний потік  $F$ , магнітна проникність  $\mu$  і напруженість магнітного поля  $H$ . Одиницями вимірювання напруженості  $H$  магнітного поля Землі в системі СІ є ампер на метр (А/м), також застосовується Ерстед (Е) або гамма  $\gamma$ , яка дорівнює  $10^{-5}$  Е ( $1 \text{ А/м} = 4\pi \cdot 10^{-3} \text{ Е}$ ). Напруженість магнітного поля  $H$  Землі біля магнітних полюсів становить близько 55,7 А/м (0,70 Е), на магнітному екваторі – близько 33,4 А/м (0,42 Е), в районах магнітних аномалій – 158,4 А/м (2 Е). Напруженість  $H$  магнітного поля Землі змінюється із зміною висоти (рис. 2).

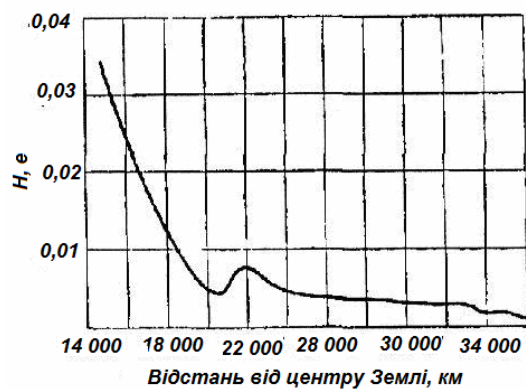


Рис. 2. Графік зміни напруженості магнітного поля Землі на великих висотах в ерстедах

Величиною магнітного поля землі, що практично вимірюється, є магнітна індукція  $B$ , яка визначається за виразом (1) та вимірюється в системі СІ в теслах (Тл). Також використовується менша одиниця вимірювання – нанотесла (нТл), яка становить  $10^{-9}$  Тл:

$$B = \mu H, \quad (1)$$

де  $\mu$  – магнітна проникність середовища, Гн/м.

Оскільки для більшості середовищ, в яких вивчається магнітне поле (повітря, вода, більшість немагнітних осадових порід), магнітна проникність  $\mu$  є величиною постійною, то кількісно магнітне поле Землі можна вимірювати або в одиницях магнітної індукції  $B$  (в нТл), або у відповідній їй напруженості поля – гамма ( $\gamma$ ).

Зусиллями провідних світових вчених, наприклад, таких як Ш.О. Кулон, К.Ф. Гаусс та ін. було встановлено однозначний зв'язок магнітних явищ з силовими явищами, що виникають при русі електричних зарядів [4]. Тому магнітні вимірювання як частина загального електромагнітного процесу тісно пов'язані з електричними вимірюваннями. У більшості випадків при визначенні тієї чи іншої магнітної величини вимірюється практично електрична величина, значення якої є функцією виміру магнітної величини. Сама ж магнітна величина визначається шляхом обчислення співвідношень, що зв'язують магнітні та електричні величини. Як правило, для вимірювання магнітних величин використовують електромеханічні вимірювальні прилади, в яких енергія вимірювальної величини перетворюється в енергію переміщення рухомої частини. Це перетворення здійснюється вимірювальним механізмом приладу. За положенням рухомої частини (відлікового пристрою) засобу вимірювання можна судити про значення вимірювальної величини. Узагальнена структурна схема електромеханічного приладу показана на рис. 3. Вимірювальна схема перетворює вимірювальну величину  $X$  у іншу величину  $Y$ , яка безпосередньо впливає на вимірювальний механізм. Вихідна величина  $Y$  пов'язана із вхідною величиною  $X$  функціональною залежністю:

$$Y = f(X). \quad (2)$$

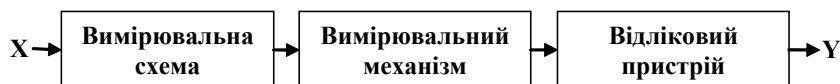


Рис. 3. Загальна структурна схема електромеханічного вимірювального приладу

У вимірювальному механізмі, як правило, під дією електромагнітних сил створюється обертальний момент  $M_{об}$ , що викладає поворот рухомої частини на кут  $\beta$ . Величина обертального моменту  $M_{об}$  залежить від вимірювальної величини:

$$M_{об} = f(X). \quad (3)$$

У деяких випадках обертовий момент  $M_{об}$  пропорційний вимірювальній величині:

$$M_{об} = K \cdot X, \quad (4)$$

де  $K$  – коефіцієнт пропорційності.

Рівняння шкали ЗВ:

$$\beta = f(X)/D = F(x) = \frac{K}{D} \cdot X = S \cdot x, \quad (5)$$

тут  $D$  – протидіючий момент, що врівноважує обертовий момент  $M_{об} = D$ ;  $S$  – коефіцієнт пропорційності, що називають чутливістю ЗВ.

Важливою метрологічною характеристикою, яка визначає якість ЗВ, є чутливість  $S$  – здатність ЗВ реагувати на зміну вхідної величини  $X$ . Чутливість визначається як відношення зміни вихідної величини до зміни вхідної та дорівнює куту відхилення рухомої частини, що відповідає одиниці вимірювальної величини:

$$S = \frac{\partial Y}{\partial X}. \quad (6)$$

При рівномірній шкалі ЗВ його чутливість  $S$  постійна. Для нерівномірної шкали чутливість у різних точках шкали різна.

Крім чутливості для визначення якості ЗВ використовують такий метрологічний параметр, як роздільна здатність  $C$ , що є величиною, зворотною чутливості  $S$ , при рівномірній шкалі і визначає ту мінімальну зміну вимірювальної величини, яку можливо зареєструвати ЗВ:

$$C = \frac{1}{S} = \frac{x}{\beta}. \quad (7)$$

Роздільну здатність  $C$  також називають ціною поділки шкали.

Принципи, що лежать в основі роботи ЗВ для вимірювання магнітного поля Землі, досить різноманітні. Відповідно до цього можна виділити такі перетворювачі, що використовуються в ЗВ магнітного поля [2, 4].

Механічні перетворювачі містять як чутливий елемент магніти і контури з струмом. Поділяються на пасивні і активні. Пасивні механічні перетворювачі являють собою стрілки, що вільно повертаються і використовуються для визначення напрямку вектора магнітної індукції  $B$  або для оцінки її величини за обертовим механічним моментом  $M_{об}$  стрілки, що врівноважується відомим моментом, за виразом (4). Активні механічні перетворювачі засновані на вільних коливаннях стрілки у вимірюваному полі і визначають величину вектора  $B$  за періодом або частотою коливань стрілки.

Квантові перетворювачі використовують явище прецесії електронних або ядерних моментів атомів, що є складовими речовини, навколо напрямку магнітного поля. Принцип дії таких ЗВ заснований на резонансному збільшенні поглинання енергії зовнішнього високочастотного або над високочастотного поля на частотах, що відповідають різниці енергій дискретних рівнів в атомі. Іншим квантовим ефектом, пов'язаним з наявністю магнітних полів, є ефект Зеемана – розщеплення спектральних ліній атомів на ряд додаткових ліній. При цьому величина розщеплення однозначно пов'язана з величиною магнітного поля. Про величину електричного поля, що оточує атоми, судять по розширенню контурів спектральних ліній – так зване уширення Штарка.

Магнітометричні індукційні перетворювачі засновані на явищі електромагнітної індукції, як чутливий елемент містять котушку індуктивності. При цьому вихідним сигналом є електрорушійна сила (ЕРС), що наводиться в цій котушці. Якщо поле постійне, то котушку потрібно рухати або обертати в полі, тому що ЕРС залежить від похідної  $ds/dt$ .

Ферроіндукційні перетворювачі як чутливий елемент містять ферромагнітне осердя, що переміщається в просторі і створює ЕРС індукції внаслідок зміни параметрів магнітного кола.

Надпровідникові магнітні перетворювачі використовують різні ефекти надпровідності. Одним з них є ефект Мейснера – витіснення магнітного поля з об'єму надпровідника при досягненні критичної температури. Магнітне поле не може проникнути всередину надпровідника, оскільки у нього немає опору, і носії заряду, вільно переміщаючись всередині надпровідників, компенсують зовнішнє магнітне поле. Іншим ефектом надпровідності є ефект Джозефсона, сутність якого полягає в появі змінного електричного струму в колі із двох напровідників, що розділені тонким шаром діелектрика. Частота струму залежить від різниці потенціалів та атомних констант.

Принцип роботи гальваноманітних та магнетронних перетворювачів з одного боку близький до індукційних явищ, а з другого – пов'язаний з силовими взаємодіями, що проявляються у викривленні траєкторії руху вільних зарядів. Принципово можна погодитись з тими авторами, які вважають, що сили, які діють в магнітному полі на рухомі заряди в нерухомих тілах (силові взаємодії), та сили, що діють на вільні заряди в рухомих тілах (явище електромагнітної індукції), мають одну природу.

Методи, що використовуються для вимірювання магнітного поля Землі, можна розділити на методи вимірювання із прямими та непрямими вимірювальними перетвореннями [2, 4].

При *прямих вимірювальних перетвореннях* фізична величина, що визначає магнітні силові взаємодії, визначається вимірюванням або сили, або механічного моменту, або електрорушійної сили, що наводиться в контурі вимірювального механізму. При прямих перетвореннях проводяться прямі вимірювання, тобто без перетворення роду та виду, магнітної індукції  $B$  або магнітного потоку  $F$  шляхом вимірювання іншої фізичної величини – сили, моменту, заряду, різниці потенціалів, що однозначно пов'язана з магнітною індукцією  $B$  фундаментальними фізичними законами.

При *непрямих вимірювальних перетвореннях* фізична величина, зокрема магнітна індукція  $B$  або напруженість  $H$  відтворюється зміною електричного струму  $I$  і параметрів протяжності  $l$  та  $r$  за законом Біо-Савара-Лапласа, та описується виразом (8) [4]:

$$H = \frac{I}{4\pi} \oint_L \frac{[d\vec{l} \times \vec{r}^0]}{r^2}, \quad (8)$$

де  $I$  – струм, що протікає по провіднику;  $Idl$  – елемент струму;  $r$  – відстань від елемента струму до точки, в якій визначається магнітна взаємодія.

Забезпечення магнітних вимірювань в основному здійснюється сукупністю приладів [2] для вимірювання:

- модуля напруженості  $H$  або індукції  $B$  магнітного поля (тесламетри);
- напрямку вектора  $T$  магнітного поля;
- величини магнітного потоку  $F$  (веберметри);
- магнітних постійних речовин і матеріалів;
- неоднорідностей магнітного поля (градієнтметри);
- магнітного моменту.

Особливої актуальності і затребуваності у багатьох галузях, що динамічно розвиваються, набувають інноваційні, науково-технічні та інженерні рішення магнітних вимірювань [7]. Наприклад, представлені в [8, 9] пристрої призначені для вимірювання компонент і повного вектора індукції магнітного поля Землі, а також навігації на транспортних засобах містять магнітометри, акселерометри, котушки індуктивності та обчислювальні пристрої. Технічним результатом винаходів є підвищення точності магнітних вимірювань.

**Висновки.** Сучасні ЗВ, що використовуються при вимірюванні магнітного поля Землі, представляються класичними методами та інноваційними науково-технічними й інженерними рішеннями у галузях метрології і засобів вимірювань магнітних величин. Очевидно, що якісне забезпечення магнітних вимірювань передбачає проведення робіт із забезпечення єдності метрологічних вимірювань, точності та достовірності отриманих результатів шляхом зменшення похибок методів та засобів вимірювання, покращення їх метрологічних характеристик та параметрів, розробки відповідної сучасної нормативної метрологічної бази з даної галузі.

**Список літератури:** 1. *Геомагнитные вариации*. Мировой центр данных по солнечно-земной физике. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.wdcb.ru/stp/stp.ru/data.ru.html>. 2. *Заболотнов В. Н.* Средства измерений магнитных величин: аналитический обзор / В. Н. Заболотнов, В. Т. Минлигареев // Мир измерений. 2013. № 4. 63 с. 3. *Каршаков Е. В.* Применение измерений параметров градиента магнитного поля Земли в задаче навигации летательного аппарата / Е. В. Каршаков // Управление большими системами. 2011. № 35. С. 265-282. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://ubs.mtas.ru/bitrix/components/bitrix/forum.interface/show\\_file.php?fid=5474](http://ubs.mtas.ru/bitrix/components/bitrix/forum.interface/show_file.php?fid=5474). 4. *Козлов М. Г.* Принципы, лежащие в основе магнитных измерений. Метрология и стандартизация. / М. Г. Козлов. М., СПб.: Изд-во “Петербургский ин-т печати”, 2001. 372 с. 5. *Короновский Н. В.* Магнитное поле геологического прошлого Земли / Н. В. Короновский // Науки о Земле. Соросовский образовательный журнал. 1996. № 6. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://ocean.phys.msu.ru/courses/geo/lectures-addons/15/1996B8.pdf>. 6. *Магнитное поле Земли*. Универсальная научно-популярная онлайн-энциклопедия. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://www.krugosvet.ru/enc/nauka\\_i\\_tehnika/fizika/MAGNITNOE\\_POLE\\_ZEMLI.html](http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/fizika/MAGNITNOE_POLE_ZEMLI.html). 7. *Минлигареев В. Т.* Обеспечение единства магнитных измерений на государственной наблюдательной сети / В. Т. Минлигареев, В. Н. Заболотнов, В. И. Денисова, В. Б. Лапшин, Е. А. Паньшин, А. Ю. Штырков // Гелиогеофизические исследования. 2013. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://vestnik.geospace.ru>. 8. *Патент* на изобретение: RU 2285931. Устройство для определения углового положения подвижного объекта / Б.М. Смирнов. 9. *Патент* на изобретение: RU 2368872. Бортовое устройство для измерения параметров магнитного поля земли / Ю. Р. Линко, Г. И. Соборов, А. Н. Схоменко. 10. *Петров В. Г., Амиантов Ю. А., Бурцев Ю. А.* Магнитное поле Земли и проблемы его использования для навигации и ориентации: материалы. Научная конференция “Базы данных, инструменты и информационные основы полярных геофизических исследований” (ИЗМИРАН, 22 – 26 мая 2012) [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://www.izmiran.ru/POLAR2012/REPORTS/POLAR\\_2012\\_Petrov2.pdf](http://www.izmiran.ru/POLAR2012/REPORTS/POLAR_2012_Petrov2.pdf). 11. *Хмельской В. К.* Геофизические методы исследования земной коры. Международный университет природы, общества и человека. Дубна. 1997. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.astronet.ru/db/msg/1173309/page11.html#3>. 12. *Элементы магнитного поля Земли*. Мировой центр данных по физике твердой Земли. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://www.wdcb.ru/sep/magnetic\\_measurements/magn\\_elements.ru.html](http://www.wdcb.ru/sep/magnetic_measurements/magn_elements.ru.html).

Надійшла до редколегії 12.10.2014

**Стасюк Вадим Володимирович**, аспірант кафедри АЕД НТУУ «КПІ». Наукові інтереси: методи вимірювання електричних та магнітних величин. Адреса: Україна, 03056, Київ-56, проспект Перемоги, 37, E-mail : [vadym.stasiuk@gmail.com](mailto:vadym.stasiuk@gmail.com).

## **СРЕДСТВА СЖАТИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ САМОТЕСТИРОВАНИИ И РЕМОНТЕ МИКРОСХЕМ ПАМЯТИ**

Предлагаются средства сжатия диагностической информации, полученной при выполнении самотестирования микросхемы памяти, что обеспечит сокращение времени ее обработки и самовосстановления работоспособности.

### **1. Введение**

Одним из важных компонентов компьютерных систем являются запоминающие устройства, которые состоят из микросхем полупроводниковой памяти. Поскольку микросхемы памяти становятся более сложными и работают все быстрее, их тестирование – это очень тяжелая и дорогостоящая процедура. В настоящее время производители микросхем памяти уделяют большое внимание этому вопросу. Во избежание негативных сценариев развития и для обеспечения надежности функционирования таких систем нужно решить проблему защиты компьютерной информационной системы от ошибок памяти. Для повышения качества запоминающих устройств необходимо определить объем профилактического встроенного тестового диагностирования и рассмотреть средства сжатия диагностической информации, обеспечивающие сокращение времени восстановления работоспособности микросхемы памяти [1-3].

Результаты диагностирования микросхемы памяти могут быть представлены в виде растровой карты, анализ которой позволяет сократить аппаратные средства и производственные операции при восстановлении работоспособности микросхемы памяти. На данной карте исправные ячейки отображаются белыми клетками, а черные квадраты отображают неисправные ячейки. Неисправными могут быть отдельные запоминающие элементы, а также может образоваться целый ряд неработоспособных строк и/или столбцов ячеек.

Однако при применении данного метода для хранения зафиксированных отказов диагностируемой микросхемы требуется большой объем памяти, практически равный объему тестируемого изделия, а для обработки полученных результатов нужно применять внешние программные средства, что увеличивает продолжительность выполнения производственных операций, необходимых для ремонта микросхем памяти.

### **2. Требования к средствам восстановления работоспособности**

При выполнении самотестирования и восстановления работоспособности микросхем памяти необходимо выполнить следующие требования [4]:

- продолжительность обработки диагностической информации, полученной после выполнения самотестирования, должна быть незначительной;
- необходимо использовать минимально возможное количество дополнительных внешних выводов микросхемы;
- встроенное самотестирование должно выполняться на максимальной рабочей частоте;
- продолжительность тестирования должна быть короткой;
- встроенные средства самотестирования должны занимать приемлемую дополнительную площадь кристалла.

### **3. Структурная схема микросхемы памяти со встроенными средствами сжатия диагностической информации**

В целях сокращения продолжительности ремонтных операций для восстановления работоспособности микросхем памяти целесообразно обработку диагностической информации осуществлять при помощи дополнительного встроенного в структуру микросхемы микроконтроллера.

На рис. 1 приведена структурная микросхема памяти со встроенными средствами самотестирования, сжатия диагностической информации и восстановления работоспособности и восстановления работоспособности. Микросхема содержит основной массив запоминающих ячеек, резервные строки и столбцы ячеек, дешифраторы адреса строк и столбцов, встроенные средства самотестирования и восстановления работоспособности, коммутаторы кодов адреса, данных и операций, а также контроллер сжатия диагностической информации.

В микросхеме используются пять дополнительных выводов: CLK, RESET, ST, T и Fail. На вывод CLK подаются синхронизирующие импульсы, сигнал RESET используется для установки элементов микросхемы в исходное состояние. Сигнал ST применяется для включения режима самотестирования микросхемы. На выводе T формируется напряжение высокого уровня при обнаружении отказов в микросхеме. Сигнал Fail формируется в том случае, если восстановление работоспособности микросхем памяти невозможно.

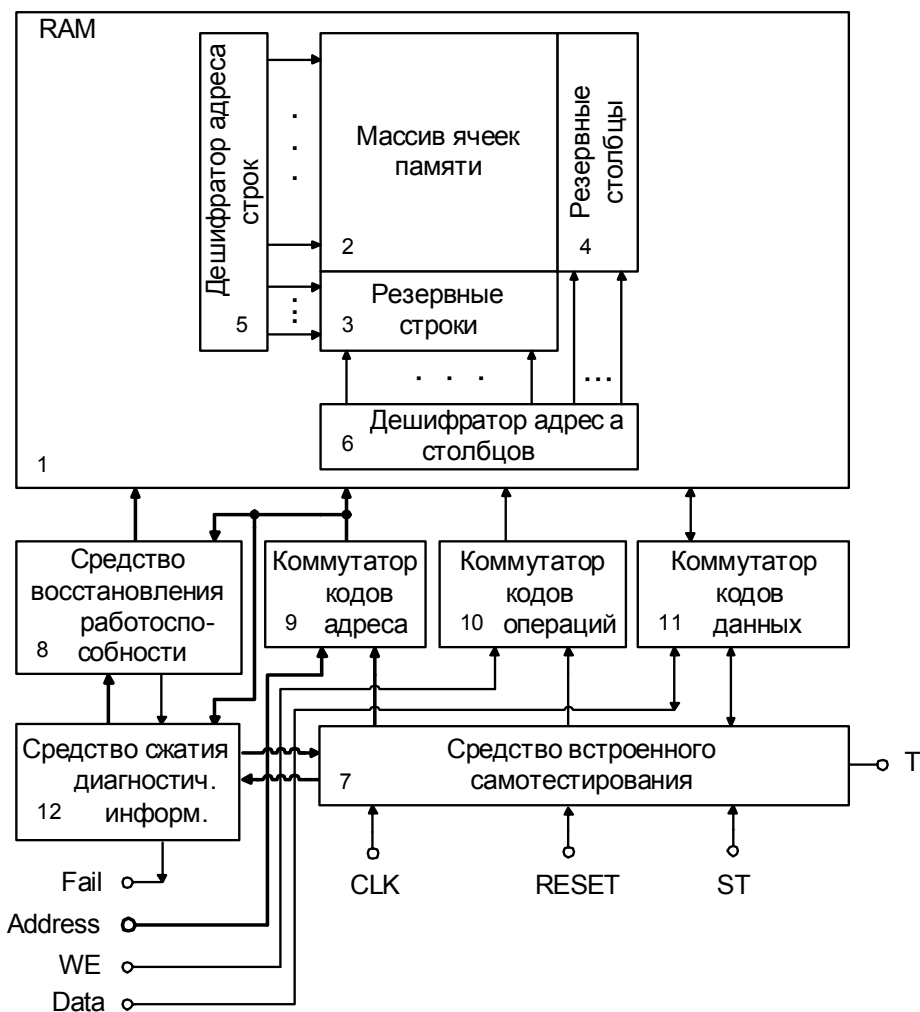


Рис. 1

#### 4. Структура и принцип работы средств сжатия диагностической информации

На рис. 2 изображена структурная схема средств сжатия диагностической информации, состоящих из контроллера микрокоманд, программного счетчика, элементов памяти микрокоманд и кодов адреса отказавших ячеек, счетчиков и логических элементов. По микрокомандам, считанным из их памяти, коды адреса ячеек памяти, где зафиксированы отказы, запоминаются и одновременно производится формирование признаков отказов, которые используются средством восстановления работоспособности.

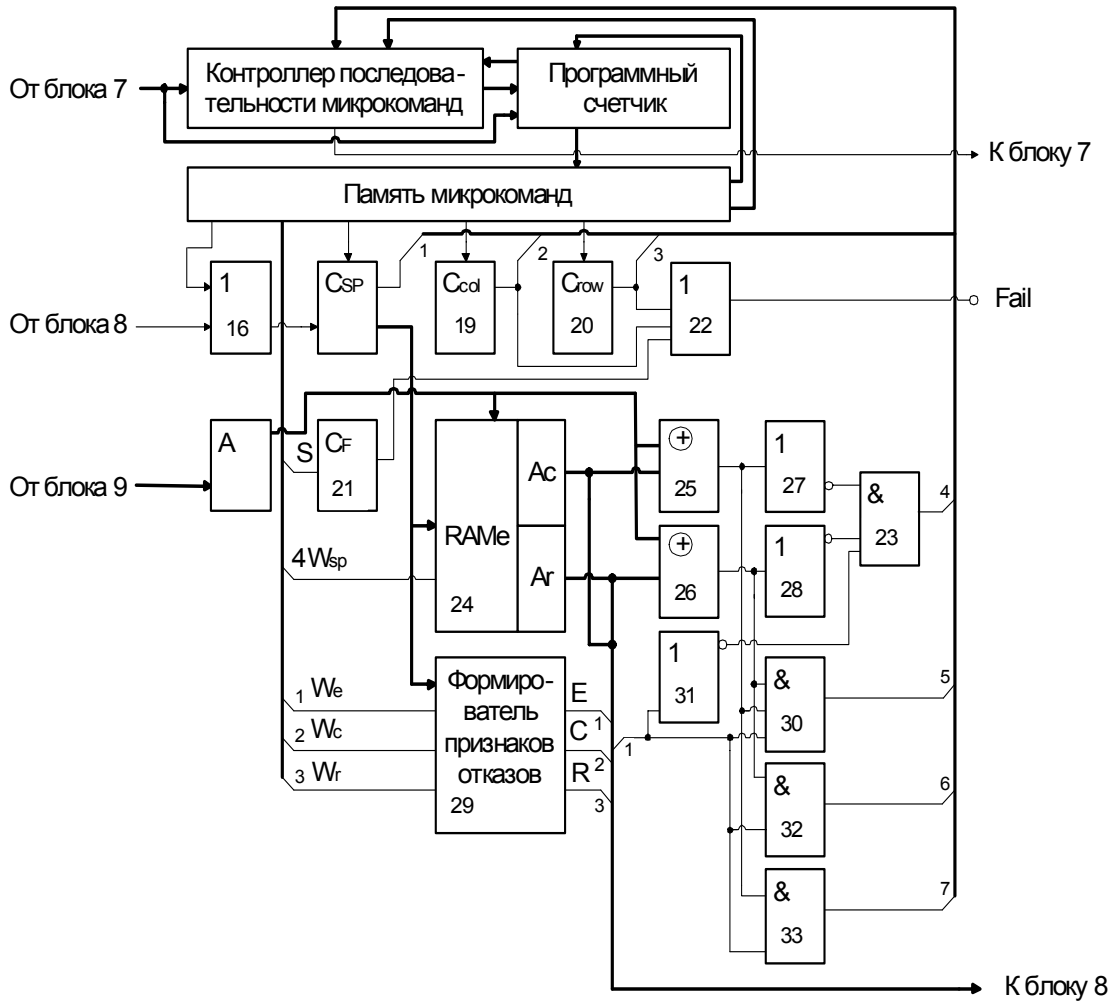


Рис. 2

Признаки отказов E, C, R обеспечивают идентификацию одной ячейки, столбцов и строк ячеек соответственно. Для инициализации алгоритмов обработки отказов сначала переключаются в нулевое состояние флаги отказов ячеек, отказов столбцов и отказов строк. Счетчики также переключаются в нулевое состояние. При обнаружении первого отказа самотестирование приостанавливается, адрес строки и столбца ячейки, в которой обнаружен отказ, записывается в памяти отказов, флаг E переключается в единичное состояние, а состояние счетчика отказов увеличивается на единицу. Затем формируется сигнал RUNB, обеспечивающий продолжение работы встроенных средств самотестирования, а работа контроллера средств сжатия информации приостанавливается.

Если повторно бракуется одна и та же ячейка, о чем свидетельствует выполнение условия  $F_C \wedge F_T \wedge E = 1$ , то операция записи в память ошибок не выполняется и формируется сигнал RUNB, что обеспечивает продолжение работы встроенного средства самотестирования.

Если при выполнении самотестирования обнаружен отказ новой ячейки, о чем свидетельствует выполнение условия  $\overline{F_C^i} \wedge \overline{F_T^i} \wedge \overline{E^i} = 1$ , обеспечивается сохранение адреса новой отказавшей ячейки в память отказов, содержимое счетчика  $C_F$  увеличивается на единицу и продолжается самотестирование микросхемы.

Если при выполнении самотестирования зафиксирован столбец ячеек, в котором ранее была выявлена бракованная ячейка, о чем свидетельствует выполнение условий  $F_C^i = A_{col}^i = A_{col} = 1$  и  $E^i = 1$ , то флаг  $C_i$  устанавливается в единичное состояние. Если

все резервные столбцы использованы для замены, о чем свидетельствует единичное состояние флага  $F_{col\_end}$ , то ремонт невозможен и формируется сигнал Fail=1.

Если столбцов для ремонта достаточно, то формируется сигнал RUNB, что обеспечивает продолжение выполнения самотестирования.

Если при выполнении самотестирования зафиксировано строку ячеек, в которой ранее была выявлена бракованная ячейка, о чем свидетельствует выполнение условий  $F_r^i = A_{row}^i = A_{col} = 1$  и  $E^i = 1$ , то флаг  $R_i$  устанавливается в единичное состояние. Если все резервные строки уже использованы для замены, о чем свидетельствует единичное состояние флага  $F_{row\_end}$ , то ремонт невозможен и формируется сигнал Fail=1.

Если строк для ремонта достаточно, то формируется сигнал RUNB, что обеспечивает продолжение самотестирования.

Останов процессов самотестирования и сжатия динамической информации возможен в следующих трех ситуациях.

1. Микросхема памяти работоспособна, о чем свидетельствует нулевое состояние сигнала T на ее выходе, после выполнения процесса самотестирования.

2. Процессы самотестирования и сжатия диагностической информации завершены успешно, о чем свидетельствует единичное состояние сигнала T и нулевое состояние сигнала Fail.

3. Процессы самотестирования и сжатия диагностической информации прекращены, о чем свидетельствует единичное состояние сигналов T и Fail. В этом случае самовосстановление микросхемы невозможно, поскольку недостаточно количества резервных элементов.

Сжатая диагностическая информация поступает в средства восстановления работоспособности микросхемы и используется следующим образом. Если выполняется условие  $E_i \wedge \overline{C_i} \wedge R_i = 1$ , то для ремонта можно воспользоваться резервной строкой или столбцом. Если выполняется условие  $E_i \wedge C_i = 1$ , то для ремонта нужно использовать резервный столбец. Если выполнено условие  $E_i \wedge R_i = 1$ , то для ремонта нужно использовать резервную строку.

## 5. Выводы

Предлагаемые средства сжатия диагностической информации, полученной при выполнении самотестирования микросхемы памяти, обеспечивают фиксацию ситуации, когда в одной и той же запоминающей ячейке многократно фиксируется отказ, при этом диагностическая информация не дублируется.

Экономический эффект при применении данного технического решения достигается за счет сжатия диагностической информации, что обеспечивает сокращение трудоемкости восстановления работоспособности микросхемы памяти.

**Список литературы:** 1. *Bala Souri K., Hima Bindu K., Ramana Rao K. V. A Built-In Self-Repair Scheme for Random Access Memories with 2-D Redundancy // International Journal of Soft Computing and Engineerin (IJSCE). Nov. 2011. Vol. 1, Num. 5. P. 327–329.* 2. *Patent U.S. Redundancy Analysis for Embedded Memories with Built-In Self Test and Built-In Self Repair. N6067262, Int.Cl.G11C 7/00. May 23, 2000.* 3. *Patent U.S. Built-In Spare Row and Column Replacement Analysis System for Embedded Memories. N6304989, Int.Cl.G01R 31/28. Oct.16, 2001.* 4. *Almadi M., Moamar D., Ryabisev V. Methodology of Algorithms Synthesis of Storage Devices Test Diagnosing // Proc. of East-West & Test International Workshop (EWDTW'10). St. Petersburg, Russia. Sep. 2010. P. 366-370.*

*Поступила в редколлегию 16.09.2013*

**Рябцев Владимир Григорьевич**, д-р техн. наук, профессор Черкасского филиала Европейского университета. Научные интересы: системы диагностического обеспечения полупроводниковых запоминающих устройств. Адрес: Украина, 18008, Черкасы, ул. Смелянская, 83, тел.: (0472) 63-09-71, E-mail: volodja18@ukr.net.

**Уткина Татьяна Юрьевна**, канд. техн. наук, доцент кафедры специализированных компьютерных систем Черкасского государственного технологического университета. Научные интересы: методы и средства повышения надежности микросхем полупроводниковой памяти. Адрес: Украина, 18006, Черкасы, бул. Шевченко, 460, тел.: (0472) 71-42-43, E-mail: utia\_chdtu@yahoo.com.

## **МЕТОД ВИДОБУВАННЯ ЗНАТЬ З ПРИРОДОМОВНИХ ТЕКСТІВ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ РОЗБУДОВИ ОНТОЛОГІЙ**

---

Пропонується метод, алгоритм і засоби для виділення знань з природомовного тексту. Показується, що такий алгоритм має бути багатоетапним і включати в себе ієрархічну кількарівневу процедуру розпізнавання понять, зв'язків, предикатів та правил, які в результаті вносяться до онтології.

### **1. Вступ**

Поняття знання відноситься до галузі наукових досліджень методів і засобів прийняття оптимальних рішень. В процесі набуття знань через навчання суб'єкт прийняття рішень використовує доступну йому інформацію для побудови оптимальної стратегії прийняття рішень. Інформація у нашому розумінні набуває статусу знань рівно тією мірою, якою вона допомагає носію цієї інформації вирішити його завдання і може бути чисельно оцінена як вигаш від її використання при прийнятті рішень в процесі досягнення відповідних цілей. Належним чином організована і впорядкована сукупність знань інтелектуального агента носить назву бази знань. Система впорядкування знань у такій базі формально-логічно сформульована у її онтології, визначеній як «експліцитна специфікація концептуалізації» [1], тобто явне формальне означення понять і допустимих семантичних зв'язків між ними.

Суть методу видобування знань з природомовного текстового документа, іншими словами – розпізнавання змісту текстового документа, полягає у побудові плану (стратегії) діяльності інтелектуального агента – інформаційної моделі суб'єкта розпізнавання, або уточнення такого плану на підставі даних, виділених у текстовому документі, що розпізнається. Тут вважаємо план конкретною реалізацією оптимальної стратегії вирішення деякої задачі, що стоїть перед інтелектуальним агентом в рамках заданої проблемної області.

План будується тією формальною мовою подання знань, якою було розроблено інформаційну модель – базу знань інтелектуального агента. Враховуючи, що така база знань вже становить собою певний загальний план функціонування інтелектуального агента, план, збудований на основі розпізнавання змісту природомовного тексту, є субпланом, тобто уточненням (виправленням) і/або деталізацією цього загального плану і базується на ньому. Цінність інформації, отриманої внаслідок розпізнавання змісту текстового документа, визначається за приростом очікуваної корисності від реалізації уточненого таким чином плану функціонування інтелектуального агента.

Переважна частина доступної, сформульованої у певній логічній послідовності і тому зручної для опрацювання інформації зберігається у текстових документах, зокрема, на електронних носіях. Достатньо велика частина таких документів доступна on-line, до того ж безоплатно. Серед них є можливість вибрати такі, що написані за достатньо жорстко встановленими правилами побудови і вимогами до змісту таким чином, що з одного боку вони залишаються природомовними текстами, а з другого – максимально формалізовані для їх машинного опрацювання і виділення релевантної інформації, яка може інтерпретуватися інтелектуальною системою розпізнавання змісту як корисні знання.

До такого специфічного класу природомовних текстів можна віднести анотації наукових статей. Їх можна знайти через мережу Інтернет, вони, як правило, знаходяться у відкритому доступі, не містять графічного матеріалу, побудовані за строго встановленими правилами, написані окрім інших також англійською мовою, не містять модальних зворотів, а лише логічно зв'язану послідовність стверджувальних речень. Необхідний для заданої проблемної області (ПО) корпус таких текстів можна вибрати за допомогою інформаційного пошуку за ключовими словами з використанням цілого ряду як спеціалізованих пошукових серверів наукових видавництва, так і пошукових серверів загального призначення.

Напрями наукових досліджень та розробки в галузі навчання і наповнення онтологій детально описано у [2-4].

Застосовується кілька основних підходів до опрацювання тексту з цією метою – символний, статистичний та змішаний. Серед найпоширеніших символних підходів – застосування лексико-семантичних паттернів (lexico-semantic pattern – LSP) [2]. У такому підході опрацювання тексту виконується шляхом виявлення певних наперед відомих або встановлених шляхом машинного навчання реляційних маркерів, які існують у природній мові і дозволяють розпізнати семантичні ролі синтаксичних конструкцій, а у поєднанні з ідентифікацією онтологічних сутностей, які у даному тексті представляють ці синтаксичні конструкції, виконувати проекцію тексту на онтологію, отримуючи таким чином розпізнаний зміст, а за ним – оцінювати новизну, достовірність і корисність отриманих за цим змістом знань. Методи, що базуються лише на статистичних лінгвістичних моделях, здатні лише поверхово розпізнавати дискурс, але не в змозі виявляти зміст тексту, тобто відображену там логіку семантичного взаємозв'язку між поняттями даної проблемної області.

## **2. Постановка задачі видобування знань з природомовних текстів**

Задачу вибору потрібного корпусу текстів було вирішено шляхом реалізації підсистеми інформаційного пошуку програмного пакету CROCUS [5]. На вході підсистеми – множина ключових слів, на виході – множина англійських анотацій, розміщених в базі даних СУБД MySQL.

Процес видобування знань передбачає здатність як до розпізнавання окремих понять, згаданих у документі, так і до логічної інтерпретації сутності і характеру зв'язків між цими поняттями. Ці дані служать лише первинною інформацією для ієрархічної, багатовіткової процедури розпізнавання змісту природомовного текстового документу (ПТД). На відміну від традиційних статистичних методів опрацювання ПТД, у яких текст розглядається як множина окремих термінів (слів та словосполучень) без врахування семантичного взаємозв'язку як між термінами, так і між цілими твердженнями, вираженими закінченими реченнями, запропонована і розроблена у даній роботі процедура базується на розпізнаванні логічних тверджень і тому складається з трьох основних етапів: лінгвістичного, статистично-логічного та планувального. На першому, лінгвістичному етапі засобами морфологічно-синтаксичного аналізу мови, на якій даний текст написано, будується послідовність триплетів «суб'єкт зв'язку – семантичний зв'язок – об'єкт зв'язку», кожен елемент яких знаходиться або по ходу аналізу додається до онтології інтелектуального агента. На другому етапі методами машинного навчання на основі отриманої послідовності триплетів розпізнаються твердження у логіці предикатів першого порядку, їх семантичний зміст у термінах онтології інтелектуального агента та логічний взаємозв'язок між ними. На третьому, заключному етапі на базі прототипу плану або діючого загального плану функціонування інтелектуального агента з отриманої послідовності предикатів будується (доповнюється, коригується) ієрархічна система цілей (задач) і засобів їх досягнення (вирішення).

По суті маємо ієрархію розпізнавання: окремі слова, далі – словосполучення, далі зв'язки, далі – твердження, які вже являють собою базовий елемент, цеглини моделі світу інтелектуального агента. Далі можна говорити про розуміння агентом відмінностей між різними моделями світу: своєї і чужої, автора повідомлення, що аналізується даним агентом.

Загальна схема реалізації методу видобування знань з тексту включає такі кроки:

1. Вибираємо прототип онтології як OWL-модель контексту ПО.
2. Перетворюємо аналізований текст на множину речень. Якщо джерелом тексту є анотація наукової публікації у друкованому виданні, першим реченням множини додаємо назву публікації. Останнім – назву друкованого видання.
3. В циклі розбираємо послідовно усі речення множини і будуємо з кожного з них окрему множину пар слів, з'єднаних метасемантичним зв'язком, яка служитиме вектором ознак для розпізнавання виду семантичного зв'язку.
4. Окремо з речення виділяємо групу іменника – суб'єкт розпізнаного на попередньому кроці семантичного зв'язку та групу іменника – об'єкт цього зв'язку.
5. До створеного на 1-му кроці шаблону онтології додаємо поняття, які вдасться розпізнати в групах іменників, отриманих на попередньому кроці. Поняття додаються як екземпляри відповідних класів.

6. Якщо онтологія містить і об'єкт, і суб'єкт зв'язку, тоді між ними встановлюється виявлений зв'язок. Одночасно до бази знань додається предикат, що відповідає даному зв'язку.

7. Для визначеної у п.2 множини речень та відповідної їй множини предикатів розпізнаємо логічні залежності між предикатами. Виявлені залежності вносимо до бази знань у формі SWRL-правил.

8. При внесенні нового правила перевіряємо базу правил на наявність суперечностей. Конфлікти вирішуємо з врахуванням достовірності джерел інформації, за якими були внесені предикати, які конфліктують, а також логічної залежності з іншими предикатами бази знань.

9. Отриману систему понять і зв'язків, збудовану на їх основі систему предикатів та функцій, а також збудовану на їх основі систему аксіом і правил використовуємо для побудови плану інтелектуального агента.

10. Задаємо, уточнюємо або визначаємо за виявленими предикатами винагороди за досягнення проміжних цілей плану, імовірність їх досягнення при вчиненні допустимих дій, а також затрати на виконання цих дій. Розраховуємо оптимальний план, його очікувану корисність.

11. Процес навчання онтології полягає у послідовному (або паралельному) повторенні цієї процедури для всього корпусу навчальних текстів.

Отриманий план інтелектуального агента служить інформаційною моделлю публікації з точки зору цілей і задач її потенційного читача.

### **3. Виділення формальних ознак семантичних зв'язків між поняттями у реченні**

Знання набувають змісту лише в контексті певної проблемної області, заданої у даному випадку її онтологією. Набуті з текстового документа нові знання приймають форму змін у первинній онтології, яку слід попередньо сформулювати вручну або шляхом застосування процедур навчання. Аналіз кожного наступного тексту базується на застосуванні онтології, доповненої в процесі аналізу попередніх текстів у тій частині, яка стосувалася заданої проблемної області. При розпізнаванні змісту текстів та доповненні онтології ПО ключовим є підхід, за якого першочергово необхідно виявити засоби досягнення мети, рекурсивно призначаючи їх підцілями і шукаючи як у тексті, так і у самій онтології (відповідній цій онтології базі знань) засоби досягнення цих підцілей. Отже, читаючий агент будує на основі прочитаного тексту дерево цілей для задачі, рішення якої він шукає. У тексті засоби можуть бути формально ідентифіковані як іменникові групи, що слідує за дієсловом 'using', зворотом 'by means' або іншими подібними характерними зворотами, ідентифікувати які система розпізнавання змісту може навчитися засобами машинного навчання. У зв'язку з цим онтологія інтелектуального агента має містити у своїй основі як на верхньому рівні, так і на рівні прикладних проблем (задач) дерево цілей даної ПО та відповідне йому дерево рішень.

Для онтології матеріалознавства прототипом дерева цілей можуть служити діаграми, розроблені у [6].

Ефективність прийняття рішення в будь-якій проблемній області може бути визначена як відношення виграшу внаслідок рішення (послідовності рішень) до затрат чи втрат, пов'язаних з прийняттям (неприйняттям) цих рішень.

Для формального подання природомовного речення у термінах онтології і описової (дескриптивної) логіки предикатів 1-го порядку необхідно визначити тип предиката. Розпізнавання типу можна виконати за дієслівною групою цього речення та службовими словами, які до дієслівної групи можуть не входити. Для цього необхідно застосувати метод машинного навчання системи розпізнавання, вхідними даними для якої служитимуть результати розбору природомовного речення спеціальним синтаксично-семантичним парсером. Такий парсер розбиває речення на пари слів, пов'язані деяким метасемантичним зв'язком. У результаті кожне речення парсер представляє множиною триплетів, що складаються з суб'єкта такого зв'язку, об'єкта зв'язку і самого метасемантичного зв'язку певного виду. Ці триплети можуть бути використані як ознаки присутності в реченні того чи іншого семантичного зв'язку, на основі якого має бути збудований предикат як логічне формальне представлення цього речення.

У роботі нами використано Link Grammar Parser (далі – LGP) [8]. Цей програмний засіб є ‘open source’-продуктом, має відкриту ліцензію типу GPL, добре документований, а тому доцільність його застосування для цієї задачі не викликає сумнівів. Приклад вікна з довідковою інформацією та ілюстрацією результатів розбору простого речення при роботі з програмою з командного рядка наведено на рисунку.

Передумовою виявлення семантичного зв’язку з застосуванням LGP є наявність (і виявлення) дієслівної групи. Її присутність визначається відповідними дієслівній групі великими і малими буквами з достатньо великого переліку. Наприклад, усі зв’язки, розташовані вправо від зв’язку ‘S\*’, вказують на дієслівну групу.

```

3.7. COMMANDS AND VARIABLES. It is possible to modify the running of the parser in various ways,
while running it, by typing in certain commands. The basic commands can be seen by typing "!help".
Others are listed under "!variables". Many of these are self-explanatory. For example, "!width" changes
the width of the parser display. Other commands relate to speed and robustness features; see section 7.
A few commands deserve special mention. One useful command is "!![word]". This queries the parser
for information about a particular word. The parser will output list any entries of the word, with their
word subscripts, the word-files in which they appear, if any, and the number of disjuncts on each word.
(A disjunct is a combination of connectors which constitutes a legal use of the word.) Multiple entries of
a word will be listed with their word subscripts.
The "!verbosity" command controls the amount of information that is displayed. With "!verbosity=1"
(the default), information such as the following is shown:
linkparser> the quick brown fox jumped over the lazy dog
++++Time                               0.04 seconds (0.04
total)
Found 2 linkages (2 had no P.P. violations)
  Linkage 1, cost vector = (UNUSED=0 DIS=0 AND=0 LEN=18)

+-----Ds-----+                       +-----Js-----+
|               +-----A-----+       |               +-----Ds-----+
|               |               |       |               |               |
|               |               |       |               |               |
|               |               |       |               |               |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
the quick.a brown.a fox.n jumped.v over the lazy.a dog.n

Press RETURN for the next linkage.
linkparser>
With "verbosity=0", no information is shown except for the graphic linkage display. With verbosity set
at 2 or 3, information is shown about the individual stages of parsing the sentence. (Information is also
shown about the constituent derivation process, if this is being done.) If one wants to suppress the
graphic display as well, this can be done with the command "!graphics". (This can be useful if one wants
to have only the constituent bracketing as output; in that case, type "!verbosity=0", "!graphics", and
"!constituents=1 (or 2)".

```

Слова, що супроводжують (на які вказують) ці букви-символи зв’язку, визначають вид семантичного зв’язку (ім’я предиката). Ці слова є, як правило, дієсловами: “знає”, “має”, “належить”, “відноситься” або дієслівними словосполученнями “належить до”, “складається з”. Прикметники інтерпретуються як властивості і також можуть бути розпізнані у реченнях через семантичний зв’язок “має властивість”.

Щоб розпізнати семантичний зв’язок, необхідно виконати такі дії:

- розібрати речення за допомогою LGP;
- знайти дієслівну групу через символи зв’язку справа від “Ss”;
- знайти дієслово, на яке вказують ці символи зв’язку;
- знайти суб’єкт дії (підмет у реченні), на який вказує символ “Ss”;
- знайти об’єкт дії (очевидно, означення у реченні), тобто предмет, на який спрямована дія;
- перевірити в онтології наявність цього виду семантичного зв’язку і у разі відсутності створити його;
- перевірити наявність в онтології сутностей, що означають об’єкт та суб’єкт дії.

Зв’язки можуть бути безумовними та умовними. Умовні зв’язки записуються як правила.

Безумовні зв'язки є частковим випадком умовних і записуються як факти у вигляді предикатів.

Таким чином, для навчання системи навикам розпізнавання нових типів семантичних зв'язків у реченнях потрібний модуль індуктивного навчання за семантичними ознаками. Речення-приклад дає послідовність семантичних зв'язків між словами. Кілька таких однотипних речень підряд з вказанням назви зв'язку дає системі можливість виявити підмножину спільних ознак і створити ознакову функцію:  $\{V_j\} \Rightarrow \text{Link}_x$ , де  $V_j$  –  $j$ -та ознака у вигляді:

organ->S->is  
is->O->part  
a->D->part  
part->M->of  
of->J->organism  
an->D->organism

Вхідними даними для модуля індуктивного навчання служать змінні – необмежена множина слів і константи – обмежену множину символів граматичних зв'язків  $\{S, D, O, J, M, \dots\}$ . Маємо також результат роботи LGP – пари слів, поєднані метасемантичними зв'язками у певній послідовності, маємо множину дієслів, кожне з якої може стати початком координат в реченні в разі виявлення.

Виявлення семантичних зв'язків в лінгвістичній підсистемі CROCUS побудовано на застосуванні Баєсівського розпізнавання множини ознак збережених в онтології патернів відомих семантичних зв'язків. Вивчення  $d$  ознак  $j$ -го семантичного зв'язку:

$$p(C_j | X) \propto p(C_j) \prod_{k=1}^d p(X_k | C_j). \quad (1)$$

Розпізнавання  $j$ -го семантичного зв'язку за  $d$  виявленими ознаками:

$$p(C_j | X) \propto p(C_j) \prod_{k=1}^d p(X_k | C_j). \quad (2)$$

Як ознаки (дескриптори) використано результат розбору речення природомовного тексту на пари слів, пов'язаних синтаксично-метасемантичними зв'язками за допомогою LGP. Для простого тестового речення:

[(a)(test.n)(is.v)(an)(example.n)]

результат розбору:

[[0 1 0 (Ds)][1 2 0 (Ss)][2 4 0 (Ost)][3 4 0 (Ds)];

результат розпізнавання типу семантичного зв'язку за (2):

- 1) cause: 1.0882684165532656E-4;
- 2) caused-by: 0.013810506200916856;
- 3) is-a: 0.024124901979118252;
- 4) is-about: 0.0;
- 5) part-of: 0.0022765542079946285;
- 6) same-as: 0.0;
- 7) similar-to: 1.0261341731138478E-6;

Тестування розроблених програмних засобів, що реалізують описаний вище алгоритм, підтверджує коректність його роботи.

### Висновки

Таким чином, проведено аналіз стану досліджень та розробок у галузі видобування знань з природомовних текстів та машинного навчання онтології інтелектуального агента. Обґрунтовано необхідність покладення в основу структури онтології план оптимального функціонування такого агента у заданій проблемній області. На цій основі запропоновано оцінювати цінність нових знань, виділених з природомовного тексту, за змінами такого плану, які необхідно вносити у план, щоб зберегти стратегію його виконання оптимальною при врахуванні цих знань. Для цього необхідно обчислювати біжучу очікувану корисність від реалізації оптимальної стратегії до і після внесення до плану нових знань. На прикладі проблеми модернізації газотранспортної системи показано схему побудови такого плану для закладення загальної структури понять та зв'язків відповідної онтології цієї проблемної області.

Запропоновано загальний алгоритм, необхідні методи і засоби для виділення нових знань з природомовного тексту, показано, що такий алгоритм має бути багатоетапним і включати в себе ієрархічну кількарівневу процедуру розпізнавання понять, зв'язків, предикатів та правил, які в результаті вносяться до онтології з метою виконання перерахунку очікуваної користі. Сформована таким чином онтологія нижнього рівня може служити точною моделлю інформаційних потреб користувача системи інформаційного пошуку, необхідною для автономного пошуку чи моніторингу.

**Список літератури:** 1. Gruber T. A translation approach to portable ontologies / T. Gruber // Knowledge Acquisition. 1993. № 5 (2). P. 199–220. 2. *Інтелектуальні системи, базовані на онтологіях* // Д.Г. Досин, В.В. Литвин, Ю.В. Нікольський, В.В. Пасічник. Львів: “Цивілізація”, 2009. 414 с. 3. Agirre, E. Enriching very large ontologies using the WWW / E. Agirre, O. Ansa, E. Hovy, D. Martinez // Proceedings of the Workshop on Ontology Construction of the European Conference of AI (ECAI-00). 2000. P. 347-349. 4. Alfonseca E. Extending a Lexical Ontology by a Combination of Distributional Semantics Signatures / E. Alfonseca, S. Manandhar // EKAW-2002, Siguenza, Spain. Published in Lecture Notes in Artificial Intelligence. 2002. P. 2473 (Springer Verlag). 5. Литвин В.В. Бази знань інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень / В.В. Литвин. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. 240 с. 6. Федорович І.В. Організаційно-економічне забезпечення процесу відтворення лінійної частини магістральних газопроводів / Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата економічних наук, Івано-Франківський Національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2011. 7. Досин Д.Г. Архітектура інтелектуальної системи інформаційного пошуку в мережі Інтернет / Д.Г. Досин, В.М. Ковалевич // Штучний інтелект. 2012. №3. С. 241–252. 8. Daniel Sleator and Davy Temperley Parsing English with a Link Grammar. Carnegie Mellon University Computer Science technical report CMU-CS-91-196, October 1991.

Надійшла до редколегії 11.09.2013

**Литвин Василь Володимирович**, д-р техн. наук, доцент кафедри інформаційних систем Національного університету „Львівська політехніка”. Наукові інтереси: побудова інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. Адреса: Україна, 79000, Львів, вул. Бандери, 12, тел. (032) 258-25-38.

---

УДК 007.5; 004.85

*С.Ф. ЧАЛЬЙЙ, Е.О. БОГАТОВ*

## **МОДЕЛЬ МНОГОУРОВНЕВОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ С НАБОРАМИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРАВИЛ**

---

Предлагается многоуровневая модель представления бизнес-процесса, основанная на выделении специализированных наборов бизнес-правил, отражающих организационный, информационный и иные аспекты знаний о бизнес-процессах. Применение указанных наборов правил дает возможность сегментировать бизнес-процессы в зависимости от особенностей предприятия, на котором они выполняются (организационная структура, обрабатываемые данные и т.п.), и тем самым устранить противоречие между функциональной организацией предприятия и процессным подходом к управлению.

### **1. Актуальность**

Методики моделирования и анализа бизнес-процессов (БП) являются в настоящее время одним из важнейших инструментов повышения эффективности бизнеса. Следует отметить, что под бизнес-процессом нужно понимать логически завершенную цепочку взаимосвязанных и взаимодействующих повторяющихся видов деятельности (действий, бизнес-функций, работ), в результате которых ресурсы предприятия используются для переработки объекта (физически или виртуально) в целях достижения определенных измеримых результатов или создания продукции для удовлетворения внутренних или внешних потребителей (клиентов) [13]. Использование методик и программных средств, направленных на анализ и усовершенствование бизнес-процессов предприятия, имеет своей конечной целью реорганизацию БП и, как следствие, увеличение прибыли, сокращение затрат на производство продукции и услуг, повышение качества продукции, оптимальное использование оборотного капитала, внедрение систем автоматизации и многое другое.

Запропоновано загальний алгоритм, необхідні методи і засоби для виділення нових знань з природомовного тексту, показано, що такий алгоритм має бути багатоетапним і включати в себе ієрархічну кількарівневу процедуру розпізнавання понять, зв'язків, предикатів та правил, які в результаті вносяться до онтології з метою виконання перерахунку очікуваної користі. Сформована таким чином онтологія нижнього рівня може служити точною моделлю інформаційних потреб користувача системи інформаційного пошуку, необхідною для автономного пошуку чи моніторингу.

**Список літератури:** 1. Gruber T. A translation approach to portable ontologies / T. Gruber // Knowledge Acquisition. 1993. № 5 (2). P. 199–220. 2. *Інтелектуальні системи, базовані на онтологіях* // Д.Г. Досин, В.В. Литвин, Ю.В. Нікольський, В.В. Пасічник. Львів: “Цивілізація”, 2009. 414 с. 3. Agirre, E. Enriching very large ontologies using the WWW / E. Agirre, O. Ansa, E. Hovy, D. Martinez // Proceedings of the Workshop on Ontology Construction of the European Conference of AI (ECAI-00). 2000. P. 347-349. 4. Alfonseca E. Extending a Lexical Ontology by a Combination of Distributional Semantics Signatures / E. Alfonseca, S. Manandhar // ECAW-2002, Siguenza, Spain. Published in Lecture Notes in Artificial Intelligence. 2002. P. 2473 (Springer Verlag). 5. Литвин В.В. Бази знань інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень / В.В. Литвин. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. 240 с. 6. Федорович І.В. Організаційно-економічне забезпечення процесу відтворення лінійної частини магістральних газопроводів / Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата економічних наук, Івано-Франківський Національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2011. 7. Досин Д.Г. Архітектура інтелектуальної системи інформаційного пошуку в мережі Інтернет / Д.Г. Досин, В.М. Ковалевич // Штучний інтелект. 2012. №3. С. 241–252. 8. Daniel Sleator and Davy Temperley Parsing English with a Link Grammar. Carnegie Mellon University Computer Science technical report CMU-CS-91-196, October 1991.

*Надійшла до редколегії 11.09.2013*

**Литвин Василь Володимирович**, д-р техн. наук, доцент кафедри інформаційних систем Національного університету „Львівська політехніка”. Наукові інтереси: побудова інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. Адреса: Україна, 79000, Львів, вул. Бандери, 12, тел. (032) 258-25-38.

---

УДК 007.5; 004.85

*С.Ф. ЧАЛЬИЙ, Е.О. БОГАТОВ*

## **МОДЕЛЬ МНОГОУРОВНЕВОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ С НАБОРАМИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРАВИЛ**

---

Предлагается многоуровневая модель представления бизнес-процесса, основанная на выделении специализированных наборов бизнес-правил, отражающих организационный, информационный и иные аспекты знаний о бизнес-процессах. Применение указанных наборов правил дает возможность сегментировать бизнес-процессы в зависимости от особенностей предприятия, на котором они выполняются (организационная структура, обрабатываемые данные и т.п.), и тем самым устранить противоречие между функциональной организацией предприятия и процессным подходом к управлению.

### **1. Актуальность**

Методики моделирования и анализа бизнес-процессов (БП) являются в настоящее время одним из важнейших инструментов повышения эффективности бизнеса. Следует отметить, что под бизнес-процессом нужно понимать логически завершенную цепочку взаимосвязанных и взаимодействующих повторяющихся видов деятельности (действий, бизнес-функций, работ), в результате которых ресурсы предприятия используются для переработки объекта (физически или виртуально) в целях достижения определенных измеримых результатов или создания продукции для удовлетворения внутренних или внешних потребителей (клиентов) [13]. Использование методик и программных средств, направленных на анализ и усовершенствование бизнес-процессов предприятия, имеет своей конечной целью реорганизацию БП и, как следствие, увеличение прибыли, сокращение затрат на производство продукции и услуг, повышение качества продукции, оптимальное использование оборотного капитала, внедрение систем автоматизации и многое другое.

Область применения методик моделирования бизнес-процессов является достаточно обширной. Они могут быть применены как при построении нового бизнес-процесса, так и при генерации модели старого бизнес-процесса средствами интеллектуального анализа процессов на основе журнала регистрации событий, отражающего его динамику за определенный временной период. При построении моделей бизнес-процесса необходимо учитывать в равной степени его статические и динамические особенности, что требует введения ряда дополнительных структурных элементов в модель процесса и подчеркивает актуальность данной работы.

Ранее была рассмотрена многоуровневая модель бизнес-процесса с изменяемой структурой, в которой был определен перечень обязательных структурных элементов бизнес-процесса, позволяющих удовлетворить большинству требований, выдвигаемых на сегодняшний день к бизнес-процессам предприятия.

В то же время дополнительный анализ показал, что данная модель требует включения таких структурных элементов, которые бы позволили дополнить модель бизнес-процесса в информационном и организационном аспекте. Наличие такого рода информации позволило бы расширить и представить в формальном виде набор ограничений, накладываемых при выполнении бизнес-процесса и, тем самым, получить гибкие, адаптирующиеся к внешним условиям процессы. Также введение дополнительных характеристик в модель бизнес-процесса позволяет выполнить его сегментацию в зависимости от обрабатываемых данных, организационной структуры предприятия. Последняя важна при построении моделей процесса средствами process mining (интеллектуального анализа процессов) и позволяет обосновать задачу предварительной структуризации данных при построении модели процесса "AS-IS"[5].

Изложенное выше определяет актуальность проблемы усовершенствования модели бизнес-процесса путем использования информационной и организационной составляющих.

## **2. Анализ научных публикаций**

Проблема построения моделей бизнес-процессов, максимально соответствующих современным требованиям рынка процессно-ориентированных информационных систем, была рассмотрена ранее в ряде источников [1-4]. В данных работах исчерпывающе описаны этапы, подходы и методологии моделирования и анализа показателей бизнес-процессов по заданным критериям эффективности. Также подробно описаны структурные элементы современных бизнес-процессов, аспекты, в рамках которых может быть рассмотрен БП, и требования, выдвигаемые к бизнес-процессам.

Однако в данных работах не рассмотрены вопросы построения моделей гибких процессов, включающих в себя систему ограничений в формате бизнес-правил.

## **3. Постановка задачи**

Цель данной работы состоит в построении формализованной модели бизнес-процесса, включающей ограничения на выполнение в форме бизнес-правил с тем, чтобы обеспечить решение задач интеллектуального анализа процессов с использованием слабоструктурированных исходных данных. Достижение данной цели дает возможность, с одной стороны, формализовать существующие методики сегментации бизнес-процессов предприятия в зависимости от организационной структуры и обрабатываемых данных, а с другой - расширить сферу применения методов интеллектуального анализа процессов для традиционных (не процессно-ориентированных систем).

## **4. Алгебраическая модель многоуровневого представления бизнес-процессов с изменяемой структурой**

Проведенный анализ работ в области моделирования бизнес-процессов, а также в области интеллектуального анализа процессов позволяет расширить перечень обязательных структурных элементов бизнес-процессов. Такой расширенный перечень включает в себя: правила функционирования БП (бизнес-правила); функции, выполняемые в рамках БП; непосредственно поток работ; объекты, с которыми работает БП; владелец БП.

Под набором функций подразумевается весь перечень функций, выполняемых в рамках процесса. Набор выполняемых функций определяется спецификой и спецификацией конкретного БП. Под объектами подразумевается весь набор объектов реального мира, при-

нимающего участие в функционировании БП (документы, сотрудники, устройства и т.д.). Все эти элементы следует относить к средствам отражения статической составляющей бизнес - процесса, так как ни ни функции , ни объекты, ни исполнители не претерпевают изменений.

Бизнес-правила задают последовательность работ процесса и потому позволяют изменить его динамические характеристики. Источником для формирования бизнес-правил являются внутренние политики предприятия, правила рынков сбыта, законодательная база, а также иные внешние и внутренние воздействия, частично или полностью определяющие последовательность наступления событий, которые отмечены ранее в перечне обязательных структурных элементов бизнес-процесса потоком работ.

Вся совокупность бизнес-правил бизнес-процесса фактически составляет базу знаний о процессе. Эти знания позволяют определить алгоритмы распределения ресурсов процесса и отражают некоторые характерные особенности и свойства текущей деятельности предприятия. Иными словами, правила определяют возможные действия в различных ситуациях, возникающих при выполнении каждого из экземпляров бизнес-процессов предприятия, и позволяют строить гибкие бизнес-процессы, динамически изменяющие свою структуру[5].

Наличие таких элементов процесса, как объекты, функции и исполнители, дает возможность формировать модель бизнес-процесса, которые, в свою очередь, позволяют описывать его разные аспекты путем их связывания и упорядочивания по бизнес-правилам, соответствующим рассматриваемому аспекту.

Таким образом, имеются основания для построения следующих моделей: организационной; функциональной модели; модели данных бизнес-процессов; информационных моделей. Изложенный перечень обязательных структурных элементов был учтен в ранее предложенной многоуровневой модели бизнес-процесса, за исключением разделения множеств бизнес-правил по принадлежности к объекту описания. Данные недостатки были устранены и представлены усовершенствованной многоуровневой моделью бизнес-процессов на рисунке.



Усовершенствованная многоуровневая модель бизнес-процесса

В целях формирования алгебраической модели, описывающей расширенную многоуровневую модель бизнес - процесса, был выбран математический аппарат алгебры процессов. Данный выбор связан с тем, что в основе этого математического аппарата заложено понятие процесса, схожее с понятием бизнес-процесса предприятия, рассмотренного ранее. Также данный математический аппарат позволяет исчерпывающе описать процессы, их взаимодействие и пути обмена информацией между ними, понятия внутренних и внешних, по отношению к процессу, действий. В процессной алгебре, при рассмотрении процесса, выделяют следующие понятия: множество состояний  $S$ , в которых может пребывать процесс; множество действий  $Act$ ; множество переходов  $R$  из текущего состояния в последующее при наступлении определенного действия. Множество событий  $S$  может представляться как последовательность состояний при реализации БП:  $S = \{s_0, s_1, \dots, s_n\}$ , множество действий  $Act(P) = \{a_0, a_1, \dots\}$ , каждое из которых определяется набором выполнившихся действий и обработанных процессом объектов.

Множество переходов  $R$  описывает связь между состояниями через определенное действие процесса, также представляемое в форме  $s_1 \xrightarrow{a} s_2$ . Таким образом, функционирование процесса может быть представлено через цепочку переходов:  $s^0 \xrightarrow{a_0} s_1 \xrightarrow{a_1} s_2 \xrightarrow{a_2} \dots \xrightarrow{a_{m-1}} s_m$ .

В целом БП может быть представлен традиционной тройкой:  $P = (S, s^0, R)$ , где  $S$  – множество состояний процесса;  $s^0 \in S$  – начальное состояние процесса;  $R$  – набор подмножеств вида  $R \subseteq S \times Act \times S$ .

Дуги  $R$  отражают связь между состояниями через определенное действие процесса. При реализации процесса переход между состояниями выражается в виде  $s_1 \xrightarrow{a} s_2$ .

Данное представление процесса детализуется с помощью ранее изложенной информации о его структуре, за исключением рассмотрения связей между состояниями процесса только через набор действий. Дело в том, что поведение бизнес-процесса предприятия также может определяться связанными бизнес-правилами объектов и исполнителей. Поэтому понятие множества переходов было расширено с учетом таких элементов бизнес-процесса, как наборы исполнителей и наборы объектов:

$$R \subseteq S \times (Act \times Obj \times U) \times S, \quad (1)$$

где  $S$  – множество состояний процесса;  $Act$  – множество действий процесса;  $Obj$  – множество объектов процесса;  $U$  – множество пользователей процесса.

Множество объектов процесса является конечным и перечислимым:  $Obj = \{obj_0, obj_1, \dots, obj_r\}$ . Множество пользователей процесса также является конечным и перечислимым:  $U = \{u_0, u_1, \dots, u_p\}$ .

Однако следует учитывать, что использование совместно всего множества бизнес-правил, как представлено в выражении 1, является обязательным только при рассмотрении процесса как потока работ. В случае рассмотрения конкретного аспекта бизнес-процесса набор применяемых правил может быть сокращен. Так, при рассмотрении организационного аспекта могут быть учтены только бизнес-правила очередности участия исполнителей бизнес-процесса, при рассмотрении предметной области – бизнес-правила обработки объектов.

## 5. Выводы

Усовершенствована многоуровневая модель представления бизнес-процесса путем выделения специализированных наборов бизнес-правил, отражающих организационный, информационный и иные аспекты знаний о бизнес-процессах.

Функционирование процесса, согласно предложенной модели, представляется последовательностью переходов между парами состояний. Инициирование переходов может осуществляться в соответствии с наборами бизнес-правил, определяющих порядок применения соответствующих им структурных элементов бизнес-процесса.

Применение указанных наборов правил дает возможность сегментировать бизнес-процессы в зависимости от особенностей предприятия, на котором они выполняются (организационная структура, обрабатываемые данные), и тем самым устранить противоречие между функциональной организацией предприятия и процессным подходом к управлению. Предложенная модель также обеспечивает возможность структурирования исходных данных в задачах интеллектуального анализа процессов.

**Список литературы:** 1. Федоров И. Б. Интегрированная модель бизнес-процессов / И. Б. Федоров // Открытые системы. 2012. № 9. С. 38 – 42. 2. Всяких Е. И. Практика и проблематика моделирования бизнес-процессов. / Е. И. Всяких, Е. В. Сидоренко. М.: ДМК Пресс. 2008. 246 с. 3. Федоров И. Б. Проектирование модели бизнес-процессов / И. Б. Федоров // Открытые системы. СУБД. 2013. № 5. Открытые системы. С. 46 – 50. 4. Романова О. С. Современные модели управления компанией : процессный подход / О. С. Романова // Менеджмент в России и за рубежом. 2008. № 6. С. 102–106. 5. Левыкин В. М. Метод предварительной обработки журналов регистрации событий в задачах интеллектуального анализа процессов / В. М. Левыкин, С. Ф. Чалый, Е. О. Богатов, М. И. Дикусар // Сб. статей № 7 (88). К., 2011. ДП «ЦНДИНУ». С. 203 – 207. 6. Чалый С. Ф. Верифікація бізнес-правил на основі журналу подій / С. Ф. Чалый, Е. О. Богатов, І. Б. Буцукина // Системи обробки інформації. №7(88) – Харків, 2010. С. 174-176.

*Поступила в редколлегию 07.09.2013*

**Чалый Сергей Федорович**, д-р техн. наук, проф. кафедры ИУС ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-451.

**Богатов Евгений Олегович**, аспирант кафедры ИУС ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-451.

---

УДК 519.7

*С.Ф. ЧАЛЫЙ, И.Б. БУЦУКИНА*

## **ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ В ФОРМЕ ПРОЦЕССОВ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ В ЗАДАЧАХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ**

---

Предлагается модель представления знаний в форме процессов как развитие скриптового представления знаний. В отличие от существующих, модель отображает знания в виде графа, отражающего возможные состояния процесса и переходы между этими состояниями, а также включает ограничения в форме правил, задающие допустимые последовательности переходов. Совокупность правил задает набор ограничений на выполнение логического вывода на процессных знаниях.

### **Введение**

Интеллектуальный анализ процессов (process mining) направлен на построение их моделей путем анализа последовательностей событий, которые фиксируются информационными системами, и, на этой основе, выделения знаний, отражающих цепочку причинно-следственных зависимостей между событиями и действиями процесса.

Процесс в данном случае можно определить как взаимосвязанный набор последовательностей действий, предназначенных для приема, передачи и обработки материальных, информационных и иных объектов.

В практическом аспекте в качестве процессов как последовательностей действий обычно рассматриваются бизнес-процессы и другие процессы обработки ресурсов, процессы в социальных сетях, процессы, происходящие при функционировании программного обеспечения, процессы мышления, принятия решений т.п.

Результатом интеллектуального анализа процессов (ИАП) обычно является усовершенствование процессов из рассмотренных предметных областей [1,2].

В области ИАП получили дальнейшее развитие подходы к выявлению знаний, которые используются для интеллектуального анализа данных. Однако в целом задачи, решаемые в данной области, не ограничиваются только выделением знаний о процессах и построением на этой основе их моделей «как есть», отражающих их фактическое поведение [2].

Формирование модели процесса «как есть» дает возможность проверить соответствие между последовательностью действий в модели процесса «как должно быть», построенной на этапе проектирования, и фактически выполненной последовательностью действий с учетом существующих внешних ограничений. Проверка соответствия позволяет выявить недопустимые отклонения. Все это требует построения модели представления знаний о

**Список литературы:** 1. Федоров И. Б. Интегрированная модель бизнес-процессов / И. Б. Федоров // Открытые системы. 2012. № 9. С. 38 – 42. 2. Всяких Е. И. Практика и проблематика моделирования бизнес-процессов. / Е. И. Всяких, Е. В. Сидоренко. М.: ДМК Пресс. 2008. 246 с. 3. Федоров И. Б. Проектирование модели бизнес-процессов / И. Б. Федоров // Открытые системы. СУБД. 2013. № 5. Открытые системы. С. 46 – 50. 4. Романова О. С. Современные модели управления компанией : процессный подход / О. С. Романова // Менеджмент в России и за рубежом. 2008. № 6. С. 102–106. 5. Левыкин В. М. Метод предварительной обработки журналов регистрации событий в задачах интеллектуального анализа процессов / В. М. Левыкин, С. Ф. Чалый, Е. О. Богатов, М. И. Дикусар // Сб. статей № 7 (88). К., 2011. ДП «ЦНДИНУ». С. 203 – 207. 6. Чалый С. Ф. Верифікація бізнес-правил на основі журналу подій / С. Ф. Чалый, Е. О. Богатов, І. Б. Буцукина // Системи обробки інформації. №7(88) – Харків, 2010. С. 174-176.

*Поступила в редколлегию 07.09.2013*

**Чалый Сергей Федорович**, д-р техн. наук, проф. кафедры ИУС ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-451.

**Богатов Евгений Олегович**, аспирант кафедры ИУС ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-451.

---

УДК 519.7

*С.Ф. ЧАЛЫЙ, И.Б. БУЦУКИНА*

## **ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ В ФОРМЕ ПРОЦЕССОВ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ В ЗАДАЧАХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ**

---

Предлагается модель представления знаний в форме процессов как развитие скриптового представления знаний. В отличие от существующих, модель отображает знания в виде графа, отражающего возможные состояния процесса и переходы между этими состояниями, а также включает ограничения в форме правил, задающие допустимые последовательности переходов. Совокупность правил задает набор ограничений на выполнение логического вывода на процессных знаниях.

### **Введение**

Интеллектуальный анализ процессов (process mining) направлен на построение их моделей путем анализа последовательностей событий, которые фиксируются информационными системами, и, на этой основе, выделения знаний, отражающих цепочку причинно-следственных зависимостей между событиями и действиями процесса.

Процесс в данном случае можно определить как взаимосвязанный набор последовательностей действий, предназначенных для приема, передачи и обработки материальных, информационных и иных объектов.

В практическом аспекте в качестве процессов как последовательностей действий обычно рассматриваются бизнес-процессы и другие процессы обработки ресурсов, процессы в социальных сетях, процессы, происходящие при функционировании программного обеспечения, процессы мышления, принятия решений т.п.

Результатом интеллектуального анализа процессов (ИАП) обычно является усовершенствование процессов из рассмотренных предметных областей [1,2].

В области ИАП получили дальнейшее развитие подходы к выявлению знаний, которые используются для интеллектуального анализа данных. Однако в целом задачи, решаемые в данной области, не ограничиваются только выделением знаний о процессах и построением на этой основе их моделей «как есть», отражающих их фактическое поведение [2].

Формирование модели процесса «как есть» дает возможность проверить соответствие между последовательностью действий в модели процесса «как должно быть», построенной на этапе проектирования, и фактически выполненной последовательностью действий с учетом существующих внешних ограничений. Проверка соответствия позволяет выявить недопустимые отклонения. Все это требует построения модели представления знаний о

процессах. В то же время существующие модели представления знаний – от продукционной до скриптовой [3,4] не учитывают влияние внешних ограничений при выполнении логического вывода, что и свидетельствует об актуальности проблематики данной работы.

### **Постановка задачи**

В настоящее время выделяют три основных задачи, которые решаются с использованием методов интеллектуального анализа процессов:

1) выявление знаний о зависимостях между действиями процесса и построение модели фактически выполняющегося процесса в виде графа, отражающего возможные последовательности его действий;

2) проверка соответствия модели процесса, построенной на этапе его проектирования, и фактически выполняющегося процесса на основе знаний о допустимых последовательностях действий процесса;

3) локальное усовершенствование процесса или же его реинжиниринг на основе использования его первоначальной модели «как должно быть» и результатов решения первой и второй задач.

При решении указанных задач известными методами возникает ряд трудностей, связанных с многовариантностью представления процессов. Последняя определяется использованием правил, задающих изменение последовательности действий во время выполнения процесса. Совокупность таких правил совместно с последовательностью действий процесса и задает базу знаний об одном процессе.

Отметим, что эти правила выходят за пределы логики процесса, определяющей его обычную последовательность действий. Они фактически задают систему ограничений при поведении процесса, что и приводит нас к необходимости представления процессов с использованием совокупности правил как системы ограничений. Решение данной задачи позволит выявлять знания о процессах на основе логов событий с использованием методов программирования в ограничениях (constraint-based programming).

### **Алгебраическая модель представления процессных знаний**

При формализации поведения систем параллельной работы и распределенных систем в области компьютерных наук и искусственного интеллекта используется теория процессов, в основе которой лежит математический аппарат алгебры процессов. Собственно термин «процесс» описывает поведение моделируемой системы (будь то информационная, техническая, биологическая или человеческая) с возможностью распараллеливания.

В рамках теории процессов выполняется их моделирование и верификация. При моделировании формализуется представление процессов. При верификации осуществляется проверка процесса, например на предмет соответствия реального поведения процесса и имеющейся модели. Для выполнения верификации необходимо определить критерии сопоставления процессов, которые базируются на семантике соответствующей процессной алгебры.

Традиционно при моделировании знаний о процессах основное внимание уделяется рассмотрению последовательности действий. Конкретный смысл этих действий не отражается в модели. Другими словами, для модели при таком подходе несущественно, отражает ли процесс последовательность действий программы, последовательность работ бизнес-процесса или же набор действий пользователя при общении в социальной сети.

Таким образом, при описании функционирования распределенных динамических систем в виде системы процессов каждый из таких процессов может быть представлен в виде набора действий, которые выполняет система, а также порядка выполнения этих действий и, возможно, дополнительных атрибутов действий. Выполнение процесса представляет собой последовательность переходов между состояниями. Каждый переход отражает изменение состояния процесса в результате выполнения его действий в дискретные моменты времени. Следовательно, рассматриваемые процессы являются дискретными. Внутренние особенности действий также не являются важными, поскольку их результат моделируется в виде изменения состояний процесса.

Детализуя процесс как набор возможных последовательностей действий, которые имеют входы и выходы, модель представления процессных знаний объединяет статическую и динамическую составляющие.

Первая из них включает в себя: входы как набор (подмножеств) переменных; выходы как набор переменных; начальное состояние как множество переменных, отражающих состояние объектов и действий процесса; набор допустимых конечных состояний (либо набор ограничений на допустимые конечные состояния); последовательность переходов между состояниями, которая определяется действиями и входами процесса; порядок взаимодействия с другими процессами, который представляется в форме правил-ограничений; порядок организации параллельного и (или) распределенного выполнения процесса (или нескольких процессов), который формализуется в виде правил взаимодействия.

Статическая составляющая процесса описывается графом, вершины которого отражают состояния моделируемой динамической системы, дуги – переходы между этими состояниями. Переходы связаны с выполнением действий над объектами процесса.

Динамическая составляющая знаний о процессе определяет его функционирование и представляет собой последовательность переходов между его состояниями, причем каждый из таких переходов связан с выполнением соответствующих действий. Первоначально процесс находится в начальном состоянии  $s_0$ , в дальнейшем на каждом  $i$ - шаге – в состоянии  $s_i$ . В дальнейшем переход между состояниями происходит следующим образом. В  $i$ - состоянии процесс выбирает дугу с действием  $a_i$ , которое может быть выполнено в данный момент времени. Выбор конкретного действия задается описанными ранее правилами.

Затем действие  $a_i$  выполняется и процесс переходит в следующее состояние  $s_{i+1}$ . Процесс продолжается до достижения одного из конечных состояний. В том случае, если из состояния  $s_i$  существует хотя бы одна дуга в последующую вершину  $s_{i+1}$  графа процесса, но отсутствует готовое к выполнению действие, то процесс приостанавливается и ожидает готовности действия  $a_i$ . При его готовности процесс возобновляет выполнение.

Выполнение одного из возможных в текущем состоянии действий процесса зависит от его входного состояния и набора выполненных действий, а также имеющихся ограничений (правил). Конечным состоянием является такое, из которого отсутствуют дуги в другие состояния процесса.

Реализация каждого процесса (трасса процесса) представляет собой последовательность действий, переводящих процесс из начального состояния в конечное. В общем случае каждый процесс обладает множеством трасс.

При выполнении процесса могут быть достигнуты не все состояния. Состояние  $s_i$  будет достижимым для процесса  $P$  в том случае, если существует конечная непустая последовательность переходов из начального состояния  $s_0$  в состояние  $s_i$ . Очевидно, что совокупность достижимых состояний процесса и соединяющих их дуг представляет собой достижимую часть процесс при заданных ограничениях на его выполнение.

Совокупность всех состояний процесса составляет пространство процессов. При этом любое состояние в данном пространстве потенциально может быть начальным состоянием процесса.

Для каждого процесса  $P$  могут быть заданы ограничения с учетом атрибутов операций. Так, ограничение по объектам определяется следующим образом. Пусть  $P$  – процесс, а  $O^*$  – подмножество объектов, над которым выполняются операции  $A$  данного процесса.

Тогда ограничением процесса  $P$  по множеству объектов  $O^*$  является граф  $P^*$ , который получен из графа  $P$  удалением тех операций, которые связаны с обработкой объектов из подмножества  $O^*$ .

Подведя итог рассмотренным особенностям формализации процессных знаний, можно сделать вывод о том, что формальная модель процессных знаний  $P$  отражает сочетание декларативного и процедурного подходов к представлению знаний. Действительно, процедурные знания определяют последовательность действий по достижению искомой цели. Декларативные же знания охватывают совокупность правил, задающих локальные и глобальные ограничения на последовательность действий процесса. Следовательно, проце-

дурные знания задают цепочки действий процесса, а декларативные – условия запуска и порядок применения указанных цепочек действий.

Таким образом, приведенная формализация дает возможность сформировать процессное представление знаний, которое характеризуется следующими особенностями:

– каждое действие процесса, представленное в виде <состояние - действие-состояние>, полностью соответствует традиционному правилу продукции для представления знаний;

– представление процессов в виде взаимосвязанных наборов действий задает множество возможных вариантов логического вывода на основе процессных знаний и соответствует процедурному представлению знаний;

– структуризация отдельных действий средствами алгебры частичного порядка позволяет учесть их атрибуты при организации логического вывода на процессах, что дает возможность задать локальные ограничения на допустимые пути логического вывода на процессах;

– представление последовательности действий процесса в виде набора связанных причинно-следственными связями правил дает возможность задать глобальные ограничения на поведение процесса в виде таких же правил, что позволяет динамически изменять вывод на процессных знаниях, накладывая ограничения во время реализации процесса, например при изменении целей, внешних условий и т.п.

Отметим, что выделенные особенности процессной модели как модели, основанной на цепочке правил, позволяет использовать методы *constraint-based programming* при формализации процесса на основе анализа логов событий. Основная идея программирования с ограничениями состоит в решении комбинаторных задач путем нахождения такой комбинации ограничений, которая удовлетворяет набору заранее заданных ограничений. Иными словами, модель задачи задается в терминах ограничений. Общий алгоритм решения определяет последовательность действий по решению задачи.

### **Выводы**

Предложена модель представления знаний в форме процессов, которая является дальнейшим развитием скриптового представления знаний. Она отличается наличием ограничений в форме правил, что обеспечивает сочетание преимуществ декларативного и процедурного подходов к формализации знаний. В соответствии с предложенной моделью знания представляются в виде графа, отражающего возможные состояния процесса и переходы между ними. Каждый такой переход может быть при необходимости представлен в виде логического правила. Совокупность правил задает набор ограничений на выполнение логического вывода на процессных знаниях. Это дает возможность решать задачи интеллектуального анализа процессов методами программирования с ограничениями, где ключевым является задание собственно системы ограничений.

**Список литературы:** 1. *Aalst, W.M.P. van der. Process mining in web services : the websphere case / Aalst, W.M.P. van der, Verbeek // Bulletin of the IEEE Computer Society Technical Committee on Data Engineering. 2008. №31(3). P. 45-48.* 2. *W. M. P. van der Aalst. Process Mining : Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes / W. M. P. van der Aalst. N.–Y. : Springer Verlag. 2011. 370 p.* 3. *Представление и использование знаний: Пер. с япон./Под ред. Х. Уэно, М. Исидзука. М.: Мир, 1989. 220 с.* 4. *Sowa J.F. Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations / Sowa J.F. Brooks-Cole, 2000.*

*Поступила в редколлегию 17.09.2013*

**Чалый Сергей Федорович**, д-р. техн. наук, профессор кафедры ИУС ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-451.

**Буцуккина Инна Борисовна**, доцент кафедры экономической кибернетики ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-451.

---

## **РЕЛЯЦИОННАЯ МЕТАСЕТЬ ВЫДЕЛЕНИЯ НЕЯВНЫХ ЗНАНИЙ**

---

Проблема представления знаний рассматривается в разделе искусственного интеллекта – инженерии знаний. Для представления явных знаний разработано значительное количество методов и моделей, которые позволяют отобразить знания как в процедурной, так и в декларативной форме в целях их использования в системах искусственного интеллекта. По-иному обстоит дело с неявными знаниями в силу их природы – непроявленности, т.е. неотделимости от человека. Концепция использования неявных знаний требует дальнейшего развития. В то же время выделение и формализация неявных знаний может существенно расширить возможности систем искусственного интеллекта, приблизив их возможности к возможностям интеллекта человека.

### **Введение**

Недостаточная разработанность концепции представления и использования неявных знаний в системах искусственного интеллекта требует анализа подходов к выявлению и использованию неявных знаний человеком с тем, чтобы на этой основе разработать модели представления и методы применения таких знаний.

Проблема получения неявных знаний впервые была рассмотрена в философских работах М. Поланьи [1, 2]. Он рассматривал персональное знание как фактор, обеспечивающий преимущество человека над животными и характеризовал его через призму владения языком. Подходы к формализации знания человека, в том числе через язык, опираются на неформализованный контекст [3]. Именно поэтому сложно выделить только явное знание. Все слова, формулы, схемы опираются на неявные знания человека и без них теряют свой смысл. Знание человека всегда подразделяется на две составляющие – «что» и «как», причем обычно выделяется «знание-что», а «знание-как» - подразумевается [1]. Иными словами, знание первого вида человек обычно может озвучить, записать, формализовать. Знание второго вида очень трудно поддается объяснению. Так, человек легко решает задачу распознавания изображений, находя своих знакомых на фото. Однако он обычно затрудняется объяснить, как он выделил их лица.

Между неявными и явными знаниями существуют следующие отличия:

- в случае явного знания человек может объяснить, записать, формализовать используемые закономерности;
- в случае неявного знания мы можем выделить практический результат его применения без объяснения того, как этот результат был получен.

Рассмотрение неявных знаний как важного элемента получения явных знаний связано с расширенным пониманием управления знаниями как такового. Действительно, традиционно управление знаниями (knowledge management) рассматривается как процесс создания, сохранения, приобретения, распределения и применения знаний на практике. Иными словами, знание в данном процессе является объектом управления, что в целом верно для явного знания. Однако в приведенном определении не рассматривается роль неотделенного от людей, неявного знания. В данном случае знание принадлежит человеку, который своими активными действиями влияет на процесс управления знаниями. Поэтому использование неявных знаний в системе искусственного интеллекта несомненно является актуальной задачей.

### **Постановка задачи**

Изложенные особенности неявных знаний показывают, что решение проблемы их выделения и формализации сопряжено со значительными трудностями. Поэтому весьма важной является задача разработки обобщенной модели выявления неявных знаний. Перед детальным рассмотрением данной задачи необходимо проанализировать концепцию обучения с использованием неявных знаний, которые трудно отделить от человека.

Преобразование явного знания в неявное связано с обучением на основе известных стратегий и документированных материалов. Следует отметить, что данная трансформация использует не только явные знания, изложенные в обучающих материалах, но и неявные знания людей, которые обучают и которые обучаются. Именно последние помогают «усваивать» излагаемый материал, встраивать его в существующую в сознании обучаемого картину мира и, при необходимости, преобразовывать его в навыки, умения, опыт. Важность передачи неявного контекста при изучении явных знаний подтверждается целым рядом примеров из практики. Так, подача и усвоение одного и того же материала (книги, формулы, теоремы и т.п.) зависит от человека, который обучает, дополнительно передавая при обучении неявную составляющую знаний.

#### **Реляционная метасеть извлечения неявных знаний**

Традиционные подходы к анализу данных и процессов основаны на известной иерархической модели DIKW «данные-информация-знания-мудрость [4] (метазнания)». В основе этой модели лежат наборы данных. Применительно к системам искусственного интеллекта они могут быть представлены в формате баз данных и структурированных текстовых файлов. Использование модели DIKW позволяет обосновать возможность применения реляционных сетей при выявлении неявных знаний в системах искусственного интеллекта и представить обобщенную структуру такой сети.

Извлечение и формализация скрытых знаний из структурированных массивов данных в задачах data-, process-, web-mining основывается на неявном влиянии таких знаний на сформированную структуру данных. Полученные в результате решения указанных задач структуры, например, модели процессов, представляются в виде графа и, фактически, представляют собой явные знания о процессах (либо структурированных объектах) предметной области. В то же время модели идентичных процессов (объектов), полученные в результате решения задач интеллектуального анализа массивов данных за различные интервалы времени, во многих случаях отличаются. Такие отличия в структуре полученных графов определяются применением неформализованных, скрытых знаний при выполнении процессов и формировании исходных массивов данных. Это и указывает на принципиальную возможность выделения неявных зависимостей при анализе структурированных объектов, полученных в результате исследования массивов данных.

Концепция DIKW опирается в первую очередь на наблюдения за естественным интеллектом. В данной работе эта модель представляет интерес в силу того, что неявные знания характерны именно для человеческого интеллекта. Преобразование неявных знаний в явную форму позволяет использовать их в системах искусственного интеллекта.

Первый уровень модели DIKW содержит данные в виде набора символов, которые могут быть использованы, однако сами по себе не имеют значения. Данные являются просто результатом наблюдений и не всегда представлены в удобном для применения формате:

$$\{p_1, p_2, \dots, p_n\}, \quad (1)$$

$p_i, i = \overline{1, n}$  – множество данных.

На уровне информации между данными определяются связи, которые задают значение совокупности данных. На этом уровне не определяется, будет ли это значение использоваться, однако на основе информации могут быть сделаны определенные выводы.

При предикатном представлении информации предикат  $I$  задает связи между данными  $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ , чем и определяет структуру информации:

$$I(p_1, p_2, \dots, p_n). \quad (2)$$

Предикат  $I$  при необходимости можно представить в виде системы бинарных предикатов  $I_i, i = \overline{1, m}$ , попарно отражающих связи между элементами данных. Число  $m$  заранее не известно, оно определяется конкретной задачей (во-первых, самим предикатом  $I$ , во-вторых - процессом бинаризации предиката  $I$ , так как бинаризация практически всегда требует введения дополнительных переменных).

Система бинарных предикатов  $I_i, i = \overline{1, m}$  может быть представлена в виде реляционной сети для параллельной обработки [5].

На третьем уровне на основе взаимосвязанной структурированной информации определяется и накапливается знание, которое имеет полезное значение в смысле его дальнейшего использования. Однако интеграция знания в целях создания нового знания на данном уровне не рассматривается.

В соответствии с предлагаемым подходом накопление знаний на основе данных и информации о них можно представить формально как добавление новых предикатов, заданных на множестве исходных данных  $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ , и создание системы

$$\{I_i, i = \overline{1, k}\} \quad (3)$$

предикатов, каждый из которых определяет информацию о данных  $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ .

Уровень метазнаний объединяет все предыдущие, позволяя находить принципиально новое понимание из существующего знания. Формально уровень метазнаний можно представить в виде предиката второго порядка (предиката от предикатов), заданного на множестве  $\{I_i, i = \overline{1, k}\}$ :

$$M(I_1, I_2, \dots, I_k), \quad (4)$$

который связывает всю формализованную информацию о данных  $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  и позволяет вычислять новую информацию.

В ряде работ разделяют метазнания и мудрость, формируя иерархию из 5 уровней. Однако уровень мудрости присущ исключительно человеческому интеллекту. На данном уровне человеческий интеллект оперирует с абстрактными величинами, различая, например, добро и зло, плохое и хорошее.

Р. Акоф [4] также выделил уровень понимания как процесс создание нового знания из существующего. Соответственно, базовой для понимания является функция обучения новым знаниям. Понимание позволяет не только создавать новые знания, но и применять их для выполнения полезных (в смысле достижения ожидаемых результатов) действий. Следовательно, понимание опирается и использует уровни знаний, информации, данных.

Таким образом, с позиции формирования знаний в системах искусственного интеллекта понимание можно рассматривать как способ перехода от данных к информации (понимание связей), от информации к знанию (понимание шаблонов) и от знания к метазнанию (понимание принципов). Формально концепция DIKW представлена набором преобразований (2) - (4).

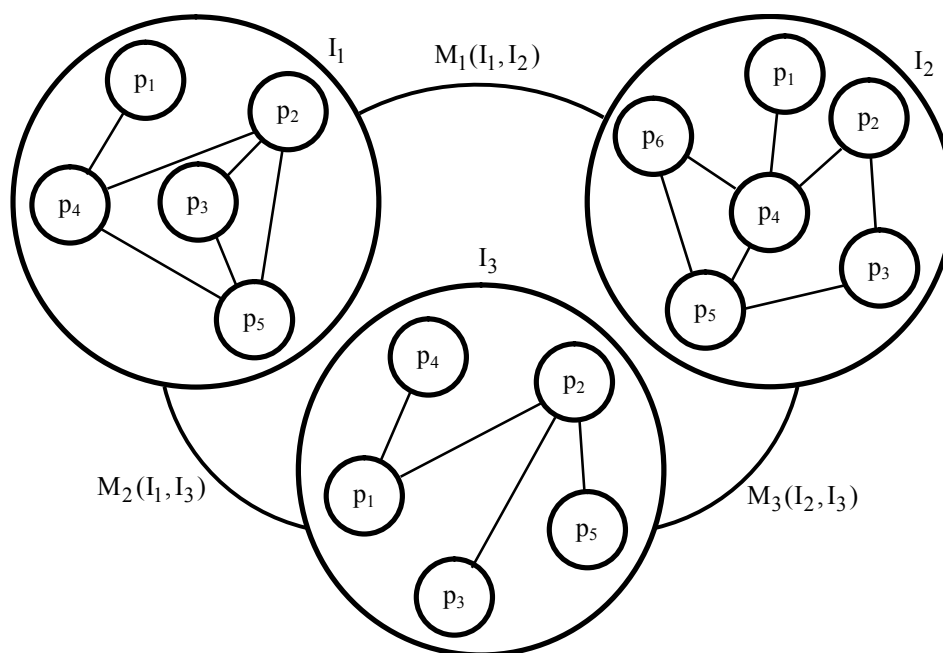
При представлении модели (4) в виде графа реляционной сети получим структуру, никогда ранее не использованную – реляционную метасеть. Отличие реляционной метасети от реляционной сети в том, что узлами реляционной метасети являются реляционные сети, а связями (дугами) – бинарные предикаты второго порядка типа (4). Формально реляционную метасеть можно получить путем бинаризации предикатной модели (4), что позволит представить ее в виде системы бинарных предикатов вида  $M_i(I_s, I_t), i = \overline{1, k}, 1 \leq s, t \leq k$ , или в виде графа сети (рисунок).

Полученная метасеть, на первый взгляд, формализует только преобразование данных в информацию, затем в знания и в мудрость и представляет собой построение таксономии явных, формализованных, документированных знаний.

Однако нами поставлена задача формализации подходов к выявлению неявных знаний с учетом данной таксономии. Ведь переход от уровня к уровню данной иерархии, а именно понимание содержания предыдущего уровня связано с использованием и преобразованием знаний из явной формы в неявную, и наоборот.

Поэтому для формализации выявления неявных знаний необходимо рассмотреть вопросы обратного преобразования знаний в данные через взаимодействие составляющих представленной на рисунке метасети. Тогда решение задачи получения неявных знаний с использованием предложенной метасети имеет следующий вид.

Исходными данными является обратная цепочка – знания-информация-данные. В таком случае предикаты  $M_i$  должны обеспечивать возможность обратного преобразования знаний в информацию, а затем в данные.



Реляционная метасеть выделения неявных знаний

Следовательно, различие между формальным представлением знаний и информации при преобразовании через  $M_i$  составляет искомый неявный компонент, что и позволяет обосновать возможность выделения неявных знаний.

Действительно, различные виды передачи явных знаний от человека к человеку предполагают использование неявного контекста. Поэтому, например, при переходе от информации к знанию часть применяемых шаблонов приобретает неявную форму и обеспечивает результат – получение знания без детального осознания сути процесса преобразования.

Следовательно, выявление и формализация таких скрытых шаблонов обеспечивает возможность для создания новых знаний в системах искусственного интеллекта.

Таким образом, каждая из составляющих реляционных метасетей позволяет выделить как явную часть (данные, информация, знания), так и неявные знания с учетом процесса их взаимодействия, представленного дугами  $M_i$ .

### Выводы

Впервые предложена реляционная метасеть формализации неявных знаний на основе имеющейся иерархии данные – информация – знания. Реляционные сети связаны предикатами второго порядка, обеспечивающими последовательное преобразование данных в знания. Принцип работы этой метасети основан на том, что для преобразования данных в информацию, а последней - в знания необходим дополнительный, обычно неявный контекст. Поэтому наличие полной последовательности выделения явных знаний, а также исходного набора данных позволяет путем обратного преобразования (знания-информация-данные) формализовать неявную компоненту.

**Список литературы:** 1. *Polanyi, M.* Personal Knowledge: “Towards a Post-Critical Philosophy. University of Chicago Press, Chicago, 1958. 442 p. 2. *Polanyi, M.* Knowing and Being: Essays by Michael Polanyi Edited by M.Grene. London: Routledge, 1969. 264 p. 3. *Goodman, C.P.* The Tacit Dimension. Polanyiana, 2003/1-2. P. 133-157. 4. *Ackoff P.,* Russell From Data to Wisdom. Journal of Applied Systems Analysis 16, 1989. P. 3 – 9. 5. *Бондаренко М.Ф.* О булевых реляционных сетях / М.Ф. Бондаренко, И.В. Каменева, Н.Е. Русакова, Ю.П. Шабанов–Кушнаренко, И.Ю. Шубин // Бионика интеллекта. 2011. № 1. С. 3–7. 6. *Румизен Мелисси Клеммонс.* Управление знаниями. М.:

АСТ: Астрель, 2004. 318 с. 7. *Нонака И.* Компания-создатель знания. Зарождение и развитие инноваций в японских фирмах / И.Нонака, Х.Такеучи. М., 2003. 384 с.

*Поступила в редколлегию 12.09.2013*

**Чальий Сергей Федорович**, д-р техн. наук, профессор каф. ИУС. Научные интересы: управление бизнес-процессами; процессный подход к представлению знаний. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-14-51.

**Шабанова-Кушнарченко Любовь Владимировна**, аспирантка каф. ИУС. Научные интересы: алгебро-логические модели бизнес-процессов. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-14-51.

---

УДК 378.147

*М.А. БОНДАРЕНКО*

## **ОПТИМІЗАЦІЯ АНІМАЦІЙНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ПРИ РОБОТІ З WEB-ГРАФІКОЮ**

---

Проводиться експериментальна підготовка графіки для Web-сторінок за використанням програм Macromedia. На основі аналізу отриманих результатів розробляються рекомендації щодо вибору оптимального типу файлу та параметрів зображення в залежності від його властивостей та призначення. Проводиться експериментальна перевірка ефективності використання цієї розробки. Перевірка підтвердила правильність гіпотези дослідження.

**Вступ.** Особливе значення при розробці Web-сайтів має його дизайн, який складається з графічних елементів. Тому кваліфікаційні вимоги до спеціалістів передбачають оволодіння практичними навичками підготовки графічних зображень для Web-сторінок та розроблення дизайну Web-сторінки з використанням комп'ютерної графіки.

**Основний зміст.** Графічні формати поділяються на векторні, растрові та комбіновані [2]. Способи форматування задають структуру даних і відрізняються один від одного. Растрове зображення утворюється з окремих крапок-пікселів, векторне зображення утворене з комбінації форм. При збільшенні або деформації пікселі растрового зображення стають помітні, тоді як векторний малюнок зберігає форму.

Формат GIF може зберігати анімаційні зображення, на відміну від усіх інших графічних форматів [1].

Анімація досягається за рахунок того, що у форматі GIF зберігається декілька зображень (кадрів), а також інформація про їх послідовність та швидкість відтворення. Внаслідок цього досягається ілюзія безперервного руху.

Анімація підтримується тільки у форматі GIF. Для проведення оптимізації взято анімаційне зображення з початковими 128 кольорами (рис. 1). Початковий розмір файлу – 74,6 Кбайт.



Рис. 1. Анімаційне зображення для оптимізації

Результати оптимізації анімаційного файлу наведено у табл. 1.

АСТ: Астрель, 2004. 318 с. 7. *Нонака И.* Компания-создатель знания. Зарождение и развитие инноваций в японских фирмах / И.Нонака, Х.Такеучи. М., 2003. 384 с.

*Поступила в редколлегию 12.09.2013*

**Чальий Сергей Федорович**, д-р техн. наук, профессор каф. ИУС. Научные интересы: управление бизнес-процессами; процессный подход к представлению знаний. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-14-51.

**Шабанова-Кушнарченко Любовь Владимировна**, аспирантка каф. ИУС. Научные интересы: алгебро-логические модели бизнес-процессов. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-14-51.

---

УДК 378.147

*М.А. БОНДАРЕНКО*

## **ОПТИМІЗАЦІЯ АНІМАЦІЙНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ПРИ РОБОТІ З WEB-ГРАФІКОЮ**

---

Проводиться експериментальна підготовка графіки для Web-сторінок за використанням програм Macromedia. На основі аналізу отриманих результатів розробляються рекомендації щодо вибору оптимального типу файлу та параметрів зображення в залежності від його властивостей та призначення. Проводиться експериментальна перевірка ефективності використання цієї розробки. Перевірка підтвердила правильність гіпотези дослідження.

**Вступ.** Особливе значення при розробці Web-сайтів має його дизайн, який складається з графічних елементів. Тому кваліфікаційні вимоги до спеціалістів передбачають оволодіння практичними навичками підготовки графічних зображень для Web-сторінок та розроблення дизайну Web-сторінки з використанням комп'ютерної графіки.

**Основний зміст.** Графічні формати поділяються на векторні, растрові та комбіновані [2]. Способи форматування задають структуру даних і відрізняються один від одного. Растрове зображення утворюється з окремих крапок-пікселів, векторне зображення утворене з комбінації форм. При збільшенні або деформації пікселі растрового зображення стають помітні, тоді як векторний малюнок зберігає форму.

Формат GIF може зберігати анімаційні зображення, на відміну від усіх інших графічних форматів [1].

Анімація досягається за рахунок того, що у форматі GIF зберігається декілька зображень (кадрів), а також інформація про їх послідовність та швидкість відтворення. Внаслідок цього досягається ілюзія безперервного руху.

Анімація підтримується тільки у форматі GIF. Для проведення оптимізації взято анімаційне зображення з початковими 128 кольорами (рис. 1). Початковий розмір файлу – 74,6 Кбайт.

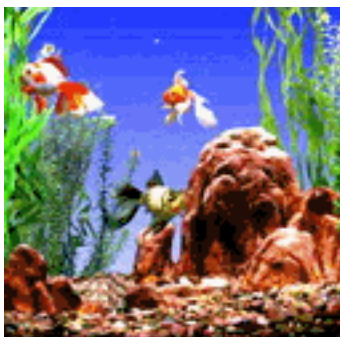


Рис. 1. Анімаційне зображення для оптимізації

Результати оптимізації анімаційного файлу наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Оптимізація анімаційного файлу

Кількість кольорів	Обсяг GIF-файлу	Зменшення обсягу (разів)	Оцінка якості зображення у порівнянні з початковим
128	74,6	1,00	початкове
64	49	1,52	майже початкове
32	37,3	2,00	задовільне
16	27,8	2,68	незадовільне
8	18,8	3,97	погане
4	12,3	6,07	неприйнятне
2	6,2	12,03	неприйнятне

Як видно з цієї таблиці, незадовільна якість з'являється при зменшенні палітри кольорів до 16. При цьому деякі кольори змінилися (рис. 2).

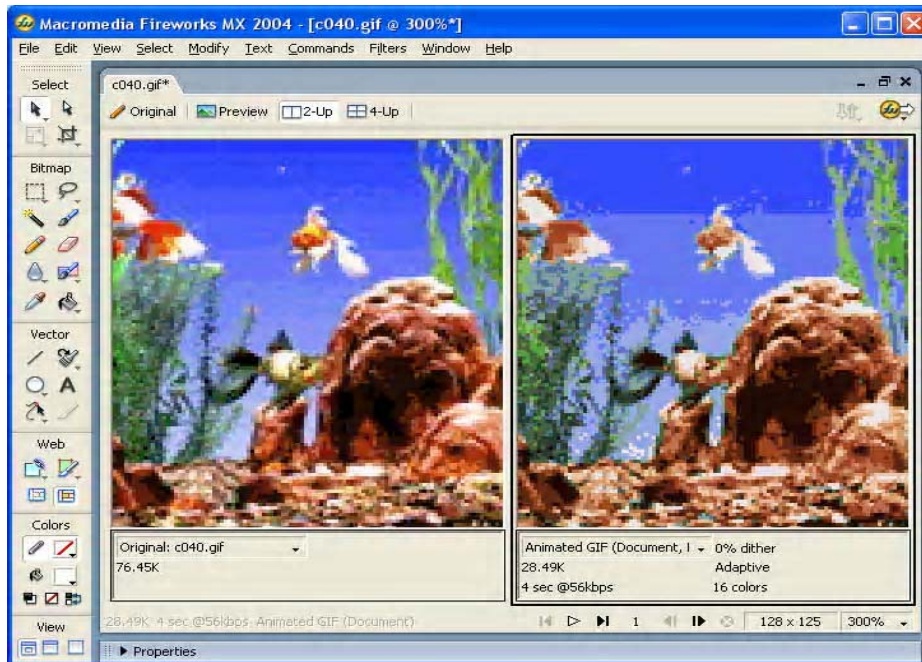


Рис. 2. Погіршення якості зображення при 16 кольорах

На рис. 3 представлено графік зміни розміру оптимізованого анімаційного файлу.

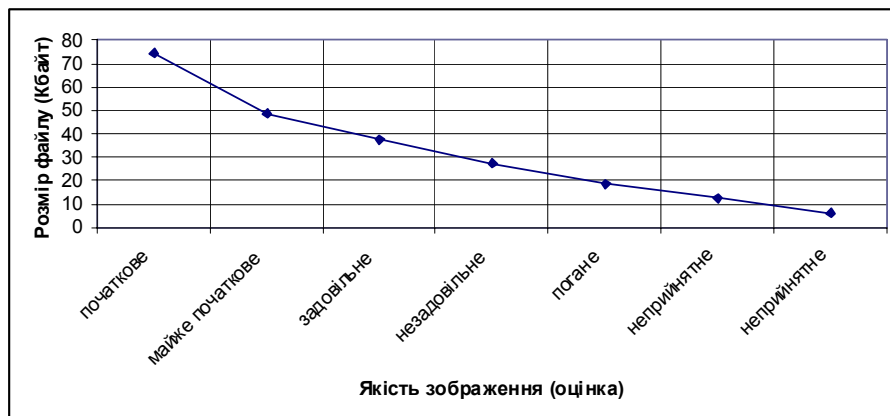


Рис. 3. Графік зміни розміру оптимізованого анімаційного файлу

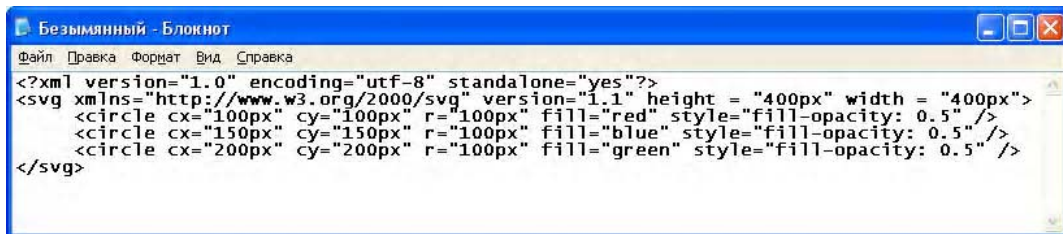
Таким чином, для даного зображення оптимальним буде вибір 32 кольорів (задовільна якість), що дає зменшення розміру файлу в 2 рази.

Формат SVG підтримується найпопулярнішими браузерами останніх версій (Internet Explorer, Opera, Firefox, Chrome).

Формат SVG (Scalable Vector Graphics) – специфікація мови розмітки, що базується на XML, та формат файлів для двовимірної векторної графіки, як статичної, так і анімованої та інтерактивної. SVG може бути виключно декларативним або містити описи сценаріїв.

Растрове зображення утворюється з окремих крапок-пікселів, в той час як векторне зображення утворене з комбінації форм. Файли SVG мають текстовий формат, який можна читати і редагувати за допомогою звичайних текстових редакторів. Це робить SVG файли менші за розміром, ніж у порівнянні з якістю зображення у форматах JPEG або GIF.

Розглянемо простий приклад використання формату SVG. У звичайному текстовому редакторі (наприклад, у Блокноті) наберемо такий текст (рис. 4).



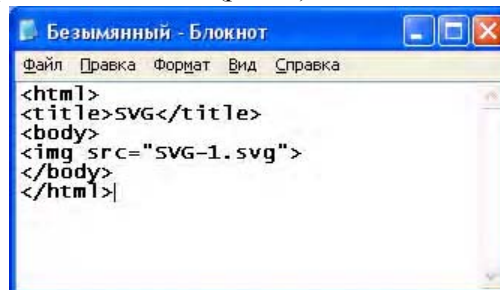
```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" standalone="yes"?>
<svg xmlns="http://www.w3.org/2000/svg" version="1.1" height = "400px" width = "400px">
  <circle cx="100px" cy="100px" r="100px" fill="red" style="fill-opacity: 0.5" />
  <circle cx="150px" cy="150px" r="100px" fill="blue" style="fill-opacity: 0.5" />
  <circle cx="200px" cy="200px" r="100px" fill="green" style="fill-opacity: 0.5" />
</svg>
```

Рис. 4. Опис зображень у форматі SVG

Файл починається з XML-заголовка, далі йде кореневий елемент `<svg>`, у якому вказується простір імен, ширина, висота документа. У середині контейнера міститься безпосередній опис елементів тегами (у цьому випадку 3 кола `<circle>`). Кожному тегу можна привласнити параметри (`cx` - положення по осі X, `cy` - положення по осі Y, `r` - радіус, `fill` - кольори заливання). Також кожному елементу можна привласнити стиль, у цьому випадку це прозорість (`fill-opacity`).

Збережемо цей файл на диску під ім'ям SVG-1.svg.

Далі у Блокноті наберемо такий текст (рис. 5).



```
<html>
<title>SVG</title>
<body>

</body>
</html>
```

Рис. 5. Використання SVG у файлі HTML

Збережемо цей файл на диску під ім'ям SVG-1.html.

Відкриємо даний файл у сучасному браузері, наприклад Google Chrome. Отримаємо такий результат (рис. 6).

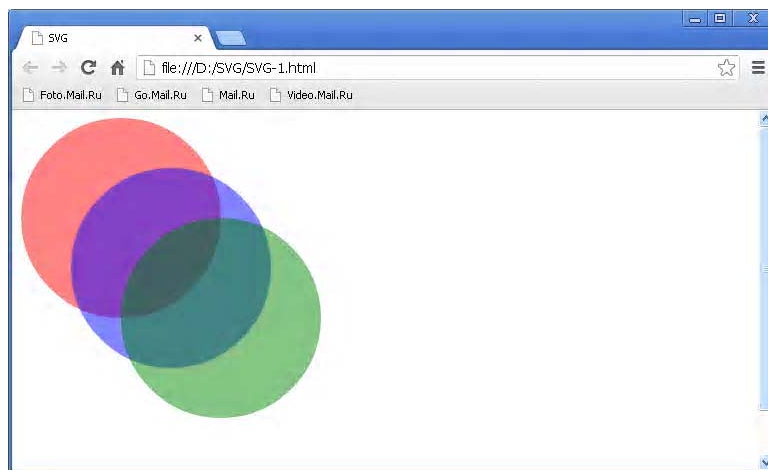


Рис. 6. Відображення зображення у форматі SVG

Для порівняння форматів у редакторі Macromedia Fireworks було утворено аналогічне зображення (рис. 7).

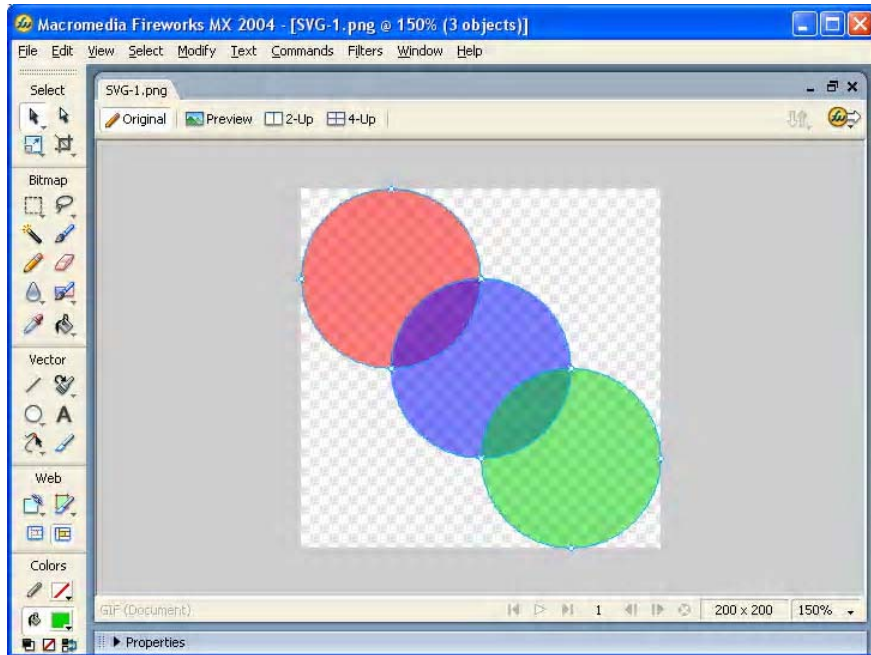


Рис. 7. Аналогічне зображення у редакторі Macromedia Fireworks

Далі це зображення було збережено у форматі PNG та експортовано у формати GIF та JPEG. Зображення у цих форматах було оптимізовано з прийнятною якістю з такими параметрами: GIF – 16 кольорів, JPEG – якість.

Результат порівняння розмірів файлів цього зображення представлено у табл. 2.

Таблиця 2  
Порівняння розмірів файлів

Формат	Розмір файлу (Кбайт)	Зменшення у порівнянні з форматом PNG (разів)
PNG	36,7	1
JPEG	3,3	11,1
GIF	1,42	25,8
SVG	0,415	88,4

Таким чином, розмір файлу зображення у форматі SVG менший аналогічного файлу у форматі PNG у 88 разів. У порівнянні з найменшим графічним файлом (формат GIF) файл SVG менший майже у 3,5 рази.

Сучасний розвиток цього формату дозволяє задавати не тільки прості геометричні об'єкти, але досить складні зображення (рис. 8).

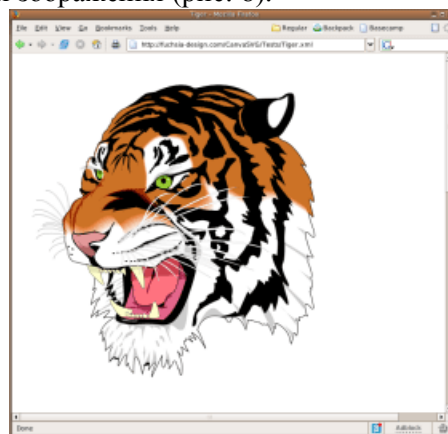


Рис. 8. Складне зображення у форматі SVG

Таким чином, на нашу думку, майбутнє Web-графіки буде пов'язане з розвитком формату SVG та його підтримкою у всіх браузерях.

На підставі проведених експериментів можна зробити такі загальні висновки та рекомендації щодо підготовки Web-графіки.

1. Графіка для Web-сторінок має бути збережена в одному з трьох форматів – PNG, GIF, JPEG. Це дає гарантію того, що зображення буде відображатися у будь-якому браузері.

2. Вибір формату з метою мінімізації розміру файлу пов'язаний з певними параметрами зображення.

3. Формат GIF доцільно використовувати для зображень з невеликою кількістю кольорів (до 256). Наприклад – текст, логотипи, ілюстрації з чіткими краями, зображення з прозорими ділянками, баннери. Крім того, тільки в цьому форматі утворюються анімаційні зображення.

4. Формат JPEG доцільно використовувати переважно для фотографій з великою кількістю кольорів. Цей формат допускає збереження зображень, що містять мільйони кольорів з тонкими колірними переходами. Зображення в цьому форматі, на відміну від формату GIF, не можуть мати прозорих ділянок. Анімація також не підтримується.

5. Формат PNG є розвитком формату GIF. Його доцільно використовувати для збереження повнокольорових зображень із глибиною кольорів до 48 біт на піксель і чорно-білих зображень із глибиною кольорів до 16 біт на піксель. Цей формат дозволяє для кожної крапки зображення задавати ступінь прозорості від нульової до 100%. Формат PNG не підтримує анімацію.

Область застосування – високоякісні фотографії, малюнки, що містять прозорі ділянки, малюнки з великою кількістю кольорів і чіткими краями зображень.

Узагальнені рекомендації по вибору графічного формату наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Загальні рекомендації по вибору графічного формату для Web

Параметри зображення		Рекомендований формат	Приклади
Розмір	невеликий	GIF	Текст, логотипи, баннери, векторні рисунки, фонове зображення, що повторюється
	великий	JPEG	Фотографії, фонове зображення
Кількість кольорів	до 256	GIF	Текст, логотипи, баннери, векторні рисунки
	велика	JPEG	Фотографії
	дуже велика	PNG	Високоякісні фотографії
Прозорі ділянки	є	GIF, PNG	Текст, логотипи, баннери, векторні рисунки, фотографії
	немає	GIF, JPEG	Фотографії
Ділянки з чіткими краями	є	GIF, PNG	Текст, логотипи, баннери, векторні рисунки
	немає	JPEG	Фотографії
Анімація	є	GIF	Баннери
	немає	GIF, JPEG	Текст, логотипи, баннери, векторні рисунки, фотографії

Але, незважаючи на наведені загальні характеристики графічних форматів для Web, вибрати оптимальний формат для конкретного зображення найчастіше можна тільки експериментальним шляхом. При цьому переслідується основна мета: досягти гарної якості зображення при мінімальному розмірі файлу.

**Наукова новизна.** Особливе значення при розробці Web-сайтів має його дизайн, який складається з графічних елементів. Проведено експериментальну підготовку графіки для Web-сторінок використанням програм Macromedia. На основі аналізу отриманих результатів розроблено рекомендації щодо вибору оптимального типу файлу та параметрів зображення залежно від його властивостей та призначення. Проведено експериментальну перевірку ефективності використання цієї розробки. Перевірка підтвердила правильність гіпотези дослідження.

**Список литературы:** 1. *Бондаренко М. А.* Web-дизайн і презентація інтелектуальної діяльності: Навчальний посібник. Х.: ФОП Лібуркіна Л. М., 2010. 424 с. 2. *Бондаренко М.А., Савченко О.О.* Утворення та застосування Web-графіки для об'єктно-орієнтованих інформаційних систем // Збірник «Новий колегіум». ХНУРЕ. 2014. 8 с.

*Надійшла до редколегії 13.09.2013*

**Бондаренко Микола Андрійович**, канд. техн. наук, професор, Українська інженерно-педагогічна Академія. Наукові інтереси: інформаційні технології та проектування технічних систем. Адреса: Україна, 61000, Харків, вул. Клочківська, 195 г, кв. 44, тел. 7 19 50 01.

---

УДК 004.5; 004.7; 004.8

*М.В. ШТУКИН*

## **ТЕХНОЛОГИЯ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

---

Предлагается технология для анализа и управления в чрезвычайных ситуациях, которая обеспечивает рациональный логический вывод и позволяет получить управленческие решения за счет выделения квантов знаний из прецедентной базы микроситуаций; в отличие от существующих уменьшает риски принимаемых решений при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций с минимальными затратами.

**Актуальность.** Многие страны, в том числе и Украина, имеют проблемы, связанные с необходимостью разработки эффективных информационных технологий оптимизации принимаемых решений для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС) в кратчайшие сроки с наименьшими затратами. Такую проблему необходимо решать в условиях многокритериальности и неопределенности анализируемой информации о процессах, которые характеризуют ЧС. ЧС - это ситуация, которая имеет геоинформационный контекст, сложилась в результате опасного природного явления, катастрофы, стихийного бедствия. Такая ситуация может повлечь за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Для ЧС характерны следующие особые явления: геофизические, геологические, метеорологические, агрометеорологические, морские гидрологические, гидрологические, природные пожары, инфекционная заболеваемость людей и сельскохозяйственных животных, поражение сельскохозяйственных растений болезнями и вредителями. Близкими к ЧС являются экологические чрезвычайные ситуации, вызванные экологическими обратимыми и не обратимыми явлениями. Результатом ЧС является вред наносимый природе, человеку, объектам экономики, социальной сферы, окружающей природной среде, а также изменения обстановки, произошедшие вследствие этого.

**В этой связи актуальным является мониторинг и прогнозирование ЧПС** – наблюдение, контроль и предвидение опасных процессов и явлений природы, являющихся источниками чрезвычайных ситуаций, а также динамики развития чрезвычайных ситуаций, определение их масштабов в целях решения задач предупреждения и организации ликвидации бедствий.

Возникновение ЧС для большинства природных явлений обусловлено в первую очередь объективно существующими не контролируруемыми человеком явлениями в окружающей среде. Зарождение и развитие неблагоприятных стихийных явлений (землетрясений, тайфунов, наводнений, цунами и т.д.) должно объективно фиксироваться множеством преобразователей информации и характеризоваться разнородными параметрами с различными измерительными шкалами. Параметры для ЧС имеют различную значимость, точность, влияние на контролируемую ситуацию. Информация о ЧС может стареть и не всегда быть

**Список литературы:** 1. *Бондаренко М. А.* Web-дизайн і презентація інтелектуальної діяльності: Навчальний посібник. Х.: ФОП Лібуркіна Л. М., 2010. 424 с. 2. *Бондаренко М.А., Савченко О.О.* Утворення та застосування Web-графіки для об'єктно-орієнтованих інформаційних систем // Збірник «Новий колегіум». ХНУРЕ. 2014. 8 с.

*Надійшла до редколегії 13.09.2013*

**Бондаренко Микола Андрійович**, канд. техн. наук, професор, Українська інженерно-педагогічна Академія. Наукові інтереси: інформаційні технології та проектування технічних систем. Адреса: Україна, 61000, Харків, вул. Клочківська, 195 г, кв. 44, тел. 7 19 50 01.

**Савченко Олег Олегович**, головний спеціаліст сектора комп'ютерного забезпечення управління загальних питань виконавчого апарату Харківської обласної ради, Українська інженерно-педагогічна Академія. Наукові інтереси: інформаційні технології. Адреса: Україна, Харків, вул. Жовтневої революції, 7-В, кв. 94, 700-53-22.

---

УДК 004.5; 004.7; 004.8

*М.В. ШТУКИН*

## **ТЕХНОЛОГИЯ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

---

Предлагается технология для анализа и управления в чрезвычайных ситуациях, которая обеспечивает рациональный логический вывод и позволяет получить управленческие решения за счет выделения квантов знаний из прецедентной базы микроситуаций; в отличие от существующих уменьшает риски принимаемых решений при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций с минимальными затратами.

**Актуальность.** Многие страны, в том числе и Украина, имеют проблемы, связанные с необходимостью разработки эффективных информационных технологий оптимизации принимаемых решений для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС) в кратчайшие сроки с наименьшими затратами. Такую проблему необходимо решать в условиях многокритериальности и неопределенности анализируемой информации о процессах, которые характеризуют ЧС. ЧС - это ситуация, которая имеет геоинформационный контекст, сложилась в результате опасного природного явления, катастрофы, стихийного бедствия. Такая ситуация может повлечь за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Для ЧС характерны следующие особые явления: геофизические, геологические, метеорологические, агрометеорологические, морские гидрологические, гидрологические, природные пожары, инфекционная заболеваемость людей и сельскохозяйственных животных, поражение сельскохозяйственных растений болезнями и вредителями. Близкими к ЧС являются экологические чрезвычайные ситуации, вызванные экологическими обратимыми и не обратимыми явлениями. Результатом ЧС является вред наносимый природе, человеку, объектам экономики, социальной сферы, окружающей природной среде, а также изменения обстановки, произошедшие вследствие этого.

**В этой связи актуальным является мониторинг и прогнозирование ЧПС** – наблюдение, контроль и предвидение опасных процессов и явлений природы, являющихся источниками чрезвычайных ситуаций, а также динамики развития чрезвычайных ситуаций, определение их масштабов в целях решения задач предупреждения и организации ликвидации бедствий.

Возникновение ЧС для большинства природных явлений обусловлено в первую очередь объективно существующими не контролируруемыми человеком явлениями в окружающей среде. Зарождение и развитие неблагоприятных стихийных явлений (землетрясений, тайфунов, наводнений, цунами и т.д.) должно объективно фиксироваться множеством преобразователей информации и характеризоваться разнородными параметрами с различными измерительными шкалами. Параметры для ЧС имеют различную значимость, точность, влияние на контролируемую ситуацию. Информация о ЧС может стареть и не всегда быть

полезной при анализе и выборе эффективного или оптимального управляющего воздействия с минимальным риском для жизнедеятельности человека в аналогичных ситуациях в будущем.

В Украине существует достаточно значительная опасность возникновения катастрофических наводнений и затоплений, снежных заносов и лавин, лесных и торфяных пожаров, ураганов, оползней, которые приносят много социальных и экономических потерь.

Актуальность исследований в области принятия решений для ликвидации последствий ЧС обусловлена необходимостью решения ряда задач. Нужно исследовать процесс создания моделей предметной области и методов оптимизации в условиях многокритериальности принятия решений и неопределенности исходных данных для минимизации риска жизнедеятельности человека. Необходимо исследовать представление и формирование знаний о контролируемой ЧС и прошедших, подобных ситуациях, вывод (поиск решения) на основе формализованных знаний, получаемых на базе знаний прецедентов, качественных и количественных данных.

**Постановка задачи.** Следует разработать технологию для анализа и управления, которая обеспечит рациональный логический выбор управляющего решения в условиях неопределенности и многокритериальности для ликвидации последствий ЧС.

**Новизна.** Для решения задач управления при ликвидации последствий ЧС необходимо разработать адаптивный метод, который отличается от существующих более качественной оценкой ситуаций в заданный срок и с минимальными экономическими и социальными рисками в ЧС. Метод должен предусматривать неформально-многокритериальное оценивание альтернатив посредством внешнего критерия их полезности, в котором в отличие от существующих подходов не применяется обобщенный критерий с взвешенными локальными критериями, что значительно улучшает качественные и временные характеристики оптимизации принятия решений. Кроме этого, необходимо моделировать ситуации в условиях априорной неопределенности относительно объектов управления. В отличие от существующих методов моделирования контролируемая ситуация должна представляться как объединение случайных событий причинно-следственными связями, адаптации с прецедентными знаниями и интеллектуальной технологией принятия решений. При разработке технологии выбора рациональных управленческих решений необходимо обеспечить минимизацию времени и средств поиска рациональных решений при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

**Решение.** В [1,2] для рассматриваемой проблемы была поставлена в общем виде *многокритериальная задача принятия решений* (МЗПР):

$$z^* = \arg \operatorname{extr}_{z \in Z^c} \Theta \left[ \langle k_j(z) \rangle \right], \quad \forall j = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где  $\Theta$  – некоторая *регуляризирующая* процедура, позволяющая выбрать *единственное* решение  $z^*$  из области *компромиссов*  $Z^c$  согласно определенному *принципу оптимальности*.

В (1) необходимо определить параметры, от которых зависят принимаемые решения -  $z \in Z^c$ . В связи тем, что причины возникновения предшествующих ЧС полностью не могут совпадать с текущими, контролируемыми параметрами окружающей среды, в данном исследовании целесообразно использовать понятие микроситуации [3]  $Msit$ .  $\{Msit\}$  определено на множестве количественных данных об окружающей среде –  $\{X\}$ . В результате дисперсионного анализа  $\{X\}$  ранжируются по степени влияния. При решении поставленной задачи МЗПР при выделении квантов знаний [1,2] из качественных данных об удачных управленческих решениях для уже прошедших ЧС можно использовать микроситуационную базу прецедентов  $\{Msit^Z\}$ . Тогда

$$z = \langle Sit, Res \rangle, \quad (2)$$

где Sit – проблемная ситуация (ПС), которая описывает состояние контролируемой среды, где возник прецедент; Res – решение об использовании средств и ресурсов для ликвидации последствий ЧС.

Микроситуационный прецедент – это описание чрезвычайной ситуации в совокупности с подробным указанием ранее используемых при ликвидации последствий ЧС удачных действий руководящих структур, которые специализируются на применении средств и ресурсов при ликвидации последствий ЧС; предпринимаемых в чрезвычайной ситуации для решения данной проблемы. Прецедент П можно представить тройкой:

$$\Pi = \langle \text{Sit}, \text{Res}, \mathfrak{S}, \text{Sred} \rangle, \quad (3)$$

где Sred – результат, который описывает состояние контролируемой среды после принятия решений при ликвидации последствий ЧС,  $\mathfrak{S}$  – множество управляющих действий.

В связи с рассматриваемой проблемой следует различать два вида ситуаций: ситуация, которая может восприниматься как чрезвычайная –  $\text{Sit}^z$ , и ситуация, которая может восприниматься как не чрезвычайная –  $\text{Sit}^{nz}$ . Данные ситуации представляют окружающую среду множеством наиболее значимыми количественными, измеряемыми или контролируемыми параметрами. Например, для анализа ситуации, связанной со сходом снежных лавин, обычно фиксируются такие характеристики как: температура, атмосферное давление и влажность воздуха, скорость ветра, количество выпавших осадков, плотность снежного покрова, наклон склона горы, характеристики подстилающей поверхности склона (количество растений на единице площади). Кроме этого, экспертами могут быть представлены качественные данные типа – «ЕСЛИ», «УСЛОВИЕ», «ТО» (как следствие наступает ЧС –  $\text{Sit}^z$  или нет опасности –  $\text{Sit}^{nz}$ ).

В свою очередь каждая из рассматриваемых ситуаций Sit может представляться определенным набором микроситуаций [3]  $\text{Msit} = \{\text{Msit}_i\}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , каждая из которых соответствует определенной группе рассматриваемых типов данных среды возникновения ЧС и отражающих, с одной стороны, достоверную вероятность наступления ЧС, а с другой — характеризующих вероятность не возникновения ЧС.

Иными словами, опасные ситуации –  $\text{Sit}^z$  представляют собой однородное по типам данных объединение различных микроситуаций  $\text{Sit}^z = \bigcup_i \text{Msit}_i^z$ , нелавиноопасные ситуации

$\text{Sit}^{nz}$  представляют объединение  $\text{Sit}^{nz} = \bigcup_i \text{Msit}_i^{nz}$ . Каждая такая микроситуация отражает в определенной мере вероятность наступления либо опасной, либо не опасной ситуации в целом с точки зрения определенного типа (групп) данных при различных их значениях, которые и характеризуют рассматриваемые ситуации. Таким образом, в целом результаты оценивания вероятности отнесения исследуемых данных к классам, которые описывают либо опасные, либо не опасные ситуации можно рассматривать как основу перехода к формированию соответствующих систем микроситуаций, данные относительно которых составляют для формирования базы квантов знаний информационно-аналитической ГРИД системы управления кризисными ситуациями.

В [1,2] было установлено, что наиболее универсальным решением рассматриваемой проблемы является принцип оптимальности, состоящий в формировании на множестве частных критериев  $\{k_i(z)\}$ ,  $i = \overline{1, n}$  обобщенного скалярного критерия. Его называют функцией полезности  $\Pi(z)$ :

$$\Pi(z) = Q[\lambda_i, k_i(z)], \quad i = \overline{1, n}, \quad (4)$$

где  $\lambda_i$  – коэффициенты изоморфизма, приводящие разнородные частные критерии  $k_i(z)$  к изоморфному виду; Q – оператор, реализующий процедуру вычисления функции полезности  $\Pi(z)$  для всех  $z \in Z^C$ . Теоретической основой формирования многокритериальных

скалярных оценок (3) является теория полезности [1,2], которая предполагает существование количественной оценки предпочтительности « $\succ$ » решений. Это означает, что если решения

$$z_1, z_2 \in Z^C \text{ и } z_1 \succ z_2, \text{ то } \Pi(z_1) > \Pi(z_2). \quad (5)$$

Следовательно, «полезность» решений является количественной мерой их «эффективности», а МЗПР (1) состоит в выборе наилучшего решения  $z^*$ :

$$z^* = \arg \max_{z \in Z^C} \Pi(z). \quad (6)$$

Поставленная цель исследования достигается решением МЗПР (1) путем применения функции полезности вида (6) с оператором  $Q$ , который реализуется в рамках фрагмента алгоритма поиска рациональных решений для ликвидации последствий ЧС. При этом используем системный подход целенаправленного принятия решений на микроситуационной базе прецедентных квантов знаний, суть которого заключается в теоретико-множественном представлении.

Назовем целенаправленной системой принятия решений  $S$  множество  $E$  однородных или разнородных решений. На множестве  $E$  задано множество причинно-следственных отношений  $R$  и множество моделей  $\{Mod\}$  [4], которые для поставленной задачи адаптивно упорядочивают аппаратно – программные элементы  $e \in E$  в ГРИД, а именно структуру  $C$ :

$$C = \{E \times R\}. \quad (7)$$

В заданной цели ликвидации последствий ЧС для целенаправленной системы принятия решений необходимо разработать систему  $S$ , которая должна обладать множеством свойств  $G$ . Эти свойства обеспечиваются параллельным и адаптивным к условиям внешней среды выбором средств моделирования ЧС (перестройкой моделирования) [3]) при достижении минимальных значений риска жизнедеятельности человека  $\{G\}$ , рациональным использованием опыта выделения ресурсов при ликвидации последствий ЧС, для минимизации времени поиска управленческих решений с максимальной эффективностью принятых решений. Отобразим обобщенную цель на множество целей  $S$  и выделим некоторое подмножество  $G \subset X$  свойств системы, которые позволяют достигать цели путем выбора или синтеза структуры ГРИД системы со структурой  $C$  (7) с необходимыми свойствами  $G$ . Тогда целенаправленная система принятия решений  $S$  определяется упорядоченным множеством, адаптивным для выполнения цели, декартова произведения:

$$S = \{\{E \times R\} \times G\}. \quad (8)$$

Очевидно, область существования  $Z(S)$  системы  $S$  со свойствами  $G$  определяется множеством структур  $C$  (7), которые можно находить индуктивно в условиях неопределенности и риска путем обучения системы на знаниях-прецедентах по экономическим, экологическим, социальным и техническим соображениям в области  $Z(S)$ , по которым накладываются ограничения в виде запретов на использование некоторых элементов  $e \in E$  и отношений  $r \in R$ . В результате выделяется множество допустимых структур, т.е. допустимых решений  $Z^C \subset Z(S)$ .

Тогда решение МЗПР вида (1) при использовании микроситуационной базы знаний прецедентов квантов знаний осуществимо в 4 этапа:

- 1) определение цели с выделением свойств  $X$  системы  $S$  для ее достижения;
- 2) индуктивный синтез по обучающим прецедентам допустимого множества структур  $C$  (7) как баз знаний, обеспечивающих механизм логического вывода решений;
- 3) определение метрики для сравнения допустимых решений (задача оценивания при минимизации значений риска жизнедеятельности);

4) выбор *наилучшего* варианта решения  $z^* \in Z \subset Z(S)$  (задача *оптимизации*).

С учетом постановки задачи исследования (1) и (2) необходимо выделить особенности представления количественных и качественных данных и квантов знаний при моделировании процесса принятия решений [1,4]. В результате применения микроситуационного анализа количественных данных [3,4] можно получить прецедентную базу данных, которая будет использоваться для выделения квантов знаний о рациональных решениях в предлагаемой технологии. Далее в рассматриваемой технологии применяется поиск рациональных решений с применением вывода, основанного на анализе лингвистических, качественных данных экспертов о прецедентах. Предлагается использовать кванты знаний относительно контролируемых проблемных ЧС из предыдущего положительного опыта ликвидации последствий подобных ЧС. Полученная база квантов знаний основывается на нетривиальном выявлении в больших массивах количественных и качественных данных неочевидной, новой, полезной информации.

Предлагаемая технология в конечном итоге приводит к использованию обобщенного понятия ситуации, которое основано на анализе количественных и качественных данных. Структура обобщенной ситуации

$$Sit^{ob} = \{kol\ Msit_i^{ob},\ kaz\ Msit_j^{ob},\ Res^z, \mathfrak{S}\}, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M},$$

где  $kol\ Msit_i^{ob} = \{Msit^K, Msit^Z\}$  – обобщенная количественная микроситуация;  $kaz\ Msit_j^{ob} = \{Res^z\}$  – обобщенная качественная микроситуация, которые *образованы понятиями* – элементами окружающей среды,  $Res^z$  – необходимые ресурсы (объемы и средства для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций);  $\mathfrak{S}$  – множество управляющих действий.

Часть ситуации  $kaz\ Msit_j^{ob}$ , определяемая парой  $\langle Zentr_i, Kon^z \rangle$ , называется лингвистической (качественной, смысловой единицей).  $Zentr$  центральное понятие, вокруг которого базируется микроситуация. Множество  $Kon^z = \{Otn_i, Vtor_k\}$  является *контекстом* микроситуации для лингвистического, центрального понятия  $Zentr$ . Множество  $Kon^z = \{kon_i^z\}, i = \overline{1, N}$  выражает отношение  $Otn_i$  центрального понятия  $Zentr$  *e* с остальными *второстепенными* понятиями  $Vtor_k$ , участвующими в данной микроситуации. *Отношение*  $Otn_i$  – это некоторая зависимость центрального понятия от второстепенных понятий. Для данной микроситуации в качестве второстепенного понятия может выступать понятие, которое является центральным в другой микроситуации

Зачатую сценарии развития последствий ЧС, геоинформационная контекстная информация, принятые решения, мероприятия или принятые решения для ликвидации последствий ЧС, другими словами задействованные при этом ресурсы и результаты принятых мер - это сырая информация, которая представляет собой тексты в электронном виде.

В технологии создания базы квантов знаний из микроситуационной базы прецедентов следует выделить этапы построения множества качественных прецедентов (эталонных) микроситуаций:

1. Описание текущей ситуации предметной области в виде повествовательного текста.
2. Выявление из полученного описания понятий из имеющихся категорий.
3. Поиск связей между данными понятиями.
4. Получение описания для базы квантов знаний на языке представления микроситуаций.

Понятия  $Pon$  для рассматриваемой категории  $zKat$  получаем в результате выполнения функции выявления понятия  $ZVpon$ :

$$zPon(ExpText) \rightarrow Pon_i,$$

где  $Pon_i$  – выявленные понятия,  $i = \overline{1, N}$ .

При этом имеем

$$Sit^{ob} \Rightarrow \{cuPon\},$$

где  $Sit^{ob}$  – микроситуация, которой соответствуют  $\{cuPon\}$  – множество понятий, являющихся *сущностями* и  $Otn$  – множество понятий, выражающих *отношение* между другими понятиями.

Технология поиска прецедентов, действий и ресурсов соответствующих ЧС имеет такую последовательность:

1. Шаг. Выделение из множества кандидатов  $\{kanPon\}$  множество *центральных понятий*  $Zentr$  или *прецедентов* –  $\{Zentr\}$  (существительные, в которых являются подлежащими в предложениях ExpText):

$$\Phi(kanPon) \rightarrow Zentr_i,$$

где  $\Phi$  – функция выявления кандидатов в центральные понятия –  $zPon$ .

2. Шаг. Выделение *контекста* или связей (отношений)

$$Otn = kanPon / Kon^z$$

для полученных кандидатов в центральные понятия  $Zentr$ . Задача заключается в выделении подмножества отношений (ассоциаций)  $Otn \subset Otn\Phi_z$ .

Элементами множества отношений  $Otn$  являются главные, активные и дополнительные связи. Каждый из элементов множества отношений  $OtnPon_i \in Otn$  будет связан с определенным центральным понятием  $Zentr_i \in Zentr$ .

3. Шаг. Формируется множество микроситуаций  $Sit^{ob} = \langle Zentr_i, Otn_{Zentr} \rangle$  – *прецедентов*, в котором элементы множеств  $Otn_{Zentr}$  являются элементами множества  $\{Otn(Pon, \mathfrak{S}, Res)\}$  (понятий, действий и ресурсов). На данном этапе полученные микроситуации еще не являются полными, поскольку элементам множества  $\{Otn(Pon, \mathfrak{S}, Res)\}$  еще не сопоставлены второстепенные понятия.

4. Шаг. *Поиск второстепенных понятий*. В качестве второстепенных понятий могут выступать любые элементы множества кандидатов  $\{kanPon\}$ , независимо от того, попали ли они в множество центральных понятий  $\{Zentr\}$ , множество отношений  $\{Otn(Pon, \mathfrak{S}, Res)\}$  или ни в одно из них. В большинстве случаев второстепенные понятия получают из дополнений к глагольным формам, выделенным ранее. В общем случае второстепенные понятия – это те, на которые ссылаются ассоциации.

Решающее правило представляется в следующем виде:

$$PravResh = Prizn_i,$$

где  $Prizn_i$  – отдельный признак.

При подсчете значения решающего правила  $PravResh$  каждому из признаков  $Prizn_i$  ставится в соответствие значение истины, если данный признак присутствует у понятия, и ложь – в противном случае.

### Выводы

В исследовании предложена модель ситуации, которая имеет априорную неопределенность относительно объектов, для которых случайные события объединены причинно-следственными связями. Это позволяет адаптировать модели контролируемой ситуации и информационно-управляющую среду разнопланового моделирования и управления на основе ГРИД системы для минимизации времени и средств поиска эффективных решений при ликвидации последствий ЧС.

*Научная новизна.* Исследована технология для анализа и управления в чрезвычайных ситуациях, которая обеспечивает рациональный логический вывод и позволяет получить управленческие решения за счет выделения квантов знаний из прецедентной базы микроситуаций. В отличие от существующих она уменьшает риски принимаемых решений при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций с минимальными затратами. Предложен метод для анализа и управления в чрезвычайных ситуациях, который обеспечивает рациональный логический вывод и позволяет получить управленческие решения за счет выделения квантов знаний из прецедентной базы микроситуаций [1-4].

*Практическая значимость.* Полученные в работе результаты исследования обеспечивают необходимый теоретический и практический базис для построения интеллектуальных подсистем принятия решений с минимальным риском для жизнедеятельности человека в условиях возникновения ЧС.

**Список литературы:** 1. *Сироджа И. Б., Куземин А.Я., Штукин М. В.* Многокритериальная оптимизация в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Реєстрація, зберігання і обробка даних. Київ, 2012. Том 14, №2. С. 106 – 115. 2. *Shtukin M.V., Kuzomin O.Ya., Sirodga I.B.* Multi-objective decision making under conditions of uncertainty and Risk of Knowledge Quantum Engineering Means. International Journal // Information Technologies & Knowledge. 2012. Vol.6. № 4. P. 377 - 384. 3. *Kuzomin O.Ya., Lyashenko V.* Microsituation Concept in GMES Decision Support Systems, // Intelligent Data Processing in Global Monitoring for Environment and Security. ITHEA. 2011, Sofia (Bulgaria) and Kiev (Ukraine). P. 217 – 239. 4. *Куземин А.Я., Штукин М.В., Ткаченко Б.К.* Методы и модели принятия решений в интеллектуальных системах для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций // АСУ и приборы автоматики. 2013. Вып. 162. С. 59 – 67.

*Поступила в редакцию 11.09.2013*

**Штукин Михаил Викторович**, аспирант кафедры информатики ХНУРЭ. Научные интересы: интернет-технологии, принятие управляющих решений при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 7021515.