



ISSN 0555-2656

БИОНИКА ИНТЕЛЛЕКТА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2005
1(62)

ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

ТЕМАТИКА:

- алгебро-логические системы
- базы знаний
- генная инженерия
- игры и машинное творчество
- иерархические и динамические системы
- интеллектуальные агенты
- интеллектуальные интерфейсы
- интеллектуальные роботы
- интеллектуальные сети
- лингвистические технологии
- математическая психология
- машинное обучение и эволюция
- методология информатизации
- мозгоподобные ЭВМ
- нейроматематика
- объектное моделирование
- онтологические системы
- параллельная обработка информации
- поиск информации
- понимание
- принятие решений
- распознавание и синтез речи
- распознавание образов
- теория интеллекта
- философия информатизации
- чувственное восприятие
- экспертные системы
- электронная нервная система

Украина, 61166, Харьков-166, просп. Ленина, 14,
Харьковский национальный университет
радиоэлектроники (ХНУРЭ), тел. 702-13-97
nov@kture.kharkov.ua

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

**ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

ISSN 0555-2656

БИОНИКА ИНТЕЛЛЕКТА

ИНФОРМАЦИЯ, ЯЗЫК, ИНТЕЛЛЕКТ

научно-технический журнал

Основан в 1968 г.

№ 1 (62), июль 2005

© Харьковский
национальный
университет
радиоэлектроники,
2005

Свидетельство о государственной регистрации КВ № 9148 от 10.09.2004

Журнал включен в список специальных изданий ВАК Украины по техническим наукам

СОДЕРЖАНИЕ

ГОРОХОВАТСКИЙ А.В., ПУТЯТИН Е.П. ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РАДОНА ДЛЯ НОРМАЛИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ	3
КОКШЕНЕВ И.В., КОЛОДЯЖНЫЙ В.В., ПЛИСС И.П. АЛГОРИТМЫ ОБУЧЕНИЯ ГИБРИДНЫХ НЕО- И НЕЙРО-ФАЗЗИ СИСТЕМ	10
БУРЦЕВ В.Н., ЕРОХИН А.Л. ФОРМАЛИЗАЦИЯ СЛОЖНООРГАНИЗОВАННЫХ СИСТЕМ И РАСПОЗНАВАНИЕ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ. Сообщение 2	15
ВАСИЛЬЕВ Н.Д., ЗИМА И.И., НЕЧАЕВ А.В., СТРЕЛЬЧЕНКО В.И. ЧЕЛОВЕК — ОПЕРАТОР В РОТОРНЫХ ПОЛЯХ	19
БУЛКИН В.И., ШАРОНОВА Н.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА КОМПАРАТОРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЗНАНИЙ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА	27
КОЗУЛЯ Т.В., ШАРОНОВА Н.В. МОДЕЛИ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКОГО РІШЕННЯ І КОНЦЕПЦІЯ КОРПОРАТИВНОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ	31
АВЕРЬЯНОВА Л.А., ГОЛОВЕНКО В.М., СКЛЯР О.И. АНАЛИЗ ТЕЧЕНИЯ БИОЖИДКОСТИ ПО КАНАЛУ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИМПУЛЬСА ДАВЛЕНИЯ	37
СВЕТЛИЧНЫЙ В.И. К ТЕОРИИ АДАПТИВНОГО МЫШЛЕНИЯ	42
ГОРДИЕНКО А.Ю., КОРЯК А.С., ЛЕСНАЯ Н.С., РЕПКА В.Б. ОЦЕНКА КРЕДИТНЫХ РИСКОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ БАНКОВСКИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ АДАПТИВНОЙ РЕЗОНАНСНОЙ ТЕОРИИ	50
ЧЕТВЕРИКОВ Г.Г. АЛГЕБРО-ЛОГІЧНІ ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИРОДНОЇ МОВИ (Повідомлення 2)	56
РОШКА С.А. МЕТОД ИЗВЛЕЧЕНИЯ КЛЮЧЕВЫХ ВЫРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ГРАФОВОЙ МОДЕЛИ СТРУКТУРНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ТЕКСТА	60
РЕВЕНЧУК И.А. ПРИМЕНЕНИЕ АЛГЕБРЫ КОНЕЧНЫХ ПРЕДИКАТОВ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПРОЦЕССА ВЫЧИСЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ МНОГОЧЛЕНОВ НА МНОЖЕСТВЕ М-РАЗРЯДНЫХ ДВОИЧНЫХ КОДОВ	67
ВОЛИК А.В., ГЕРАСИН С.Н. МОДЕЛИ ДИНАМИКИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С КОЛЛЕКТИВНЫМИ ЭФФЕКТАМИ	71
ТИМОФЕЕВ С.П. ПРОБЛЕМА ЗАЦИКЛИВАНИЙ В СХЕМАХ XML W3C	75
РЫБАЛКА А.И., МЕГЕЛЬ Ю.Е. КОМПЬЮТЕРНАЯ МИКРОТЕЛЕФОТОМЕТРИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ	86

УДК 681.3.07

А.В. Гороховатский, Е.П. Путятин

ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РАДОНА ДЛЯ НОРМАЛИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Приведены результаты исследований по разработке методов для вычисления параметров геометрических искажений изображений с использованием интегрального преобразования Радона. Описаны и проанализированы модели и соответствующие алгоритмы для нахождения параметров смещений, поворота и масштаба.

1. Введение

Интегральные преобразования (Фурье, Меллина, Уолша и др.) широко используются в системах технического зрения для вычисления признаков изображений и оценки параметров объектов, содержащихся в изображениях [1]. Достоинствами этих преобразований являются высокая помехозащищенность, избирательные свойства к отдельным характеристикам сигналов [2], наличие быстрых алгоритмов для реализации этих преобразований [3]. Одним из важных направлений повышения эффективности и универсальности методов анализа изображений является использование преобразования Радона [4, 5]. В ряде применений, например, при распознавании электронных подписей с помощью преобразования Радона, удается получить эффективный набор признаков, обеспечивающий высокую вероятность распознавания [5], которую не могут гарантировать другие методы. Кроме того, спектр преобразования Радона естественным образом сочетает возможности анализа как локальных особенностей изображения (анализ вдоль прямых), так и учета его интегральных характеристик.

Цель работы — получение соотношений для параметров геометрических преобразований изображений на базе их радоновских образов, а также построение и анализ соответствующих вычислительных алгоритмов.

Задачи исследования — вывод аналитических зависимостей для оценки параметров преобразований изображений, применение преобразования Радона для решения задач нормализации, сравнение эффективности полученных методов с традиционными подходами, исследование помехозащищенности и вычислительных свойств алгоритмов.

2. Построение преобразования Радона и его свойства

В самом общем плане [6–8] преобразование Радона $R[f]$ определяется как интеграл от функции $f(x) = f(x_1, \dots, x_n)$ в вещественном аффинном пространстве по гиперплоскости $p = (x, \xi)$, задаваемой в виде скалярного произведения

$$p = (x, \xi) = (\xi_1 x_1, \dots, \xi_n x_n),$$

и имеет вид

$$R[f] = \int f(x) \delta(p - (x, \xi)) dx, \quad (1)$$

где $\delta(y)$ — дельта-функция Дирака [8], определяемая условием

$$\int_a^b f(z) \delta(z - v) dz = \begin{cases} 0, & \text{при } v < a \text{ или } v > b, \\ \frac{1}{2} f(v), & \text{при } v = a \text{ или } v = b, \\ f(v), & \text{при } a < v < b, \end{cases}$$

а интегрирование в (1) производится по всему пространству определения функции $f(x)$.

В результате функции $f(x)$ в n -мерном аффинном пространстве путем применения оператора $R[f]$ ставится в соответствие некоторая функция $R(p, \xi)$ величин p, ξ . Для существования интеграла (1) необходимо, чтобы исходная функция $f(x)$ была абсолютно интегрируемой по всему пространству [8]. Это условие всегда выполнено для изображений как функций, имеющих ограниченные значения во всей области определения.

Наиболее распространенное практическое применение получило двумерное преобразование Радона в задачах томографии — реконструкции изображений по проекциям [4, 7]. Для решения этой проблемы применяется параллельное проектирование функции яркости $B(x, y)$ на некоторую ось p вдоль заданного направления t . Этим задается поворот системы координат на некоторый угол θ , связанный с параметрами оси p . Преобразование Радона вычисляется путем интегрирования $B(x, y)$ на ось p (проектирования по направлению t , перпендикулярному оси) в соответствии с рис. 1.

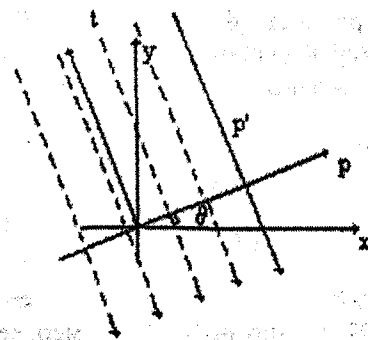


Рис. 1. Схематическая модель параллельного проектирования

Прямая p' , параллельная направлению интегрирования, представима в нормальном виде посредством параметров p и θ : $p' = x \cos \theta + y \sin \theta$.

Тогда выражение (1) формулируется в следующем виде [4, 7]:

$$R(p, \theta) = \iint_{x, y} B(x, y) \delta(p - x \cos \theta - y \sin \theta) dx dy, \quad (2)$$

где p — расстояние от центра координат до фиксированной линии, вдоль которой осуществляется проектирование, θ — угол поворота осей координат. Соотношение (2) получено из (1) подстановкой вектора $\xi = [\cos \theta \sin \theta]$. Интегрирование в (2) осуществляется по некоторой области $D = xy$, где определена функция $B(x, y)$. Считается, что вне области D выполняется условие $B(x, y) = 0$. Заметим, что величина расстояния p в (2) может принимать как положительные, так и отрицательные значения.

В то же время выражение (2) можно записать через проекцию на ось, полученную поворотом системы координат xy на угол θ [5, 6]:

$$R(x', \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} B(x' \cos \theta - y' \sin \theta, x' \sin \theta + y' \cos \theta) dy', \quad (3)$$

где $R(x', \theta)$ — проекция двумерной функции $B(x, y)$ на ось x' . Здесь оси x' и y' задаются поворотом системы координат xy на угол θ против часовой стрелки, т. е.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} +\cos \theta \sin \theta \\ -\sin \theta \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}.$$

Выражения (2), (3) непосредственно могут быть использованы для вычисления преобразования Радона. Интегрирование в (3) так же, как и в (2), осуществляется в пределах области D .

Преобразование Радона не накладывает никаких дополнительных ограничений на функцию изображения и может быть применено к произвольному сигналу из множества изображений [1, 7].

Рассмотрим теперь некоторые важные для нас свойства преобразования Радона.

1. Однородность [8].

Из формулы (1) непосредственно следует, что R есть четная однородная функция от величин ξ, p степени однородности, равной -1 . Это означает, что для любого вещественного числа $\alpha \neq 0$ справедливо следующее равенство

$$R(\alpha p, \alpha \xi) = |\alpha|^{-1} R(p, \xi).$$

Таким образом, чтобы найти все значения функции R , достаточно знать, например, ее значения при $p=1$ и при всех возможных ξ , т. е. функция R фактически зависит от того же числа переменных, что и исходная функция $f(x)$. Это свойство можно

использовать при вычислении произвольных значений $R(p, \xi)$ (или $R(p, \theta)$), имея в памяти лишь сравнительно небольшой фиксированный объем значений.

Свойство однородности можно выразить через параметр θ путем соответствующего масштабирования вектора $\xi = [\cos \theta \sin \theta]$.

2. Периодичность по параметру θ и ограниченность области определения $R(p, \theta)$ размерами области D [8]:

$$R(p, \theta) = R(-p, \theta + \pi) = R(p, \theta + 2\pi),$$

$R(p, \theta) = 0$, если $|p| \geq d$, где d — размер области D .

Это означает, что значения функции $R(p, \theta)$ полностью определяются ее значениями на интервале $0 \leq \theta \leq \pi$, $-d \leq p \leq d$.

3. Связь преобразования Радона с преобразованием Фурье [8].

Преобразование Фурье в n -мерном пространстве сводится к преобразованию Радона и последующему одномерному преобразованию Фурье. Это утверждает известная «теорема о проекциях» [4, 8]. В частности, вычисление двумерного Фурье-преобразования сводится к преобразованию Радона, а затем к операции вычисления Фурье-образа по первой переменной [4]:

$$F(u, v) = \int_{-\infty}^{\infty} R(p, v) e^{ip u} dp.$$

Применяя к этому соотношению обратное одномерное преобразование Фурье, получаем выражение для преобразования Радона через преобразование Фурье:

$$R(p, \theta) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(t, \theta) e^{-it p} dt.$$

Таким образом, в вещественном аффинном пространстве преобразование Радона функции $f(x)$ тесно связано с ее преобразованием Фурье, а именно, одно из другого получается одномерным преобразованием Фурье. Это дает возможность использовать свойства обоих преобразований совместно, а также применять отработанные алгоритмы для одного из преобразований с целью вычисления значений другого преобразования.

3. Компьютерная реализация преобразования

Выражения для преобразования Радона (1–3) сформулированы для непрерывных функций. Практическое же использование радоновских образов осуществляется в дискретном виде [4]. Здесь исходное изображение и его преобразование Радона представляются в виде матриц.

Вычисление преобразования Радона можно осуществить различными способами. Они определяются вариантами сканирования изображения,

дискретизацией параметров p , θ , D . Реальное применение ставит также некоторые дополнительные требования, такие как способ проектирования, технические возможности аппаратуры, способ дальнейшей обработки полученных значений преобразований и др. [4].

Один из подходов состоит в использовании однородности преобразования Радона, когда на базе некоторого набора значений преобразования вычисляется все множество значений. Второй способ состоит в последовательном построении линий интегрирования с определенным шагом для параметров θ или ξ . Третий путь заключается в вычислении преобразования Радона через преобразование Фурье.

Большее предпочтение с точки зрения простоты вычислений и минимизации ошибок дискретизации имеет следующий подход, который заключается в проведении линий интегрирования параллельно оси x или y , последующем пошаговом вращении изображения и снятии показаний с этих линий. Дискретизация по оси p проводится с шагом, равным Δp . Для учета полной информации о дискретном изображении естественно взять $\Delta p = 1$, хотя возможны и другие варианты. При этом изображение на каждом шаге поворачивается на величину шага $\Delta\theta$. При этих предположениях для изображения размера $N \times N$ пикселей получаем $180^\circ/\Delta\theta$ значений для угла θ и N значений для расстояния p . На основании этого строим матрицу преобразования Радона, где значения параметров p и θ расположены в соответствии с рис. 2. Нечетность значения N , которая очевидно предполагается в матрице преобразования, здесь не является принципиальной.

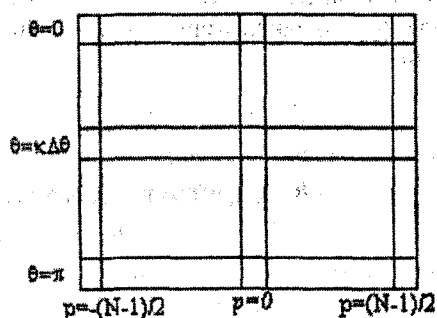


Рис. 2. Вид матрицы преобразования Радона

Возможны и другие варианты построения вычислительных схем для формирования значений преобразования Радона, а также разнообразные комбинации вышеприведенных способов.

4. Определение параметров геометрических искажений

Рассмотрим методы определения параметров для следующих геометрических преобразований

изображений на базе преобразования Радона: a_1, a_2 — смещения по координатным осям, φ — угол поворота, α_1, α_2 — параметры изменения масштаба. Считается, что геометрические преобразования не выводят функцию яркости изображения за пределы области D ее определения [1].

1. Смещение изображения осуществляется путем изменения координат:

$$\begin{cases} x' = x + a_1 \\ y' = y + a_2 \end{cases}$$

Подставляя эти выражения в (2)

$$R(p, \theta, a_1, a_2) = \iint_{x,y} B(x + a_1, y + a_2) \delta(p - x \cos \theta - y \sin \theta) dx dy$$

и учитывая, что изменение изображения под влиянием геометрических преобразований осуществляется внутри области D , делаем замену переменных и получаем следующий вид для радоновского образа:

$$R(p, \theta, a_1, a_2) = \iint_{x',y'} B(x', y') \delta(p - x' \cos \theta - y' \sin \theta + a_1 \cos \theta + a_2 \sin \theta) dx' dy' \quad (4)$$

Из соотношения (4) имеем зависимость радоновского образа от смещений изображения в виде

$$R(p, \theta, a_1, a_2) = R(p + a_1 \cos \theta + a_2 \sin \theta, \theta).$$

Таким образом, смещение изображения приводит к следующему изменению в системе координат (p, θ) :

$$p = p + a_1 \cos \theta + a_2 \sin \theta. \quad (5)$$

Значение параметра θ при этом не изменяется.

В соотношении (5) при условии $\theta = 0^\circ$ имеем $p = p + a_1$, а при $\theta = 90^\circ$ получаем $p = p + a_2$.

Таким образом, значения смещений a_1, a_2 можно определить путем сопоставления значений функции $R(p, \theta, a_1, a_2)$ при фиксированных $\theta = 0^\circ$ и $\theta = 90^\circ$ с соответствующими значениями $R(p, \theta)$ для эталона. Алгоритмы для осуществления этого анализа будут рассмотрены далее.

2. Поворот изображения на угол φ определяется соотношениями:

$$\begin{cases} x' = x \cos \varphi + y \sin \varphi \\ y' = -x \sin \varphi + y \cos \varphi \end{cases}$$

Угол φ считается положительным при повороте против часовой стрелки. После подстановки в (2) и замены переменных имеем:

$$R(p, \theta, \varphi) = \iint_{x',y'} B(x', y') \delta(p - y' \sin(\theta - \varphi) - x' \cos(\theta - \varphi)) dx' dy'. \quad (6)$$

Из выражения (6) видно, что поворот исходного изображения на угол φ приводит к повороту на угол $-\varphi$ его радоновского образа. Это можно было бы предположить, исходя из природы построения преобразования Радона путем поворота оси проектирования. Для определения величины угла φ нужно сравнивать значения преобразований Радона для исходного и повернутого изображений при фиксированном параметре p . С учетом свойства периодичности преобразования Радона при повороте происходит циклическое смещение значений по параметру θ на величину $(-\varphi)$ в каждом столбце преобразования (p фиксировано). Алгоритмы вычисления значения поворота близки к алгоритмам для определения смещения.

3. Изменение масштаба α_1 и α_2 по осям абсцисс и ординат.

После подстановки в (2) формул масштабирования

$$\begin{cases} x' = \alpha_1 x \\ y' = \alpha_2 y \end{cases}$$

получаем выражение для преобразования Радона в зависимости от значений параметров масштаба:

$$R(p, \theta, \alpha_1, \alpha_2) = \frac{1}{\alpha_1 \alpha_2} \iint f(x', y') \delta(p - \frac{x'}{\alpha_1} \cos \theta - \frac{y'}{\alpha_2} \sin \theta) dx' dy'. \quad (7)$$

При однородном масштабировании, когда $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$, выражение (7) упрощается к виду

$$R(p, \theta, \alpha) = \frac{1}{\alpha^2} R(p, \frac{1}{\alpha} \theta). \quad (8)$$

Это означает масштабирование эталона по параметру θ с величиной $1/\alpha$ и последующим умножением значения масштабированного преобразования на коэффициент $1/\alpha^2$. Здесь параметр α можно найти, воспользовавшись, например, одномерным вариантом функционала «площади» $\Phi = \int f(u) du$ [1]. Вычислив значение Φ для эталона и радоновского образа при $p = 0$, получаем выражение для однородного масштаба $\alpha = \Phi_\alpha / \Phi_0$, где в числителе стоит значение функционала для строки преобразования от изображения, в знаменателе — от эталона. Для других значений p значение α будет аналогичным.

Другим вариантом нормализации остается корреляционный метод, который сводится к перебору всевозможных значений масштаба для одномерных функций радоновского образа.

Более сложным для теоретического анализа представляется вариант неоднородного масштабирования, т. е. при $\alpha_1 \neq \alpha_2$. В этой ситуации для определения масштабов нужно сформировать и ре-

шить систему как минимум двух нелинейных уравнений.

Анализ выражения (7) показывает, что при $\theta = 0$ его можно преобразовать к виду

$$R(p, 0, \alpha_1, \alpha_2) = \frac{1}{\alpha_1 \alpha_2} \iint f(x', y') \delta(\frac{\alpha_1 p - x'}{\alpha_1}) dx' dy',$$

где, используя свойство однородности дельта-функции [8] $\delta(\beta x) = \frac{1}{|\beta|} \delta(x)$, $\beta > 0$, получаем

$$R(p, 0, \alpha_1, \alpha_2) = \frac{1}{\alpha_2} \iint f(x', y') \delta(\alpha_1 p - x') dx' dy'. \quad (9)$$

Соотношение (9) используем как базовое при определении масштабов. С этой целью наряду с функционалом Φ для построения системы уравнений можно применить другие известные функционалы, например, $\Psi = \int x f(x) dx$. Анализ показал, что одного функционала Φ даже для разных углов $\theta \neq 0^\circ$ и $\theta = 90^\circ$ недостаточно, т. к. получаются зависимые между собой уравнения. Применяя интегрирование по переменной p в (9) с целью формирования значений функционалов для образа эталона Ψ_0, Φ_0 и для масштабированного образа Ψ_α, Φ_α , имеем соотношения для величин масштаба в следующем виде:

$$\alpha_1 = \frac{\Phi_\alpha^2 \Psi_0}{\Phi_0^2 \Psi_\alpha}, \quad \alpha_2 = \frac{\Phi_0 \Psi_\alpha}{\Phi_\alpha \Psi_0}. \quad (10)$$

Соотношения, аналогичные (10), можно получить и на основании интегрирования выражения $R(p, 90^\circ, \alpha_1, \alpha_2)$, которое имеет вид (9) с заменой α_1 на α_2 .

Кроме описанного подхода, для определения масштабов можно также использовать полный перебор их значений.

5. Алгоритмы

1. Вычисление параметров смещений.

Пусть $R(p, \theta) = R[B(x, y)]$ — преобразование Радона для эталона, а $R(p, \theta, a_1, a_2) = R[B(x + a_1, y + a_2)]$ — для смещенного изображения.

Если помехи отсутствуют или отношение сигнал/шум достаточно велико, то изображение можно представить в бинарном виде, когда информационные точки кодируются значением 1, а точки фона как 0. Для этой идеальной ситуации применяют нормализацию смещений на базе функционалов центра тяжести [1]. Находим центры тяжести векторов $R(p, 0)$ и $R(p, 0, a_1, a_2)$. Их разность дает значение параметра a_1 . Аналогично разность центров тяжести векторов $R(p, 90^\circ)$ и $R(p, 90^\circ, a_1, a_2)$ дает значение параметра a_2 .

При наличии сложного фона или помех лучше применять корреляционный подход [1]. Пусть предполагаемые смещения находятся в диапазоне $a_1, a_2 \in [-L, L]$. Дополним значение вектора $R(p, 0, a_1, a_2)$ L точками в начале и в конце. В результате получим рабочий вектор размером $N + 2L + 1$ точек, по которому и будем осуществлять сканирование вектором $R(p, 0)$ размером N элементов. Для каждого положения сканирования вычисляем некоторую меру сходства двух векторов функций проекций, например, в виде $\mu(a) = \sum_{k=1}^N |R_0(k) - R_1(k)|$, где $R_0(k)$ — вектор эталона, $R_1(k)$ — рабочий вектор. Значение a , при котором величина μ достигает минимума, принимается в качестве смещения a_1 . Аналогичные операции проводим с векторами $R(p, 90^\circ)$ и $R(p, 90^\circ, a_1, a_2)$, в результате находим параметр a_2 .

2. Вычисление параметра поворота.

Пусть $R(p, \theta)$ — преобразование Радона для эталона, а $R(p, \theta - \varphi)$ — для повернутого изображения.

Как и в случае смещений, параметр поворота можно определить по неполному представлению преобразования. Если для смещений необходимы были значения векторов $R(p, 0, a_1, a_2)$ и $R(p, 90^\circ, a_1, a_2)$, то здесь достаточно одного вектора при фиксированном значении p .

Для простых ситуаций применяем функционалы центров тяжести, а в более сложных ситуациях необходимо применение корреляционного метода, связанного либо со сканированием внутри столбца, либо с перебором строк изображения и сопоставления их с одной из строк эталона.

3. Вычисление параметров масштаба.

При однородном масштабировании при значении $p=0$ параметр находится из соотношения $\alpha = \Phi_\alpha / \Phi_0$. Другие столбцы путем усреднения можно использовать для повышения надежности оценки в условиях помех.

При неоднородном масштабе параметры находятся из соотношений (10) или по аналогичным функционалам, построенным на функции $R(p, 90^\circ, \alpha_1, \alpha_2)$. При значительном уровне помех или повышенным требованиям по точности определения параметров следует применять корреляционный метод.

6. Сравнительный анализ быстродействия

Как видим, для вычисления параметров геометрических преобразований достаточно ограниченной информации о радоновском образе изображения и эталоне в виде отдельных строк или столбцов матрицы преобразования Радона, что сводит двумерную задачу к одномерной обработке.

Проанализируем быстродействие и эффективность предложенных и известных методов на примере нахождения параметров смещений. Считаем,

что допустимые значения смещений находятся в интервале $a_1, a_2 \in [-L, L]$, а размер изображения — $N \times N$ пикселей. Общее количество шагов при использовании корреляционного метода в результате будет равно $(2L + 1)^2$.

Для классического корреляционного метода количество вычислений (без учета времени построения текущего изображения) составляет $T_k = (2L + 1)^2 N^2 4t_c$, где t_c — время сложения.

Для классического метода нормализации на базе «центров тяжести», где используются функционалы Φ, Ψ , количество вычислений можно оценить величиной $T_n = 10N^2 t_c$, где для упрощения считается, что время умножения примерно равно величине $3t_c$.

Для метода с использованием преобразования Радона на базе «центров тяжести» количество вычислений составляет

$$T_{pn} = 2N^2 t_c + 10N t_c = 2N t_c (N + 5),$$

где $2N^2 t_c$ — время вычисления двух строк преобразования Радона.

Для корреляционного метода с использованием преобразования Радона время вычислений равно $T_{pk} = 2N^2 t_c + 2(2L + 1)N 4t_c = 2N t_c (N + 8L + 4)$. Конкретно для $L=10$, $N=115$ имеем $T_k = 23328900 t_c$, $T_n = 132250 t_c$, $T_{pn} = 27600 t_c$, $T_{pk} = 45770 t_c$.

Как видим, нормализация с применением преобразования Радона имеет существенные преимущества по скорости вычислений по сравнению с классическими подходами. Для конкретных данных при корреляционном подходе имеем выигрыш более чем в 500 раз, а при нормализации по центрам тяжести — в 4 раза. При этом для радоновских образов время корреляционного метода лишь в 1,5 раза больше, чем для соответствующего метода центров тяжести. В то же время в исходном пространстве изображений это соотношение равно 170. Это дает возможность применять более помехозащищенный корреляционный метод в пространствах Радона без особого усложнения вычислительных проблем.

Использование полной информации о матрице преобразования Радона позволит в дальнейшем усиливать помехозащищенность оценок параметров путем накопления измерений.

7. Эксперименты

На рис. 3 в качестве примера приведено изображение буквы «п» и полученное для него преобразование Радона. Исходное бинарное изображение имеет размеры 115×115 , яркость сигнала равна 0, яркость фона — 255. Центр координат изображения размещен в точке матрицы с координатами [57, 57]. Значения функции преобразования при этом находятся в пределах 0 до 162×255 и пред-

ставлены в виде результирующего полутонного изображения путем соответствующего нормирования амплитуды. В частном случае, когда информационный сигнал кодируется как 1, а фон как 0, максимум значения проекции равен 162, т. к. длина диагонали изображения размером 115 равна $115 \times \sqrt{2} = 162$. Конкретно для бинарного изображения буквы π , использованного в эксперименте, максимум значения проекции был равен 32.

Значение нормирующего коэффициента в интерфейсной части проекта было выбрано равным 10 для обеспечения хорошего визуального анализа результата. В целях удобства все образы преобразования Радона на рисунках представлены в системе координат, когда угол θ увеличивается слева направо.

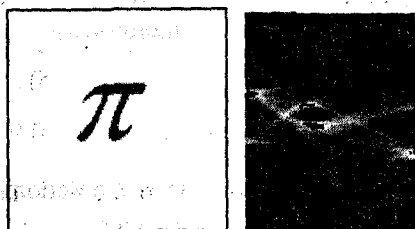


Рис. 3. Изображение и его преобразование Радона

На рис. 4 показаны преобразования Радона для изображения рис. 3, подвергнутого преобразованиям смещения, поворота и масштаба (раздельно).

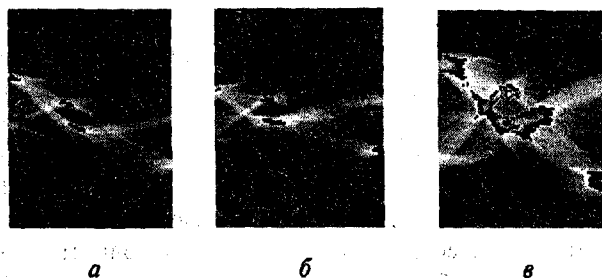


Рис. 4. Преобразования Радона при геометрических преобразованиях изображений:

a — смещения $a_1 = 5, a_2 = -7$, $б$ — поворот $\varphi = -10^\circ$,
 $в$ — масштабы $\alpha_1 = 2, \alpha_2 = 1,5$

Параметры смещений и поворота при отсутствии помех определяются без погрешностей. Параметры масштаба в зависимости от вида и размеров исходного изображения, его относительной площади в поле зрения определяются с относительной погрешностью в пределах 7 %. Аналогичную погрешность имеют и классические методы нормализации смещений [1].

8. Помехозащищенность

Оценка помехозащищенности методов производилась следующим образом [1]. На вход алгоритма подавалась аддитивная смесь изображения и га-

усовского шума с нулевым матожиданием и заданной дисперсией σ^2 . С целью сокращения времени моделирования размер изображения был уменьшен и выбран равным 57×57 , относительный размер объекта в поле зрения (см. рис. 3) составил 12 %. Для упрощения анализа изображение преобразовывалось к бинарному с кодированием: сигнал — 1, фон — 0. Отношение сигнал-шум в результате измеряется в виде $\mu = 1/\sigma$. На рис. 5 приведено зашумленное изображение для $\mu = 2$ и его преобразование.

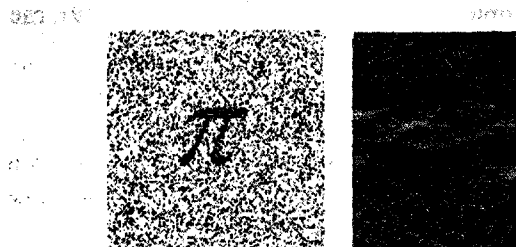


Рис. 5. Зашумленное изображение и его преобразование Радона

Погрешность измерения смещений оценивалась путем усреднения суммы модулей отклонения по обеим координатам от истинного значения в серии экспериментов. В таблице приведены значения погрешностей для разных методов в зависимости от величины μ .

Зависимость погрешности вычисления смещений от соотношения сигнал-шум

Метод \ μ	10	7	5	3	2	1	0,5
Центры тяжести	0,27	0,39	0,55	0,91	1,38	2,85	6,82
Центры тяжести Радона	0,01	0,01	0,01	0,1	0,64	2,23	2,76
Корреляционный	0	0	0	0	0	0,11	0,42
Корреляционный Радона	0	0	0	0	0	0,35	1,3

Как видим из таблицы, метод нормализации по центрам тяжести с использованием преобразования Радона по точности даже несколько лучше, чем классическая нормализация по центрам тяжести. При соотношении сигнал-шум, равном 2, для центров тяжести Радона эта погрешность составляет 0,64 дискрета, в то время как для стандартного метода эта погрешность равна 1,38 дискрета. В то же время классический корреляционный метод по помехозащищенности оказался несколько мощнее, чем корреляция в пространстве Радона. При соотношении сигнал-шум, равном 0,5, погрешность корреляций в пространстве Радона превышает 1 дискрет и равна 1,3, в то время как классический

корреляционный метод дает погрешность 0,42, что меньше 1 дискрета. Не забудем при этом, что корреляции в пространстве Радона осуществляются за время, почти в 500 раз меньшее. Конкретно значения времени вычислений для процессора Celeron 660 составили 4 с и 1850 с.

Заключение

Новизна предложенного подхода состоит в удачном сочетании интегральных свойств преобразования Радона с переходом из двумерного пространства изображений в пространство векторов-проекций, что приводит к повышению показателей эффективности применительно к задачам нормализации. Для определения параметров отдельных групп преобразований (поворот, смещения, масштабы) достаточно данных о преобразовании лишь при $\theta=0$ и $\theta=\pi/2$. Использование полной информации позволит дополнительно усилить помехозащищенность оценок параметров нормализации путем накопления измерений.

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что нормализация путем перехода к радоновским образам существенно уменьшает время вычислений (для корреляционного метода почти в 500 раз), помехозащищенность же описанных методов практически не уступает классическим подходам. При нормализации радоновских образов по центрам тяжести в условиях аддитивных помех имеем одновременное увеличение как быстродействия (в 4 раза), так и точности вычислений параметров по отношению к классическим подходам. Например при соотношении $\mu=3$ погрешности в определении смещений соста-

вили 0,91 и 0,1 соответственно. Перспективным представляется также использование оптимального корреляционного подхода на базе преобразования Радона, так как его применение в этой ситуации практически не увеличивает времени вычислений.

По этим причинам преобразование Радона можно рекомендовать для решения сложных практических задач распознавания и нормализации изображений объектов в условиях помех и фона. Избирательные пространственные свойства преобразования Радона и высокая помехозащищенность дают возможность строить эффективные интеллектуальные методы структурного анализа объектов.

Список литературы: 1. *Путятин Е.П., Аверин С.И.* Обработка изображений в робототехнике. М.: Машиностроение, 1990. 320 с. 2. *Ересько Ю.Н.* Локализация изображений в автоматических визирах. М.: Компания Спутник+, 2002. 357 с. 3. *Ахмед Н., Рао К.Р.* Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов. М.: Связь, 1980. 247 с. 4. *Хермен Г.* Восстановление изображений по проекциям. М.: Мир, 1983. 350 с. 5. *Трипольська В.В.* Класифікація підписів на основі інваріантних моментів простору ознак перетворення Радона // Прикладна геометрія і комп'ютерна графіка, 2002, № 71. С. 235-239. 6. *Radon J.* Über die Bestimmung von Funktionen durch ihre Integral-werte langs gewisser Mannigfaltigkeiten. Ber. Verh. Sachs. Akad. Wiss. Leipzig, Math. Nat. Kl., 69, (1917), 262-277. 7. *Форсайт Д., Понс Ж.* Компьютерное зрение. Современный подход. Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. 928 с. 8. *Гельфанд И.М., Граев М.И., Виленкин М.Я.* Интегральная геометрия и связанные с ней вопросы теории представлений. М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1962. 656 с.

Поступила в редколлегию 27.05.2005

И.В. Кокшенев, В.В. Колодяжный, И.П. Плисс

АЛГОРИТМЫ ОБУЧЕНИЯ ГИБРИДНЫХ НЕО- И НЕЙРО-ФАЗЗИ СИСТЕМ

1. Введение

Гибридные нейро-фаззи системы находят все более широкое применение благодаря уникальному сочетанию таких свойств как интерпретируемость и способность к обучению. Но, к сожалению, существует масса реальных задач, адекватно решаемых нейро-фаззи системами лишь в лабораторных условиях. Причиной этого чаще всего являются высокие требования алгоритмов к вычислительным ресурсам. В связи с этим, в данной работе будет уделено внимание архитектурам и алгоритмам обучения, способным функционировать в режиме последовательного поступления наблюдений.

В работах [1–3] был предложен так называемый нео-фаззи нейрон, являющийся расширением обучаемого формального нейрона и содержащий вместо линейных синаптических весов нелинейные синапсы NS_i , $i = 1, 2, \dots, n$, реализующие нечеткие правила вида

$$\text{IF } x_i \text{ IS } X_{ji} \text{ THEN } f_i(x_i) = \sum_{j=1}^{h_i} \mu_{ji}(x_i) w_{ji},$$

где x_{ji} — лингвистическое значение на i -м входе в antecedенте j -го правила, $\mu_{ji}(x_i)$ — j -тая функция принадлежности i -го входного сигнала, w_{ji} — синглетон в консеквенте j -го правила (настраиваемого синаптического веса), h_i — количество функций принадлежности в i -м нелинейном синапсе NS_i .

При подаче на вход нео-фаззи нейрона векторного сигнала $x(k) = (x_1(k), x_2(k), \dots, x_n(k))^T$ (здесь $k = 1, 2, \dots$ — текущее дискретное время) на его выходе появляется скалярный сигнал

$$y(k) = \sum_{i=1}^n f_i(x_i(k)) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{h_i} \mu_{ji}(x_i(k)) w_{ji}(k), \quad (1)$$

определяемый как значениями функций принадлежности $\mu_{ji}(x_i(k))$, так и настраиваемыми синаптическими весами $w_{ji}(k)$.

На рис. 1 приведена схема нео-фаззи нейрона для случая $n = h_1 = h_2 = h_3 = 3$, при этом авторами конструкции в качестве функций принадлежности предложено использовать треугольные формулы

$$\mu_{ji}(x_i(k)) = \begin{cases} 1 - d_{ji}^{-1} |c_{ji} - x_i(k)|, & \text{если } |c_{ji} - x_i(k)| \leq d_{ji}, \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (2)$$

где c_{ji} , d_{ji} — параметры центра и ширины функции принадлежности μ_{ji} соответственно. Вводя индикатор

$$\delta_{ji} = \begin{cases} 1, & \text{если } |c_{ji} - x_i(k)| \leq d_{ji}, \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

можно переписать (2) в виде

$$\mu_{ji}(x_i(k)) = (1 - d_{ji}^{-1} |c_{ji} - x_i(k)|) \delta_{ji},$$

при этом предполагается, что выполняется условие нормализации

$$\sum_{j=1}^{h_i} \mu_{ji}(x_i(k)) = 1. \quad (3)$$

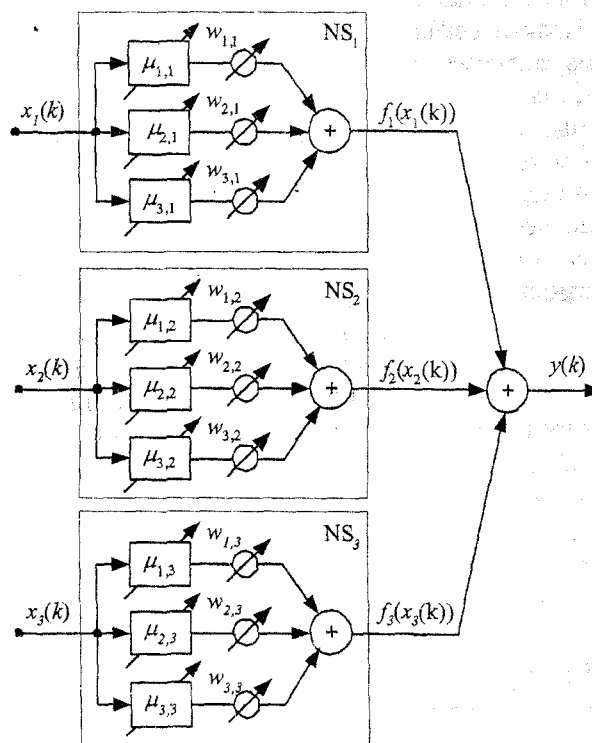


Рис. 1. Схема нео-фаззи нейрона ($n = h_1 = h_2 = h_3 = 3$)

Поскольку условие (3) накладывает достаточно жесткие ограничения на значения параметров функций принадлежности, нелинейный синапс NS_i может быть модифицирован к виду, приведенному на рис. 2, при этом условие нормализации выполняется автоматически, а выходной сигнал нео-фаззи нейрона имеет вид

$$y(k) = \sum_{i=1}^n w_i^T(k) \cdot \frac{\mu_i(x_i(k))}{E_i^T \mu_i(x_i(k))},$$

где

$$\mu_i(x_i(k)) = (\mu_{1i}(x_i(k)), \mu_{2i}(x_i(k)), \dots, \mu_{h_i i}(x_i(k)))^T,$$

$$w_i(k) = (w_{1i}(k), w_{2i}(k), \dots, w_{h_i i}(k))^T, \quad E_i = (1, 1, \dots, 1)^T -$$

$(h_i \times 1)$ -векторы.

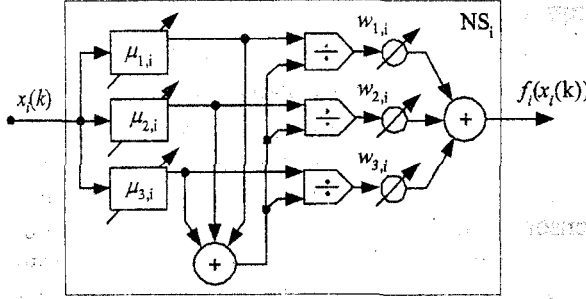


Рис. 2. Модифицированный нечеткий синапс

Для обучения нео-фаззи нейрона было предложено использовать градиентную процедуру минимизации критерия

$$E(k) = \frac{1}{2}(d(k) - y(k))^2 = \frac{1}{2}e^2(k) =$$

$$= \frac{1}{2} \left(d(k) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{h_i} \mu_{ji}(x_i(k)) w_{ji} \right)^2 \quad (4)$$

(здесь $d(k)$ – внешний обучающий сигнал), имеющую вид $w_{ji}(k+1) = w_{ji}(k) + \eta e(k) \mu_{ji}(x_i(k))$, где η – скалярный параметр, определяющий скорость настройки и выбираемый из эмпирических соображений.

В работе [4] была предложена конструкция многовыходового нео-фаззи нейрона и соответствующий алгоритм обучения, а в [5] путем минимизации квадрата апостериорной ошибки обучения синтезирован градиентный оптимальный по быстродействию алгоритм вида

$$w(k+1) = w(k) + \frac{e(k) \mu(x(k))}{\|\mu(x(k))\|^2} = w(k) + e(k) (\mu^T(x(k)))^+$$

и его модификация, обладающая сглаживающими свойствами

$$\begin{cases} w(k+1) = w(k) + \alpha^{-1}(k) \cdot e(k) \cdot \mu(x(k)), \\ \alpha(k+1) = \alpha \alpha(k) + \|\mu(x(k))\|^2, \quad 0 \leq \alpha \leq 1, \end{cases}$$

где $\mu(x(k)) = (\mu_1^T(x_1(k)), \mu_2^T(x_2(k)), \dots, \mu_n^T(x_n(k)))^T$, $w(k) = (w_1^T(k), w_2^T(k), \dots, w_n^T(k))^T$ – $(h \times 1)$ -векторы, $h = \sum_{i=1}^n h_i$, $(\cdot)^+$ – символ псевдообращения, α – параметр сглаживания. Заметим также, что с учетом

введенных обозначений уравнение нео-фаззи нейрона (1) может быть переписано в простом виде:

$$y(k) = w^T(k) \mu(x(k)).$$

2. Нео-фаззи нейрон с настраиваемыми функциями принадлежности

Функциональные возможности нео-фаззи нейрона могут быть существенно расширены, если настраивать не только его синаптические веса w_{ji} , но и параметры центров c_{ji} и ширины d_{ji} , при этом применение градиентной процедуры к критерию (4) ведет к системе рекуррентных соотношений

$$\begin{cases} w_{ji}(k+1) = w_{ji}(k) - \eta^w(k) \frac{\partial E(k)}{\partial w_{ji}}, \\ c_{ji}(k+1) = c_{ji}(k) - \eta^c(k) \frac{\partial E(k)}{\partial c_{ji}}, \\ d_{ji}^{-1}(k+1) = d_{ji}^{-1}(k) - \eta^d(k) \frac{\partial E(k)}{\partial d_{ji}}, \end{cases} \quad (5)$$

или

$$\begin{cases} w_{ji}(k+1) = w_{ji}(k) - \eta^w(k) e(k) \mu_{ji}(x_i(k)), \\ c_{ji}(k+1) = c_{ji}(k) - \eta^c(k) e(k) d_{ji}^{-1}(k) \cdot \\ \quad \cdot \text{sign}(c_{ji}(k) - x_i(k)) w_{ji}(k) \delta_{ji}, \\ d_{ji}^{-1}(k+1) = d_{ji}^{-1}(k) - \eta^d(k) e(k) \cdot \\ \quad \cdot |c_{ji}(k) - x_i(k)| w_{ji}(k) \delta_{ji}, \end{cases} \quad (6)$$

где $\eta^w(k)$, $\eta^c(k)$, $\eta^d(k)$, – параметры шага обучения по соответствующим переменным.

Вводя в рассмотрение векторы

$$c_i(k) = (c_{1i}(k), c_{2i}(k), \dots, c_{h_i i}(k))^T,$$

$$d_i^{-1}(k) = (d_{1i}^{-1}(k), d_{2i}^{-1}(k), \dots, d_{h_i i}^{-1}(k))^T,$$

$$\delta_i = (\delta_{1i}, \delta_{2i}, \dots, \delta_{h_i i})^T, \quad E_i = (1, 1, \dots, 1)^T$$

размерности $(h_i \times 1)$ и

$$c(k) = (c_1^T(k), c_2^T(k), \dots, c_n^T(k))^T,$$

$$d^{-1}(k) = (d_1^{-T}(k), d_2^{-T}(k), \dots, d_n^{-T}(k))^T,$$

$$X(k) = (x_1(k) E_1^T, x_2(k) E_2^T, \dots, x_n(k) E_n^T)^T,$$

$$\delta = (\delta_1^T, \delta_2^T, \dots, \delta_n^T)^T$$

размерности $(h \times 1)$, можно переписать алгоритм обучения (6) в векторной форме:

$$\begin{cases} w(k+1) = w(k) - \eta^w(k) e(k) \mu(x(k)), \\ c(k+1) = c(k) - \eta^c(k) e(k) w(k) \odot d^-(k) \odot \\ \quad \odot \text{sign}(c(k) - X(k)) \odot \delta, \\ d^-(k+1) = d^-(k) - \eta^d(k) e(k) w(k) \odot \\ \quad \odot |c(k) - X(k)| \odot \delta, \end{cases} \quad (7)$$

где $\odot$ — символ скоттова произведения.

Скорость обучения может быть существенно увеличена путем использования вместо градиентной процедуры (5–7) алгоритма Левенберга-Марквардта, который путем введения вспомогательных $(h \times 1)$ -векторов $\mu^c(x(k)) = w(k) \odot d^-(k) \odot \text{sign}(c(k) - x(k)) \odot \delta$, $\mu^d(x(k)) = w(k) \odot |c(k) - X(k)| \odot \delta$ может для данной ситуации быть записан в виде:

$$\begin{cases} w(k+1) = w(k) - e(k) \cdot \\ \quad \cdot (\mu(x(k)) \mu^T(x(k)) + \alpha^w I)^{-1} \mu(x(k)), \\ c(k+1) = c(k) - e(k) \cdot \\ \quad \cdot (\mu^c(x(k)) \mu^{cT}(x(k)) + \alpha^c I)^{-1} \mu^c(x(k)), \\ d^-(k+1) = d^-(k) - e(k) \cdot \\ \quad \cdot (\mu^d(x(k)) \mu^{dT}(x(k)) + \alpha^d I)^{-1} \mu^d(x(k)), \end{cases} \quad (8)$$

где $\alpha^w, \alpha^c, \alpha^d$ — неотрицательные регуляризующие параметры, $I = (h \times h)$ — единичная матрица.

Применив к (8) формулу Шермана-Моррисона и проделав очевидные преобразования [6], можно переписать алгоритм обучения нео-фаззи нейрон в виде:

$$\begin{cases} w(k+1) = w(k) + \frac{e(k) \mu(x(k))}{\alpha^w + \|\mu(x(k))\|^2} = \\ = w(k) + \frac{e(k) \mu(x(k))}{\alpha^w(k)}, \\ c(k+1) = c(k) - \frac{e(k) \mu^c(x(k))}{\alpha^c + \|\mu^c(x(k))\|^2} = \\ = c(k) - \frac{e(k) \mu^c(x(k))}{\alpha^c(k)}, \\ d^-(k+1) = d^-(k) - \frac{e(k) \mu^d(x(k))}{\alpha^d + \|\mu^d(x(k))\|^2} = \\ = d^-(k) - \frac{e(k) \mu^d(x(k))}{\alpha^d(k)}, \end{cases} \quad (9)$$

в котором с целью придания процессу обучения дополнительных сглаживающих свойств переменные $\alpha^w(k)$, $\alpha^c(k)$, $\alpha^d(k)$ могут вычисляться согласно соотношениям

$$\begin{cases} \alpha^w(k+1) = \alpha^w(k) + \|\mu(x(k+1))\|^2, \\ \alpha^c(k+1) = \alpha^c(k) + \|\mu^c(x(k+1))\|^2, \\ \alpha^d(k+1) = \alpha^d(k) + \|\mu^d(x(k+1))\|^2, \\ 0 \leq \alpha \leq 1. \end{cases} \quad (10)$$

3. Радиально-базисная нейронная сеть с настраиваемыми функциями активации

В случае, если аппроксимирующие свойства нео-фаззи нейрона не обеспечивают требуемого качества решения задачи, используя технику «Tensor Product Construction» [7] и введенные алгоритмы обучения (9), (10), можно построить радиально-базисную нейронную сеть, в которой радиально-базисные многомерные функции активации формируются одномерными функциями принадлежности. Схема такой нейронной сети для случая $n = h_1 = h_2 = h_3 = 3$ приведена на рис. 3.

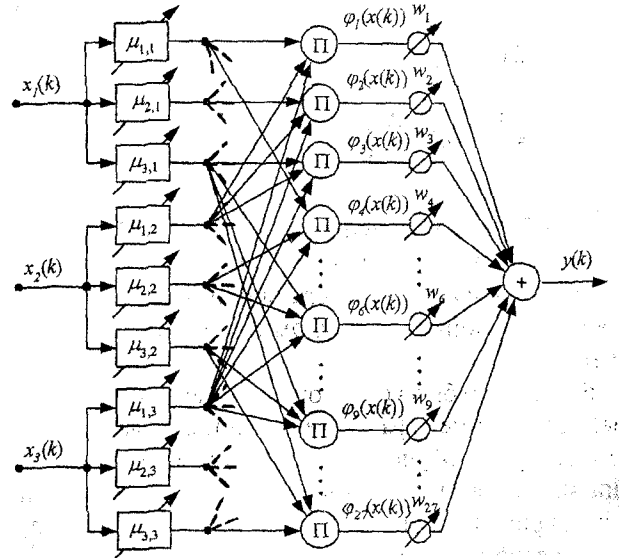


Рис. 3. Радиально-базисная нейронная сеть с настраиваемыми функциями активации

Естественно, что количество настраиваемых синаптических весов в подобной архитектуре много больше, чем у нео-фаззи нейрона и равно $h = \prod_{i=1}^n h_i$. Однако число параметров центров (и шин соответственно) здесь составляет всего $\sum_{i=1}^n h_i$, что упрощает процесс обучения по сравнению с обычной радиально-базисной нейронной сетью [8].

Выходной сигнал этой сети вычисляется согласно выражению

$$y(k) = \sum_{i=1}^h w_i(k) \varphi_i(x(k)),$$

где

$$\varphi_l(x(k)) = \mu_{j_1 1}(x_1(k)) \mu_{j_2 2}(x_2(k)) \cdots \mu_{j_n n}(x_n(k)) = \prod_{i=1}^n \mu_{j_i i}(x_i(k)),$$

$l=1, 2, \dots, h$, $j_i=1, 2, \dots, h_i$, а в качестве критерия может использоваться квадратичная форма (4), принимающая в данном случае вид

$$E(k) = \frac{1}{2} e^2(k) = \frac{1}{2} \left(d(k) - \sum_{l=1}^h w_l \varphi_l(x(k)) \right)^2 = \frac{1}{2} \left(d(k) - \sum_{l=1}^h w_l \prod_{i=1}^n \mu_{j_i i}(x_i(k)) \right)^2.$$

Вводя в рассмотрение производные по настраиваемым параметрам

$$\begin{cases} \frac{\partial E(k)}{\partial w_l} = -e(k) \varphi_l(k), \\ \frac{\partial E(k)}{\partial c_{j_i i}} = e(k) \sum_{l=1}^h w_l \left(\prod_{i=1}^n \mu_{p_i i}(x_i(k)) \right) d_{j_i i}^{-1} \text{sign}(c_{j_i i} - x_i(k)) \delta_{j_i i}, \\ \frac{\partial E(k)}{\partial d_{j_i i}^{-1}} = e(k) \sum_{l=1}^h w_l \left(\prod_{i=1}^n \mu_{p_i i}(x_i(k)) \right) |c_{j_i i} - x_i(k)| \delta_{j_i i}, \end{cases}$$

(здесь $\mu_{p_i i}(x_i(k)) = (1 - d_{j_i i}^{-1} |c_{j_i i} - x_i(k)|) \delta_{j_i i}$; $j_i=1, 2, 3, \dots, h_i$; $p_i \neq j_i$), несложно записать градиентную процедуру типа (6) в виде:

$$\begin{cases} w_l(k+1) = w_l(k) + \eta^w(k) e(k) \varphi_l(k), \\ c_{j_i i}(k+1) = c_{j_i i}(k) - \eta^c(k) e(k) \sum_{l=1}^h w_l(k) \left(\prod_{i=1}^n \mu_{p_i i}(x_i(k)) \right) d_{j_i i}^{-1}(k) \text{sign}(c_{j_i i} - x_i(k)) \delta_{j_i i}, \\ d_{j_i i}^{-1}(k+1) = d_{j_i i}^{-1}(k) - \eta^d(k) e(k) \sum_{l=1}^h w_l(k) \left(\prod_{i=1}^n \mu_{p_i i}(x_i(k)) \right) |c_{j_i i} - x_i(k)| \delta_{j_i i}. \end{cases} \quad (11)$$

Вводя в рассмотрение $(h \times 1)$ -векторы: $c(k)$, содержащий все параметры центров $c_{j_i i}(k)$, $d^{-}(k)$, содержащий все параметры ширины $d_{j_i i}^{-1}(k)$; а также $-\varphi^c(x(k))$ с компонентами

$$\sum_{l=1}^h w_l(k) \left(\prod_{i=1}^n \mu_{p_i i}(x_i(k)) \right) d_{j_i i}^{-1}(k) \text{sign}(c_{j_i i} - x_i(k)) \delta_{j_i i};$$

и $-\varphi^d(x(k))$ с компонентами

$$\sum_{l=1}^h w_l(k) \left(\prod_{i=1}^n \mu_{p_i i}(x_i(k)) \right) |c_{j_i i} - x_i(k)| \delta_{j_i i}$$

для всех возможных сочетаний $j_i=1, 2, \dots, h_i$, $i=1, 2, \dots, n$, а также $(h \times 1)$ -вектор $w(k)$, образованный всеми синаптическими весами сети, можно переписать соотношение (11) в векторной форме, полностью совпадающей с выражениями (9), (10).

Несмотря на простоту такой архитектуры, следует помнить, что все радиально-базисные сети подвержены «проклятию размерности» и, как следствие, резкой потере скорости обучения. В связи с этим при больших размерностях входного пространства целесообразно использование иных архитектур, содержащих меньшее число настраиваемых параметров.

4. Нейро-фаззи сеть с настраиваемыми функциями принадлежности

Резкое сокращение количества настраиваемых параметров может быть достигнуто путем применения нейро-фаззи сети Ванга-Менделя [9,10], схема которой без выходного слоя нормализации для случая $n=h_1=h_2=h_3=3$ приведена на рис. 4.

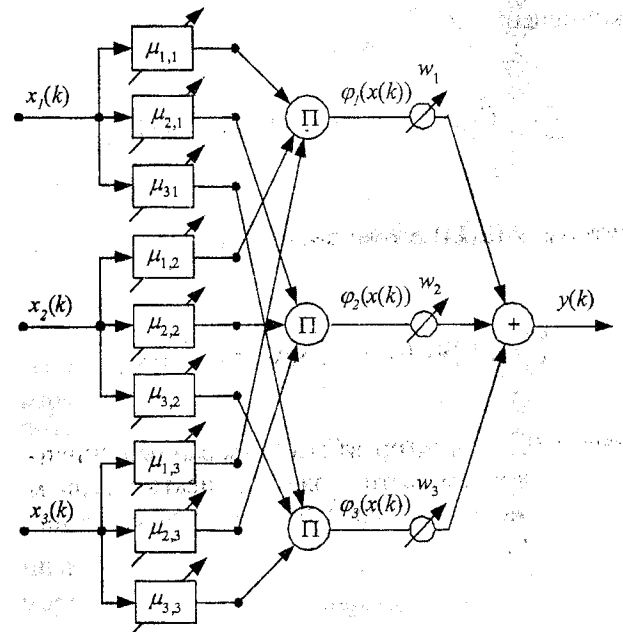


Рис. 4. Нейро-фаззи сеть с настраиваемыми функциями принадлежности

Данная сеть осуществляет отображение

$$y(k) = \sum_{l=1}^h w_l(k) \varphi_l(x(k)),$$

где

$$\begin{aligned} \varphi_l(x(k)) &= \mu_{1l}(x_1(k)) \mu_{2l}(x_2(k)) \cdots \mu_{nl}(x_n(k)) = \\ &= \prod_{i=1}^n \mu_{li}(x_i(k)), \quad l=1, 2, \dots, h_l. \end{aligned}$$

Принимая в качестве критерия обучения квадратичную форму

$$E(k) = \frac{1}{2} e^2(k) = \frac{1}{2} \left(d(k) - \sum_{l=1}^h w_l \prod_{i=1}^n \mu_{li}(x_i(k)) \right)^2 =$$

$$= \frac{1}{2} \left(d(k) - \sum_{l=1}^h w_l \mu_{l1}(x_1(k)) \mu_{l2}(x_2(k)) \dots \mu_{ln}(x_n(k)) \right)^2,$$

вводя производные

$$\begin{cases} \frac{\partial E(k)}{\partial w_l} = -e(k) \varphi_l(k), \\ \frac{\partial E(k)}{\partial c_{li}} = e(k) \sum_{l=1}^h w_l \left(\prod_{\substack{i=1 \\ p \neq i}}^n \mu_{pi}(x_i(k)) \right) d_{li}^{-1} \text{sign}(c_{li} - x_i(k)) \delta_{li}, \\ \frac{\partial E(k)}{\partial d_{li}^{-1}} = e(k) \sum_{l=1}^h w_l \left(\prod_{\substack{i=1 \\ p \neq i}}^n \mu_{pi}(x_i(k)) \right) |c_{li} - x_i(k)| \delta_{li}, \end{cases}$$

векторы размерности $(h \times 1): c(k); d^-(k); \varphi^c(x(k))$
с компонентами

$$\sum_{l=1}^h w_l \left(\prod_{\substack{i=1 \\ p \neq i}}^n \mu_{pi}(x_i(k)) \right) d_{li}^{-1} \text{sign}(c_{li} - x_i(k)) \delta_{li};$$

векторы $\varphi^d(x(k))$ с компонентами

$$\sum_{l=1}^h w_l \left(\prod_{\substack{i=1 \\ p \neq i}}^n \mu_{pi}(x_i(k)) \right) |c_{li}(k) - x_i(k)| \delta_{li},$$

а также $(h \times 1)$ -вектор $w(k)$, образованный синаптическими весами сети, можно записать алгоритм обучения полностью совпадающий с выражениями (9), (10).

5. Заключение

Предложена унифицированная форма алгоритма обучения нео-фаззи нейрона, радиально-базисной и нейро-фаззи сетей, позволяющая настраивать в реальном времени не только синаптические веса, но и параметры функции принадлежности (активации). Алгоритм прост в численной реализации, обладает высокой скоростью сходимости и дополнительными сглаживающими свойствами.

Список литературы: 1. Yamakawa T., Uchino E., Miki T., Kusanagi H. A neo fuzzy neuron and its applications to system identification of the system behavior // Proc. 20th Int. Conf. on Fuzzy Logic and Neural Networks "IIZUKA-92", Iizuka, Japan, 1992. P. 477-483. 2. Uchino E., Yamakawa T. Soft computing based signal prediction, restoration, and filtering / Ed. Da Ruan "Intelligent Hybrid Systems: Fuzzy Logic, Neural Networks, and Genetic Algorithms". Boston: Kluwer Academic Publishers, 1997. P. 331-349. 3. Miki T., Yamakawa T. Analog implementation of neo-fuzzy neuron and its on board learning / Ed. N.E Mastorakis "Computational Intelligence and Applications". Piraeus: WSES Press, 1999. P. 144-149. 4. Landim R.P., Rodrigues B., Silva S.R., Matos W. Neo-fuzzy neuron with real time training applied to flux observer for an induction motor // Proc. V-th Brazilian Symp. On Neural Networks. Belo Horizonte, Brasil. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society, 1998. P. 67-72. 5. Bodyanskiy Ye., Kokshenev I., Kolodyazhnyi V. An adaptive learning for a neo fuzzy neuron // Proc. Third Conf. European Soc. Fuzzy Logic and Technology "EUSFLAT 2003" Zittau, 2003. P. 375-379. 6. Bodyanskiy Ye., Kolodyazhnyi V., Stepani A. An adaptive learning algorithm for a neuro fuzzy network / Ed. B. Reusch "Computational Intelligence. Theory and Applications". Berlin-Heidelberg-New York: Springer, 2001. P. 68-75. 7. Nelles O. Nonlinear Systems Identification. Berlin: Springer, 2001. 785 p. 8. Haykin S. Neural Networks. A Comprehensive Foundation. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, Inc., 1999. 842 p. 9. Wang L. Adaptive Fuzzy Systems and Control. Design and Stability Analysis. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1994. 10. Verbruggen H.B., Babuska R. Constructing fuzzy models by product space clustering / Eds. H. Hellendorn, D. Dryakhnov "Fuzzy Model Identification". Berlin: Springer, 1998. P. 53-90.

Поступила в редакцию 14.04.2005

УДК 681.518:004:912

В.Н. Бурцев, А.Л. Ерохин

ФОРМАЛИЗАЦИЯ СЛОЖНООРГАНИЗОВАННЫХ СИСТЕМ И РАСПОЗНАВАНИЕ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ. СООБЩЕНИЕ 2

1. Введение

В работе [1] было введено понятие флуктуационной капсулы, представленной в виде «упругой» оболочки, натянутой на вершины многомерных многогранников, образованных векторами параметров сложно-организованных систем (СОС). Векторы задаются множеством линейных уравнений в трехмерном пространстве, а их скалярные переменные определяют изменение амплитуд их флуктуаций.

В [2] рассмотрен первый этап решения задачи построения способа отображения множества параметров сложно-организованной системы. Предложена модель взаимодействия метрических и нормированных параметров системы со стохастическими возмущениями. Проведен анализ проекций векторов параметров СОС на двумерном множестве. Показано, что объектом теоретических и экспериментальных исследований классификации внештатных и аварийных ситуаций в СОС является определение множества связей—отношений между метрическими и нормированными параметрами со стохастическими возмущениями и влиянием психофизиологических состояний лица, принимающего решения (ПФС ЛПР).

На основе формализованной модели флуктуационной капсулы векторы параметров СОС можно представить в виде множества проекций линейных зависимостей, проходящих через центр капсулы и отображаемых на ее сферической поверхности.

Цель исследования — разработка модели взаимодействия сложно-организованной системы со стохастическими возмущениями и создание на ее основе способа визуализации параметров режимов работы сложно-организованных канализированных систем при нештатных ситуациях. Продолжая начатые в [1] и [2] исследования, необходимо решить следующую задачу — разработать теоретическую модель визуализации стохастических возмущений, которую можно использовать для разработки критериев классификации предаварийных и аварийных ситуаций в СОС.

2. Разработка теоретической модели. Этап 2

Рассмотрим смещение векторов внутри флуктуационной капсулы в результате воздействия на них стохастических возмущений. Зададим подмножество векторов флуктуаций, например, технологических параметров

$$\vec{\varphi}_I = f(a_i, b_i, c_i, \Delta\varphi_i); \Delta\varphi_i \leq 1.0, \quad (1)$$

где a_i, b_i, c_i — упорядоченные по меридианам и широтам единичной сферы угловые коэффициенты векторов; $\Delta\varphi_i \leq 1.0$ — нормированные скалярные переменные векторов.

Введем упорядоченность векторов a_{ij}, b_{kl}, c_{rp} , где $(i, j), (l, m), (r, p) = 1, 2, 3, \dots$ определяют упорядоченное положение вектора по широте и долготе шара.

На основании выбранной упорядоченности составим систему линейных функций и зададим положение векторов в трехмерном метрическом пространстве в виде множества N -линейных зависимостей

$$\begin{aligned} \vec{\varphi}_1 &= a_{11}x + b_{12}y + c_{13}z = 0; \Delta\varphi_1 \leq 1.0, \\ &\dots \dots \\ \vec{\varphi}_j &= a_{j1}x + b_{j2}y + c_{j3}z = 0; \Delta\varphi_j \leq 1.0, \\ &\dots \dots \\ \vec{\varphi}_n &= a_{n1}x + b_{n2}y + c_{n3}z = 0; \Delta\varphi_n \leq 1.0 \end{aligned} \quad (2)$$

с общей точкой пересечения $(0, 0, 0)$.

Для штатных ситуаций угловые коэффициенты a_{ij}, b_{kl}, c_{rp} сохраняют свои значения. С учетом изоморфизма проективного отображения [2] отображим подмножество векторов параметров (2) на сферической поверхности единичной сферы (на касательной плоскости), при этом проективные отображения $\vec{\varphi}_i$ векторов совместно со скалярными переменными параметров управления $\pm\Delta\zeta_j$ изоморфны $\vec{\varphi}_i$ и скалярной переменной $\pm\Delta\zeta_j^*$:

$$\vec{\varphi}_i(\varphi_i \pm \Delta\zeta_j) \leftrightarrow \vec{\varphi}_i^*(\varphi_i^* \pm \Delta\zeta_j^*). \quad (3)$$

Выражение (3) определяет возможность анализа изменений проекций векторов и их флуктуаций для распознавания предаварийных и аварийных ситуаций.

Считаем, что при взаимодействии метрических технологических параметров $\varphi_i \pm \Delta\zeta_j$ и параметров планирования $\theta_L \pm \Delta\mu_N$ со стохастическими воздействиями t_S возможны следующие ситуации: — скалярные переменные φ_i, θ_L векторов $\vec{\varphi}_i, \vec{\theta}_L$ и сами вектора не выходят за пределы единичного интервала;

— скалярные переменные φ_i, θ_L векторов $\vec{\varphi}_i, \vec{\theta}_L$ не выходят за пределы единичного интервала, а век-

торы изменяют свои направления внутри единичного шара;

— скалярные переменные φ_I, θ_L выходят за пределы единичного интервала, векторы $\vec{\varphi}_I, \vec{\theta}_L$ изменяют свое положение.

Ввиду того, что стохастические процессы являются фактором неопределенности, характер процесса их взаимодействия с параметрами является стохастическим. Следовательно, положения проекций векторов оказываются распределенными стохастическим образом внутри основания конуса $(\Phi^2) \leftrightarrow (\Phi^{2*})$, образованного вращением векторов с вершиной $(0,0,0)$, спроецированного на сферической поверхности флуктуационной капсулы.

Для удобства изложения проекцию основания конуса на поверхности сферы (на касательную плоскости) используем понятие прецессии. Если в качестве двумерной области прецессии (Φ_n^2) выбрать эллипс (рис. 1), то его большой диаметр $D_{\max}$ соответствует проекции открытого интервала изменений амплитуд флуктуаций на линейном единичном интервале

$$\begin{aligned} (\varphi_I - \Delta_{\max}) &\leq \varphi_I \leq (\varphi_I + \Delta_{\max}), \\ (\theta_L - \Delta_{\max}) &\leq \theta_L \leq (\theta_L + \Delta_{\max}), \\ (\pm \Delta_{\max}) &\in D_{\max} \subset (\Phi_m^2). \end{aligned} \quad (4)$$

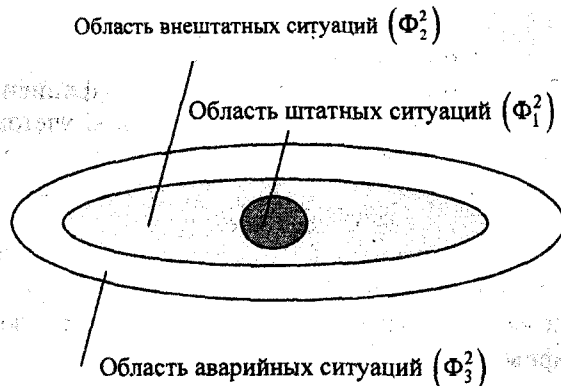


Рис. 1. Двумерная область прецессии

Тогда будем предполагать, что малый диаметр прецессии $D_{\min}$ будет определять максимальное значение флуктуаций векторов $\vec{\varphi}_I, \vec{\theta}_L$ в открытых интервалах

$$\begin{aligned} (\varphi_I - \Delta_{\min}) &\leq \varphi_I \leq (\varphi_I + \Delta_{\min}), \\ (\theta_L - \Delta_{\min}) &\leq \theta_L \leq (\theta_L + \Delta_{\min}), \\ (\Delta_{\min}) &\in D_{\min} \subset (\Phi_n^2). \end{aligned} \quad (5)$$

Рассмотрим полную область прецессии $V^2 = \bigcup_{I=1}^3 \Phi_I^2$. Так как область Φ_1^2 штатных режимов функционирования СОС является управляемой,

исключим ее из первичного анализа и рассмотрим двумерное множество

$$V^{2*} = V^2 / \Phi_1^2 = \Phi_2^2 \cup \Phi_3^2, \quad (6)$$

где $\overline{\Phi_1^2}$ — замыкание множества, характеризующего штатные ситуации.

Полученные три открытых подмножества

$$(\Phi_1^2) \subset (\Phi_2^2) \subset (\Phi_3^2) \quad (7)$$

могут быть принятыми в качестве базовых критериев для классификации внештатных ситуаций.

Для удобства дальнейшего рассмотрения модели предположим, что распределение вершин векторов параметров СОС внутри области V^{2*} при взаимодействии со стохастическими нагрузками — равномерное. Такое предположение базируется на двух посылах:

- 1) стохастические процессы являются факторами неопределенности и не описываются законами теории вероятности;
- 2) взаимодействия параметров СОС со стохастическими возмущениями носят стохастический характер.

Если исключить на время применение одного из базовых положений синергетики о резонансном хронотопе [3, 4], то правило равномерности распределения стохастических возмущений определяет одинаковую вероятность взаимодействия как с одним из параметров СОС, так и со всеми вместе. Результатом такого взаимодействия в принятой модели является «перемещение» проекции, по крайней мере, одного из векторов на поверхности флуктуационной капсулы.

Естественно, что при исследованиях систем связей — отношений между параметрами СОС и стохастическими возмущениями могут быть установлены другие закономерности распределения возмущающих сил, отличные от равномерных, и может быть выделен ряд промежуточных критериев перехода СОС из мета устойчивого состояния в неустойчивое.

Однако в любом случае целью исследований является разработка критериев распознавания переходов параметров системы из одного состояния в другое при и после воздействии стохастических возмущений.

Наиболее простым вариантом является определение замыкания множества $\overline{\Phi_2^2}$ в качестве верхней границы перехода СОС из области предаварийных ситуаций в аварийные. Для этого возможно использование математического аппарата нечеткой логики [5, 6].

Рассмотрим поведение СОС в случае воздействия стохастических возмущений

$$t_i \Rightarrow \varphi_i \pm \Delta_{\max}, \quad (8)$$

когда скалярные переменные векторов параметров выходят за границы единичного интервала. При таком взаимодействии, как было предложено, вектор параметра изменяет свое положение.

При этом изменение амплитуды флуктуации (8) вызывает появление на оболочке единичного шара локального «выброса» с некоторым импульсом, как это представлено на рис. 2.

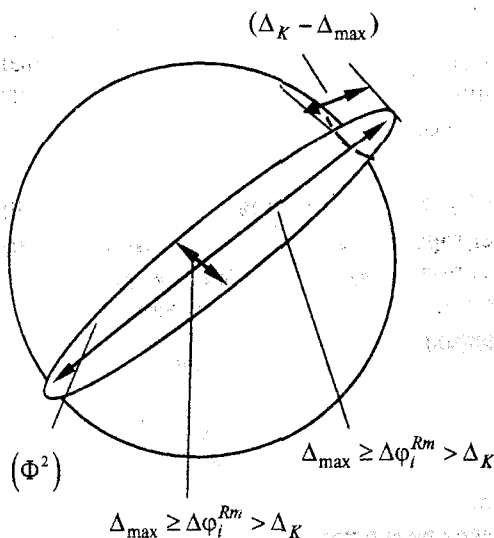


Рис. 2. Флуктуационная капсула с локальным выбросом

При «выбросе» амплитуды скалярной переменной за пределы интервала (8) возможны следующие варианты поведения системы:

- 1) флуктуация параметра имеет «большое» значение амплитуды, но время жизни флуктуации мало, и система, за счет параметров управления, быстро возвращается в метастабильное состояние;
- 2) флуктуация параметра имеет «малое» значение амплитуды с «большим» временем воздействия на флуктуационную капсулу, однако системы управления и поддержки принятия решения возвращают систему из предаварийного состояния в исходное;
- 3) флуктуация параметра имеет «большие» значения амплитуды и длительное время воздействия, приводящие систему к переходу из предаварийного в аварийное состояние.

Определения «большие» и «малые» значения амплитуд и времени воздействия являются относительными и заданы в терминах нечеткой логики. Для вариантов 1 и 2 величина «выброса» амплитуды $(\Delta_K - \Delta_{\max})$ параметра Φ_I не нарушает регулярности оболочки единичного шара и в дальнейшем это будет означать, что аварийная ситуация в СОС не возникает. Для варианта 3 — регулярность оболочки может быть нарушена, что означает вероятность выхода в аварийное состояние. В формальном виде три варианта поведения системы задаются в виде:

$$\begin{aligned} \forall (\Phi_I \leftrightarrow \varsigma_K), \vec{\Phi}_I \in (\Phi^2)_1; \quad (t_L), (p_{PS}) \simeq 0\ddot{x}, \\ \forall (\Phi_I \leftrightarrow \varsigma_K), \vec{\Phi}_I \in (\Phi^2)_2; \quad (t_L)_{\min}, (p_{PS})_{\min} \neq 0, \\ \dots\dots\dots \\ \forall (\Phi_I \leftrightarrow \varsigma_K) \in (\Phi^2)_3; \quad (t_L)_{\max}, (p_{PS})_{\max} \gg 0, \\ (I, K) = 0, 1, \dots, N, \end{aligned} \quad (9)$$

где $(\Phi_I \leftrightarrow \varsigma_K)$ — функционально связанные технологические параметры и параметры управления; $(t_L), (p_{PS})$ — интенсивности стохастических возмущений и выход ПФС ЛПР за доверительные интервалы их оптимальности.

Изоморфизм проективных отображений присущ всем метрическим и нормированным подмножествам параметров СОС, включая параметры планирования θ_L и корректировок $\Delta \mu_N$. Сформируем подмножество проекций параметров на поверхности единичного шара и, в силу изоморфности проективного отображения, имеем подмножества, изоморфные друг другу

$$\begin{aligned} \Phi_I \leftrightarrow \Phi_I^*, \varsigma_J \leftrightarrow \varsigma_J^*, \theta_K \leftrightarrow \theta_K^*, \mu_N \leftrightarrow \mu_N^* \\ \vec{\Phi}_I \leftrightarrow \vec{\Phi}_I^*, \vec{\varsigma}_J \leftrightarrow \vec{\varsigma}_J^*, \vec{\theta}_K \leftrightarrow \vec{\theta}_K^*, \vec{\mu}_N \leftrightarrow \vec{\mu}_N^* \end{aligned} \quad (10)$$

где $\Phi_I^*, \varsigma_J^*, \theta_K^*, \mu_N^*$ — проекции отображений скалярных переменных на сферической поверхности или на касательной плоскости; $\vec{\Phi}_I^*, \vec{\varsigma}_J^*, \vec{\theta}_K^*, \vec{\mu}_N^*$ — проекции проективных отображений векторов на сферической поверхности или касательной плоскости.

На рис. 3. показана графическая аналогия выражения 10, где Δ прец. обозначена прецессия параметра Φ_K , находящегося под воздействие стохастического возмущения. Скалярные переменные соответствующих параметров отображаются на сферической поверхности 1 трехмерного шара или на поверхности касательной плоскости 2. При воздействии стохастической нагрузки происходит, например, смещение вектора $\vec{\Phi}_K$ на некоторый угол. Так как по условию построения формальной модели вектор проходит через начало координат, то в его первоначальное положение может быть представлено линейной зависимостью

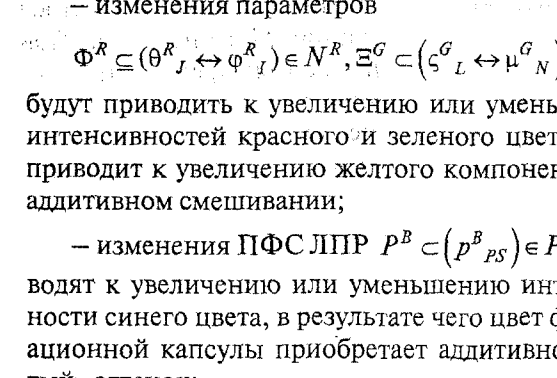
$$a_K x + b_K y + c_K z = 0. \quad (11)$$

После смещения новое положение вектора $\vec{\Phi}_{K+1}$ также может быть представлено аналогичным выражением

$$a_{K+1} x + b_{K+1} y + c_{K+1} z = 0. \quad (12)$$

Две тройки значений угловых коэффициентов для линейных выражений могут быть приняты в качестве исходного материала для распознавания внештатной ситуации

$$(a_K, b_K, c_K), (a_{K+1}, b_{K+1}, c_{K+1}). \quad (13)$$



– при наличии стохастических возмущений $(\pm B) \gg 0$ за счет подвешивающей области при

3. **Выводы**

1. На основе анализа формализованной модели флукуационной капсулы предложено представлять векторы параметров СОС в виде мно-

проекций линейных зависимостей, проходящих через центр капсулы и отображаемых на ее внешней поверхности.

2. В формальную модель введено понятие проекции вектора параметра СОС, находящегося во взаимодействии со стохастическим

мушающей силой, представленной в виде
того примерного множества, биектоморфного

3. Предложены базовые критерии расп-
 ния предаварийных и аварийных ситуаций,
 стве критериев выбраны замыкания открыт-
 жеств прецессий параметров, определяемых
 ством математического аппарата нечеткой л-

4. Для формальной модели введена ц-
 параметризация, позволяющая при монит-

СОС наглядно представить поведение СО на ническом режиме изменения параметро после воздействия стохастических возмущен стимулирует базовую функцию внимания J

В.Н.Бурцев. Формализация сложноорганизованного поведения в чрезвычайных ситуациях и распознавание аварийных ситуаций. Сообщения Бюро по информатике, модели, теории управления. 2004. Вып. 60. С. 7-16.

С. 74-77. 3. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Син как новое мировоззрение. Диалог с И. Пригоже. Вопросы философии, 1992, №12. 4. Колесников

- Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с

Радио и связь, 1982. 432 с.
Поступила в редколлегию 10

$$\Phi^R \subseteq (\theta^R_J \leftrightarrow \varphi^R_I) \in N^R, \Xi^G \subset (\zeta^G_L \leftrightarrow \mu^G_N)$$

— изменения ПФС ЛПР $P^B \subset (P^B_{PS}) \in F$ вводят к увеличению или уменьшению интенсивности синего цвета, в результате чего цвет селекционной капсулы приобретает аддитивный «оттенок»;

— при наличии стохастических возмущений $(t^B_l) \gg 0$ за счет появления областей прецессий векторов в окраске флуктуационной капсулы будут появляться разнообразные дополнительные оттенки, отличные от аддитивно белого.

1. На основе анализа формализованной модели флуктуационной капсулы предложено представлять векторы параметров СОС в виде множества проекций линейных зависимостей, проходящих через центр капсулы и отображаемых на ее сферической поверхности.

3. Предложены базовые критерии распознавания предаварийных и аварийных ситуаций, в качестве критериев выбраны замыкания открытых множеств прецессий параметров, определяемых посредством математического аппарата нечеткой логики.

Список литературы: 1. *Бондаренко М.В., Ерохин А.Л.* Про моделі позаштатної поведінки інтелектуальних систем // Проблеми біоніки. 2004. Вип. 60. С. 7-16. 2. *А.Л. Ерохин, В.Н. Бурцев.* Формализация сложноорганизованных систем и распознавание аварийных ситуаций. Сообщение 1 // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. 2004. № 1. С. 74-77. 3. *Князева Е.Н., Курдюмов С.П.* Синергетика как новое мировоззрение. Диалог с И. Пригожиным // Вопросы философии, 1992, №12. 4. *Колесников А.А.* Синергетическая теория управления. М.: Энергоатомиздат, 1994. 343 с. 5. *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: Пер. с фр. М.: Мир, 1976. 165 с. 6. *Козман А.* Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с фр. М.: Радио и связь, 1982. 432 с.

18

УДК 538.00.00

Н.Д. Васильев, И.И. Зима, А.В. Нечаев, В.И. Стрельченко

ЧЕЛОВЕК — ОПЕРАТОР В РОТОРНЫХ ПОЛЯХ**Введение**

Прогресс науки и техники способствует широкому внедрению во всех областях жизнедеятельности человека новых машин, механизмов, приборов и материалов. Наряду с повышением производительности труда эти рукотворные нововведения могут приводить к ухудшению его гигиенических условий.

Среди производственных факторов, ухудшающих условия труда, значительное место занимают электромагнитные излучения, сопровождающие работу различных высокоэнергетических приборов и установок. Следствием их неблагоприятного воздействия на человека могут быть не только временное недомогание с частичным снижением работоспособности и интеллектуальных возможностей, но и серьезные заболевания операторов этих устройств.

На основе теоретических и экспериментальных исследований установлено, что под действием мощных магнитных, электрических и электромагнитных полей атмосферные пары и газы, находящиеся в геомагнитном поле, излучают так называемые роторные волны магнитной и электромагнитной природы с круговой поляризацией магнитного вектора [1]. Их существование обусловлено, во-первых, электрическим зарядом частиц. Любое воздействие на заряженную частицу в околоземном пространстве сопровождается ее перемещением в геомагнитном поле. При этом любое поступательное движение становится спиральным (роторным), а спектр излучений получает соответствующую роторную составляющую. Во-вторых, в излучении роторных волн также участвуют частицы атмосферы, имеющие нескомпенсированный магнитный момент. Воздействие на частицы магнитного вектора электромагнитных полей вызывает их квантовые магнитные переходы и испускание электромагнитной энергии в диапазонах гиромагнитных частот частиц. Для естественных условий геомагнитного поля диапазон роторных излучений протонов расположен в области сверхдлинных волн ($10^3 \dots 10^4$ Гц), а электронов — в области средних волн ($10^6 \dots 10^7$ Гц). Атмосфера как бы переизлучает СВЧ импульсы на гиромагнитных частотах частиц.

К числу объектов, способных таким образом воздействовать на атмосферу, относятся мощные радиолокаторы. Эксперименты с радиолокатором сантиметрового диапазона волн ТРЛК-10, показали [2], что при обзоре пространства вокруг него образуется область роторных излучений радиусом до 800 метров, формируемая главным лепестком

ДНА. При этом обслуживающий персонал, расположенный в области радиусом 50 метров от РЛС, находится под непрерывным воздействием роторных излучений, формируемых главным и боковыми лепестками ДНА. В результате, при работе РЛС оператор находится под воздействием трех излучений: зондирующего на несущей частоте и двух роторных — на гиромагнитных частотах протонов и электронов атмосферы.

Отличительной особенностью роторных излучений является резонансное воздействие на аналогичные частицы человеческого тела и окружающей среды. В совокупности с нерезонансным облучением на несущей частоте его влияние на оператора может оказаться сильнее, чем влияние только зондирующего СВЧ излучения. Более того, на оператора воздействуют также роторные излучения электронно-лучевых индикаторов РЛС и ЭВМ, за которыми он проводит значительную часть своей жизни.

Цель настоящей работы заключается в том, чтобы показать, что при работе радиолокатора имеет место дополнительный фактор полевого воздействия на оператора, существование которого необходимо учитывать при сертификации и эксплуатации РЛС с позиции охраны труда и экологии окружающей среды.

1. Изменение электрических и магнитных свойств тканей человеческого организма при воздействии электромагнитных роторных полей

Ткани человеческого организма состоят из множества клеток с жидким содержимым и межклеточной жидкостью. Мембраны клеток являются хорошими изоляторами и надежно изолируют внутриклеточное содержимое. Основу внутриклеточной и межклеточной жидкости составляет вода, которая в диапазоне частот роторных излучений является диэлектриком, обладающим свойствами электрической поляризации и магнитного резонанса.

Чистая вода обладает способностью дипольной поляризации. Сущность этого вида поляризации заключается в повороте (ориентации) молекул, имеющих дипольный электрический момент, под действием электрического вектора внешнего электромагнитного поля. При комнатной температуре постоянная времени этого процесса составляет $10 \dots 10^{-11}$ с [3]. Для примесной воды характерно также существование ионной и молионной поляризации. Благодаря поляризации вода обладает соответствующими видами электропроводности.

Способностью магнитного резонанса чистая вода обладает благодаря тому, что в ее молекулах нескомпенсированы магнитные моменты протонов водорода. Молекулы обладают суммарным магнитным моментом, который в геомагнитном поле прецессирует с гиромагнитной частотой протона. Под действием гиромагнитного вектора внешнего электромагнитного поля гиромагнитной частоты происходит увеличение амплитуды прецессии и резонансное поглощение энергии. Примесная вода может обладать также способностью магнитного резонанса электронов.

Электрические свойства внутриклеточной и межклеточной среды тканей и органов зависят от частоты внешнего электромагнитного поля. Как показано в [4], частотная зависимость наиболее характерна для диэлектрической проницаемости и удельной проводимости мышечных тканей. Соответствующие зависимости этих параметров от частоты представлены на рис. 1 и 2. Видно, что их изменение от частоты происходит неравномерно. Это особенно заметно для проводимости. До частот порядка $10^3 \dots 10^4$ Гц имеет место плавное однообразное уменьшение $\epsilon_{отн}$ и увеличение σ ; в диапазоне $10^4 \dots 10^5$ Гц имеет место резкий скачок, после чего эти изменения восстанавливают свою монотонность; при частотах $10^9 \dots 10^{10}$ Гц обнаруживается новый резкий скачок σ .

В работе [4] высказано предположение о том, что на частотах $10^4 \dots 10^5$ Гц скачкообразное изменение удельной проводимости происходит вследствие лавинного вовлечения внутриклеточной среды в ионообразовательный процесс и увеличения токов смещения, обусловленных поляризацией молекул воды. На частотах $10^9 \dots 10^{10}$ Гц к этим процессам добавляются электрические явления. В таких случаях возбужденные молекулы приходят в колебательное движение, сталкиваются с невозбужденными, передавая им свою энергию, которая расходуется на химическое преобразование последних, на процессы каталитического характера и др. В результате проводимость резко возрастает.

Приведенные в [4] объяснения подобного объяснения диэлектрической проницаемости и удельной проводимости мышечных тканей человека не учитывают магнитных свойств их жидкого содержимого. Во-первых, сравнение частот роторных излучений частиц, находящихся в геомагнитном поле, и графиков на рис. 1 и 2 показывает, что диапазоны излучений протонов и электронов совпадают с областью первого скачка удельной проводимости и областью отклонения от экспоненты диэлектрической проницаемости. Во-вторых, влияние роторных полей на клеточную проводимость имеет место и в случае искусственного вовлечения внутриклеточной среды в релаксационные процессы, например, за счет заблаговременной организа-

ции внутриклеточного электрофореза. Как показано в работе [5], при воздействии роторных полей в условиях электрофореза изменяется подвижность клеточных ядер, что свидетельствует об изменении вязкости внутриклеточной жидкости и соответствующих изменениях не только ионной, но и молекулярной проводимости клеток.

На основе проведенных исследований авторами предложено следующее объяснение изменений, происходящих в тканях под воздействием роторных полей. Как показано на рис. 3 и 4, графики, приведенные на рис. 1 и 2, можно представить в виде суперпозиции трех зависимостей — релаксационной, обозначенной цифрой 1, и двух резонансных, обозначенных цифрами 2 и 3. Ход зависимости 1 (рис. 3 и 4) можно объяснить релаксационными процессами заряда и разряда клеточных мембран тканей. С ростом частоты или с уменьшением периода колебаний внешнего электромагнитного поля мембраны не успевают полностью зарядиться, и в процессы ионных токов постепенно вовлекается внутриклеточная жидкость. В результате, проводимость тканей плавно увеличивается, а диэлектрическая проницаемость уменьшается.

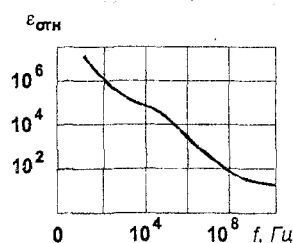


Рис. 1. Зависимость диэлектрической проницаемости мышечной ткани от частоты

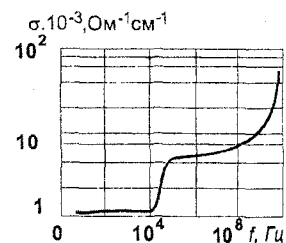


Рис. 2. Зависимость проводимости мышечной ткани от частоты

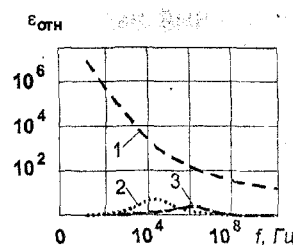


Рис. 3. Аппроксимация зависимости диэлектрической проницаемости мышечной ткани от частоты

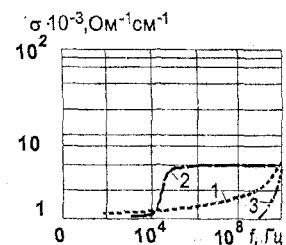


Рис. 4. Аппроксимация зависимости проводимости мышечной ткани от частоты

Ход зависимости 3 (рис. 4) можно объяснить приближением частоты внешнего электромагнитного поля к частоте собственных колебаний молекул воды. Эта частота обратно пропорциональна

постоянной времени дипольной поляризации и составляет $10^{10} \dots 10^{11}$ Гц. При приближении к резонансу амплитуда колебаний частиц резко нарастает, что сопровождается соответствующим увеличением диссоциации и проводимости воды.

По мнению авторов, ход зависимостей 2 (рис. 4) и 2, 3 (рис. 3) обусловлен магнитным резонансом протонов и электронов внутриклеточной и межклеточной воды. Для объяснения такого предположения авторами предложена новая модель молекулы воды, приведенная на рис. 5.

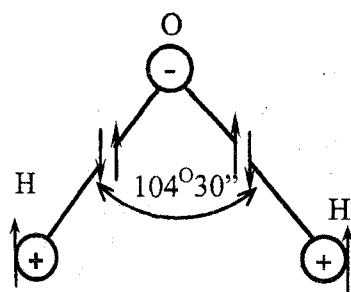


Рис. 5. Модель молекулы воды

Предложенная модель учитывает существование магнитного роторного взаимодействия между частицами и атомами, обычно постулируемого принципами Хунда и Паули. Молекула воды образуется двумя ковалентными связями $\uparrow\downarrow$ валентных электронов кислорода и водорода, имеющих нескомпенсированные магнитные моменты, ориентированные антипараллельно (принцип Паули). При этом атом кислорода имеет два валентных электрона, магнитные моменты которых ориентированы параллельно (принцип Хунда). Магнитные моменты остальных электронов и ядра атома кислорода скомпенсированы, поэтому на схеме он показан символом $\ominus$. Атом водорода имеет нескомпенсированный магнитный момент протона, ориентированный антипараллельно валентному электрону и обозначен символом $\oplus \uparrow$. Так как магнитные моменты электронов ковалентных связей взаимно компенсируются, то магнитные резонансные свойства молекулы воды в целом определяются главным образом ротацией магнитных моментов протонов. Заметим, что в данной модели молекулы воды предполагается, что кулоновское и роторное взаимодействия имеют разное дальнее действие. Сила электростатического взаимодействия обратно пропорциональна квадрату расстояния, а магнитного — кубу. Поэтому, на больших межмолекулярных и межатомных расстояниях работает электростатическое взаимодействие, а на малых — магнитное роторное. Этим обусловлена возможность преодоления отталкивания электронов в паре и высокая прочность ковалентной связи (9,16 эВ).

Магнитный резонанс протонов оказывает влияние на вязкость и проводимость воды. Как пока-

зано в [6], вода обладает предрасположенностью к диссоциации под действием роторных полей или свойством магнитной роторной преддиссоциации. Эта особенность воды и других протонсодержащих веществ объясняется следующим образом.

В молекулах воды диссоциация происходит преимущественно по гетеролитическому типу, то есть без разрыва электронной пары и с образованием двух ионов H^+ и OH^- . Слабым звеном молекулы (4,93 эВ) является связь, удерживающая в ее составе протон. Как видно из модели (см. рис. 5), это звено создает предпосылку и для существования магнитной роторной преддиссоциации под действием роторных полей. Условием магнитной роторной преддиссоциации воды является совпадение частоты и направления вращения магнитного вектора роторной волны и магнитного момента протона. В этом случае увеличивается угол прецессии магнитного момента протона, благодаря чему у него увеличивается поперечная составляющая и уменьшается продольная, удерживающая протон в составе молекулы. Прочность магнитной связи протона уменьшается, и создается предрасположенность молекулы к диссоциации при неизменных температуре и давлении. Это в свою очередь вызывает резкое увеличение проводимости воды на частотах $10^3 \dots 10^5$ Гц (кривая 2 рис. 4).

Протоны водорода молекул воды участвуют также в создании межмолекулярных водородных связей, определяющих ее вязкость и внешние условия диссоциации. На рис. 6 приведена модель ассоциата из 5 молекул воды, разработанная с учетом модели молекулы рис. 5. Здесь точками показаны водородные связи между молекулами. Видно, что молекула воды может иметь до четырех водородных связей. Реально вследствие магнитной пространственной направленности водородных связей их действительное среднее число на одну молекулу составляет 1,3...1,6.

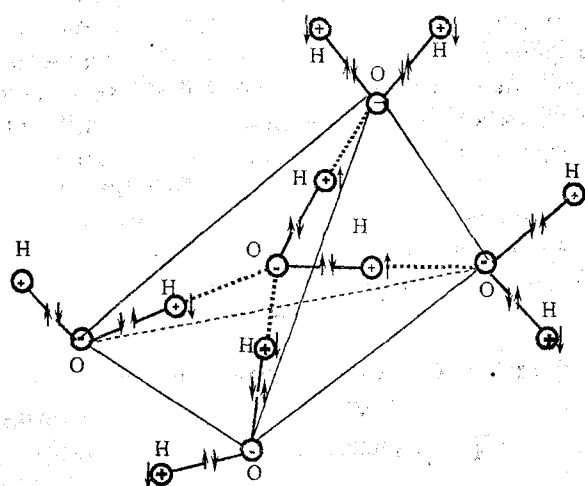


Рис. 6 Модель ассоциата 5-ти молекул воды

Из рис. 6 видно, что магнитная пространственная направленность водородных связей обусловлена ориентацией магнитных моментов протонов соседних молекул. По аналогии с принципами Хунда и Паули в данном случае мы приходим к правилам образования водородной связи и ассоциата молекул воды.

Правило 1: Водородная связь между двумя молекулами может существовать при условии антипараллельности магнитных моментов их протонов водорода. При отклонении магнитных моментов от условия антипараллельности прочность водородных связей изменяется.

Правило 2. Суммарный магнитный момент ассоциата воды ориентирован антипараллельно магнитному моменту протонов центральной молекулы. Очевидно, что при воздействии роторных полей на протоны воды одновременно происходят изменения и внутренних и внешних условий диссоциации воды, определяющих ее проводимость при заданной температуре и давлении.

Дополнительная магнитная роторная предиссоциация может быть вызвана также за счет селективного воздействия на электроны ковалентных связей внешним электромагнитным полем в диапазоне частот $10^6 \dots 10^7$ Гц. В этом случае диссоциация воды может происходить по гомолитическому типу с образованием радикалов Н и ОН. При этом, так как энергия такой диссоциации в 1,85 раза больше чем в предыдущем случае, то она возникает реже.

При одновременном воздействии внешнего поля на двух частотах имеет место увеличение проводимости тканей примерно в 6 раз, что соответствует пологому участку кривой 2 рис. 4. При этом видно, что, начиная с частоты 10^5 Гц, проводимость мало изменяется до частоты 10^8 Гц. Это свидетельствует о том, что при воздействии роторных полей достигается физический предел возможности диссоциации воды при заданной температуре и давлении. Характерно, что одновременно на указанных частотах примерно на порядок увеличивается диэлектрическая проницаемость воды. Это подтверждается ходом кривых 2, 3 рис. 3 и соответствует случаю резонансного изменения процессов заряда и разряда клеточных мембран тканей за счет увеличения диссоциации при неизменных временных соотношениях.

Таким образом, воздействие электромагнитных роторных полей на ткани, и тело человека отличается от воздействия полей других диапазонов волн.

2. Воздействие электромагнитных роторных полей на живой организм

2.1. Предельно допустимые нормы

Воздействие электромагнитных полей на организм человека достаточно изучено. На основе эк-

спериментальных и теоретических исследований показано, что они могут оказывать тепловое и нетепловое воздействие. Для электромагнитных полей гиромагнитных частот, в том числе и роторных, допустимая напряженность, вызывающая тепловый эффект, составляет [4]: по электрической составляющей 8000 В/м, по магнитной — 160 А/м.

Отличительной особенностью электромагнитных роторных полей является глубокое проникновение в ткани тела. Эта особенность используется в медицине [7]. В частности, электромагнитные излучения в диапазоне частот магнитного резонанса электронов используются для локального и общего нагрева тела больных людей методами индуктодермии и индуктопирексии. Его результатом является теплообразование в отдельных тканях или повышение общей температуры тела. В зависимости от напряженности магнитного поля индуктора у больных изменяются тепловые ощущения. Электромагнитные излучения в диапазоне частот магнитного резонанса протонов используются для стимулирования нервов и мышц методами амплипульстерапии и флюктуоризации. Воздействие полей дозируют по ощущению пощипывания, жжения, вибрации или сокращениям мышц.

Инструкции по технике безопасности требуют, чтобы медицинский персонал без необходимости не находился в зоне действия создаваемых резонансных полей, и рекомендуемая продолжительность медицинских процедур не превышала 30 минут. Это обусловлено тем, что имеет место их нетепловое воздействие, которое проявляется при весьма незначительных интенсивностях облучения.

Нетепловое воздействие электромагнитных полей, в том числе и роторных, вызывает различные морфологические и функциональные изменения в организме, которые могут быть обратимыми и необратимыми. На основе медицинских исследований воздействия электромагнитных полей еще в 70-е годы XX века была выявлена степень опасности различных диапазонов частот и установлена ее количественная связь с такими параметрами полей, как напряженность или плотность потока мощности, а также длительность облучения [4]. Количественная оценка опасности электромагнитных излучений диапазона гиромагнитных частот производится по напряженностям электрического и магнитного полей. Были установлены следующие предельно допустимые величины напряженностей полей:

- а) по электрическому полю:
20 В/м для частот от 60 кГц до 30 МГц;
5 В/м для частот от 30 до 300 МГц;
- б) по магнитному полю:
5 А/м для частот от 100 кГц до 1,5 МГц.

В дальнейшем эти данные уточнялись в разных странах, особенно в связи с широким распространением ЭВМ. В настоящее время на Украине тре-

бования допустимых значений напряженностей электромагнитных излучений ЭВМ составляют [8]:

а) по электрическому полю:

25 В/м для частот от 2 Гц до 2 кГц;

2,5 В/м для частот от 2 кГц до 400 кГц;

б) по магнитному полю:

0,2 А/м для частот от 2 Гц до 2 кГц;

0,02 А/м для частот от 2 кГц до 400 кГц.

Сравнение приведенных параметров показывает, что по мере исследований влияния электромагнитных полей на организм человека происходит ужесточение требований к напряженности их магнитной составляющей.

2.2. Изменение магнитного тонуса

Уточнение требований к допустимым уровням излучений производится, как правило, на основе набора статистики заболеваний, возникающих под действием электромагнитных полей. Такой подход справедлив в случаях необратимых изменений в организме. Однако обратимые изменения могут маскироваться широко распространенными болезнями типа ОРЗ и попадать не в ту статистику. Дальнейшее углубление знаний в этой области может быть получено на основе новых представлений о физических и химических процессах в организме и новых показателей.

По мнению авторов, одним из таких показателей является магнитный тонус человека, учитывающий магнитные свойства крови, воды и кислорода, циркулирующих в теле. С медицинской точки зрения этот показатель еще не связан с каким-то заболеванием или необратимым изменением в организме, но уже связан с чувствительностью человека к изменениям погоды, магнитным бурям, геопатогенным воздействиям и другим гелиогеофизическим факторам.

Магнитный тонус является комплексным показателем, отличающим магнитные свойства человека от свойств объектов неживой природы. В тибетской и китайской народной медицине подобно магнитному тону используется понятие «жизненная сила» — ци.

Как было показано выше, человек представляет собой объект, содержащий воду и находящийся в геомагнитном поле. Тело человека имеет особую магнитную структуру, состоящую из протонов воды, магнитных молекул кислорода органов и объединяющей их внутренней среды. Внутренняя среда организма — кровь, тканевая жидкость, лимфа. Внутренняя среда организма содержит молекулы железа и обеспечивает постоянный приток кислорода к клеткам, а также непрерывное удаление продуктов их жизнедеятельности. Поскольку магнитный момент электрона примерно на три порядка больше магнитного момента протона, протоны воды ориентируются в магнитном поле кислорода. Благодаря постоянному движению и омы-

ванию всех тканей кислородом, обмен компонентов и роторному взаимодействию с межклеточной жидкостью, кровь поддерживает постоянство внутренней среды организма и анизотропии ее намагниченности, тем самым обеспечивая его жизнедеятельность.

Характерной особенностью воды является наличие в ее составе положительных и отрицательных ионов, имеющих нескомпенсированные моменты протонов. Вращающийся вокруг своей оси протон является магнитом и чувствует упорядочивающее действие геомагнитного поля. Поэтому протоны воды стремятся направить свои магнитные моменты параллельно полю. При этом происходит зеемановское распределение протонов по двум геомагнитным энергетическим уровням: верхнему и нижнему. Протоны, находящиеся на верхнем уровне, ориентированы против поля и обладают избытком энергии, а находящиеся на нижнем уровне — по полю и имеют минимум энергии. Одновременно находящиеся в околосреднем пространстве молекулы воды непрерывно подвергаются тепловому возбуждению и воздействию полей и вибраций различной физической природы. Благодаря этому магнитные моменты их протонов прецессируют и постоянно меняют ориентацию. Между ориентацией, навязанной геомагнитным полем, и дезорганизацией, производимой тепловым движением, устанавливается равновесие, которое для неживой природы традиционно описывается уравнением Больцмана. В состоянии равновесия число протонов на каждом энергетическом уровне статистически постоянно. Больцмановское равновесие в неживой природе характеризуется избытком населенности нижнего энергетического уровня.

Магнитный тонус человека — это непрерывное поддержание заселенности протонов верхнего зеемановского геомагнитного энергетического уровня в человеческом теле или органе на уровне, необходимом для обеспечения его жизнедеятельности. Заселенность верхнего энергетического уровня живого человека всегда отличается от больцмановской. Это обусловлено тем, что в теле человека существует внутреннее магнитное поле, возникающее вследствие циркуляции кислорода в системе кровообращения. Благодаря кислороду протоны воды клеток стремятся направить свои магнитные моменты параллельно кровеносным сосудам, ориентированным у человека вдоль геомагнитного поля. Происходит дополнительная динамическая ориентация протонов [9] и создается неравновесная заселенность верхнего зеемановского геомагнитного уровня.

Математически магнитный тонус можно представить в виде следующего выражения

$$\Delta N = N_q - N_b, \quad (1)$$

где ΔN — магнитный тонус человека; N_q — заселенность верхнего зеемановского геомагнитного уровня в человеческом теле; N_B — бальмановская заселенность верхнего зеемановского геомагнитного уровня в окружающей среде.

Определяя заселенность N_q с учетом протолитической диссоциации воды [10], как

$$N_q = \frac{1}{2}(N - P - 10^{-pH} + \alpha P) \quad (2)$$

и раскрывая избыток населенности нижнего энергетического уровня

$$P = \frac{N\gamma h [B_0 + B_K(\beta, \epsilon)]}{4\pi kT}, \quad (3)$$

выражение (1) можно привести к следующему виду,

$$\Delta N = \frac{1}{2} \left\{ N - \frac{N\gamma h [B_0 + B_K(\beta, \epsilon)]}{4\pi kT} - 10^{-pH} + \alpha P - 2N_B \right\}, \quad (4)$$

где N — число протонов в теле человека; γ — гиромагнитная постоянная протона; h — постоянная Планка; k — постоянная Больцмана; B_0 — индукция геомагнитного поля; $B_K(\beta, \epsilon)$ — индукция магнитного поля кровеносной системы; T — температура человеческого тела, К; pH — водородный показатель внутренней среды; α — показатель диссоциации внутренней среды.

Выражение (4) показывает, что искусственное уменьшение заселенности (обсыпание) верхнего магнитного уровня человека при облучении роторными полями может вызвать реакции систем терморегуляции, обмена веществ, дыхания и кровоснабжения. Под действием роторных полей у человека могут изменяться температура тела T , показатель pH крови и тканей, индукция магнитного поля кровеносной системы $B_K(\beta, \epsilon)$, показатели диссоциации и магнитной поляризации внутренней среды αP . Если при этом система терморегуляции тела способна предупреждать перегревание, то его температура остается нормальной. В противном случае возможно повышение температуры тела или истощение системы терморегуляции при длительном воздействии роторных полей. В то же время известно, что перегревание тела отрицательно отражается на организме человека, а повышение температуры на 1°C и выше недопустимо. Кроме того, поскольку терморегуляция организма находится под непрерывным контролем центральной нервной системы, то при длительном воздействии роторных полей может происходить изменение регуляторной функции нервной системы и ее истощение. Это может приводить к нарушению: ранее выработанных условных рефлексов; характера и интенсивности физиологических и биологических процессов в организме; нервной регуляции сердечно-сосудистой системы.

Жизнедеятельность человека в значительной степени зависит от кислотно-щелочного равновесия крови. Кислотно-щелочному балансу здорового человека соответствует $pH = 7,35...7,45$ [11]. Как видно из (4), уменьшение магнитного тонуса приводит к уменьшению pH и закислению крови. Снижение показателя pH ниже нормы является особенно вредным для людей, страдающих такими распространенными заболеваниями как: бронхит, бронхиальная астма, эмфизема легких, недостаточность кровообращения, механические асфиксии, диффузный фиброз, саркоидоз, диффузные болезни соединительной ткани, опухоли легких, пневмония, асбестоз, силикоз, диабет, лихорадка, поражения почек и кишечника. К сожалению, многие из этих заболеваний в стадии ремиссии не учитываются при приеме на работу на РЭС и других высокоэнергетических установках.

Как было показано выше, внутреннее магнитное поле тела человека образуется за счет циркуляции магнитных молекул кислорода по кровеносным сосудам. Оно обладает вполне определенной топографией и соответствующей анизотропией, характеризуемой зависимостью индукции B_K от углов β и ϵ . Изменение $B_K(\beta, \epsilon)$ происходит вследствие того, что при воздействии роторных полей снижается содержание кислорода в крови. Это обусловлено тем, что роторные поля влияют на магнитный транспорт кислорода.

Магнитный транспорт кислорода дополняет диффузный. Он основан на особых магнитных свойствах крови. В процессе кровообращения происходит циркуляция крови по системе вертикально-ориентированных кровеносных сосудов и циклическое перемагничивание эритроцитов геомагнитным полем. Благодаря этому, в альвеолах легких происходит отбор преимущественно молекул кислорода, ориентированных против направления геомагнитного поля. При зеемановском расщеплении энергетических уровней эти молекулы обладают избытком энергии. Поэтому при их поглощении в процессе магнитного транспорта организм получает порции энергии, изменяющие его энергетический баланс с окружающей средой в пользу человека. Как показано в работе [4], воздействие электромагнитных полей различных частот вызывает однотипные изменения нервной регуляции сердечно-сосудистой системы — понижение кровяного давления, замедление ритма сокращений сердца и замедление внутрижелудочковой проводимости. Это приводит к снижению динамики и производительности магнитного транспорта кислорода. Кроме того, воздействуя на человека, роторные поля влияют и на окружающую его атмосферу. При этом происходит обсыпание верхнего геомагнитного уровня атмосферного кислорода и дополнительное нарушение его магнитного транс-

порта в теле человека. При этом уменьшается содержание кислорода в крови, что приводит к кислородному голоданию и функциональным расстройствам нервной системы. В частности, известно, что при воздействии на человека роторных излучений магнитных бурь его мышечная реакция замедляется в 2...6 раз [12]. При этом время реакции человеческих мышц увеличивается с 0,3...1 с до 2...6 с. Под влиянием роторных излучений магнитных бурь психика человека затормаживается; снижаются его интеллектуальные возможности; он начинает неадекватно воспринимать реальность; усиливаются неврозы и психозы. Особенно опасно такое воздействие для операторов атомных станций, операторов РЛС УВД, летчиков и других, имеющих заболевания сердечно-сосудистой системы.

Как видно из приведенных рассуждений, магнитный тонус является важным параметром человеческого организма, характеризующим как его гомеостаз, так и роторное взаимодействие с окружающей средой посредством неравновесной заселенности верхнего геомагнитного уровня протонов тела. Наличие такой заселенности в организме живого человека характеризуется его способностью излучать роторные волны, которые обнаруживаются специальными приемниками. Эксперименты [13] подтверждают существование магнитного тонуса у человека и указывают на возможность его использования для неинвазивной диагностики и терапии воздействия роторных полей.

2.3. Ослабление магнитных связей

Как было показано выше, при воздействии роторных полей уменьшается прочность магнитных ковалентных и водородных связей.

Во-первых, это приводит к изменению вязкости крови, что может оказывать влияние на работу кровеносной системы человека и транспорт кислорода.

Во-вторых, это приводит к образованию в организме радикалов и ион-радикалов, что способствует изменению кинетики и химии процессов обмена веществ.

В-третьих, это может вызывать генетические изменения в организме. Например воздействие роторных полей способно уменьшать прочность магнитных связей ДНК и повышать вероятность изменений кодов их генов тепловыми квантами инфракрасного диапазона волн самого организма. Аминокислоты в ДНК связаны с помощью ковалентных и водородных связей. В местах этих соединений имеет место спин-уровневая ($0, \pi$) модуляция магнитных моментов аминокислот и других элементов генного аппарата. Благодаря этому, модель молекулы ДНК может быть представлена в виде пассивного четырехполюсника с фазокодоманипулированной импульсной характеристикой,

храняющей генный код. По генному коду происходит распознавание «свой-чужой» и активизация иммунного ответа организма. В случае попадания чужеродного вещества — антигена, иммунная система образует белки — антитела, которые склеивают «чужеродные» молекулы, растворяют или расщепляют их и выводят в осадок. Длительное воздействие роторных полей может вызвать такой разлад в системе генов человеческого генотипа, что может происходить непрерывное образование антител к «своим» молекулам, приводящее к истощению иммунной системы. С истощением иммунной системы связаны такие заболевания, как рак и СПИД, имеющие генетическую природу.

Ослабление магнитных связей других жизненно важных органических молекул также может вызывать нарушения их биологических свойств и жизнедеятельности клеток.

Заключение

Как видно из проведенного анализа, особое место среди возможных факторов, влияющих на жизнедеятельность и интеллектуальные возможности организма человека, занимают воздействия роторных полей. Многие люди имеют профессии, связанные с повышенным риском облучения роторными полями.

Роторная гигиена является новым направлением производственной гигиены. Влияние роторных полей на здоровье человека до конца не выяснено. Развитие симптомов (внешних признаков заболевания) происходит очень медленно и зависит от многих факторов. Благодаря малой энергии квантов роторных излучений, они маскируются воздействием квантов высоких энергий и являются скрытым фактором опасности для человека. Воздействие роторных полей может вызывать нарушения жизненно важных систем человеческого организма. При длительном воздействии может наступать их истощение.

Малые уровни излучений обычно не вызывают объективных, регистрируемых с помощью современных методов диагностики, нарушений самочувствия, но они могут быть выявлены с помощью более сложных комплексных показателей, например, таких, как магнитный тонус человека.

Действие техногенных и космических роторных излучений на организм человека не различаются между собой, поэтому здесь могут быть использованы достижения космической медицины и т.п.

Отличительной особенностью техногенных роторных излучений является одновременное воздействие на двух и более частотах. Многочастотное воздействие требует переоценки предельно допустимых величин напряженностей полей в сторону их ужесточения по принципу «меньше — меньше».

Новые допустимые нормы должны учитываться при сертификации источников излучения.

При организации эксплуатации высокоэнергетических излучающих установок необходимо учитывать то, что их роторные излучения имеют сопутствующие заболевания. Это требует уточнения перечня таких заболеваний и ужесточения требований при отборе обслуживающего персонала и его реабилитации.

Полученные результаты могут быть использованы в интересах энергетики, радиолокации, радиосвязи, медицины, бионики, экологии и других отраслей науки и техники.

Список литературы: 1. Зима И.И. Современная трактовка излучательной способности частиц, движущихся в естественных условиях геомагнитного поля // Прикладная радиоэлектроника. 2004, Т. 3, № 3. С. 73-78. 2. Зима И.И., Жирнов В.В., Костюченко К.А., Стрельченко В.И. Регистрация роторных излучений, сопровождающих работу радиолокатора // Тез. докл. 10-й Междунар. науч. конф. «Теория и техника передачи, приема и обработки информации». ХНУРЭ. Харьков. 2004. С. 203-204. 3. Элек-

трорадиометрометры / Б.И. Гареев, Н.В. Короткова, В.М. Петров, А.А. Преображенский. М.: Высшая школа. 1978. 336 с. 4. Защита от электромагнитных излучений / В.А. Крылов, Т.В. Юченкова. М.: Сов. радио. 1972. 216 с. 5. Григорьева Н.Н., Васильев Н.Д., Дохов А.И., Зима И.И., Стрельченко В.И. Регистрация полевого воздействия люстры Чижевского на эпителиальные клетки человека // Проблемы бионики, 2003. № 58. С. 81-85. 6. Васильев Н.Д., Зима И.И. Магнитная роторная предиссоциация воды // Проблемы бионики, 2003. № 59. С. 27-32. 7. Техника и методики физиотерапевтических процедур (справочник) / Под ред. В.М. Боголюбова. М.: Медицина, 1983. 352 с. 8. Правила охраны труда при эксплуатации ЭВМ. Киев. 1999. 112 с. 9. Джеффрис К. Динамическая ориентация ядер. М.: Мир. 1965. 253 с. 10. Зима И.И., Григорьева Н.Н., Васильев Н.Д., Кравченко А.В. Исследование населенностей геомагнитных энергетических уровней воды с учетом протолитической диссоциации // Проблемы бионики. 2001. № 55. С. 46-49. 11. Диагностический справочник терапевта / А.А. Чернин, А.И. Окорочков, И.И. Гончарик. Минск. 1994. 688 с. 12. НЛО. № 39 (255). 2002. С. 16-19. 13. Зима И.И. Роторный геомагнетизм. Некоторые аспекты. Харьков, Курсор. 2002. 72 с.

Поступила в редколлегию 12.04.2005

УДК 681.324

В.И. Булкин, Н.В. Шаронова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА КОМПАРАТОРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЗНАНИЙ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Введение. Вопросы современного образования становятся все более актуальными, поскольку образование имеет решающее значение для реформирования всех сторон жизни общества, а его развитие должно рассматриваться как один из приоритетов в общественной политике.

Современная педагогическая психология располагает множеством теорий обучения, которые используются для совершенствования процесса обучения. Среди наиболее известных теорий можно отметить следующие: бихевиористическая теория обучения [1, 2], ассоциативно-рефлекторная теория обучения, теория поэтапного формирования умственных действий [3], теория алгоритмизации [4], гештальттеория обучения, суггестопедическая теория обучения, теория содержательного обобщения В.В. Давыдова – Д.Б. Эльконина, конструктивизм [5], теория нейролингвистического программирования [6], когнитивная психология [7]. Каждый из этих методов обучения имеет свои достоинства и недостатки, однако, независимо от того, на основе какой теории приобретаются знания, необходимо иметь основную стратегию (алгоритм) приобретения знаний, а также стратегию (алгоритм) обновления уже приобретенных знаний.

Целью данной статьи является обсуждение следующих вопросов:

- алгоритм обучения или приобретения знаний;
- алгоритм обновления знаний или, проще, алгоритм повторения;
- практические рекомендации по совершенствованию учебного процесса на основе этих алгоритмов.

Для того чтобы математически описать процесс приобретения знаний (запоминания), необходимо ввести некоторые формальные понятия. Пусть X – это эталон знаний. Существует много толкований понятия «знания». Разные науки по-разному трактуют это понятие. В данной работе, в соответствии с существующими стандартами, будем использовать следующее определение: «Знания – это совокупность фактов, закономерностей и эвристических правил, отображающая уровень осведомленности о проблемах некоторой предметной области» [8]. В качестве эталона знаний могут выступать знания, представленные в текстовой форме (учебный материал по различным дисциплинам), в аудио форме (лекции в аудитории), в графической форме

(схемы, чертежи, графики, диаграммы) и т. д. Примем следующие обозначения: x_i ($i = 1, n$) – это образ эталона знаний, который формируется в памяти обучаемого при восприятии эталона X на каждом шаге обучения. X_i – это воспроизведенный образ эталона x_i или i -ое приближение к эталону. Иначе говоря, X_i можно назвать ошибкой на шаге i . Используя эти обозначения, процесс обучения можно представить в виде следующей последовательности действий или алгоритма, блок-схема которого показана на рис. 1. При сравнении воспроизведенного образа эталона с эталоном знаний реализуется предикат равенства $E(X_i, X)$, который по определению принимает следующие значения:

$$E(X_i, X) = \begin{cases} 1, & \text{если } X_i = X \\ 0, & \text{если } X_i \neq X \end{cases}$$

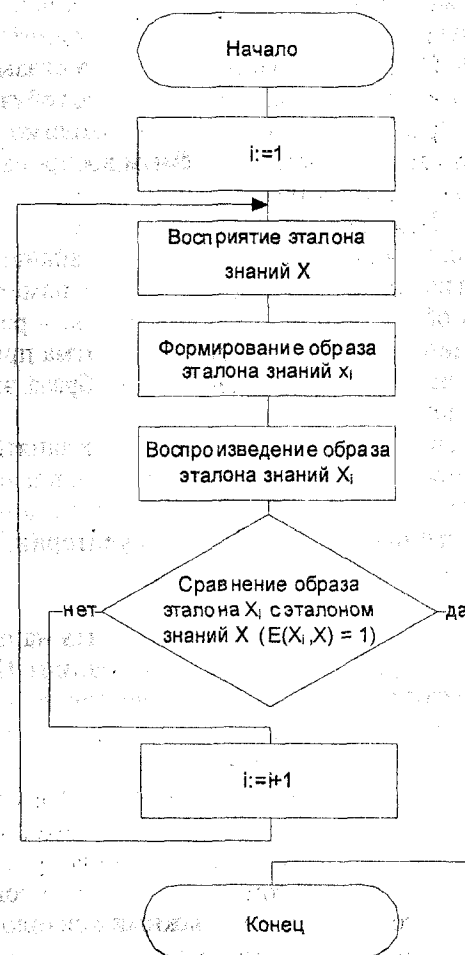


Рис. 1

Таким образом, процесс обучения (запоминания) является циклическим алгоритмом, и *строгое следование* этому алгоритму ускоряет процесс приобретения знаний. На практике многие обучаемые *нарушают* приведенный порядок действий. Типичной ошибкой является многократный ввод знаний и лишь однократное их воспроизведение (вывод) знаний. Поэтому при подготовке к семинарам, практическим занятиям, экзаменам и зачетам можно рекомендовать указанную методику запоминания учебного материала. Во время проведения практических занятий, семинаров, лабораторных работ необходимо стимулировать воспроизведение знаний учащимися в том виде, в котором они сохранились в памяти. Следует воспринимать ошибки учащихся как один из шагов алгоритма обучения. Воспроизведение образа эталона дает возможность сравнить его с эталоном, откорректировать и еще раз ввести его в память. При этом на занятии важно создать психологическую атмосферу отсутствия страха перед возможной ошибкой. Необходимо пояснять студентам, что в процессе обучения ошибаться полезно, так как воспроизведение образа эталона знаний — это обязательная составляющая алгоритма обучения. К сожалению, сложившаяся система образования зачастую грешит чрезмерно жестким контролем знаний и, как правило, за допущенные ошибки учащихся принято наказывать. Последнее крайне негативно сказывается на эффективности и качестве процесса обучения.

На практических занятиях необходимо предоставлять возможность обучаемым воспроизводить знания (совершать ошибки) и сравнивать их с эталоном. Нежелательно поправлять студента до тех пор, пока он полностью не извлечет знания в том виде, в котором они сохранились в его памяти. Тем самым обучаемый получит возможность реализовать один из основных шагов алгоритма приобретения знаний — воспроизведение образа эталона на данном шаге обучения.

Во время проведения аудиторных занятий желательно придерживаться следующего правила: на вопросы обучаемых сразу не отвечать, а по возможности переадресовывать их аудитории. Очень полезно при этом выяснить варианты ответов каждого студента и, если среди них не окажется верного ответа, только после этого ответить на поставленный вопрос (сообщить эталон знаний). При таком подходе наблюдается двоякая польза: во-первых, каждый обучаемый воспроизводит образ эталона знаний, а затем сравнивает его с эталоном, реализуя при этом основную часть алгоритма обучения. Во-вторых, если кто-то из аудитории даст верный ответ, то студент, задающий вопрос, будет поставлен перед фактом, что он не знает того, что знают его товарищи. А это важный психологический и воспитательный момент.

Как известно, самой эффективной формой обучения является дуальная форма «преподаватель —

ученик». Она же является и самой неэкономичной и используется довольно редко (репетиторство, например). Более экономичной, но менее эффективной является форма обучения «преподаватель — множество учеников». Повысить эффективность такой формы обучения можно, используя диалоговый метод проведения лекции, когда преподаватель периодически обращается к аудитории с вопросами «как Вы думаете?», «Как Вы считаете?». При этом принимаются все варианты ответов, а затем сообщается или указывается на источник верного ответа (эталон знаний). В этом случае стимулируется воспроизведение знаний, сравнение их с эталоном, и повторное восприятие откорректированных знаний. Тем самым реализуются основные шаги алгоритма обучения. Еще одним методом реализации алгоритма обучения является проведение блиц-опроса перед семинарскими, практическими и лабораторными занятиями. Блиц-опрос проводится в минимальные сроки, в течение 10–15 минут. Каждому студенту по списку задается вопрос. На ответ отводится 15–20 секунд. Если ответа нет, то вопрос передается следующему студенту, а предыдущему студенту ставится «минус» (–). Если студент отвечает верно, то ему ставится знак «плюс» (+). Так происходит до тех пор, пока каждый студент не получит по три вопроса. Результат опроса определяется следующим образом. Если студент получает три «плюса» (+, +, +), то он заслуживает оценку «отлично». Если студент получает два «плюса», один «минус» (+, +, –), то он имеет оценку «хорошо». Если студент получает один «плюс», два «минуса» (+, –, –), то он зарабатывает оценку «удовлетворительно». Если студент заработал три «минуса» (–, –, –), то он получает оценку «плохо». Если никто из присутствующих не знает ответа на поставленный вопрос, то верный ответ (эталон знаний) сообщает преподаватель. Этот метод удобно использовать для закрепления лекционного материала перед его проработкой на практических занятиях.

Несколько слов о проблеме изучения иностранных языков. Неудовлетворительное положение с изучением иностранных языков в нашей стране можно объяснить тем, что в школах и вузах вместо наработки разговорной практики школьников и студентов заставляют изучать грамматику языка, которым они не владеют. Однако общеизвестно, что для того, чтобы научиться говорить на каком-либо языке, нужно на нем говорить, то есть регулярно извлекать знания в виде некоторого приближения к эталону X_i и сравнивать их с эталоном X . Очевидно, что чем больше разговорная практика, тем выше уровень знания иностранного языка. И только после того, как обучаемые научатся свободно владеть разговорной речью, следует приступать к изучению грамматики, а не наоборот. Наилучшим способом изучения иностранных языков является погружение обучаемых в языковую среду. Этого можно достичь с помощью стажировки в стране, где говорят

на изучаемом языке. Можно и в стране пребывания создать условия для общения с носителями этого языка (иностранными студентами, иностранными преподавателями, миссионерами и т. д.).

Для совершенствования учебного процесса при изучении иностранных языков можно предложить следующую методику, для реализации которой необходим компьютер и компакт-диск CD ROM. В настоящее время в продаже появились компакт диски с игровыми фильмами, которые имеют так называемые отключаемые субтитры. Используя эту возможность, можно отключать закадровый перевод и включать оригинальный звук и субтитры на языке оригинала. При просмотре фильма на компьютере можно останавливать любой кадр нажатием на клавишу «Пробел», читать субтитры, а затем сравнивать их с эталоном, запустив фильм далее повторным нажатием той же клавиши. Таким образом, осуществляется воспроизведение образа эталона знаний x_i и сравнение его с эталоном знаний X . Тем самым реализуется основная часть алгоритма обучения – запоминание.

Рассмотрим теперь алгоритм обновления знаний (повторение). Известно, что усвоенные знания со временем утрачиваются (забываются). Доказано, что объем знаний уменьшается со временем по экспоненциальному закону, и объем остаточных знаний составляет около 10 % от первоначально усвоенных. Научными сотрудниками Днепропетровского национального университета В.Ф. Присняковым и Л.М. Присняковой на основе экспериментальных данных было получено уравнение хранения информации [9]

$$U(t) = \varphi + (U_0 - \varphi) e^{-\frac{t}{T}}, \quad (1)$$

где $U(t)$ – объем информации в памяти; U_0 – начальное значение объема информации в памяти; φ – некоторое предельное значение информации, которая может храниться в памяти достаточно долго; T – постоянная времени переработки информации; t – время.

Если обе части уравнения (1) разделить на U_0 , то получим:

$$\frac{U(t)}{U_0} = \frac{\varphi}{U_0} + \left(1 - \frac{\varphi}{U_0}\right) e^{-\frac{t}{T}}. \quad (2)$$

Отношение $\frac{U(t)}{U_0}$ можно рассматривать как коэффициент остаточных знаний в момент времени t ($K_{03}(t)$) и, если умножить его на 100 %, то получим значение коэффициента остаточных знаний в процентах. Зависимость $\frac{U(t)}{U_0} \cdot 100\%$ от времени можно представить на следующем графике (рис. 2).

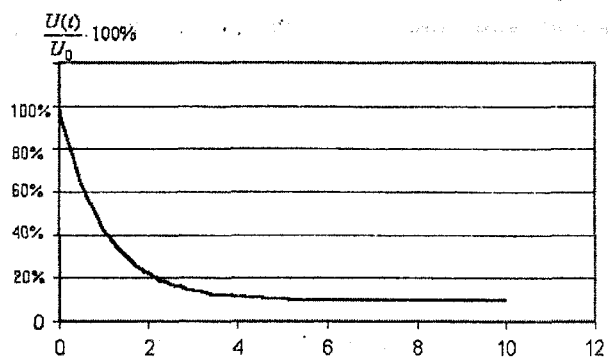


Рис. 2

Практика показывает, что знания, которыми не пользуются, и которые регулярно не воспроизводятся, со временем утрачиваются. Существует гипотеза, согласно которой отпечаток знаний в долговременной памяти (энграмма) не утрачивается, а вот программа воспроизведения (путь к знаниям) со временем разрушается (забывается) [10]. Поэтому очень важно как можно чаще воспроизводить приобретенные знания (образ эталона X_i) и сравнивать его с эталоном X .

При обновлении знаний (повторении) предлагается придерживаться следующего алгоритма (рис. 3).

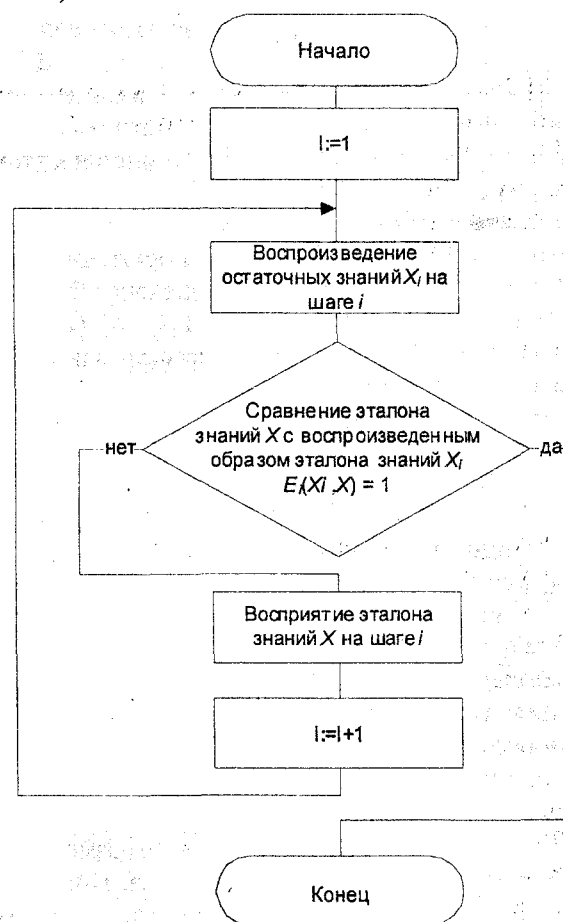


Рис. 3

Как и в случае реализации алгоритма приобретения знаний, при обновлении знаний важно строго следовать этому алгоритму. Типичной ошибкой при обновлении знаний (повторении) является то, что обучаемый вначале воспринимает эталон знаний X и зачастую даже не воспроизводит образ эталона знаний X_i . В этом случае энграмма (отпечаток знаний) обновляется, а вот программа воспроизведения знаний не обновляется. В результате вместо обновления знаний происходит их повторное приобретение. Такие знания, как правило, очень быстро утрачиваются. Зависимость коэффициента остаточных знаний $K_{оз}(t) = \frac{U(t)}{U_0}$ от времени в процессе обновления знаний можно представить графически следующим образом (рис. 4).

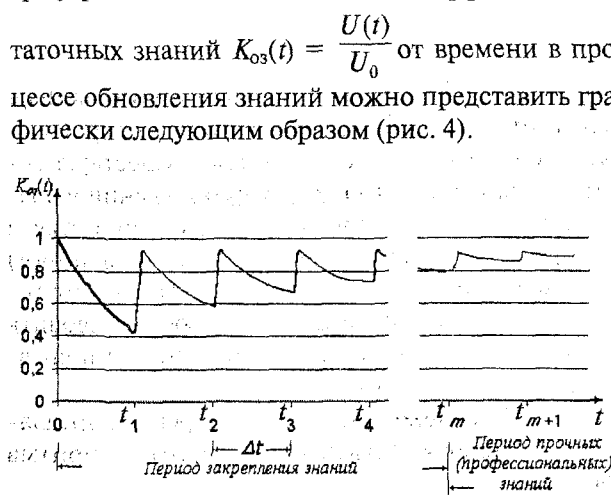


Рис. 4

Кривая (рис. 4) показывает, что в момент времени $t = 0$ коэффициент остаточных знаний $K_{оз}(0) = 1$, поскольку считается, что знания к этому моменту времени приобретены. Пусть знания будут обновляться через равные промежутки времени Δt . В момент времени t_1 коэффициент остаточных знаний примет значение $K_{оз}(t_1)$. Это значение будет находиться в интервале $0,1 < K_{оз}(t_1) < 1$. В момент времени t_2 коэффициент остаточных знаний примет значение $K_{оз}(t_2)$. Это значение будет находиться в интервале $K_{оз}(t_1) < K_{оз}(t_2) < 1$. В момент времени t_n коэффициент остаточных знаний примет значение $K_{оз}(t_n)$. Это значение будет находиться в интервале $K_{оз}(t_{n-1}) < K_{оз}(t_n) < 1$. Таким образом, при увеличении числа обновлений знаний n значение коэффициента остаточных знаний $K_{оз}(t_n)$ стремится к 1. Начиная с некоторого момента времени t_m , знания закрепляются настолько, что можно считать их эквивалентными эталону знаний X . Обычно такие знания называются профессиональными. Этими знаниями обладают специалисты, которые в силу своих профессиональных потребностей регулярно воспроизводят какие-то знания и имеют возможность сравнивать их с эталоном. Такую возможность сравнения предоставляет им практика. Получение положительного практического результата свидетельствуют о том, что воспроизведенные знания X_i совпадают с эталоном знаний X .

Алгоритм обновления знаний (повторения) могут использовать студенты при подготовке к зачетам, экзаменам, практическим и семинарским занятиям. Преподаватели также могут придерживаться этого алгоритма при подготовке к лекциям, практическим, семинарским и лабораторным занятиям.

Заключение. Рассмотренные алгоритмы приобретения и обновления знаний успешно используются авторами в преподавательской деятельности, а также в других ситуациях, когда возникает необходимость приобретения знаний, их закрепления и обновления. Педагогическая практика показывает, что студенты совершенно по-другому относятся к процессу обучения, когда им предлагается использовать методику, описанную выше. Эффективность учебного процесса значительно повышается при этом за счет снятия психологического напряжения и многократного воспроизведения знаний с последующим сравнением их с эталоном.

В качестве перспективных разработок можно указать на следующее. В процессе обучения возникает много факторов, влияющих на качество самого процесса, такие как необходимость мотивации обучаемых, интенсификации обучения и развития профессиональных навыков учащихся. Успех достижения поставленных целей в значительной степени зависит от способа оценки успеваемости учащихся с использованием многофакторной количественной рейтинговой оценки, чему также может способствовать предложенный метод компараторной идентификации знаний студентов, поскольку его можно использовать при построении модели обучаемого [11, с. 124 – 138].

Список литературы: 1. Скиннер Б.Ф. Наука об учении и искусство обучения // Программированное обучение за рубежом. М.: Высшая школа, 1968. 2. Краудер Н.А. О различиях между линейным и разветвленным программированием // Там же. 3. Талызина Н.Ф. Управление процессом усвоения знаний. М.: МГУ, 1975. 4. Ланда Л.Н. О кибернетическом подходе к теории обучения // Вопросы философии. 1962. №9. 5. Jacqueline and Martin Brooks. The Case For Constructivist Classrooms. Education Leadership, November, 1995. 6. Robert Sylwester. What the Biology of the Brain Tells Us About Learning. Education Leadership, December, 1993. 7. Garne R.M., Briggs L.J. Principles of instructional design. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1979. 8. ДСТУ 2481-94. Системи оброблення інформації. Інтелектуальні інформаційні технології. Терміни та визначення. Держстандарт України. К.: 1994. 9. Присяжков В.Ф., Присяжкова Л.М. Нестационарные психологические процессы. — Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 1994. 192 с. 10. Данилова Н.Н., Крылова А.Л. Физиология высшей нервной деятельности. Серия «Учебники и учебные пособия». Ростов н/Д: «Феникс», 1999. 480 с. 11. Петров Э.Г., Радванская Л.Н., Шаронова Н.В. Самосовершенствование преподавателя (пути улучшения техники обучения). Учебное пособие. Херсон, ОЛДИ-плюс, 2002. 144 с.

Поступила в редколлегию 12.04.2005

УДК 519.713: 631.411.6

Т.В. Козуля, Н.В. Шаронова

МОДЕЛІ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКОГО РІШЕННЯ І КОНЦЕПЦІЯ КОРПОРАТИВНОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ

Вступ: актуальність роботи і зв'язок з науково-практичними задачами

Розвиток цивілізації в умовах ноосфери безпосередньо пов'язаний з виникненням цілої низки екологічних проблем. Першочерговими вже декілька століть залишаються питання екологічного стану і нормального функціонування природних комплексів і передусім екосистем, взаємозв'язок між класичними екологічними проблемами довкілля і подальшого розвитку соціальної і економічної систем (або соціально-економічної системи). Усі три названі системи, що і складають основу життєзабезпечення планети, є складними динамічними системами. Поведінка таких систем з'ясується на основі причинно-наслідкових зв'язків між критеріями оцінювання (причини) та остаточним рішенням (наслідком). У такому разі виникає необхідність описувати ці зв'язки природною мовою, а потім формалізувати у вигляді сукупності нечітких логічних висловлювань типу: «якщо — то, інакше». Останнє положення визначається як набір точок у просторі, які є оцінювальними критеріями об'єкту. По цих точках з використанням нечіткого логічного висновку складається поверхня, що визначає відповідне остаточне рішення (вихідна змінна) за таких значень параметрів (вхідних змінних), для яких інформація у базі знань є відсутньою. На сьогодні не можна розглядати окремо природну, соціальну і економічну системи, визначати пріоритети, не зважаючи на взаємозв'язок і взаємовплив на стан, функціонування і еволюційні процеси у кожній із цих систем. Проблема прийняття рішення в умовах невизначеності і складності визначених систем реального світу ускладнюється тим, що маємо справу не з однією складною системою, а з трьома реальними динамічними і взаємодіючими системами. Для спрощення проблеми прийняття рішення відповідно до реалій було запропоновано ввести поняття корпоративної екологічної системи (КЕС), що дає змогу збалансувати гармонійний розвиток трьох складових системи (природної, соціальної, економічної), зменшити кількість параметрів оптимізації і, звернувшись до системного аналізу, запропонувати термодинамічний підхід щодо оптимізації прийняття управлінського рішення в умовах функціонування КЕС [1, 2].

Дійсно, одна з найбільш вагомих особливостей термодинаміки є її універсальність і безпосередній зв'язок з теорією інформації. Будь-яка модель, у

тому числі КЕС, є імітаційною, якщо вона відображає реально існуючі процеси. Серед моделей, що відповідають критерію мети, виділяють ті, що описують саму систему (в даному випадку КЕС) та моделі рішення, які використовують для прийняття рішення.

КЕС, як імітаційна система, є сукупність моделей, які відображають протікання складних фізико-хімічних процесів, об'єднаних зі спеціальною системою допоміжних програм і інформаційною базою, дозволяючи просто і оперативно реалізувати варіантні розрахунки, зроблені на основі даних спостережень, у тому числі в системі екологічного моніторингу [4].

Мета створення КЕС як імітаційної системи зводиться до постанови і розв'язання важливих прикладних задач — прогнозування поведінки КЕС при тих чи інших засобах взаємодії між її складовими (природною екосистемою, соціальною і економічними системами) і управління цими системами, яке має бути оптимальним для КЕС.

В залежності від інформаційних проблем при аналізі процесів управління виділяють дескрипторні моделі рішення та нормативні моделі [3].

Якщо йдеться про дослідження реальних процесів прийняття рішення у практиці керівництва охороною навколишнього природного середовища, розвитком соціально-економічної системи, то аналіз роду та характеру дій, що складають процес рішення, проводиться в рамках психологічної теорії рішень (теорії процесу) завдяки дескрипторним моделям рішення. На основі цих моделей розробляються нові стратегії діяльності для досягнення результату розв'язання поставленої задачі.

Для вибору оптимального рішення розробляють та використовують у практиці прийняття рішення нормативні моделі. Такий підхід у моделюванні рішення використовує методи та принципи математики, логіки та статистики. Управлінське рішення у цьому випадку спирається на знання множини альтернатив, систему переваг, яка враховує корисність отриманих результатів; критерій вибору. У нормативних (кількісних) моделях критерій вибору може змінюватися в залежності від числа та ймовірності появи зазначених станів реальних об'єктів. Ці моделі використовують в умовах впевненості, ризику та невпевненості [3].

Екосистеми, а також соціально-економічна система є термодинамічними відкритими системами,

які обмінюються енергією і речовиною зі своїм оточенням. Цей обмін здійснюється і в самих системах і між їх окремими частинами (розглядають метаболізм внутрішній і зовнішній). Складна взаємодія у самій КЕС, її підсистемах, зовнішній обмін КЕС речовиною і енергією говорять, що маємо справу з нерівноважною нелінійною системою, в якій протікають процеси самоорганізації. У таких системах можуть виникати різноманітні структури, існування яких обумовлює відхилення системи від рівноваги. Тоді доцільно для вирішення *головної мети дослідження* — *прийняття оптимального управлінського рішення в системі екологічного моніторингу з ціллю гармонізації розвитку природної і соціально-економічної системи*, — звернутися до аналізу моделей прийняття рішень і вибору моделі, найбільш сприятливої для досягнення мети. У такому разі у роботі поставлено та досліджено наступні задачі:

- 1) визначення критеріїв вибору прийняття рішення, яке спрямоване на встановлення рівноваги у КЕС і її складових на базі використання основ термодинамічного аналізу;
- 2) застосування термодинамічних функцій щодо прийняття оптимального управлінського рішення за умов рівноваги в КЕС;
- 3) впровадження термодинамічного підходу для прогнозування стану ґрунтів як складової природної екосистеми; прийняття рішення в умовах нормативної моделі КЕС — запровадження методів статистичної обробки інформації і прогнозування стану системи.

Матеріали досліджень і наукові результати

Ідея застосування основ термодинаміки в області робіт з оптимізації управлінського рішення в системі екологічного моніторингу об'єктивно обумовлена ходом дослідження — введення КЕС як:

- необхідної моделі реалізації взаємодії між складними динамічними системами: природною екологічною, соціальною та економічною;
- оптимізації управлінського рішення щодо КЕС з метою гармонізації зв'язків природної і соціально-економічної систем та їх сталого рівноважного розвитку;
- основи ідентифікації та оцінки нормованого рівноважного розвитку КЕС та її складових завдяки комплексному критерію — *екологічному компаратору* (ЕК) [1, 2].

У цьому напрямку досліджень більш прийнятною є модель рішення в нормативній теорії рішень. Нормативний підхід взагалі застосовують для групи проблем, які добре або частково слабоструктуровані [3].

Функціонування КЕС і її складових пов'язано з протіканням процесів в умовах невизначеності, ймовірності реалізації рішення, тобто прийняття рішення в умовах невпевненості з використанням

різних критеріїв вибору: максимізація середньої корисності, максимінний, Гурвіца, Лапласа або Севіджа.

Термодинамічний підхід щодо визначення стану КЕС дозволяє при зміні управляючих параметрів визначитися у самоорганізації системи, тобто розглянути різні її стани, які послідовно змінюються під впливом важелів управління. Поєднання концепції КЕС і основ термодинаміки як універсального підходу у визначенні стану будь-якої системи дозволяє охопити усю стохастичну динаміку у просторі, де діють управляючі параметри, що залежать від часу. Термодинамічний підхід щодо прийняття рішення в умовах КЕС дозволяє сконцентрувати увагу на ситуаціях, в яких макроскопічна поведінка системи зазнає якісних змін, визначити загальний стан для систем різного рівня.

Таким чином, *КЕС є термодинамічною складною динамічною системою, для якої прийняття рішення пов'язані з проблемами багатокритеріального вибору*. У такому разі використовують *прямий метод, метод прийняття рішень, що повторюються; метод безпосередньої класифікації* [3].

Оскільки КЕС складається з різних складних систем, що мають свої критерії визначення стану як нормованого, так і рівноваги, то для неї можливо застосувати найбільш відомий з прямих методів — метод зваженої суми оцінок критеріїв. Згідно з цим методом корисність U багатокритеріального об'єкту дорівнює:

$$U = \sum_{i=1}^N w_i x_i,$$

де x_i — оцінка об'єкта за i -тим критерієм ($i=1, \dots, N$), що вимірюється за кількісною шкалою; w_i — вага i -того критерію, що вимірюється за кількісною шкалою.

Метод прийняття рішень, що повторюються, для розв'язання екологічних проблем потребує застосування формалізованих методик визначення ваг критеріїв лінійних моделей, оскільки необхідно мати точніші моделі.

Метод безпосередньої класифікації не застосовується у разі КЕС, оскільки потребує розділу об'єкту на декілька класів з припущенням декількох рангових варіантів рішень. Саме впровадження моделі КЕС мало за мету відійти від класифікаційних задач, мати одну систему з гармонійно пов'язаними складовими, стан рівноваги яких можна охарактеризувати однойменними критеріями.

Термодинамічні функції як критерії визначатимуть якісні зміни, що впливають на управляючі параметри, дія яких спрямована на нову самоорганізацію системи, яка має відповідати нормованому збалансованому стану складових КЕС і її стану рівноваги в цілому за відповідністю оптимальним значенням ЕК.

Під саморегулюючими системами розуміють ієрархічні структури, які самовільно переходять послідовно через ряд визначених режимів саморегулювання системи. Будь-яка система, у тому числі КЕС, є фізико-хімічною системою, а потоки речовини і енергії будуть призводити до якісних змін у ній завдяки протіканню фізико-хімічних процесів. Протікання таких процесів контролюється і прогнозується завдяки основам термодинаміки. У стані термодинамічної рівноваги ентропія системи максимальна. Максимальному значенню ентропії відповідає найбільша неупорядкованість системи. У замкненій системі, яка характеризується нерівноважним станом, процеси відбуваються у напрямку зростання ентропії. Однорідний стан має більше значення ентропії, ніж неоднорідний. Однак КЕС є незамкненою і більш ймовірним для неї є нерівноважний стан. У нерівноважних системах ентропія більш низька, і система є більш неупорядкованою, ніж у стані рівноваги. У незамкнених системах, до яких відносяться КЕС і її складові, процеси відбуваються зі зменшенням ентропії, тобто зі збільшенням порядку. При зміні стану у системі приріст ентропії можна представити у вигляді двох додатків:

$$dS = dS_e + dS_i, \quad (1)$$

де dS_e — зміна ентропії за рахунок її притоку зовні; dS_i — зміна ентропії внаслідок процесів, що відбуваються всередині системи.

Для процесів всередині системи приріст ентропії завжди додатний, тобто $dS_i \geq 0$.

Надходження ентропії з оточуючого середовища dS_e залежно від характеру зв'язку системи із зовнішнім середовищем може мати різний знак — як позитивний, так і негативний. За таких умов, якщо величина dS_e від'ємна і за абсолютним значенням перевищує dS_i , то повний приріст ентропії буде від'ємним, що означає зменшення ентропії і збільшення порядку в системі. Отже, корпоративна дія внутрішніх і зовнішніх процесів, що є присутніми у КЕС, стабілізує систему.

Якщо спостерігається відхилення від стану рівноваги, то визначається безперервна зміна параметрів системи. Виникнення структур (речовин, перерозподіл і деструктуризація елементів, компонентів тощо), що обумовлює самоорганізацію системи, відбувається стрибкоподібно при досягненні певного значення відхилень параметрів системи від їх рівноважних значень. Такі переходи системи у новий стан є нерівноважним фазовим переходом, кінетичним процесом.

Таким чином, зважаючи на властивості КЕС і особливості корпоративного зв'язку в ній, повноцінно можна запровадити як критерії визначення стану КЕС термодинамічні функції і підійти до системи прийняття управлінського рішення. При такому підході маємо не складну систему різномірних

параметрів, що визначають стан КЕС й її складових, а універсальні критерії стану, які характеризують стан корпоративної системи і її складових. Термодинамічні функції, які є універсальними узагальнюючими критеріями визначення стану будь-якої системи, дозволяють при прийнятті управлінського рішення в умовах КЕС уникнути багатокритеріальної задачі. Остання характеризується множиною принципів оптимальності. Використання ЕК дозволяє звернутися до задачі однокритеріальної оптимізації у разі використання термодинамічних показників, не порушуючи послідовності і не спрощуючи складності зв'язків у реальних складових КЕС.

При складанні математичної моделі задачі прийняття рішення треба врахувати наступні елементи процесу прийняття рішення:

— множину змінних, керуючі впливи або стратегії (X);

— множину змінних, значення яких не регулюються і залишаються визначеними при розв'язуванні задачі, — параметри задачі (P);

— множину змінних, значення яких незалежно змінюються і визначаються станом зовнішнього середовища, — збурення (Q);

— множину вихідних змінних (Y).

Тоді математична модель задачі прийняття рішень представлена множиною співвідношень, які зв'язують керуючі впливи та параметри задачі з вихідними змінними, і описується відображенням:

$$y: X \times P \times Q \rightarrow Y. \quad (2)$$

Якщо параметри P та зовнішні збурення Q залишаються незмінними, то маємо справу з статичною моделлю. У разі КЕС параметри задачі прийняття рішення (ПР) і зовнішні збурення будуть змінюватися у часі і просторі, тоді математична модель буде динамічною і матиме вигляд диференціальних або різницевих рівнянь.

Оскільки зовнішні збурення при функціонуванні КЕС носять випадковий характер, то модель задачі ПР є стохастичною. Вона представлена загальним відношенням (2).

Ймовірність події (P) й інформація (J) пов'язані між собою функціонально:

$$J = f\left(\frac{1}{P(M)}\right), \quad (3)$$

де f — невідома функція.

Прийняття управлінського рішення для КЕС пов'язано з інформацією, що надходить з системи екологічного моніторингу. Доцільне питання: яка невизначеність прогнозу спостережень відносно того, у якому стані система знаходиться в даний момент? Відомо, що це середнє значення функції $\log_2 1/P_i$. Таким чином маємо:

$$\langle J \rangle = - \sum_{i=1}^I P_i \log_2 P_i,$$

де $P_i = 1/\wedge$, відповідно до умов нормування, $\wedge$ — можливі дискретні стаціонарні стани. Це є інформаційна ентропія системи [4]. Важливим для розглянутих питань є визначення умов, за яких інформаційна ентропія системи досягає максимуму.

Максимум ентропії досягається, коли всі стани рівно ймовірні, і її максимальне значення дорівнює:

$$S = S_{\max} = -\sum_{i=1}^{\wedge} \left(\frac{1}{\wedge} \log \frac{1}{\wedge} \right) = \log_2 \wedge, \quad (4)$$

тобто логарифму числа станів.

Тоді виникає питання: яку інформацію потрібно мати від окремих складових КЕС, щоб визначитися у загальному макростані системи.

Якщо W_1, W_2, W_3 — число комплексів, що відповідають за стан кожної із складових КЕС, то $W = W_1 \times W_2 \times W_3$.

Ступінь незнання чи ентропія S , з якою мікростан відповідає за макростан, що спостерігають, дорівнює $S(W_1), S(W_2), S(W_3)$ для кожної складової системи. В силу адитивної властивості інформації для всієї системи справедливе відношення:

$$S(W) = S(W_1, W_2, W_3) = S(W_1) + S(W_2) + S(W_3).$$

Згідно з рівнянням Планка для фізичної ентропії справедливо:

$$S = k \ln W.$$

Наступним кроком доцільно знайти зв'язок між фізичною та інформаційною ентропією, тим самим ствердити можливість і необхідність запровадження ентропійного критерію для визначення стану системи і можливості його використання як критерію для оптимізації прийняття рішення в умовах КЕС.

Якщо кожна система складається з N взаємодіючих компонентів і ці числа великі, то

$$N_1/N \sim P_1, \quad N_2/N \sim P_2, \quad N_3/N \sim P_3,$$

тобто

$$P_i = \lim_{N \rightarrow \infty} (N_i/N).$$

З урахуванням початкового і кінцевого стану системи величина $\wedge = 2$, тоді:

$$\langle S \rangle = -k \sum_{i=1}^2 P_i \ln P_i;$$

$$\langle S \rangle = -k \ln 2 \sum_{i=1}^2 P_i \log_2 P_i = k \ln 2 (S_{\inf}).$$

Таким чином, фізична і інформативна ентропія відрізняються на коефіцієнт $k \ln 2$. Отже, визначивши стан систем через термодинамічні показники S, G, U (ентропія, енергія Гіббса, внутрішня енергія), маємо загальний стан КЕС, а звідси інформацію для прийняття управлінського рішення. З іншого боку, оптимальність, доцільність і пра-

вильність прийнятого управлінського рішення може бути перевірена через зв'язок $S_{\inf} \sim \langle S \rangle$.

Корпоративна екологічна система є динамічною, тому маємо для неї перехід з i -го в j -тий стан, а таким чином з величиною ймовірності такого переходу U_{ji} і складом самої системи (N_i, N_j — складові компоненти у певному стані). У такому разі ентропія системи змінюється у часі:

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^{\wedge} \sum_{j=1}^{\wedge} U_{ji} (N_i - N_j) (\ln N_i - \ln N_j) \geq 0. \quad (4)$$

Рівняння (4) виконується у тих випадках, коли $N_i = N_j$ при всіх i і j , тобто в стані абсолютної однорідності чи в стані ідеальної симетрії, який є станом термодинамічної рівноваги.

При $N_i \rightarrow \infty$ функція $S = f(x)$ монотонна, тобто незворотно буде намагатися досягти максимального рівноважного значення і, досягнувши його, залишається далі незмінною.

Вибрані критерії оцінки стану КЕС — ймовірнісні величини. Функціонування КЕС і складових пов'язано з невизначеністю дії зовнішніх факторів. Стан зовнішнього середовища визначатиметься як $S_1, S_2, \dots, S_k$. Результатом прийняття рішення для КЕС і складових буде сполучено з корисністю отриманого результату u_j при використанні стратегії x_i :

$$u_{ij} = U(y_j, x_i), \quad j = \overline{1, n}; \quad i = \overline{1, m}.$$

Реалізація будь-якої стратегії визначається загальною корисністю U , яка визначається розмірністю $m \times n$.

В залежності від стану середовища результат u_j досягається з ймовірністю $P(y_j(x_i, S_k))$.

Якщо для КЕС використати величини $P(S_k)$, то перейдемо до розв'язання задачі ПР в умовах ризику. У такому разі вибір стратегії ПР x_i визначатиметься умовами

$$\max \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^k u(y_j, x_i) P(y_j(x_i, S_k)) P(S_k).$$

Оскільки стан середовища і розподіл ймовірностей $\{P(S_k)\}$, $k = \overline{1, k}$ невідомі, то суттєвим є вибір оптимальної стратегії ПР. В умовах функціонування КЕС навіть мінімальний ризик не є припустимим, тоді необхідно застосовувати критерій Вальда — гарантованого результату.

Таким чином, отримані наступні результати з двох пунктів дослідження: *важливим у однозначній визначеності рівноваги стану КЕС і прийняття оптимального управлінського рішення підтримки гармонійного зв'язку між складовими КЕС є запровадження термодинамічного підходу визначення стратегії ПР і умов запровадження стохастичної динамічної моделі ПР.*

Найбільш складною і лімітуючою щодо стану КЕС є природна екологічна система, що зазнає більш

інтенсивного зовнішнього впливу з боку соціальної і економічної систем. Будь-який природний процес характеризується збільшенням суми ентропії dS усіх частин системи, що приймають участь у процесі. У той же час, якщо існує можлива зміна системи, при якій $dS > 0$, система здатна до спонтанних змін і не може залишатися у стані рівноваги. Якщо система рівноважна, то сумарні зміни її ентропії dS при всіх безкінечно малих змінах, які відбуваються у системі, дорівнюють нулю, тобто $dS = 0$. Система піддається спонтанним змінам, якщо при будь-якому безкінечно малому зміні стану її загальна потенційна енергія ψ зменшиться, тобто $\Delta\psi < 0$. При довільній зміні ентропія системи S завжди зростає, тоді як потенційна енергія $\Delta\psi$ системи завжди зменшується, тобто $\Delta S > 0$ і $\Delta\psi < 0$ описують одні й ті ж умови. Якщо система знаходиться у стані рівноваги, то зміни її потенційної енергії $\Delta\psi$ при всіх безкінечно малих змінах дорівнюють нулю, при цьому як $\Delta S = 0$, так і $\Delta\psi = 0$ описують умови рівноваги. Функція ψ найменш узагальнена порівняно з ентропією, що робить її більш зручною і практичною при вивченні багатьох реальних проблем.

Відомо, що ґрунт як об'єкт природних екосистем є центральною і найбільш складною частиною. Саме у ґрунті концентруються усі потоки речовини і енергії, які перерозподіляються між усіма іншими складовими системи, і де відбувається формування їх подальшого руху в економічну і соціальну системи. Ґрунт виступає своєрідним депо усіх потоків речовини, зокрема забруднювачів. Це спричиняє виникнення умов протікання фізико-хімічних процесів, що здатні вивести систему з рівноваги. Розглянемо, яким чином діють термодинамічні підходи щодо визначення загального стану системи за даними окремих локальних процесів і явищ, які відбуваються у системі. Для розгляду цього питання були взяті дані статистичних спостережень екологічного моніторингу ґрунтів, що знаходяться під впливом викидів забруднювачів теплової електростанції (для прикладу взято чисельні значення вмісту важких металів у ґрунтах на території Зміївського району, що піддаються впливу викидів Зміївської ДРЕС, отримані під час досліджень протягом 1994–2001 рр.) [5].

Практичні результати вимірів концентрації важких металів у зразках ґрунтів було проаналізовано за допомогою пакету програм «STATISTICA 5.5». Це дозволило визначити кореляційні залежності збільшення вмісту тих чи інших металів через присутність інших забруднювачів. Оскільки всі важкі метали є полівалентними, то в залежності від умов середовища вони виявляють як кислотні, так і основні властивості. Такі елементи, як Cr , V , Mo , W і такі інші утворюють відповідні кислоти, що взаємодіють з катіонними формами важких металів, і протікають термодинамічно-обумовлені реакції утворення нерозчинних сполук. Це призводить до зменшення міграційної здібності забруднювачів, а

ентропія системи досягає максимального значення, яка у подальшому не змінюється, тобто $\Delta S = 0$, і система, маючи на увазі ґрунт, знаходиться у стані рівноваги. Підтвердженням цього є відсутність у зразках рослин з досліджених територій забруднювачів у надлишковій кількості. Так, за результатами статистичної обробки матеріалу маємо найбільш визначені кореляції між:

Pb – ґрунт – ($r = 0,85$) – Cr – ґрунт;
 Zn – ґрунт – ($r = 0,88$) – Cu – ґрунт і ($r = 0,80$) Ni – ґрунт;
 Sr – ґрунт – ($r = 0,83$) – V – витяг;
 Cu – ґрунт – ($r = 0,88$) – Zn – ґрунт; а також при $r = 0,65$ спостерігається залежність від вмісту V – ґрунт;
 Cr – витяг – ($r = 0,83$) – Ni – витяг.

Таким чином, найбільш ймовірними є процеси, які протікають у напрямку стабілізації системи зі зменшенням енергетичних термодинамічних функцій і збільшенням ентропії, – утворення нерозчинних сполук між катіоногенами (Pb , Sr , Cu , Ni) й аніоногенами (Cr , V , частково Zn), що відповідає високим значенням коефіцієнту кореляції r .

Серед регресійних рівнянь треба привести дві математичні моделі поведінки свинцю і цинку у ґрунтах в залежності від присутності в них інших забруднювачів таких, як важкі метали, у твердій частині ґрунту і водній витяжці (витяг) (табл. 1, 2).

Таблиця 1

Regression Summary for Dependent Variable: Pb_ГРУНТ
 $R = ,99999959$ $RI = ,99999918$ Adjusted $RI = ,99999261$
 $F(8,1) = 1523E2$ $p < ,00198$ Std. Error of estimate: ,01102

	β	St. Err. of β	B	St. Err. of B
Intercept			-133,23	0,314
Cr – ґрунт	2,64	0,005	1,30	0,002
Zn – ґрунт	1,49	0,003	0,199	0,000
V – витяг	2,34	0,006	281,70	0,759
Sr – витяг	0,55	0,002	1,03	0,003
Pb – витяг	0,07	0,001	1,50	0,031
Cu – витяг	0,37	0,001	65,06	0,249
Ni – витяг	0,32	0,002	109,55	0,634
Cu – ґрунт	0,07	0,003	0,04	0,001

$$C_{\text{Pb}} = 2,68C_{\text{Cr}} + 1,49C_{\text{Zn}} + 2,34C_{\text{V}} + 0,55C_{\text{Sr}} + 0,07C_{\text{Pb}} + 0,37C_{\text{Cu}} + 0,32C_{\text{Ni}} + 0,07C_{\text{Cu}} - 133,23$$

Таблиця 2

Regression Summary for Dependent Variable: Zn_ГРУНТ
 $R = ,98920995$ $RI = ,97853633$ Adjusted $RI = ,96136540$
 $F(4,5) = 56,988$ $p < ,00023$ Std. Error of estimate: 5,9474

	β	St. Err. of β	B	St. Err. of B
Intercept			-329,81	133,00
Cu – ґрунт	1,70	0,311	7,74	1,41
V – витяг	-0,75	0,167	-672,59	150,47
Sr – ґрунт	1,40	0,353	0,67	0,17
Cr – ґрунт	0,47	0,244	1,73	0,89

$$C_{\text{Zn}} = 1,7C_{\text{Cu}} - 0,75C_{\text{V}} + 1,4C_{\text{Sr}} + 0,47C_{\text{Cr}} - 329,81,$$

де, $C_{Pb}, C_{Cu}, C_{Sr}, C_{Cr}, C_{Zn}, C_{Vb}, C_{Si}, C_{Pb}, C_{Cu}, C_{Ni}$ — концентрація свинцю, міді, стронцію, хрому, цинку у ґрунтах, концентрація ванадію, стронцію, свинцю, міді і хрому у водній витяжці, відповідно.

Ці залежності відрізняються великим значенням коефіцієнту детермінації R (чим ближче значення R до 1, тим краще регресія пояснює залежність даних) і незначною стандартною похибкою оцінки (Std. Error of estimate):

Таким чином, фізико-хімічні процеси у ґрунтах, антропогенно-забруднених хімічними елементами різної хімічної природи, призводять до стабілізації у системі, яка за термодинамічними критеріями матиме $|S| \rightarrow \max, dS = 0$, тобто стан рівноваги. Це зменшить або зовсім припинить надходження речовини та енергії в іншу систему, тобто не буде її дестабілізувати. За цих умов екологічна система знаходиться у стані рівноваги, так як зменшується до нуля потік забруднюючої речовини у рослини і так далі. Таким чином, забруднення, тобто потік речовини зовні, не надходить до організму людини (важкі метали з продуктами харчування не потрапляють в організм людини, не спричиняють порушень функціонування організму), яка є елементом соціальної системи, тобто і для цієї складової КЕС також маємо $dS = 0$. Економічна система також залишається у незмінному стані, що відповідає початковому стану КЕС — стану рівноваги. За умов відсутності зовнішнього притоку речовини і енергії зовні в КЕС і при $dS_i = 0$ будемо мати стан рівноваги для всієї КЕС — $dS = 0$.

Заклучення

Науково-практичне значення роботи. Введення складної імітаційної моделі КЕС і запровадження до неї теорії термодинамічного підходу дозволяє розглядати задачу прийняття управлінського рішення як стохастичної динамічної моделі ПР в умовах невизначеності стану зовнішнього середовища і відсутності ризику. Суттєвим при введенні КЕС є можливість порівняння результатів змін у різних складових підсистемах КЕС як природної екосистеми, соціальної і економічної системи. Застосування функції корисності результатів ПР стратегії дозволяє визначити однозначно оптимальне управлінське рішення для КЕС і її складових, яке забезпечує стан рівноваги, що і є ціллю прийняття управлінського рішення в системі екологічного моніторингу.

Перспективи розвитку. Корпоративна система, впроваджена у систему охорони природного середовища, — корпоративний екологічний менеджмент, дозволяє розв'язувати питання прийняття управлінського рішення щодо вирішення екологічних проблем на мікрорівні. КЕС — це система, що

регулює відносини між природною і соціально-економічною системами на глобальному рівні. Надалі потребує розвитку концепція КЕС і удосконалення застосування для ПР математичного апарату оптимізації прийняття управлінського рішення з урахуванням термодинамічних критеріїв визначеності стану системи і використання стохастичної динамічної моделі ПР.

Висновки

1. Аналіз наслідків впровадження КЕС як цілісної складної системи показав, що рівноважний гармонійний розвиток систем життєзабезпечення людини і природної (екологічної) системи гарантується завдяки прийняттю оптимального управлінського рішення на базі впровадження термодинамічного підходу щодо визначення стану КЕС і дотримання умов рівноваги за рівнянням (4).

2. Визначено, що оптимальним буде управлінське рішення щодо гармонійного функціонування природної і соціально-економічної систем, яке сприятиме урегулюванню фізико-хімічних процесів у складових компонентах підсистем КЕС; у самій КЕС в цілому; максимізації функції корисності результатів впровадження стратегії x_i за умов відсутності ризику для стохастичної динамічної моделі ПР.

3. Розглянуто приклад застосування термодинамічного підходу щодо визначення стану центрального об'єкту екосистем — ґрунту. На основі аналізу було показано можливість послідовного визначення напрямку процесів стабілізації в системі ґрунт, як однієї з складових КЕС, при надходженні забруднювачів (важких металів) до неї.

Отже, визначений напрямок досліджень є перспективним щодо вирішення екологічних проблем сучасності, спрямованих на гармонізацію відносин між природною і соціально-економічною системами; розв'язання задачі оптимізації прийняття рішення у відсутності ризику для стохастичної динамічної моделі ПР в системі екологічного моніторингу.

Список літератури: 1. Козуля Т. В. Исследование оптимальных математических подходов в управлении качеством окружающей среды на основе данных экологического мониторинга // АСУ и приборы автоматики. 2004. Вып. 129. С. 59-66. 2. Козуля Т. В. Теоретично-практичні підходи при оптимізації прийняття рішення в системі екологічного моніторингу // Вестник НТУ «ХПІ». Системный анализ, управление и информационные технологии. 2004. № 45. С. 110-118. 3. Юхимчик С. В., Азарова А. О. Математичні моделі ризику для систем підтримки прийняття рішень. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. 188 с. 4. Николик Дж. Динамика иерархических систем: эволюционное представление. М.: Мир, 1989. 488 с. 5. Козуля Т. В., Глушкова Л. В., Штительман З. В. Визначення кореляцій між вмістом важких металів у ґрунтах різних екосистем при вирішенні задач математичного моделювання в екологічному моніторингу // Радиоелектроника и информатика. 2004. № 4. С. 159-165.

Надійшла до редколегії 01.06.2005

УДК 530.1+612

Л.А. Аверьянова, В.М. Головенко, О.И. Скляр

АНАЛИЗ ТЕЧЕНИЯ БИОЖИДКОСТИ ПО КАНАЛУ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИМПУЛЬСА ДАВЛЕНИЯ

Введение

Одной из наиболее важных задач математической биологии является описание пространственно-временных процессов транспорта биожидкости по трубчатому каналу (кровеносному сосуду, мочеточнику, уретре и т. п.).

Структурно-функциональные нарушения, возникающие в организме, приводят к изменению динамики физиологических процессов. Определение характера изменения диагностически важных физических параметров организма при различных типах патологии является крайне важной медицинской задачей, требующей адекватного физико-математического толкования.

Одной из наиболее актуальных проблем урологии является изучение нарушений функции нижнего мочевого тракта человека. Это нарушение во многих случаях связано с сужением мочевыводящего канала, которое проявляется чаще всего в таких заболеваниях, как доброкачественная гиперплазия предстательной железы (аденома). При раннем диагностировании это заболевание проявляется через нарушение функции микции (мочеиспускания). Наиболее просто и в то же время достаточно точно нарушения микции могут быть выявлены при уродинамических исследованиях [1].

Основой правильного клинического толкования информации о состоянии нижних мочевых путей, получаемой с помощью уродинамических исследований (урофлоуметрия), следует считать знание теоретических основ и особенностей движения жидкости в нижних мочевых путях. В связи с этим аналитическое исследование задачи транспорта мочи по мочевыводящему каналу является актуальной медико-физической задачей.

Вопросы физико-математического моделирования нижнего мочевого тракта изучаются уже достаточно длительное время [2], но до настоящего времени не получено адекватное аналитическое описание функциональной зависимости изменения объемного потока мочи во времени.

Транспорт мочи по мочевым путям не имеет аналогий в технике, поэтому при описании процессов, лежащих в его основе, уравнения и формулы, применяемые в гидродинамике, могут быть использованы лишь с определенным приближением [2].

Одним из подходов к математическому описанию процесса транспорта мочи по мочевыводяще-

му каналу (уретре) может быть использование технической гидродинамической задачи И.С. Громека [3]. В этой задаче рассматривается движение вязкой несжимаемой жидкости по круглой цилиндрической трубе под действием перепада давления бесконечной длительности. Предполагается, что давления P_1 и P_2 приложены в двух нормальных сечениях трубы, находящихся на расстоянии l (рис. 1).

Цель исследования

Целью данного исследования является аналитическое описание процесса транспорта мочи по идеальному уретральному каналу под действием импульса давления и получение функциональной зависимости, описывающей динамику изменения объемного потока мочи.

Материалы и методы

В качестве физической модели уретры рассматривается цилиндрическая трубка с жесткими стенками радиусом a и длиной l (рис. 1).

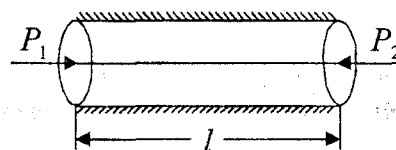


Рис. 1. Трубка тока жидкости протяженностью l и радиусом a , к которой приложен градиент давления ($P_1 - P_2$)

В первом приближении при моделировании уретры рассматривается как объект с жесткими стенками, хотя на самом деле они эластичны.

Предполагается, что моча является ньютоновской жидкостью с плотностью ρ и коэффициентом кинематической вязкости ν , которые постоянны.

Транспорт мочи рассматривается как ламинарное движение жидкости по трубе с линейной скоростью $u(r, \varphi, z, t)$ под действием импульса давления $P(t)$.

Определяется объемный расход биожидкости Q в единицу времени.

Сила, которая заставляет мочу двигаться по мочевыводящим путям, зависит от соотношения давлений, создаваемых с одной стороны мышцами мочевого пузыря (детрузора), давлением окружающих органов и тканей (абдоминальным) и с другой стороны атмосферным давлением. Когда суммар-

ное давление детрузора и абдоминальное давление P_1 превышают атмосферное давление P_2 , может начаться процесс микции, а когда в процессе мочеиспускания давление P_1 становится меньше P_2 , процесс микции прекращается.

В данном случае под понятием импульсного воздействия давления будем понимать именно разницу давлений P_1 и P_2 . При этом надо иметь в виду, что каждое из этих давлений равномерно приложено по площади соответствующего сечения трубки и создает поле давления.

Это поле давления будет определять поле скоростей $u(r, \varphi, z, t)$ потока жидкости в цилиндрической трубе, которое может быть охарактеризовано различными компонентами скорости потока.

С математической точки зрения для описания общей задачи течения вязкой несжимаемой жидкости под действием давления используется уравнение Навье – Стокса и уравнение непрерывности потока жидкости [4]. Система этих уравнений в частных производных имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial u_r}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{u_\varphi}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \varphi} + u_z \frac{\partial u_r}{\partial z} - \frac{u_\varphi^2}{r} = \\ = F_r - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \Delta u_r, \\ \frac{\partial u_\varphi}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_\varphi}{\partial r} + \frac{u_\varphi}{r} \frac{\partial u_\varphi}{\partial \varphi} + u_z \frac{\partial u_\varphi}{\partial z} + \frac{u_r u_\varphi}{r} = \\ = F_\varphi - \frac{1}{r\rho} \frac{\partial p}{\partial \varphi} + \nu \Delta u_\varphi, \\ \frac{\partial u_z}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{u_\varphi}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \varphi} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} = \\ = F_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \Delta u_z, \\ \frac{1}{r} \frac{\partial(r u_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где u_r, u_φ, u_z – компоненты скорости движения вдоль координат r, φ, z ; F_x, F_y, F_z – внешние силы; p – давление; ν – коэффициент кинематической вязкости; Δ – дифференциальный оператор Лапласа; ρ – плотность жидкости.

Решения системы уравнений (1) в общем виде до настоящего времени не существует.

Для отдельного случая с наложенными ограничениями (осесимметричное установившееся движение вязкой несжимаемой жидкости в трубе при отсутствии внешних сил F_i) задача была решена И.С. Громека, а дальнейшее развитие получила в работах Н.А. Слезкина [3]. Ими рассмотрен случай нестационарного движения потока жидкости в жесткой цилиндрической трубе под действием бесконечной единичной ступеньки перепада давления, а также определены радиальные компоненты скорости перемещения жидкости и ее расход.

При решении этой задачи накладывалось условие, что искомые функции скоростей движения вязкой жидкости были непрерывны и ограничены, а на неподвижных стенках, ограничивающих протекающую жидкость, искомые функции скорости движения жидкости обращались в нуль: $u_r|_{r=a} = 0$, $u_\varphi|_{r=a} = 0$, $u_z|_{r=a} = 0$. На свободных торцах объема осевая составляющая давления p_z равна либо постоянной величине, либо некоторой функции времени, а радиально-угловая составляющая давления обращается в нуль. К тому же в момент времени $t=0$ при неустановившемся движении искомые функции скорости удовлетворяют и начальным условиям $u_r = u_{r0}(r, \varphi, z, 0)$, $u_\varphi = u_{\varphi0}(r, \varphi, z, 0)$, $u_z = u_{z0}(r, \varphi, z, 0)$. Таким образом, если поток направить вдоль оси трубы Oz (рис. 1), то из трех компонент скорости u_r, u_φ, u_z остается лишь одна u_z (остальные две равны нулю); изменение этой осевой компоненты при нестационарном движении учитывается локальным ускорением $\frac{\partial u_z}{\partial t}$. Если пренебречь радиальными компонентами давления, то система уравнений (1) сводится к одному уравнению:

$$\rho \frac{\partial u_z}{\partial t} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \nu \rho \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u_z}{\partial \varphi^2} \right]. \quad (2)$$

В (2) левая часть равенства зависит только от переменной t , а правая только от r, φ, z ; равенство может выполняться в случае, когда каждая из частей является постоянной.

Результаты исследований

Рассмотрим применение задачи И.С. Громека для описания процесса микции.

В процессе мочеиспускания имеет место создание не просто перепада давления (как в задаче И.С. Громека), а импульса давления, то есть если рассматривать применение решения этой задачи для моделирования процесса микции, то оно должно быть дополнено рассмотрением реакции системы на снятие перепада давления.

Предположим, что градиент приложенного давления вдоль трубы изменяется по линейному закону.

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\frac{P}{l}. \quad (3)$$

Поскольку движение жидкости осесимметрично, то можно пренебречь угловой составляющей.

Перепад давления, который вызывает движение биожидкости по каналу, записывается в виде:

$$P(t) = P_1(t) - P_2 = P_0 \cdot 1(t), \quad (4)$$

где P_1 – амплитуда суммарного давления детрузора и абдоминального; $1(t)$ – функция Хевисайда; $P_2 = \text{const}$ – атмосферное давление.

Тогда уравнение (2) с учетом (3), (4) приобретает вид:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{du_z}{dr} \right) - \frac{1}{v} \frac{\partial u_z}{\partial t} = - \frac{P(t)}{v \rho l}. \quad (5)$$

Общее решение уравнения (5), в случае когда $P(t) = \text{const} = P_0$, с учетом вышеприведенных начальных и граничных условий представлено бесконечным рядом вида [3]:

$$u_z(r, t) = a^2 \frac{P_0}{4\nu \rho l} \left[1 - \frac{r^2}{a^2} - 8 \sum e^{-\frac{\lambda_k^2 t}{a^2}} * \frac{J_0 \left(\lambda_k \frac{r}{a} \right)}{\lambda_k^3 J_1(\lambda_k)} \right], \quad (6)$$

где λ_k — корни уравнения $J_0(\lambda_k) = 0$; J_0 и J_1 — бесселевы функции нулевого и первого порядка.

Объемный расход жидкости в единицу времени в плоскости S , перпендикулярной направлению движения жидкости, определяется как:

$$Q(r, t) = \int_S u_z(r, t) dS. \quad (7)$$

В результате решения уравнения (7) Н.А. Слезкиным [3] получено выражение для определения расхода жидкости через сечение цилиндрической трубы:

$$Q(r, t) = \frac{\pi P_0 a^4}{8\nu \rho l} \left[1 - 32 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{e^{-\frac{\lambda_k^2 t}{a^2}}}{\lambda_k^4} \right]. \quad (8)$$

Уравнение (8) можно представить в виде:

$$Q(r, t) = P_0 \cdot H(r, t),$$

где $H(r, t)$ — переходная характеристика функции объемного тока жидкости при единичном перепаде давления:

$$H(r, t) \Big|_{r=a} = \frac{\pi a^4}{8\nu \rho l} \left[1 - 32 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{e^{-\frac{\lambda_k^2 t}{a^2}}}{\lambda_k^4} \right]. \quad (9)$$

В описанном выше решении учитывалось действие единичной ступеньки перепада давления. При моделировании процесса микции задача может быть аналогично решена для случая снятия давления от P_1 до P_2 .

В реальной уродинамической системе характер нарастания и спада давления $P(t)$ обусловлен физиологическим состоянием детрузора и окружающих органов и имеет сложную форму.

В общем случае процесс микции может быть интерпретирован как переходный процесс, вызван-

ный изменением давления, поэтому возможно применить некоторые подходы теории переходных процессов к описанию процесса транспорта биожидкости.

При микции функция нарастания и спада давления является непериодической и кусочно-непрерывной функцией времени. Для решения такого класса задач применяется метод интеграла Дюамеля, который предполагает, что если уравнение, описывающее поведение системы, линейно, и если известна переходная характеристика функции на приложенное воздействие, то можно определить реакцию системы на любое приложенное воздействие $f(t)$ [5]. Таким образом, в нашем случае функция объемного расхода жидкости с помощью интеграла Дюамеля может быть определена следующим образом:

$$Q(r, t) = \int_0^t f'(\tau) H(r, t - \tau) d\tau, \quad (10)$$

где $H(r, t)$ — переходная характеристика функции на приложенное воздействие $f(t)$; τ — длительность приложенного воздействия.

Рассмотрим выражение (10) для простейшего случая, когда импульс действия будет прямоугольным длительностью τ .

В этом случае приложенное давление описывается функцией вида:

$$P = P(t) = f(t) = \begin{cases} P_0 & \text{для } 0 \leq t \leq \tau \\ 0 & \text{для } t > \tau \end{cases}, \quad (11)$$

где P_0 — амплитудное значение приложенного давления.

Функцию (11) можно представить в виде суперпозиции двух функций скачка:

$$f_1(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t = 0 \\ P_0 & \text{при } 0 \leq t \leq \tau \end{cases}, \quad (12)$$

$$f_2(t) = \begin{cases} P_0 & \text{при } t = \tau \\ 0 & \text{при } t > \tau \end{cases}.$$

Очевидно, что $f_1(t) = -f_2(t)$.

Выражение (10) для функции действия (11) при подстановке функций (12) примет вид:

$$Q(r, t) \Big|_{0 \leq t \leq \tau} = f_1(0) H(r, t) + \int_0^t f_1'(\tau) H(r, t - \tau) d\tau, \quad (13)$$

$$Q(r, t) \Big|_{t > \tau} = f_1(0) H(r, t) + \int_0^t f_1'(\tau) H(r, t - \tau) d\tau - [f_1(\tau) - f_2(\tau)] H(r, t - \tau) + \int_{\tau}^t f_2'(\tau) H(r, t - \tau) d\tau. \quad (14)$$

В качестве переходной характеристики воспользуемся выражением (9), полученным из решения Н.А. Слезкина (8).

Подставив значения $f_1(t)$, $f_2(t)$, $H(r,t)$, $H(r,t-\tau)$ в (13), (14) получим:

$$Q_{t \leq \tau}(r,t) = \frac{\pi a^4 P_0}{8 \nu \rho l} \left[1 - 32 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{e^{-\frac{\nu \lambda_k^2 t}{a^2}}}{\lambda_k^4} \right], \quad (15)$$

$$Q_{t > \tau}(r,t) = \frac{4 \pi a^4 P_0}{\nu \rho l} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{e^{-\frac{\nu \lambda_k^2 t}{a^2}} \left(e^{\frac{\nu \lambda_k^2 \tau}{a^2}} - 1 \right)}{\lambda_k^4}. \quad (16)$$

Уравнения (15) и (16) также можно представить в виде:

$$Q_{t \leq \tau}(t) = P_0 \cdot H_1(r,t), \quad (17)$$

$$Q_{t > \tau}(t) = P_0 \cdot H_2(r,t), \quad (18)$$

где $H_1(r,t)$, $H_2(r,t)$ — переходные характеристики функции объемного течения жидкости при единичном импульсе давления, которые по сути являются переходными характеристиками нарастания и спада импульса действия.

Анализируя выражения (17), (18), видим, что форма распределения функции расхода во времени определяется только формой функций $H_1(r,t)$ и $H_2(r,t)$, а величина P_0 определяет лишь амплитуду этих функций, поэтому достаточно рассмотреть поведение переходных характеристик функции расхода. На рис. 2 показана зависимость объемного тока выделяемой жидкости при импульсном действии перепада давления P_0 для различных значений радиуса трубки. Как видно, чем больше радиус трубки, тем выше объемный расход биожидкости в единицу времени, причем эта зависимость резко нелинейная (приблизительно пропорционально a^4).

Полученные выражения для объемного расхода биожидкости (15), (16) позволяют определить объем биожидкости V , выделенный при микции:

$$V(t) = \int_0^t Q(r,t) dt. \quad (19)$$

На рис. 3 показана, теоретически рассчитанная по (19), кривая накопления биожидкости.

Эта кривая достаточно адекватно отражает изменение объема выделенной мочи. Она отличается от реальной урофлоутграммы здорового человека лишь на начальном участке и на участке достижения максимального значения накопленного объема мочи. Сравнения проводились на основе данных [1].

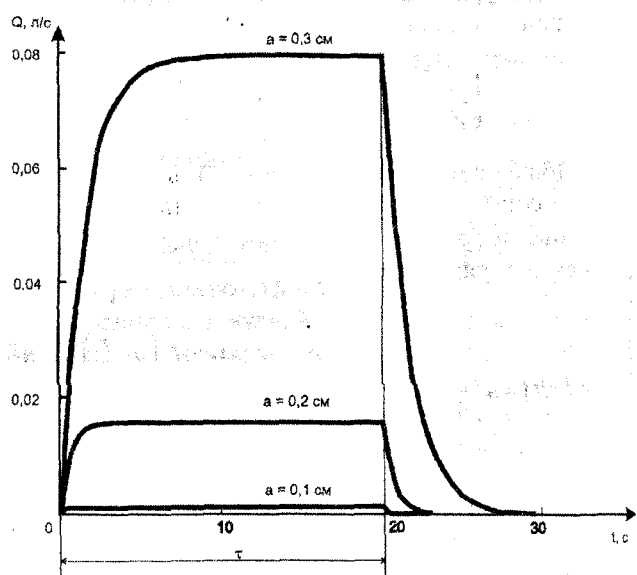


Рис. 2. Семейство характеристик объемного расхода жидкости $Q(r,t)$ при импульсном действии перепада давления P_0 для различных значений радиуса трубки a

Можно предположить, что эти отличия объясняются тем, что в используемой модели рассматривалась трубка с жесткими стенками.

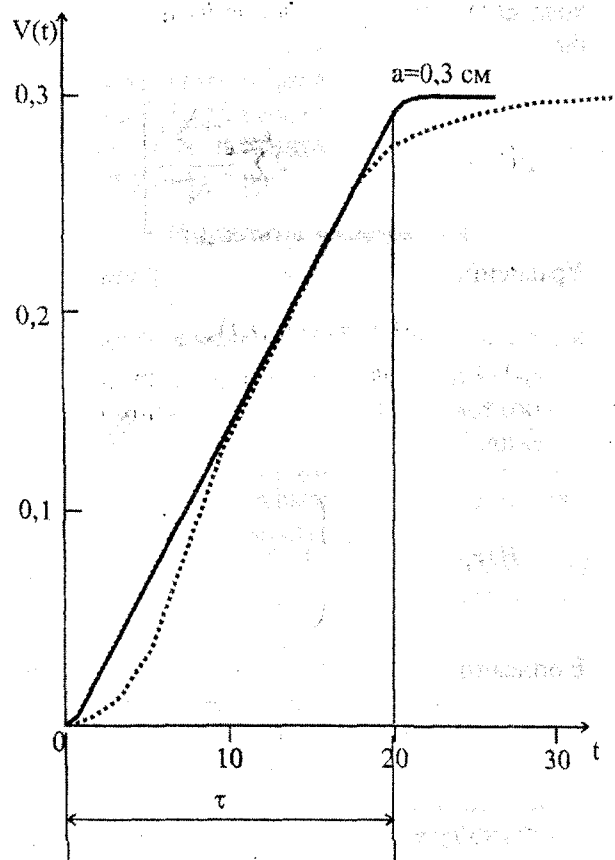


Рис. 3. График накопления биожидкости при импульсном давлении P_0 прямоугольной формы для заданного радиуса канала. Сплошная линия — расчетная кривая, пунктирная — реальная кривая [1]

Анализируя выражения (17)–(19), видим, что при одном и том же импульсе действия P_0 и одном и том же объеме накопленной мочи V , но при разном радиусе уретры время мочеиспускания будет существенно отличаться, то есть по объему накопленной мочи и времени микции можно в первом приближении судить о состоянии мочевыводящих путей, в частности о размере просвета уретры.

Выводы

Задача о течении биожидкости по каналу развита для идеального случая действующего импульса давления прямоугольной формы.

Использование решения задачи И.С. Громека позволило получить аналитические выражения, описывающие объемный расход биожидкости через переходные характеристики процесса при воздействии импульсного давления прямоугольной формы.

Характер нарастания и спада давления при процессе микции обусловлен физиологическим состоянием детрузора и окружающих органов и напря-

мую зависит от формы приложенного перепада давления, которое определяет форму уродинамической кривой.

Предложенный подход может быть полезным при решении обратной задачи — по форме уродинамической кривой определить форму приложенного давления.

Результаты могут быть использованы при интерпретации результатов клинических уродинамических исследований.

Список литературы: 1. *Пытель Ю.А., Борисов В.В.* Физиология человека. Мочевые пути. М.: Высшая школа, 1986. 260 с. 2. *J.Kren, M.Horak, F.Zatura, M.Rosenberg.* Mathematical model of the male urinary tract//Biomed. Papers. 2001, 145(2). Р. 91-96. 3. *Слезкин Н.А.* Динамика вязкой несжимаемой жидкости. М.: Гостехиздат, 1955. 520 с. 4. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теоретическая физика: Уч. пособие в 10 т. Т. VI. Гидродинамика. 4-е изд., стер. М.: Наука. Гл.ред. физ.-мат. лит., 1988. 736 с. 5. *Г.Корн, Т.Корн.* Справочник по математике (для научных работников и инженеров). М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1978. 832 с.

Поступила в редколлегию 06.06.2005

УДК 510:159.955

В.И. Светличный

К ТЕОРИИ АДАПТИВНОГО МЫШЛЕНИЯ

Физика и психология, как отмечает Вигнер [1], претендуют на роль *универсальных дисциплин*: первая потому, что стремится описать всю *природу*, вторая – потому, что рассматривает все явления, связанные с *духовной деятельностью*. При этом картины мира, проектируемые в нашем сознании физикой и психологией, не обязательно должны быть различны. Однако чрезвычайно трудно воспринимать две картины как различные аспекты одного предмета. Это прежде всего связано с тем, что физики не воспринимают язык психологии и, наоборот, психологи не понимают язык физики.

Но как отмечается здесь же, очевидно, что возможно объединить физику и психологию в одну более глубокую *дисциплину*. Это должна быть объединенная дисциплина, в «основе» которой должна лежать *непротиворечивая теория*, объясняющая строение, функционирование и свойства как *материальных*, так и *нематериальных объектов*. На первом этапе, очевидно, это должна быть просто *аксиоматическая теория*, направленная на выявление *основополагающих принципов*, лежащих в основе строения природы и сознания, а также их *ограничений* в виде *законов самоорганизации*.

1. Базовая теория

Для построения такой теории необходимо решить две проблемы. Первая проблема заключается в нахождении *более сильной теории* $\mathcal{T}$ [2], чем *множество теорий* физики и психологии. Мы говорим, что теория $\mathcal{T}$ более сильна, чем теория $\mathcal{P}$, если все *знаки* теории $\mathcal{P}$ являются знаками теории $\mathcal{T}$, все *аксиомы* теории $\mathcal{P}$ являются *теоремами* теории $\mathcal{T}$ и все *схемы* теории $\mathcal{P}$ являются схемами теории $\mathcal{T}$.

Таким образом, основным свойством создаваемой теории является то, что ее аксиомы должны стать аксиомами множества теорий объединяемых дисциплин, а аксиомы более слабых теорий должны стать теоремами. То есть аксиоматика объединяющей теории должна представлять общее «ядро» всех теорий. Более сильную теорию, чем множество теорий объединяемых дисциплин, будем называть *базовой теорией*.

Вторая проблема – это проблема нахождения более сильной теории $\mathcal{T}$ *модели* или *категории объектов и морфизмов* [3], которая *поглощала бы* все объекты и их преобразования во всех теориях объединяемых дисциплин. Такую модель или категорию мы будем называть *поглощающей*. Решение второй проблемы является центральной задачей построения объединяющей теории, и ее нахождение

приводит к необходимому ограничению «универсальности» базовой теории. Минимальную поглощающую модель будем называть *универсальной*.

Более сильная теория $\mathcal{T}$, чем множество теорий объединяемых дисциплин, ограниченная универсальной моделью, и есть искомая теория. Назовем ее *теорией адаптивного мышления* (теорией *АМ*). При этом *адаптивность* обозначает *физическое проявление объектов*, а *мышление* – *духовную деятельность*.

Более строго задачу построения теории *АМ* можно формализовать так. Пусть M – некая Ω -структура, например, некая модель одной из теорий объединяемых дисциплин. Ω -структура – это множество M вместе с правилом сопоставления каждому n -арному предикату n -арного отношения. Все объекты всех объединяемых теорий всех дисциплин принадлежат классу $[\Omega]$ всех Ω -структур. Пусть P – формула в стандартном (бесконечном) алфавите над Ω , то есть P – это *производный предикат*, для которого определено отношение $M \models P$ (P – истинно в M) [4].

Существует *соответствие Галуа* между классом $[\Omega]$ всех Ω -структур и множеством всех производных предикатов. При этом:

- любому классу $\mathcal{C}$ Ω -структур соответствует множество $\mathcal{C}^*$ всех формул, истинных в каждой Ω -структуре;

- любому множеству Σ формул соответствует класс Σ^* всех тех Ω -структур, в которых все формулы из Σ истинны.

Класс Ω -структур Σ^* для некоторого множества Σ предложений называется *аксиоматизируемым* или *элементарным классом*, а Σ называется множеством *аксиом*. Множество формул $\mathcal{C}^*$, где $\mathcal{C} \neq \emptyset$ – некоторый класс Ω -структур, называется теорией. Всякое предложение из $\mathcal{C}^*$ называется *теоремой* в $\mathcal{C}$, а всякая Ω -структура из Σ^* называется моделью для Σ .

Соответствие Галуа, определенное отношением $M \models P$, описывается следующей теоремой.

Теорема. Модельно-замкнутые множества формул над Ω образуют систему замыканий множеством, которым посредством естественного взаимно-однозначного соответствия $\Sigma \rightarrow \Sigma^*$, $\mathcal{C} \rightarrow \mathcal{C}^*$ сопоставлены аксиоматизируемые классы Ω -структур.

Таким образом, две проблемы построения теории *АМ* на языке теории моделей [5] звучат следующим образом:

1. Определение элементарного класса моделей Σ^* , точнее множества аксиом Σ . Этот класс моделей

лежит на пересечении всех объединяемых моделей дисциплин. Соответствующее ему множество аксиом определяет множество аксиом базовой теории.

2. Определение класса $\mathcal{K}$ всех объединяемых моделей и соответствующего ему множества формул $\mathcal{K}^*$, которое и будет искомой теорией.

Требование поиска базовой теории — это требование нахождения всех формул, истинных в каждой объединяемой теории. Требование поиска множества $\mathcal{K}$ всех объединяемых моделей — это нахождение *универсальной модели АМ*. Фактически это означает нахождение объекта, который поглощает все объекты физики и психологии.

Наиболее сильная теория, оперирующая всеми вышеперечисленными понятиями — это *универсальная алгебра*. Таким образом, выберем универсальную алгебру базовой теорией теории АМ. Замечательное изложение данной теории приведено в [6]. Все определения, которые приводятся в настоящей работе без ссылок, взяты из данной книги.

Построение теории адаптивного мышления — это объединение физики и психологии на основе *математики* в единую философскую дисциплину. Данный тезис реализует философскую доктрину, что у любого «математического» объекта есть *проявление*, то есть что он обязательно должен быть *реализован*. Такой глобальный подход «реализации» математики фактически необходим для решения поставленной задачи — создания единой теории, которая объединяет материальные и нематериальные объекты. В дальнейшем мы их соответственно будем называть *ресурсными* и *информационными*.

2. Ресурсные и информационные объекты

Исходная задача теории АМ — формализация понятий ресурсных и информационных объектов. Для решения данной задачи воспользуемся *теорией множеств*, которая является более слабой теорией, чем универсальная алгебра. (Она более слабая и чем и разрабатываемая теория АМ). Определим *класс* как совокупность любых объектов, а *множество* как класс, являющийся членом другого класса.

Не вдаваясь в подробности, с которыми можно детально ознакомиться в [2, 6], рассмотрим основные аксиомы, в которых классы рассматриваются как множества, и в рамках этих аксиом определим классы ресурсных и информационных объектов. Пусть A — класс. Класс A является множеством тогда и только тогда, когда $A \in B$, то есть тогда и только тогда, когда A находится в отношении включения с некоторым классом B .

Объекты классов называются *элементами*. Классы могут быть элементами других классов. Если класс A является множеством, то каждому элементу множества взаимно однозначно соответствует но-

ситель. Объекты классов, которые не являются множествами, не реализованы на носителях. Понятие множеств и классов тесно связано с высказываниями о них в рамках рассматриваемой теории. При этом основой определения множества является класс, членами которого являются только те множества, для которых справедливы *высказывания* данной теории.

Если $P(X)$ — высказывание о классах, то существует класс, членами которого являются те и только те множества, для которых $P(X)$ истинно. Этот класс обозначают $\{X: P(X)\}$, так что для каждого множества A

$$A \in \{X: P(X)\} \Leftrightarrow P(A) \text{ истинно.}$$

Класс $\{X: P(X)\}$ вообще не является множеством. В том случае, когда он оказывается множеством, высказывание $P(X)$ называют *коллективизируемым* в X [2]. Так например, если A — заданное множество, то высказывание « $X \in A$ » коллективизируемо в X , так как класс всех таких X , для которых $X \in A$, есть само множество A .

Существуют классы с высказываниями типа « $X \neq X$ ». Эти классы не являются множествами. Например пустой класс

$$\emptyset = \{X: X \neq X\}.$$

Этот и другие классы не реализованы на носителях. С понятием носителей мы будем связывать понятие *физической реализации*, то есть мыслить, что элементы множеств — это ресурсные объекты. Последнее связано с тем, что для реализации на носителях необходимы материальные *ресурсы*.

Для объектов и морфизмов всех категорий, кроме категории St множеств и их отображений, нет требований удовлетворения условию включения в другие объекты и морфизмы. Но если такое условие выполняется, то данные объекты — суть ресурсные. Выполнение условия включения обозначает, что данная категория $\mathcal{K}$ *подчинена* категории St ($\mathcal{K} < St$). Это значит, что имеется *функтор* ι из категории $\mathcal{K}$ в категорию St такой, что для любых морфизмов $\alpha, \alpha': a \rightarrow b$ ($a, b \in \text{Ob } \mathcal{K}$), из $\alpha_1 = \alpha'_1$ следует $\alpha = \alpha'$. При этом объект $a_1 \in \text{Ob } St$ является носителем объекта $a \in \text{Ob } \mathcal{K}$.

В общем случае любые классы объектов мы будем называть *информационными*. Если же классы объектов не являются множествами, то их будем называть *строго информационными*. Любые функторы из категории в категорию будем называть *проявлениями*. Функтор в категорию множеств — это проявление, которое будем называть *реализацией* на носителях.

Любые морфизмы категорий — это *представления*, а так как морфизмы категории полностью определяют ее, то все представления объектов определяются *классами морфизмов категорий*. Подчиненность любой категории $\mathcal{K}$ категории St ($\mathcal{K} < St$)

обозначает, что ее информационные объекты одновременно являются и ресурсными. Это подтверждает ранее сказанное, что объекты категории $St^* = S \wedge \emptyset$ множеств и их отображений без пустого множества — ресурсные объекты.

3. Классификация отображений

Как говорилось выше, любая категория полностью определяется своими морфизмами. Все морфизмы можно разделить на четыре типа.

1) *Отображения*. Это, например, морфизмы категорий St множеств и отображений и Top топологических пространств и отображений.

2) *Монотонные и структурные гомоморфизмы*. Это морфизмы категорий Pm предпорядоченных множеств и их монотонных гомоморфизмов и категория Let структур и их структурных гомоморфизмов.

3) *Алгебраические гомоморфизмы*. Это морфизмы категории и подкатегории (Ω) Ω -алгебр. (Под Ω -алгеброй понимается множество A вместе со структурой операторов $\Omega(n) \rightarrow A^n$, при этом $\omega \in \Omega(n)$ — n -арный оператор).

4) *Гомоморфизмы групп*. Это морфизмы категории Gr групп и их гомоморфизмов.

На основании этого категории можно разделить по типам морфизмов. Рассмотрим типы категорий и их морфизмов подробнее. **Нулевой тип** — категории с объектами в виде множеств и топологических пространств и морфизмами в виде их отображений.

Отображением называется тройка (A, B, f) , состоящая из источника A , цели B и функции f . При отображении используется запись $f: A \rightarrow B$. В отличие от функций, которые всегда можно перемножать, два отображения $f: A \rightarrow B$ и $g: C \rightarrow D$ могут быть перемножены тогда и только тогда, когда

$$B = C. \quad (1)$$

Их произведение обозначается $fg: A \rightarrow D$.

В отображениях происходит согласование только множеств (пространств) в виде (1).

Первый тип — категории с объектами в виде предпорядоченных множеств и структур и с морфизмами в виде монотонных и структурных гомоморфизмов. Монотонным гомоморфизмом предпорядоченного множества A в предпорядоченное множество B называется отображение $f: A \rightarrow B$ такое, что

$$x \leq y \text{ влечет } xf \leq yf \text{ для всех } x, y \in A.$$

Здесь в отображениях происходит согласование порядка элементов источника и цели.

Структурным гомоморфизмом называется монотонный гомоморфизм структуры A в структуру B , для которого также выполняются условия

$$(x \vee y)f = xf \vee yf, (x \wedge y)f = xf \wedge yf \text{ для всех } x, y \in A.$$

Здесь добавляется согласование верхних и нижних граней источников и целей отображений.

Второй тип — категория и подкатегории Ω -алгебры с объектами в виде Ω -алгебр и их алгебраических гомоморфизмов. Алгебраическим гомоморфизмом (его чаще называют просто гомоморфизмом) называется отображение Ω -алгебры A в Ω -алгебру B $f: A \rightarrow B$ такое, что f согласовано с каждым $\omega \in \Omega(n)$ и для всех $a_1, \dots, a_n \in A$ выполняется

$$(a_1 f) \dots (a_n f) \omega = (a_1 \dots a_n \omega) f.$$

Третий тип — категория Gr групп и их гомоморфизмов. Гомоморфизмом здесь будет отображение группы A в группу B $f: A \rightarrow B$ такое, что f согласовано с каждым элементом группы $a_1, \dots, a_n \in A = \Omega(n)$ и выполняется

$$(a_1 f) \dots (a_n f) = (a_1 \dots a_n) f.$$

4. Классификация объектов. Наблюдатели

С учетом вышесказанного можно все объекты всех категорий разделить на следующие типы по типам морфизмов, которые действуют на них.

Информационные объекты 0-го рода. Это объекты, на которые действуют строго морфизмы нулевого типа. *Информационные объекты 1-го рода*. Это объекты, на которые действуют строго морфизмы первого типа. Эти объекты и морфизмы категорий Pm и Let предпорядоченные множества, вполне не упорядоченные множества, направленные множества, цепи, структуры и тому подобное, их монотонные и структурные гомоморфизмы.

Информационные объекты 2-го рода. Это объекты, на которые действуют строго морфизмы второго типа. Эти объекты и морфизмы категории (Ω) — Ω -алгебр. *Информационные объекты 3-го рода*. Это объекты, на которые действуют строго морфизмы третьего типа. Эти объекты и морфизмы категорий Gr . Их мы также будем называть *ресурсными объектами* и *морфизмами*. Это связано с тем, что категория Gr всегда подчинена категории St^* ($Gr < St^*$), то есть любая группа реализована на носителях.

Информационные объекты 2-го рода будем называть *информационными наблюдателями*, а 3-го рода — *ресурсными наблюдателями* [7]. Наблюдатель f — это гомоморфизм объекта A в объект B $f: A \rightarrow B$, для которого соблюдается

$$f(ab) = f(a)f(b) \text{ для всех } a, b \in A. \quad (2)$$

Если нас будет интересовать образ $\text{Im } A = B' \subseteq B$ наблюдателя, то мы также будем говорить — наблюдатель B' . Но наиболее полное представление наблюдателей — это тройка (A, B, f) со свойством (2).

Следует отметить следующий момент. Так как любая категория полностью представима множеством своих морфизмов, то она полностью представима в виде множества объектов (A, B, f) . Если это категория Ω -алгебр, то любая ее подкатегория полностью представима наблюдателями. Понятие наблюдателя будет иметь исключительно важное значение в теории АМ. Наблюдатели f обладают с

помощью (2) свойством *подобия действия*. Информационные объекты 1-го рода данным свойством не обладают.

5. Универсальная и элементарная модели

Как отмечалось ранее, центральной задачей построения теории АМ является нахождение минимальной поглощающей модели объединяемых теорий, которую мы называли универсальной моделью АМ. Для представления, а точнее идентификации модели, когда это возможно, будем использовать понятие категории. Представление категории в модели взаимно однозначно, так как любой категории с точностью до изоморфизма соответствует модель. Но обратное неверно, то есть не любой модели соответствует категория. Если такого представления не существует, то модель будем идентифицировать просто множеством объектов и их морфизмов.

Так, в категориях существует свойство ассоциативности морфизмов $(\alpha\beta)\gamma = \alpha(\beta\gamma)$. Это свойство позволяет представлять категорию, а следовательно, и ее модель, *частичной полугруппой* (множеством X с частичной бинарной операцией $X \times X \rightarrow X$, $X' \subseteq X$ со свойством ассоциативности). Но данное свойство в моделях может не выполняться. Тогда данная модель представляет *частичный группоид* (множество с частичной бинарной операцией).

Вообще с моделью мы встречались в п. 1. Это класс $[\Omega]$ всех Ω -структур. Она соответствует категории структур и монотонных гомоморфизмов. Назовем ее *унифицированной моделью*. Она включает все множество подмоделей, которые являются частичными полугруппами преобразований. Любой элемент модели, представляем *бинарным отношением* в виде *булевой матрицы*, может быть и на бесконечном *алфавите*.

Таким образом, объекты всех подмоделей унифицированной модели имеют однотипные представления. Это полугруппы бинарных отношений, и отличие морфизмов (а следовательно, и отличие объектов) заключается в особенностях и количестве согласований друг с другом.

В основе унифицированной модели лежит носитель как объект, реализующий элемент множества, и *возмущение* как объект, реализующий булеву единицу булевой матрицы. Данную модель просто представить на примере *нейрона*. При этом тело нейрона — это носитель, а множество объединенных окончаний нейронов образует булеву матрицу. Вообще достаточно иметь один исходный объект — это возмущение. Носитель множества это также проявление возмущения, но *инвариантного нижнего уровня иерархии*, см. п. 7.

С учетом этого в основе аксиоматики теории АМ лежит *один первичный термин объект = возмущение*. (К примеру у М. Пиери два первичных термина: «точка» и «движение», а у Д. Гильберта —

шесть: «точка», «прямая», «плоскость», «инцидентно», «между», «конгруэнтно» [8]). Точнее этот термин взаимно однозначно соответствует *элементарной модели*: объект $\equiv$ возмущение. Эта элементарная модель имеет два одновременных *тождественных проявления*: проявление в виде объекта и проявление в виде возмущения, то есть проявление в виде булевой единицы булевой матрицы.

Непроявление модели — это элемент 0 булевой матрицы. Все *физические объекты* и их преобразования являются подмоделью унифицированной модели. Физические объекты — это множество *n*-арных отношений, *замкнутых относительно композиций*. Эта подмодель соответствует категории *Gr*. Все *объекты психологии* не являются подмоделью унифицированной модели. Таким образом, требование универсальности диктует свойства модели психологии. Данная модель и будет универсальной моделью АМ. Она включает унифицированную модель и не является категорией.

Формализуем класс объектов и морфизмов универсальной модели. Очевидно, она представима *системой $\mathcal{S}$ n-арных отношений*, замкнутой относительно произвольных пересечений. Она конечна. Следует также признать, что данная система обладает *свойством алгебраичности* (каждая цепь в $\mathcal{S}$ обладает точной верхней гранью в $\mathcal{S}$, еще такую систему называют *индуктивной*). Но самое важное, что интуитивно данная модель представима в виде *модели наблюдателей и их любых отношений*.

Данное интуитивное представление связано с работой мозга, на входе которого в виде органов чувств реализованы ресурсные наблюдатели $f \in F$ (*наследственный информационный ресурс*), а сам мозг реализует множество отношений $\Phi \subseteq F \times F$. Наблюдатели f на основе подобия действия фиксируют объекты среды Y и формируют множество их отношений. Любые наблюдатели $f \in F$ как Ω -алгебры представимы множествами F бинарных отношений. Их подмножества $\Phi \subseteq F \times F$ на основе отображений $F \times \Phi \rightarrow \Phi$, $\Phi \times F' \rightarrow \Phi$ и $\Phi \times \Phi \rightarrow F''$ формируют *три системы адаптивного мышления*. Здесь F — ресурсные, F' , F'' — информационные наблюдатели.

Система $F \times \Phi \rightarrow \Phi$ осуществляет *производство информации*, поступающей от ресурсных наблюдателей. Эта информация — суть реализация отображений, *подобных* действию среды Y . Производство информации осуществляется на основе реализации *производной алгебры* или *алгебры Ω -слов* (алгебра с элементами в виде слов $b = (a_1, \dots, a_k)$, где $a_i \in \Omega \cup X$, где Ω — множество операторов Ω -алгебры, X — алфавит, знак $\cup$ — прямое объединение). Система $\Phi \times F' \rightarrow \Phi$ осуществляет первичное сжатие информации наблюдателями F' путем преобразования произведенной информации Φ . Система $\Phi \times \Phi \rightarrow F''$ формирует новых наблюдателей F'' путем поиска устойчивостей.

Устойчивости отношений в виде структуры согласований отображений формируют структуру мозга. Структура мозга вместе с органами чувств — это структура подмоделей универсальной модели адаптивного мышления. Наблюдатели как гомоморфизмы наследуют возмущение в виде подобия действия, а как объекты сохраняют *первичную основу природы — изменения*. Мозг же в виде множества отношений наблюдателей и поиска согласований отображений реализует *вторичную основу природы — поиск устойчивостей в изменениях*.

Универсальная модель АМ включает элементарную модель объект = возмущение в отличие от некоторых категорий, например, категории St , которые данную модель не включают. Универсальная модель — это частичный группоид преобразований. Но так же, как и унифицированная, она представима бинарными отношениями, а следовательно, и булевыми матрицами, а адаптивное мышление представлено *пространством бинарных отношений* как множеством, реализующим данный частичный группоид.

6. Подпространства бинарных отношений

Деление всех объектов на типы объектов по типам морфизмов, действующих на них, требования замыканий и совмещение данного разделения с универсальной моделью (а значит и реализаций) приводит к разбиению всего *пространства бинарных отношений адаптивного мышления* на следующие *подпространства*.

Требование замыкания подпространств — это решение адаптивным мышлением проблемы реализации бесконечного количества итераций (операций). При этом, если не получается замыкание композиций отношений, то реализуется система алгебраических замыканий предпорядоченных множеств или индуктивность.

Первое пространство. Это множество бинарных отношений Φ строгого предпочтения (транзитивных $\Phi \cdot \Phi \subseteq \Phi$, антирефлексивных $\Delta_A \not\subseteq \Phi$, антисимметричных $\Phi \cap \Phi^{-1} \subseteq \Delta_A$ отношений). Сюда входят информационные объекты 3-го рода. Для того чтобы пространство было замкнутым относительно композиций элементов, его достаточно ограничить функциями (отношениями, в которых каждому объекту источника соответствует единственный объект цели и наоборот). Такие бинарные отношения имеют представление матриц, *мономиальных по строкам и столбцам* (матриц, имеющих в каждом столбце и в каждой строке ровно одну булеву единицу).

Второе пространство. Это множество бинарных отношений эквивалентности (транзитивные, рефлексивные $\Delta_A \subseteq \Phi$ и симметричные $\Phi = \Phi^{-1}$ отношения). Сюда входят информационные объекты 2-го рода. Для того чтобы данное пространство было замкнуто относительно композиций, то есть, что-

бы результат композиции двух эквивалентностей был эквивалентностью, необходимо, чтобы бинарные отношения эквивалентности коммутировали, то есть $\Phi_1 \cdot \Phi_2 = \Phi_2 \cdot \Phi_1$.

Третье пространство. Это множество бинарных отношений предпорядков (рефлексивные, транзитивные отношения). Эти множества образуют информационные объекты 1-го рода. Это подпространство не замкнуто относительно композиций ее элементов (хотя каждый элемент пространства является идемпотентом $\Phi^2 = \Phi$). Но оно обладает свойством алгебраичности, то есть реализует свойство индуктивности.

Четвертое пространство. Это пространство бинарных отношений, которое не включено в пространство бинарных отношений предпорядков. Это пространство нетранзитивных отношений. Назовем первое пространство — *интересами*, второе пространство — *возможностями*, а третье пространство — *необходимостью*.

Пространства интересов и возможностей вложены в пространство необходимости, так как пространство отношений строгого предпочтения и пространство отношений эквивалентности вложены в пространство предпорядков. Четвертое пространство — пространство нетранзитивных отношений, мы будем называть пространством *случайностей*. Подпространства данного пространства дают классы информационных объектов 0-го рода.

7. Пояснения к названиям

Интуитивно наше представления о «внешнем мире» определяется не «абсолютными» объектами и их классами, а отношениями между ними. Таким образом, названия пространств отношений основаны на том, что мы мыслим, только связывая одни объекты с другими.

Так, *смысл* или *семантика* объекта определяется в его отношениях эквивалентности с другими объектами. Отвлеченный от данных связей объект «не имеет смысла». Например дерево мы соотносим с ветвями, стволом, корнями, целлюлозой и другими объектами. Таким образом, объект «дерево» находится в отношении эквивалентности с объектами «ствол», «ветвь», «корни», «целлюлоза» и другими. И именно эти отношения, то есть отношения эквивалентности, и определяют семантику любого объекта.

Если бинарные отношения эквивалентности ρ , σ коммутуют $\rho\sigma = \sigma\rho$, то их композиция $\rho\sigma = \tau$ — это бинарное отношение эквивалентности. Это множество отношений, которые характеризуют смысл и в то же время замкнуты относительно композиции, фактически определяют возможности адаптивного мышления. Таким образом, действительно, под *возможностями* можно понимать мно-

жество коммутирующих бинарных отношений эквивалентности.

Интерес к объекту и вообще *интерес* определяется в *отношениях строгого предпочтения* с другими объектами. «Отвлеченный» от данных отношений объект «не с чем сравнивать», к нему невозможно выработать «отношение» в смысле «хорошо — плохо», «выше — ниже», «хуже — лучше». А любое отношение такого рода определяет интерес к объекту. Для того чтобы интересы были замкнуты относительно композиций (то есть композиция интересов $\rho\sigma$ давала интерес τ ($\rho\sigma=\tau$)), достаточно все строгие предпочтения ограничить *подстановками*. Таким образом, интересы — это *группы подстановок*.

Необходимость в объекте и вообще *необходимость* определяется также в *отношениях объекта* с другими объектами. «Отвлеченный» от любых связей объект не нужен, в нем нет необходимости. Но если любые отношения существуют, то объект становится необходимым тогда и только тогда, когда он «как-то» упорядочен по отношению к другим объектам. То есть, если он включен в отношения предпорядка.

Пространство случайностей не является подпространством АМ. Это пространство (нетранзитивных) бинарных отношений, которые «бессмысленны», «неинтересны» и вообще с «точки зрения» адаптивного мышления в них «нет необходимости». Их воздействие на другие отношения или объекты (композиция с бинарными отношениями АМ), в общем случае, приводит к появлению новых нетранзитивных «случайных» отношений.

8. Информационные и ресурсные подпространства

Под *адаптивным мышлением* в [9] мы понимали совокупность возможностей интересов и необходимости, то есть совокупность трех подпространств. Данные пространства подразделяются на информационные и ресурсные. Информационные подпространства определяются моделями информационных наблюдателей, ресурсные — ресурсных наблюдателей. Информационные наблюдатели (A, B, f) представлены подпространствами, которые мы будем называть *информационными возможностями, информационными интересами и информационной необходимостью*.

При этом *информационные возможности* — это центр Z Ω -алгебры B (Ω -подалгебра, которая коммутирует со всеми элементами алгебры B). Центр алгебры представляет *линейную алгебру* или *унитарный модуль* (алгебра над коммутативным кольцом K , имеющим единичный элемент). *Ранг* (размерность алгебры как линейного пространства или число линейно независимых элементов модуля) центра алгебры определяет число неэквивалентных неприводимых представлений алгебры B . Чем выше ранг, тем больше *информационная мощность* алгебры. Информационные возможности — это коммутативная полугруппа идемпотентов.

Информационные интересы — это Ω -алгебры C_i ($C_i \subseteq A$), обладающие двухсторонней сократимостью (сократимость справа: $af=bf \rightarrow a=b$, сократимость слева: $ax=ay \rightarrow x=y$). Это *двухсторонние квазигруппы*. Существует подчинение категории квазигрупп категории множеств. Это значит, что объекты данной категории реализованы на носителях и являются также подобъектами Ω -алгебры B .

Подпространству информационных интересов соответствует *частичная инверсная полугруппа* бинарных отношений (это регулярная полугруппа, у каждого элемента которой существует один и только один *инверсный* элемент, два элемента a, b называются инверсными, если $aba=a$).

Информационная необходимость — это Ω -факторалгебры A_i/B или *информационная среда обитания* наблюдателя. Имеет представление класса бинарных отношений слабого предпочтения, образованный из Ω -алгебр $A \supset A_1 \supset A_2 \supset \dots \supset A_n \supset B$ (*главный ряд среды A*) и который не принадлежит наблюдателю B , но наблюдатели его воспроизводят путем производства информации.

Ресурсные наблюдатели (G, H, g) представлены подпространствами, которые будем называть *ресурсными возможностями, ресурсными интересами и ресурсной необходимостью*. *Ресурсные возможности* — это центр Z группы (подгруппа Z группы H , элементы которой коммутируют со всеми элементами группы H). Ранг центра группы определяет *ресурсную мощность* группы или число неэквивалентных неприводимых представлений группы H . Ресурсные возможности — это абелевы группы ($ax=xa$).

Ресурсные интересы — это группы, все *автоморфизмы (изоморфизмы на себя)* в которых должны быть *внутренними* (это связано с тем, что все ресурсные объекты замкнуты). То есть это должны быть группы G_i , реализующие *двухсторонние действия*. Если в группе выбран элемент a , то отображение, переводящее всякий элемент x в элемент $a^{-1}xa \neq x$, будет автоморфизмом группы. К тому же это должны быть группы без центра, так как в центре любой группы все автоморфизмы совпадают с тождественными ($a^{-1}xa = x$). Группы автоморфизмов без центра называются *совершенными* [10]. Таким образом, ресурсные интересы это совершенные подгруппы G_i группы G , а точнее группы H .

Ресурсная необходимость представлена факторгруппами G_i/H ($G = G_0 \supseteq G_1 \supseteq \dots \supseteq G_n \supseteq H$). Это классы соответствия между источниками ресурсов G (средой) и образами ресурсных наблюдателей, то есть бинарные отношения порядков, не реализованные в наблюдателях. При их реализации объект будет формировать группу с «большим ресурсом».

Если группа абелева, то в ней тривиальные интересы, если группа совершенная, то в ней тривиальные возможности.

9. Психическая деятельность

Деление всех объектов на три типа: ресурсные, информационные 1-го рода и информационные 2-го рода, а пространства АМ — на интересы, необходимость и возможности, очень близко подходит к философскому тезису Поппера [11] о трех мирах: «Первый — это физический мир или мир физических состояний. Второй — духовный мир или мир состояний духа. Третий — мир умопостигаемых сущностей. ...»

При этом эти три мира связаны между собой так, что первые два могут взаимодействовать и последние два могут взаимодействовать. Первый и третий миры не могут взаимодействовать, кроме как через посредство второго мира, мира субъективного личного опыта. ... Второй мир выступает в качестве посредника между первым и третьим.

Если представить всю психическую деятельность человека как взаимодействие *органов чувств, подсознания и сознания*, то можно мыслить, что ресурсные объекты (включены в интересы) реализованы в органах чувств, информационные объекты первого рода (совпадают с необходимостью) реализованы в подсознании, объединенном с сознанием, а информационные объекты второго рода (включают возможности) реализованы в сознании.

При этом вся психическая деятельность определяется (обучаемыми) объектами подсознательной и сознательной деятельности. Информационные объекты первого рода, которые реализованы в подсознании, объединенном с сознанием, образуют духовный мир, а информационные объекты второго рода, которые реализованы в сознании, образуют сознательную мыслительную деятельность.

Здесь взаимосвязь между органами чувств (первым миром) и сознанием (третьим миром) действительно происходит через подсознание (второй мир). При этом сознание «встроено» в подсознание. Подсознательная (духовная) деятельность вместе с органами чувств реализуется *системой необходимости* $F \times \Phi \rightarrow \Phi$ (ресурсные возможности $\times$ информационные интересы $\rightarrow$ информационная необходимость) для производства информации или «воссоздания» действия среды.

Сознательная деятельность вместе с подсознательной деятельностью реализуется *системой интересов* $\Phi \times F' \rightarrow \Phi'$ (информационная необходимость $\times$ информационные возможности $\rightarrow$ информационные интересы) для сжатия информации. Но существует еще *осознание*. Это реализация *системы возможностей* $\Phi' \times \Phi \rightarrow F''$ (информационные интересы $\times$ информационную необходимость $\rightarrow$ информационные возможности) для формирования встроенных в сознание наблюдателей F'' .

10. Эволюционный цикл

Адаптивное мышление определяют *эволюционный цикл* образования и изменения всех объектов.

Цель эволюции — поиск максимальных устойчивостей наблюдателей на основе минимального расхода ресурсов при реализации максимально точного отображения объектов наблюдателями. Последние два условия характеризуют два *глобальных принципа* адаптивного мышления: *принцип наименьшего действия* и *принцип минимума неопределенности принятия решений* [12].

Максимум устойчивости — это инвариант возмущения (например это есть появление любой калибровочной симметрии, что приводит к проявлению физических объектов). Это реализация термина *объект — возмущение* в виде термина *объект — «абсолютное» возмущение*. Естественная модель термина *объект — «абсолютное» возмущение* — это носитель (см. п.2).

Образование носителей приводит к появлению независимых объектов на новом уровне иерархии. Таким образом, реализация абсолютной устойчивости приводит к потере согласующих свойств объектов и их морфизмов или к «полному» забыванию структуры нижних уровней иерархии. Это связано с тем, что в отображениях множеств отсутствуют более сильные согласования, чем согласование (1). Это первый этап эволюционного цикла.

С целью повышения устойчивости на текущем уровне иерархии появляется согласование отображений в смысле упорядочения классов отображений множеств. Это — второй этап эволюционного цикла. Данное согласование характеризует формирование устойчивости в виде *замыкания* множества всех отображений (в структуре). Данному замыканию соответствует *оператор замыкания* $\mathcal{C}$, то есть на данном этапе вычленяется первый оператор. Его появление — это появление информационных объектов 1-го рода. Это этап зарождения сознания в виде подсознания. Эта устойчивость представлена в предикатах $P \in \Omega$ в виде соответствия $M \vdash P$.

Таким образом, задачами второго этапа эволюционного цикла является:

- вычленение оператора — оператора замыканий,
- образование информационных объектов 1-го рода.

С целью дальнейшего повышения устойчивости объектов относительно множества отображений происходит согласование всех отображений с каждым оператором. Это третий этап эволюционного цикла.

Пусть $(a_1 \dots a_n)$ — это Ω -слово, а $a_1, \dots, a_n \in A \cup \Omega$ знаки алфавита A , объединенные с операторами $a_i = \omega \in \Omega(n)$. (То есть эти знаки могут быть операторами). Пусть f — отображение в категории Ω -алгебр, точнее f — это гомоморфизм. Тогда равенство

$$(a_1 \dots a_n)f = (a_1f) \dots (a_nf)$$

определяет это согласование.

Это этап формирования наблюдателей и такое согласование — суть формирование устойчивости в виде *регулярности*. Она представлена в предика-

тах, а точнее уже в *производных* операторах в виде *семантики высказываний*. Семантики высказываний становятся операторами. Это этап появления информационных объектов 2-го рода или этап зарождения сознания в виде *самосознания*.

Таким образом, задачей третьего этапа эволюционного цикла является:

— формирование объектов 2-го рода (образование наблюдателей),

— вычленение операторов (семантик).

И, наконец, последний этап эволюционного цикла (он же первый). Это получение *ресурсных объектов*. Пусть существует такое Ω -слово $c_1 \dots c_m$ с $c_1, \dots, c_m \in \Omega$, что для любого Ω -слова $a_1 \dots a_n$ с $a_1, \dots, a_n \in A \cup \Omega$ всегда

$$(a_1 \dots a_n)f = (a_1f) \dots (a_nf) = c_1 \dots c_m.$$

Это согласование f с каждым знаком $a_1, \dots, a_n \in A$, которые совпадают, и с каждой операцией $a_i \in \Omega$. При этом $c_1 \dots c_m$ — это неподвижная точка множества отображений. Как говорилось ранее, данное согласование — это формирование устойчивости в виде инвариантности. Это замыкание класса объектов в «точку», которая и будет носителем. Она представлена в предикатах в виде знаков алфавита $c_1 \dots c_m = a \in A$. Это этап формирования и корректировки органов чувств.

Здесь формируются ресурсные объекты из классов информационных объектов 2-го рода. Так, элементарная модель объект = возмущение порождает ресурс в виде носителя. Эволюционный цикл — это переход от полного рассогласования объектов к их полному согласованию. На этапе полного согласования появляются ресурсные объекты = носители высшего уровня иерархии самоорганизующихся систем.

Заключение

В настоящей статье получены такие основные результаты:

1. Предложена базовая теория для теории адаптивного мышления в виде универсальной алгебры.
2. В рамках данной теории формализованы понятия ресурсных и информационных объектов.
3. Приведена классификация отображений и проведена классификация информационных объектов по типам морфизмов категорий. Формализовано понятие наблюдателя как объекта АМ.

4. Представлена унифицированная модель Ω -структур в виде полугруппы бинарных отношений и универсальная модель адаптивного мышления в виде группоида. Обе модели представляемы булевыми матрицами.

5. Предложена элементарная модель адаптивного мышления в виде объекта = возмущения.

6. Рассмотрены три подпространства бинарных отношений адаптивного мышления: интересы, возможности и необходимость, а также 4-ое пространство — случайностей. Приведены соответствия между подпространствами данных пространств и классами информационных объектов, а также пояснения к названиям данных пространств.

7. Рассмотрены понятия ресурсных и информационных подпространств и определены соответствующие им классы, полугруппы и группы бинарных отношений.

8. Рассмотрены аспекты сознательной и подсознательной психической деятельности на основе трех систем адаптивного мышления: системы необходимости, системы интересов и системы возможностей.

9. Предложен эволюционный цикл природы и сознания в виде появления согласований между объектами на этапах формирования устойчивостей на существующих носителях и потери согласований на этапах формирования новых носителей.

Список литературы: 1. Вигнер Е. Этюды о симметрии. М.: Мир, 1971. 318 с. 2. Бурбаки Н. Теория множеств. М.: Мир, 1965. 455 с. 3. Шафаревич И.Р. Основные понятия алгебры. Ижевск: НИЦ. Регулярная и хаотическая динамика, 2001. 352 с. 4. Такеути Г. Теория доказательств. М.: Мир, 1978. 412 с. 5. Справочная книга по математической логике / Под ред. Барвайса Дж. ч. 1. Теория моделей. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1982. 392 с. 6. Кон П. Универсальная алгебра. М.: Мир, 1968. 351 с. 7. Светличный В.И. Калибровочные симметрии систем // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. 2005. №1-2. С.92-96. 8. Столл Р. Множества. Логика. Аксиоматические теории. М.: Просвещение, 1968. 231 с. 9. Svetlichny V.I. Dynamics and Thinking of Social Systems. In Book: Advances in soft Computing. Hybrid Information Systems. Physica-Verlag. Springer Verlag Company, 2002. P.724-732. 10. Курош А.Г. Теория групп. М.: Наука, 1967. 648 с. 11. Поннер К.Р. Объективное знание. Эволюционный подход. М.: Эдиториал УРСС, 2002. 384 с. 12. Светличный В.И. Принципы адаптивного мышления // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. 2004. №2. С. 45-48.

Поступила в редколлегию 06.06.2005

УДК 519.7:007.52

А.Ю. Гордиенко, А.С. Коряк, Н.С. Лесная, В.Б. Репка

ОЦЕНКА КРЕДИТНЫХ РИСКОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ БАНКОВСКИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТОВОЙ МОДЕЛИ АДАПТИВНОЙ РЕЗОНАНСНОЙ ТЕОРИИ

Введение

Кредитные операции — одна из самых доходных статей банковского бизнеса. Повышение доходности кредитных операций непосредственно связано с качеством оценки кредитного риска. В зависимости от классификации клиента по группам риска банк принимает решение, стоит ли выдавать кредит или нет, какой лимит кредитования и проценты следует устанавливать. Поэтому выбор метода оценки кредитного риска играет важную роль для банка.

Определение кредитоспособности клиента — это фактически задача классификации, эффективно решить которую можно с помощью различных современных методов. В отличие от статистических методов методы интеллектуального анализа осуществляют более глубокий анализ, выявляя зависимости, которые неочевидны. И именно применение интеллектуальных методов позволит автоматизированной банковской системе (АБС) приобрести следующие преимущества: более высокую надежность, адаптируемость под текущую ситуацию на рынке розничного кредитования, объяснение своих выводов, возможность работы при небольшом количестве исходных данных. Таким образом, целью является повышение точности оценки кредитных рисков в АБС с помощью интеллектуальных методов, в частности нейросетевых.

В соответствии с поставленной целью необходимо решить следующие задачи исследования: провести анализ и исследование особенностей АБС при решении задачи кредитования, а также возможности введения интеллектуального слоя в структуру АБС как средства аналитической обработки данных; провести сравнительный анализ существующих методов принятия решений при предоставлении кредитов; провести анализ статистических и интеллектуальных методов решения задачи классификации клиентов по степени риска кредитования; произвести выбор архитектуры нейронной сети для решения поставленной задачи; разработать нейросетевую модель оценки риска кредитования.

1. Автоматизированные банковские системы

Автоматизированные банковские системы (АБС) — это системы оперативной обработки транзакций (OLTP-online transaction processing), которые оптимизированы для выполнения банковских опера-

ций и включают в себя некоторые системы анализа и получения отчетов [1]. На данный момент существует острая необходимость разбиения систем анализа данных на два типа — автоматизацию ежедневных, рутинных банковских операций и аналитическую обработку, так называемый интеллектуальный слой. Оба типа анализа требуют как разных структур хранения и представления данных, так и разных процедур доступа и обработки данных. Так, для первого типа структура данных спроектирована для быстрого и эффективного выполнения элементарных действий, из которых состоят банковские операции (проведение денежного перевода, открытие банковского счета, начисление процентов и так далее). В интеллектуальном слое обработки финансовой информации, помимо стандартных функций преобразования и интеграции данных, также реализуются: интерактивное определение метаданных (объектов); интерактивный анализ и контроль, мониторинг параметров АБС и определенных пользователем показателей; определение зависимых от времени объектов; возможность вносить изменения в данные, которые анализируются.

В условиях конкуренции способность банка оценить большое количество заявлений, например, на выдачу кредита в оптимальный срок, является важным фактором, укрепляющим общественный имидж банка, его привлекательность и доходную базу.

2. Кредитование и кредитные риски

Кредитование является одним из основных направлений деятельности банка. За счет этого источника формируется основная часть чистой прибыли, отчисляемой в резервные фонды и идущей на выплату дивидендов акционерам банка [1].

В то же время, при оказании кредитных услуг существует вероятность неуплаты заемщиком основного долга или кредитный риск. Прибыльность и ликвидность банка во многом зависят от того, насколько удастся снизить этот риск. Снижения риска кредитования можно достичь за счет комплексной оценки кредитоспособности клиентов. Для получения количественных оценок кредитный риск принято определять как максимальный ожидаемый убыток, который может произойти с заданной вероятностью в течение определенного периода времени в результате падения стоимости портфеля кредитов, вызванного неспособностью заемщиков

к своевременному погашению кредитов. Обычно для оценки кредитного риска доверительный интервал выбирается на уровне 99%, а временной горизонт может охватывать от 1 года до 5 лет.

Традиционные методики оценки кредитного риска отрабатывались в течение многих лет и основаны на классификации кредитов по их качеству, то есть по вероятности возврата заемщиками полученных ими кредитов [2]. Формальная оценка кредитоспособности заемщика называется «кредитным рейтингом», он зависит от статистики погашения выданных в прошлом кредитов, финансового положения заемщика, его финансовых обязательств перед другими кредиторами, налоговыми службами и так далее. Каждый банк располагает своей внутренней методикой присвоения каждому заемщику соответствующего кредитного рейтинга [2].

В банковском деле оценки кредитного риска могут быть получены в зависимости от типа клиента путем моделирования: «сверху вниз» или «снизу вверх». Методы первого типа применяются для больших однородных групп заемщиков, например владельцев кредитных карточек или предприятий малого бизнеса. Уровень кредитного риска оценивается путем расчета дисперсии и построения распределения вероятностей убытков на основе исторических данных по каждой группе заемщиков в кредитном портфеле. Эти результаты используются в дальнейшем для оценки риска при выдаче каждого нового подобного кредита. Существенным недостатком такого подхода является его нечувствительность к постепенным изменениям в структуре однородных групп.

Когда портфель имеет разнородную структуру, банки оценивают кредитный риск вторым методом — «снизу вверх». В случае крупных и средних предприятий-заемщиков данный метод является доминирующим способом оценки кредитных рисков. При моделировании «снизу вверх» кредитный риск оценивается на уровне индивидуального заемщика на основе специального анализа его финансового положения и перспектив. Такой обобщенной оценкой и выступает кредитный рейтинг заемщика, который рассматривается в качестве индикатора вероятности дефолта. Для оценки совокупного риска портфеля величины рисков по индивидуальным заемщикам агрегируются с учетом эффектов корреляции [3].

Исторически кредитный риск всегда рассматривался как нечто совершенно отличное от прочих видов финансовых рисков, в связи с чем нормативы по достаточности банковского капитала, как правило, устанавливались без какого-либо научно-обоснования. Такая практика обычно вела к нерациональному размещению капитала и неадекватному отношению руководства банков к управлению имеющимися рисками и принятию новых.

Вполне естественно, что сами банки и органы надзора были бы заинтересованы в получении единой оценки риска совокупного портфеля банка, учитывающей как рыночные, так и кредитные риски.

Этот подход заключается в том, что банк, присваивая каждому выданному кредиту определенный рейтинг, отражающий присущий ему риск, может составить зависимость изменения рыночной стоимости кредита от изменения его рейтинга. По мере накопления статистических данных эта зависимость преобразуется в распределение вероятностей изменений рыночной стоимости кредитов, обусловленных кредитным риском.

Имея такое распределение, последовательность изменений кредитного риска во времени может быть сопоставлена с аналогичным временным рядом для рыночного риска, что позволит с помощью метода рисковости стоимости рассчитать единую оценку возможного убытка, вызванного как рыночными, так и кредитными рисками [4].

3. Методы классификации клиентов

По сути, для банка необходимо решить задачу классификации, то есть разделить клиентов на «хороших» и «плохих», способных погасить кредит вовремя и неспособных сделать это. В распоряжении банка имеется большой объем разнообразной информации о клиентах, такой как: возраст, семейное положение, доход, владение недвижимостью и другим имуществом, кредитная история, занятость, образование, цель, объем и срок кредита и так далее. В этом океане сведений даже кредитному инспектору со значительным опытом работы иногда сложно сориентироваться при ответе, например, на вопрос — какой клиент представляет больший риск: разведенный бездетный мужчина-предприниматель или замужняя женщина-адвокат с тремя детьми, при том, что уровень дохода у них одинаков? Чтобы иметь возможность принимать решения о кредитовании не интуитивно, а на основе формализованных критериев, непосредственно связанных с вероятностью дефолта, необходимо построить классификационную модель, которая позволит оценить, как на основании имеющейся информации о клиенте отнести его к одному из классов возможных рисков.

Методы собственно классификации весьма разнообразны. Традиционными и наиболее распространенными являются регрессионные методы, прежде всего линейная многофакторная регрессия:

$$p = w_0 + w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n,$$

где p — вероятность дефолта; w — весовые коэффициенты; x — характеристики клиента.

Недостаток данной модели заключается в том, что в левой части уравнения находится вероятность, которая принимает значения от 0 до 1, а переменные в правой части могут принимать любые значения от $-\infty$ до $+\infty$.

Логистическая регрессия позволяет преодолеть этот недостаток:

$$\log(p/(1-p)) = w_0 + w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n.$$

Преимущество логистической регрессии еще и в том, что она может подразделять клиентов как на две группы (0 — плохой, 1 — хороший), так и на несколько групп (1, 2, 3, 4 группы риска). Зато применение логистической регрессии требует гораздо более сложных расчетов для получения весовых коэффициентов. В целом регрессионные методы показывают значимость каждой характеристики для определения уровня риска, но они чувствительны к корреляции между характеристиками и поэтому в модели не должно быть сильно коррелированных независимых переменных.

Линейное программирование может оперировать большим количеством переменных и моделировать определенные условия: например, если маркетинговая стратегия банка направлена на молодежь, можно ввести условие, чтобы интегральный показатель молодых людей был выше, чем тех, кому за 60. Однако провести абсолютно точную классификацию на плохих и хороших клиентов невозможно, но желательно свести ошибку к минимуму. Задачу можно сформулировать как поиск весовых коэффициентов, для которых ошибка и будет минимальной.

Генетический алгоритм основан на аналогии с биологическим процессом естественного отбора. В сфере кредитования это выглядит следующим образом: имеется набор классификационных моделей, которые подвергаются «мутации», «скрещиваются». В результате отбирается «сильнейший», то есть модель, дающая наиболее точную классификацию.

При использовании метода ближайших соседей выбирается единица измерения для определения расстояния между клиентами. Все клиенты в выборке получают определенное пространственное положение. Каждый новый клиент классифицируется исходя из того, каких клиентов — плохих или хороших — больше вокруг него.

Деревья решений — метод, позволяющий предсказывать принадлежность наблюдений или объектов к тому или иному классу категориальной зависимой переменной в соответствии со значениями одной или нескольких предикторных переменных. Деревья решений работают по принципу «если ..., то ...». При каждом расщеплении дерева клиенты делятся на две группы. Деревья решений отлично справляются с задачами классификации, то есть отнесения объектов к одному из заранее известных классов. Целевая переменная должна иметь дискретные значения.

Нейронные сети представляют собой системы, которые разделяют клиентов на группы, внутри которых уровень риска одинаков и максимально отличается от уровня риска других групп.

Нейронные сети позволяют решать задачи, в которых [5]:

- 1) отсутствует алгоритм или не известны принципы решения;
- 2) проблема характеризуется большими объемами входной информации;
- 3) данные неполны или избыточны, зашумлены, частично противоречивы.

Именно эти ключевые особенности позволяют максимально эффективно использовать нейронные сети для классификации клиентов в различные классы риска.

4. Нейросетевая модель оценки рисков

Выбор структуры нейронной сети осуществляется в соответствии с особенностями и сложностью задачи. Традиционные искусственные нейронные сети оказались не в состоянии решить проблему стабильности-пластичности. Очень часто обучение новому образу уничтожает или изменяет результаты предшествующего обучения. В некоторых случаях это не существенно. Если имеется только фиксированный набор обучающих векторов, они могут предъявляться при обучении циклически. В сетях с обратным распространением, например, обучающие векторы подаются на вход сети последовательно до тех пор, пока сеть не обучится всему входному набору. Если, однако, полностью обученная сеть должна запомнить новый обучающий вектор, он может изменить веса настолько, что потребуется полное переобучение сети.

В реальной ситуации сеть будет подвергаться постоянно изменяющимся воздействиям; она может никогда не увидеть один и тот же обучающий вектор дважды. При таких обстоятельствах сеть часто не будет обучаться; она будет непрерывно изменять свои веса, не достигая удовлетворительных результатов. Сети и алгоритмы АРТ (адаптивная резонансная теория) сохраняют пластичность, необходимую для изучения новых образов, в то же время предотвращая изменение ранее запомненных образов. В связи с этим для решения задачи классификации клиентов банка и оценки риска кредитования построим нейросетевую модель АРТ. Для обучения сети воспользуемся обучающей выборкой и результатами сегментации, представленными в [5], несколько изменив и дополнив характеристики клиентов.

Сеть АРТ представляет собой векторный классификатор. Входной вектор классифицируется в зависимости от того, на какой из множества ранее запомненных образов он похож. Свое классификационное решение сеть АРТ выражает в форме возбуждения одного из нейронов распознающего слоя. Если входной вектор не соответствует ни одному из запомненных образов, создается новая категория посредством запоминания образа, идентично-

го новому входному вектору. Если определено, что входной вектор похож на один из ранее запомненных векторов с точки зрения определенного критерия сходства, запомненный вектор будет изменяться (обучаться) под воздействием нового входного вектора таким образом, чтобы стать более похожим на этот входной вектор. Запомненный образ не будет изменяться, если текущий входной вектор не окажется достаточно похожим на него. Таким образом решается дилемма стабильности-пластичности. Новый образ может создавать дополнительные классификационные категории, однако новый входной образ не может заставить изменить существующую память.

На рис. 1 показана упрощенная конфигурация сети АРТ, представленная в виде пяти функциональных модулей.

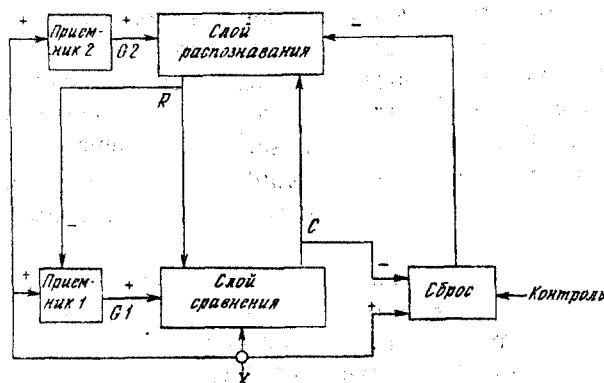


Рис. 1. Упрощенная модель сети АРТ

Она включает два слоя нейронов, так называемых «слой сравнения» и «слой распознавания». Приемник 1, Приемник 2 и Сброс обеспечивают управляющие функции, необходимые для обучения и классификации. Процесс классификации в АРТ состоит из трех основных фаз: распознавание, сравнение и поиск.

На рис. 2 представлена модель слоя сравнения для решаемой задачи классификации.

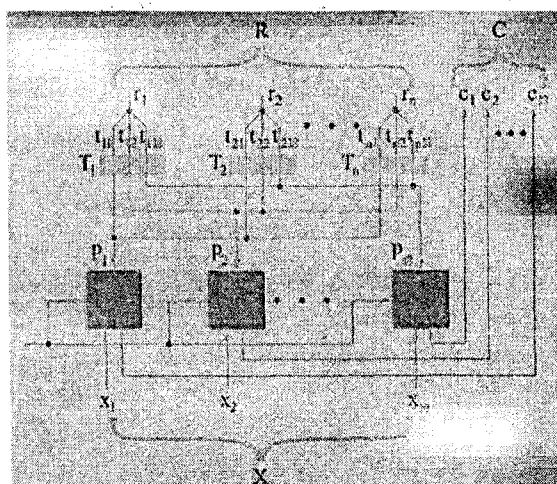


Рис. 2. Упрощенный слой сравнения сети АРТ

На рис. 3 приведена модель слоя распознавания.

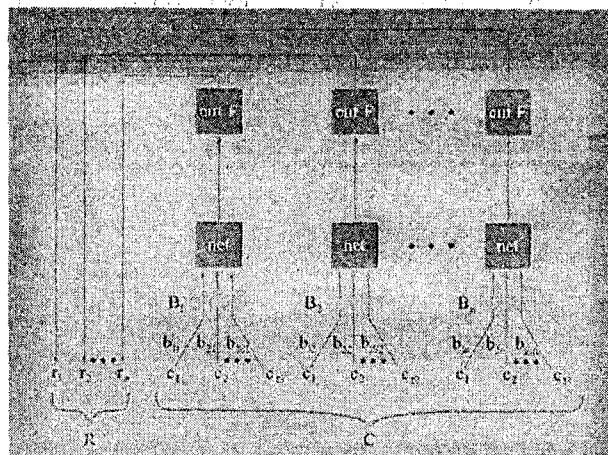


Рис. 3. Упрощенный слой распознавания сети АРТ

5. Экспериментальные результаты

В качестве характеристик клиентов банка выделим следующие — возраст (1 — до 20 лет; 2 — до 30 лет; 3 — до 40 лет; 4 — до 50 лет; 5 — до 60 лет; 6 — свыше 60 лет); семейное положение (1 — холост; 2 — женат; 3 — женат, но живет отдельно); количество детей / иждивенцев (1 — трое и более; 2 — двое; 3 — один (одна); 4 — нет); количество лет проживания на одном месте (1 — до 1 года; 2 — до 5 лет; 3 — до 10 лет; 4 — свыше 10 лет); доход (1 — менее 1-го прожиточного минимума; 2 — до 2-х; 3 — до 5-ти; 4 — свыше 5-ти); владение недвижимостью / другим имуществом (1 — нет жилья; 2 — есть жилье; 3 — есть магазин, ресторан, и тому подобное); наличие ценных бумаг (1 — нет; 2 — акции, векселя); кредитная история (1 — погашал не вовремя; 2 — не пользовался кредитами; 3 — погашал вовремя); сколько лет является клиентом банка (1 — не является; 2 — до 1 года; 3 — до 5 лет; 4 — до 10 лет; 5 — свыше 10 лет); социальный статус (1 — студент; 2 — вспомогательный персонал; 3 — специалист; 4 — пенсионер; 5 — руководящий работник); занятость (1 — менее 1 года; 2 — до 3 лет; 3 — до 5 лет; 4 — до 10 лет; 5 — свыше 10 лет); образование (1 — базовое (школа); 2 — среднее-специальное (техникум); 3 — высшее; 4 — научная степень); цель кредита (1 — сомнительная; 2 — доленое участие в сделках; 3 — покупка конкретного объекта (автомобиль, недвижимость и тому подобное)); срок кредита (1 — свыше 2 лет; 2 — до 2 лет; менее 1 года); сумма кредита (1 — до 5000 грн.; 2 — свыше 5000 грн.); порядок погашения (1 — единовременная выплата; 2 — периодическая); обеспечение кредита (1 — нет; 2 — поручительство; 3 — залог); валюта — (1 — национальная; 2 — иностранная; 3 — американский доллар).

Данные обучающей выборки представим в бинарном виде. Для нормализации каждого значе-

ния характеристики клиента выделим 3 бита, таким образом мы можем представить до 8 значений каждой характеристики. В обучающей выборке каждый из клиентов принадлежит к одному из 4-х классов (сегментов рынка банковских услуг по кредитованию).

На основании обучающей выборки и в соответствии с алгоритмом обучения и функционирования нейронной сети АРТ произведем построение нейросетевой модели классификации клиентов банка при оказании услуг кредитования. В результате обучения и тестирования указанной нейросетевой модели сегментирования клиентов банка было получено 4 сегмента со следующими значениями центроидов классов, представленных в табл. 1.

Полученные результаты дают основание эксперту в данной предметной области определить кредитный портфель и степень риска для каждого сегмента. Разработанная нейросетевая модель является инструментом для проведения классификации новых клиентов на предмет предоставления тех или иных услуг кредитования и оценки соответствующего кредитного риска. А также позволяет производить периодический мониторинг уровня кредитного риска по портфелю в целом для существующих клиентов (как при выдаче новых кредитов, так и без выдачи). Последнее актуально в связи с тем, что уровень риска может изменяться с изменением финансового положения заемщика, под действием ценовых факторов, в связи с изменением ситуации на рынке различных товаров, изменении динамики курсов валют и тому подобного.

В качестве проверки работы нейросетевой модели продемонстрируем результаты классификации нового клиента с такими характеристиками: возраст: 67 лет; семейное положение — состоит в

браке; количество детей / иждивенцев — одна дочь; количество лет проживания на одном месте: 20 лет; доход — до 2-х прожиточных минимумов; владение недвижимостью/другим имуществом — имеет частный дом; наличие ценных бумаг — акции; кредитная история — не пользовался кредитами; сколько лет является клиентом банка — не является; социальный статус — пенсионер; занятость — 37 лет; образование — высшее; цель кредита — покупка автомобиля; срок кредита — до 2 лет; сумма кредита — 15 000 грн.; порядок погашения — периодически; обеспечение кредита — поручительство дочери; валюта — иностранная — евро.

В результате классификации нейронной сетью АРТ данный клиент был причислен к 3-му классу. Если проанализировать значения центроида 3-го класса, то видим, что характеристики клиента действительно сходны со значениями именно этого сегмента — возраст — свыше 60 лет; семейное положение — состоит в браке; количество детей / иждивенцев — один (одна); доход — до 2-х прожиточных минимумов; социальный статус — пенсионер; кредитная история — погашал не вовремя; цель кредита — покупка конкретного объекта (автомобиль и так далее).

Однако мы также видим, что по характеристике «Кредитная история» у данного клиента существует вероятность риска, так как в данном сегменте значение этой характеристики — погашал не вовремя. На основании полученной классификации данному клиенту было решено предложить кредит в размере 6000 грн. под 18 % годовых сроком на полтора года. Уровень риска составил 30 %.

Для снижения риска банку предложены такие действия: повышение уровня информированности банка о готовности заемщика выполнять условия

Таблица 1

Характеристики полученных сегментов

Свойства	Средние значения свойств сегментов			
	Сегмент 1	Сегмент 2	Сегмент 3	Сегмент 4
Возраст	до 20-ти лет	до 40-ка лет	свыше 60-ти лет	свыше 60-ти лет
Семейное положение	холост	состоит в браке	состоит в браке	женат, но живёт отдельно
Количество иждивенцев	нет	двое	один (одна)	трое и более
Доход	до одного прожиточного минимума	до пяти прожиточных минимумов	до двух прожиточных минимумов	свыше пяти прожиточных минимумов
Образование	среднее	высшее	средне-специальное	ученая степень
Социальный статус	студент	руководящий работник	пенсионер	руководящий работник
Кредитная история	погашал вовремя	погашал вовремя	погашал не вовремя	не пользовался кредитами
Срок кредита	неизвестен	свыше двух лет	до двух лет	свыше двух лет
Цель кредита	неизвестна	покупка конкретного объекта	неизвестна	покупка конкретного объекта

кредитного соглашения, необходимо передать риск (страхование, хеджирование, другое), создание резервов, диверсификация.

Таким образом, разработанная нейросетевая модель адаптивной резонансной теории для классификации клиентов по предоставлению услуг кредитования и оценки риска кредитования показала стабильную, быструю и надежную работу.

Заключение

С каждым годом вопрос применения методов интеллектуального анализа данных в банковской сфере становится все более актуальным. Этот тезис подтверждается рядом факторов: накоплением банками больших объемов информации, ужесточением конкурентной борьбы, увеличением количества случаев мошенничества и невозврата кредитов. Введение «Интеллектуального слоя» в автоматизированные банковские системы, базирующегося на технологиях нейронных сетей, позволяет проводить тщательный отбор заемщиков, анализ условий выдачи кредита, постоянный контроль над финансовым состоянием заемщика, его способностью и готовностью погасить кредит.

В статье предлагается в качестве инструмента для решения задачи классификации клиентов по предоставлению кредитов и оценки рисков нейросетевая модель адаптивной резонансной теории, на основании которой можно эффективно производить классификацию новых клиентов, оценку рис-

ка кредитования как для новых клиентов, так и для существующих клиентов при изменении их кредитной истории.

В качестве перспективы дальнейшего исследования в области кредитования и оценки риска предлагается создание инструментального средства для решения задачи формирования планового кредитного портфеля и оперативного управления при возникновении непредвиденных ситуаций, которое позволит обеспечить распределение кредитных ресурсов в зависимости от объема заказов на кредит на любой заданный период в условиях нестационарности процесса кредитования.

Список литературы: 1. Лесная Н. С., Репка В. Б., Шатовская Т. Б., Коряк А. С. Система підтримки прийняття банківських рішень на базі нейромережових технологій // Радіотехніка. 2004. № 136. С. 158-161. 2. Питер С. Роуз. Банковский менеджмент: Пер. с англ. М.: Дело Лтд, 1995. 249 с. 3. Казимагомедов А. А. Банковское обслуживание населения. М.: Финансы и статистика, 1999. 121 с. 4. Морсман Е. М. Кредитный департамент банка: организация эффективной работы: Пер. с англ. М.: Альпина Бизнес Букс, 2004. 257 с. 5. А. С. Коряк, В. Б. Репка, Т. Б. Шатовская. Нейросетевое сегментирование рынка банковских услуг // Труды Междунар. науч.-техн. конф. «Интеллектуальные системы» (IEEE ASI'04) и «Интеллектуальные САПР» (CAD-2004). Науч. изд. в 3-х томах. М.: Изд-во Физико-математической литературы, 2004. Т. 1. С. 210-213.

Поступила в редколлегию 18.05.2005

УДК 519.62

Г.Г. Четвериков

АЛГЕБРО-ЛОГІЧНІ ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИРОДНОЇ МОВИ (Повідомлення 2)

Вступ

Формальним моделям семантико-синтаксичних структур мови відводиться важлива роль у сучасній проблематиці комп'ютерної лінгвістики та системах штучного інтелекту (ШІ). Останні трактуємо як деякі технічні системи, що механізують розумову працю людини. Це пов'язано з необхідністю створення дійсного програмно-апаратного комплексу (у вигляді інтелектуального інтерфейсу) генерації та аналізу речень природної мови (ПМ) у експертних та інформаційних системах, для більшості систем управління та прийняття рішень, а головне у перспективних швидкодіючих багатозначних структурах. Очевидно, що будь-який успіх у даній галузі сприяє розумінню еволюційного процесу ставлення та розвитку мови і мислення людини.

Проте, досі немає повного розуміння у визначенні речення. Однак більшість дослідників згоджувалась з одним беззаперечним фактом: речення висловлює закінчену думку, але питання як, яким чином це можливо встановити не на психологічному рівні, а на формальному (алгебро-логічному) — досі залишається відкритим.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. У даний час в інформатиці розповсюджується та стверджується наступний аспект: ПМ з математичної точки зору є деяка алгебра [1–7, 9]. Дослідження цього питання показує, що така алгебра має відноситися до класу логічних алгебр, а саме: у неї матимемо наявність алгебри предикатів і алгебри предикатних операцій. Інтерпретація думок при такому підході наступна: думка — це предикат, речення — це формули алгебри предикатів, які відображують ці предикати. Тобто логічна форма конкретної думки є побудова цієї думки та спосіб зв'язків її складових частин. Треба відзначити, що алгебра потрібна нам у ролі інструменту. Класичне поняття алгебри не повністю формалізує алгебру як інструмент.

Далі під алгеброю A над множиною A розуміємо будь-яку систему формульного запису елементів цієї множини. Множину A назовемо носієм алгебри A . Будь-яка алгебра A над A характеризується множиною базисних операцій (одномісних та багатомісних), відбиваючих множину A у себе, та множиною базисних елементів, що вибираємо з A . Формула алгебри A — це запис, що виражає яку-небудь суперпозицію базисних операцій алгебри A , які застосовуються до її базисних елементів.

1. Дослідження алгебро-логічної структури природної мови

У роботі використовується апарат алгебри предикатів [2]. Останню трактуємо як алгебру, носієм якої є множина M усіх предикатів U^m , де U — непорожня множина всіляких змінних, яку називатимемо універсумом, тобто $U = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$. Множина U може бути як скінченною, так нескінченною. У першому випадку простір U^m називатимемо скінченням, а в іншому — нескінченням. Тут $x_1, x_2, \dots, x_m$ — всілякі місця предметів. Тому їх інакше називатимемо предметними змінними. Якщо предмет a знаходиться на місці x_i ($i = \overline{1, m}$), то будемо говорити, що змінна x_i приймає значення a та маємо такий запис $x_i = a$. Якщо $a_1, a_2, \dots, a_m \in U$ та $x_1 = a_1, x_2 = a_2, \dots, x_m = a_m$, то пишемо $(a_1, a_2, \dots, a_m) \in U^m$ і кажемо, що предметний вектор (набір) належить предметному простору U^m . Число m називатимемо *вимірністю простору U^m* . Будь-яку підмножину T простору U^m називатимемо *m -місцевим відношенням*, яке задано на U^m . Для формульного запису таких відношень будемо використовувати функції у вигляді $P(x) = P(x_1, x_2, \dots, x_m)$, який відбиває U^m у множину $\Lambda = \{0, 1\}$, що називатимемо *предикатами*, які визначені на U^m . Елементи множини Λ називатимемо логічними.

Нехай $\hat{T}$ — множина усіх відношень на U^m , $\hat{P}$ — множина усіх предикатів на U^m . Відношення $T \in \hat{T}$ та предикат $P \in \hat{P}$ називатимемо відповідними одне одному, якщо при будь-яких $x_1, x_2, \dots, x_m$ маємо:

$$P(x_1, x_2, \dots, x_m) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } (x_1, x_2, \dots, x_m) \notin T, \\ 1, & \text{якщо } (x_1, x_2, \dots, x_m) \in T. \end{cases} \quad (1)$$

Згідно з (1) можливий перехід від будь-якого відношення T до відповідного йому предикату P . Предикат P , що знаходимо з (1), називатимемо характеристичною функцією відношення T .

Предикатом розпізнавання предмета $a \in U$ за змінною x_i ($i = \overline{1, m}$) називатимемо умову

$$a(x_i) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } a \neq x_i, \\ 1, & \text{якщо } a = x_i. \end{cases}$$

Предикат $a(x_i)$ будемо розглядати як предикат $a(x_1, x_2, \dots, x_m)$ із P , усі аргументи якого, крім x_i , неістотні. Вираз у вигляді $a(x_i)$, де $i = \overline{1, m}$, $a \in U$, замінимо на x_i^a : тут a називатимемо показником для змінної x_i .

Треба зазначити, що диз'юнкцією предикатів R та S називатимемо предикат $R \vee S$, що відповідний відношенню $R \cup S$. Кон'юнкцією предикатів R та S називатимемо предикат $R \wedge S$, що відповідний відношенню $R \cap S$. Порожньому відношенню відповідає нульовий предикат.

Алгеброю предикатів над M називатимемо множину T з базисними елементами x_i^a ($i = \overline{1, m}$), $a \in U$ та базисними операціями: диз'юнкція, кон'юнкція, заперечення. Виключення з базису даної алгебри операції заперечення дозволяє отримати алгебру, яку називатимемо диз'юнктивно-кон'юнктивною.

Теорема 1. Для будь-яких U і m диз'юнктивно-кон'юнктивна алгебра предикатів повна. Будь-який предикат P , що визначений на U^m , запишемо у вигляді

$$P(x_1, x_2, \dots, x_m) = \bigvee_{(a_1, a_2, \dots, a_m) \in T} x_1^{a_1} x_2^{a_2} \dots x_m^{a_m}.$$

Запис $(a_1, a_2, \dots, a_m) \in T$ під позначкою $\vee$ означає, що логічне підсумовування добутків $x_1^{a_1} x_2^{a_2} \dots x_m^{a_m}$ проводиться за різноманітними наборами $(a_1, a_2, \dots, a_m)$, які належать до відношення T .

Доведення. Підставляємо в (3) $x_1 = a_1$, $x_2 = a_2, \dots, x_m = a_m$, ($a_1, a_2, \dots, a_m \in U$). Якщо $(a_1, a_2, \dots, a_m) \in T$, то рівність (1) перетворюється у тавтологію (тотожність $1 = 1$, якщо $(a_1, a_2, \dots, a_m) \notin T$, то у тотожність $0 = 0$). *Теорема доведена.*

Основні закони диз'юнктивно-кон'юнктивної алгебри предикатів — це основні закони булевої алгебри предикатів, за виключенням тих, що мають операцію заперечення.

Теорема 2. Для будь-яких U і m система основних законів диз'юнктивно-кон'юнктивної алгебри предикатів повна.

Доведення. Доведення проведемо за допомогою ДНДФ. Незавжди буде переконатися у тому, що будь-яку формулу диз'юнктивно-кон'юнктивної алгебри предикатів можна звести до ДНДФ за допомогою її основних тотожностей. Для цього достатньо розкрити дужки за допомогою першого закону дистрибутивності, потім ввести у кожен диз'юнктивний член змінні, яких не вистачає. Далі знову розкрити дужки та позбавитися від однакових добутків тощо. Одержуємо ДНДФ предиката. Якщо ввести на множині U будь-який лінійний порядок та розмістити у ДНДФ диз'юнктивні члени $x_1^{a_1} x_2^{a_2} \dots x_m^{a_m}$ (конституенти одиниці) у лексикографічному порядку відносно послідовності $(a_1, a_2, \dots, a_m)$ одержуємо єдиний варіант ДНДФ для кожного предиката. Якщо ДНДФ двох формул, що зрівнюються, збігаються, то такі формули тотожні, а якщо ні — не тотожні. *Теорема доведена.*

Зазначимо, що відношення — це універсальний засіб формального опису структури будь-яких об'єктів, їх властивостей, зв'язків між ними та дій над ними. Тут і далі в роботі під *структурою* розуміємо сукупність відношень між елемента-

ми системи. Останню сприймаємо як сукупність елементів, які зв'язані внутрішніми відношеннями. Тобто *відношення* — це знання про стан будь-якого набору місць, інакше — елементах ситуації якого-небудь повідомлення.

Таким чином, відношення буде лежати в основі будь-якої знакової системи, а мова — це система знаків, яка зв'язує знак з його денотатом та концептом. Знакова система — це зв'язок формули з відповідним до неї предикатом та ситуації, яка перетворює предикат в одиницю. При цьому ситуацію беремо із заданої області, а предикат області обмеження не має.

Аналіз останніх досліджень природної мови (ПМ) людини являє собою деякий алгебраїчний апарат в дії, як видно, одну з різноманітних алгебр предикатних операцій. Алгебра предикатів теж присутня в ПМ, але вона як би «вкладена» в алгебру предикатних операцій. Задача дослідника — дізнатися, який саме варіант алгебри предикатних операцій реалізовано в ПМ. А може в ПМ є ще деякі алгебраїчні структури. У випадку рішення цієї задачі стає можливим переводити фрази ПМ на мову логічної математики. У свою чергу логічній математиці є що перейняти у ПМ. Вона може підучитися у природи, тобто використати біонічний підхід до вивчення інтелекту. Природа має більш досконалу мову логічної математики, ніж людина. Людина ніколи не відмовиться від ПМ на користь мови математики або мов програмування, взагалі будь-яких штучних мов, що розробляються інформатикою.

Керуючись аналогією поміж математичною та природною мовами, будемо під змістом тексту ПМ розуміти його функцію істинності, тобто залежність істинності значення від ситуації [1–3]. Відзначимо, що предметні змінні у реченнях ПМ відсутні. Це означає, що *речення* — це тільки ім'я P предиката, але повне ім'я предиката — $P(x_1, x_2, \dots, x_m)$. Тобто *текст речення* — це ще не саме речення, а лише його запис. Речення характеризується не лише текстом, але й своїм смислом, воно виражає деяку думку. А думка знаходиться у розумі людини. Текст речення ПМ можна розглядати як формулу, що записана у скороченій формі, яка виражає деякий предикат. За формулою людина обчислює істинностне значення речення при заданих значеннях його предметних змінних. При цьому смисл кожного речення представляється тільки предикатом, значення якого також визначається значеннями його предметних змінних. Напрошується висновок: речення ПМ, як і математичні твердження, в змістовому плані являє собою відношення — і нічого окрім іншого.

Під *структурою речення* розуміємо суперпозицію операцій над його словами та словосполученнями [1, 7]. Тоді з синтаксичної точки зору кожне речення є деяка формула алгебри предикатних операцій, яка виражає структуру цього речення. ПМ утілює відразу дві алгебри: алгебру предикатів і ал-

гебру предикатних операцій. Очевидно, що для опису об'єктів взагалі та мови зокрема «вище» алгебри предикатів можна не «підійматися». Але без операцій обійтися неможливо, тому що треба оперувати з відношеннями. Тобто операції необхідні, якщо треба здійснювати дії над об'єктами. При цьому предикатні операції — головний математичний інструмент інформатики, який дозволяє здійснювати операції над таблицями (таблиці — це предикати). Думки — теж предикати. Мислення — це операції над предикатами [1–3].

Таким чином, алгебра предикатів з'явилася як результат довгих невдалих спроб опису деяких найпростіших синтаксичних механізмів мови. Алгебра логіки з'явилася у результаті вивчення смислової структури складносуриядних речень. Двобічний процес: посилення алгебри предикатних операцій та виявлення алгебраїчної структури мови, разом узяті, ведуть до єдиної мети: розробки більш досконалого апарату логічної математики.

2. Шляхи автоматизації обробки мовної інформації

У даний час в системах штучного інтелекту машинний словник та комплекс програм (тезаури) використовуються, як правило, для виконання будь-якої однієї функції: у вигляді аналізу деякого повідомлення, його синтезу, виправлення помилок, нормалізації тощо. Розрізнене моделювання несхожих функцій породжує серйозні труднощі зі стиковкою процедур й знань у рамках підсистеми ІнІн повної системи ШтІ, що виконує як аналіз, так і синтез повідомлень на ПМ. Як правило, стає неможливим використання процедур однієї системи у складі інших систем. Вказані обставини приваблюють увагу до створення комплексних моделей, які реалізують здібності людини до сприйняття та видавання інформації у вигляді текстів на ПМ. Останнє можливо завдяки запропонованим та модифікованим у роботі оборотним k -значним перемикальним ланцюгам просторового типу.

Отже, метою даного дослідження щодо проблеми у цілому є наступне: представити укрупнену структуру ІнІн та виявити підсистеми (методи, структури, алгоритми), розробка яких забезпечить її функціонування.

Один із таких підходів до побудови подібних моделей передбачає виявлення та опис лінгвістичних відношень на фонетичному, морфологічному, синтаксичному та семантичному рівнях. Опис таких відношень робимо у вигляді формул (рівнянь) диз'юнктивно — кон'юнктивної алгебри предикатів (ДКАП). Тоді рішення конкретних задач аналізу, синтезу текстів та інші інтерпретуємо як підстановку відомих значень змінних до рівнянь і визначення невідомих [3–6, 9].

Таким чином, будемо природну мову уявляти як математичний об'єкт (якась алгебра). При цьому смисл (зміст) думок можна висловити речення-

ми і текстами, що з точки зору їх математичної природи будемо розглядати як предикати. Наша відправна точка у даних міркуваннях: думки — це предикати. Таким чином, кожне речення виражає деяку функцію з двійковим значенням, тобто задає деякий предикат $P(x) = 1$. Незалежною змінною x даної функції буде змінна ситуація, залежною — істинна змінна 1. Після підстановки замість змінної x конкретної постійної ситуації $x = a$ задане речення стає істинним ($1 = 1$) або хибним ($1 = 0$). Це залежить від того, чи відповідає чи ні зміст цього речення ситуації a , до якої воно віднесено. А що означає змінна ситуація x ? Вона має удавати з себе набір $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ предметних змінних $x_1, x_2, \dots, x_m$, як запропоновано вище. Будь-яка постійна ситуація $x = a$ має бути набором $a = (a_1, a_2, \dots, a_m)$ деяких предметів $x_1 = a_1, x_2 = a_2, \dots, x_m = a_m$. Таким чином кожне речення має висловлювати деякий предикат $P(x_1, x_2, \dots, x_m) = 1$, що представляє залежність істинної змінної від предметних змінних $x_1, x_2, \dots, x_m$. Проте будь-яке речення за природно-мовною формою відрізняється від математичної формули тим, що виражає не усю функцію $P(x_1, x_2, \dots, x_m)$, а тільки її ім'я P . І це так, бо кожен раз, коли людина перетворює те чи інше речення у відповідну до нього думку, вона добудовує його до предикату. При цьому вона додає до нього (як до ім'я предикату) відсутні предметні змінні. Тільки після цього речення стає доступним для розуміння. Та, навпаки, перетворюючи деяку думку у речення, людина виключає з неї предметні змінні, що дозволяє передавати іншим людям не саму думку, а лише її ім'я. Продемонструємо сказане на прикладі, у якому зробимо доповнення речення предметними змінними.

Нехай маємо деяке речення, наприклад:

«На майдані стоїть церква». (2)

Визначимо число предметів, про які йде мова у реченні (2). Очевидно, що таких предметів два: один характеризується словом «майдан», а інший — словом «церква». З множини Q виберемо будь-які дві предметні змінні, наприклад q_1 і q_2 , та введемо їх до речення (2) після зазначених слів. В результаті отримаємо наступне твердження

«На майдані q_1 стоїть церква q_2 ». (3)

Воно висловлює зараз не лише ім'я предиката як початкове речення (2), але й сам предикат з його аргументами q_1 і q_2 . Речення (3), що доповнено предметними змінними, будемо називати висловленням. Саме так називають будь-яке твердження в математичній логіці, що виражається предикатом.

Додамо до речення (2) ще одне

«Поряд з нею квітне бузок». (4)

що утворює спільний текст. У реченні (4) мова йде також про два предмети. Перший з них зазначено займенником «нею», другий — іменником «бузок». Із контексту (контекстом для речення (4) є

речення (2)) очевидно, що слово «нею» може бути замінювачем слова «церква», що стосується предмета q_2 , який фігурує у реченні (2). Слово «бузок» вводить третій предмет, що відрізняється від двох перших. У якості нової предметної змінної беремо q_3 . Внаслідок отримаємо висловлення

«Поряд з церквою q_2 квітне бузок q_3 ».

Зазначимо, що речення «Поряд з церквою квітне бузок» стає двозначним, якщо його розглядати поза контекстом та без змінних q_2 і q_3 . У даному випадку не можна однозначно визначити, про яку конкретно церкву йде мова: про ту ж саму, що й в реченні (2) (тобто предмет q_2) або про деяку іншу (наприклад предмет q_4). Ще більш багатозначним сприймається речення (4). У ньому слово «нею» можна віднести до будь-якого предмету, а не лише до церкви. Але якщо ввести предметні змінні, то подібні неоднозначності повністю можна усунути. Цей факт наявно демонструє необхідність доповнення речень предметними змінними для можливості їх однозначного розуміння. Однак наш перехід від речень до відповідних висловлювань повністю опирається на інтуїцію людини, що володіє українською мовою. Формальний перехід також можливий: лише на основі аналізу тексту речення і навколишнього контексту без звернення до їх смислу [1–9]. Ця задача дуже складна і очікує свого розглядання. Проте без її рішення неможлива автоматизація процесу розуміння текстів природної мови та побудова інтелектуального інтерфейсу взагалі.

Отже речення будуються з окремих слів та словосполучень. Тому припускаємо, що у ролі базисних елементів даного дослідження беремо слова. Оскільки будь-які базисні елементи – предикати, то й слова, що розглядаємо у якості базисних елементів, теж мають бути предикатами. Змістовна сторона цього питання – будь-які базисні елементи є думками, а думки висловлюються реченнями. Отже окремі слова теж треба розглядати як речення. Тому «цеглинкою» даного дослідження буде слово. Далі розглянемо та побудуємо відповідні реляційні моделі лінгвістичних зв'язків елементів фонетичного рівня та морфології української мови за допомогою ДКАП.

Висновки

Проведено аналіз алгебро-логічної структури природної мови. Розглянуто концептуально-методологічний підхід до мови людини, що дозволяє сприймати її як деяку алгебру, а її тексти – як формули цієї алгебри. Змістом формули цієї алгебри є функція, яку вона виражає. Математична природа думки, яка виражена реченням, представляє смисл цього речення. Іншими словами, смисл речення – це відношення, що міститься в реченні. Тому речення має виражати деякий предикат, що зображує залежність істинної змінної від предметних

змінних. Проте, якщо звернутися до конкретного речення, то ніяких предметних змінних у нього немає. Пояснюється це тим, що речення природної мови, на відміну від математичної формули, виражає не всю функцію, а тільки її ім'я. Кожного разу людина, яка перетворює те чи інше речення у відповідну думку, добудовує його до предикату, додаючи до нього (як до ім'я предикату) недостатні предметні змінні. Тільки після цього речення стає доступним до розуміння. Та навпаки: перетворюючи деяку думку у речення, людина виключає з нього предметні змінні, що дозволяє передавати іншим людям не саму думку, а тільки її ім'я. Тобто запропонована диз'юнктивно-кон'юнктивна алгебра предикатів (ДКАП). У статті запропонована узагальнена структура інтелектуальної системи, яка відповідає новій інформаційній технології рішення задач на ЕОМ, що орієнтовані на досягнення високорівневої технології обробки мовної інформації (отримання нової якості). Отже, нові вимоги до сучасної технології обробки інформації обумовлені: необхідністю рішення проблем, які погано формалізуються, та наявністю користувача, що не є професійним програмістом.

Істотно новим в роботі є поширення алгебри скінчених предикатів (АСП). Тепер вона охоплює не тільки скінченні предикати, а також – нескінченні. Раніше АСП була спрямована на формальний опис функцій (так званих алфавітних операторів). Тепер область її рекомендованого застосування поширена та охоплює довільні відношення, які далі будемо описувати за допомогою ДКАП.

Список літератури: 1. Бондаренко М.Ф., Шабанов-Кушнарченко Ю.П. О бионике интеллекта // Бионика интеллекта. Харьков: ХНУРЭ. 2004. Вып. 1 (61). С. 3–14. 2. Бондаренко М.Ф., Шабанов-Кушнарченко Ю.П. Об алгебре предикатов // Там же. С. 15–37. 3. Четвериков Г.Г. Алгебро-логічні засоби моделювання природної мови (повідомлення 2) // Там же. С. 42–45. 4. Четвериков Г.Г. Синтез просторових структур мовних систем (на прикладі української мови) // Проблеми бионики. Харьков: ХТУРЭ. 1999. Вып. 50. С. 112–119. 5. Бондаренко М.Ф., Коноплянко З.Д., Четвериков Г.Г. Основы теории синтеза надшвидкодіючих структур мовних систем штучного інтелекту. К.: ІЗМН, 1997. 264 с. 6. Бондаренко М.Ф., Коноплянко З.Д., Четвериков Г.Г. Основы теории багатозначних структур та кодування в системах штучного інтелекту. Харків: Фактор-друк, 2003. 336 с. 7. Бондаренко М.Ф., Осыка А.Ф. Автоматическая обработка информации на естественном языке. К.: УМК ВО, 1991. 142 с. 8. Горошко Е.И. Функциональная асимметрия мозга, язык и пол: Аналитический обзор-М. Х.: ИД «ИНЖЕК», 2005. 280 с. 9. Четвериков Г.Г. Природна мова як об'єкт математичного опису // Матеріали 5-ої Междунар. науч.-техн. конф. «Искусственный интеллект. Интеллектуальные многопроцессорные системы – 2004». Т. 2. Таганрог: ТРТИ. 2004. С. 41–43.

Поступила в редакцію 31.05.2005

УДК 681.3.01

С.А. Рошка

МЕТОД ИЗВЛЕЧЕНИЯ КЛЮЧЕВЫХ ВЫРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ГРАФОВОЙ МОДЕЛИ СТРУКТУРНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ТЕКСТА

1. Введение

Любой документ можно описать с помощью ключевых фраз. Ключевые фразы используются в задачах реферирования и гипертекстового представления текста. Для коллекции документов ключевые фразы могут использоваться для индексирования, классификации, кластеризации, задач обзора документов и поиска [1].

Ключевые выражения дают высокоуровневое описание анализируемого текста. Представление коллекции текстов в виде ключевых выражений позволяет проводить быстрый просмотр документов и их фрагментов на предмет релевантности к тематике, извлекать новые знания из коллекции. Под ключевыми выражениями подразумеваются осмысленные словосочетания из двух или более слов.

Актуальной задачей является разработка алгоритмов автоматизированного извлечения ключевых выражений из текста.

Существуют различные методы решения задачи извлечения ключевых фраз: методы лингвистического анализа [2], статистические методы [3]. В наших исследованиях анализу подвергаются неструктурированные текстовые данные, извлекаемые из WWW и формирующие коллекцию документов. Для обработки такого вида данных целесообразно применять языково-независимые подходы к анализу.

В статье представлен метод извлечения ключевых выражений базирующийся на частотно-статистических методах и контекстном анализе текста. Для применения предложенного метода необходимо использовать графовую модель представления текстовых данных. Графовая модель структурного представления текста предоставляет гибкие возможности для применения методов контекстного и частотно-статистического анализа при исследовании текстовых данных. Представление текста как информационного потока данных позволяет учитывать связанную структуру текста, что обеспечивает для предлагаемого в статье языково-независимого метода извлечения ключевых выражений семантическую значимость результатов, которые получены на сегодняшний день при использовании лингвистических методов обработки текста.

2. Задачи и цели

В настоящее время для задач извлечения ключевых выражений из текста используют методы натуральной языковой обработки текста и технологии машинного обучения. В нашей работе было

принято решение использовать методы статистического анализа в силу их относительной простоты, удобства использования и языковой независимости. Методы лингвистического анализа хотя и позволяют точнее анализировать текст, выделяя его структурные особенности, но являются более трудоемкими и сложными в использовании. Связано это, прежде всего, с богатством семантики и морфологии естественных языков. Формальное описание правил естественного языка и их реализация – весьма трудоемкий процесс, требующий привлечения специалистов из области лингвистики. Кроме того, лингвистический анализ предполагает ориентацию на конкретный язык с его конкретными семантическими особенностями, это обуславливает его плохую межязыковую переносимость.

Все это указывает на целесообразность применения статистических методов для решения задач анализа текста. Однако частотный анализ, используемый в настоящее время при определении тематики документов [4], не позволяет в полной мере учесть внутреннюю структуру текста, т. к. при таком анализе не учитывается связность и последовательность текста. Хотя именно связность текста (речевого высказывания) считается одним из важнейших условий, необходимых для понимания его смысла и содержания. Данное положение является ключевым как в психолингвистике [5, 6], так и нейрорпсихологии [7, 8].

Опираясь на результаты исследований, авторами был разработан метод извлечения ключевых выражений, основывающийся на модели структурного представления текста и учитывающий его связность [9, 10].

Целью статьи является представление нового метода извлечения ключевых фраз из текста. Метод является частотно-статистическим и опирается на графовую модель представления текста и методы контекстного анализа. Разработанный метод определяет возможности дальнейшего решения задач, таких как: определение тематик в коллекции неструктурированных данных, представление тематик коллекции текстовых данных, определение степени тематической близости текстов.

3. Обзор методов представления текста как информационного потока данных

Общими предпосылками методов представления текста как информационного потока является неопределенность начальных условий для поиска

или анализа информационного контекста. Поэтому методы data mining (интеллектуального анализа данных) будут наиболее подходящими, так как по определению это обнаружение содержательных закономерностей или исключений из данных, возможное без точной фокусировки [11].

В [12] текст рассматривается как последовательности данных. Стартовой точкой являются текстовые данные, конечным продуктом — информация, описывающая явление наличия частот в данных, т. е. фразы или совместно расположенные слова. В предлагаемом методе эта информация представляется как эпизоды или эпизодические правила. Эпизоды и технологии их обработки не рассматривают понимание текста. Вместо этого они разрабатываются для рассмотрения шаблонов, таких как совместное расположение слов или фраз, которые могут использоваться для построения согласованных списков.

Эпизодические правила и эпизоды являются модификацией понятия ассоциативных правил и частотных множеств, примененных к последовательности данных. Последовательность данных, такая как текст, может рассматриваться как последовательность пар (вектор-признак, индекс), где вектор-признак содержит упорядоченный набор признаков, индекс содержит информацию о позиции слова в последовательности. Последовательность представляется в порядке возрастания индекса (соответствуя порядку слов в оригинальном тексте). Признаком может быть: слово — основная форма, флексивная форма слова — стем; грамматический признак — часть речи, регистр, номер; знак пунктуации или другой специальный символ или структурный тэг.

В [13] текстовый эпизод рассматривается как пара $\alpha = (V, \leq)$, где V — это коллекция векторов-признаков, и знак $\leq$ — это определенный порядок на V . Дана последовательность текста S , эпизод текста $\alpha = (V, \leq)$ встречается в рамках S , если этот путь удовлетворяет векторам-признакам в V , используя векторы-признаки в S с тем, чтобы частный порядок $\leq$ сохранился. Обычно это означает, что векторы-признаки V могут быть найдены среди S в порядке, удовлетворяющем частному порядку $\leq$.

Для вхождения интересующего эпизода все векторы-признаки эпизода должны полностью совпасть с S . Достаточность покрытия определяется задаваемым пределом, размером окна W , в которых эпизод может встретиться. Поэтому вместо содержания всех эпизодов в S , рассматривается вхождение в подстроку S' от S , где разница определяется векторами-признаками в S' окна W .

Метод обнаружения эпизодов обычно производит большое количество эпизодов и эпизодичес-

ких правил. Поэтому последующая обработка является существенной для дальнейшей возможности исследований. Основная проблема состоит в том, чтобы определить, какой эпизод является осмысленным. Последующая обработка включает сокращение, группировку и упорядочивание результатов. Практичность результатов может быть усилена с применением знаний на правилах и эпизодах одного документа и сравнением их с подобной информацией в коллекции документов.

Ассоциативные правила, такие как в [14], не рассматривают полный текст как входную информацию, они используют только ключевые слова, приписываемые к этому документу. В [15–18] скомбинированы и развиты эти методы. С одной стороны, для извлечения подходящих фраз из документа для будущей обработки и обнаружения знаний и, с другой — для поиска взаимного расположения между этими фразами. Технология для поиска комплекса текстовых фраз из полного текста позволяет по желанию менять интервал между словами и порядок слов в фразах. Метод не разграничивает по типам фраз, рассматриваются все слова и словоформы. Перед извлечением фраз документ подвергается предварительной обработке, при которой удаляется множество общей и несодержательной информации. Для поиска совместно расположенных фраз создается набор последовательностей слов для каждого единственного документа. Набор фраз может использоваться для описания документа в коллекции. Фраза определяется путем извлечения последовательности, удовлетворяющей частотному порогу δ . Последовательность является частой, если она присутствует не менее чем в δ документах, где δ — это частотный порог.

Снижение количества частотных наборов достигается на этапе предварительного морфологического анализа документов.

В [19] устойчивые ключевые выражения определяются как повторяющиеся упорядоченные последовательности термов [20], присутствующих в документах. Предполагается, что при хорошем стиле изложения используются синонимы и местоимения и нет повторений. Определяются абстрактные понятия — единичные объекты или группы связанных объектов, которые когнитивно отличаются от других абстрактных понятий. Для того чтобы быть подходящим для кластеризации, устойчивая последовательность или единичный терм должны:

- 1) присутствовать в коллекции не менее определенного количества раз (ограничитель частоты термов);
- 2) не пересекать границы предложения;
- 3) быть завершенной фразой;
- 4) не начинаться и не заканчиваться стоп-словами.

4. Модель структурного представления и метод тематического анализа текста

Всю совокупность представленных на сегодняшний день методов анализа текста, относительно задачи анализа его содержания, можно разделить на две большие группы:

- лингвистический анализ;
- статистический анализ.

Первый ориентирован на извлечение смысла текста по его семантической структуре. Второй — по частотному распределению слов в тексте.

В [7] авторами было принято решение использовать методы статистического анализа в силу их относительной простоты, удобства использования и языковой независимости.

4.1. Графовая модель структурного представления текста произвольного содержания. Суть предлагаемого подхода заключается в моделировании структуры текста информационным потоком и формировании этим потоком ориентированного мультиграфа, вершинами которого являются слова, а ребрами — связи между словами в тексте. Этот мультиграф является информационной структурой текста.

Мультиграф — это граф, который может содержать множество ребер, соединяющих одну и ту же пару вершин.

Информационный поток — это детерминированный поток событий, принадлежащих некоторому конечному множеству. Временной интервал между событиями нас не интересует, интересует только последовательность событий. В данном случае события — это слова, а конечное множество — это множество всех слов, присутствующих в анализируемом тексте. Информационный поток эквивалентен временному ряду номинальных (категориальных) величин.

Под информационной структурой понимается совокупность всех событий и связей между ними. Для информационной структуры текста связи между событиями — это словосочетания.

Информационный поток, по сути, моделирует динамику некоторого процесса, в данном случае текста, а информационная структура является статическим представлением информационного потока.

Переход к модели структурного представления текста осуществляется следующим образом:

1. Текст рассматривается в виде информационного потока, образованного информационными элементами — словами.

Если последовательно брать слова из текста, начиная с самого первого и заканчивая последним, то это как раз и будет информационный поток F .

При этом набор всех слов в тексте можно выделить в конечное множество уникальных информационных элементов:

$$I = \{i_1, i_2, \dots, i_n\},$$

где: i — информационный элемент соответствующий определенному слову из текста.

$$F = (i_1, i_2, \dots, i_n).$$

Информационный поток также может быть представлен в виде набора связей:

$$F = (r_1, r_2, \dots, r_{n-1}),$$

где: $r_i = (i_i, i_{i+1})$ — связь между двумя информационными элементами, последовательно идущими в информационном потоке.

Порядок чередования информационных элементов зависит от их последовательности в тексте. Информационные элементы в потоке могут повторяться. Обязательное условие — однозначное соответствие информационного элемента слову из текста. Одинаковые слова в тексте соответствуют одному и тому же информационному элементу.

Пример.

Фрагмент текста: «Дао, которое может быть выражено словами не есть постоянное Дао. Имя, которое может быть названо, не есть постоянное имя».

Из данного набора слов выделяем множество уникальных информационных элементов (различия в регистре и знаки препинания не учитываются): $I = \{i_1, i_2, i_3, i_4, i_5, i_6, i_7, i_8, i_9, i_{10}, i_{11}\}$, где:

- i_1 = быть,
- i_2 = выражено,
- i_3 = дао,
- i_4 = есть,
- i_5 = имя,
- i_6 = которое,
- i_7 = может,
- i_8 = названо,
- i_9 = не,
- i_{10} = постоянное,
- i_{11} = словами.

2. Поток формирует структуру.

Если учесть, что слова в тексте повторяются, то, соответственно, можно допустить, что информационный поток будет многократно проходить через одни и те же информационные элементы, формируя таким образом связанную информационную структуру текста.

Введем дополнительные обозначения и определим некоторые важные характеристики информационной структуры:

$n(I) = |I|$ — количество информационных элементов множества I (количество уникальных слов в тексте).

$n(F) = |F|$ — количество информационных элементов набора F (общее количество слов в тексте).

$M(I, R)$ — информационная структура (ориентированный мультиграф). Является совокупностью

I — множества информационных элементов (вершин графа) и R — набора связей между этими элементами (ребер графа):

$$M(I, R) \equiv F,$$

R — набор связей между парами информационных элементов; может содержать повторяющиеся связи в случае многократного прохождения информационного потока F через одни и те же пары элементов:

$$R = (r_1, r_2, \dots, r_{n-1}),$$

где: $r_i = (i_i, i_{i+1})$ — связь между двумя информационными элементами; обозначает последовательность информационных элементов i_i, i_{i+1} в потоке F .

Для каждого информационного элемента из множества I , входящего в структуру $M(I, R)$, существует набор пар связей, где: r_i, r_{i+1} — входная связь, r_{i+1}, r_{j+1} — выходная связь, n — число пар связей.

$$\forall i \in I \exists R(i) = ((r_i, r_{i+1})_1, \dots, (r_j, r_{j+1})_n).$$

Входная означает, что данная связь предшествует выходной в наборе связей, описывающих поток, проходящий через данный информационный элемент. Если проиндексировать связи в наборе, описывающие поток, то индекс входной связи будет на единицу меньше выходной.

$n(R(i))$ — количество пар связей в наборе $R(i)$.

$n(R(i))$ характеризует число связей данного информационного элемента с другими информационными элементами в структуре $M(I, R)$. $n(R(i))$ равно числу повторений слова в тексте.

Информационный поток относительно некоторого информационного элемента i можно описать как

$$F(i, e, [r^-, r^+]),$$

где: e — вхождение информационного элемента i_k в поток F , его порядковый номер в потоке; $[r^-, r^+]$ — окрестность, для которой определяется поток:

$$F(i, e, [r^-, r^+]) = (i - r^-, \dots, i - 2, i - 1, i, i + 1, i + 2, \dots, i + r^+),$$

где: $i \pm n$ — обозначает индексацию некоторого информационного элемента в наборе F относительно информационного элемента i ; $i + 1$ — обозначает информационный элемент, следующий сразу за i в информационном потоке F ; $i - 1$ — обозначает информационный элемент, предшествующий i в информационном потоке F .

Обозначим множество всех информационных потоков относительно информационного элемента i для всех его вхождений в поток F :

$$D(F, i, [r^-, r^+]) = \bigcup_{e=0}^{d(i)} F_e(i, e, [r^-, r^+]).$$

На базе представленной модели опишем метод из задачи тематической классификации текстовой информации — извлечение ключевых выражений из коллекции неструктурированных текстовых данных.

4.2. Извлечение ключевых выражений из коллекции текстовых данных с использованием метода частотно-контекстной классификации. Предлагаемый подход к тематической классификации текстовой информации основывается на гипотезе о том, что словарный запас и частота использования слов зависят от темы текста [21]. В настоящее время данная гипотеза активно и успешно используется в тематико-ориентированных методах поиска [22].

Тематическая классификация предполагает выделение множества ключевых выражений, определяющих тематику текста. При этом каждому из них приписывается вес, определяющий значимость данного выражения в тематике, т. е. какие-то ключевые выражения играют большую роль в определении тематики, какие-то меньшую, но именно такая совокупность ключевых выражений, с такой значимостью каждого из них в тематике и определяет тематическую направленность.

Ключевые выражения определяются по количеству их вхождений в текст, а именно — частота ключевых выражений в тексте определяется пороговой величиной δ . В рамках рассматриваемой модели структурного представления текста это будет означать, что через данные ключевые выражения чаще проходит информационный поток, и информационные элементы, соответствующие этим словам, имеют большее количество связей с другими информационными элементами.

Общая последовательность метода будет выглядеть следующим образом:

1. Моделирование текста и формирование информационной структуры $M(I, R)$.

2. Выделение множества всех информационных элементов, ранжированных по их степени $d(i)$ (числу повторений в тексте). Элемент с $d(M(I, R))_{\max}$ будет первым, и далее по убыванию.

3. Выделение множества ключевых элементов.

Нашей задачей является выделение максимально повторяющихся последовательностей информационных элементов из множества всех информационных элементов.

Введем пороговую величину δ — минимальное количество повторений выделенных последовательностей, при которой последовательность является значимой. Это множество последовательностей будет формировать набор ключевых элементов.

Берем n первых элементов, n определяется на основе пороговой величины δ :

$$S_k = \{k_1 I_1, k_2 I_2, \dots, k_n I_n\},$$

$$I_1 = \{i_1, \dots, i_m\},$$

$$I_l = \{i_l, \dots, i_l\},$$

где I_l — набор информационных элементов информационного потока F , $n(I_l)$ — количество элементов в наборе I_l ,

$$1 \leq n(I_l) \leq n(F).$$

Коэффициенты $k_1, k_2, \dots, k_n$ соответствуют степеням информационных множеств

$$I_l = d(I_l),$$

где: $d(I_l)$ — количество повторений множества информационных элементов I_l в потоке F ; S_k — набор информационных элементов I , входящий в набор $\bigcup I_l$, $2 \leq l \leq n(F)$.

Одним из ключевых моментов является тот факт, что через информационный элемент поток может проходить множество раз. Тем более это справедливо для первичного множества ключевых элементов I , так как именно они выбраны из всего текста на том основании, что у них больше связей с другими информационными элементами.

Окрестность информационного элемента I , а это множество информационных элементов, входящих в $D(F, i, [r^-, r^+])$, в этом случае является контекстом. Анализ окрестности информационного элемента для выделения контекста данного элемента будем называть контекстным анализом.

Формирование множества ключевых выражений — извлечение максимальных повторяющихся последовательностей из информационного потока F выглядит следующим образом:

1. Для формирования окрестности r — зададим информационные потоки, которые будут формироваться в результате использования предлагаемых методов в [21]. Они позволяют упростить методы работы с информационными потоками и дают величины для значения параметров математической модели обработки текста как информационного потока.

При заключении текстовых данных коллекции в предлагаемую нами структуру данных мы получаем множество m информационных потоков F_c — это понятия, на которые мы разделяем текст коллекции по модели данных.

Весь текстовый поток данных коллекции обозначим как F :

$$F = F_c = \bigcup_{i=1}^m F_{c_i}.$$

Далее для извлечения ключевых выражений каждое понятие разделяется на подпонятия — множества F_{sc} , по всей коллекции у нас получается l подпонятий, которые в информационном потоке

F будут являться информационными элементами для F_c :

$$F_{sc} = \bigcup_{i=1}^l F_{sc_i},$$

$$\forall F_{c_i} \exists \bigcup_{j=1}^b F_{sc_j} = \{F_{sc_1}, F_{sc_2}, \dots, F_{sc_b}\}.$$

Выделяем уникальные термы. Термы являются информационными элементами для всего потока F коллекции и для F_c, F_{sc} .

Обозначим это множество как I .

$n(I) = |I|$ — количество уникальных элементов в F ,

$$I = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}.$$

Мы можем записать все информационные потоки как множества информационных элементов в виде:

$$F_{sc_s} = \{i_1, \dots, i_j\},$$

$$F_{c_i} = \{\{i_1, \dots, i_j\}, \dots, \{i_s, \dots, i_l\}\},$$

пусть $I_j = \{i_k, \dots, i_l\}$, тогда $F_{sc_i} = I_j$,

$$F_{sc} = \bigcup_{i=1}^l I_i,$$

$$F_{c_i} = \bigcup_{i=1}^s F_{sc_i} = \bigcup_{i=1}^s \bigcup_{j=1}^l I_j,$$

где: s — количество подпонятий F_{sc} в i -м понятии; l — количество информационных элементов в каждом j -м подпонятии.

$$F_c = \bigcup_{i=1}^n F_{c_i},$$

где: n — количество понятий в потоке F .

$$F_c = \bigcup_{i=1}^n F_{c_i} = \bigcup_{i=1}^n \bigcup_{j=1}^s \bigcup_{k=1}^l I_k.$$

Выделяем в набор $A(i)$ множество всех потоков, проходящих через каждый информационный элемент $i \in F$ в некоторой окрестности, заданной r .

Для этого, согласно нашей модели данных, так как:

$$F_{sc} = \bigcup_{j=1}^s F_{sc_j},$$

то для каждого информационного потока F_{sc_j} запишем множество $A(i)$ всех потоков, проходящих через информационный элемент i :

$$A(i) = D(F_{sc_j}, i, [r^-, r^+]).$$

Окрестность будет переменной величиной в зависимости от $d(F_{sc_j})$. Параметры r^- и r^+ будут различными.

Объединим все наборы $A(i)$, для каждого $i \in F$ в один общий набор $A(F_{sc})$:

$$A(F_{sc}) = \bigcup_{k=1}^n A(i_k), \quad k \in F, \quad 1 \leq k \leq n(F),$$

обозначим его как $A = A(F_{sc})$.

В результате мы получили общий набор A , включающий в себя все потоки, проходящие через информационные элементы множества F .

Теперь из набора информационных элементов A выделяем множества, которые будут являться ключевыми выражениями S_k , $I = 1 \dots t$, где t — количество полученных множеств. Общий набор обозначим как P_k , $A \rightarrow P_k$.

При этом будем учитывать количество повторяющихся информационных элементов и для каждого элемента S_k запишем число их повторений в наборе A :

$$A: P_k = \{k_1 P_{k_1}, k_2 P_{k_2}, \dots, k_n P_{k_n}\},$$

где коэффициенты $k_1, k_2, \dots, k_n$ — это число повторений этих информационных элементов в наборе A .

Все элементы множества F_{sc_j} присутствуют в некоторой окрестности r^- и r^+ элементов множества F_c , и каждый информационный элемент $i \in F$ определяет центр некоторой окрестности в информационной структуре $M(I, R)$. Окрестность задается по информационным потокам, проходящим через i .

Число повторений затем используется для определения весов этих слов в тематике.

Целью является извлечение повторяющихся последовательностей информационных элементов на декартовом произведении множеств $F_{sc} \times F_{sc}$ с учетом частотного порога δ . Полученные потоки информационных элементов p_i будут представлять собой множество:

$$p_i = \{i_s, \dots, i_l\} \quad s, \dots, l \in I.$$

Важен лексикографический порядок следования информационных элементов.

Множество ключевых выражений можно представить в виде:

$$P_k = \{\lambda_1 p_1, \lambda_2 p_2, \dots, \lambda_k p_k\},$$

где p_i — ключевое i -е выражение, то есть извлеченная повторяющаяся последовательность информационных элементов; λ_i — коэффициент мощности ключевого выражения, то есть количество найденных повторений i -ой последовательности информационных элементов.

5. Заключение

В статье мы провели обзор существующих моделей представления текстовых данных для последующего анализа с целью определения тематик текста, которые на сегодняшний день применяются в технологиях text mining и KDT.

Научная новизна: в данной статье описана графовая модель структурного представления текста произвольного содержания и на ее основе предложен новый метод извлечения ключевых выражений из коллекции неструктурированных текстовых данных.

Практическая значимость определяется возможностью дальнейшего применения модели при решении задач определения тематик в коллекции текстовых данных, сравнении текстов на тематическую близость.

В сравнении с аналогами получили, что частотный анализ, используемый в настоящее время для извлечения ключевых выражений, не позволяет в полной мере получить результаты, близкие к показателям при использовании лингвистических методов обработки текстовых данных, но необходимым условием работы с данными является именно использование языково-независимых алгоритмов. Многими исследователями при частотном анализе не учитывается связность и последовательность текста. Хотя именно связность текста считается одним из важнейших условий, необходимых для понимания его смысла и содержания. Предлагаемый метод извлечения ключевых выражений приближает результаты обработки текста к результатам, получаемым с помощью лингвистических методов и открывает широкие возможности для дальнейших исследований в области анализа неструктурированных данных.

Список литературы: 1. D'Avanzo E., Margini B., Lavelli A., Zanoli R. Using Keyphrases as Features for Text Categorization. ITC-irst Technical report, 2003, Ref. No.: T03-11-01, 12 pp. 2. Семенова С.Ю. Поиск параметрической информации в тексте: алгоритмический и лексикографический аспекты // Труды Междунар. семинара «Диалог'96 по компьютерной лингвистике и приложениям». М., 1996. С. 227-230. 3. Church K.W., Gale W., Hanks P., Hindle D. Using statistics in lexical analysis. In Uri Zernik (ed.), Lexical Acquisition: Exploiting On-Line Resources to Build a Lexicon, 1991, pp. 115-164. 4. Singhal A., Mitra M., and Buckley C. Learning routing queries in a query zone. In Proc. of the SIGIR'97, July 1997, pp. 25-32. 5. Белянин В.П. Введение в психолингвистику. Изд. 2-е, испр. и доп., М.: ЧеРо, 2000. 128 с. 6. Фрумкина Р.М. Психолингвистика: Учебник для студ. высш. учебн. заведений. М.: Изд. центр «Академия», 2001. 320 с. 7. Адарюков В.И. Исследование и разработка машинно-ориентированного метода инфологического моделирования информационно-поисковых систем фактографического типа: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.06. ЛЭТИ им. В.И. Ульянова (Ленина). СПб., 1988. 256 с. 8. Лурия А.Р. Основы нейропсихологии. М.: МГУ, 1973. 374 с. 9. Чугреев В.Л., Яков-

- лев С.А. Выделение критериев поиска текста на основе подобия значимых документов // Вузовская наука — региону: Материалы 1-й Общерос. научн.-техн. конф. Вологда: ВоГТУ, 2003. С. 200-202. 10. Чугреев В.Л., Яковлев С.А. Анализ структуры текста и прогнозирование нечисловых величин // Там же. С. 202-204. 11. *Helene Ahonen, Oskari Heinonen, Mika Klemettinen, A. Inkeri Verkamo*. Mining in the phrasal frontier. In Jan Komorowski and Jan Zytkow, editors, *Proceedings of the First European Symposium on Principles on Data Mining and Knowledge Discovery (PKDD'97)*, number 1263 in *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Trondheim, Norway, June 1997, pp. 343-350. 12. *H. Mannila, H. Toivonen, and A. I. Verkamo*. Discovering frequent episodes in sequences. In *Proceedings of the First International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD'95)*. Montreal, Canada, Aug 1995, pp. 210-215. 13. *Agrawal R., Mannila H., Srikant R., Toivonen H., and Verkamo A.I.* Fast discovery in association rules. *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining / In Fayyad U.M., Piatetsky-Shapiro G., Smyth P., and Uthurusamy R., editors*, AAAI Press, Menlo Park, California, USA 1996, pp. 307-328. 14. *R. Feldman, W. Kloesgen, A. Zilberstein*. Document Explorer: Discovering knowledge in document collections. *Proceedings of Tenth International Symposium on Methodologies for Intelligent Systems (ISMIS'97)*, number 1325 in *Lecture Notes in Artificial Intelligence*. Charlotte, North California, USA, October 1997, pp. 137-146. 15. *Frank E., Paynter G.W., Witten I.H., Gutwin C. and Nevill-Manning C.* Domain-specific keyphrase extraction. *Int Joint Conference on Artificial Intelligence*, Stockholm, Sweden, 1999, pp. 668-673. 16. *Ahonen, H., Heinonen, O., Klemettinen, M., and Verkamo*. Finding co-occurring text phrases by combining sequence and frequent set discovery. In *Proceedings of IJCAI'99 Workshop on Text Mining: Foundations, Techniques and Applications*, 1999, pp. 1-9. 17. *H. Mannila, H. Toivonen, and A. I. Verkamo*. Discovering frequent episode in sequences. In *Proc. of the 1st International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, AAAI Press, Aug. 1995, pp. 210-215. 18. *Zaki M. J.* SPADE: An Efficient Algorithm for Mining Frequent Sequences, *Machine Learning Journal*, Vol. 42 Nos. 1/2, Jan/Feb 2001, pp. 31-60. 19. *Chidanand Apte, Fred Damerau, Sholom M. Weiss*, Towards Language Independent Automated Learning of Text Categorisation Models. *Research and Development in Information Retrieval*, 1994, pp. 23-30. 20. *Lovins J.* Development of a stemming algorithm. *Mechanical translation and computational linguistics*, Vol. 11, 1968, pp. 22-31. 21. *Некрестянов И.С.* Тематико-ориентированные методы информационного поиска: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.11. СПб. гос. ун-т. СПб., 2000. 80 с. 22. *Salton G., Allan J., and Singhal A.* Automatic text decomposition and structuring. *Information Processing & Management*, 32(2), 1996, pp. 127-138.

Поступила в редколлегию 23.05.2005

$R_1(r_{1,3m}, r_{1,3m-1}, \dots, r_{11})$; $R_2(r_{2,3m}, r_{2,3m-1}, \dots, r_{21})$; ...;
 $R_m(r_{m,3m}, r_{m,3m-1}, \dots, r_{m1})$.

в.2. Последовательное суммирование частичных произведений $R_1, R_2, \dots, R_m(m-1)$ раз описывается следующей СЛУ:

$$\begin{cases} (i=1) (r_{1,1}^0 r_{2,1}^0 t_1^0 \vee r_{1,1}^1 r_{2,1}^1 t_1^1) (t_0^0 z_1^0 \vee t_0^1 z_1^1) \vee \\ \vee (r_{1,1}^0 r_{2,1}^1 \vee r_{1,1}^1 r_{2,1}^0) (t_0^0 t_1^0 z_1^1 \vee t_0^1 t_1^1 z_1^0) = 1 \dots \dots \dots \\ (i=3m) (r_{1,3m}^0 r_{2,3m}^0 t_{3m}^0 \vee r_{1,3m}^1 r_{2,3m}^1 t_{3m}^1) (t_{3m-1}^0 z_{3m}^0 \vee \\ \vee t_{3m-1}^1 z_{3m}^1) \vee (r_{1,3m}^0 r_{2,3m}^1 \vee r_{1,3m}^1 r_{2,3m}^0) (t_{3m-1}^0 t_{3m}^0 z_{3m}^1 \vee \\ \vee t_{3m-1}^1 t_{3m}^1 z_{3m}^0) = 1 \dots \dots \dots (5) \\ (i=3m) (d_{3m}^0 r_{m,3m}^0 t_{3m}^0 \vee d_{3m}^1 r_{m,3m}^1 t_{3m}^1) (t_{3m-1}^0 F_{3m}^0 \vee \\ \vee t_{3m-1}^1 F_{3m}^1) \vee (d_{3m}^0 r_{m,3m}^1 \vee d_{3m}^1 r_{m,3m}^0) (t_{3m-1}^0 t_{3m}^0 F_{3m}^1 \vee \\ \vee t_{3m-1}^1 t_{3m}^1 F_{3m}^0) = 1, \end{cases}$$

где $R_1(r_{1,3m}, \dots, r_{11}) + R_2(r_{2,3m}, \dots, r_{21}) = z(z_{3m}, \dots, z_1)$;
 $\dots$; $R_1 + R_2 + \dots + R_{m-1} = d(d_{3m}, \dots, d_1)$;

$d(d_{3m}, \dots, d_1) + R_m(r_{m,3m}, \dots, r_{m1}) = F(F_{3m}, \dots, F_1)$

$F(F_{3m}, \dots, F_1)$ — $3m$ -разрядный двоичный код выражения F . Система (5) содержит $3m(m-1)$ уравнений.

Г. СЛУ, описывающая сумму величин $F+c=u$ имеет вид:

$$\begin{cases} (i=1) (F_1^0 c_1^0 t_1^0 \vee F_1^1 c_1^1 t_1^1) (t_0^0 y_1^0 \vee t_0^1 y_1^1) \vee \\ \vee (F_1^0 c_1^1 \vee F_1^1 c_1^0) (t_0^0 t_1^0 y_1^1 \vee t_0^1 t_1^1 y_1^0) = 1 \dots \dots \dots \\ (i=2) (F_2^0 c_2^0 t_2^0 \vee F_2^1 c_2^1 t_2^1) (t_1^0 y_2^0 \vee t_1^1 y_2^1) \vee \\ \vee (F_2^0 c_2^1 \vee F_2^1 c_2^0) (t_1^0 t_2^0 y_2^1 \vee t_1^1 t_2^1 y_2^0) = 1 \dots \dots \dots (6) \\ (i=3m) (F_{3m}^0 c_{3m}^0 t_{3m}^0 \vee F_{3m}^1 c_{3m}^1 t_{3m}^1) (t_{3m-1}^0 y_{3m}^0 \vee \\ \vee t_{3m-1}^1 y_{3m}^1) \vee (F_{3m}^0 c_{3m}^1 \vee F_{3m}^1 c_{3m}^0) (t_{3m-1}^0 t_{3m}^0 y_{3m}^1 \vee \\ \vee t_{3m-1}^1 t_{3m}^1 y_{3m}^0) = 1. \end{cases}$$

Система (6) содержит $3m$ уравнений. Результат решения системы (6) — значение суммы $y(y_{3m}, y_{3m-1}, \dots, y_1)$, заданной $3m$ -разрядным двоичным кодом. СЛУ (4)–(6) содержат $[2m^2 + 3m(m-1) + 3m = 5m^2]$ уравнений. Процесс вычисления выражения y содержит $[3m^2 + 5m^2 = 8m^2]$ уравнений.

Математическое описание вычисления значений многочлена вида

$$y = a_n z^n + a_{n-1} z^{n-1} + \dots + a_2 z^2 + a_1 z + a_0$$

системами логических уравнений

Пусть дано выражение $y = a_n z^n + a_{n-1} z^{n-1} + \dots + a_2 z^2 + a_1 z + a_0$. Необходимо найти его значение по данным значений m -разрядных двоичных кодов величин $a_n(a_{(n)m}, a_{(n)m-1}, \dots, a_{(n)1})$;

$a_{n-1}(a_{(n-1)m}, a_{(n-1)m-1}, \dots, a_{(n-1)1})$; ...;

$a_1(a_{(1)m}, a_{(1)m-1}, \dots, a_{(1)1})$;

$a_0(a_{(0)m}, a_{(0)m-1}, \dots, a_{(0)1})$;

$z(z_m, z_{m-1}, \dots, z_1)$.

Представим данное выражение в виде:

$$y = a_n z^n + a_{n-1} z^{n-1} + \dots + a_2 z^2 + a_1 z + a_0 = z(z(z(\dots z(z(a_n z + a_{n-1}) + a_{n-2}) \dots) + a_2) + a_1) + a_0. \quad (7)$$

Из структуры формулы (7) следует, что достаточно описать СЛУ выражение $q = a_n z + a_{n-1}$ и затем применить это описание последовательно n раз. Результатом этой процедуры будет искомое выражение для y . Задача описания СЛУ выражения $q = a_n z + a_{n-1}$ разбивается на две задачи:

А. Описание СЛУ величины $a_n z = A$; а.1. Описание частичных произведений выражения $A = a_n z$; а.2. Описание последовательного суммирования частичных произведений полученных в а.1.

Б. Описание СЛУ величины $A + a_{n-1} = q$.

а.1. Запишем СЛУ для нахождения частичных произведений выражения $a_n z = A$.

$$\begin{cases} (a_{(n)1}^0 \vee z_1^0) r_{1,1}^0 \vee a_{(n)1}^1 z_1^1 r_{1,1}^1 = 1 \\ (a_{(n)1}^0 \vee z_2^0) r_{2,2}^0 \vee a_{(n)1}^1 z_2^1 r_{2,2}^1 = 1 \dots \dots \dots \\ (a_{(n)1}^0 \vee z_m^0) r_{m,m}^0 \vee a_{(n)1}^1 z_m^1 r_{m,m}^1 = 1 \\ (a_{(n)2}^0 \vee z_1^0) r_{1,2}^0 \vee a_{(n)2}^1 z_1^1 r_{1,2}^1 = 1 \\ (a_{(n)2}^0 \vee z_2^0) r_{2,2}^0 \vee a_{(n)2}^1 z_2^1 r_{2,2}^1 = 1 \dots \dots \dots (8) \\ (a_{(n)2}^0 \vee z_m^0) r_{m,m+1}^0 \vee a_{(n)2}^1 z_m^1 r_{m,m+1}^1 = 1 \dots \dots \dots \\ (a_{(n)m}^0 \vee z_1^0) r_{1,m}^0 \vee a_{(n)m}^1 z_1^1 r_{1,m}^1 = 1 \\ (a_{(n)m}^0 \vee z_2^0) r_{2,m+1}^0 \vee a_{(n)m}^1 z_2^1 r_{2,m+1}^1 = 1 \dots \dots \dots \\ (a_{(n)m}^0 \vee z_m^0) r_{m,2m-1}^0 \vee a_{(n)m}^1 z_m^1 r_{m,2m-1}^1 = 1. \end{cases}$$

Система уравнений (8) содержит m^2 уравнений.

Результатом решения системы (8) являются m -частичных $2m$ -разрядных произведения

$R_j(r_{j,2m}, r_{j,2m-1}, \dots, r_{j,1})$; $j=1, 2, 3, \dots, m$,

где на местах с индексом (j, k) стоят цифры $r_{jk}=0$, не связанные системой (8).

$R_1(r_{1,2m}, r_{1,2m-1}, \dots, r_{11})$; $R_2(r_{2,2m}, r_{2,2m-1}, \dots, r_{21})$; ...;

$R_m(r_{m,2m}, r_{m,2m-1}, \dots, r_{m1})$.

а.2. Последовательное суммирование частичных произведений $R_1, R_2, \dots, R_m(m-1)$ раз описывается следующей СЛУ:

$$\begin{cases} (i=1) (r_{1,1}^0 r_{2,1}^0 t_1^0 \vee r_{1,1}^1 r_{2,1}^1 t_1^1) (t_0^0 z_1^0 \vee t_0^1 z_1^1) \vee \\ \vee (r_{1,1}^0 r_{2,1}^1 \vee r_{1,1}^1 r_{2,1}^0) (t_0^0 t_1^0 z_1^1 \vee t_0^1 t_1^1 z_1^0) = 1 \\ (i=2) (r_{1,2}^0 r_{2,2}^0 t_2^0 \vee r_{1,2}^1 r_{2,2}^1 t_2^1) (t_1^0 z_2^0 \vee t_1^1 z_2^1) \vee \\ \vee (r_{1,2}^0 r_{2,2}^1 \vee r_{1,2}^1 r_{2,2}^0) (t_1^0 t_2^0 z_2^1 \vee t_1^1 t_2^1 z_2^0) = 1 \dots \dots \dots \\ (i=2m) (r_{1,2m}^0 r_{2,2m}^0 t_{2m}^0 \vee r_{1,2m}^1 r_{2,2m}^1 t_{2m}^1) (t_{2m-1}^0 z_{2m}^0 \vee \\ \vee t_{2m-1}^1 z_{2m}^1) \vee (r_{1,2m}^0 r_{2,2m}^1 \vee r_{1,2m}^1 r_{2,2m}^0) (t_{2m-1}^0 t_{2m}^0 z_{2m}^1 \vee \\ \vee t_{2m-1}^1 t_{2m}^1 z_{2m}^0) = 1 \\ (i=1) (z_1^0 r_{3,1}^0 t_1^0 \vee z_1^1 r_{3,1}^1 t_1^1) (t_0^0 v_1^0 \vee t_0^1 v_1^1) \vee \\ \vee (z_1^0 r_{3,1}^1 \vee z_1^1 r_{3,1}^0) (t_0^0 t_1^0 v_1^1 \vee t_0^1 t_1^1 v_1^0) = 1 \\ (i=2) (z_2^0 r_{3,2}^0 t_2^0 \vee z_2^1 r_{3,2}^1 t_2^1) (t_1^0 v_2^0 \vee t_1^1 v_2^1) \vee \\ \vee (z_2^0 r_{3,2}^1 \vee z_2^1 r_{3,2}^0) (t_1^0 t_2^0 v_2^1 \vee t_1^1 t_2^1 v_2^0) = 1 \dots \dots \dots (9) \\ (i=2m) (z_{2m}^0 r_{3,2m}^0 t_{2m}^0 \vee z_{2m}^1 r_{3,2m}^1 t_{2m}^1) (t_{2m-1}^0 v_{2m}^0 \vee \\ \vee t_{2m-1}^1 v_{2m}^1) \vee (z_{2m}^0 r_{3,2m}^1 \vee z_{2m}^1 r_{3,2m}^0) (t_{2m-1}^0 t_{2m}^0 v_{2m}^1 \vee \\ \vee t_{2m-1}^1 t_{2m}^1 v_{2m}^0) = 1 \dots \dots \dots \\ (i=1) (d_1^0 r_{m,1}^0 t_1^0 \vee d_1^1 r_{m,1}^1 t_1^1) (t_0^0 A_1^0 \vee t_0^1 A_1^1) \vee \\ \vee (d_1^0 r_{m,1}^1 \vee d_1^1 r_{m,1}^0) (t_0^0 t_1^0 A_1^1 \vee t_0^1 t_1^1 A_1^0) = 1 \\ (i=2) (d_2^0 r_{m,2}^0 t_2^0 \vee d_2^1 r_{m,2}^1 t_2^1) (t_1^0 A_2^0 \vee t_1^1 A_2^1) \vee \\ \vee (d_2^0 r_{m,2}^1 \vee d_2^1 r_{m,2}^0) (t_1^0 t_2^0 A_2^1 \vee t_1^1 t_2^1 A_2^0) = 1 \dots \dots \dots \\ (i=2m) (d_{2m}^0 r_{m,2m}^0 t_{2m}^0 \vee d_{2m}^1 r_{m,2m}^1 t_{2m}^1) (t_{2m-1}^0 A_{2m}^0 \vee \\ \vee t_{2m-1}^1 A_{2m}^1) \vee (d_{2m}^0 r_{m,2m}^1 \vee d_{2m}^1 r_{m,2m}^0) (t_{2m-1}^0 t_{2m}^0 A_{2m}^1 \vee \\ \vee t_{2m-1}^1 t_{2m}^1 A_{2m}^0) = 1, \end{cases}$$

где $R_1(r_{1,2m}, \dots, r_{11}) + R_2(r_{2,2m}, \dots, r_{21}) = z(z_{2m}, \dots, z_1)$;

$z(z_{2m}, \dots, z_1) + R_3(r_{3,2m}, \dots, r_{31}) = v(v_{2m}, \dots, v_1)$; ...;

$R_1 + R_2 + \dots + R_{m-1} = d(d_{2m}, \dots, d_1)$; $d(d_{2m}, \dots, d_1) +$

$+ R_m(r_{m,2m}, \dots, r_{m1}) = A(A_{2m}, \dots, A_1)$

$A(A_{2m}, \dots, A_1)$ — $2m$ -разрядный двоичный код выражения A . Система (9) содержит $2m(m-1)$ уравнений.

Б. Система логических уравнений, описывающая сумму величин $A + a_{n-1} = q$ имеет вид:

$$\begin{cases} (i=1) (A_1^0 a_{(n-1)1}^0 t_1^0 \vee A_1^1 a_{(n-1)1}^1 t_1^1)(t_0^0 q_1^0 \vee t_0^1 q_1^1) \vee \\ \vee (A_1^0 a_{(n-1)1}^1 \vee A_1^1 a_{(n-1)1}^0)(t_0^0 t_1^0 q_1^1 \vee t_0^1 t_1^1 q_1^0) = 1 \\ (i=2) (A_2^0 a_{(n-1)2}^0 t_2^0 \vee A_2^1 a_{(n-1)2}^1 t_2^1)(t_1^0 q_2^0 \vee t_1^1 q_2^1) \vee \\ \vee (A_2^0 a_{(n-1)2}^1 \vee A_2^1 a_{(n-1)2}^0)(t_1^0 t_2^0 q_2^1 \vee t_1^1 t_2^1 q_2^0) = 1 \dots \\ (i=2m) \\ (A_{2m}^0 a_{(n-1)2m}^0 t_{2m}^0 \vee A_{2m}^1 a_{(n-1)2m}^1 t_{2m}^1)(t_{2m-1}^0 q_{2m}^0 \vee \\ \vee t_{2m-1}^1 q_{2m}^1) \vee (A_{2m}^0 a_{(n-1)2m}^1 \vee A_{2m}^1 a_{(n-1)2m}^0) \vee \\ \vee t_{2m-1}^0 t_{2m}^1 q_{2m}^0 = 1. \end{cases} \quad (10)$$

Система (10) содержит $2m$ уравнений. Результатом ее решения будет значение суммы

$q = (q_{2m}, q_{2m-1}, \dots, q_1)$, заданной $2m$ -разрядным двоичным кодом.

СЛУ (8)–(10) содержат $[m^2 + 2m(m-1) + 2m = 3m^2]$ уравнений, описывающих процесс вычисления выражения $q = A + a_{n-1}$.

Обозначим блок уравнений, содержащий СЛУ (8)–(10), условно

$$q_1 = a_n z + a_{n-1},$$

q_1 означает, что значение q вычислено с помощью СЛУ (8)–(10) на первом шаге.

Значение $q_2 = q_1 z + a_{n-2}$ вычисляется с помощью СЛУ, аналогичных системам (8)–(10), но со своими данными. Пусть это будут СЛУ (8₁)–(10₁). Здесь берется значение q_1 , вычисленное на первом шаге и значение a_{n-2} .

Обозначим блок уравнений, содержащий СЛУ (8₁)–(10₁), условно

$$q_2 = q_1 z + a_{n-2},$$

q_2 означает, что значение q вычислено с помощью СЛУ (8₁)–(10₁) на втором шаге. И т. д.

Обозначим блок уравнений, содержащий СЛУ (8_{n-1})–(10_{n-1}), условно

$$q_n = q_{n-1} z + a_0,$$

q_n означает, что значение q вычислено с помощью СЛУ (8_{n-1})–(10_{n-1}) на последнем n -ом шаге, в результате которого получено выражение:

$$y = q_n = q_{n-1} z + a_0.$$

Тогда СЛУ, описывающие весь процесс вычисления выражения y , можно условно представить в виде СЛУ (11):

$$\begin{cases} q_1 = a_n z + a_{n-1} \\ q_2 = q_1 z + a_{n-2} \\ \dots \\ y = q_n = q_{n-1} z + a_0 \end{cases} \quad (11)$$

Общее количество СЛУ, необходимых для описания выражения y составит $3m^2 + 5m^2 + 7m^2 + \dots + (2n+1)m^2 = m^2 [3 + 5 + 7 + \dots + (2n+1)] = m^2 \{ [3 + (2n+1)] \times 1/2 \} n = m^2 n(n+2)$, где $[3 + 5 + 7 + \dots + (2n+1)]$ содержит n членов; $\{ [3 + (2n+1)] \times 1/2 \} n$ — сумма членов арифметической прогрессии с $a_1 = 3$, $a_n = 2n+1$ с числом слагаемых равных n .

Общее число СЛУ, необходимых для описания выражения q_1 и q_2 , представлено выше [3, 4]. Остальные определены методом математической индукции.

Разрядность величины y составит при этом $(n+1)m$, где n — степень многочлена y ; y будет иметь вид: $y(y_{(n+1)m} y_{(n+1)(m-1)} \dots y_2 y_1)$.

Выводы

Описанные с помощью СЛУ АКП алгебро-логические методы являются основой для описания алгебраических выражений. Математическое описание алгебраических выражений средствами АКП базируется на методах описания арифметических операций m -разрядных двоичных кодов (сложение, умножение, вычитание, деление). Этот принцип позволяет использовать одинаковые СЛУ АКП, которые описывают арифметические операции, для описания любых алгебраических выражений. Это дает основание для использования математического аппарата АКП как эффективного при создании рациональных арифметических устройств.

Список литературы: 1. Шабанов-Кушнарченко Ю.П. Теория интеллекта. Математические средства. Харьков: Вища школа, 1984. 137 с. 2. Шабанов-Кушнарченко Ю.П. Теория интеллекта. Технические средства. Харьков: Вища школа, 1984. С. 3–29. 3. Ревенчук И.А. Математическое описание действия вычитание с помощью уравнений алгебры конечных предикатов (АКП). Сб. научн. тр. «Вестник Харьковского государственного политехнического университета». 1999. № 65. С. 83–87. 4. Бавыкин А.Н., Стороженко А.В., Ревенчук И.А. Применение метода логических определителей для решения алгебро-логических уравнений // «АСУ и приборы автоматизации». Всеук. межвед. науч.-техн. сб. 1997. №105. С. 82–86.

Поступила в редколлегию 14.06.2005

УДК 004.93:007.52

А.В. Волик, С.Н. Герасин

МОДЕЛИ ДИНАМИКИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С КОЛЛЕКТИВНЫМИ ЭФФЕКТАМИ**Введение**

Особенность развития нейронаук в последнее десятилетие состоит в получении детализованных данных на уровне отдельных нейронов. Эти данные включают динамику мембранного потенциала в различных состояниях, свойства и вклад структурных компонент нейрона, ионные механизмы генерации импульсов и так далее. С другой стороны, механизмы интеграции активности отдельных нейронов являются предметом разнообразных гипотез, проверка которых ограничена возможностями современных нейробиологических методов. Важную роль в преодолении этих ограничений выполняют методы математического моделирования. Синтез математических методов и подходов, а именно: математического моделирования, теории информации, формальных нейронных сетей и нейробиологии породил новое научное направление — вычислительные нейронауки, общей идеей которого является тезис «изучение через моделирование» [1, 11].

При этом в имитационных экспериментах на моделях, аккумулирующих тот или иной набор известных параметров и свойств реальных нейронов, воспроизводятся некоторые феномены их активности, анализируются возможные механизмы и формулируются предположения, доступные экспериментальной проверке. Одним из направлений исследований в данной области является изучение организации нейронных структур как многомерных рекуррентных сетей и определение влияния свойств отдельных клеток на динамику активности и свойства всей сети. Существует несколько подходов к построению моделей нейронных сетей с различной степенью детализации свойств элементов и связей, необходимых и достаточных для исследования механизмов конкретных нейробиологических процессов, которые можно объединить в три группы. Первая группа (модели типа Ходжкина-Хаксли) [2] используется при детальном моделировании и исследовании внутриклеточных процессов. Вторая группа включает модели импульсных нейронов и применяется при исследовании межнейронных взаимодействий [3]. Третью группу образуют популяционные модели, которые служат для изучения статистически усредненных свойств множества нейронов [4]. Однако задача моделирования нейронных сетей средней и большой размерности с множественными обратными связями, позволяющи-

ми оценивать вклад кратковременной динамики активности отдельных нейронов в поведение целостной сети, до настоящего времени не имеет эффективного решения.

Целью данной работы является разработка и исследование математической модели единичной клетки, имитирующей кратковременную динамику мембранного потенциала реального нейрона, и создание на основе таких элементов нейронных сетей средней и большой размерности с множественными обратными связями.

Таким образом, актуальной задачей является разработка эффективной модели единичного нейрона, способной адекватно формализовать свойства отдельных реальных клеток и структуру связей между ними для исследования вклада этих свойств в механизмы интеграции активности в локальных нейронных сетях, имеющих среднюю (более сотни клеток) и большую (более 1000 клеток) размерности.

1. Динамические макрохарактеристики нейронной сети

В дальнейшем к описанию активности нейронной сети будем исходить из макроподхода. Это означает, что основными изучаемыми переменными являются величины, которые описывают активность нейронной сети в целом или же достаточно большой ее подпопуляции. Динамическое поведение таких интегральных макрохарактеристик имеет большое значение для электрофизиологии. В последнее время показано, что в качестве структурно-функциональных единиц могут рассматриваться не отдельные нейроны, а их объединения — нейронные ансамбли [5]. Рассмотрение макрохарактеристик позволяет изучить динамическое поведение таких ансамблей. В качестве экспериментальных аналогов макрохарактеристик могут рассматриваться усредненный уровень активности при микроэлектродном отведении или электроэнцефалограмма (ЭЭГ), представляющая собой суммарный потенциал всех нейронов в окрестности места регистрации. При нашем рассмотрении не будут учитываться пространственные свойства нервной ткани, мы будем интересоваться точечными моделями нейронных популяций, описываемых обыкновенными дифференциальными уравнениями.

Рассмотрим вопрос об изменении динамики макрохарактеристик сети в условиях изменения величин связей между элементами (макрохарактеристик). На модельных нейронных сетях, в предполо-

жении их однородности, мы изучим динамику макрохарактеристик, соответствующую определенным величинам связи, а также изменение этой динамики в условиях варьирования связей.

При решении этой задачи мы будем исходить из теории А.М. Молчанова о роли критических режимов для функционирования биологических систем [5]. Такие критические режимы возникают, как правило, на границе, разделяющей области с различным динамическим поведением. Поэтому определение критических линий на плоскости параметров (построение структурного портрета в терминологии А.М. Молчанова) позволяет ответить на многие интересные вопросы, возникающие в нейрофизиологии.

Известно, что в нейронной сети из возбуждающих элементов со связями типа «все на всех» возможно существование лишь нескольких устойчивых стационарных состояний. В.И. Крюков рассмотрел сеть из возбуждающих элементов, но с локальными связями и по аналогии с моделью Изинга предсказал существование нетривиального критического режима в такой сети [6]. В дальнейшем этот режим был обнаружен на имитационной модели. Критический режим в сети с локальными связями является результатом сложного коллективного поведения элементов и характеризуется «мета-стабильным» состоянием среднего уровня активности.

Для математического описания возникновения критического режима мы рассмотрели две макрохарактеристики сети — средний уровень и дисперсию уровня активности. Средний уровень активности недостаточен для моделирования критического режима. Для этих характеристик получена система уравнений, результаты исследования которой хорошо согласуются с данными имитационных экспериментов.

Изучение критического режима представляет собой большой интерес в связи с моделированием кратковременной памяти [7]. В этом режиме сеть способна долго хранить информацию о начальном уровне активности и не выходит на стационарный уровень фоновой активности. Обычно для моделирования кратковременной памяти используются длительные реверберации активности в сети, содержащей и тормозные элементы. Поэтому критический режим в сети с возбуждающими локальными связями обеспечивает наличие нового, нетривиального эффекта в поведении сети. Представляет большой интерес экспериментальное обнаружение и изучение этого режима.

Полученные результаты по описанию критического режима применяются для моделирования процесса выработки условного рефлекса. Получено хорошее соответствие с экспериментальными данными ЭЭГ экспериментов.

2. Динамика активности нейронной сети из возбуждающих элементов при различной величине параметров взаимосвязи элементов

Рассмотрим однородную нейронную сеть, состоящую из возбуждающих элементов — нейронов. Элемент называется возбуждающим, если его воздействие на соседний с ним элемент приводит к деполяризации, и тормозным, если его воздействие приводит к гиперполяризации мембраны соседнего элемента.

Сформулируем основные предположения об элементах сети. Нейроном мы будем называть вероятностный элемент с постоянным порогом, который может либо находиться в состоянии покоя, либо срабатывает («загорается»). Момент срабатывания, как обычно, мы считаем точкой на оси времени. После срабатывания нейрон находится в состоянии абсолютной рефрактерности длительностью τ . Нейрон суммирует все приходящие на него воздействия, которые со временем экспоненциально затухают. Все элементы соединены с соседними элементами таким образом, что образуют однородную нейронную сеть, причем каждый из элементов получает достаточно большое число связей от соседей.

Перейдем теперь к описанию динамики нейронной сети. Пусть $n_E(t, h)$ — число нейронов возбуждающей популяции, сработавших («загоревшихся») за время от t до $t+h$. Переходя к пределу при $h \rightarrow 0$ и нормируя на общее число нейронов возбуждающей популяции N_E , получаем долю нейронов возбуждающей популяции, которые сработали в момент t . Эту величину мы обозначим $e(t)$.

Итак:

$$e(t) = \frac{1}{N_E} \lim_{h \rightarrow 0} \frac{n_E(t, h)}{h}.$$

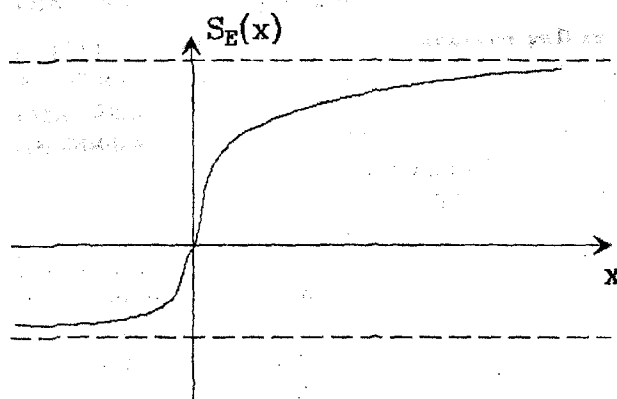
Для фиксированного момента времени t величина $e(t)$ является случайной величиной. Математическое ожидание этой величины обозначим $E(t)$:

$$E(t) = M\{e(t)\}.$$

Эта величина, определяющая динамику среднего уровня активности, является макрохарактеристикой. Ее изменение во времени характеризует изменение доли горящих нейронов. Величина $E(t)$ удовлетворяет следующему дифференциальному уравнению:

$$\frac{dE}{dt} = -(1 - r_E E) S_E(aE + P), \quad (1)$$

где r_E — величина абсолютной рефрактерности; a — величина, характеризующая силу связи возбуждающих элементов $a \geq 0$; P — величина внешнего воздействия на сеть; $S_E(x)$ — сигмоидная функция, имеющая вид, изображенный на рис. 1.


 Рис. 1. График функции $S_E(x)$

В работах [8-10] приведен вывод системы двух дифференциальных уравнений, описывающих динамику средних уровней активности возбуждающей и тормозной популяций нейронов в модели Вилсона и Кована, и получены аналогичные уравнения. Чтобы перейти к уравнению (1) для активности одной популяции, достаточно положить равными нулю параметры взаимодействия между популяциями.

Проведем исследование уравнения (1). Стационарные состояния этого уравнения определяются из соотношения

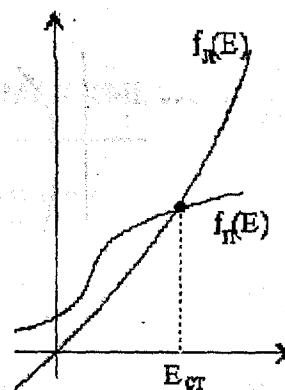
$$-E + (1 - r_E E) S_E(aE + P) = 0$$

или

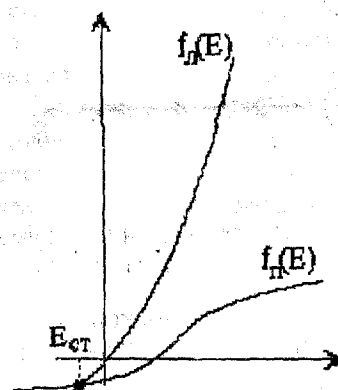
$$\frac{E}{1 - r_E E} = S_E(aE + P). \quad (2)$$

На рис. 2 приведены графики функций, стоящих в левой и правой части, точки пересечения этих графиков являются стационарными состояниями системы.

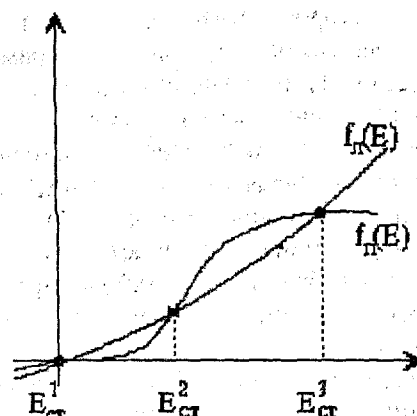
На рисунке видно, что при больших по абсолютной величине значениях параметра P , уравнение имеет единственное, причем устойчивое, стационарное решение. При изменении $t(t \rightarrow \infty)$ средний уровень активности сети стремится к этому стационарному значению. Причем, если $P > 0$ (то есть внешнее воздействие увеличивает вероятность загорания элементов), то стационарное состояние характеризуется высоким уровнем (ВУ) активности. Если же $P < 0$, то стационарное состояние характеризуется низким уровнем (НУ) активности сети. При отсутствии внешнего воздействия ($P=0$) система всегда имеет устойчивое стационарное состояние $E=0$, соответствующее фоновой активности сети. При некоторых соотношениях между параметрами P и a , в системе (1) могут одновременно существовать три стационарных состояния. При этом два (крайние) состояния устойчивы, а одно неустойчиво (рис. 2). Такой режим функционирования сети иногда называют триггерным.



$P \gg 0$



$P < 0$



$P \sim 0$

Рис. 2. Графики функций из уравнения (2) — стационарные состояния среднего уровня активности сети при различной величине внешнего воздействия

На рис. 3 приведена кривая на плоскости параметров (P, a) , которая служит границей области существования трех стационарных состояний.

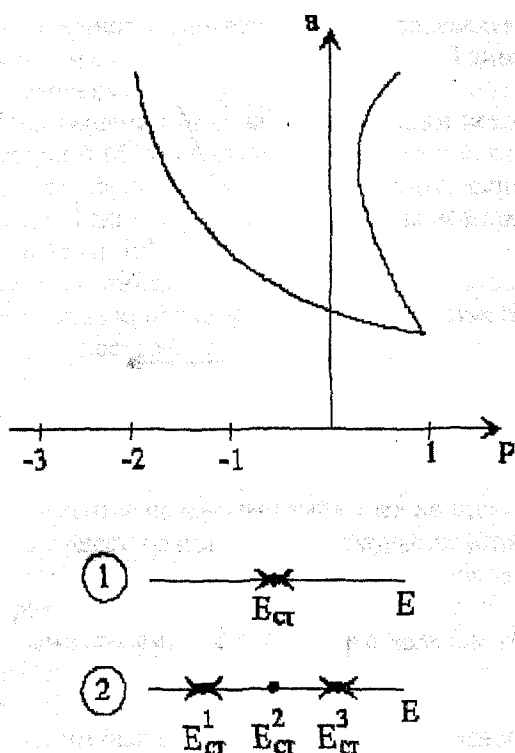


Рис. 3. Области существования одного и трех стационарных состояний на плоскости (P, a)

Эта кривая является плоской проекцией кривой в пространстве (E, P, a) , удовлетворяющей уравнениям:

$$\begin{cases} -E + (1 - r_E E) S_E(aE + P) = 0; \\ -1 + (1 - r_E E) a S'_E(aE + P) - r_E S_E(aE + P) = 0. \end{cases}$$

Первое уравнение — условие существования стационаров, второе условие их кратности.

Итак, в зависимости от значений параметров a и P уравнение (1), описывающее динамику среднего уровня активности сети из возбуждающих элементов, может иметь либо одно стационарное состояние, которое является устойчивым, либо три стационарных состояния, из которых два устойчивы и одно неустойчиво. Активность сети стремится (при $t \rightarrow \infty$) либо к одному, либо к другому стационарному состоянию в зависимости от начального уровня «горения».

Заметим, что при другом выборе функции $S_E(x)$ уравнение (1) может иметь пять, семь, девять и так далее стационарных состояний. Для этого нужно, чтобы функция $S_E(x)$ имела две, три, четыре и так далее точек перегиба.

Выводы

Для различных однородных моделей нейронных сетей проведено исследование динамики макрохарактеристик при различных значениях параметров взаимодействия элементов и внешних воздействий. Построены границы в пространстве параметров (микрохарактеристик), разделяющие области различного динамического поведения макрохарактеристик. Тем самым получены всевозможные режимы функционирования нейронной сети и описаны их взаимные переходы. Дано математическое описание возникновения критического режима в сети из возбуждающих элементов с локальными связями. Для этого получено уравнение, описывающее динамику среднего уровня активности сети. Показано, что критический режим существует в целой области изменения параметров и характеризуется «метастабильностью» среднего уровня активности.

В дальнейшем предполагается изучить поведение таких характеристик сети как математическое ожидание и дисперсия числа активных нейронов и проанализировать на имитационной модели качественные особенности поведения нейронной сети.

Список литературы: 1. Эндрю А. Искусственный интеллект. М., 1985. 2. Albertini F., Sontag E. For Neural Networks Function Determines Form // Neural Networks. 1993. Vol. 6. P. 975-990. 3. Hopfield J.J. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities // Proc. Nat. Acad. Sci. 1988. Vol. 79. P. 2554-2558. 4. Ф. Уоссермен. Нейрокомпьютерная техника. М.: Мир, 1992. С. 340. 5. Молчанов А. М. Критические точки биологических систем (математические модели) // В сб. Математическое моделирование в биологии. М.: Наука, 1975. С. 142-153. 6. Дунин-Барковский В.Л. Информационные процессы в нейронных структурах. М.: Наука, 1978. 166 с. 7. Крюков В.И. Марковские процессы взаимодействия и нейронная активность // В сб. Взаимодействующие марковские процессы в биологии. Пушкино, 1977. С. 127-145. 8. Коваленко Е.И., Крюков В.И., Борисюк Р.М., Борисюк Г.Н., Кириллов А.Б. Нейронная память: имитационная модель поля CA₃ гиппокампа // В сб. Взаимодействующие марковские процессы и их применение к математическому моделированию биологических систем. Пушкино, 1982. С. 77-107. 9. Кащенко С.А., Майоров В.В. Об одном дифференциально-разностном уравнении, моделирующим импульсную активность нейрона // Математическое моделирование. 1993. Т. 5. № 12. С. 13-25. 10. Майоров В.В., Мышкин И.Ю. Математическое моделирование нейронов сети на основе уравнений с запаздыванием // Математическое моделирование. 1990. Т. 2. № 11. С. 64-76. 11. Кащенко С.А., Майоров В.В. Волновые структуры в клеточной сети из формальных нейронов Хатчинсона // Радиотехника и электроника. 1995. Вып. 6. С. 925-936. 12. Интеллектуальные процессы и их моделирование. М.: Мир, 1987.

Поступила в редколлегию 25.04.2005

УДК 519.7

С.П. Тимофеев

ПРОБЛЕМА ЗАЦИКЛИВАНИЙ В СХЕМАХ XML W3C

1. Введение

Схемы XML, определенные консорциумом W3C в спецификации [1], являются важным компонентом новейшей информационной технологии XML, которая находится в стадии своего становления и поэтому не все ее аспекты детально проработаны. Нами обнаружено, что спецификация схем XML W3C (далее — схем) позволяет задавать схемы, *некорректные* в том смысле, что им не соответствует ни один документ или элемент XML. Могут быть также заданы *частично корректные* схемы, которые хотя и определяют некоторое непустое множество документов (или элементов) XML, но содержат такие определения, которым не соответствует ни один объект. Этими определениями могут быть декларации элементов, дефиниции типов и дефиниции групп. Причина состоит в *зацикленности определений*. Подобное явление в традиционной логике называется *порочным кругом*.

Данная проблема не затронута в [1] и не охвачена в доступной нам литературе. Отметим, что самый мощный инструмент технологии XML, XMLSpy [2] обнаруживает лишь простейшие зацикливания и даже, в некоторых случаях, генерирует несостоятельные документы по частично корректным схемам.

Целью работы является частичное решение проблемы зацикливаний в схемах. Для достижения указанной цели решены следующие задачи: формально определен некоторый простой класс S_1 схем и доказана теорема о необходимом и достаточном условии их корректности, а также корректности отдельных, входящих в них деклараций элементов XML; разработан абстрактный алгоритм анализа корректности схем указанного класса, который запрограммирован в Delphi.

Алгоритм дополнительно вычисляет минимальную высоту, допустимую для дерева состоятельного элемента XML для каждой корректной декларации в схеме, что может служить средством ее семантического анализа. Алгоритм запрограммирован в Delphi.

Как известно, схемы XML являются представлениями грамматик деревьев [3, 4, 5]. Несложный анализ показал, что зацикленным описаниям в схеме соответствуют *непроизводящие символы* в грамматике. В [4] приведен алгоритм выявления непроизводящих символов для грамматик с простыми правилами. Предложенный нами алгоритм является, по сути, усложненным представлением этого алгоритма в терминах структуры схем XML. Ус-

ложнение связано с тем, что абстракцией схемы XML является грамматика деревьев с правилами общего вида, а также с тем, что наш алгоритм дополнительно вычисляет минимальную высоту дерева состоятельного элемента XML (далее — элемента) для каждой корректной декларации, что может служить средством семантического анализа схемы.

Полезно сформулировать общую идею обоих алгоритмов: постепенное расширение множества корректных определений такими, которые имеют хотя бы один вариант своего задания в терминах других определений, состоящий только из корректных определений. В начале алгоритма это множество состоит из всех терминальных определений, присутствующих в схеме. На абстрактном уровне указанная идея сформулирована в [6], где приведена и исследована математическая модель системы взаимосвязанных понятий весьма общего вида. Именно эта работа навела нас на мысль исследовать схемы XML на предмет зацикливаний. Заметим в заключение, что структура определения одного объекта в терминах других объектов в схеме XML называется *моделью содержания* определяемого объекта.

Для понимания материала, изложенного в данной статье, необходимо знакомство со спецификацией [1].

2. Определение класса схем S_1 и демонстрационный пример

Класс S_1 задан таким образом, чтобы максимально облегчить исследование корректности внутри множества деклараций элементов XML (далее — деклараций). Описание класса S_1 в терминах абстрактной структуры, как это делается в спецификации [1], оказывается излишне громоздким (особенно это касается компонента *Particle*), поэтому мы предпочли описание в терминах XML-представления схем. На рис. 1 описано это представление в виде редуцированного метаопределения XML-представления схемы из [1].

Схема из S_1 может содержать только 4 типа компонентов, представляемых элементами XML (так как схема сама является документом XML):

- декларация схемы в целом — элемент *Schema*;
- декларация элемента — элемент *Element*;
- дефиниция сложного типа — элемент *ComplexType*;
- модельная группа — элемент *Sequence* или *Choice* (не допускается *All*).

```

<schema
  attributeFormDefault =
    (qualified | unqualified) : unqualified
  elementFormDefault =
    (qualified | unqualified) : unqualified
  targetNamespace = anyURI
  {any attributes with non-schema namespace}>
  Content: element*
</schema>

<element
  maxOccurs =
    (positiveInteger | unbounded) : 1
  minOccurs = nonNegativeInteger : 1
  name = NCName
  ref = QName
  type = QName
  {any attributes with non-schema namespace}>
  Content: complexType?
</element>

<complexType
  Content: (choice | sequence)
</complexType>

<choice
  Content: element+
</choice>

<sequence
  Content: element+
</sequence>

```

Рис. 1. XML-представление класса схем S_1

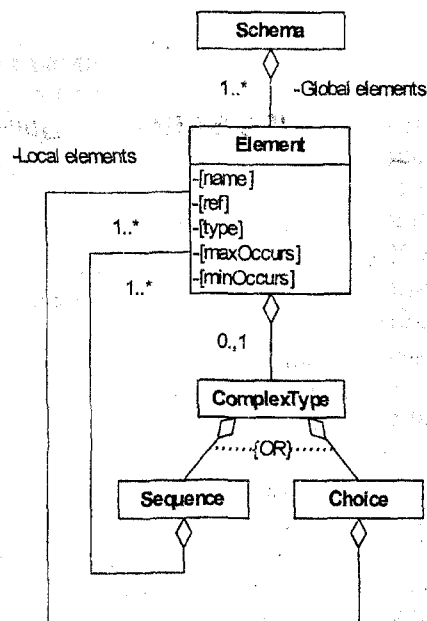
Тип дерева документа схемы из S_1 наглядно (и вполне формально) описывается диаграммой классов UML (рис. 2). Корневой узел *Schema* содержит непустую последовательность дочерних узлов *глобальных* деклараций. Декларация может быть *терминальной* или *нетерминальной*; в последнем случае она имеет единственный дочерний узел *ComplexType*. Последний, в свою очередь, имеет ровно один дочерний узел модельной группы. Наконец, этот узел имеет непустую последовательность дочерних узлов *локальных* деклараций.

Атрибуты в схеме из S_1 могут быть только у декларации схемы в целом (на рисунке не показаны) и у деклараций элементов. Допустимые типы атрибутов в декларациях элементов:

- *name*;
- *ref*;
- *type* (только с именем встроенного типа);
- *minOccurs*;
- *maxOccurs* (не может быть 0);
- произвольные атрибуты любого пользовательского пространства имен.

Таким образом, схемы S_1 описывают документы, состоящие только из элементов.

Применительно к S_1 удобно использовать следующие термины. Будем говорить, что нетерминальная декларация *владеет группой Sequence* или *Choice* (или имеет *модель содержания Sequence* или *Choice*, причем под группой будем понимать последовательность деклараций элементов, являющихся ближайшими потомками декларации *элемента*

Рис. 2. Определение класса схем S_1

владельца. Будем также говорить в контексте группы о *родительской* и *дочерних* декларациях элементов; для обоснования этих терминов следует рассмотреть *редукт* дерева документа схемы, в котором оставлены только декларации элементов.

Обсуждение.

Приведенное определение S_1 является определением множества выделения:

$$S_1 = \{S \in S \mid \text{Schema}_1(S)\}, \quad (1)$$

где $\text{Schema}_1(S)$ — ограничительный предикат S_1 в универсуме схем S , представленный диаграммой UML, которую можно считать заданием этого предиката на высокоуровневом формальном графовом языке UML. Представление на традиционном логико-математическом языке не приводится, поскольку требует введения дополнительных обозначений и непосредственно нам не требуется.

На рис. 3 приведен текст демонстрационной схемы SchemaWithLoops, принадлежащей S_1 , а на рис. 6 ее диаграмма, сформированная XMLSpy. Диаграмма любой $S \in S_1$ является двудольным графом, хотя в общем случае это неверно. В блоки, изображающие декларации, мы вставили две характеристики. Первая равна минимальной высоте дерева состоятельного элемента, если декларация корректна, или символу ∞ , если она некорректна. Вторая характеристика равна условному номеру варианта модели содержания декларации, что объяснено ниже в комментариях к формуле (14).

XMLSpy версии 2004 г. по этой схеме генерирует несостоятельный документ, приведенный на рис. 4 (несостоятельны элементы B и E72). XMLSpy версии 2005/2 генерирует также несостоятельный документ длиной в 6429 строки. Пример состоятельного документа минимально возможной высоты 4 приведен на рис. 5.

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<xs:schema
  xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
  xmlns:CHK="http://SergTim/CheckSchema"
  elementFormDefault="qualified"
  attributeFormDefault="unqualified">
  <xs:annotation>
    <xs:documentation>Примеры для анализа
    зацикливания</xs:documentation>
  </xs:annotation>
  <xs:element name="A">
    <xs:complexType>
      <xs:choice>
        <xs:element ref="B"/>
        <xs:element name="Er1">
          <xs:complexType>
            <xs:sequence>
              <xs:element name="Data" type="xs:string"/>
              <xs:element ref="Loop"/>
            </xs:sequence>
          </xs:complexType>
        </xs:element>
        <xs:element name="Loc1">
          <xs:complexType>
            <xs:sequence>
              <xs:element ref="data"/>
              <xs:element name="Loc2">
                <xs:complexType>
                  <xs:choice>
                    <xs:element ref="Loop"/>
                    <xs:element ref="A"/>
                    <xs:element name="Any"/>
                  </xs:choice>
                </xs:complexType>
              </xs:element>
              <xs:element name="MayEmp1">
                <xs:complexType>
                  <xs:sequence>
                    <xs:element ref="Loop" minOccurs="0"/>
                    <xs:element name="Loc3"
                      minOccurs="0">
                      <xs:complexType>
                        <xs:sequence>
                          <xs:element ref="A"/>
                        </xs:sequence>
                      </xs:complexType>
                    </xs:element>
                  </xs:sequence>
                </xs:complexType>
              </xs:element>
            </xs:sequence>
          </xs:complexType>
        </xs:element>
      </xs:choice>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="B">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element ref="data"/>
        <xs:element name="MayEmp2" minOccurs="0">
          <xs:complexType>
            <xs:choice>
              <xs:element ref="B"/>
              <xs:element ref="Loop" minOccurs="0"/>
            </xs:choice>
          </xs:complexType>
        </xs:element>
        <xs:element name="Er2">
          <xs:complexType>
            <xs:choice>
              <xs:element ref="B"/>
              <xs:element ref="Loop"/>
            </xs:choice>
          </xs:complexType>
        </xs:element>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="Loop">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element ref="Loop"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="data" type="xs:string"/>
</xs:schema>

```

Рис. 3. Текст демонстрационной схемы

```

<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-5"?>
<!--Sample XML file generated by XMLSPY v2004
rel. 3 U (http://www.xmlspy.com)-->
<A
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-
instance"
  xsi:noNamespaceSchemaLocation="D:\Users\Serg
tim\
XML\SchCHK\SchemaWithLoops.xsd">
  <B>
    <data>String</data>
    <MayEmp2/>
    <Er2/>
  </B>
</A>

```

Рис. 4. Несостоятельный документ XML, сгенерированный XMLSpy по демонстрационной схеме

```

<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-5"?>
<A
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-
instance"
  xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
  xsi:noNamespaceSchemaLocation="D:\Users\Serg
tim\
XML\SchCHK\SchemaWithLoops.xsd">
  <Loc1>
    <data xsi:type="xs:string">String</data>
    <Loc2>
      <Any>Text</Any>
    </Loc2>
    <MayEmp1/>
  </Loc1>
</A>

```

Рис. 5. Пример состоятельного документа для демонстрационной схемы

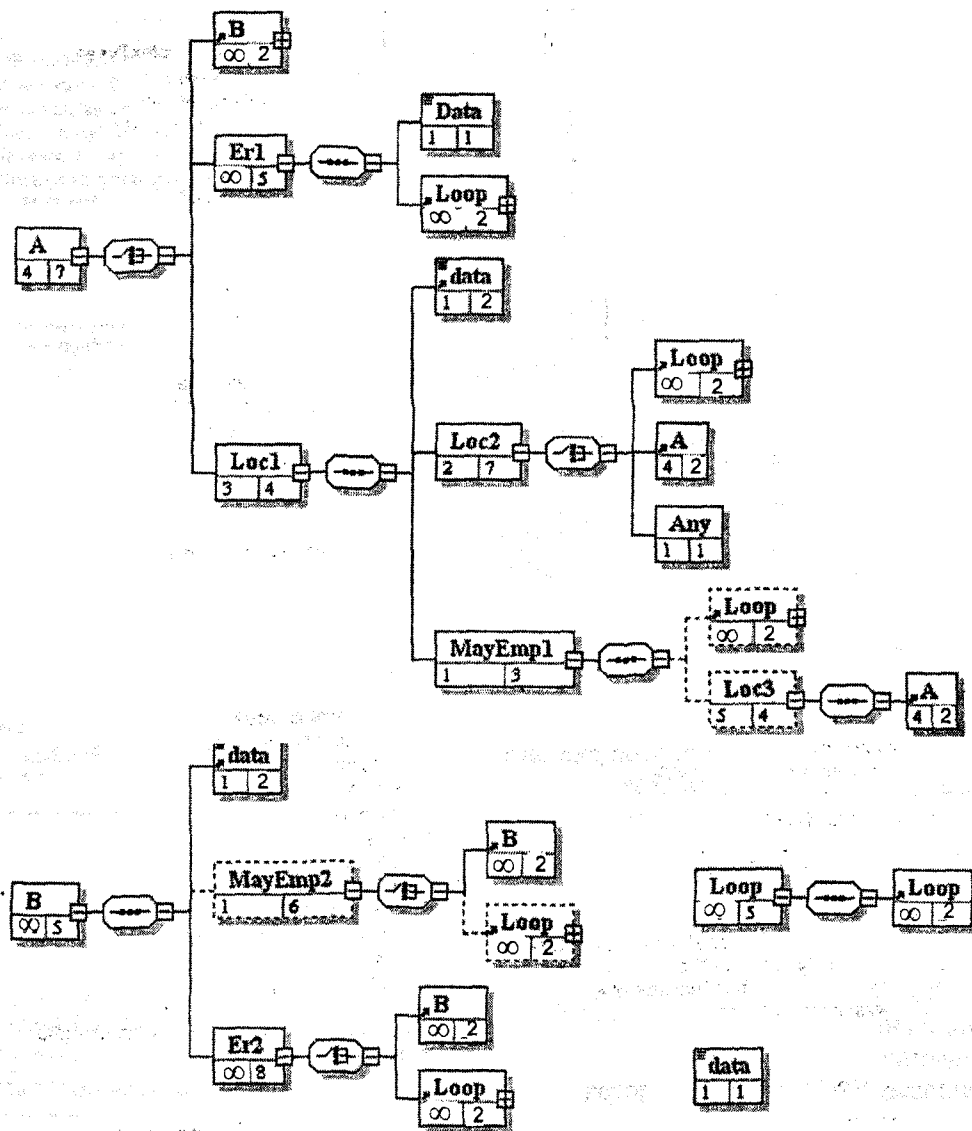


Рис. 6. Демонстрационная схема XML с номерами уровней деклараций элементов и номерами вариантов модели содержания

Опишем кратко демонстрационную схему (рис. 6). Она содержит четыре глобальные декларации: A (частично корректна, поэтому вся схема частично корректна); Loop (некорректна, поскольку заиклена сама на себя); B (некорректна: она имеет модель содержания sequence с некорректным членом); data (корректна: она терминальная). Локальные декларации: Any (корректна: она терминальная); Er1 (некорректна: она имеет модель содержания sequence с некорректным членом); Loc2 (корректна: она имеет модель содержания choice с корректным членом), Loc1 и Loc3 (корректны: они имеют модель содержания sequence, все члены которой корректны); MayEmp1, MayEmp2 корректны, так как имеют пустой вариант модели содержания.

3. Понятия и обозначения, используемые при анализе схем класса S_1

Общие обозначения: $A = \Gamma(B, C, \dots, D)$ – разбиение множества A; $\mathfrak{B}(A)$ – булеан A.

Для сокращения выкладок, введем умалчиваемую область пробегания переменной $d^\oplus$; $d^\oplus \in M^\oplus(d)$; кроме того, введем следующие сокращенные обозначения (A – произвольное выражение):

$$\begin{aligned} \forall d^\oplus (d^\oplus \in A) &\equiv \forall d^\oplus \in A; \\ \exists d^\oplus (d^\oplus \in A) &\equiv \exists d^\oplus \in A. \end{aligned} \quad (2)$$

Специальные обозначения.

Поскольку наш анализ касается одной (произвольной) схемы S, мы не указываем в явном виде зависимость от нее вводимых ниже понятий. На рис. 7 наглядно представлена совокупность этих понятий и их взаимосвязь.

D – множество деклараций элементов в S (далее – просто «деклараций»);

T – множество терминальных деклараций;

N – множество нетерминальных деклараций;

$D = \Gamma(T, N)$;

N^S — множество нетерминальных деклараций, владеющих группой *sequence*;
 N^C — множество нетерминальных деклараций, владеющих группой *choice*; $N = \Gamma(N^S, N^C)$.
Model(d) — функция модели содержания нетерминальной декларации: *sequence* или *choice*;
 T^B — множество базовых терминальных деклараций (не имеющих атрибута *ref*);
 R — множество ссылочных деклараций (имеющих атрибут *ref*); $T = \Gamma(T^B, R)$;
 B — множество базовых деклараций: $B = \Gamma(T^B, N)$.
 D^{GL} — множество глобальных деклараций; глобальная декларация не может быть ссылочной:
 $D^{GL} \cap R = \emptyset$.
 D^{LOC} — множество локальных деклараций;
 $D = \Gamma(D^{GL}, D^{COR})$;
 $d^\wedge$ — функция разыменования, равна глобальной декларации, на которую ссылается $d \in R$;
Opt(d) — предикат, истинный для опциональной декларации (имеющей атрибут *minOccurs* = «0»); глобальная декларация не может быть опциональной;
 $M(d)$ — множество деклараций, являющихся членами группы, которой владеет нетерминальная декларация d ;
 $M^\circ(d)$ — множество опциональных деклараций, являющихся членами группы, которой владеет нетерминальная декларация:

$M^{\oplus}(d)$ и $M^{\ominus}(d)$ разбивают $M(d)$.

Спецификация схемы по сути определяет ее как многосортную модель, собственные элементы носителя которой называются «компонентами схемы», а отношения — «свойствами компонентов». Определяется также XML-представление схемы в виде *документа схемы*, причем компоненты отображаются в его элементы, а большинство свойств — в атрибуты.

$$M^{\circ}(d) = \{d \in M(d) \mid Opt(d)\};$$

Определение функции $Valid(d)$ составляет значительный объем спецификации; ее тип:

$$Valid : D \times (\mathfrak{P}(E))^*, \quad (3)$$

где E — универсум абстрактных элементов согласно спецификации XML Infoset [7].

Логично считать свойство корректности декларации *не зависящим* от ограничителей повторения; последние будут учтены для декларации, от которой непосредственно зависит рассматриваемая декларация. Имея это в виду, определим важное понятие *экстенционала декларации* как функцию, формирующую множество ее состоятельных элементов:

$$E : D \times \mathfrak{P}(E); \quad E(d) = \{e \mid (e) \in Valid(d) \setminus \{\varepsilon\}\}.$$

Экстенционал можно также определить как функцию состоятельности для декларации без учета ограничителей повторения.

Назовем декларацию *корректной*, если ее экстенционал не пуст:

$$Correct(d) \Leftrightarrow E(d) \neq \emptyset. \quad (4)$$

Поскольку каждая глобальная декларация определяет множество состоятельных элементов документа (Document Element), а в любом документе XML [8] имеется ровно один такой элемент, с учетом того, что в любой $S \in S_1$ присутствуют глобальные декларации, естественно дать следующее определение состоятельности схемы $S \in S_1$ (используем полиморфное обозначение):

Назовем схему $S \in S_1$ *корректной*, если в ней есть хотя одна корректная глобальная декларация:

$$Correct(S) \Leftrightarrow \exists (d \in D^{GL}) Correct(d). \quad (5)$$

Введем также понятия *частичной корректности* и *полной корректности*: корректная схема частично корректна, если в ней есть хотя одна некорректная декларация, в противном случае она полностью корректна:

$$\begin{aligned} PartiallyCorrect(S) &\Leftrightarrow \\ &Correct(S), \exists (d \in D) \neg Correct(d); \\ CompletelyCorrect(S) &\Leftrightarrow \\ &\forall (d \in D) Correct(d). \end{aligned} \quad (6)$$

5. Выражение предиката корректности декларации через функцию номера уровня декларации

Описание функции состоятельности деклараций составляет значительную часть спецификации схемы. В то же время, для нашей задачи не требуется иметь точного ее определения, важно лишь знать, порождается ли хотя один элемент. Поэтому разумно искать непосредственное рекурсивное определение предиката корректности.

Анализ показал, что задача практически не усложнится, если мы выразим предикат корректнос-

ти через функцию $\ell(d)$, возвращающую минимальную высоту основы дерева состоятельного элемента декларации либо особое значение, если декларация некорректна. Знание этой функции весьма полезно при семантическом анализе схемы. Под основой дерева элемента мы понимаем редукт дерева элемента, состоящий только из информационных единиц элементов.

Назовем функцией номера уровня декларации $\ell(d)$ функцию, определенную на множестве деклараций произвольной схемы S (неявный параметр функции) и равную:

- минимальной высоте основы дерева состоятельного элемента этой декларации, если декларация корректна;
- нечисловому значению ∞ , если декларация некорректна:

$$\begin{aligned} \ell : D &\rightarrow \mathbb{N} \cup \{\infty\}; \\ \ell(d) &= \begin{cases} \min(h(e) \mid e \in E(d), & \text{если } E(d) \neq \emptyset; \\ \infty, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (7) \end{aligned}$$

Обозначение ∞ имеет содержательный смысл: алгоритм порождения элементов по некорректной декларации никогда не завершится, в качестве промежуточного результата будет формироваться растущий элемент сколь угодно большой высоты.

Предикат корректности очевидным образом выражается через функцию $\ell(d)$:

$$Correct_1(d) \Leftrightarrow \ell(d) \neq \infty \Leftrightarrow \ell(d) \in \mathbb{N}. \quad (8)$$

Теорема 1. Множество числовых значений функции $\ell(d)$ либо пусто, либо представляет собой некоторый начальный интервал натуральных чисел:

$$im(\ell)|_{\mathbb{N}} = i = \overline{1, n}, \text{ где } n \geq 0. \quad (9)$$

Через n мы обозначили число (точнее — функцию от S), равное максимальному числовому значению функции $\ell(d)$ либо 0, если такого нет (то есть все декларации рассматриваемой схемы некорректны).

Доказательство.

Вначале докажем, что если существует состоятельный элемент $e \in E(d)$ высоты h , то в схеме найдется декларация d' , для которой $\ell(d') = \ell(d) - 1$. Это следует из:

— свойства высоты произвольного дерева [9]: высота дерева на 1 больше максимальной высоты его поддеревьев; высота одноэлементного дерева равна 1;

— очевидного свойства экстенционала декларации для $S \in S_1$: если некоторый состоятельный элемент e декларации d входит в состав некоторого состоятельного элемента e' для декларации d' , то состоятельным для d' будет и элемент e , полученный из e' путем замены элемента e на любой иной состоятельный для d элемент.

Теперь требуемое утверждение доказывается по индукции. □

С целью описания алгоритма вычисления $\ell(d)$ введем ряд дополнительных понятий.

Назовем *расширенным образом функции* $\ell(d)$ множество $\mathbb{I}$, определяемое формулой:

$$\mathbb{I} = i = \overline{1, n} \cup \{\infty\}.$$

Назовем *уровнем деклараций* L_i множество деклараций, имеющих одинаковый номер уровня:

$$L_i = \{d \in D \mid \ell(d) = i\}, \quad i \in \mathbb{I}.$$

Уровень назовем *корректным*, если его индекс числовой, и *некорректным*, если индекс равен ∞ . Уровни деклараций обладают очевидными свойствами: они образуют разбиение множества деклараций, причем корректные уровни не могут быть пустыми (их может вообще не быть, если $n=0$), а некорректный уровень может быть пуст; множество корректных деклараций обозначим D^{COR} :

$$\begin{aligned} D &= \bigcup \{L_i \mid i \in \mathbb{I}\}; \\ D^{COR} &= D \setminus L_\infty = \bigcup \{L_i \mid i \in \mathbb{N}\}. \end{aligned} \quad (10)$$

Назовем *объединенным уровнем деклараций* множество:

$$U_i = \begin{cases} \bigcup \{L_j \mid i \leq j\}, & \text{если } i = \overline{1, n}; \\ \emptyset, & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad i \in \mathbb{N} \cup \{0\}. \quad (11)$$

Заметим, что объединенные уровни определены для всех неотрицательных чисел, не могут содержать некорректный уровень, и представляют собой возрастающую по включению последовательность множеств деклараций, максимальное из которых равно множеству корректных деклараций:

$$\begin{aligned} d \in U_i &\Leftrightarrow \ell(d) \leq i; \\ U_i &\subset U_j \text{ для } i < j; \\ U_i &\subseteq D^{COR}; \quad U_n = D^{COR}; \\ d \in U_i &\Leftrightarrow \ell(d) \leq i; \\ &(i, j = \overline{1, n}). \end{aligned} \quad (12)$$

Лемма 1. Вычислимость функции $\ell(d)$ является следствием вычислимости последовательности объединенных уровней $(U_1, U_2, \dots, U_n)$, для доказательства которой достаточно указать такой вычислимый функционал $\mathcal{F}$, чтобы выполнялась формула:

$$\begin{aligned} U_i &= \mathcal{F}(S, U_{i-1}); \quad i = \overline{1, n}; \\ \emptyset &= \mathcal{F}(S, U_n). \end{aligned} \quad (13)$$

Комментарий: содержимое любого уровня должно полностью определяться совокупным содержанием предыдущих уровней (и структурой схемы). Истинность утверждения леммы очевидна.

Следствие. Приведенный ниже абстрактный алгоритм вычисляет множество корректных деклараций для любой схемы $S \in S_1$.

Алгоритм 1.

```
function CorrectElemDecl( $S: S_1$ ):  $\mathfrak{P}(D)$ ;
var  $i$ : integer;
 $L, U$ :  $\mathfrak{P}(D)$ ;
begin
 $i := 1$ ;  $U := \emptyset$ ;
repeat
 $L := \mathcal{F}(S, U)$ ;
if  $L \neq \emptyset$  then
 $i := i + 1$ ;
 $U := U \cup L$ ;
end if;
until  $L = \emptyset$ ;
result :=  $U$ ;
end.
```

6. Функция номера уровня для класса схем S_1

Теорема 2. Функция номера уровня для $S \in S_1$ определяется формулой (14), которая имеет вид условного выражения:

$$\begin{aligned} \ell(d) &= \\ \text{if } d \in T^B &\text{ then // 1} \\ \text{elif } d \in R &\text{ then } \ell(d^*) // 2 \\ \text{elif } d \in N^S &\text{ then} \\ \text{if } \forall (d' \in M) \text{ Opt}(d') &\text{ then } 1 // 3 \\ \text{elif } \forall (d' \in M) \neg \text{Opt}(d') &\ell(d') \neq \infty \text{ then // 4} \\ &1 + \max(\ell(d') \mid d' \in M(d), \neg \text{Opt}(d')) \\ \text{else } \infty & // 5 \\ \text{endif} & \\ \text{else } \{d \in N^C\} & \\ \text{if } \exists (d' \in M) \text{ Opt}(d') &\text{ then } 1 // 6 \\ \text{elif } \exists (d' \in M) \ell(d') \neq \infty &\text{ then // 7} \\ &1 + \min(\ell(d') \mid d' \in M(d), \ell(d') \neq \infty) \\ \text{else } \infty & // 8 \\ \text{endif} & \\ \text{endif.} & \end{aligned} \quad (14)$$

Доказательство.

Формально доказательство следует из:

- свойств функции $Valid$ [1, 5];
- определения S_1 , формализованного нами в виде диаграммы UML;
- определения функции $\ell(d)$.

Содержательное доказательство (см. также диаграмму демонстрационного примера схемы, на которой для каждой декларации указан ее номер уровня и номер применяемого случая вышеприведенной формулы).

Случай 1. Любая базовая терминальная декларация может порождать терминальные элементы, высота которых, по определению, равна 1. При этом декларации, имеющие атрибут *type* со значением имени примитивного типа, порождают только терминальные элементы, а имеющие этот атрибут со значением *anyType*, могут порождать произвольные элементы. Если атрибут отсутствует, по умолчанию принимается *anyType* (пример: декларация *Any*).

Случай 2. Любая ссылочная декларация порождает в точности такое же множество элементов, как и ссылаемая декларация.

Случай 3. Любая нетерминальная декларация с моделью содержания *sequence*, все дочерние декларации которой опциональны, может порождать пустой элемент, то есть терминальный элемент без содержимого (не путать с отсутствующим элементом ϵ , входящим в пустую последовательность ϵ , которую могут порождать опциональные декларации).

Случай 4. Любая нетерминальная декларация с моделью содержания *sequence*, все неопциональные дочерние декларации которой корректны, корректна и имеет номер уровня на 1 больше максимального номера уровня таких дочерних деклараций.

Случай 5. Любая нетерминальная декларация с моделью содержания *sequence*, имеющая хоть одну некорректную неопциональную дочернюю декларацию, некорректна.

Случай 6. Любая нетерминальная декларация с моделью содержания *choice*, имеющая хоть одну опциональную дочернюю декларацию, может порождать пустой элемент.

Случай 7. Любая нетерминальная декларация с моделью содержания *choice*, все дочерние декларации которой неопциональны и хоть одна из них корректна, является корректной и ее номер уровня на 1 больше минимального номера уровня корректных дочерних деклараций.

Случай 8. Любая нетерминальная декларация с моделью содержания *choice*, все дочерние декларации которой неопциональны и некорректны, некорректна.

7. Разбиение на подуровни

Из теоремы 2 (случай 2) следует, что любой корректный уровень L_i можно разбить на *основной подуровень* L_i^B и *ссылочный подуровень* L_i^R , причем последний вычисляется на основе первого (значением $d^\wedge$ всегда является некоторая глобальная декларация, которая сама не может быть ссылочной):

$$L_i = \Gamma(L_i^B, L_i^R); \quad i = \overline{1, n}. \quad (15)$$

Для удобства анализа разобьем дополнительно базовые подуровни для $i \geq 2$ на подмножества:

$$L_i^B = \Gamma(L_i^S, L_i^C),$$

$$\text{где: } L_i^S = L_i \cap N^S; \quad L_i^C = L_i \cap N^C; \quad i = \overline{1, n}. \quad (16)$$

Следствие теоремы 2. Корректные уровни деклараций для $S \in S_1$ определяются формулами:

$$L_i = \Gamma \left(L_i^B = \begin{cases} \text{if } i=1 \text{ then } L_1^B \\ \text{else } \Gamma(L_i^S, L_i^C) \end{cases}, \quad L_i^R \right), \quad i = \overline{1, n};$$

$$L_1^B = \{d \in N^S \mid M^\oplus(d) = \emptyset\} \cup \{d \in N^C \mid M^\circ(d) \neq \emptyset\};$$

$$L_i^S = \left\{ d \in N^S \mid \begin{array}{l} M^\oplus(d) \neq \emptyset, \quad \forall d^\oplus \ell(d^\oplus) \neq \infty, \\ i = 1 + \max(\ell(d^\oplus) \mid d^\oplus \in M^\oplus) \end{array} \right\};$$

$$L_i^C = \left\{ d \in N^C \mid \begin{array}{l} M^\circ(d) = \emptyset, \quad \exists d' \ell(d') \neq \infty, \\ i = 1 + \min(\ell(d') \mid d' \in M) \end{array} \right\};$$

$$i = \overline{2, n};$$

$$L_i^R = \{d \in R \mid d^\wedge \in L_i^B\}; \quad i = \overline{1, n}.$$

Формула для L_i^B не пригодна для непосредственного вычисления, так как представляет собой рекурсивное определение. Преобразуем ее, заменив функции *max* и *min* на их кванторные представления:

$$k = \max(\ell(d^\oplus) \mid d^\oplus \in M^\oplus) \Leftrightarrow$$

$$\forall d^\oplus \ell(d^\oplus) \neq \infty, \quad \exists d^\oplus (\ell(d^\oplus) = k),$$

$$\forall d^\oplus (\ell(d^\oplus) \leq k);$$

$$k = \min(\ell(d^\oplus) \mid d^\oplus \in M^\oplus) \Leftrightarrow$$

$$\exists d^\oplus (\ell(d^\oplus) \neq \infty, \ell(d^\oplus) = k),$$

$$\forall (d^\oplus \mid \ell(d^\oplus) \neq \infty) (\ell(d^\oplus) \geq k).$$

В результате получим:

$$L_i^S = \left\{ d \in N^S \mid \begin{array}{l} M^\oplus(d) \neq \emptyset, \\ \forall d^\oplus \ell(d^\oplus) \neq \infty, \\ \exists d^\oplus (\ell(d^\oplus) = i-1), \\ \forall d^\oplus (\ell(d^\oplus) \leq i-1) \end{array} \right\},$$

$$L_i^C = \left\{ d \in N^C \mid \begin{array}{l} M^\circ(d) = \emptyset, \\ \exists d' (\ell(d') \neq \infty, \ell(d') = i-1), \\ \forall (d' \mid \ell(d') \neq \infty) (\ell(d') \geq i-1) \end{array} \right\},$$

$$i = \overline{2, n}.$$

Используя формулы для L_i, U_i , упрощаем:

$$L_i^S = \left\{ d \in N^S \mid \begin{array}{l} M^\oplus(d) \neq \emptyset, \exists d^\oplus \in L_{i-1}, \\ \forall d^\oplus \in U_{i-1} \end{array} \right\}, \quad i = \overline{2, n}; \quad (17)$$

$$L_i^C = \left\{ d \in N^C \mid \begin{array}{l} M^\circ(d) = \emptyset, \exists d' \in L_{i-1}, \\ \forall d' \in U_{i-2} \end{array} \right\}, \quad i = \overline{2, n}. \quad (18)$$

Лемма 2. Множества L_i^S, L_i^C можно задать формулами:

$$L_i^S = \{ d \in N^S \setminus U_{i-1} \mid \forall d^\oplus \in U_{i-1} \}, \quad i = \overline{2, n}; \quad (19)$$

$$L_i^C = \{ d \in N^C \setminus U_{i-1} \mid \exists d' \in U_{i-1} \}, \quad i = \overline{2, n}. \quad (20)$$

Доказательство (демонстрируется рис. 8).

Обозначим через $\tilde{L}_i^S, \tilde{L}_i^C$ множества, определяемые формулами (19), (20).

• Докажем равенство $L_i^S = \tilde{L}_i^S$;

Пусть $d \in L_i^S$, тогда $d \notin U_{i-1}$. Все остальные конъюнкции в (19) истинны, поскольку присутствуют в (17), следовательно, $d \in \tilde{L}_i^S$.

Обратно, пусть $d \in \tilde{L}_i^S$. Тогда:

1. d корректна, поскольку все ее дочерние декларации корректны (ф-ла (14), случаи 3, 4).

2. Уровень d не ниже i , так как $d \notin U_{i-1}$. Следовательно, существует $j \geq i$ и L_j^S такие, что $d \in L_j^S$.

3. Осталось доказать, что $j = i$. Действительно, подставляя $d \in L_j^S$ в (17), получим: $\exists d^\oplus \in L_{j-1}$ (если отцовская декларация имеет уровень j , то есть неопциональная дочерняя декларация уровня $j-1$ (14), случай 4); с учетом $j \geq i$ уровень последней не ниже $i-1$: $\exists d^\oplus \in U_{i-2}$. С другой стороны, согласносылке дочерние декларации имеют уровень $i-1$ или ниже: $\forall d^\oplus \in U_{i-1}$. Следовательно, существует неопциональная дочерняя декларация уровня $i-1$: $\exists d^\oplus \in L_{i-1}$, и, по (17), $d \in L_i^S$ (мы доказали истинность всех конъюнкций в этой формуле).

• Докажем равенство $L_i^C = \tilde{L}_i^C$.

Пусть $d \in L_i^C$, тогда $d \notin U_{i-1}$ и $\exists d' \in L_{i-1}$. Из второго следует, что $\exists d' \in U_{i-2}$. Все остальные конъюнкции в (20) истинны, поскольку присутствуют в (18), следовательно, $d \in \tilde{L}_i^C$.

Обратно, пусть $d \in \tilde{L}_i^C$. Тогда:

1. d корректна, поскольку у нее есть корректная дочерняя декларация (14), отрицание случая 7).

2. Уровень d не ниже i , так как $d \notin U_{i-1}$. Следовательно, существует $j \geq i$ и L_j^C такие, что $d \in L_j^C$.

3. Осталось доказать, что $j = i$. Действительно, подставляя $d \in L_j^C$ в (18), получим: $\forall d' \notin U_{j-2}$ (если отцовская декларация имеет уровень j , то все дочерние должны иметь уровень не ниже $j-1$); с учетом $j \geq i$ имеем $\forall d' \notin U_{i-2}$. С другой стороны, согласносылке существует дочерняя декларация уровня $i-1$ или ниже: $\exists d' \in U_{i-1}$. Следовательно, существует дочерняя декларация уровня $i-1$, $\exists d' \in L_{i-1}$, и, по (18), $d \in L_i^C$ (мы доказали истинность всех конъюнкций в этой формуле). $\square$

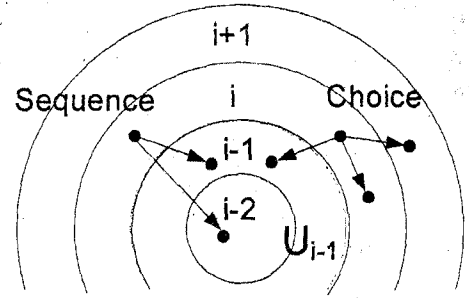


Рис. 8. Иллюстрация к лемме 2

Практический смысл доказанной леммы: определяющий предикат для L_i значительно упрощается, если не рассматривать множество U_{i-1} деклараций, заведомо не принадлежащих L_i . Применительно к алгоритму вычисления уровней это означает, что на очередном шаге мы не анализируем декларации из ранее вычисленных уровней.

Замечание. При подстановке в правые части формул (19) и (20) значения $i = n+1$ получим $\emptyset$, поскольку для всех элементов этих множеств $\ell(d) > n$ (так как $d \notin U_n$), чего, по теореме 1, не может быть ни для одного d . Этот факт далее используется как условие окончания алгоритма 2.

Лемма 3.

Функция $\ell(d)$ для S_1 вычислима, причем функционал $\mathcal{F}(S, U)$ из леммы 1 вычисляется следующей последовательностью операторов присваивания:

$$\begin{aligned} L^B &:= \text{if } U = \emptyset \text{ then} \\ &\quad T^B \cup \{d \in N^S \mid M^\oplus(d) = \emptyset\} \\ &\quad \cup \{d \in N^C \mid M^\circ(d) \neq \emptyset\} \\ &\text{else} \\ &\quad \{d \in N^S \setminus U \mid \forall d^\oplus \in U\} \\ &\quad \cup \{d \in N^C \setminus U \mid \exists d^\oplus \in U\}; \\ &\text{end if;} \\ L^R &:= \{d \in R \mid d^\wedge \in L^B\}; \\ L &:= L^B \cup L^R. \end{aligned} \quad (21)$$

Доказательство: следует из следствия к теореме 2 и леммы 2. $\square$

Теорема 3.

а) Необходимым и достаточным условием корректности произвольной декларации $d \in S \in S_1$ является ее принадлежность множеству D^{COR} , вычисляемому алгоритмом 1 после замены в нем оператора присваивания $L := \mathcal{F}(S, U)$ на последовательность, описанную в лемме 3.

б) Необходимым и достаточным условием корректности схемы $S \in S_1$ является корректность хотя бы одной ее глобальной декларации.

Доказательство: следует из леммы 1 и леммы 3.

Следствие. Приведенный ниже Алгоритм 2 осуществляет анализ корректности схемы $S \in S_1$.

Замечание. При записи данного алгоритма мы перешли к нотации, более близкой к традиционным языкам программирования. Для этого:

- выразили множества $M^{\oplus}, M^{\circ}$ с помощью множества M и предиката $Opt(d)$;
- оператор присваивания для L^R заменили на эквивалентный в контексте предлагаемого алгоритма, то есть с предусловием $\{U = U_{i-1} \cup L_i^B\}$:

$$L^R := \{d \in R \setminus U \mid d^{\wedge} \in U\};$$

(переменная U на шаге i цикла последовательно принимает следующие значения:

$$U_{i-1}, U_{i-1} \cup L_i^B, U_{i-1} \cup L_i^B \cup L_i^R = U_i);$$

- выполнили ряд дополнительных несложных преобразований.

Алгоритм 2.

function CheckSchema($S : S_1$):

$\left\{ \begin{array}{l} D^{COR} : \text{set of } (D); \\ n : \text{integer}; \quad // \text{Число корректных уровней} \\ RC : \{Incorrect, PartiallyCorrect, CompletelyCorrect\} \end{array} \right\};$

var $i : \text{integer}; \quad // N \text{ текущего уровня деклараций}$

$L, U, D^{COR} : \text{set of } (D);$

// Здесь должны быть определены в терминах

// DOM – интерфейса [10] функции от S :

// $T^B, N^S, N^C, M, R,$

// $d^{\wedge}, D, D^{GL}$ и предикат $Opt(d)$.

begin

$i := 1; U := \emptyset; D^{COR} := \emptyset;$

repeat

// Здесь $U = U_{i-1}$

if $i = 1$ *then*

$L := T^B \cup \{d \in N^S \mid \forall (d' \in M(d)) \neg Opt(d')\}$

$\cup \{d \in N^C \mid \exists (d' \in M(d)) \neg Opt(d')\}$

else

$L := \{d \in N^S \setminus U \mid \forall (d' \in M(d)) \neg Opt(d')\} d' \in U\}$

$\cup \{d \in N^C \setminus U \mid \exists (d' \in M(d)) d' \in U\};$

end if; // Здесь $L = L_i^B$

$U := U \cup L;$ // Здесь $U = U_{i-1} \cup L_i^B$

$U := U \cup \{d \in R \setminus U \mid d^{\wedge} \in U\};$ // Здесь $U = U_i$

if $L \neq \emptyset$ *then* $i := i + 1;$ *end if;*

until $L = \emptyset;$

$n := i - 1;$

$D^{COR} := U;$

if $D^{COR} \cap D^{GL} = \emptyset$ *then* $RC := Incorrect;$

elif $D^{COR} = D$ *then* $RC := CompletelyCorrect;$

else $RC := PartiallyCorrect;$

end if;

end.

Алгоритм несложно усовершенствовать так, чтобы он определял номер уровня и, следовательно, корректность отдельных деклараций. Мы предлагаем следующий метод: в каждую декларацию алгоритм вставляет специальный атрибут *пользовательского пространства имен* [1], значением атрибута является номер уровня декларации. Такое решение максимально упрощает реализацию и обладает тем достоинством, что информация о корректности деклараций сохраняется в схеме. Объявление указанного атрибута в нашей реализации имеет вид:

xmlns:CHK=http://SergTim/CheckSchema.

На рис. 9 показана трасса программы, разработанной в соответствии с усовершенствованным алгоритмом, при анализе демонстрационной схемы.

8. Заключение

Предварительное исследование показало, что приведенные в статье принципы решения проблемы заикливания в схемах класса S_1 применимы также к анализу схем общего вида. Введенные в работе понятия и обозначения должны упростить эту задачу.

Считаем полезным заметить, что в ходе работы над статьей мы обнаружили, что отношения между математическими объектами удобно задавать в виде диаграммы классов UML, которую следует рассматривать как *высокоуровневое формальное определение в графовых терминах*. В результате существенно уменьшается объем и увеличивается наглядность математического описания. Конечно, указанный факт требует отдельного рассмотрения.

1	1	Случай 1	A/Er1/Data
2	1	Случай 1	A/Loc1/Loc2/Any
3	1	Случай 3	A/Loc1/MayEmp1
4	1	Случай 6	B/MayEmp2
5	1	Случай 1	data
6	1	Случай 2	A/Loc1/data^
7	1	Случай 2	B/data^
8	2	Случай 7	A/Loc1/Loc2
9	3	Случай 4	A/Loc1
10	4	Случай 7	A
11	4	Случай 2	A/Loc1/Loc2/A^
12	4	Случай 2	A/Loc1/MayEmp1/Loc3/A^
13	5	Случай 4	A/Loc1/MayEmp1/Loc3
14	∞	Случай 2	A/B^
15	∞	Случай 5	A/Er1
16	∞	Случай 2	A/Er1/Loop^
17	∞	Случай 2	A/Loc1/Loc2/Loop^
18	∞	Случай 2	A/Loc1/MayEmp1/Loop^
19	∞	Случай 5	B
20	∞	Случай 2	B/MayEmp2/B^
21	∞	Случай 2	B/MayEmp2/Loop^
22	∞	Случай 8	B/Er2
23	∞	Случай 2	B/Er2/B^
24	∞	Случай 2	B/Er2/Loop^
25	∞	Случай 5	Loop
26	∞	Случай 2	Loop/Loop^
Конец.			

Рис. 9. Трасса программы при анализе демонстрационной схемы

Перспективы дальнейших исследований в данном направлении состоят в решении проблемы зацикливаний для произвольных схем XML, где зацикленными могут быть также дефиниции типов и групп.

Надеемся, что предложенная работа будет полезна специалистам по технологии XML.

Список литературы: 1. *XML Schema Part 1: Structures* Second Edition W3C Recommendation 28 October 2004 <http://www.w3.org/TR/2004/REC-xmlschema-1-20041028/>. 2. *XMLSpy 2005* Home Edition. <http://www.altova.com>. 3. M. Murata, D. Lee, and M. Mani. Taxonomy of XML Schema Languages using Formal Language Theory. In *Extreme Markup Languages*, Montreal, Canada, 2001. 4. *Tree Automata Techniques and Applications*. <http://www.grappa.univ-lille3.fr/tata/>. 1997. 5. *XML Schema: Formal Description*. W3C Working Draft, 25 September 2001. <http://www.w3.org/TR/2001/WD-xmlschema-formal-20010925/>. 6. Жолткевич Г.Н., Семенова Т.В. К проблеме формализации концептуального моделирования информационных систем // *Вісник Харк. нац. ун-ту ім. В.Н. Каразіна. Сер. Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління*. 2003. № 605. Вип. 2. С. 33-42. 7. *XML Information Set* W3C Recommendation 24 October 2001. <http://www.w3.org/TR/2001/REC-xml-info-set-20011024>. 8. *Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Third Edition)* W3C Recommendation 04 February 2004 <http://www.w3.org/TR/2004/REC-xml-20040204>. 9. Ахо А., Ульман Дж. Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции. М.: Мир, 1978. Т.1. 612 с. 10. *Document Object Model (DOM) Level 1 Specification (Second Edition) Version 1.0* W3C Working Draft 29 September, 2000. <http://www.w3.org/TR/2000/WD-DOM-Level-1-20000929>.

Поступила в редколлегию 25.05.2005

УДК 681.3.019

А.И. Рыбалка, Ю.Е. Мегель

КОМПЬЮТЕРНАЯ МИКРОТЕЛЕФОТОМЕТРИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Микроскопический визуальный анализ биоматериалов является основным инструментом при определении качества биологических объектов [1, 2, 3, 4]. До последнего времени он носил в основном качественный характер, что связано с трудностями распознавания и измерения изображений биологических объектов, имеющих различную форму. Создание современных оптико-электронных систем автоматизации морфометрии клеток с измерением формы, размеров, цветности, текстуры, топологии требует разработки как аппаратных, так и программных средств для их реализации [5, 6, 7]. В настоящее время практически полностью отсутствуют такие средства для оценки качества эмбрионов млекопитающих.

Целью работы является создание математической модели для разработки программного обеспечения оценки качества эмбрионов с использованием автоматизированной оптико-электронной системы.

Оценка геометрических характеристик объектов, находящихся в поле зрения системы, сводится к измерению координат, длины прямолинейных и криволинейных отрезков, площадей. В большинстве случаев эти измерения связаны с необходимостью фиксации уровней оптической плотности или яркости фрагментов исследуемого изображения.

Обобщенная модель исследуемого объекта в поле изображения представлена в виде зависимости яркости (коэффициента отражения, прозрачности или поглощения) как функции координат x , y в поле изображения. Модель эмбриона, отражающая характер распределения освещенности, рассмотрена в работах [8, 9].

Измеряемыми параметрами изображения являются диаметр эмбриона d , площадь S , периметр P объекта и коэффициент сферичности $K_{сф}$, исследуемые в пределах видимого контура или на заданном уровне коэффициента поглощения.

Оценка перечисленных параметров фрагментов изображения основана на использовании функциональной связи между этими параметрами, временными и амплитудными характеристиками сигналов изображений и может осуществляться как на аппаратном, так и программном уровнях.

Координата x_i левой границы объекта в i строке связана с временным положением t_i фронта сигнала, соответствующего данной строке раstra, соотношением $x_{li} = V_x t_{li}$, (где V_x — скорость переме-

щения сканирующего элемента в плоскости изображения в направлении оси x). Соответственно координата правой границы $x_{2i} = V_x t_{2i}$, а размер объекта в этой строке (размер хорды)

$$l_i = x_{2i} - x_{1i} = V_x (t_{2i} - t_{1i}) = V_x \tau_i,$$

где τ_i — длительность импульса, сформированного в строке раstra.

Таким образом, измерение длительности временного интервала τ_i приводит к определению длины отрезка l_i при заданных скорости развертки V_x и коэффициенте увеличения оптической системы. Нетрудно видеть, что часть площади S_i объекта в i строке сканирования составляет $S_i = l_i \delta = V_x \delta \tau_i$, где δ — ширина строки (расстояние между смежными строками). Площадь всего объекта может быть определена как

$$S = V_x \delta \sum_{i=1}^n \tau_i, \quad (1)$$

где $i = 1$ — строка, соответствующая первому пересечению сканирующим элементом исследуемого объекта; n — полное число строк раstra, перекрывающих этот объект.

Следовательно, измерение координат и длины прямолинейных отрезков в направлении сканирования, а также площадей объектов сводится к измерению длительности сигналов изображения в направлении сканирования. Измерение координат и длины прямолинейных отрезков в направлении вертикальной развертки (ось y) сводится к определению числа строк раstra, перекрывающих соответствующий линейный отрезок.

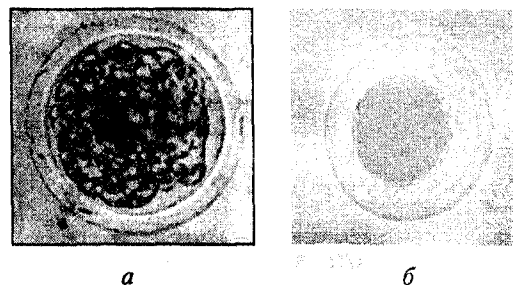


Рис. 1. Изображение эмбриона
(a — круглой и b — отличной от круглой формы)

На рис. 1 показаны примеры оболочки эмбриона, геометрические характеристики которой являются одним из критериев, по которому возможно судить о его жизнеспособности (a — оболочка, ха-

рактерная для эмбриона отличного качества, b — неудовлетворительного качества).

На первом этапе программной обработки изображения при определении геометрических характеристик эмбриона необходимо выделить его границу.

Применительно к исследуемой задаче наиболее перспективным представляется подход к подобной предварительной обработке изображений, заключающийся в выделении границ областей, подлежащих анализу и тематической интерпретации.

С практической точки зрения наибольший интерес представляет ступенчатый перепад, который описывается четырехпараметрической моделью [9]:

$$Y(x, y) = \begin{cases} B^*, & x \cos \theta + y \sin \theta \leq \delta \\ B^* + b, & x \cos \theta + y \sin \theta > \delta \end{cases} \quad (1)$$

Параметры B^* и b определяют уровни яркости по обе стороны линии перепада границы оболочки. При этом применительно к исследуемой задаче нельзя пренебрегать и выделением контура при изменении знака производной [8].

Для цифровой обработки целесообразно использовать маску с размерами окна 3×3 , что приводит к снижению чувствительности к аддитивному шуму за счет усреднения пикселей с соответствующими весами. В этом случае целесообразно применить наиболее известные операторы, такие как операторы Превитта, Собеля, Кирша [10].

После предварительной обработки изображения и выделения границы объекта оценка сферичности эмбриона определяется путем нахождения коэффициента сферичности $K_{сф}$, который вычисляется по формуле

$$K_{сф} = K_{\phi} / K_{\phi}^*, \quad (2)$$

где K_{ϕ} — коэффициент формы круга; K_{ϕ}^* — коэффициент формы изображения эмбриона.

Значение коэффициента формы круга определяется как

$$K_{\phi} = P^2 / S, \quad (3)$$

где P и S — периметр и площадь круга, близкого к идеальному.

В случае, если форма эмбриона близка к окружности, коэффициент формы равняется $K_{\phi} = 12,56$.

В варианте, когда форма эмбриона отличается от окружности, коэффициент формы находится следующим образом.

По данным параметрам двумерного изображения эмбриона (рис. 1) берётся отношение $|r_{\max}|$ между максимально удаленными двумя точками по контуру эмбриона G к сумме расстояний $\sum |r_{\min}|$ данного изображения в направлении, перпендикулярном линии, соединяющей точки контура G ,

максимально удаленные друг от друга, умноженное на число $N(l)$ дискретного разбиения:

$$K_{\phi}^* = \frac{|r_{\max}|}{\sum_{k=1}^{N(l)} |r_{\min}|} \quad (4)$$

При шаге дискретизации l , стремящемся к нулю, получаем

$$K_{\phi}^* = \frac{|r_{\max}|}{\sum_{k=1}^{N(l)} |r_{\min}|} \xrightarrow{l \rightarrow 0} \frac{|r_{\max}|^2}{\int_0^{r_{\max}} |r_{\min}|_k dl} \quad (5)$$

Обозначение параметров для определения геометрических характеристик эмбриона, имеющего отличную от окружности форму, при определении K_{ϕ}^* показано на рис. 2.

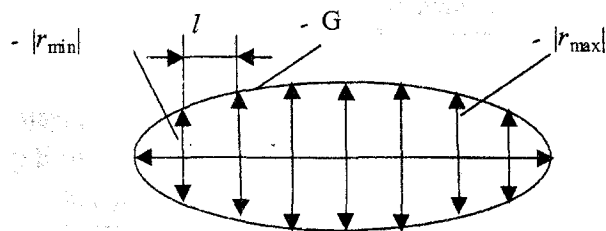


Рис. 2. Обозначение параметров эмбриона

С учетом того, что $\int_0^{r_{\max}} |r_{\min}|_k dl = S$, имеем

$$K_{\phi}^* = |r_{\max}|^2 / S. \quad (6)$$

Таким образом, физически коэффициент сферичности характеризует степень отклонения формы эмбриона от круглой. Отсюда периметр эмбриона, имеющего форму, отличную от окружности, определяется как

$$P = \sqrt{K_{\phi}^* S}. \quad (7)$$

Для оценки значения коэффициента сферичности эмбрионов за «идеальную» принято значение коэффициента формы, близкой к окружности.

Выводы

Полученные значения формализации задачи оценки геометрических характеристик эмбрионов, а также других микробиологических объектов, форма которых описывается уравнениями второго порядка, могут служить основой для создания аппаратных и программных средств автоматизированного контроля оценки жизнеспособности живых

микроорганизмов. При этом разумный компромисс между выбором программных и аппаратных средств позволяет уменьшать стоимость системы и время на обработку изображения.

Список литературы: 1. Антандилов Г.Г. Компьютерная микротелефотометрия в диагностической гистопатологии. М.: Медицина, 1996. 168 с. 2. Генетика, селекция и биотехнология в скотоводстве /М.В.Зубец, В.П.Буркат, Ю.Ф.Мельник и др. / Под ред. М.В.Зубец, В.П.Буркат. К.: БМТ, 1997. 722 с. 3. Кузнецов В.С. Биотехнологія у тваринництві // Генетика і селекція в Україні на межі тисячоліть / Ред. В.В.Моргун. К., Логос 2001. Том 4. С. 31-57. 4. Луста К.А., Фихте В.А. Методы определения жизнеспособности микроорганизмов. Пушино: Изд-во НИИ теоретической и экспериментальной биофизики, 1990. 182 с. 5. Мегель Ю.Е. Аппаратно-программный комплекс для автоматизации биотехно-

логического процесса в животноводстве // Доклады Рос. академии сельскохозяйств. наук. М.: 2001. С. 46-50. 6. Медовый В.С. Системы компьютерного микроскопического анализа и проточные анализаторы. Состояние и перспективы // Медицинский алфавит. 2003. № 2. С. 12-20. 7. Micheli-Tzanakou E. Supervised and unsupervised pattern recognition. Feature extraction and computational intelligence. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2000. 391 p. 8. Махмалир С.В., Мегель Ю.Е., Пуятин Е.П. Анализ изображений биологических объектов по бинарным сечениям // Радиоэлектроника и информатика. 2004. № 2. С. 116-121. 9. Мегель Ю.Е. Методы, модели и средства автоматизации биотехнологических процессов в животноводстве. Дис. ... д-ра техн. наук: Харьков 2004. 321 с. 10. Ahn S.J., Rauh W., and Warnecke H.J. Least-squares orthogonal distances fitting of circle, sphere, ellipse, hyperbola, and parabola // Pattern Recognition. 2001. Vol. 34. P. 2283-2303.

Поступила в редколлегию 01.06.2005

АВТОРЫ ВЫПУСКА

- | | |
|------------------------------------|---|
| Аверьянова Лилия Александровна | — канд. техн. наук, асс. каф. биомедицинских электронных устройств и систем, ХНУРЭ |
| Булкин Виталий Иванович | — канд. техн. наук, доц. каф. прикладной математики и информ. технологий, Макеевской экономико-гуманитарный институт, докторант НТУ «ХПИ» |
| Бурцев Валерий Николаевич | — канд. техн. наук, зам. директора по научной работе НПФ «Цветодинамика» |
| Васильев Николай Дмитриевич | — научн. сотрудник ХНУРЭ |
| Волик Андрей Валентинович | — аспирант каф. высшей математики, ХНУРЭ |
| Герасин Сергей Николаевич | — доц. каф. высшей математики, ХНУРЭ |
| Головенко Валерий Михайлович | — доц. каф. биомедицинских электронных устройств и систем, ХНУРЭ |
| Гордиенко Артем Юрьевич | — студент гр. ПОАС-02-5, ХНУРЭ |
| Гороховатский Алексей Владимирович | — студент гр. ИНФ-02-1, ХНУРЭ |
| Ерохин Андрей Леонидович | — канд. техн. наук, доц. каф. программного обеспечения ЭВМ, ХНУРЭ |
| Зима Иван Иванович | — д-р техн. наук, проф., вед. научн. сотрудник ХНУРЭ |
| Козуля Татьяна Владимировна | — канд. геогр. наук, доц. каф. педагогики и психологии управления социальными системами, НТУ «ХПИ» |
| Кокшенев Илья Валерьевич | — аспирант каф. ИИ, ХНУРЭ |
| Колодяжный Виталий Владимирович | — канд. техн. наук, ст. научн. сотрудник ПНИЛ АСУ ХНУРЭ |
| Коряк Андрей Сергеевич | — аспирант каф. программного обеспечения ЭВМ, ХНУРЭ |
| Лесная Наталья Советовна | — канд. техн. наук, проф. каф. программного обеспечения ЭВМ, проректор по научно-педагогической работе, ХНУРЭ |
| Мегель Юрий Евгеньевич | — д-р техн. наук, проф. каф. кибернетики, ХНТУСХ |
| Нечаев Андрей Викторович | — научн. сотрудник, Институт проблем машиностроения НАН Украины |
| Плисс Ирина Павловна | — канд. техн. наук, вед. научн. сотрудник ПНИЛ АСУ ХНУРЭ |
| Путятин Евгений Петрович | — д-р техн. наук, проф., зав. каф. информатики, ХНУРЭ |
| Ревенчук Илона Анатольевна | — канд. техн. наук, доц. каф. программного обеспечения ЭВМ, ХНУРЭ |
| Репка Виктория Борисовна | — канд. техн. наук, доц. каф. программного обеспечения ЭВМ, зам. нач. ОУП ХНУРЭ |
| Рошка Светлана Александровна | — аспирант каф. программного обеспечения ЭВМ, ХНУРЭ |
| Рыбалка Антонина Ивановна | — канд. физ.-мат. наук, доц. каф. физики, ХНУРЭ |
| Светличный Владимир Иванович | — канд. техн. наук, доц., директор Восточно-Украинского научно-инновационного центра ж/д транспорта |
| Скляр Ольга Игоревна | — ст. научн. сотрудник каф. биомедицинских электронных устройств и систем, ХНУРЭ |
| Стрельченко Владимир Иосифович | — научн. сотрудник, ХНУРЭ |
| Тимофеев Сергей Павлович | — младш. научн. сотрудник каф. искусственного интеллекта, ХНУРЭ |
| Четвериков Григорий Григорьевич | — доц. каф. программного обеспечения ЭВМ, ХНУРЭ |
| Шаронова Наталья Валериевна | — д-р техн. наук, проф., и.о. зав. каф. педагогики и психологии управления социальными системами, НТУ «ХПИ» |

УДК 681.3.07

Применение преобразования Радона для нормализации изображений / А.В. Гороховатский, Е.П. Путятин // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. 2005. № 1 (62). С. 3-9.

Рассмотрены результаты исследований по нормализации изображений с применением преобразования Радона. Предложены подходы для определения параметров смещений, поворотов и масштабов. Проведены исследования быстродействия и помехоустойчивости соответствующих алгоритмов.

Табл. 1. Ил. 5. Библиогр.: 8 назв.

УДК 681.3.07

Застосування перетворення Радона для нормалізації зображень / О.В. Гороховатський, Є.П. Путятін // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. 2005. № 1 (62). С. 3-9.

Розглядаються результати досліджень з нормалізації зображень із застосуванням перетворення Радона. Запропоновано підходи для визначення параметрів переміщення, повороту та масштабу. Проведено дослідження швидкості та завадостійкості відповідних алгоритмів.

Табл. 1. Іл. 5. Бібліогр.: 8 назв.

UDC 681.3.07

Application of Radon transformation for images' normalization / A.V. Gorohovatsky, E.P. Putjatin // Bionica Intellecta: Sci. Mag. 2005. No 1 (62). P. 3-9.

Research results on image normalization with use of Radon transformation are considered. Approaches for shift, turn and scale parameters' definition are offered. Research of speed and noise immunity of corresponding algorithms is carried out.

Tab.1. Fig. 5. Ref.: 8 items.

УДК 519.7:007.52

Алгоритмы обучения гибридных нео- и нейро-фаззи систем / И.В. Кокшенев, В.В. Колодяжный, И.П. Плисс // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. 2005. № 1 (62). С. 10-14.

Рассмотрены различные архитектуры гибридных нейро-фаззи сетей. Предложена унифицированная рекуррентная форма алгоритма обучения гибридных архитектур, позволяющая производить настройку как весовых коэффициентов, так и параметров функций активации. Благодаря вычислительной простоте и следяще-фильтрующим свойствам, предложенный подход может быть успешно применен для решения задач реального времени.

Ил. 4. Библиогр.: 10 назв.

УДК 519.7:007.52

Алгоритми навчання гібридних нео- та нейро-фаззі систем / І.В. Кокшенев, В.В. Колодяжний, І.П. Плісс // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. 2005. № 1 (62). С. 10-14.

Розглянуто різні архітектури гібридних нейро-фаззі мереж. Запропоновано уніфіковану рекурентну форму алгоритму навчання гібридних архітектур, що забезпечує настроювання як вагових коефіцієнтів, так і параметрів функцій активації. Завдяки низькій обчислюваній складності та слідкуючи-фільтруючим властивостям, запропонований підхід може знайти використання у розв'язанні задач реального часу.

Іл. 4. Бібліогр.: 10 назв.

UDC 519.7:007.52

Hybrid neo- and neuro-fuzzy learning algorithms / I.V. Kokshenev, V.V. Kolodyazhnyi, I.P. Pliss // Bionica Intellecta: Sci. Mag. 2005. No 1 (62). P. 10-14.

Various architectures of hybrid neuro-fuzzy networks are considered. Unified recurrent form of learning algorithm that provides setting weighting coefficient as well as activation function parameters is proposed. Due to calculation simplicity, and smoothing and filtering properties the proposed approach can be applied for task solution in real time.

Fig. 4. Ref.: 10 items.

УДК 681.518:004.912

Формализация сложноорганизованных систем и распознавание аварийных ситуаций. Сообщение 2 / В.Н. Бурцев, А.Л. Ерохин // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. 2005. № 1 (62). С. 15-18.

Рассмотрен второй этап решения задачи построения способа отображения множества параметров сложноорганизованной системы. Предложена теоретическая модель визуализации стохастических возмущений, которую можно использовать для разработки критериев классификации предаварийных и аварийных ситуаций.

Лл. 3. Библиогр.: 6 назв.

УДК 681.518:004.912

Формалізація складноорганізованих систем і розпізнавання аварійних ситуацій. Повідомлення 2 / В.М. Бурцев, А.Л. Ерохін // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. 2005. № 1 (62). С. 15-18.

Розглядається другий етап розв'язання задачі побудови способу відображення множини параметрів складноорганізованої системи. Запропоновано теоретичну модель візуалізації стохастичних впливів, яку можна використовувати для розробки критеріїв класифікації предаварійних та аварійних ситуацій.

Лл. 3. Бібліогр.: 6 назв.

UDC 681.518:004.912

Complex-organized systems' formalization and emergencies' recognition. Report 2 / V. Burtsev, A. Yerokhin // *Bionica Intellecta: Sci. Mag.* 2005. No 1 (62). P. 15-18.

The second stage of task solution of developing in a display method of complex-organized systems' parameters set is considered. The theoretical model of stochastic influences visualization that can be used for pre-emergency and emergency classification criteria development is offered.

Fig. 3. Ref.: 6 items.

Человек — оператор в роторных полях / Н.Д. Васильев, И.И. Зима, А.В. Нечаев, В.И. Стрельченко // *Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал.* 2005. № 1 (62). С. 19-26.

Рассматриваются особенности интеллектуальной деятельности и производственной гигиены в электромагнитных роторных полях, сопровождающих работу ЭВМ, радиолокаторов и других мощных энергетических и промышленных установок, созданных руками человека.

Ил. 6. Библиогр.: 13 назв.

УДК 538.00.00

Людина — оператор в роторних полях / М.Д. Васильєв, І.І. Зима, А.В. Нечаєв, В.І. Стрільченко // *Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал.* 2005. № 1 (62). С. 19-26.

Розглядаються особливості інтелектуальної діяльності та виробничої гігієни в електромагнітних роторних полях, що супроводжують роботу ЕОМ, радіолокаторів та інших потужних енергетичних і промислових установок, створених руками людини.

Іл.6. Бібліогр.: 13 назв.

UDC 538.00.00

The human — operator in rotary fields / N.D. Vasilyev, I.I. Zima, A.V. Nechaev, V.I. Strelchenko // *Bionica Intellecta: Sci. Mag.* 2005. No 1 (62). P. 19-26.

In the article features of intellectual activity and industrial hygiene in the electromagnetic rotor fields that go with functioning of computer, radars and other potent power and human-built plants are considered.

Fig. 6. Ref.: 13 items.

УДК 681.324

Использование метода компараторной идентификации знаний для совершенствования учебного процесса / В.И. Булкин, Н.В. Шаронова // *Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал.* 2005. № 1 (62). С. 27-30.

Предложено описание алгоритмов обучения, или приобретения знаний, и обновления, или повторения знаний, на базе использования компараторного метода. Приводятся практические рекомендации по совершенствованию учебного процесса на основе использования предложенных алгоритмов.

Ил. 4. Библиогр.: 11 назв.

УДК 681.324

Використання методу компараторної ідентифікації знань для удосконалювання навчального процесу / В.І. Булкін, Н.В. Шаронова // *Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал.* 2005. № 1 (62). С. 27-30.

Запропоновано опис алгоритмів навчання, або придбання знань, і відновлення, або повторення знань, на базі використання компараторного методу. Приводяться практичні рекомендації з удосконалювання навчального процесу на основі використання запропонованих алгоритмів.

Іл. 4. Бібліогр.: 11 назв.

UDC 681.324

The use of a knowledge comparator identification method for the educational process enhancement / V.I. Bulkin, N.V. Sharonova // *Bionica Intellecta: Sci. Mag.* 2005. No 1 (62). P. 27-30.

The description of algorithms of training, or knowledge gaining and updating, or knowledge revision on the basis of comparator method is offered. Practical recommendations for the educational process enhancement on the basis of the offered algorithms are given.

Fig. 4. Ref.: 11 items.

УДК 519.713: 631.411.6

Модели принятия управленческого решения и концепция корпоративной экологической системы / Т.В. Козуля, Н.В. Шаронова // *Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал.* 2005. № 1 (62). С. 31-36.

Представлена концепция КЭС для решения задачи принятия управленческого решения в системе экологического мониторинга, применения термодинамического подхода для определения состояния КЭС.

Табл. 2. Библиогр.: 5 назв.

УДК 519.713: 631.411.6

Моделі прийняття управлінського рішення і концепція корпоративної екологічної системи / Т.В. Козуля, Н.В. Шаронова // *Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал.* 2005. № 1 (62). С. 31-36.

Представлена концепція КЕС для розв'язання задачі прийняття управлінського рішення в системі екологічного моніторингу, впровадження термодинамічного підходу для визначення стану КЕС.

Табл. 2. Бібліогр.: 5 назв.

UDC 519.713: 631.411.6

Models administrative decision making and the concept of corporate ecological system / T.V. Kozulia, N.V. Sharonova // Bionica Intellecta: Sci. Mag. 2005. No 1 (62). P. 31-36.

KES concept for the problem solution for administrative decision making in ecological monitoring system; implementation of the thermodynamic approach for KES condition definition are offered.

Tab. 2. Ref.: 5 items.

УДК 530.1+612

Анализ течения биожидкости по каналу под действием импульса давления / Л.А. Аверьянова, В.М. Головенко, О.И. Скляр // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. 2005. № 1 (62). С. 37-41.

Рассмотрена задача о течении биожидкости по идеальному уретральному каналу для случая действующего импульса давления прямоугольной формы. Получены аналитические выражения, описывающие объемный расход биожидкости через переходные характеристики процесса. Предложенный подход может быть полезным при интерпретации результатов клинических уродинамических исследований.

Ил. 3. Библиогр.: 5 назв.

УДК 530.1+612

Аналіз транспорту біорідини по каналу під дією імпульса тиску / Л.О. Авер'янова, В.М. Головенко, О.І. Скляр // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. 2005. № 1 (62). С. 37-41.

Розглянуто задачу про транспорт біорідини по ідеальному уретральному каналу для випадку дії тиску прямокутної форми. Отримано аналітичні вирази, що описують об'ємний витік біорідини за допомогою перехідних характеристик процесу. Запропонований підхід може бути корисним при інтерпретації результатів клінічних уродинамічних досліджень.

Іл. 3. Бібліогр.: 5 назв.

UDC 530.1+612

The analysis of the bioliquid flow along the channel at the influence of the impulse pressure / L.A. Averjanova, V.M. Golovenko, O.I. Sklyar // Bionica Intellecta: Sci. Mag. 2005. No 1 (62). P. 37-41.

The problem of bioliquid flow along ideal urethral channel is considered for the case of the rectangular impulse pressure is considered. The analytic forms are obtained that describe volumetric flow out by the transition characteristics of the process. The proposed approach can be useful for the interpretation of the urodynamics clinical inspections results.

Fig. 3. Ref.: 5 items.

УДК 510:159.955

К теории адаптивного мышления / В.И. Светличный // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. 2005. № 1 (62). С. 42-49.

Предложена универсальная модель адаптивного мышления на основе наблюдателей как гомоморфизмов, их отношений и отображений, имеющая представление группоида. Формализованы пространства бинарных отношений адаптивного мышления: интересы, возможности и необходимость, а также пространство случайностей. Определено представление психической деятельности в виде трех систем. Предложен эволюционный цикл самоорганизации в виде процесса согласования и рассогласования отображений.

Библиогр.: 12 назв.

УДК 510:159.955

До теорії адаптивного мислення / В.І. Світличний // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. 2005. № 1 (62). С. 42-49.

Запропонована універсальна модель адаптивного мислення на базі спостерігачів як гомоморфізмів, їх відносин та відображень, що мають уявлення групоїда. Формалізовано підпростори бінарних відносин адаптивного мислення: інтереси, можливості та необхідність, а також простір випадковостей. Визначено уявлення психічної діяльності у вигляді трьох систем. Запропоновано еволюційний цикл самоорганізації у вигляді процесу узгодження та розузгодження відображень.

Бібліогр.: 12 назв.

UDC 510:159.955

To adapting thinking theory / V.I. Svetlichny // Bionica Intellecta: Sci. Mag. 2005. No 1 (62). P. 42-49.

Universal model of adapting thinking presented on a basis of supervisors as homomorphisms, their relations and reflections presented as groupoid is offered. Subspace of adapting thinking binary relation: interests, possibility and necessity, and set of accidents are formalized. Psychical activity is represented as three systems. Evolutional self-organization circle as a process of reflection agreement and disagreement is proposed.

Ref.: 12 items.

УДК 519.7:007.52

Оценка кредитных рисков в автоматизированных банковских системах на основе нейросетевой модели адаптивной резонансной теории / А.Ю. Гордиенко, А.С. Коряк, Н.С. Лесная, В.Б. Репка // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. 2005. № 1 (62). С. 50-55.

В качестве инструмента для решения задачи классификации клиентов банка по предоставлению кредитов и оценки рисков предлагается нейросетевая модель АРТ, на основании которой можно эффективно производить классификацию новых клиентов, оценку риска кредитования как для новых клиентов, так и для существующих клиентов при изменении их кредитной истории.

Табл. 1. Ил. 3. Библиогр.: 5 назв.

УДК 519.7:007.52

Оцінка кредитних ризиків в автоматизованих банківських системах на основі нейромережевої моделі адаптивної резонансної теорії / А.Ю. Гордієнко, А.С. Коряк, Н.С. Лесна, В.Б. Репка // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. 2005. № 1 (62). С. 50-55.

В якості інструменту для розв'язання задачі класифікації клієнтів банку з надання кредитів та оцінки ризику пропонується нейромережева модель АРТ, на основі якої можна ефективно проводити класифікацію нових клієнтів, оцінювати ризик кредитування як для нових клієнтів, так і для існуючих клієнтів при зміні їх кредитної історії.

Табл. 1. Ил. 3. Библиогр.: 5 назв.

UDC 519.7:007.52

The credit risk estimation in automated banking system on the basis of neural network model in adaptive resonance theory / A.Y. Gordienko, A.S. Koryak, N.S. Lesnaya, V.B. Repka // Bionica Intellecta: Sci. Mag. 2005. No 1 (62). P. 50-55.

Neural network model ART as the tool for the task solution of bank clients classification on granting the credits and credit risk estimation is offered. This neural network model helps to make new clients classification effectively and estimate credit risk for the new clients as well as for existing clients when changing their credit history.

Tab. 1. Fig. 3. Ref.: 5 items.

УДК 519.62

Алгебро-логічні засоби моделювання природної мови (Повідомлення 2) / Г.Г. Четвериков // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. 2005. № 1 (62). С. 56-59.

Розглядаються перспективні напрямки розвитку сучасних цифрових пристроїв, мереж та систем. Стверджується, що розвиток засобів обчислювальної техніки є базою автоматизації розумової діяльності людини. Проте успіхи в галузі інтелектуалізації обчислювальної техніки незначні. Наведено, що технічна реалізація концепції штучного інтелекту вимагає значного підвищення продуктивності ЕОМ, а саме: розробки паралельних (просторових) принципів та методів обробки інформації на рівні інтерфейсу для сприйняття і видачі інформації на природній мові.

Библиогр.: 5 назв.

УДК 519.62

Алгебро-логические средства моделирования естественного языка (Сообщение 2) / Г.Г. Четвериков // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. 2005. № 1 (62). С. 56-59.

Рассматриваются перспективные направления развития современных цифровых устройств, сетей и систем. Проведенный анализ показывает, что развитие средств вычислительной техники является основой автоматизации умственной деятельности человека. Однако успехи в области интеллектуализации вычислительной техники невелики. Утверждается и обосновывается, что техническая реализация концепции искусственного интеллекта требует существенного повышения производительности ЭВМ, а именно: разработки параллельных (пространственных) принципов и методов обработки информации на уровне интерфейса для восприятия и выдачи информации на естественном языке.

Библиогр.: 5 назв.

UDK 519.62

Algebro-logical tools of natural language modeling (Report 2) / G.G. Chetverikov // Bionica Intellecta: Sci. Mag. 2005. No 1 (62). P. 56-59.

In article the perspective directions of modern digital devices, networks and systems development are considered. The carried out analysis shows that means of computer facilities development is a baseline of automation of the man intellectual activity. However, the achievements in the field of computer facilities intellectualization are insignificant. It asserts and proves that the technical realization of the concept of artificial intelligence requires essential increase in the computer productivity, namely: creation of parallel (spatial) principles and methods of the information processing at the interface level for perception and delivery of the information in natural language.

Ref.: 5 items.

УДК 681.3.01

Метод извлечения ключевых выражений на основе графовой модели структурного представления текста / С.А. Рошка // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. 2005. № 1 (62). С. 60-66.

Ключевые выражения используют для различных целей обработки текстовых данных, включая задачи реферирования, индексирования, кластеризации, категоризации и поиска. Предлагаемый метод извлечения ключевых выражений дает возможность получения ключевых фраз из коллекции неструктурированных текстовых данных. Графовая модель структурного представления текста предоставляет гибкие возможности для применения методов контекстного и частотно-статистического анализа при исследовании текстовых данных. Представление текста как информационного потока данных позволяет учитывать связанную структуру текста, что обеспечивает для предлага-

емого в статье языково-независимого метода извлечения ключевых выражений семантическую значимость результатов, которые возможны в настоящий момент при использовании лингвистических методов обработки текста.

Библиогр.: 22 назв.

УДК 681.3.01

Метод витягу ключових виразів на основі графової моделі структурного представлення тексту / С.О. Рошка // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. 2005. № 1 (62). С. 60-66.

Ключові вирази використовують для різних цілей обробки текстових даних, включаючи задачі реферування, індексування, кластеризації, категоризації і пошуку. Пропонований метод витягу ключових виразів дає можливість одержання ключових фраз з колекції неструктурованих текстових даних. Графова модель структурного представлення тексту надає гнучкі можливості для застосування методів контекстного і частотно-статистичного аналізу при дослідженні текстових даних. Представлення тексту як інформаційного потоку даних дозволяє враховувати зв'язану структуру тексту, що забезпечує для запропонованого в статті мовно-незалежного методу витягу ключових виразень семантичну значимість результатів, що можливі в даний момент при використанні лінгвістичних методів обробки тексту.

Бібліогр.: 22 назв.

UDC 681.3.01

An approach for key phrases extraction based on graph model of structural text conception / S.O. Roshka // Bionica Intellecta: Sci. Mag. 2005. No 1 (62). P. 60-66.

The key phrases are used for various purposes of textual data processing, including tasks of abstracting, indexing, clustering, categorizing and searching. The suggested approach for key phrases extraction enables receiving the key phrases from unstructured textual data collection. The graph model of structural text conception gives the flexible opportunities for applying contextual and statistical-frequency approaches when analyzing textual data. The text presentation as an information flow of data allows considering a linked structure of text. It provides semantic meaning of results for proposed language-independent approach for key phrases extraction. These results can be obtained while using linguistic methods of text processing.

Ref.: 22 items.

УДК 519.711.3: 519.68

Применение алгебры конечных предикатов для описания процесса вычисления значений многочленов на множестве m-разрядных двоичных кодов / И.А. Ревенчук // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. 2005. № 1 (62). С. 67-70.

Алгебра конечных предикатов (АКП) позволяет сформулировать новую информационно-вычислительную технологию постановки и решения задач, которые описываются разнообразными математическими уравнениями, сводимыми к единой логико-математической форме — системам логических уравнений АКП. Уравнения АКП описывают функционирование многополюсных систем, то есть систем, для которых не только входные сигналы могут подаваться на любые полюсы, но и сьем выходных сигналов также может подаваться с любых полюсов. Математический аппарат АКП открывает возможность перехода от алгоритмического описания информационных процессов к описанию их в виде уравнений.

Библиогр.: 4 назв.

УДК 519.711.3: 519.68

Застосування алгебри скінченних предикатів для опису процесу обчислювань значень багаточленів на множині m-розрядних двоїчних кодів / І.А. Ревенчук // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. 2005. № 1 (62). С. 67-70.

Алгебра скінченних предикатів (АСП) дозволяє сформулювати нову інформаційно-обчислювальну технологію постановки і рішення задач, які описуються різноманітними математичними рівняннями, що зведені до єдиної логіко-математичної форми — системи логічних рівнянь АСП. Рівняння АСП описують функціонування багатопольових систем, тобто систем, для яких не тільки вхідні сигнали можуть подаватися на будь-які полюси, але й знімання вихідних сигналів також може подаватися з будь-яких полюсів. Математичний апарат АСП відкриває можливість переходу від алгоритмічного опису інформаційних процесів до опису їх у вигляді рівнянь.

Бібліогр.: 4 назв.

UDC 519.711.3: 519.68

Algebra of final predicates application for the description of calculation processes of multinomial values on set of m-digit binary codes / I.A. Revenchuk // Bionica Intellecta: Sci. Mag. 2005. No 1 (62). P. 67-70.

The algebra of final predicates (AFP) allows formulating new informational calculating technology of problems statement and solution. They are described by various mathematical equations, reduced to the uniform logical-mathematical form, i.e. systems of logic AFP equations. AFP equations describe functioning of multipolar systems, for such systems an input can be given to any pole as an output can be given from any pole. Mathematical AFP apparatus enables transition from the algorithmic description of information processes to their description as the equations.

Ref.: 4 items.

УДК 004.93:007.52

Модели динамики нейронной сети с коллективными эффектами / А.В. Волик, С.Н. Герасин // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. 2005. № 1 (62). С. 71-74.

Изучены критические режимы динамики однородной нейронной сети и найдены области устойчивой работы. Приведен качественный анализ соответствующей макрохарактеристики — динамики среднего уровня.

Ил. 3. Библиогр.: 11 назв.

УДК 004.93:007.52

Моделі динаміки нейронної мережі з колективними ефектами / А.В. Волик, С.М. Герасін // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. 2005. № 1 (62). С. 71-74.

Вивчено критичні режими динаміки однорідної нейронної мережі та знайдено області усталеної роботи. Наведено якісний аналіз відповідної макрохарактеристики — динаміки середнього рівня.

Л. 3. Бібліогр.: 11 назв.

UDK 004.93:007.52

The model of neural networks dynamics with collective effects / A.V. Volik, S.N. Gerasin // Bionica Intellecta: Sci. Mag. 2005. No 1 (62). P. 71-74.

The critical regimes of homogeneous neural networks dynamics are considered in this paper. Stable work fields are found. Qualitative analysis of appropriate macro characteristic — dynamic of mean level is offered.

Fig. 3. Ref.: 11 items.

УДК 519.7

Проблема зацикливаний в схемах XML W3C / С.П. Тимофеев // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. 2005. № 1 (62). С. 75-85.

Поставлена и частично решена проблема зацикливаний в схемах XML W3C. Доказана теорема о необходимом и достаточном условии отсутствия зацикливаний для одного класса схем. Приведен алгоритм выявления зацикливаний в таких схемах.

Ил. 9. Библиогр.: 10 назв.

УДК 519.7

Проблема зацикловань у схемах XML W3C / С.П. Тимофеев // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. 2005. № 1 (62). С. 75-85.

Поставлено і частково розв'язано проблему зацикловань у схемах XML W3C. Доведено теорему про необхідні та достатні умови відсутності зацикловань для певного класу схем. Наведено алгоритм, що виявляє зацикловання у цих схемах.

Л. 9. Бібліогр.: 10 назв.

UDC 519.7

A problem of incorrect loops in XML W3C schemata / S.P. Timofeyev // Bionica Intellecta: Sci. Mag. 2005. No 1 (62). P. 75-85.

A problem of incorrect loops in XML W3C schemata is raised and partially solved for a definite class of schemata. A theorem of the necessary and sufficient conditions of loop absence for the certain schemata is proved. An algorithm that detects incorrect loops is presented.

Fig. 9. Ref.: 10 items.

УДК 681.3. 019

Компьютерная микротелефотометрия геометрических параметров микробиологических объектов / Ю.Е. Мегель, А.И. Рыбалка // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. 2005. № 1 (62). С. 86-88.

Рассмотрены вопросы обработки изображения биологических объектов, имеющих форму, описываемую уравнениями второго порядка, и возможность определения их количественных характеристик (геометрических параметров) с использованием аппаратных и программных средств.

Ил. 2. Библиогр.: 10 назв.

УДК 681.3. 019

Комп'ютерна мікротелефотометрія геометричних параметрів мікробіологічних об'єктів / Ю.Є. Мегель, А.І. Рибалка // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. 2005. № 1 (62). С. 86-88.

Розглянуто питання обробки зображень біологічних об'єктів, які мають форму, описану рівняннями другого порядку, та можливість визначення їх характеристик (геометричних параметрів) з використанням апаратних і програмних засобів.

Л. 2. Бібліогр.: 10 назв.

UDC 681.3. 019

Computer microtelephotometry of geometrical parameters of microbiological objects / Y.E. Megel, A.I. Ribalca // Bionica Intellecta: Sci. Mag. 2005. No 1 (62). P. 86-88.

Questions of processing the image of biological objects described by the equations of the second order is considered in this article. Opportunity of their quantitative characteristics (geometrical parameters) definition using hardware and software is examined.

Fig. 2. Ref.: 10 items.

ПРАВИЛА оформления рукописей для авторов научно-технического журнала "БИОНИКА ИНТЕЛЛЕКТА"

Статьи оформляются в редакторе Microsoft Word. Формат страницы – А4 (210х297 мм), поля: верхнее – 25мм, нижнее – 20 мм, левое, правое – 17 мм. Количество колонок – 2, интервал между ними – 5 мм, основной шрифт Times New Roman, кегль основного текста – 10 пунктов, междустрочный интервал – множитель (1,1), абзацный отступ – 6 мм. Объем рукописи – от 4 до 12 листов (языки: русский, украинский, английский).

Согласно решению редакционной коллегии, основанному на Постановлении Президиума ВАК Украины от 15.01.2003 №7-05/1 (Бюллетень ВАК, №1 2003, с.2) статья должна быть структурирована и содержать следующие необходимые элементы: введение (постановка проблемы в общем виде, анализ исследований в данной предметной области); цель статьи (постановка задачи), изложение основного материала исследований с обоснованием полученных научных результатов; выводы и перспективы дальнейших исследований в данном направлении

Структура рукописи: УДК, инициалы и фамилии авторов (в алфавитном порядке), заголовок, основной текст, список литературы.

Заголовок статьи - кегль 12.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ

УДК 621.396.961.1

И.О. Фамилия, И.О. Фамилия

НАЗВАНИЕ РУКОПИСИ

Основной текст следует разделять на подразделы с заголовками, выделенными жирным шрифтом, пронумерованными арабскими цифрами, отступы: сверху – 6 пт, снизу – 3 пт.

1. Название раздела

Определения выделяются в тексте курсивом.

Рисунки и таблицы (черно-белые, контрастные) помещаются в текст после ссылки в виде встроенных объектов и раздельно нумеруются арабскими цифрами сквозной нумерацией, при наличии более одного объекта. Все надписи в рисунках и таблицах должны быть выполнены шрифтом Times New Roman, кегль в рисунках – 10, в таблицах – 9.

Рисунок содержит подписанную центрированную подпись (вне рисунка), шрифт 9, по центру, отступы сверху и снизу по 6 пт., как показано на рис. 1. Ширина рисунка должна соответствовать ширине колонки (или ширине страницы).

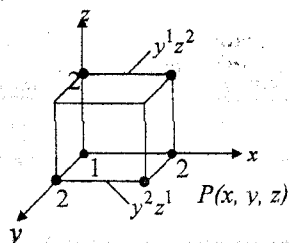


Рис. 1. График трехместного бинарного предиката

Табличный заголовок располагается справа над таблицей (вне таблицы, шрифт 9), что иллюстрируется табл. 1.

Таблица 1

x	3	2	1	0	2
y	0	1	2	3	2
P(x,y)	1	1	1	1	1

Формулы, символы, переменные, должны быть набраны в редакторе формул MathType (Equation). Формулы располагаются по центру и нумеруются при наличии ссылок на них в рукописи. Шрифт – Times New Roman. Высота переменной – 10 пунктов, индексов и подиндексов – 8 пт, основной мат. символ -12 (10) пт. Курсив в стиле формул включают только для текста и переменных. Сокращения русских слов выполняются прямым начертанием. Переменные, содержащиеся в тексте, также набираются в редакторе формул.

$$F(X_1, \dots, X_n) = \vee F(\delta_1, \dots, \delta_n) x_1^{\delta_1} \dots x_n^{\delta_n}. \quad (1)$$

Список литературы включает опубликованные источники, на которые имеются ссылки в тексте, заключенные в квадратные скобки [1], печатается без абзацного отступа, кегль 9 пунктов, отступ сверху 6 пт.

Список литературы: 1. Фамилия И.О. Название книги. Город: Издательство, 1900. 000 с. 2. Фамилия И.О. Название статьи // Название журнала. Название серии. 1997. Т. 00, № 00. С. 00-00.

Поступила в редколлегию 00.00.2005

Рефераты представляются на трех языках: русский, украинский и английский (Times New Roman, кегль – 9 пунктов).

УДК 000.000.00

Название статьи /И.О.Фамилия, И.О.Фамилия // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. 2005. № 00. С. 00-00. Текст реферата. (3-4 предложения). Табл. 00. Ил. 00. Библиогр.: 00 назв.

УДК 000.000.00

Назва статті /І.Б.Прізвище, І.Б.Прізвище // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. 2005. № 00. С. 00-00.

Текст реферату.

Табл. 00. Іл. 00. Бібліогр.: 00 назв.

UDC 000.000.00

Title of paper / Initials. Surname // Bionica intellecta. 2005. N 00. P. 000-000.

Text.

Tab. 00. Fig. 00. Ref.: 00 items.

Представление материалов: рукопись, рефераты, сведения об авторах (фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание, должность, место работы, адрес, контактные телефоны) – на новой дискете 3,5 дюйма. Твердая копия материалов в одном экземпляре: рукопись, рефераты, сведения об авторах, рецензия, подписанная доктором наук, акт экспертизы, заявление на имя главного редактора со сведениями об авторах. Материалы, не соответствующие требованиям, редколлегией не рассматриваются.

Адрес редакции: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, ХНУРЭ, к. 437, тел. 702-13-97, факс 702-15-15, e-mail: innov@kture.kharkov.ua

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Р.П. Базилевич, д-р физ.-мат. наук, проф.
Е.В. Бодянский, д-р техн. наук, проф.
М.Ф. Бондаренко (гл. ред.), д-р техн. наук, проф.
А.И. Бых, д-р физ.-мат. наук, проф.
Т.К. Винцюк, д-р техн. наук, проф.
З.В. Дударь, канд. техн. наук, проф.
Н.С. Лесная, канд. техн. наук, проф.
В.П. Машталир, д-р техн. наук, проф.
А.Г. Нерух, д-р физ.-мат. наук, проф.
А.В. Палагин, чл.-корр. НАНУ д-р техн. наук, проф.
Е.П. Путятин, д-р техн. наук, проф.
О.Г. Руденко, д-р техн. наук, проф.
А.Г. Руткас, д-р физ.-мат. наук, проф.
И.Б. Сироджа, д-р техн. наук, проф.
С.В. Смеляков, д-р физ.-мат. наук, проф.
А.Д. Тевяшев, д-р техн. наук, проф.
В.А. Чикина (зам. отв. ред.), канд. техн. наук
С.Ю. Шабанов-Кушнарченко, д-р техн. наук, проф.
Ю.П. Шабанов-Кушнарченко (отв. ред.), д-р техн. наук, проф.
А.В. Широков, д-р техн. наук, проф.

Научный редактор Ю.П. Шабанов-Кушнарченко

Ответственный за выпуск В.А. Чикина

Редактор Л.Н. Денисова

Дизайн-макетирование Е.Б. Исаева

Рекомендовано Вченою Радою Харківського національного університету радіоелектроніки
(протокол № 14 від 5.07.05).

Підписано до друку 7.07.2005. Формат 60 × 84¹/₈.

Папір офсет. Друк ризограф. Умов.-друк. арк. 11,16. Облік.-вид. арк. 11,6.
Зам. № 2-76. Тираж 300 прим. Ціна договірна.

Надруковано у навчально-науковому видавничо-поліграфічному центрі
Харківського національного університету радіоелектроніки
61166, Харків, пр. Леніна, 14